2021电力行业信息化年会

论文集

会议主题：推动行业数智转型 助力新型电力系统构建

分类建议：电力信息化

人民邮电出版社网址：www.ptpress.com.cn

2021 电力行业信息化年会 论文集

人民邮电出版社

2021电力行业信息化年会

论文集

会议主题：推动行业数智转型 助力新型电力系统构建

■ 中国电机工程学会电力信息化专业委员会 | 主编

中国工信出版集团

人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

ZTE中兴

愿景：

让沟通与信任无处不在



5G 先锋

HUAWEI

构建万物互联的智能世界

智能巡检，时刻守护美好家园

电网智能巡检，多维感知、及时预警。



懂行 · 专注于行业数字化转型

ZTE中兴

为伙伴注入5G之

中兴通讯服务器存储产品



inspur 浪潮

[浪潮模块化数据中心]

构筑智慧电力坚实基座

规模落地电力行业，升级你的数据中心到智算中心

［浪潮模块化数据中心］作为新一代智算中心底层基础设施，致力于打造业内高水平的模块化产品，坚持融合、开放、绿色、智能等设计理念，服务于电力行业众多应用场景，全面助力电力企业数字化转型，保障企业业务安全、可靠、平稳、智能运行。

浪潮模块化数据中心
产品体系

浪潮模块化数据中心产品特点：

- 高效可靠、绿色节能
- 工厂预制、快速部署
- 分期建设、灵活扩容
- 智能管控、安全运维

ISC-MDC-S微模块数据中心
数据中心站、边缘计算等小型数据中心场景

ISC-CDC集装箱数据中心
数据中心站、移动运营、应急指挥、业务紧急上线/机房过渡等场景

ISC-MDC微模块数据中心
省公司信息机房、通信机房、中大型灾备数据中心、调度机房等场景

ISC-SDC单机柜数据中心
办公室、营业厅、边缘计算等微型数据中心场景



www.inspur.com

浪潮（北京）电子信息产业有限公司
北京市海淀区西北旺东路10号院东区20号浪潮大厦
详询:186 0122 0121

inspur 浪潮

云存智用
助力智能电网云化转型

作为深入研究数据需求的数据存储专家，浪潮存储为电力行业用户开发适合业务应用的存储，服务于众多客户在智慧未来中的转型发展和业务突破。以“云存智用 运筹新数据”，助力客户致胜新数据时代。



www.inspur.com

浪潮（北京）电子信息产业有限公司
北京市海淀区西北旺东路10号院东区20号浪潮大厦
详询:186 0122 0121

FiberHome

电力行业信息化年会

双碳目标下 | 2021

DOUBLE-CARBON TARGET

信息网络面临的挑战



SUPERCLOUD
长城超云 让数据中心更简单



长城超云整合CEC产业资源，提供完备解决方案

长城超云在CEC产业体系中承担数据中心整机、云系统产品和服务

三大业务体系

数据中心建设全过程覆盖



云基础架构产品

完善的云基础架构产品线，包括X86服务器、信创整机、存储等。

云系统产品

以软件定义为核心，引领数据中心建设新模式，包括超融合、一体机、模块化数据中心等。

云服务产品

以优势平台打造可靠、可信的云服务，包括云集成、云租赁、裸金属等。

http://www.chinasupercloud.com/
北京市昌平区鲁疃路5号中国电子信息技术安全研发基地A座4层
能源行业部总监　万峰　18612097515

紫光集团 核心企业 | H3C 数字化解决方案领导者

新华三集团

新华三集团致力于成为客户业务创新、数字化转型值得信赖的合作伙伴。作为紫光集团旗下的核心企业，新华三通过深度布局“芯-云-网-边-端”全产业链，不断提升数字化和智能化赋能水平。新华三拥有芯片、计算、存储、网络、5G、安全、终端等全方位的数字化基础设施整体能力，提供云计算、大数据、人工智能、工业互联网、信息安全、智能联接、AI视觉、边缘计算等在内的一站式数字化解决方案，以及端到端的技术服务。





Phytium飞腾

飞腾信息技术有限公司是国内领先的自主核心芯片提供商，由中国电子信息产业集团、天津市滨海新区政府和天津先进技术研究院于2014年联合支持成立。目前飞腾公司的总部设在天津，在北京设有分公司，在长沙、成都和广州设有子公司，在深圳、南京、西安、银川、沈阳、海口等地设有办事处。

飞腾公司致力于飞腾系列国产高性能、低功耗通用计算微处理器的设计研发和产业化推广，同时联合众多国产软硬件生态厂商，提供基于国际主流技术标准、中国自主先进的全国产信息系统整体解决方案，支撑国家信息安全和重要工业安全。

联系方式

地址：天津市滨海新区海缘中路1号信息安全产业园5号楼

电话：022-59080100

官网：www.phytium.com.cn

飞腾腾云S系列

高性能服务器CPU

应用于计算和存储服务器、数据中心等



FT-1500A/16

FT-2000+/64

S2500

TBD

飞腾腾锐D系列

高效能桌面CPU

应用于桌面整机、一体机、便携机等



FT-1500A/4

FT-2000/4

D2000

飞腾腾珑E系列

高端嵌入式CPU

应用于嵌入式装备信息系统、工业控制等



FT-2000A/2

TBD

飞腾X系列套片

高端嵌入式CPU

应用于嵌入式装备信息系统、工业控制等



X100

2014 2015 2016 2017 2018 2019 2020 2021 2022



2019年度国家科技进步一等奖



飞腾荣获2017-2018
"IC中国"独角兽企业



飞腾 FT-2000+/64 荣获
"中国芯"年度重大创新突破产品奖



"飞腾嵌入式 CPU 研发团队"荣获第24届"中国青年五四奖章集体"



飞腾信息技术有限公司总经理窦强荣获"2020年中国IC设计成就奖之年度中国IC产业五大杰出人物"，飞腾公司同时荣获"2020年中国IC设计成就奖之五大中国潜力IC设计公司"



飞腾总经理窦强领衔的天津飞腾信息技术有限公司"国产高性能微处理器创新团队"入选重点领域创新团队。

奇安信集团
QI-ANXIN GROUP

北京2022年冬奥会官方赞助商
Official Sponsor of the Olympic Winter Games Beijing 2022

奇安信科技集团股份有限公司成立于2014年，专注于网络空间安全市场，为政府、企业用户提供新一代企业级网络安全产品和服务。凭借持续的研发创新和以实战攻防为核心的安全能力，已发展成为国内基于大数据、人工智能和安全运营技术的网络安全供应商。同时，奇安信是北京2022年冬奥会和冬残奥会官方网络安全服务和杀毒软件赞助商；此外，公司已在印度尼西亚、新加坡、加拿大等地开展网络安全业务。

行业定位
覆盖全领域的综合型网络安全厂商

服务布局
与信息化过程三同步，覆盖规划、建设和运行的全过程

产品布局
布局新赛道 拥有三大类产品布局
1. 基础架构安全
2. 新一代 IT 基础设施防护
3. 大数据智能安全监测与管控

研发体系
重点投入开发 “四大研发平台” 通过平台化、模块化搭建，帮助公司在新网络安全场景上快速研发新单品，在新赛道上快速抢占市场

我们的使命
让网络更安全 让世界更美好



新一代IT基础设施防护产品 大数据智能安全监测与管控产品 基础架构安全产品 新安全服务产品

https://www.qianxin.com kefu@qianxin.com
4009-303-120

奇安信 搜索

启明星辰

启明星辰集团成立于1996年，由留美博士严望佳女士创建，是国内极具实力的、拥有完全自主知识产权的网络安全产品、可信安全管理平台、安全服务与解决方案的综合提供商。2010年启明星辰集团在深圳A股中小板上市（股票代码：002439）。目前，启明星辰集团已对网御星云、合众数据、书生电子、赛博兴安进行了全资收购，自此，集团成功实现了对网络安全、数据安全、应用业务安全等多领域的覆盖，形成了信息安全产业生态圈。



国家战略全面布局

围绕国家安全战略，立足新技术与新实践，助力企业客户全面应对新安全挑战，为智慧能源、智能交通、智能制造、智慧政务等数字场景提供安全最佳实践，为数字中国保驾护航。

电力行业化安全场景布局

紧密围绕国家双碳目标下能源互联网建设思路和电力企业数字化转型契机，探索在新一代电力系统建设框架下电力业务场景的安全需求与实践。

电力行业作为启明星辰集团头部战略行业，率先在集团试点设立电力行业工业互联网行业化应用研究中心，持续加大对电力行业新业务的研究、行业化产品研发与迭代升级，致力于定制更多行业化创新安全解决方案。并积极与电力行业相关产业单位开展多层次深度合作，积极参与国家级和行业级科技创新项目，参加重大应急保障，为国家关键基础设施安全稳定运行，保驾护航。

统信软件技术有限公司
UnionTech Software Technology Co., Ltd.

打造操作系统创新生态

更强生态 更加友好 更易操作 智能协同 更优易用

公司介绍

统信软件技术有限公司（简称：统信软件）于2019年11月成立，以“打造操作系统创新生态，给世界更好的选择”为愿景，坚持技术创新，开放合作，专注于操作系统的研发与服务，拥有操作系统研发、行业定制、国际化、迁移和适配、交互设计、咨询服务等多方面的专业人才与深厚的技术沉淀，满足不同用户和应用场景对基础软件与解决方案的广泛需求，为政企行业信息化、数字经济建设提供了坚实可信的基础支撑，牢筑信息安全基座。

产品介绍

三大操作系统产品



统信桌面操作系统



统信专用设备操作系统



统信服务器操作系统

三大应用产品



企业级应用商店



终端管理平台



彩虹平台迁移软件

CPU支持



统信操作系统支持五种架构、七种品牌CPU，用户交互体验保持一致

联系我们

400-8588-488
www.uniontech.com
marketing@uniontech.com
北京经济技术开发区科谷一街10号院12号楼

构建电力安全体系，助力“双碳”

绿盟科技集团股份有限公司，成立于2000年4月，总部位于北京。公司于2014年1月29日在深圳证券交易所创业板上市，股票代码：300369。绿盟科技在国内设有40多个分支机构，为国家电网、南方电网、九大发电集团等电力领域客户，提供全线网络安全产品、全方位安全解决方案和体系化安全运营服务。



行业安全纵深防御

设备 信息 调度 营销

配电网安全 | 数据治理 | 并网安全 | 物联网

行业探索

5G安全 | 数据安全 | 容器安全

零信任 | 云网融合



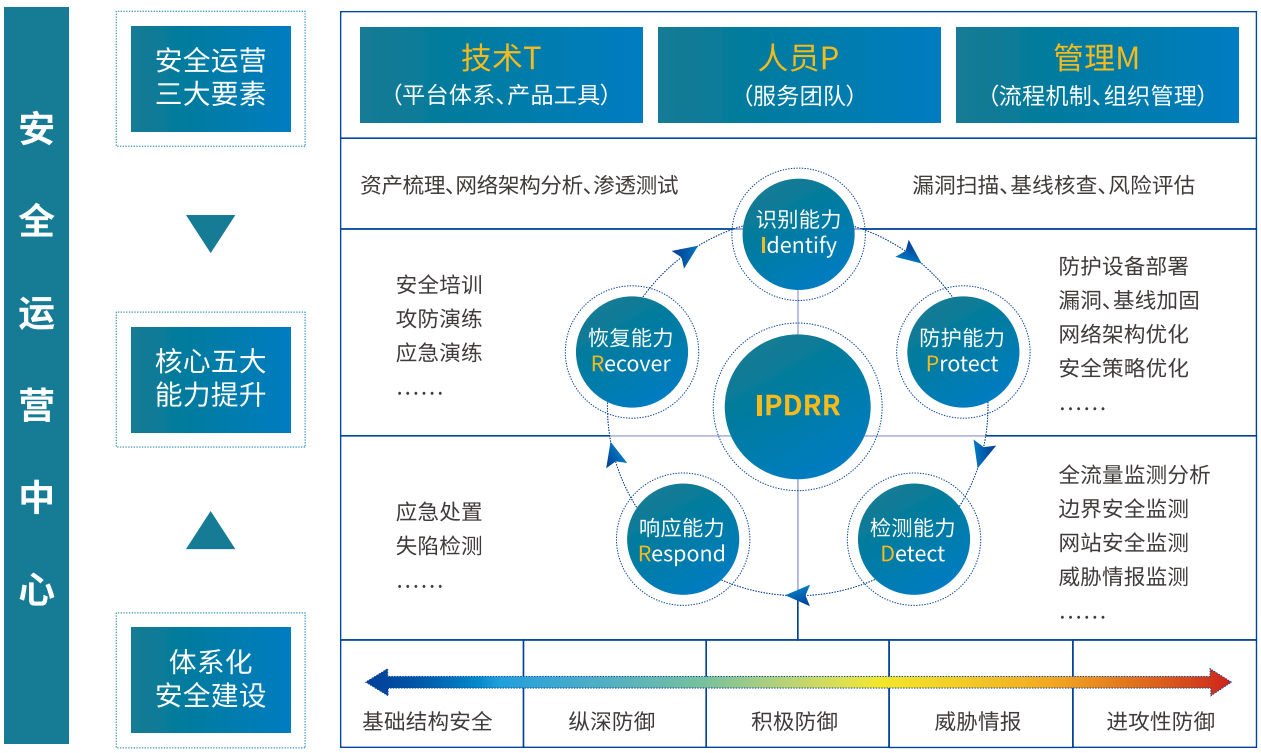


DPtech
股票代码：300768

2019年4月12日，杭州迪普科技股份有限公司在深交所挂牌上市，股票代码：300768，是浙江省率先上市的网络安全企业。

杭州迪普科技股份有限公司

以安全效果为目标的安全运营体系



01 通过安全技术（平台体系、产品工具）、安全管理（运营流程与组织管理）、人员（运营服务团队）的有机结合，提供企业网络安全体系建设不同阶段中**IPDRR五大核心能力**的提升。

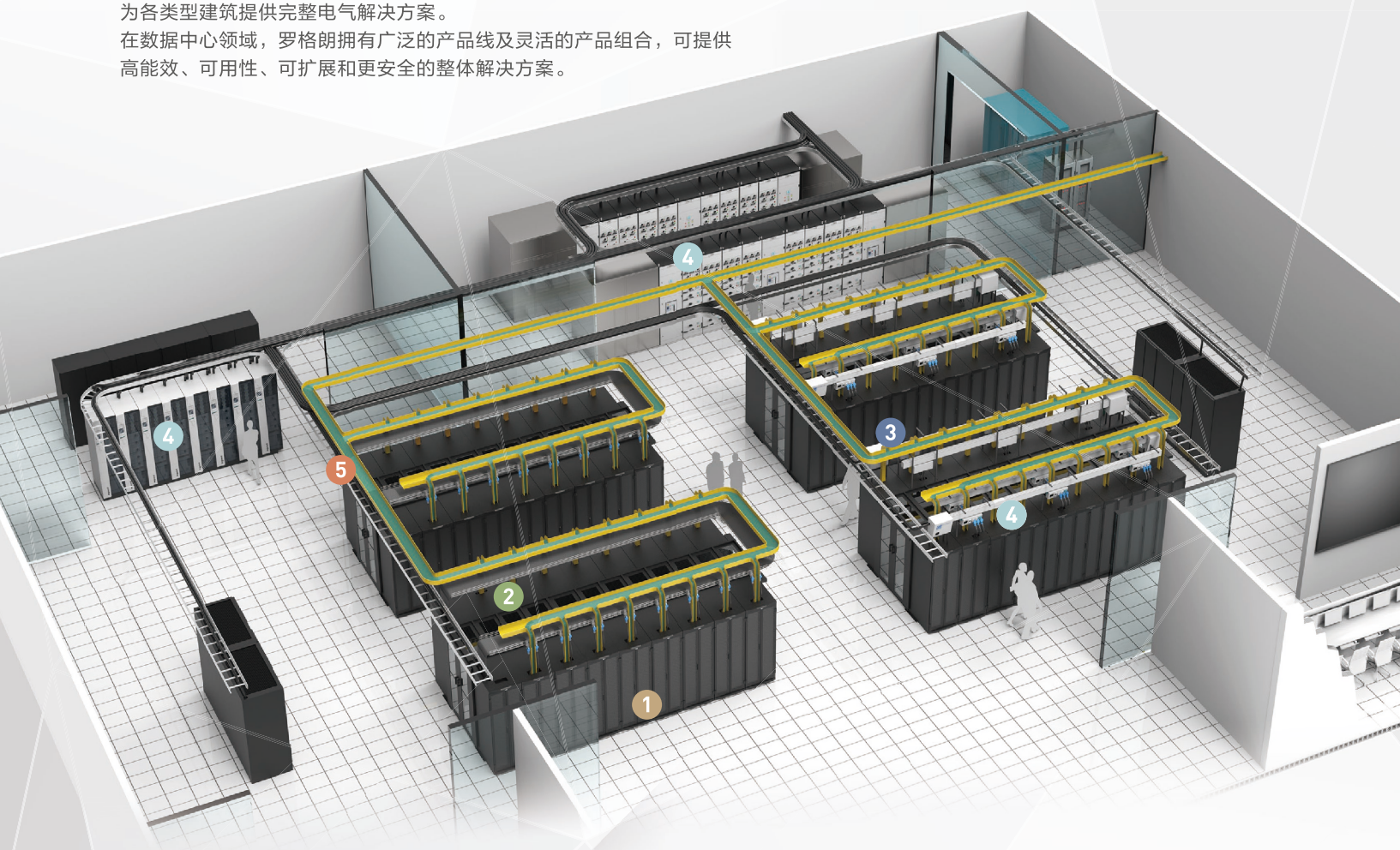
02 做到“资产管理、漏洞管理、事件管理、威胁管理”全生命周期闭环可视化管理。

03 以实战化、体系化、常态化安全运营保障为目标，持续提升安全能力。

legrand®罗格朗

罗格朗 LEGRAND DATA CENTER INTEGRATED SOLUTIONS 数据中心解决方案

来自法国的罗格朗成立于1865年，长期专注于电气和智能建筑领域，致力于为各类型建筑提供完整电气解决方案。
在数据中心领域，罗格朗拥有广泛的产品线及灵活的产品组合，可提供高能效、可用性、可扩展和更安全的整体解决方案。



1



机柜及(冷/热)通道解决方案

2



微模块解决方案

3



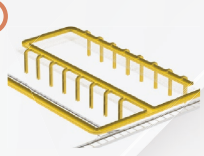
综合布线解决方案

4



配电解决方案

5



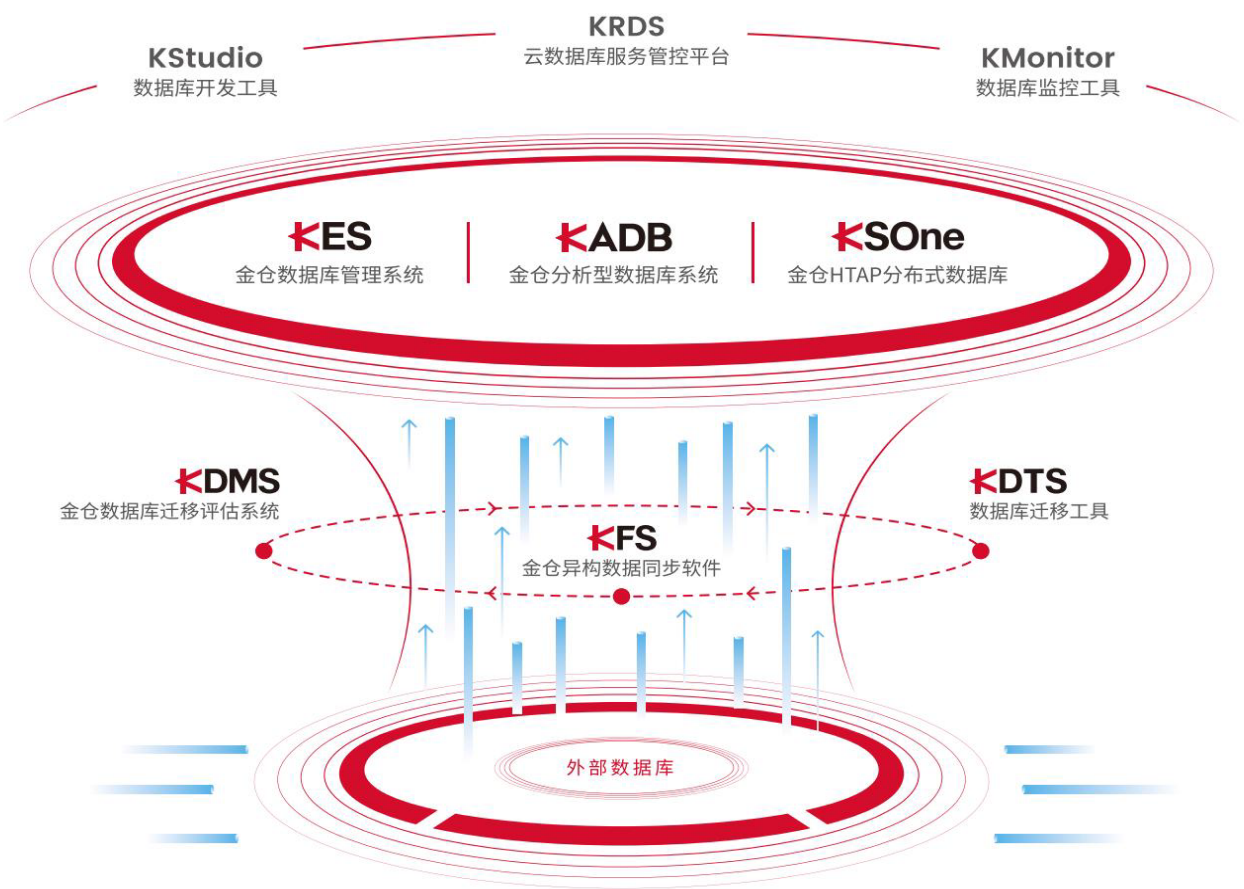
线缆管理解决方案

关注 & 联系我们:

www.legrand.com.cn
cn-serviceDC@legrand.com.cn
400-000-9697

legrand® CABLOFIL® CLEVER Raritan

成为世界卓越的数据库产品与服务提供商



KINGBASE™ 人大金仓

人大金仓依托40余年数据领域技术积淀与专家级服务团队，面向全国提供全方位的国产数据库产品与服务。涵盖丰富的数据服务功能和贯穿数据全生命周期的数据管理产品。以卓越的科技能力打造丰富的解决方案，构建开放共赢的生态环境，致力于成为世界卓越的数据产品与服务提供商！

ZWSOFT

中望软件，构建国产CAD软件应用生态圈

中望CAD是中望自主研发的国产CAD平台软件，性能稳定，运行快速，帮助用户高效完成各类设计工作；

与天正、探索者、品茗、飞时达、鸿业等主流专业软件商深度合作，提供全国产“中望CAD平台+专业应用”解决方案，帮助用户降低CAD应用成本，提高设计效率与质量。



中望官方微信公众号

中望软件

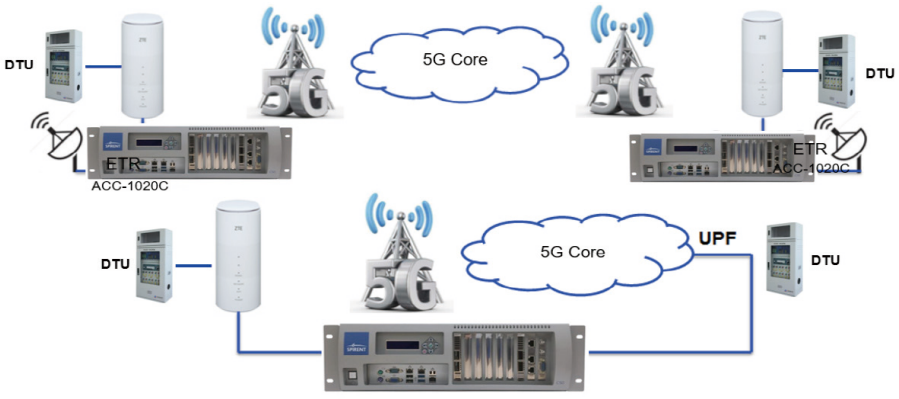
中望软件是中国CAD/CAE/CAM一体化解决方案主导者，专注于CAx自主核心技术超过20年，拥有广州、武汉、北京、上海、佛罗里达五大研发中心，致力于为全球用户提供可信赖的二维CAD及三维CAD/CAM、CAE软件和服务，产品畅销全球90多个国家和地区，正版用户突破90万。

广州中望龙腾软件股份有限公司
广州·北京·上海·武汉·重庆·佛罗里达·越南
邮箱：support@zwcad.com
网址：www.zwcad.com
咨询热线：4007-182-588

测试助力电力5G应用从实验室走向现网

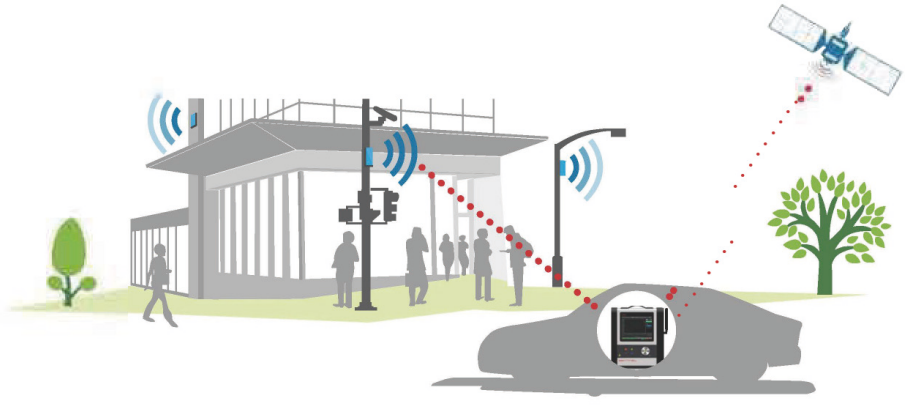
思博伦通信继电保护网络测试解决方案

帮助电力系统客户验证继电保护系统传输网络



电力5G空口授时现场测试仪Sentinel

Sentinel可以帮助电力业主精确测量基站与电力装置之间的时间误差，以确保它们满足3GPP及电力行业同步的要求。



www.spirent.cn

特性和优势

- 低噪音，适度尺寸，便于携带和外场测试。
- 通过直连、NTP、PTP、GPS和CDMA实现完整的机箱链接和外部计时同步，实现异地网络的高精度时延和抖动测试。
- 增强的丢包，时延和抖动统计，提供连续的丢包和大时延事件统计，在电力系统继电保护业务逻辑下，为传输网络是否能满足继电保护业务的要求提供准确的依据。

在基站OTA授时过程中，无线信道对授时的精度也会造成客观影响，如信号衰减、输入阻抗、多径传输和噪声都会严重影响同步精度。思博伦公司可以提供满足电力行业客户需求的信道模拟设备，并针对电力系统的信道环境和传播条件的差异性，进行定制化的无线信道模型开发，提高同步精度和授时精度，从而助力于电力行业5G授时现场验收和测试。

扫码关注思博伦通信

2021电力行业信息化年会

论文集

会议主题：推动行业数智转型 助力新型电力系统构建

■ 中国电机工程学会电力信息化专业委员会 | 主编

人 民 邮 电 出 版 社
北 京

内 容 提 要

在国际国内能源革命和数字革命融合发展的整体形势下，“碳达峰·碳中和”将为电力行业带来又一轮高速发展，机遇与挑战并存；以清洁能源为主体的新型电力系统，将为能源领域生态市场带来巨大的发展前景和想象空间。本论文集收录电力行业信息化技术领域内政府机关、科研院所、高等学校、企事业单位的教学、科研、工程技术和管理人员以及广大博、硕士研究生的具有较高学术水平的、能够反映电力行业信息化领域的热点、最新技术、研究进展和应用前景的论文。

本论文集可供高等院校相关专业的师生、电力信息化行业中的工程技术人员、全国信息通信网络技术管理领域的工程技术人员参考。

◆ 主　　编　中国电机工程学会电力信息化专业委员会
责任编辑　李彩珊

◆ 人民邮电出版社出版发行　　北京市丰台区成寿寺路 11 号
邮编　100164　　电子邮件　315@ptpress.com.cn
网址　http://www.ptpress.com.cn
北京时捷印刷有限公司印刷

◆ 开本：800×1230　1/16
印张：27　　2021 年 11 月第 1 版
字数：800 千字　　2021 年 11 月北京第 1 次印刷

定价：180.00 元

读者服务热线：（010）81055488　印装质量热线：（010）81055316
反盗版热线：（010）81055315
广告经营许可证：京东工商广登字 20170147 号

2021 电力行业信息化年会论文集

专家委员会

主 任 委 员： 李建成

副主任委员： 王继业　刘建明　胡红升　王志英　吕庭彦
杨富春　王聪生　吴张建　沈　亮

委　　员：（按姓氏笔画排序）

丁　涛　王　建　王少杰　王东方　王健斌
方　翎　曲朝阳　吕　韬　朱晓东　朱朝阳
齐　峰　江　华　许凌峰　孙从海　孙丕石
孙靖初　杜永胜　李建华　李美平　李继红
杨建军　吴文炤　邹来龙　张　利　张大国
林　峰　林为民　罗念华　金和平　庞松涛
郑贵德　房　方　赵　威　赵永柱　赵现军
赵建保　胡　曙　贺玉彬　钱天林　高昆仑
郭　浩　曹军威　崔恒志　曾　楠　董　杰

编辑委员会

欧阳述嘉　胡　威　王思宁　靳　莉　古　巍
蒋　月　李　颖　杨　菲　蒋　妍　张竞文
刘　攀　柳　絮　马　娜　杨　莹　王大垒
张志宏　宋亚琼

目 录

“双碳”目标下商业办公园区标准化低碳实践路径探索……许　剑，靳　莉，刘松阳，谷新姝 （1）

“碳达峰、碳中和”目标下省级碳监测平台系统方案研究与应用……卢艳艳，赵小萌，姜　丹，张鹏飞 （6）

浅谈5G网络在核电站的应用及发展前景……陈太全、贾奇智 （11）

浅谈5G网络在核电站的应用及发展前景……陈太全，贾奇智 （16）

IEEE 802.15.4g的MR-OFDM波形的降峰均比机制……赵哲，高岳达，牛　虹，鲁虎雄 （21）

IT集中监控管理平台的研究与实现……丛运龙，胡　辉，彭少华 （27）

浅谈VR技术在核电站数据中心日常运维中涉及的应用场景……潘　生，谢　增，程　芸 （34）

波束赋形技术研究与改进及其在电力应急通信中的应用……
……李骁睿，伍韵文，刘　春，吴华兵，汪子钧 （38）

大数据+AI在5G网络综合能源服务中的应用……杨　军，刘化召，李　盟，赵　涛，杨云霞，蔡　伟 （48）

大型企业在数字2.0时代视频监控系统新应用的构想……李胜亮，谢植琦，刘德滦，孙　萌 （57）

大型企业统一身份认证平台的建设及应用……于龄涛，黄天武，陈阳俊 （62）

典型用户电碳排放研究与应用……尹　飞，季　聪，孙　权，仲智颖，苏红莉 （69）

电力大数据安全审计技术框架研究与分析……连　晨，冯国聪，王　健 （74）

电力行业云网融合场景及关键技术研究……王怀宇，邵丹妮，李　岩，李雨泰，李济伟 （79）

电力系统大数据技术范式转换障碍和前景探讨……姜　丹，贺　月 （84）

分布式光伏快速发展形势下的的电网安全阈度分析……朱　涛，谢一工，张　鹏，雷　昊 （92）

分布式海量数据导出组件设计……胡竹青，汪　洋，张志鹏，林　峰，温鹏飞 （99）

分布式应用微服务下系统灰度发布设计与实现……陈　辉，戚文君，厉文婕（104）

风力发电设备发热隐患诊断及叶片劣化预警系统……张　华（108）

服务化在财务信息系统中的应用研究……王　晔，孙晓娟（117）

惯性技术在复杂工业厂房环境下的人员定位应用……阎　喆，万新朋，彭少华（122）

核电厂声警报系统架构优化升级设计……陈春色，张士帅（126）
核电领域智慧工地架构设计与创新实践……李湘蓉，朱士松（134）
核电站电网通信系统集中监控平台建设……杜　冲（139）
基于 5G 软切片方式承载的电力业务典型应用场景探索……郑　立，陆绍彬，郑文斌，徐前芧，薛　坚（147）
基于 HANA 与 HADOOP 的核电备件大数据平台的研究与实现……
……石子念、王春霖、张福全、张　峥、袁　凯、邵家安（153）
基于电力大数据的风电机组状态评估方法探究……万洪平，郑六玉，刘发炳，郭正红（161）
基于集群特性分析的分布式光伏异常识别方法研究及应用……
……张　静，陈　雁，万　泉，袁　葆，张　文，王翰林，张明珠，欧阳红，周　春（169）
基于区块链技术的分布式电源交易结算研究与应用……詹　伟，李瑞雪，查志勇（175）
基于区块链技术的核电工程电子文件数据交换创新与应用研究……张振雄，许建兵，刘鹤敏（181）
基于人工智能面部识别技术的交易信用管理体系研究……梁晓赫（188）
基于深度监督哈希算法的海量电网图片检索……
……陈智雨，蒋慧超，闫龙川，刘娇丽，邢海瑞，史　睿，刘迎迎，王丽君（194）
基于深度学习的混合预测模型及其微电网应用……熊根鑫，朱新坡，林　凡，王宇坤，屈昭阳（198）
依托数据中台的用采档案数据异动监测方法及其应用……姚渭箐，饶　强，袁嘉骏，刘德一（204）
基于物联网架构的生产大数据快速应用……王　翔，刘春晓（211）
基于消息中间件的企业移动审批中心设计与应用……胡竹青，张志鹏，林　峰，唐立合，刘　宁（217）
基于优化 BP 神经网络的电力舆情风险评估模型……刘月灿，王怀宇，窦祎楠，孙建刚，董耀众（224）
基于云编排的物联 App 柔性开发平台研究与实现……
……黎亦凡，马琴琴，杨熙载，郭一鸣，蒋伟强，任晓龙（229）
基于云计算的平台应用双活、多活研究与设计……
……孙建刚，刘月灿，王怀宇，张靖雯，窦祎楠，韩淑宇（236）
基于知识流的电力设备知识运营思路……张兴富，郭文钧，夏志鹏，杨　勇（245）
基于智能电网故障定位的终端数字化安全管控技术……庄　莉，梁　懿，王秋琳（249）
基于智能调节优化的数据中心制冷算法研究……
……宋　杰，贾　涛，张林锋，李　扬，欧阳述嘉，陈学真，刘　超，冯　睿，张亚雄（255）
计及用户用电和配电自动化信息接入的配电网 调控技术支持系统架构及关键技术研究……
……于天蛟，王泽一，肖阶平，曲绍杰，史坤鹏（259）
浅谈计算机信息安全技术与防护措施……陈　荣，伍泽军（264）
面向电力调度与设备领域的智能知识搜索方法……王佳秋，孟令跃，胡学勇，王瑞杰（268）

面向电网信息化项目建设领域知识服务体系构建浅析…… 李　斌，沈世豪，郭文钧，王瑞杰（275）
深度学习视觉原理及其在企业中的应用 …… 刘文清，陈小惠，易衍孜，姚　程，于　超（279）
实时查询技术研究与验证 …… 马吉科，李叶飞，尹　飞，孙　权，帅　率（285）
视频会议系统的云网融合应用 ……高　鹏（290）
数据中心智慧化实践 ……张林锋，欧阳述嘉，李　扬，冯　睿，贾　涛，宋杰（296）
数据中心资源管理系统研究与设计 ……
……孙天勇，张林锋，欧阳述嘉，李　扬，贾　涛，宋　杰，张亚雄，李云爽，卢丽云，陈学真（300）
水电气热多表合一抄收系统信息安全防护方案…… 李志超，江再玉，石文娟，马　晶，康有淞（306）
物联网智能融合签章工作台的设计与实现 ……杨德胜（312）
新能源大数据汇总及分析的优势 ……王　琪，马　进（321）
新型电力系统下分布式储能应用研究 …… 魏志丰，刘海阳，苏红莉，陈新宇，王宇迪（328）
一种建设中央企业三重一大管理信息系统的方案…… 管庆华，陈　朗，秦　沛，李　柯（333）
一种数据中心制冷系统节能运行策略的设计与实践……
……贾　涛，宋　杰，张林锋，李扬，贾平、欧阳述嘉，冯　睿，张亚雄、陈学真（340）
用户侧电碳排放指标体系构建及典型场景应用…… 季　聪，尹　飞，孙　权，戚文君，苏红莉（345）
南瑞云数据中心低碳节能技术探索与实践 ……顾　宇，宋　文，周晓虎（350）
支撑新型电力系统建设的信息通信创新能力评价指标体系…… 那琼澜，苏　丹，杨艺西，贺惠民（357）
大型电力企业集团网络安全威胁情报管理体系的研究与实践……
…… 陈伟雄，杨晓晨，春增军，李若兰，张　华（362）
电力科技图谱柔性构建方法 ……刘文松，胡竹青，张锦辉，刘雪菁，林　峰，俞　俊，徐一丹（363）
电力企业实时数据治理框架研究及设计 ……
……庞武华，王智微，王　毅，李　郁，丁　辉，张宪岭，邱国梁，李　华（364）
基于 i.MX6Q 的低压配电台区智能终端关键模块的设计与实现
……佘文魁，刘田豹，李　孜，周　平，王靖杨，徐升辉，叶鑫平（365）
基于北斗定位的变电站作业人员行为安全管控系统……
……蒋　晨，郑　立，潘捷凯，陈　铭，王小芳，杨　森，王自升（366）
基于边缘计算的智能电网实时监测策略 …… 李　航，董永乐，殷　超（367）
基于无监督聚类和频繁子图挖掘的 电力通信网缺陷诊断与自动派单……
……吴季桦，朱鹏宇，吴子辰，顾　彬，洪　涛，王　晶，王敬宇（368）
基于用电行为分析的绕越窃电识别研究 ……
……万　泉，袁　葆，刘辉舟，张　文，陈　雁，闫富荣，张　静，欧阳红，周　春（369）

基于知识库的制造业能耗优化平台技术研究……杨伟伟，王思宁，郑贵德，宋亚琼（370）
基于知识流的物联感知 ……祝文军，王思宁，高晓欣，郑　倩（371）
基于注意力机制与 YOLOv3 的电力表自动读数算法……张　俊，杨　光，胡东升，胡志凌，王南勤（372）
适用于配电物联网边端侧的数据安全机制设计与实现……
……张程程，许晶，李琨，袁艳芳，张磊，李艳超，王振林（373）

“双碳”目标下商业办公园区标准化低碳实践路径探索

许剑，靳莉，刘松阳，谷新姝
（北京中电飞华通信有限公司，北京 100160）

摘　要：在国家提出“碳达峰、碳中和”背景下，商业办公园区作为城市重要组成部分，其低碳化建设对“双碳”目标的推进具有重要意义。提出了一种面向商业办公园区标准化的“云管边端”低碳建设架构，以低碳和经济为两个核心建设目标，以能效提升、智慧管理、绿色低碳为切入点，以园区数字化、智慧化的能源生产、储存、供应消费和管理服务为建设主线，探索园区“碳中和”计量、建设及运营一体化的实践路径，为其他商业办公园区低碳化建设提供参考。

关键词：商业办公园区；低碳建设；电能替代；多能协调；能效提升；碳运营

1 引言

随着环境问题日益引起全球的广泛关注，国家提出了“双碳”目标，建筑楼宇的低碳建设也呈现出新的特点和趋势。英国贝丁顿零碳社区通过低碳建材的选用以及低碳采暖系统和可再生能源系统的采用实现了运营过程中能源系统的零碳排放[1]；中国上海近零碳办公楼虹桥迎宾馆 9 号楼项目通过围护结构热工性能的加强、自然采光及通风、导光管利用等被动式技术的优化及 LED 灯具、高能效冷热源机组、排风热回收技术、光伏发电系统，以及智能集成控制系统等技术措施的采用实现低碳排放[2]；中国宁波诺丁汉大学可持续能源技术研究中心是中国第一幢零碳排放的节能大楼，大楼通过高性能围护结构、蓄热体、日光及太阳光控制、塔楼的自然通风、试验室和加工间的管道通风等设计战略，使楼宇能耗最小化，基本实现大楼能源的自给自足[3]。一方面国内外低碳技术在标准化的商业办公园区的应用案例较少，同时低碳技术的应用场景差异化较大、适用性较低；另一方面现有案例及技术未充分考虑市场经济性指标，对于大范围推广应用存在一定难度。本文提出了涵盖园区碳计量、碳减排、碳运营综合低碳建设模式，围绕经济、低碳核心要素形成标准化建设案例，对于未来大范围在商业办公园区推广应用具有重要意义。

2 园区碳计量

2.1 园区碳计量范围

园区碳排放计量范围在商业办公园区场景下，包含直接二氧化碳排放活动及间接二氧化碳排放活动两部分。其中，直接二氧化碳排放包括固定源燃烧排放、移动源燃烧两部分；园区间接二氧化碳排放包括外购电力、热力的消耗等[4]。

2.2 园区碳计量方法

在传统办公园区，园区内二氧化碳排放设备基本包括冷热源设备、办公设备、生活家电等，二氧化碳排放单元工艺原理相对简单，投入或产出的物质基本以电为主，碳含量较恒定，二氧化碳排放设备之间关系明晰[5]。因此综合比较针对传统办公园区间接二氧化碳排放选择排放因子法测算。计算式如式（1）所示。

$$AE=AD\times EF \quad (1)$$

其中，AE 为园区二氧化碳排放量，单位为吨二氧化碳（t-CO_2）；AD 为二氧化碳排放活动数据，单位为吨（t）或万立方米（10^4m^3）；EF 为排放因子，单位为吨二氧化碳/吨（t-CO_2/t）或吨二氧化碳/万立方米（t-CO_2/10^4m^3）。

整个园区内二氧化碳排放总量包括间接二氧化碳排放量和燃烧活动二氧化碳排放量计算参照式（2）。

$$AE_{e\,总}=AE_{com}+AE_e \quad (2)$$

其中，AE_{com} 为燃烧产生的二氧化碳排放量，AE_e 为外购电力、热力导致的间接排放量，单位为吨二氧化碳（t-CO_2）。

2.2.1 燃烧活动碳排放测算

针对传统办公园区燃烧活动，由于园区没有实测燃料的元素碳含量[6]，因此商业办公园区燃烧活动二氧化碳排放计算可选择热值法，方式如式（3）所示。

$$AE_{com}=\Sigma（AD_{j,l}\times Q_{j,l}\times EF_{j,l}\times 10^{-6}）\quad（3）$$

其中，AE_{com} 的单位为吨二氧化碳（t-CO_2）；AD 为活动数据，即燃料使用量，单位为吨（t）或万立方米（10^4m^3）；Q 为低位发热量，单位为兆焦耳/吨燃料（MJ/t）或兆焦耳/万立方米燃气（MJ/10^4m^3）；EF 为排放因子，单位为克二氧化碳/兆焦耳（g-CO_2/MJ）；10^{-6} 为质量单位克与吨的转换系数；j 为企业（单位）整体或者不同二氧化碳排放单元、二氧化碳排放设备，与排放范围识别结果相关；l 为燃料的种类。

2.2.2 间接碳排放测算

外购电力、热力间接二氧化碳排放的计算使用式（4）。

$$AE_e=\Sigma（AD_{e,k}\times EF_{e,k}）\quad（4）$$

其中，AD_e 为活动数据，即净外购电力、热力的使用量，单位为万千瓦时（10^4kWh）或百万千焦（GJ）；EF_e 为外购电力、热力排放因子，单位为吨二氧化碳/万千瓦时（t-CO_2/10^4kWh）或吨二氧化碳/百万千焦（t-CO_2/GJ）；k 为电力或热力。

2.2.3 园区绿植减排测算

根据台湾学者林宪德在其编著的《绿建筑解说评估手册》中指出城镇绿化中常见的 7 种种植类型，可根据式（5）确定不同种植类型 P_i 及所对应的面积 A_i 或面积比例[7]，进行求解计算。

$$C_s=\sum_{i=1}^{n}A_i\times CP_i\quad（5）$$

其中，A 为不同绿化类型种植面积(m^2)，P 为绿化种植方式，CPi 绿化种植方式 40 年总固碳量(kg/m^2)，C_s 为规划范围绿植 40 年总固碳量(kg 或 T)。

3 园区碳减排

3.1 建设架构

本文提出一种面向商业办公园区的标准化“云管边端”低碳建设、运营、管理架构。平台层边缘层和网络层建设作为园区“碳中和”建设重要支撑工具，按需打通园区设备层与平台层通信壁垒，打造整个园区的能源感知传输网，快速实现园区供应侧和需求侧信息交互快速通畅、安全可靠。终端设备层作为实现重点，结合园区现状主要涵盖低碳能源、低碳交通、低碳建筑建设 3 部分，整体架构如图 1 所示。

碳生态平台基于云计算技术的能效管理系统，将物联网、大数据与能源管理工作相结合，在能源需求侧与供应侧建立有效的、按需使用的能源管理和利用体系，变被动为主动，大幅度提高能源的利用效率，避免能源的无效浪费，有效发掘建筑运行过程中的节能潜力，为园区人员提供安全、舒适的环境。

监测中心通过物联网技术，采集办公区域温湿度、

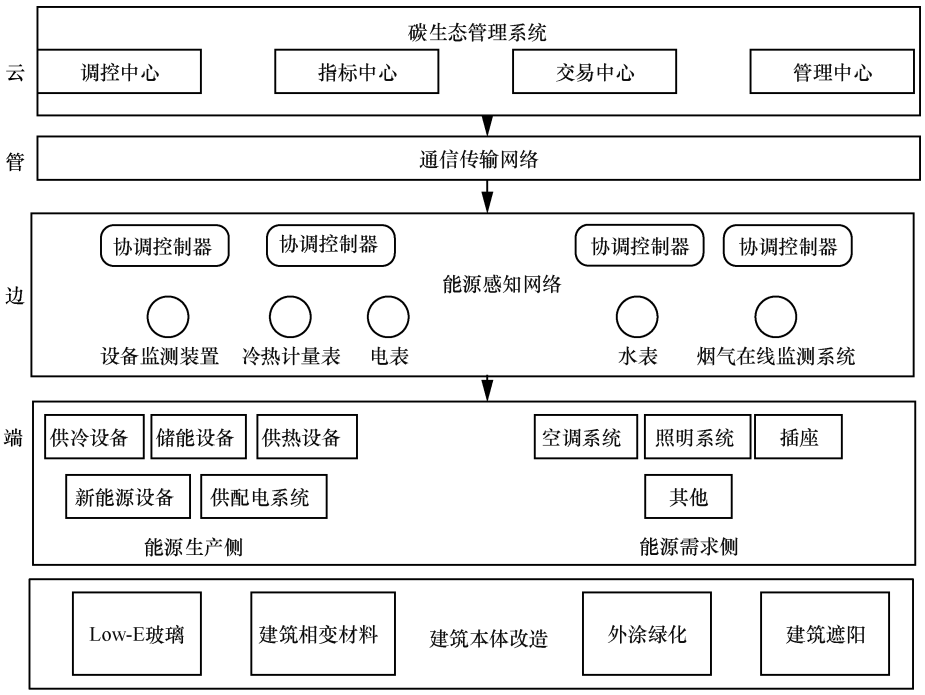


图 1 “云管边端”低碳建设架构

照度、人数、CO_2 浓度等舒适性相关参数，以及各类暖通空调、灯管、泵、锅炉或其他供能设备的运行参数，通过园网络传输至平台侧，再结合可视化技术，开展碳流分析，基于多能流潮流计算结果和不同能流的碳强度，计算园区内源、网、荷不同环节的碳流，追踪碳从外部电网、油气资源到终端负荷的碳足迹，找出主要的碳排放环节，形成园区内的碳热力图，为降碳决策提供重要依据[8]。

调控中心基于建筑自控系统各类用能及供能设备的自控控制基础，根据冷热源特性，结合用户需求、负荷预测、产能预测、历史数据等，可以实现园区能源的综合调控。首先，调控支持日程表控制，例如空调、暖气的定时开关，支持参数控制，事先设定各类设备参数的阈值，当参数达到某种阈值时自动启停设备。其次，通过人工智能算法，可以对大量历史和实时数据进行分析，从而判断或预测用户的实时需求和设备的最佳运行状态。系统最终形成 24 小时日前调度计划，每天 23 点由系统自动下发；并在日前调度计划基础上，根据实际运行情况，进行小时级自动纠偏，实现对冷、热、电、热水等多种能源的优化运行，为用户提供安全、舒适、便捷高效的工作与生活环境，并使整个系统和其中的各种设备处在最佳的工作状态，从而延长能耗设备寿命、减少管理成本、降低建筑物整体能耗。

交易中心可实现对园区的碳资产进行管理，包括碳配额、碳排放、碳汇、碳交易等相关数据的计算和展示，分析碳资产的流水，模拟不同措施下的碳资产变化情况。集成碳交易市场信息，预测碳市场未来的走势；根据园区自身的碳资产和预期，为碳交易提供辅助决策，比如购买的碳数量、购买的时间等，从而减少总体交易成本。

3.2 低碳能源

低碳能源目标是提高园区能源供应和管理水平，有效降低能源使用和运维成本，通过充分利用人工智能、物联网、云计算等先进技术，确保园区自动化、数字化、可视化等智能化水平不断提升，使能源的供应、管理、运维、使用等各环节不断优化，实现能源供应侧与需求侧的友好协调互动，做到园区供能侧“供得好”，用能侧“用得少”，全面提升园区能效水平。

3.2.1 能源供应侧减排

建筑供能侧改造是目前综合能源服务的焦点，园区的能源供应包括电、热、冷、气等[9]。主要减排方式包括供配电系统优化、新能源建设、多能联合供应等手段。其中，供配电系统通过开关、导线、变压器等设备进行传输的过程中，会产生有功、无功功率等功率损失，通过优化供配电系统的方式减少功率损失；新能源建设方面，可结合地域特性以及空间，通过新建分布式光伏、风电等新能源设施，配合储能系统实现电力的自主可控供应；多能联合供应方面，园区热需求可通过锅炉、热电联产、光热、热泵配合储热供应；园区冷量通过压缩式或吸收式制冷机或冷热电联产供应[10]。

3.2.2 能源需求侧减排

为确保不影响园区工作人员的正常办公生活，能源需求侧减排可从建筑内部暖通空调、照明系统等用能设备着手。针对建筑供冷热系统，一是提高管道保温系数，降低传输过程中能量损失；二是调节管道系统水力平衡，辅以高效的变频节能泵，降低泵的能耗损失，同时为水流量及供回水温度提供物理手段，后续可结合物联感知系统、建筑自控系统，以需定产、按需供应。针对建筑空调通风系统，配置联网温控系统以及物联感知系统，可根据室内室温需求，自动调节送风状态，降低送风与室内温差，以达到节能效果。

针对建筑照明系统，可优先采用 LED 灯管替换老旧高能耗灯管，辅助配置可调节照度照明技术，基于信息化手段以及物联感知系统，实现按需调节、控制灯光启停和亮度。

3.3 低碳建筑

低碳建筑改造方式主要面向园区建筑围护结构进行改造，涵盖建筑墙体屋顶等围护结构的保温、建筑相变材料、建筑外涂及绿化以及建筑遮阳等方面，针对已建的商业办公园区，建筑维护结构、建筑外涂及绿化以及建筑遮阳等手段会在一定程度上影响建筑美观，同时改造成本较高，因此大多选择相变材料在建筑内部开展低碳化改造。在建筑内部墙体部分或天花板，增设相变材料（phase change material，PCM），可有效将建筑本体维持在一定温度范围。相变蓄能是一种利用相变技术进行热量转换从而达到降低能源消耗和碳排放的新型建材。其最大特点为在不使用电源或极少使用电源的情况下使建筑物局部空间温度达到恒温状态，起到环保节能的作用[11]。

3.4 低碳交通

低碳交通运输是一种以高能效、低能耗、低污染、低排放为特征的交通运输发展方式，其核心在于提高

交通运输的能源效率，改善交通运输的用能结构，优化交通运输的发展方式，最终减少以传统化石能源为代表的高碳能源的高强度消耗。新能源汽车作为高度灵活的移动储能单元，未来将在调整园区用电负荷、改善电能质量、消纳可再生能源方面发挥一定潜力[12]。

4 园区碳运营

开展园区碳运营的目的是优化项目建设成本与投资回报期，确保未来在经济可行下开展低碳建设，大范围辐射商业办公园区，基于清洁能源消纳、能效提升、能源市场交易、碳配额交易等场景形成利润增长点[13]。

（1）清洁能源消纳

传统办公园区场景下，在楼宇屋顶、墙体外围、空余场地建设分布式能源，可利用源网荷储协调互动网络，基于园区用能需求和分布式能源资源禀赋，通过“削峰填谷”等模式提升清洁能源利用效率，避免弃风弃光等现场。

（2）电网供需互动

基于政府或国网公司政策约束、价格激励等方式，园区可作为负荷集成商参与电网平衡优化，产生经济效益。通过调节柔性负荷来增减产量及能源的消耗量，参与需求响应工作，实现各方互动以达到削峰填谷、缓解电力缺额等调控目标，进而获得政府的相关补贴收益。

（3）园区能效提升

调整园区内高能耗、粗放型的能源消费方式，形成节约高效的能源消费体系，降低园区能源消费成本。通过园区主动及被动节能改造，实现能源消费的智慧化、精细化管理，提高资源配置效率，从而达到提高能源效率、降低用能成本的目的[14]。

（4）能源市场交易

通过打通能源生产、传输、转化、存储、消费等各个环节，获取电力市场交易需求，参与电力市场分布式能源交易，挖掘能源的商品属性，获取额外收益。

（5）碳交易

碳排放配额作为一种商品，对于某些企业来说，政府发放给企业碳排放额无法满足企业的需求，可以参与市场碳交易，通过在市场上买卖剩余指标从而获利[15]。

5 园区试验案例

5.1 园区基本情况

为验证“云管边端”低碳建设方案有效性与经济性，选择南京市某园区，根据园区实际现状开展“低碳建设”。该园区位于江苏省南京市，整体面积 22 万 m^2，园区建筑面积 8 万 m^2，绿化面积 8.69 万 m^2，绿化率 39.5%，包括商业办公楼宇 5 栋，可容纳 2000 余名员工的工作。据建筑设计研究院测算该园区设计供冷量约为 2010.645 万 kWh，设计供热量 981.882 万 kWh，非暖通能耗约束值 760 万 kWh，根据 GB / T 51161-2016《民用建筑能耗标准》[16]，相较于一般园区，整体耗能水平较高。参考碳计算式（1）～式（5），园区整体碳排放 14088.02 t-CO_2，绿植碳汇 2663.00 t-CO_2，按照“零碳”排放标准，仍需中和 11481 t-CO_2。

5.2 园区建设成效

基于园区现状，按照标准化方案开展了“云管边端”低碳建设。通过低碳化建设，测算减排 11535.37 t-CO_2，实现了园区真正意义的碳中和。详细参照表 1。

为了考虑项目后续为其他园区提供可复制可实施样板，针对经济性进行了综合分析，按照第 3 节，碳运营商业模式获取项目收益。能效提升方面，暖通系统年节约 334.37 万元（原有为集中供暖，单价“40 元/平米”）。碳交易方面，参考当前 49.00 元/吨的费用，考虑当前园区减排 30%可作为碳配额交易，可交易 3460 t-CO_2，年度可交易金额 16.957 万元。参考《国家发展改革委关于 2021 年新能源上网电价政策有关事项的通知》，全容量上网，分布式光伏及风电上网，上网电价按照每千瓦时 1.05 元执行，分布式能源年发电量为 678.26 万 kWh，上网收益为 712.173 万元。电网供需互动方面，总计可响应容量 1082.5 kW。获取约 1.08 万元。总计收益约 1064.91 万元，投资回报期约 8.03 年，具备一定经济效益。

6 结束语

本文以南方某园区为实际案例，按照低碳建筑、低碳生活、低碳交通、低碳能源建设思路，围绕能效提升、调往互动、能源交易、碳交易等商业模式，在实现该园区碳中和基础上，投资汇报期为 8.03 年，具备一定经济效益。未来面向其他园区低碳化建设，可借鉴模式：一是由于电力碳排因子相比煤、石油等较低，建议园区具备条件情况下推广 100%的电能替代，包括暖通系统、用车、炊具等，此部分可大幅减少园区碳排放；二是在保证园区绿化率基础上，可充分利用园区屋顶、屋外、外墙等空余地点建设清洁能源；三是根据园区冷热负荷需求，可建设多能源协调供应

表 1　园区减排实施方案一览表

减排方式	园区原状	减排措施	减排效果/t-CO_2	项目投资/万元
低碳能源	供热为集中供暖，选择热电联产燃煤机组	配置基载冷水机组（制冷量 2461 kW）、地源热泵系统（制冷量 4900 kW、制热量 4922 kW）、蓄热式电锅炉系统（制热量 6568 kW、有效蓄热量 88 GJ）	4675.69	4500
	供冷选择螺杆机组			
	室外空地	新建 4 台 500kW 风力发电机组	2775.52	1600
	原屋外空地约 25300 平米	新建光伏发电 2 728.5 kWp	2596.98	954.975
	原屋顶及建筑外围可用空余空间 18000 平米	铺设单晶硅及薄膜光伏发电系统（装机容量 1009 kWp）		451.8
	储能系统	储能微网系统（储能容量 50 kW×4h）	/	40
	照明	针对园区内 440 个公共照明区域路灯进行改造风光一体化路灯	101.78	24
		地下车库照明及公共办公区域照明灯 5500 支，改成 LED 微波照明控制	947.14	66
智慧管理	原能源系统管理处于粗放式状态	部署了综合能源运行调控平台作为调度控制中枢，通过调峰调蓄、优化调度、协调控制等运行策略，以需定产，实现对园区冷、热、电、热水的统一调度、综合分析和优化管理，保障能源供需平衡	参考冷暖系统	300
低碳交通	原交通方式为油车	替换 9 辆公务油车为新能源汽车	438.26	45
低碳建筑	无	铺设 5.406 万平方米相变储能毯	参考冷暖系统	480
合计			14198.37	8551.775

的综合能源供应网络，配合多能协调调控系统，在保证园区用能舒适度基础上，可以大幅降低园区冷热消耗。

参考文献：

[1] 罗求生, 曾文静. 低碳社区建设及其实践: 以英国贝丁顿“零碳社区”为例[C]//2018（第十三届）城市发展与规划大会论文集. 苏州:[出版者不详], 2018: 1587-1594.

[2] 李梦惜. 夏热冬冷地区近零碳排放建筑实践[J]. 空调暖通技术, 2018(4): 29-34.

[3] 吴韬, 郭晓晖, 邢晓春, 等. 能源自给自足的绿色办公楼: 宁波诺丁汉大学可持续能源技术研究中心[J]. 建筑学报, 2008(10): 84-87.

[4] 翟吉人, 贾志慧, 张汇. 我国碳交易试点地区化工行业碳排放量核算方法比较分析[J]. 环境与可持续发展, 2018, 43(2): 31-35.

[5] 熊丽君, 罗运有. 公共建筑二氧化碳排放信息统计核查方法研究[J]. 低碳世界, 2017(33): 315-316.

[6] 伍品, 杨英霞, 王智超. 深圳市非政府办公建筑能耗特性分析[J]. 建筑节能, 2015, 43(5): 96-100.

[7] 朱凯, 张倩倩, 武鹏飞, 等. 城市绿地碳汇核算方法及其研究进展[J]. 陕西林业科技, 2015(4): 34-39.

[8] 郝为民. 一种基于可视化界面和物联网技术的智能用能需求侧管理平台[J]. 中兴通讯技术, 2012, 18(3): 11-15.

[9] 李夫宝, 李明轩. 园区综合能源服务各利益方诉求和耦合关系研究[J]. 电力需求侧管理, 2020, 22(4): 62-65.

[10] 交能网. 综合能源的一角—如何提高(园区)建筑能效？[J]. 2019.

[11] 李晋文, 朱能. 我国历史风貌办公建筑节能改造评价模型建立及案例分析[J]. 暖通空调, 2018, 48(3): 101-106.

[12] 夏阳, 韩皓. 低碳经济要求下运输发展模式浅析[C]//构建生态人文交通 促进经济跨越发展——第十九届海峡两岸都市交通学术研讨会论文集. 贵阳:[出版者不详], 2011: 107.

[13] 朱君, 孙强, 冯蒙霜, 等. 工业园区综合能源服务商业模式研究[J]. 电力需求侧管理, 2020, 22(2): 67-71.

[14] 戚艳, 刘敦楠, 徐尔丰, 等. 面向园区能源互联网的综合能源服务关键问题及展望[J]. 电力建设, 2019, 40(1): 123-132.

[15] 姚红迪. 碳交易背景下能源市场机制研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2018.

[16] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 民用建筑能耗标准: GB/T 51161—2016[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016.

“碳达峰、碳中和”目标下省级碳监测平台系统方案研究与应用

卢艳艳，赵小萌，姜丹，张鹏飞
（国网河北省电力有限公司 信息通信分公司，河北 石家庄 050000）

摘　要：在“碳达峰、碳中和”目标背景下，依托河北省省级能源大数据中心“智慧绿能云”建设成果，聚焦碳排放、碳汇等动态监测难题，充分发挥电力媒介作用，开展 “碳达峰、碳中和”监测应用，从时域、地域、行业3个维度对地区碳排放、碳减排、碳汇进行实时“全景画像”，形成碳排量、减碳量与电力的映射关系，精准反映不同时空下全社会实时碳排、碳汇水平，助力政府实时精准掌握区域“碳达峰、碳中和”进程与实施成效。

关键词：能源数据；碳排放；以电折碳；动态监测；全景画像

1　引言

当前，河北省正处在经济转型关键期和城镇化转型加速期，受能源结构和产业结构影响，河北省年碳排放量、人均碳排放和碳排放强度分别排名全国第 3 位、第 6 位和第 5 位，整体碳排放在全国属于较高水平，减碳压力较大。电力、天然气在用能高峰时期、时段仍存在较大保供压力，河北南网“硬缺电”问题突出。鉴于此，国网河北电力主动对接政府相关部门，创新构建 “碳达峰、碳中和”监测平台，为河北能源转型、绿色发展，率先实现“碳达峰·碳中和”提供精准量化数据支撑。

2　思路与目标

2.1　建设思路

依托“智慧绿能云”平台，以以电为核心，探索建设碳数字产品与服务。通过逐步实现煤、电、油、气多种能源数据汇聚融合、共享交换和挖掘分析，面向与“碳排放、碳汇、碳减排”相关的政府决策、社会治理、智慧用能等方面的需求，构建典型应用场景，以“智慧绿能云”平台为基础，实现多维度“双碳”实时监测，支撑政府进行“双碳”治理。

2.2　建设目标

围绕河北省“碳达峰、碳中和”目标，坚持以电为媒介，用“电语言”连接各行各业，利用以电为中心的能源互联网，从时域、地域、行业 3 个维度对河北地区碳排放、碳减排、碳汇进行实时“全景画像”，形成碳排量、减碳量与电力的映射关系，科学评估全社会实时碳排水平并开展趋势预测与推演，为政府和相关方可及时了解和掌握各地区、各行业的碳排放情况和全社会“碳达峰、碳中和”进程，为统筹与控制碳排放量提供精准量化支撑。

3　总体框架

依托公司数据中台，构建各行业、各地区的碳排放监测、碳汇监测、碳减排计算等系列“以电折碳”数据模型，支撑全省总体“碳达峰、碳中和”进度展示以及地区、行业等不同维度的碳排放监测、碳汇监测、碳减排监测数据模型开发及数据变化趋势分析。

系统设计工作主要针对业务现状进行需求调研，根据实施方案进行功能设计、根据技术规格说明书进行详细设计。共设计 4 项一级功能，包括 25 项二级功能，其中包括碳达峰、碳中和总体规划、碳排放监测功能、碳汇量监测功能、碳减排监测功能等。省级碳监测平台总体框架如图 1 所示。

（1）碳排方面，依托“智慧绿能云”平台（省级能源大数据中心），对全社会用电量进行细化筛选，根据各类企业生产工艺和经营特点，建立用电量与煤、油、气等能源数据的数学关联关系，实现监测一定时间维度（年、季、月、日、实时）的企业能源消费情



图 1　省级碳监测平台总体框架

况，并折算二氧化碳排放。

（2）碳汇方面，收集整理气象、生态环境等数据，如森林覆盖率、环境质量等。根据生态环境中的海洋、森林、草原、湖泊和 CCUS 技术碳汇能力，分析河北南网碳汇水平。

（3）雄安新区碳排放监测平台，以雄安新区各片区为单位开展碳排、碳汇监测分析，结合片区开发目标及碳排放特点，提出针对性减排策略。

（4）碳排放监测平台展示中心，省公司本部、营销服务中心、国网河北经研院、国网雄安新区供电公司。

3　主要内容

3.1　以需求为导向，构建双碳监测体系

聚焦区域发展、重点行业、高耗能用户等对象，深入开展书面和现场调研，构建“全-准-快-细”双碳监测体系，搭建“电-能-碳”、自然碳汇及新技术碳汇系列测算模型，分区域、分行业跟踪监测碳排放、碳减排、碳汇发展动态，实现各行业碳排放、自然及新技术碳汇和源网荷环节减碳的全方位监测和预测，辅助政府全景掌握区域碳排放情况、统筹控制整体减排水平、及时了解全社会“双碳”进程。省级碳监测体系如图 2 所示。



图 2　省级碳监测体系

3.2　联合攻关算法，建立 “电-能-碳”映射关系

通过对国民经济一、二、三产重点行业，森林、草原、海洋等重要碳汇源的能源供给和需求侧减排数据分析，搭建 78 个算法模型。

3.2.1　碳排模型

对 63 个行业生产工艺和用能特征进行深入分析，研究各个因素对数据结果的影响程度，将测算结果与“十三五”期间河北省碳排放总量进行回算校对，整体碳排放测算误差在 5%以内，最终形成不同行业“电-能-碳”映射，实时监测、精准预测各行业碳排放情况。

二氧化碳排放包含河北省（区、市）行政区域内化石能源消费产生的二氧化碳直接排放，以及电力调入蕴含的间接排放。

$$CO_2=CO_{2,直接}+CO_{2,间接} \quad (1)$$

（1）能源活动的直接二氧化碳排放量可以根据不同种类能源的消费量和二氧化碳排放因子计算得到，即：

$$CO_{2,直接}=\sum A_i \times EF_i \quad (2)$$

其中，A_i 表示不同种类化石能源（包括煤炭、石油、天然气）的消费量（标准量）。各种能源折标准煤参考系数以各年度《中国能源统计年鉴》附录为准。EF_i 表示不同种类化石能源的二氧化碳排放因子，采用最新国家温室气体清单排放因子数据，其中煤炭为 2.66 吨 CO_2/吨标准煤，油品为 1.73 吨 CO_2/吨标准煤，天然气为 1.56 吨 CO_2/吨标准煤。

煤、油、气等化石能源消费活动主要包含能源生产与加工转换、农业、工业和建筑业、交通运输、服务业及其他居民生活。结合河北南网实际能源活动具体到企业并由电力消费情况测算能源消费情况。

（2）电力调入蕴含的间接二氧化碳排放量可利用本省（区、市）境内电力调入电量和国家推荐的煤电、气电二氧化碳排放因子计算得到，即：

$$CO_{2,直接}=\sum A_e \times EF_e \quad (3)$$

其中，A_e 表示由电网公司提供的煤电、气电和非化石能源电力调入量，EF_e 表示国家推荐的煤电、气电等电力二氧化碳排放因子。其中，煤电排放因子为 0.853 吨 CO_2/MWh，气电排放因子为 0.405 吨 CO_2/MWh。调入非化石能源电力的，其相应的调入电力二氧化碳排放计为 0。

河北省是第一钢铁大省，钢铁年能耗在 2 亿吨标煤左右，占全部能源消耗比重达到 50%~60%，也是碳排放的重点行业。根据原料的不同钢铁生产工艺可分为长流程炼钢和短流程炼钢两类。长流程炼钢主要能耗为煤炭，高炉炼铁、矿石烧结环节用能较高，两者占比分别超过 70%和 10%，碳排放占比约占 85%。短流程炼钢主要能耗为电力，利用电弧炉将废钢炼制为粗钢，可节省超过 70%能耗和 80%废气排放。

由工艺、用能特征分析可知，钢铁制造电力与化石能源消费密切相关，应用统计回归的数理统计方法，建立一个相关性较好的指数拟合模型，用于预测今后的变化趋势。黑色金属冶炼及压延加工业中煤炭消费与电力消费的拟合曲线如图 3 所示。

数理统计中，通过决定系数 R^2 或剩余标准差 S 判断回归方程选取的优劣。决定系数 R^2 越大，说明残差越小，回归曲线拟合越好，由拟合结果可知钢铁制造业中以电折算化石能源消费具有较高的可信度。

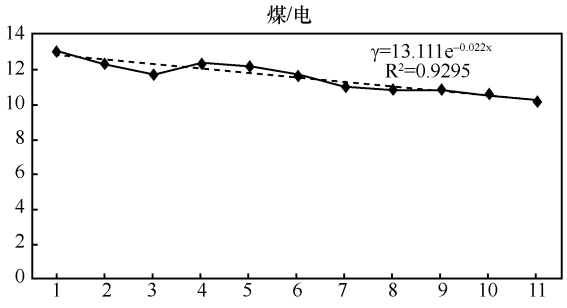


图 3　煤炭消费与电力消费的拟合曲线

3.2.2　碳汇模型

充分考虑了外界环境因素影响，采用“煤改电”用户用电、光伏电站出力等数据归一化处理后模拟替代温度、光照等实时数据的方式，测算精度较天气预报精准。通过构建碳汇测算模型，测算区域内历史和未来年碳储量。该模型的研究路径为基于历史年森林、海洋、草原、湿地、农田等碳吸收情况以及 CCUS 新技术，测算历史年碳汇量。基于此，建立时间序列模型，最终实现碳汇量的统一量化和精准预测。

以 CCUS 碳汇计算为例：

度电 CO2 排放量（kg/MWh）=标准煤耗率×二氧化碳封存效率×二氧化碳利用效率×44/12；

CCUS 碳汇量=发电量(MWh)×度电 CO2 排放量（kg/MWh）×二氧化碳捕集效率/107；

3.2.3　减碳测算模型

减碳是指在某些领域使用电力设施替代传统用能设施、清洁能源发电及区外特高压清洁能源输入等形式，达到减小碳排放量的目的。基于区域内源网荷环节的减碳量的测算结果，建立时间与区域减碳量的时间序列模型，为制定节能减排目标提供参考。

以电能替代为例，河北南网电能替代主要在居民采暖领域、工（农）业生产制造领域、交通领域和电力供应与消费领域。

$$P_{电能替代}=P_1+P_2+P_3+P_4+P_5$$

其中，P1 为居民采暖领域电能替代减碳量，P2 为交通领域电能替代减碳量，P3 为工（农）业生产制造领域电能替代减碳量，P4 为电力供应与消费领域电能替代减碳量，P5 为家庭电气化领域电能替代减碳量。

3.3　先行先试，开展四大主题板块应用

从时域、地域、行业 3 个维度，打造“碳达峰、碳中和规划”“碳排放监测模“”碳汇监测”“碳减排监

测”四大应用板块，支持任一时段、任一区域内的碳排放、碳汇集、碳减排测算统计。其中碳排放测算颗粒度可至能源生产与加工转换、工业、交通运输业等国民经济各主要行业，并下探至具体企业，有效支撑各行业碳排放的科学量化和精准预测。

- 碳达峰、碳中和规划模块：展示 2021 年及以后河北碳排放水平、碳汇水平和碳减排水平的变化趋势。
- 碳排放监测模块：从地域、行业两个维度展示河北碳排放的历史数据和实时数据，共有 2 个展示页面。
- 碳汇监测模块：从地域维度展示河北碳汇的历史数据和实时数据。
- 碳减排监测模块：从供给侧（清洁能源供电）、需求侧（电能替代）展示河北碳减排的历史和实时数据。

3.3.1 平台特点

根据“双碳主题”所涉及的分析对象和展示要求，在规划设计、数据溯源和模型开发等方面开发具备覆盖范围全、测算精度高、数据响应快等特点的数据应用产品和相关服务。

3.3.2 覆盖范围全

发挥电力应用于全社会各行各业及千家万户的优势，覆盖国民经济一、二、三产 63 个行业、森林、草原、海洋等 6 个碳汇源、能源供给和需求侧减排等构建了共 78 个计算模型,（火电 95 座、风电 49 座、光伏 161 座、水电 10 座）、客户 2135 万户（工商业 35 万户、居民 2100 万户）。

3.3.3 测算精度高

对 63 个行业生产工艺和用能特征进行深入分析，并分类研究、建模，将测算结果与“十三五”期间河北省碳排放总量进行回算校对，整体碳排放测算误差在 5%以内。

- 第一类是电与一次化石能源消费密切相关。包括本地煤/气电、外来电、黑色/有色金属冶炼和压延加工业等共 32 个行业，其碳排放量占能源燃烧二氧化碳排放比重超过 95%，模型测算精度可达 95%以上。
- 第二类是电与一次化石能源消费关联度较高。包括医药制造业、煤炭开采等 27 个行业，模型测算精度约在 80%以上。此类可通过优化算法模型提高测算准确度。
- 第三类是电与一次化石能源消费关联度较低。包括交通运输耗油量、耗气量，居民生活及采暖耗煤量、耗气量 4 个行业，模型测算精度约在 60%以上。此类需通过优化算法模型和直接取数相结合的方式提高测算准确度。

另外，在碳汇模型搭建方面，充分考虑了外界环境因素影响，采用“煤改电”用户用电、光伏电站出力等数据归一化处理后模拟替代温度、光照等实时数据的方式，测算精度较天气预报精准。

3.3.4 实时响应快

依托电网公司电能量计量体系，实时采集电量并折算二氧化碳排放。目前，数据采集频度按日考虑，在平台试运行过程中将数据采集频度提高至小时级、分钟级。

3.3.5 计算颗粒度细

碳监测平台可实现任一时段、任一区域内的碳排放、碳汇集、碳减排测算统计；碳排放测算颗粒度可至能源生产与加工转换、工业、交通运输业等国民经济各主要行业，并下探至具体企业。

3.4 应用成效

围绕“碳达峰、碳中和”目标，打通能源数据壁垒、激活能源数据价值、构建双碳数字生态的能源大数据中心，在数据汇聚、产品应用、标准制定等工作过程中，在服务政府治理决策、经济绿色发展、行业数字化转型等方面体现较大价值。支撑区域碳排量、碳汇量和碳减排量的统计分析，逐步建立与国土、林业等部门数据共享机制，目前已完成河北南部 6 地市、雄安新区数据接入，未来将逐步辐射到冀北区域网省，为河北能源转型、绿色发展，率先实现“碳达峰、碳中和”提供精准量化数据支撑；通过向相关部门提供定期数据报告与技术服务；通过延伸拓展企业级乃至行业级的碳咨询，为企业用户提供智能减排服务；此外，推动区域低碳产业的快速发展，在碳监测、碳管理等多领域、多渠道不断提升电力企业营收。

5 结束语

通过碳排量、碳汇量和碳减排量的统计分析，监测平台可延伸拓展成为河北碳交易平台，为河北碳交易市场的健全充分发展提供支撑；延伸拓展行业级乃至企业级的碳咨询，为企业用户提供智能减排服务；开展碳规划分析，提出全社会碳中和的系统布局及路

径优化方案。由于“碳达峰、碳中和”是全社会，乃至全球目前正在极力探索推进的工作，全面监测、精准掌握作为一切工作的基础尤为关键，建立区域级监测平台是各方探索不约而同的选择，河北作为这方面的先行者，将为其他区域的探索工作提供先进实践经验。

参考文献：

[1] 方恺, 张琦峰, 杜立民. 初始排放权分配对各省区碳交易策略及其减排成本的影响分析[J]. 环境科学学报, 2021, 41(2): 696-709.

[2] 王怡, 支彤. 推动可再生能源成为碳达峰碳中和主力军: 国新办可再生能源发展情况新闻发布会观察[N]. 中国电力报, 2021-03-31(2).

[3] 马虹. 智慧能源及碳排放监测管理云平台系统方案研究与应用[J]. 计算机测量与控制, 2020, 28(4): 28-31, 115.

[4] 林伯强. 碳中和背景下需要市场化手段减排[N]. 21 世纪经济报道 2021-02-02(7).

[5] 解瑞丽, 郑彦强, 苏旭东. 关于实施碳排放总量控制制度的思考[J]. 中国环保产业, 2020(7): 13-17.

[6] 黄羿. 基于能源消费的广东省土地利用结构与碳排放关系研究[D]. 北京: 中国科学院大学, 2013.

[7] WITCZAK P. Trends in sensors fault diagnosis[J]. Sensors, 2021, 21(6): 2224.

[8] 曾鸣, 许彦斌, 潘婷. 智慧能源与能源革命[J]. 中国电力企业管理, 2020(28): 49-51.

[9] 平新乔, 郑梦圆, 曹和平. 中国碳排放强度变化趋势与“十四五”时期碳减排政策优化[J]. 改革, 2020(11): 37-52.

浅谈 5G 网络在核电站的应用及发展前景

陈太全、贾奇智
（中国广核电力股份有限公司信息技术中心 广东省深圳市 518124）

摘　要：5G 技术是通信领域的一次重大技术革命，具有高速率、低时延和广连接等技术特点，主要包含 Massive MIMO 大规模天线技术，毫米波技术，多载波聚合技术，上行增强等关键技术，并在核心网中逐步的引入了诸多 IT 技术，部署方式也从传统集中式部署转型为分布式部署，常见的组网方式有虚拟专网、混合专网和独立专网三种方式，根据核电的实际使用场景及安全要求，核电站更适合使用独立专网的方式进行组网，5G 技术可深入应用于核电站的建设、运维管理、设备管理、安全管理等诸多领域，可有效提高核电站的数字化和智能化水平，提高核电的生产效率和安全管理水准。

关键词：5G，切片技术，物联网，智慧核电

1　引言

5G 技术是通信领域的一次重大技术革命，相较于前几代通信技术除在速率上进行升级以外，还具有低时延和广连接等特点，国际电信联盟（ITU）定义了 5G 三大类应用场景，即增强型移动宽带（eMBB）、超高可靠与低延迟通信（uRLLC）、大规模机器类通信（mMTC）。核电站涉及的系统和专业多，专业间的数据交互量巨大，大多数厂房内的空间和环境也极其复杂，因此 5G 的各类应用场景都深度契合核电的业务需求，对提升核电站的智慧水平发挥巨大的作用。

2　核电站无线网络智能应用的重要性

核电工程属于典型的工业工程范畴，建设的复杂性远超民用建筑工程，通常体现在以下几方面，建设周期长，用地面积大，涉及专业多，施工人数多，且专业间的数据交互量以万为单位，另外设计供应商，采购合同数目都十分庞大。鉴于以上特点，核电的工程建设存在条块分割、孤岛丛生，一体化、集成度不高，持续优化、推动应用的力度不够，数据共享程度较低等缺陷，亟待被解决。

在此背景下，核电工程建设与运营过程中，急需一套统一化、标准化，应用集成度和数据共享度高、开发一体化的产品解决方案。随着通信技术的迅猛发展，无线网络解决方案已广泛应用于工业智能化领域，同时高度契合核电站业务发展需求，因此核电站在积极推进 IT、OT 技术的深度融合，业务系统向移动化应用的深度融合，施工现场管理业务与智能化、数字化的深度融合，各专业通过电子化信息记录和智能化管控方式，实现数据互联互通，达到核电站建设全过程可追溯管理。同时运用新兴信息技术，提高内外部监管协作效果和执行有效性，全面提升电站的生产管理能力。

3　5G 网络技术

5G 即第五代移动通信技术，是 4G 网络和前几代网络的延伸，5G 网络技术是通信领域的一次重大技术革命，5G 技术相较于前几代通信技术除在速率上进行升级以外，还具有低时延和广连接的特点，5G 技术是实现人、机、物间互联的物理和硬件基础。

5G 的关键性能指标包含以下内容：峰值速率可达 10Gbps 单链接吞吐量，可应用于 500km/h 高速公路、高铁等高速场景，每平方公里链接数可链接 100 万终端，1ms 的空口时延，每平方米流量密度可达 10Mbps/㎡，400MHz 单载波带宽；但由于目前 5G 技术仍处于起步阶段，单链接峰值速率、每平方米连接数、空口时延仍是 5G 愿景，流量密度处于待验证状态，但高速场景和 400M 载波带宽已经实现。

5G 的关键技术主要有 Massive MIMO 大规模天线技术，毫米波技术，多载波聚合技术，上行增强技术。

Massive MIMO 大规模天线技术，天线间距较大时，天线间的衰落相关性较低，通过大幅提升天线振子数量，提高上下行的流数，实现速率和容量的提升；形成的波束更具方向性，降低干扰；通过波束赋形技术做到覆盖波束智能调控，多波束覆盖实现覆盖水平的增强。

毫米波具有频谱资源丰富、带宽大、速率高的优势，但是传播损耗严重，比较适用于业务热点区域的吸热补忙，但不适用于打底网的组网。

美国由于政府拒绝开放频谱，商政府与商业公司存在分歧的原因，无奈之下只能以毫米波频段为优先研究方向。但中国的无线频段是由国家统一合理规划，先保障 5G 信号的大规模覆盖，再通过毫米波技术优化业务热点区域的信号质量。毫米波通信频率为 30GHz~300Ghz，频谱资源丰富，大量的可用频谱资源，容量更大，速率更快，高频特性使得无线设备可实现小型化，安装灵活，但因其损耗大的问题，对使用场景要求极为苛刻。

多载波聚合技术通过联合多个独立载波，组成带宽更宽的载波组合，从而达到提升用户的速率的目标。一般 4G 网络最大支持 5 个 20M 载波聚合，即 100M 无线带宽；但 5G 多载波聚合技术，支持的 16 载波配置，最大带宽可支持 6.4GHz（毫米波情况下），带宽较 4G 增大了 64 倍。

上行增强也是 5G 的一大关键技术，5G 使用的频率高，信号传播损耗大，同时移动终端发射功率却很有限，故容易出现上行覆盖受限的情况，但通过上下行解耦和高低频的协同，利用高频段承载下行数据，低频段承载上行数据，最终可以提升边缘用户的覆盖和体验。

5G 核心网已逐步引入 IT 技术，从传统的集中式部署转型为分布式部署，构建 5G 和云技术的相融合的核心网，满足敏捷、弹性、高效、开放能力。下面简单介绍一些 5G 核心网技术。

SDN（软件定义网络），实现了控制平面和转发平面解耦，减少转发网元成本，提升路由决策能力，增强网络可控性，有效缩短了网络时延，解决网络拥堵。

NFV（网络功能虚拟化），使网络硬件和软件解耦，基于通用标准化硬件，按需虚拟不同功能模块，构成开放灵活、可动态操作的网络功能虚拟化架构。

网络切片本质上就是将物理网络通过软件编排和资源协调，划分为多个虚拟网络，每一个虚拟网络对应一个切片。根据时延、 带宽、安全性和可靠性的不同需求来划分切片，以灵活的应对不同的网络应用场景。

每个切片由无线网、传输网、核心网端到端联合提供专门的网络资源和业务保障，满足业务的差异化需求。

MEC（多接入边缘计算技术），实现 CT 和 IT 深度融合，变革网络架构，构建敏捷、弹性、高效、开放的网络边缘云服务能力；通过在网络边缘建设云计算平台，下沉云能力到网络边缘，更加靠近用户，实时感知业务，并针对性地对用户进行智能优化。

2020 年是中国的是 5G 技术大规模部署和商用的元年，国内已开通 5G 基站超 40 万个，仅深圳市开通 5G 基站已超 4.6 万个，2019 年 10 月三大运营商正式推出了 5G 套餐，半年时间中国的 5G 套餐用户数便超过 1.08 亿，占全球 5G 用户总数的 80%，体现出国内市场对 5G 的强大需求，也为 5G 的深化应用提供了强劲的动力。

4 核电站 5G 网络方案

为通过 5G 技术提高核电站的信息化和智能化水平，同时响应 2020 年 10 月能源局下发的关于组织开展《能源领域 5G 应用实施方案（初稿）主要任务》清单中关于核电相关智能项目开展基于 5G 应用的要求，核电行业开始与三大运营商及核心技术提供商开展合作，希望在核电通信系统的建设中引入 5G 网络，考虑到核电现场存在生活、办公、生产三类区域，预计对 5G 的高带宽、低延时和广接入 3 种能力都存在应用需求，特别是在室分覆盖的方面需求极为迫切。

从技术供给方面来说，5G 技术已被高度重视，5G 技术和 5G 网络建设获得快速发展，行业应用案例也在快速增加，但 5G 技术的应用也面临一些严峻的问题。首先就是基础建设费用昂贵，同时 5G 部分技术还未成熟，目前 5G 还不具备其宣传的广连接物联网功能，需要另建 NB-IOT 网络；最后 5G 终端类型还不丰富，除一些旗舰手机外大部分类型的移动终端还不具备接入 5G 网络条件。

在此背景下，有三种组网模式以满足不同需求，分别为虚拟专网、混合专网以及独立专网三种组网模式。虚拟专网模式适用于对广域移动网络有需求的用户，通过网络切片技术在公网基础上构建 5G 专网；

混合专网模式适用于园区、制造业等用户，通过 MEC 下沉其他资源共享构建专网；独立专网模式适用于大型企业，资源完全独享。

4.1 虚拟专网

5G 虚拟专网是指基于运营商 5G 公众网络资源，利用端到端 QoS 或切片技术，为企业提供一张时延和带宽有保障的、与运营商公众网络普通用户数据隔离的虚拟专有网络。从无线基站、传输到核心网用户面及控制面端到端共享运营商公众网络，通过切片技术，为企业提供具有特定SLA保障的逻辑专网，如图1所示。

此方案受运营商大网限制，如可能无低延时功能不具有独立成活性,用户业务数据需要经过运营商核心网流转，然后通过企业统一 internet 出口进出，其业务可能会被等同于通过 VPN 进行访问的业务,此方案建设成本低，需要支付所发生链路月租费或流量费，需要重点考虑投资建设室内网络覆盖。

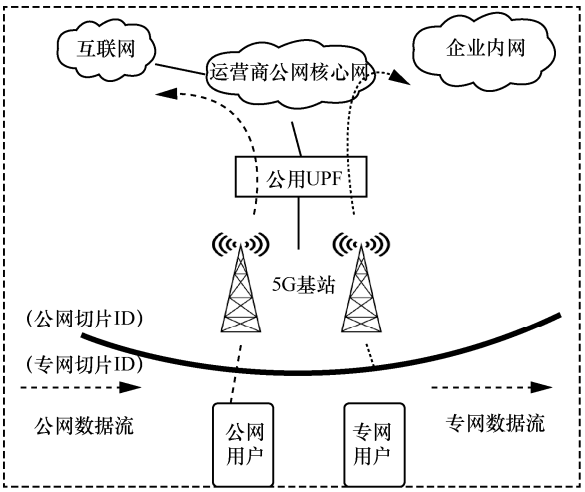


图 1　虚拟专网组网方案

4.2 混合专网

5G 混合专网是指以 5G 数据分流技术为基础，通过无线和控制网元的灵活定制，为企业构建一张增强带宽、低时延、数据不出园的基础连接网络。5G 混合专网的核心网用户面网元 UPF 为用户私有化部署，无线基站、核心网控制面网元根据用户需求灵活部署，为企业提供部分物理独享的 5G 专用网络。满足用户大带宽、低时延、数据不出园区的需求，见图 2。

此方案受运营商大网限制，但可比虚拟专网提供更多功能，如低延时功能、更宽带宽等，该方案不具有独立成活性,用户业务数据不需要经过运营商核心网流转，在本地 UPF 进出，其业务可能会被等同于内网业务，UPF 设备通常由用户投资，在使用过程中发生月租费或流量费，需要重点考虑投资建设室内网络覆盖。

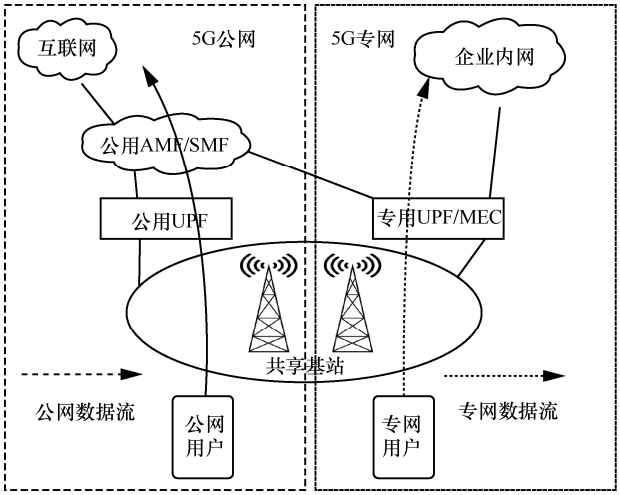


图 2　混合专网组网方案

4.3 物理独立专网

5G 独立专网方案是指利用 5G 组网、切片和边缘计算等技术，采用专有无线设备和核心网一体化设备，为用户构建一张增强带宽、低时延、物理封闭的基础连接网络，从无线基站、传输到核心网用户面+控制面端到端为行业用户单独建设，提供物理独享的 5G 专用网络，实现用户数据与运营商公众网络数据完全隔离，且不受运营商公众网络影响，见图 3。

此方案，可根据需求上线所需功能模块，具有独立成活性,用户业务数据和系统信令数据都不需要经过运营商网络，等同于内网,用户业务数据和系统信令数据都不需要经过运营商网络，等同于内网,也是最贴合核电应用需求的组网方案，但投资费用巨大。

5　5G 技术应用与在核电站的智能应用展望

目前 5G 技术开始广泛应用与社会各个领域，其大带宽，低时延，广链接的技术特点对各产业的升级产生的深远的影。

大带宽的应用场景，根据 5G 的大带宽特性，结合 AR/VR/4K/8K/全息等技术的超高清视频，广泛能够应用于教育、工业、旅游业、文娱、房地产业和零售业等各行业，为其带来全新的体验和增值，如使用 VR 技术的线上课堂，线上旅游，网上看房等。

低时延的应用场景，5G 低时延还可以在自动驾驶、编队行驶、车辆生命周期维护、远程医疗等行业，

目前已有使用 5G 网络实现远程手术的成功案例。

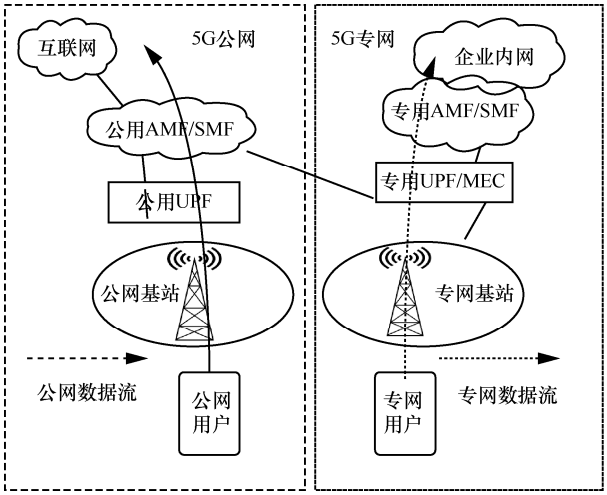


图 3　物理独立专网组网方案

大连接应用场景，将物联网所感知的数据通过 5G 网络低时延特性直接传至云端，再将云端的能力虚拟到终端，最终增强了终端能力。可以说 5G 通过 IOT 与 AI 无缝融合，将物联网升级成智联网，5G 的大连接可以广泛应用于智慧城市中智能井盖、智慧路灯、智慧消防等，也可将智慧城市的理念扩展至智慧工业园区，同事也可用于工业互联网中机器人的协同作业等应用场景。

针对以上应用场景，结合核电生产和建设的各领域特征，可以预见 5G 技术将在以下几方面的应用。

5.1　工程建设领域-智慧工地

核电的工程建设期长、涉及的专业广、施工人员多、交互数据量大，同时对施工现场的管控要求又非常严格，利用 5G 技术优势，可将施工现场的视频监控、人员出入管理、车辆进出、尘噪探测、电子围栏、烟火探测等传感器连接在一起组成物联网，海量的数据实时上传至云数据中心，通过智慧工地管理平台将数据整合分类，建立统一标准，通过抽取现场生产要素的基础数据，支撑集成及协同的联动分析，提升偏差、风险等项目精益管理能力，同时各业务系统间数据互联互通，可实现现场管理对象多方协同预警及经验的及时反馈，最终实现型与项目管理过程中的进度、质量、安全等业务管理数据融合、精细化管理。另外实时采集的数据利用云数据中心的数据预处理能力可实现对现场安全风险的智能预警，提升安全管理水平。

5.2　生产运维领域-智能运维管理

设备巡检和维修是生产运维领域中最广泛的生产活动，但此类活动中使用的纸质文件仍然较多，而且纸质文件容易破损、沾污或丢失，所以核电的无纸化进程亟需推进，另外巡检活动中虽然开始使用电子巡检仪，但都属于离线式设备，智能化程度低，甚至一些操作仍需手动操作。

通过 5G 技术，电子巡检工具可以做成智能化终端，将各种检测传感器集成在一起，工作人员现场巡视时，巡检数据可以实时上传到云端数据库，而云端又可将上传的信息进行整理分析，将相关联的历史数据或趋势，实施推荐给工作人员进行参考，真正做到智能巡检。

维修活动中可将工作票由纸质逐步替换为智能电子终端，工作票可执行时直接由系统将工作票信息下发至工作负责人的电子终端，工作负责人执行作业时可在电子终端里使用相关联的文件、图纸、历史经验反馈信息，工作完成后工作票信息和工作完成后的设备及空开、阀门状态可用照片、视频等形式直接反馈至隔离经理进行确认和隔离解除等操作，大大减少人力反复现场确认的浪费，同时维修活动中人员信息，位置信息，工时信息也能同步上传数据库，供以后的维修作业参考，也为设备管理提供数据。针对重要的维修活动，可在现场布置临时摄像头，对重要工作现场进行实时监控，后台也能对现场给予技术支持。

另外设备和系统的定期试验程序可在相关设备上做二维码等电子标签，执行程序时，工作人员可直接通过设备的电子标签将设备涉及的维修或试验程序直接显示到现场智能终端中，供工作人员使用。

5.3　生产运维领域-智能设备管理

核电站的系统和设备种类和数量繁多，目前虽有统一的系统进行管理，但系统的智能化程度较低，对设备的维修活动和寿命管理无法起到预期的作用，但通过建立大数据平台，可将这些信息进行整理归纳，并将这些信息通过 5G 物联网技术直接关联到现场每个设备或终端，工作人员可通过设备的电子标签或电子码信息直接搜索到该设备当前状态信息，如历史巡检信息，使用时间，经历过的维修活动，参数历史数据，相关经验反馈信息，备件情况等，另外云端大数据平台可将这些信息整理为图标或曲线形式，为工作人员的后续设备管理行动提供参考，另外工作人员可以将历次的判断结果上传至云端，提升大数据平台的智慧能力。

5.4　生产运维领域-智能安全管理

安全文化因其重要地位，已渗透于核电站的各项生产

活动中，核电站也一直致力于提升本身的安全水平，5G 技术因其技术特点在安全领域也有着广泛的应用空间。

安全需要对人员进行管理，包括人员的行为、所在的场所等，理想的情况是，对人员行为和位置的实时管理可有效提升核电站安全管理水平，因此可将整个核电进行三维建模（目前已实现），并将各区域根据安全等级进行划分，通过 5G 的低时延特性，结合先进的定位技术对人员进行实时定位，当人员进入高风险区或幽闭空间时，系统可及时预警，向工作人员直接发布相对应的警示信息，同时自动调用相应区域的监控设备进行跟踪。

辐射防护方面，利用 5G 网络的低时延特性结合高精度室内定位技术，可实施采集作业人员当区域的剂量数据，供作业人员和后台进行参考，另外系统可根据热点区域的分布绘制实时的剂量热力图，为作业人员的行进路线提供智能规划，保证个人和集体剂量的最小化和最优化。

参考远程手术的成功案例，核电站高风险区域的检查和维修活动，结合智能机器人技术，可利用 5G 的低时延特性，维修人员可远程操控机器人或机械手臂进行维修活动，降低人员的人身安全风险。

5G 技术也可提升核应急响应的速度，如人员的快速定位，人员清点，应急信息的发布和接收等，为核应急响应的统一调度提供高效的信息化手段。

6 结束语

本文基于核电站建设和生产活动，对 5G 技术的应用场景进行了深入讨论，5G 因其技术优势，通过结合大数据分析和 AI 技术，将有效提升核电站的建设施工，生产运维，设备和安全等多个领域的管理水平，成为建设智慧核电的强大助力。

参考文献：

[1] 胡智霖, 胡要杰. 5G 蜂窝物联网关键技术分析[J]. 现代工业经济和信息化, 2020, 10(11): 143-144.

[2] 张蜀晋, 宋文渊, 南嵩, 等. 5G 室内外结合覆盖在智慧矿山中的应用[J]. 山西建筑, 2021, 47(1): 193-196.

[3] 蔡博文, 张化, 郭瀚, 等. 5G 网络演进与双模 5G 基站[J]. 移动通信, 2020, 44(4): 45-49.

[4] 秦光宇, 陈巍. 5G 技术在公安应急指挥调度领域的发展应用[J]. 黑龙江科学, 2020, 11(24): 130-131.

[5] 党宾. 面向 5G 的移动通信技术及其优化研究[J]. 通信电源技术, 2019, 36(2): 187-188.

[6] 曹倩. 面向 5G/B5G 的无线信道特性研究[J]. 通信与信息技术, 2020(4): 51-53.

[7] 张小强, 曾强, 刘立宇. 面向 5G/B5G 的移动边缘计算协同服务系统架构研究[J]. 中国新通信, 2020, 22(7): 5-7.

[8] 施南翔, 宋月, 刘景磊, 等. 5G 核心网标准化进展及 B5G 演进初探[J]. 移动通信, 2020, 44(1): 2-7.

[9] 朱玲红, 龙一玢, 朱浩. 基于 5G 与大数据技术的物联网智慧工地平台初探[J]. 江西通信科技, 2020(4): 26-29.

[10] 雷霆, 孙骞, 王孟轩. 基于 5G 的智慧应急指挥平台[J]. 指挥与控制学报, 2020, 6(4): 319-323.

[11] 田云霞, 林海霞, 韩琛晔. 物联网中 5G 通信技术的应用研究[J]. 中阿科技论坛(中英文), 2020(11): 119-121.

[12] 戴彤, 汪伟, 赵品勇. 5G 规模部署面临的挑战和应对措施[J]. 邮电设计技术, 2020(11): 40-45.

[13] 徐法禄. 5G 室内分布：数字化转型之道[J]. 中兴通讯技术, 2020, 26(6): 43-49.

[14] 陈亿根, 尹晓峰, 邵黎勋. 5G+工业互联网应用实践[J]. 中兴通讯技术, 2020, 26(6): 2-6.

[15] 莫俊彬, 潘桂新, 成静静. 面向工业互联网的电信运营商 5G 专网解决方案[J]. 数据通信, 2020(6): 25-29.

浅谈 5G 网络在核电站的应用及发展前景

陈太全，贾奇智
（中国广核电力股份有限公司信息技术中心，广东 深圳 518124）

摘　要：5G 技术是通信领域的一次重大技术革命，具有高速率、低时延和广连接等技术特点，主要包含大规模天线技术（massive MIMO）、毫米波技术、多载波聚合技术和上行增强等关键技术，并在核心网中逐步地引入了诸多 IT 技术，部署方式也从传统集中式部署转型为分布式部署，常见的组网方式有虚拟专网、混合专网和独立专网 3 种方式，根据核电的实际使用场景及安全要求，核电站更适合使用独立专网的方式进行组网，5G 技术可深入应用于核电站的建设、运维管理、设备管理、安全管理等诸多领域，可有效提高核电站的数字化和智能化水平，提高核电的生产效率和安全管理水准。

关键词：5G；切片技术；物联网；智慧核电

1　引言

5G 技术是通信领域的一次重大技术革命，相较于前几代通信技术除在速率上进行升级以外，还具有低时延和广连接等特点，国际电信联盟（ITU）定义了 5G 三大类应用场景，即增强型移动宽带（eMBB）、超高可靠与低延迟通信（uRLLC）、大规模机器类通信（mMTC）。核电站涉及的系统和专业多，专业间的数据交互量巨大，大多数厂房内的空间和环境也极其复杂，因此 5G 的各类应用场景都深度契合核电的业务需求，对提升核电站的智慧水平发挥巨大的作用。

2　核电站无线网络智能应用的重要性

核电工程属于典型的工业工程范畴，建设的复杂性远超民用建筑工程，通常体现在以下几方面：建设周期长、用地面积大、涉及专业多、施工人数多、专业间的数据交互量以万为单位、设计供应商和采购合同数目庞大。鉴于以上特点，核电的工程建设存在条块分割、孤岛丛生，一体化、集成度不高，持续优化、推动应用的力度不够，数据共享程度较低等缺陷，亟待被解决。

在此背景下，核电工程建设与运营过程中，急需一套统一化、标准化、应用集成度和数据共享度高、开发一体化的产品解决方案。随着通信技术的迅猛发展，无线网络解决方案已广泛应用于工业智能化领域，同时高度契合核电站业务发展需求，因此核电站在积极推进 IT、OT 技术的深度融合，业务系统向移动化应用的深度融合，施工现场管理业务与智能化、数字化的深度融合，各专业通过电子化信息记录和智能化管控方式，实现数据互联互通，达到核电站建设全过程可追溯管理。同时运用新兴信息技术，提高内外部监管协作效果和执行有效性，全面提升电站的生产管理能力。

3　5G 网络技术简介

5G 即第五代移动通信技术，是 4G 网络和前几代网络的延伸，5G 网络技术是通信领域的一次重大技术革命，5G 技术相较于前几代通信技术除在速率上进行升级以外，还具有低时延和广连接的特点，5G 技术是实现人、机、物间互联的物理和硬件基础。

5G 的关键性能指标包含以下内容：峰值速率可达 10Gbbit/s 单链接吞吐量，可应用于 500km/h 高速公路、高铁等高速场景，每平方公里链接数可链接 100 万终端，1ms 的空口时延，每平方米流量密度可达 10Mbit/(s·m^{-2})，400MHz 单载波带宽；但由于目前 5G 技术仍处于起步阶段，单链接峰值速率、每平方米连接数、空口时延仍是 5G 愿景，流量密度处于待验证状态，但高速场景和 400M 载波带宽已经实现。

5G 的关键技术主要有大规模天线技术（massive MIMO）、毫米波技术、多载波聚合技术和上行增强技术。

大规模天线技术，天线间距较大时，天线间的衰落相关性较低，通过大幅提升天线振子数量，提高上下行的流数，实现速率和容量的提升；形成的波束更具方向性，降低干扰；通过波束赋形技术做到覆盖波束智能调控，多波束覆盖实现覆盖水平的增强。

毫米波具有频谱资源丰富、带宽大、速率高的优势，但是传播损耗严重，比较适用于业务热点区域的吸热补忙，但不适用于打底网的组网。

美国由于政府拒绝开放频谱，商政府与商业公司存在分歧的原因，无奈之下只能以毫米波频段为优先研究方向。但中国的无线频段是由国家统一合理规划，先保障 5G 信号的大规模覆盖，再通过毫米波技术优化业务热点区域的信号质量。毫米波通信频率为 30GHz～300Ghz，频谱资源丰富，大量的可用频谱资源，容量更大，速率更快，高频特性使得无线设备可实现小型化，安装灵活，但因其损耗大的问题，对使用场景要求极为苛刻。

多载波聚合技术通过联合多个独立载波，组成带宽更宽的载波组合，从而达到提升用户的速率的目标。一般 4G 网络最大支持 5 个 20MHz 载波聚合，即 100MHz 无线带宽；但 5G 多载波聚合技术，支持的 16 载波配置，最大带宽可支持 6.4GHz（毫米波情况下），带宽较 4G 增大了 64 倍。

上行增强也是 5G 的一大关键技术，5G 使用的频率高，信号传播损耗大，同时移动终端发射功率有限，容易出现上行覆盖受限的情况，但通过上下行解耦和高低频的协同，利用高频段承载下行数据，低频段承载上行数据，最终可以提升边缘用户的覆盖和体验。

5G 核心网已逐步引入 IT 技术，从传统的集中式部署转型为分布式部署，构建 5G 和云技术相融合的核心网，满足敏捷、弹性、高效、开放能力。下面简单介绍一些 5G 核心网技术。

SDN（软件定义网络），实现了控制平面和转发平面解耦，减少转发网元成本，提升路由决策能力，增强网络可控性，有效缩短了网络时延，解决网络拥堵。

NFV（网络功能虚拟化），使网络硬件和软件解耦，基于通用标准化硬件，按需虚拟不同功能模块，构成开放灵活、可动态操作的网络功能虚拟化架构。

网络切片本质上就是将物理网络通过软件编排和资源协调，划分为多个虚拟网络，每一个虚拟网络对应一个切片。根据时延、带宽、安全性和可靠性的不同需求来划分切片，以灵活地应对不同的网络应用场景。

每个切片由无线网、传输网、核心网端到端联合提供专门的网络资源和业务保障，满足业务的差异化需求。

MEC（多接入边缘计算技术），实现 CT 和 IT 深度融合，变革网络架构，构建敏捷、弹性、高效、开放的网络边缘云服务能力；通过在网络边缘建设云计算平台，下沉云能力到网络边缘，更加靠近用户，实时感知业务，并针对性地对用户进行智能优化。

2020 年是中国 5G 技术大规模部署和商用的元年，国内已开通 5G 基站超 40 万个，仅深圳市开通 5G 基站已超 4.6 万个，2019 年 10 月三大运营商正式推出了 5G 套餐，半年时间中国的 5G 套餐用户数便超过 1.08 亿，占全球 5G 用户总数的 80%，体现出国内市场对 5G 的强大需求，也为 5G 的深化应用提供了强劲的动力。

4 核电站 5G 网络方案

为通过 5G 技术提高核电站的信息化和智能化水平，同时响应 2020 年 10 月能源局下发的关于组织开展《能源领域 5G 应用实施方案（初稿）主要任务》清单中关于核电相关智能项目开展基于 5G 应用的要求，核电行业开始与三大运营商及核心技术提供商开展合作，希望在核电通信系统的建设中引入 5G 网络，考虑到核电现场存在生活、办公、生产三类区域，预计对 5G 的高带宽、低延时和广接入 3 种能力都存在应用需求，特别是在室分覆盖的方面需求极为迫切。

从技术供给方面来说，5G 技术已被高度重视，5G 技术和 5G 网络建设获得快速发展，行业应用案例也在快速增加，但 5G 技术的应用也面临一些严峻的问题。首先就是基础建设费用昂贵，同时 5G 部分技术还未成熟，目前 5G 还不具备其宣传的广连接物联网功能，需要另建 NB-IOT 网络；最后 5G 终端类型还不丰富，除一些旗舰手机外大部分类型的移动终端还不具备接入 5G 网络条件。

在此背景下，有 3 种组网模式以满足不同需求，分别为虚拟专网、混合专网以及独立专网 3 种组网模式。虚拟专网模式适用于对广域移动网络有需求的用户，通过网络切片技术在公网基础上构建 5G 专网；混合专网模式适用于园区、制造业等用户，通过 MEC 下沉其他资源共享构建专网；独立专网模式适用于大型企业，资源完全独享。

4.1 虚拟专网

5G 虚拟专网是指基于运营商 5G 公众网络资源，利用端到端 QoS 或切片技术，为企业提供一张时延和带宽有保障的、与运营商公众网络普通用户数据隔离的虚拟专有网络。从无线基站、传输到核心网用户面及控制面端到端共享运营商公众网络，通过切片技术，为企业提供具有特定 SLA 保障的逻辑专网，如图 1 所示。

此方案受运营商大网限制，如可能无低延时功能不具有独立成活性，用户业务数据需要经过运营商核心网流转，然后通过企业统一 internet 出口进出，其业务可能会被等同于通过 VPN 进行访问的业务，此方案建设成本低，需要支付所发生链路月租费或流量费，需要重点考虑投资建设室内网络覆盖。

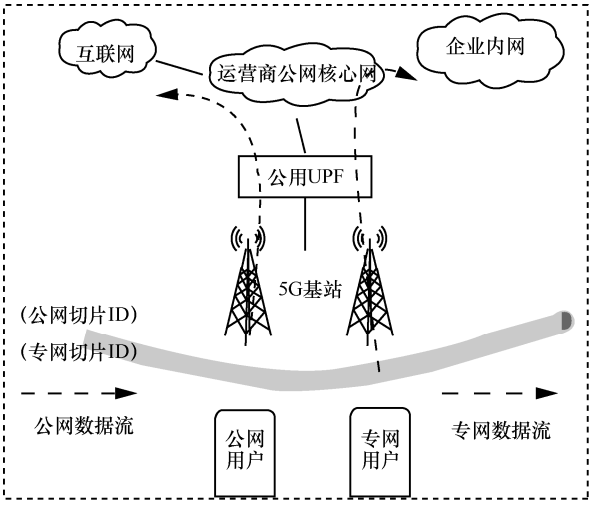


图 1　虚拟专网组网方案

4.2 混合专网

5G 混合专网是指以 5G 数据分流技术为基础，通过无线和控制网元的灵活定制，为企业构建一张增强带宽、低时延、数据不出园的基础连接网络。5G 混合专网的核心网用户面网元 UPF 为用户私有化部署，无线基站、核心网控制面网元根据用户需求灵活部署，为企业提供部分物理独享的 5G 专用网络。满足用户大带宽、低时延、数据不出园区的需求，如图 2 所示。

此方案受运营商大网限制，但可比虚拟专网提供更多功能，如低延时功能、更宽带宽等，该方案不具有独立成活性，用户业务数据不需要经过运营商核心网流转，在本地 UPF 进出，其业务可能会被等同于内网业务，UPF 设备通常由用户投资，在使用过程中发生月租费或流量费，需要重点考虑投资建设室内网络覆盖。

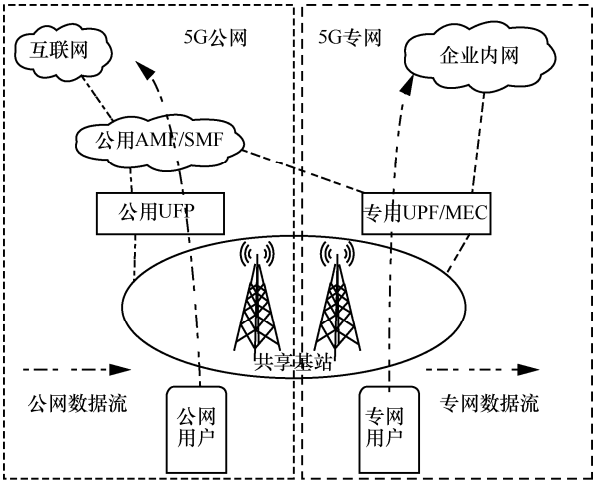


图 2　混合专网组网方案

4.3 物理独立专网

5G 独立专网方案是指利用 5G 组网、切片和边缘计算等技术，采用专有无线设备和核心网一体化设备，为用户构建一张增强带宽、低时延、物理封闭的基础连接网络，从无线基站、传输到核心网用户面+控制面端到端为行业用户单独建设，提供物理独享的 5G 专用网络，实现用户数据与运营商公众网络数据完全隔离，且不受运营商公众网络影响，如图 3 所示。

此方案，可根据需求上线所需功能模块，具有独立成活性，用户业务数据和系统信令数据都不需要经过运营商网络，等同于内网，用户业务数据和系统信令数据都不需要经过运营商网络，等同于内网，也是最贴合核电应用需求的组网方案，但投资费用巨大。

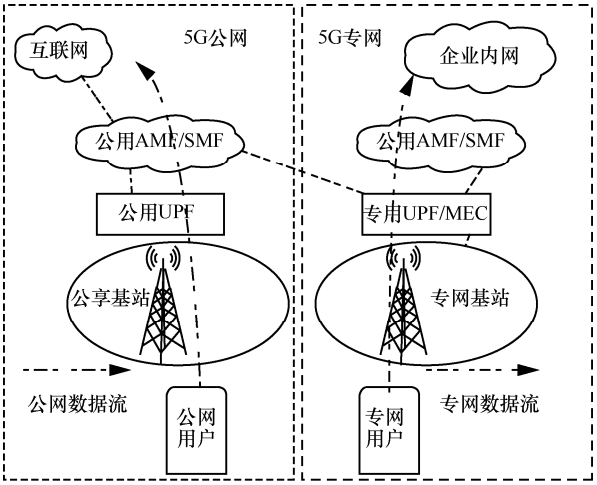


图 3　物理独立专网组网方案

4.4 5G 技术应用与在核电站的智能应用展望

目前 5G 技术开始广泛应用与社会各个领域，其大带宽、低时延、广链接的技术特点对各产业的升级产生的深远的影响。

大带宽的应用场景，根据 5G 的大带宽特性，结合 AR/VR/4K/8K/全息等技术的超高清视频，能够广泛应用于教育、工业、旅游业、文娱、房地产业和零售业等各行业，为其带来全新的体验和增值，如使用 VR 技术的线上课堂、线上旅游、网上看房等。

低时延的应用场景，5G 低时延还可以在自动驾驶、编队行驶、车辆生命周期维护、远程医疗等行业，目前已有使用 5G 网络实现远程手术的成功案例。

大连接应用场景，将物联网所感知的数据通过 5G 网络低时延特性直接传至云端，再将云端的能力虚拟到终端，最终增强了终端能力。5G 通过 IoT 与 AI 无缝融合，将物联网升级成智联网，5G 的大连接可以广泛应用于智慧城市中智能井盖、智慧路灯、智慧消防等，也可将智慧城市的理念扩展至智慧工业园区，同时也可用于工业互联网中机器人的协同作业等应用场景。

针对以上应用场景，结合核电生产和建设的各领域特征，可以预见 5G 技术将在以下几方面的应用。

（1）工程建设领域-智慧工地

核电的工程建设期长、涉及的专业广、施工人员多、交互数据量大，同时对施工现场的管控要求严格，利用 5G 技术优势，可将施工现场的视频监控、人员出入管理、车辆进出、尘噪探测、电子围栏、烟火探测等传感器连接在一起组成物联网，海量的数据实时上传至云数据中心，通过智慧工地管理平台将数据整合分类，建立统一标准，通过抽取现场生产要素的基础数据，支撑集成及协同的联动分析，提升偏差、风险等项目精益管理能力，同时各业务系统间数据互联互通，可实现现场管理对象多方协同预警及经验的及时反馈，最终实现与项目管理过程中的进度、质量、安全等业务管理数据融合、精细化管理。另外实时采集的数据利用云数据中心的数据预处理能力可实现对现场安全风险的智能预警，提升安全管理水平。

（2）生产运维领域-智能运维管理

设备巡检和维修是生产运维领域中最广泛的生产活动，但此类活动中使用的纸质文件仍然较多，而且纸质文件容易破损、沾污或丢失，所以核电的无纸化进程亟须推进，另外巡检活动中虽然开始使用电子巡检仪，但都属于离线式设备，智能化程度低，甚至一些操作仍需手动操作。

通过 5G 技术，电子巡检工具可以做成智能化终端，将各种检测传感器集成在一起，工作人员现场巡视时，巡检数据可以实时上传到云端数据库，而云端又可将上传的信息进行整理分析，将相关联的历史数据或趋势，实时推荐给工作人员进行参考，真正做到智能巡检。

维修活动中可将工作票由纸质逐步替换为智能电子终端，工作票可执行时直接由系统将工作票信息下发至工作负责人的电子终端，工作负责人执行作业时可在电子终端里使用相关联的文件、图纸、历史经验反馈信息，工作完成后工作票信息和工作完成后的设备及空开、阀门状态可用照片、视频等形式直接反馈至隔离经理进行确认和隔离解除等操作，大大减少人力反复现场确认的浪费，同时维修活动中人员信息、位置信息、工时信息也能同步上传数据库，供以后的维修作业参考，也为设备管理提供数据。针对重要的维修活动，可在现场布置临时摄像头，对重要工作现场进行实时监控，后台也能对现场给予技术支持。

另外设备和系统的定期试验程序可在相关设备上做二维码等电子标签，执行程序时，工作人员可直接通过设备的电子标签将设备涉及的维修或试验程序直接显示到现场智能终端中，供工作人员使用。

（3）生产运维领域-智能设备管理

核电站的系统和设备种类和数量繁多，目前虽有统一的系统进行管理，但系统的智能化程度较低，对设备的维修活动和寿命管理无法起到预期的作用，但通过建立大数据平台，可将这些信息整理归纳，并将这些信息通过 5G 物联网技术直接关联到现场每个设备或终端，工作人员可通过设备的电子标签或电子码信息直接搜索到该设备当前状态信息，如历史巡检信息、使用时间、经历过的维修活动、参数历史数据、相关经验反馈信息、备件情况等，另外云端大数据平台可将这些信息整理为图标或曲线形式，为工作人员的后续设备管理行动提供参考，另外工作人员可以将历次的判断结果上传至云端，提升大数据平台的智慧能力。

（4）生产运维领域-智能安全管理

安全文化因其重要地位，已渗透于核电站的各项生产活动中，核电站也一直致力于提升本身的安全水平，5G 技术因其技术特点在安全领域也有着广泛的应用空间。

安全需要对人员进行管理，包括人员的行为、所在的场所等，理想的情况是，对人员行为和位置的实时管理可有效提升核电站安全管理水平，因此可将整个核电进行三维建模（目前已实现），并将各区域根据安全等级划分，通过 5G 的低时延特性，结合先进的定位技术对人员进行实时定位，当人员进入高风险区或幽闭空间时，系统可及时预警，向工作人员直接发布相对应的警示信息，同时自动调用相应区域的监控设备进行跟踪。

辐射防护方面，利用 5G 网络的低时延特性结合高精度室内定位技术，可实时采集作业人员区域的剂量数据，供作业人员和后台进行参考，另外系统可根据热点区域的分布绘制实时的剂量热力图，为作业人员的行进路线提供智能规划，保证个人和集体剂量的最小化和最优化。

参考远程手术的成功案例，核电站高风险区域的检查和维修活动，结合智能机器人技术，可利用 5G 的低时延特性，维修人员可远程操控机器人或机械手臂进行维修活动，降低人员的人身安全风险。

5G 技术也可提升核应急响应的速度，如人员的快速定位、人员清点、应急信息的发布和接收等，为核应急响应的统一调度提供高效的信息化手段。

5 结束语

本文基于核电站建设和生产活动，对 5G 技术的应用场景进行了深入讨论，5G 因其技术优势，结合大数据分析和 AI 技术，将有效提升核电站的建设施工、生产运维、设备和安全等多个领域的管理水平，成为建设智慧核电的强大助力。

参考文献：

[1] 胡智霖, 胡要杰. 5G 蜂窝物联网关键技术分析[J]. 现代工业经济和信息化, 2020, 10(11): 143-144.

[2] 张蜀晋, 宋文渊, 南嵩, 等. 5G 室内外结合覆盖在智慧矿山中的应用[J]. 山西建筑, 2021, 47(1): 193-196.

[3] 蔡博文, 张化, 郭瀚, 等. 5G 网络演进与双模 5G 基站[J]. 移动通信, 2020, 44(4): 45-49.

[4] 秦光宇, 陈巍. 5G 技术在公安应急指挥调度领域的发展应用[J]. 黑龙江科学, 2020, 11(24): 130-131.

[5] 党宾. 面向 5G 的移动通信技术及其优化研究[J]. 通信电源技术, 2019, 36(2): 187-188.

[6] 曹倩. 面向 5G/B5G 的无线信道特性研究[J]. 通信与信息技术, 2020(4): 51-53.

[7] 张小强, 曾强, 刘立宇. 面向 5G/B5G 的移动边缘计算协同服务系统架构研究[J]. 中国新通信, 2020, 22(7): 5-7.

[8] 施南翔, 宋月, 刘景磊, 等. 5G 核心网标准化进展及 B5G 演进初探[J]. 移动通信, 2020, 44(1): 2-7.

[9] 朱玲红, 龙一玢, 朱浩. 基于 5G 与大数据技术的物联网智慧工地平台初探[J]. 江西通信科技, 2020(4): 26-29.

[10] 雷霆, 孙骞, 王孟轩. 基于 5G 的智慧应急指挥平台[J]. 指挥与控制学报, 2020, 6(4): 319-323.

[11] 田云霞, 林海霞, 韩琛晔. 物联网中 5G 通信技术的应用研究[J]. 中阿科技论坛(中英文), 2020(11): 119-121.

[12] 戴彤, 汪伟, 赵品勇. 5G 规模部署面临的挑战和应对措施[J]. 邮电设计技术, 2020(11): 40-45.

[13] 徐法禄. 5G 室内分布：数字化转型之道[J]. 中兴通讯技术, 2020, 26(6): 43-49.

[14] 陈亿根, 尹晓峰, 邵黎勋. 5G+工业互联网应用实践[J]. 中兴通讯技术, 2020, 26(6): 2-6.

[15] 莫俊彬, 潘桂新, 成静静. 面向工业互联网的电信运营商 5G 专网解决方案[J]. 数据通信, 2020(6): 25-29.

IEEE 802.15.4g 的 MR-OFDM 波形的降峰均比机制

赵哲，高岳达，牛虹，鲁虎雄
（内蒙古电力（集团）有限责任公司电力营销服务与运营管理分公司，内蒙古 010000 ）

摘　要：针对 IEEE 802.15.4g 标准的 MR-OFDM 波形，文中提出了一种通过对加扰种子优化选择来降低发送信号峰均比值的机制，其充分利用了发送信号的帧格式，在业务负荷信号的产生过程中引入加扰种子的优化选择机制，从而改善了发射信号的峰均比值性能。和传统降峰均比算法相比，新算法无需对标准内容进行任何变动，在发送端仅需少量修改现有信号处理流程，而在接收端则无需任何修改，从而实现对大量已部署产品的通信兼容。理论分析和仿真结果表明，优化算法不影响传输速率，且计算复杂度低，不同参数 OFDM 信号的互补累积分布函数在 10^{-4} 数值处减少了约 2-2.6dB，取得了较好的降峰均比值性能。

关键词：IEEE 802.15.4g；峰均比；加扰种子；互补累积分布函数

1　引 言

IEEE 802.15.4 是为满足低功耗、低成本通信标准，目前在全球物联网领域已获得了广泛应。作为 IEEE 802.15.4-2011 标准的修订版本，2012 年颁布的 IEEE 802.15.4g 标准增加了对户外低速无线智能计量公用网络的需求，包括相关的 MAC 层和物理层修改[1]。而其中增加了一款采用 MR-OFDM 体制的物理层波形，虽然其可以提供更高的物理层传输速率，但多载波体制所带来了发送信号高峰均比问题将对设备的功率放大器提出更高要求，在增加硬件成本的同时也会降低发射能量的利用效率，从而跟对标准非常重视的低成本和低功耗的设计理念产生了一定的冲突。

目前存在多种不同针对 OFDM 信号的经典降峰均比值技术和方法，包括对发射信号进行预畸变、对信号进行编码优化选择、对信号进行概率优化选择等[2-8]。虽然这些技术都可以获得一定的降峰均比性能，但这些技术在 IEEE 802.15.4g 的应用中都存在一个问题，即新技术的使用必须对现有物理层标准的内容进行一定的修改。而现有标准已经颁布多年，依照本标准而生产的相关设备已经在全球各国获得大量销售和部署，因此对标准内容的修改就意味新产品和大量旧产品之间将无法互联互通，存在较大的市场阻力。

如何在不修改现有通信协议且保持对已销售产品的通信兼容的前提下，针对新产品来优化发送信号的峰均比值性能，对降低产品成本和功耗水平会有明显的帮助，从而成为了一项非常有工程意义的技术难题。

2　基于加扰种子优化选择的降峰均比算法

2.1　IEEE 802.15.4g 的信号帧格式

IEEE 组织在 2012 年颁布了 IEEE 802.15.4g 标准，这个标准在无线个人区域网络（Wireless Personal Area Network）上获得了广泛的应用，相关通信产品和系统在全球多个国家和地区都获得了大量应用和部署。考虑通信设备需要支持不同的组网形式，包括星型拓扑和分布式多跳网络拓扑，标准采用了猝发信号发送形式，其发射信号的帧格式(如图 1 所示)：

前导信号	物理层头	数据载荷

图 1　发射信号的帧格式

其中前导信号的功能是实现猝发信号的接收同步，物理层头则携带了 36 个信令比特，用于指示后续数据载荷信号的接收和解析，具体定义（如图 2 所示）

其中：

基金项目：内蒙古电力公司科技计划项目（[2020]29 号-13）

- ‘速率指示’字段指示了数据负荷部分的数据速率（等价于调制编码方案）；
- ‘帧长度指示’字段指示了包含在数据载荷部分中的字节总数（在纠错编码之前的原始比特）；
- ‘加扰种子指示’字段指示了长度为 9bit 的加扰种子的具体数值；
- CRC 用于物理层头信号的接收正确性校验；
- ‘尾比特’为 6 个全零比特，是用于卷积编码器初始值的填充；



图 2　物理层头信令信号结构

标准定义了 4 个不同的加扰种子，具体数值如下表所示：

表 1　物理层加扰指示比特对应的加扰种子

第 1 个比特值	第 1 个比特值	加扰种子
0	0	000010111
1	0	000011100
0	1	101110111
1	1	101111100

而对数据载荷的二进制原始数据的加扰过程（如图 3 所示）

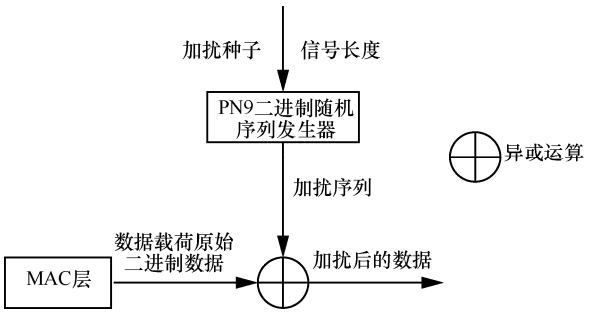


图 3　数据载荷原始二进制数据的加扰过程

即把加扰种子和信号长度这两个参数输入到 PN9 二进制随机序列发生器后，将产生一段和数据载荷原始二进制数据序列长度相同的二进制随机序列，然后对这两个序列进行异或运行，从而实现对信号的加扰。其中 PN9 二进制随机序列发生器的原理（如图 4 所示），而长度为 9bit 的加扰种子就是该发生器的初始化值（每次数据包的发送或接收都需要重新初始化）：

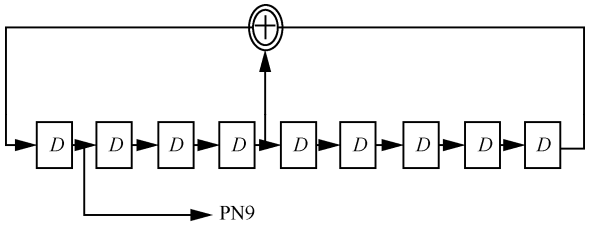


图 4　PN9 发生器的原理图

802.15.4g 标准提供了 4 个加扰种子供用户选择，但却没有对发送端的加扰种子选择过程进行任何强制规定，而在接收端则是通过对物理层头的信令内容解析来获取本次发送信号所使用的加扰种子，并据此实现接收数据的逆加扰。由上述分析可知，对加扰种子的优化选择既严格符合现有的协议内容，同时无需对接收侧的信号接收流程进行任何的修改。

2.2　降峰均比算法

假定一个 OFDM 信号中使用了 N 个子载波，这里用向量

$$X=[X_1,X_2,...,X_N] \tag{1}$$

来表示系统在频域上的星座信号，用

$$x=[x_1,x_2,...,x_N] \tag{2}$$

表示系统在时域上的信号序列，则 x 可以表示为

$$x_n=\frac{1}{\sqrt{N}}\sum_{k=0}^{N-1}X_k e^{j\frac{2\pi}{N}nk},n=1,2,...,N \tag{3}$$

而基带信号的峰均比值（PAPR，单位为 dB）的定义具体为

$$PAPR_{dB}=10\lg\frac{\max(|x_n|^2)}{E(|x_n|^2)} \tag{4}$$

其中符号 $E(|x_n|^2)$ 代表基带信号的平均功率，而符号 $\max(|x_n|^2)$ 代表基带信号的功率最大值。

为更好描述基带信号的峰均比值性能，从概率统计角度出发，研究人员一般会使用时域互补累积分布函数（CCDF）来统计信号中不同数值元素的概率分布情况，其数学计算式为

$$\Pr(PAPR>z)=1-\Pr(PAPR\leqslant z) \tag{5}$$

理论分析和实际仿真结果表明，含 N 个载波的频域星座信号经过 IFFT 变换后得到了时域信号，随着载波数量的增加和频域星座映射阶数的增加，时域信

号的分布将日益满足均值为 0 的高斯分布的特征，且方差也随之增加。而高斯分布函数的曲线在左右两侧的下降速率随着变缓，因此时域信号中出现绝对值较大的元素的概率也随着增加。

基于上述介绍，利用帧格式的特殊性和加扰种子，下面为 IEEE 802.15.4g 标准的 OFDM 信号提供一种降低信号峰均比值的机制，具体过程如下：

步骤 1)物理层收到 MAC 层下发的待发送数据载荷的原始二进制数据，设长度为 L 个比特；

步骤 2）从 4 个加扰种子中随机挑选一个种子，然后 PN9 二进制随机序列发生器利用该种子产生长度和原始数据相同的 L 个比特的加扰序列，然后使用该加扰序列对原始数据进行加扰；

步骤 3）安装已有机制，对完成加扰后的二进制数据进行信道编码和星座调制，并产生相应的含 K 个 OFDM 符号的信号；

步骤 4）逐个计算步骤 3）所产生这 K 个符号的峰均比值，并通过对比从中取出一个最大值，记为 PAPR1；

步骤 5）如果 PAPR1 值不大于事先预设好的阈值 C，则认为所产生的信号已经符合预设要求，则继续进行后续的信号处理流程并进行发射；反之如果 PAPR1 值大于阈值 C，则从未使用的剩余加扰种子中再任意挑选一个，重新对步骤 1 的原始二进制数据进行加扰、信道编码和星座调制；

步骤 6）重复上述过程，直至生成的 OFDM 基带时域信号的峰均比数值不大于阈值 C，或已对所有 4 个加扰种子都进行了使用；

步骤 7）如果 4 个加扰种子都进行了使用且仍无法生成峰均比值不大于阈值 C 的信号，则从这 4 个加扰种子所对应生成的 4 组信号中挑选一组峰均比值最小的信号进行后续的信号处理流程并进行发射；

步骤 8）完成本次发送信号所使用的加扰种子的选择后，根据表 1 的映射关系将物理层头中信令内容中的加扰种子指示的 2 个比特值正确填写，从而为接收端的逆加扰过程提供加扰种子数值的信令指示。

这里说明一下阈值 C 的设定基本原则，阈值 C 的大小将随着子载波数量、频域载波的星座映射阶数和设备功率放大器性能等因素而自适应调整，可以通过计算机仿真和实际测设结果来获取，并由设备方自主设定，不进行强制规定，但在后续的算法性能分析中会提供一个数值设置建议供读者参考。其中当阈值 C 的数值设置较大时，发送端可以使用较少次数的随机种子就能生成满足预设条件要求的 OFDM 基带时域

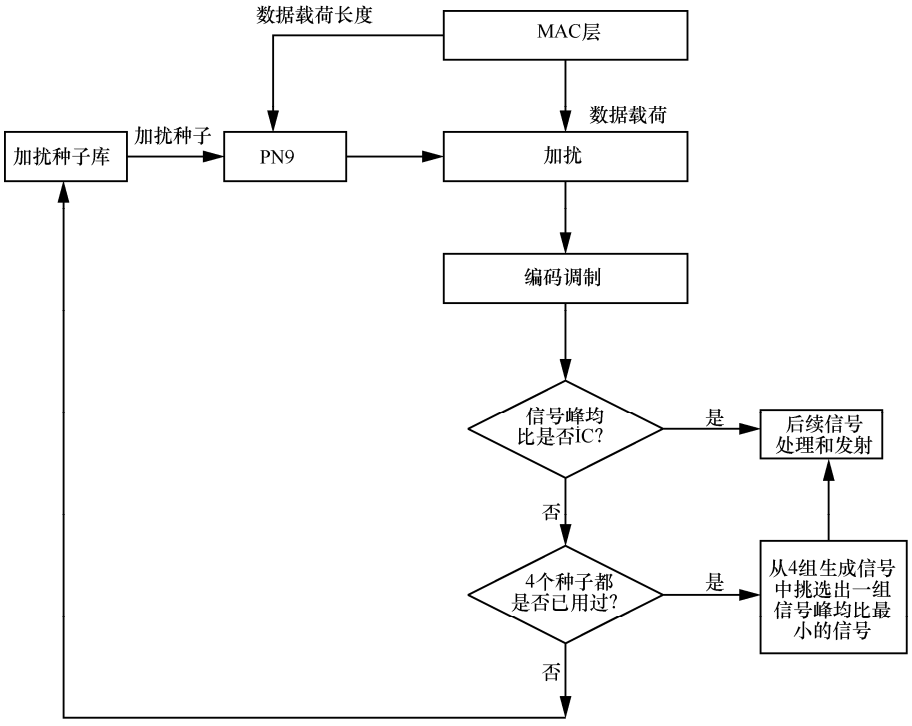


图 5　发送端的信号处理流程图

信号，因此算法的复杂度较低，但算法所获得降峰均比性能较差；而阈值 C 的数值设置较小时，发射端需要使用更多次数的随机种子才有可能生成满足预设条件要求的 OFDM 基带时域信号，因此算法的复杂度较高，但算法所获得的降峰均比性能较好。

基于上述算法实现的相关说明，使用新算法的发送端的信号处理基本流程如图 5 所示：

2.3 算法性能分析

对降低信号峰均比值算法而言，其具体性能一般需要从如下 5 个指标来进行综合评估：

1）系统误比特率性能；

2）传输速率性能；

3）边带信息数量性能；

4）算法计算复杂度性能；

5）发射信号的降峰均比值性能；

综合分析文中所提供的信号处理流程可以看出，本算法没有对发送信号进行任何的削峰或压缩处理，因此系统误比特率和传输速率仍然和未使用优化算法的信号保持一致；另外 2 个比特的边带信息数量符合了 IEEE 802.15.4g 标准中对物理层信号的发送格式要求，无需对协议内容进行任何修改，因此边带信息数量符合标准要求。

2.3.1 算法计算复杂度分析

由于图 4 所示的 PN9 所产生的加扰序列具有较强的随机性，可以认为由不同加扰种子产生的加扰序列之间的相关性较弱，因此 4 个加扰序列对相同二进制原始数据进行加扰后得到的序列之间也是相互独立的。

从上述信号处理流程中可以看出，算法计算复杂度直接由阈值 C 的数值设置大小决定。当阈值 C 的数值为+∞时，则优化算法趋同于原来的无优化算法，即没对信号的 PAPR 性能进行任何优化，但计算复杂度最低，即和未使用优化算法的信号处理流程保持相同；而如果将阈值 C 的数值设置为 0 时，则每次信号发送时，发送端都固定进行 4 次加扰种子的选择和 4 次的完整的信号处理流程，包括加扰、信道编码、星座调制和 IFFT 变换等，因此算法计算复杂度为原来的无优化算法的 4 倍，但在另一方面则可获得最佳的降 PAPR 性能。

然后通过 CCDF 函数来进行算法计算复杂度的具体分析，设待发送的数据载荷信号一共包含 K 个 OFDM 符号，这里可以假定这 K 个 OFDM 符号的数值之间是不具有任何相关性的，则发送端在信号处理流程中，对加扰种子的选择次数为 1、2、3 和 4 的概率值见表 2。

表 2 不同加扰种子选择次数对应的概率值

加扰种子选择次数	对应概率值
1	$Pr_1=(\Pr(PARR\le C))^K$
2	$Pr_2=(1-Pr_1)\times Pr_1$
3	$Pr_3=(1-Pr_1)\times Pr_2$
4	$1-Pr_1-Pr_2-Pr_3$

信号峰均比值性能需要从大量信号的统计结果来进行评估，而其信号的 CCDF 函数其 10^{-4} 处所对应的数值大小是一个重要指标。因此针对阈值 C 的数值大小设置问题，这里作为一个不具有强制性的建议，发送端可以预先通过计算机仿真获取基带信号的时域互补累积分布函数的曲线，然后将阈值 C 的数值设定为该曲线在在 10^{-4} 处对应的数值，即阈值 C 的数值满足如下条件：

$$\Pr(PAPR > C) = 1 - \Pr(PAPR \le C) = 10^{-4} \qquad (6)$$

则此时不同加扰种子选择次数对应的概率值情况见下表：

表 3 Pr(PAPR＞C)=10-4 时不同加扰种子选择次数对应的概率值

加扰种子选择次数	对应概率值
1	$Pr_1\approx 1-K\times 10^{-4}$
2	$Pr_2=(1-Pr_1)\times Pr_1$
3	$Pr_3=(1-Pr_1)\times Pr_2$
4	$1-Pr_1-Pr_2-Pr_3$

IEEE 802.15.4g 标准主要用于户外低速无线智能计量公用网络和传感器网络的应用，因此其业务数据将以短报文为主，单次信号发送的数据载荷数据量一般为几十字节或数百字节，因此对应的符号数量 K 的数值较小（典型值为 20 个），而当阈值 C 的数值满足式（6）的条件时，则发送端使用 1 个加扰种子的概率达到了约 99%，而使用 2、3 或 4 个加扰种子的概率仅为 1%。所以和不使用优化机制的原算法相比，文中所提供的优化算法的计算复杂度基本和其保持相同水平。

2.3.2 信号峰均比值降低性能仿真结果

下面给出不同子载波数量（N=64 和 128，K=20）和不同调制方案（BPSK 和 QPSK）时，未使用优化

机制的原信号与使用优化机制的信号的 CCDF 函数曲线的仿真结果如下图所示：

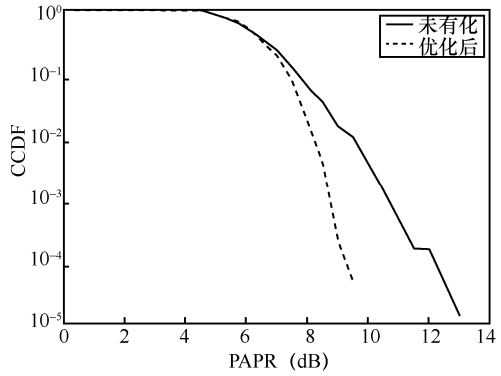


图 6　64 个子载波，BPSK 调制，20 个 OFDM 符号时的峰均比值优化结果

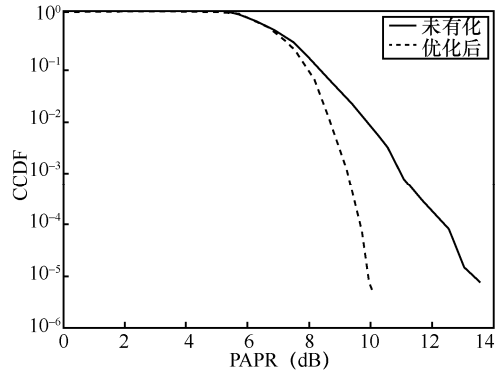


图 7　128 个子载波，BPSK 调制，20 个 OFDM 符号时的峰均比值优化结果

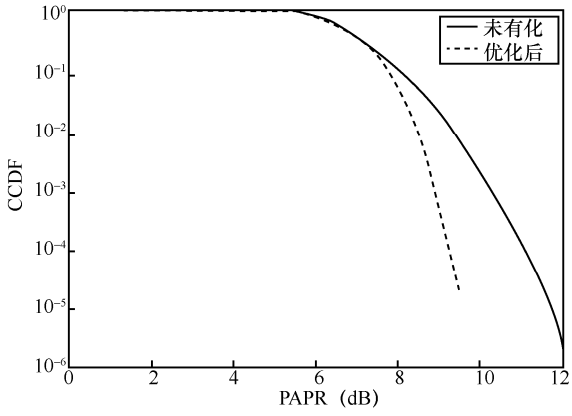


图 8　64 个子载波，QPSK 调制，20 个 OFDM 符号时的峰均比值优化结果

从上述图 6-图 9 的仿真结果可以看出，在不同的载波和调制方案下，和未优化的原信号相关，优化后的发送信号 CCDF 函数曲线在 10^{-4} 处的数值减少了约 2-2.6dB，取得了比较理想的降信号峰均比值的性能优化结果。

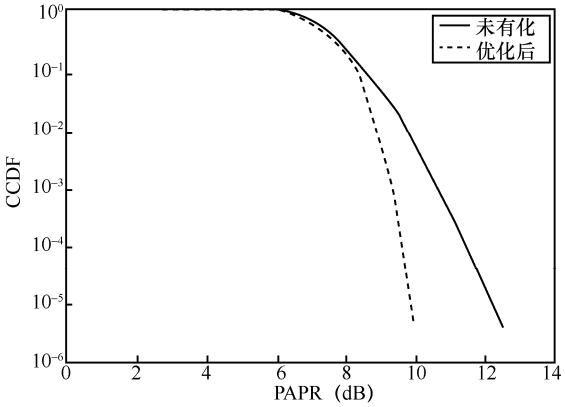


图 9　128 个子载波，QPSK 调制，20 个 OFDM 符号时的峰均比值优化结果

3　结束语

针对 IEEE 802.15.4g 标准的 MR-OFDM 波形，文中提供的降峰均比算法可以完全符合标准内容的要求，实现了对已有产品的通信兼容。同时优化算法不影响传输速率，且计算复杂度低，获得了较好的降低峰均比值效果，对降低新产品的成本和功耗水平会有明显的帮助。

最后再强调一下，国内外电力物联网的多个通信标准[19-23]在制定时也参考了 IEEE 802.15.4g 标准的设计理念，其发射信号的帧结构和其保持类似结构，因此文中的算法原理经过适当调整后也可以适用于这些标准的 OFDM 信号的降峰均比优化机制。

参考文献：

[1] LAN MAN Standards Committee. IEEE 802.15.4k-2013. Part15.4: Physical layer specifications for low energy, critical infrastructure monitoring networks[S]. New York, USA: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc, 2013: 1-149.

[2] ZHANG G W, CAO Q, ZHENG L B, et al. Wireless ad hoc network system based on IEEE 802.15.4g[C]//International Conference on Cyberspace Technology (CCT 2014). Beijing, China. Institution of Engineering and Technology, 2014.

[3] ZHENG L G. Research and implementation of wireless personal area network based on IEEE802.15.4[C]//Proceedings of the 2015 3rd International Conference on Machinery, Materials and Information Technology Applications. November 28-29, 2015. Qingdao, China. Paris, France: Atlantis Press, 2015: 5.

[4] 钱程, 陈良亮, 张卫国. 基于OFDM的高速电力线远程通信系统的设计与分析[J]. 电测与仪表, 2015, 52(24): 101-106.

[5] 龚钢军, 孙毅, 蔡明明, 等. 面向智能电网的物联网架构与应用方案研究[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(20): 52-58.

[6] IEEE Standard for Local and metropolitan area networks: Part 15.4: Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs)

Amendment 1: MAC sublayer[J]. IEEE Std 802 15 4e-2012 (Amendment to IEEE Std 802 15 4-2011), 2012: 1-225.

[7] Prasad R. OFDM for wireless communications systems[A]. Boston, MA: Artech House Publisher, 2004.

[8] 尤肖虎, 潘志文, 高西奇, 等. 5G 移动通信发展趋势与若干关键技术[J]. 中国科学: 信息科学, 2014, 44(5): 551-563.

[9] 杨军胜, 王森, 王承民, 等. 多频带自适应技术在电力载波方面的研究[J]. 电测与仪表, 2019, 56(8): 137-143.

[10] 尹建丰, 丁文伯, 魏华义, 等. 电力线载波通信标准 PRIME 和 G3- PLC 的研究[J]. 电测与仪表, 2014, 51(13): 37-41.

[11] 郭义辉, 彭石, 王承民, 等. 基于 OFDM 技术的多频段电力载波通信装置研究[J]. 电测与仪表, 2017, 54(23): 60-67.

[12] WAN NGAH W N, HASHIM S J, ABAS A F, et al. Reduction of Peak to Average Power Ratio in Coherent Optical Orthogonal Frequency division multiplexing using companding transform[C]//2014 IEEE REGION 10 SYMPOSIUM. April 14-16, 2014, Kuala Lumpur, Malaysia. IEEE, 2014: 177-180.

[13] ARMSTRONG J. Peak-to-average power reduction for OFDM by repeated clipping and frequency domain filtering[J]. Electronics Letters, 2002, 38(5): 246.

[14] ZHU X D, PAN W S, LI H, et al. Simplified approach to optimized iterative clipping and filtering for PAPR reduction of OFDM signals[J]. IEEE Transactions on Communications, 2013, 61(5): 1891-1901.

[15] RAHMATALLAH Y, MOHAN S. Peak-to-average power ratio reduction in OFDM systems: a survey and taxonomy[J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2013, 15(4): 1567-1592.

[16] 孙玉. 我国物联网产业发展趋势[J]. 物联网学报, 2017, 1(3): 1-5.

[17] 马英杰, 赵耿, 魏占祯, 等. 基于量子混沌映射降低 OFDM 系统 PAPR 的算法研究[J]. 通信学报, 2019, 40(1): 195-200. MA Y J, ZHAO G, WEI Z Z, et al. Research on the algorithm for reducing the PAPR of OFDM system based on quantum chaotic mapping[J]. Journal on Communications, 2019, 40(1): 195-200.

[18] WANG Y C, LUO Z Q. Optimized iterative clipping and filtering for PAPR reduction of OFDM signals[J]. IEEE Transactions on Communications, 2011, 59(1): 33-37.

[19] ZHOU Y, JIANG T. A novel multi-points square mapping combined with PTS to reduce PAPR of OFDM signals without side information[J]. IEEE Transactions on Broadcasting, 2009, 55(4): 831-835.

[20] SEN S, NEHORAI A. Adaptive design of OFDM radar signal with improved wideband ambiguity function[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2010, 58(2): 928-933.

[21] SHARIFIAN Z, OMIDI M J, FARHANG A, et al. Polynomial-based compressing and iterative expanding for PAPR reduction in GFDM[C]//2015 23rd Iranian Conference on Electrical Engineering. May 10-14, 2015, Tehran, Iran. IEEE, 2015: 518-523.

[22] IEEE Std 1901.1™-2018, IEEE Standard for Medium Frequency (less than 12 MHz) Power Line Communications for Smart Grid Applications[S].

[23] Q/GDW 11612.2-2016，低压电力线宽带载波通信互联互通技术规范[S].

IT 集中监控管理平台的研究与实现

丛运龙[1]，胡辉[2]，彭少华[3]
（中国广核电力股份有限公司 信息技术中心，广东省 深圳市 518000）

摘　要：在传统运维向数字化运维的转型的浪潮中，IT 资源监控在运维中的作用越来越明显，企业内部已逐步开始整合现有运维平台，设计运维新思路，建设新型统一运维平台，用数字描述运维既有的运维过程，提升故障预警分析及自愈能力，降低后端运维投入，构建故障发现、故障定位、故障处理、故障类比、运维改进的一整套运维体系，赋予前端监控人员告警发现、原因分析、影响评估、故障预处理、投产变更管控、SLA 考核等更多运维质量管理权限，打造以 IT 监控为核心的运维、指挥、调度、应急四位一体的运维团队，参考 DevOps 及 ITIL 标准，建立监控抓取数据，数据指引运维，运维驱动开发的敏捷性运维体系，进而提高用户在系统使用上的体验。

关键词：数字化；大数据；DevOps；ITIL；敏捷性；Apdex

1　引言

随着 Dev+Ops 开发运维一体化模式在各大企业内的不断应用，IT 运维工作不断被前置，不再只是被动处理已发生的故障，7X24 小时随时待命，实现“被动运维”到“主动运营”质的转变；经过不断的积累，运维不断场景化，各系统运维侧对故障预警的愈发强烈，为了满足各自运维需要，运维人员开始不断引进运维平台或分析工具，因 IT 资源涵盖范围较广，包括了服务器、中间件、网络交换机、防火墙、机房动环、通信、视频、应用系统等，在企业内部运维团队数量较多、人员数量较为庞大，无法有效将各运维工具集成，从而避免数据多次被收集，多运维场景未能统一管控，合理去交集，数据较为分散，反复被调用，造成资源浪费。

2　研究现状

2.1　运维现状

当今，IT 运维已成企业信息化应用的重要基础支撑。企业拥有规模庞大的生产系统及网络、员工的办公网络及业务操作系统，系统繁多、网络结构复杂、生产网络吞吐量大、完全依靠手动管理，工作量大、管理难度大、效率较低。按照传统式被动、孤立、半自动式的单点管理方式和“救火”式的运维方式，IT 运维的人员往往需要随时保持待命状态，面对故障情况只能盲目处理，针对性和系统性的缺乏导致 IT 运维的效率不足，这也使 IT 部门以及业务部门往往对 IT 运维成果并不是很满意[1]。

企业 IT 运维管理存在的问题：运维机制不完备，模式与标准难成体系，企业系统庞大、老旧、分散，运维耗时耗力，人的决定性作用，考核管理机制难以对标，配置管理数据库 CMDB 建设不足[2]。

新型网络信息化技术研究不断深入，物联网、云存储、云计算、大数据分析已在企业内部蓬勃发展，与接传统技术架构系统对接，及更好、更精细化监控运维，提供优质消费场景，需要一套完整的运维门户平台，集中管理运维服务，优化传统的运维体系，实现运维可视化、集中化、流程化。

IT 运维管理的三个新趋势：一方面是云计算、大数据、人工智能、5G 等先进技术的推动，另一方面是企业数字化转型需求使然，再加上疫情的影响，以及“新基建”等因素的促进，企业 IT 运维管理的边界正逐渐扩大。用户在使用 IT 服务的时候，从用户端到核心之间的任何一个环节出现问题，都会影响到用户的体验。因此，只有实现端到端、全方位的管理，才能确保用户具有良好的体验，让用户享受好的 IT 服务[3]。

2.2　主要工作

本文针对目前企业内运维平台多样性、采集不灵活、数据分散、集成度不高、故障诊断效率低等问题，

提出了一种智慧化大数据平台解决方案。其研究的主要内容如下：

（1）IT 监控体系能力模型。对标业界 IT 监控发展，定位监控运维重要性，绘制监控体系能力模型，以监控能力模型规划运维体系，构建企业级运维生态圈。

（2）运维平台集成化。规划数据仓库与配置库，可根据企业自身发现需要，利用开源软件或商业平台或企业内自研，融合或扩展多维运维平台，制定数据接入与数据调用标准，实现开放式、多元化运维。

（3）大数据关联分析。规划大数据分析平台，可根据企业自身发现需要，利用开源软件或商业平台或企业内自研，结合运维场景，分析数仓中的数据，调用配置库中的关系，实现业务运维精细化管理。

（4）运维门户。通过不断的建设积累，逐步实现告警、可视化、报表、ITSM 流程、SLA 自动考核等运维场景，从而实现全生命周期的运维中台。

3 平台设计思路

3.1 及时预警

IT 监控能力翻盖服务器、交换机、路由器、防火墙、中间件、数据库、存储、应用 APM、机房动环等，企业内部建立监控研究实验室，结合商业成熟产品与业界主流开源产品，深入研究、探索、论证、分析，实现监控指标关联，为上层数据分析、可视化展示、ITSM 流程奠定基础。

硬件环境监控服务: 主机服务器性能监控、网络设备性能监控、网络流量监控。

平台软件监控服务: 数据库运行状态监控、数据库性能状态监控、数据库健康状态监控、中间件运行状态监控、中间件性能状态监控、中间件端口连接监控。

业务系统响应监控服务: 通过模拟用户操作业务系统，对业务系统响应时间进行监控的 BAC 业务响应时间监控。

其中业务系统响应监控服务为“级别质量保障”的重要手段，通过该手段可以掌握业务系统对用户提供服务的响应状态，保障用户业务系统使用体验的重要手段。硬件环境与平台软件作为承载业务系统的基础设施，当基础设施性能状态异常时，必然会影响到业务系统响应时间，从而影响生产效率; 而如何衡量基础设施监控的准确性与有效性，则以业务系统响 应时间作为反射[4]。

通过短信平台，钉钉，微信，邮件，电话等多渠道方式实现通报，以系统等级与告警等级两个维度确定事件等级，采用不同通报方式，如：

表 1 事件通报对照表

系统级别	告警级别	通报级别	通报方式
关键	灾难	重大	重大：话+钉钉群+短信+邮件
	严重	较大	较大：话+钉钉群+短信+邮件
	一般	一般	一般：邮件通知（含自动邮件通知）
	警告	-	
重要	灾难	较大	
	严重	一般	
	一般	一般	
	警告	-	
一般	灾难	一般	
	严重	一般	
	一般	一般	
	警告	-	

3.2 快速排错

依托大数据分析平台、告警平台、APM 系统及配置库系统，快速响应故障、定位根因、诊断处理，发挥运维职能，对故障定级，按照程序分级通报、跟踪、处理，构建运维知识库，积累运维经验，提升监控人员处置能力，降低故障影响。

3.3 结构功能

以 IT 监控推动运维质量，以数据为支撑，设置预警机制，提前干预，提供合理化建议，优化资源利用，代码精简，不断提升运维能力，降低后端运维投入，提高用户体验。利用监控工具，使 IT 资源的实时监控以及用户操作规范约束等得以实现[5]。

4 建设思路

IT 监控系统对 IT 管理的全新理念，是对 IT 基础架构的管理：IT 元素作为一个整体统一管理；高效集成了传统的网络管理、系统管理、软件应用管理。将网络、主机系统、应用等，统一作为系统管理对象，具体的系统设计架构如图 1 所示。IT 监控系统统一提供覆盖各种网络设备、主机服务器、数据库、中间件、通用软件、专有设备及专有业务系统的各种监测器。监测器的种类和覆盖范围还在不断增长和升级。用户可以为每一个网元同时创建上述各个层面的多个监测

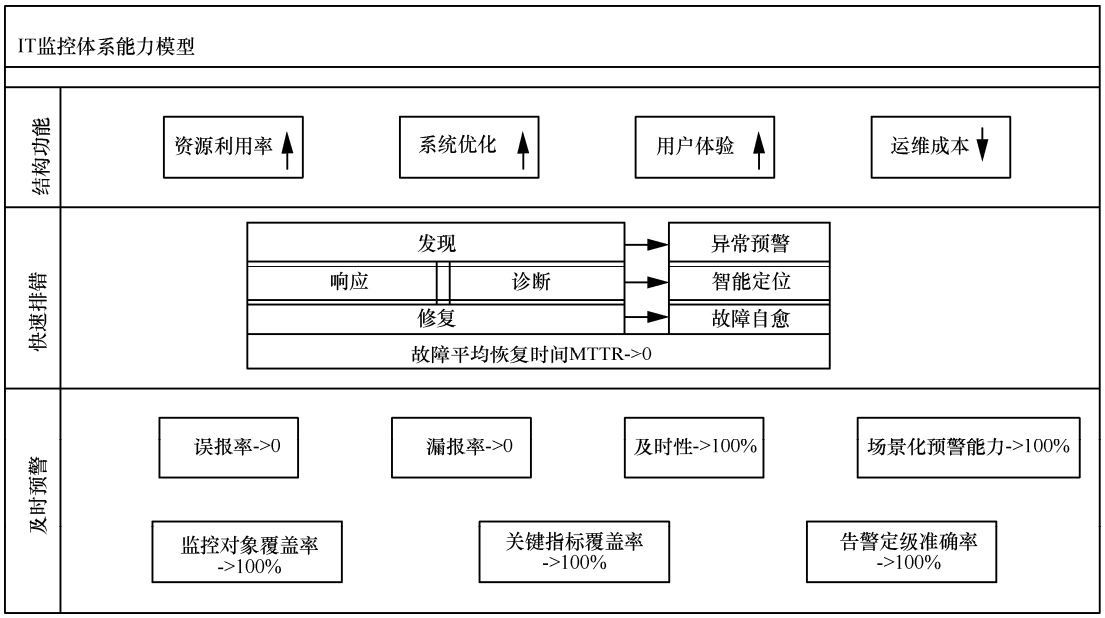


图 1　IT 监控能力模型

器，并能够在不同的监测之间、 从不同管理角度建立任意的相关性和依赖关系[6]。

IT 系统健康度有两层含义：第一层是“健康”的含义，是指系统业务功能满足用户需求，用户满意度较高，系统各组件性能良好和持续稳定；第二层是“度”的含义，是指测量、判别系统运行是否健康而必须要具备的评估标准和可量化的工具[7]。

4.1　平台集成化

先进性原则：选择代表先进水平和全球主流趋势的软硬件平台产品，使之不仅能够满足目前业务的需要，还能适应未来技术发展的趋势和需要。灵活性原则：综合多方需求，灵活配置，优化系统资源，实现最大灵活性。可扩展性原则：在设计上充分考虑到可扩展性需求，提供具有最高可伸缩性的系统，并保护项目投资。稳定性原则：整体系统确保稳定、高效、连续地运营，能够支持全天 24h 的连续运行需求[8]。

以运维门户集成化为目标，实现监控、告警、数据分析、数据展示、作业管理、ITSM 流程集成化运维。

4.2　作业自动化

监控管理自动化、故障管理自动化、服务管理自动化、配置管理自动化、请求管理自动化、运维场景自动化、智能控制[9]。

4.3　运维智能化

IT 部门需要有一张业务视图反映 IT 环境。出现了什么问题，就可以到里面去找，会清楚地知道这影

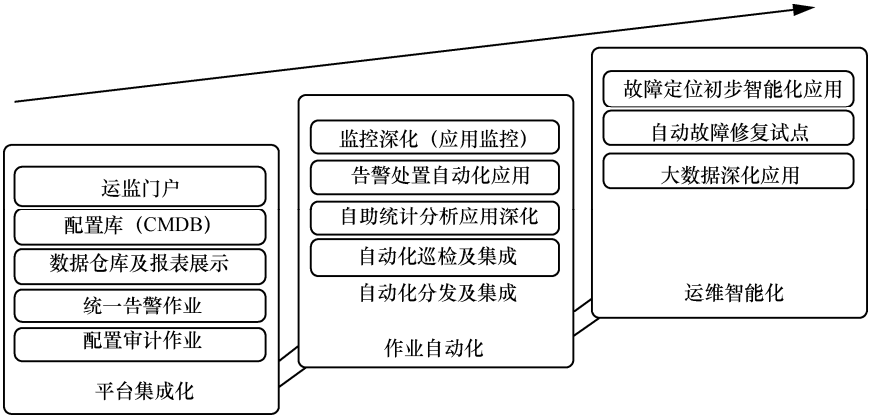


图 2　IT 运维能力实施计划

响什么，会关联什么，以及关联的原因[10]，不断梳理业务场景，以平台为依托，实现故障定位、故障自愈、大数据深层次应用。

5 平台技术架构

5.1 运维平台业务架构

5.1.1 业务架构设计

自上而下的业务场景规划，日常运维积累或调研后企业定制化的需求提炼，反推数据来源或重要节点，以运维目标为导向勾勒业务画像，进而确定企业内部业务架构，确立一个开放、三个唯一、一个扩展原则，即底层采集开放式，中层建立数据中台、配置中台、技术中台三个企业内唯一数据来源，顶层场景扩展性，支撑企业运维不断横向、纵向的持续发展以及不断探索。

从整个平台的角度来看，新一代运维平台以分层原则为基础，重新确立了门户系统的边界，即“中台+微应用+门户”的标准模式。其中，中台包括技术中台和 业务中台，技术中台包含了公共技术能力，业务中台则是指按照业务域划分的业务公共能力；微应用是指在不 同的角色和场景下打造个性化服务能力，即利用中台化 的 API 能力来重新组装出小范围场景；门户则是整合微 应用和中台能力后的最终表现形式。从业务角度来说，新一代 IT 运维门户通过集成底层所有能力[11]。

5.1.2 业务健康度算法

人的身体健康状态可以定义为健康、亚健康、不健康。同理，应用系统运行情况也可以通过健康的维度直观反映出来，系统本身运行状态也可以按照健康健康、亚健康、不健康来定义或者通过具体的数值进行量化，如目前业界公认的 Apdex 值。

性能指数 Apdex（Application Performance Index）即“应用性能指标”。由众多企业及网络技术服务公司组成的 Apdex 联盟共同推出。该指标是用户对应应用性能满意度的量化值，它提供了一个统一的测量和报告用户体验的方法，在业界第一次将端到端的最终用户体验与应用性能联系在一起[12]。Apdex 的取值在 0-1 之间，0 代表应用性能最差，1 代表应用性能最好。

Apdex 值计算方法：

APDEX=0xΣ 悲观算法+0.5xΣ 加权算法+1xΣ 乐观算法

悲观算法：应用系统中各主要支撑节点，如出现异常时，将对系统造成不可用的影响，可以参考应用架构图对系统各节点及各指标单元进行悲观设置，如在非高可用架构中，某台设备的宕机，应用系统整体将不可用，那么该设备需要设置为悲观算法。如某台设备 CPU 到达 100%，将会造成系统不可用，那么该设备的 CPU 同样需要设置悲观算法。

乐观算法：应用系统中各节点或指标出现异常时，对应用整体不会产生影响，用户无感知。如网络双链路单条不可用时，对应用系统本身是无影响的，但网络层作为应用系统画像需要纳入图谱中，可对其设置乐观算法。

加权算法：应用系统中各节点或指标出现异常时，对系统造成一定影响，或该隐患发展下去将产生故障。

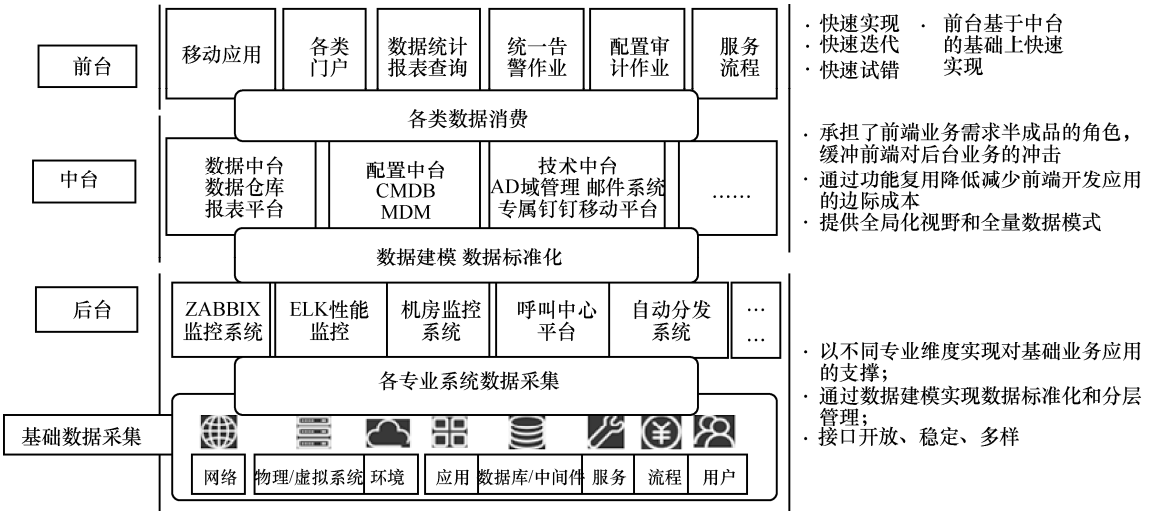


图 3 企业监控业务架构

如 CPU 性能指标，当服务器 CPU 使用率大于 90%时，对应用系统来说已经是潜在的隐患，任由其发展下去，CPU 使用率到达 100%，系统将无法访问，对此可以设置加权值，参考系统架构，设置合适的权重，通过 Apdex 值来运维，既能及时发现、处理隐患，又能在出现故障时快速定位。

5.2 运维平台技术架构

5.2.1 数据采集层

开放式部署商业成熟系统与主流开源产品采集数据，如 Zabbix、Prometheus、ELK 日志采集系统等，增加对采集的人力自研投入，降低预算投入，考虑采集层的可替代性，企业内应成立专门技术研究部门，在设备可用性、性能指标、状态类指标的基础上积累适合自己的数据源，提炼服务侧与用户侧数据分析，不算变换分析指标，控制好数据极大程度上便可控制企业内运维发展。

从系统网元上采集的数据包括性能数据、网元告警、配置信息。并向数据处理层的临时数据库中传送。采集方式分 2 种：直连网元，即直接连接到网元设备，进行数据采集，适用于小型系统；系统层采集，即通过上一级的网管来获取数据，如厂家 OMC，适用于大型系统。要求配置、性能、告警原始数据至少要留半年以上[13]。

5.2.2 数据基础层

以数据仓库与配置库为基础，向下兼容各采集平台，实现全数据存储，通过数据区别管理，采用热桶（即实时数据），温桶（即最近数据），冷桶（即历史不常使用数据）存储，向上制定数据推送标准，通过接口、日志、协议等不断输出分析数据，为场景化运维提高数据支撑。

大数据数仓逻辑分层

大数据数据仓库从数据源到采集与多层清洗加工，形成以数据资产为核心的数据仓库，在这一过程中，形成了一套规范的数据逻辑分层。数据逻辑分层包括 ODS 层、DWD 层、DWS 层和 ADS 层。ODS 层：全称 Operation Data Store，用于存放原始数据信息，和数据源保持一致。DWD 层：全称 Data Warehouse Detail，数据仓库明细层，包括行为数据和日志数据信息子表和一些宽表，主要完成数据的清洗、转换等工作。DWS 层：全称 Data Warehouse Summary，数据仓库汇总层，是最直接体系数据资产的层，一般是用来汇总数据的，现在已经逐步弱化，主要完成挖掘、数据分析等工作。ADS 层：全称 Application Data Store，数据应用层，高度汇总数据，主要用于报表展示[14]。

5.2.3 数据服务层

制定数据标准与数据模型，以应用层为目标，对接收到的数据进行数据过滤、数据清洗与数据转换，为上层应用提供定制化的数据，从而实现数据可见。

5.2.4 数据应用层

日常的运维积累，企业内对数据的分析展示以是急不可待，多部门协作，梳理运维难点与当前存在的痛点，通过数据实现运维可感。

5.3 运维平台流程设计

用户报修与运维发现在运维能力不断提升中将逐步转化为监控发现，这也是企业内部运维能力的综合

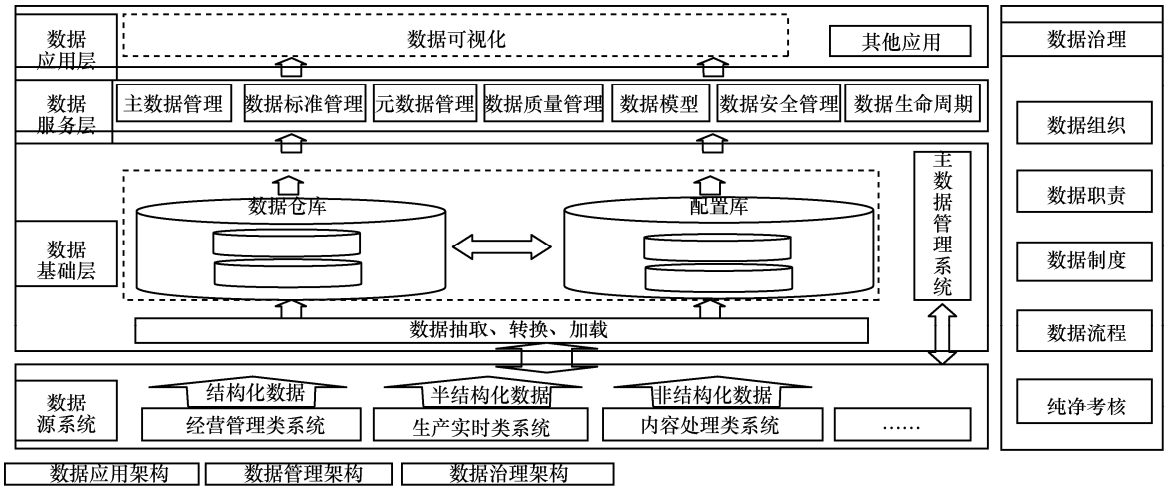


图 4 运维平台技术架构

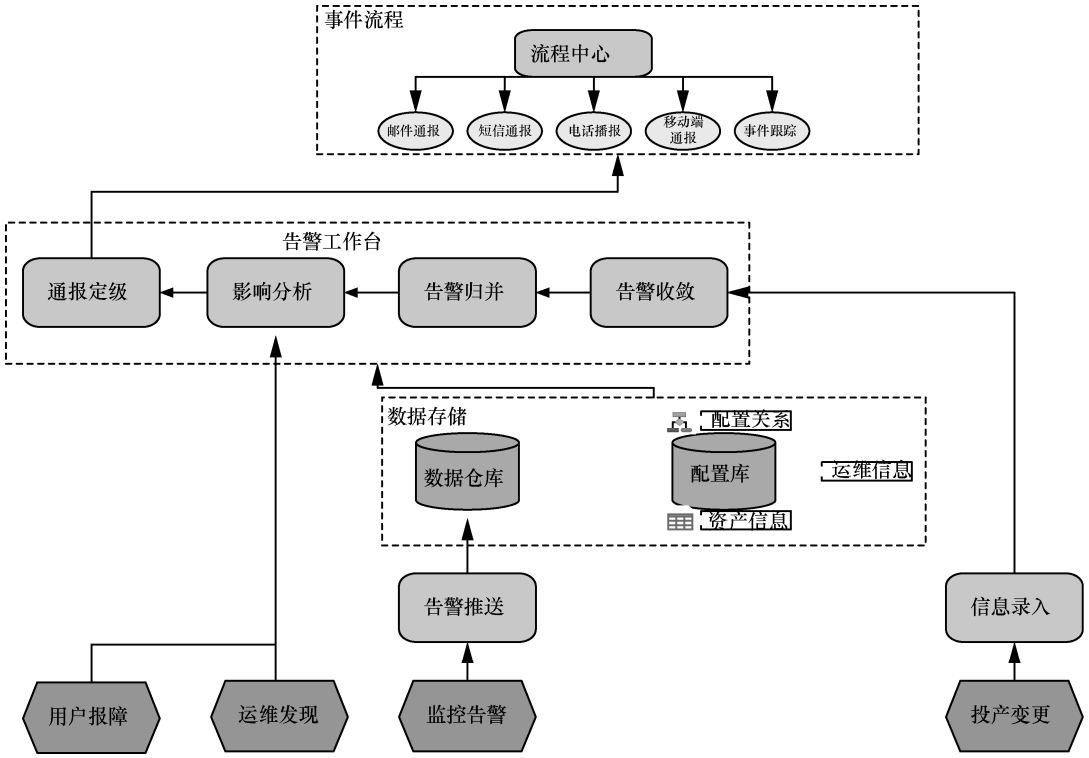


图 5　运维平台流程设计

体现，告警通过 ITSM 流程平台自动触发，调用数据仓库中大数据场景分析与配置库中运维人员、、设备或系统配置项、配置关系等，推送核心引擎处理，做设备或系统告警收敛、归并，通过预设消费场景分析根因，等级通报，最终以邮件、短信、语音播报、移动 APP、ITSM 系统流程等诸多可选途径展示运维能力，实现运维流程一体化。

6　结束语

通过大型企业内部实践，从管理体系、监控技术进行论证，总结了一套企业级智能化运维解决方案，对底层采集、中层数据处理、顶层数据消费做深度剖析，展望未来 IT 运维发展趋势，融合传统与新型运维体系，在运维浪潮中不断探索、研究。

（1）IT 监控运维能力，参照 Devops 运维体系指导深度挖掘监控侧运维能力，深化运维整体协作，构建调度、应急、指挥、参观运维模式的新型运营部门，实现提前预警，集中管理，提升运维整体能力，降低企业运维投入，提高用户满意度。

（2）IT 运维集中化，指导企业融合在役平台，干预开发中的平台，以两库四中心为根本，建设企业级运维门户平台，实现监控、故障处理、作业、可视化展示、运维流程自动化，打造可见、可感、可管的综合平台，推动企业数字化进程。

（3）IT 运维场景化，以数据驱动为中心的双向驱动决策模型是对管理决策模式的创新，面对大数据所带来的新要求和新挑战，可逐步形成以大数据为核心驱动力的闭环运维管理流程，为运维管理和决策转型打下坚实基础，有利于进一步推进信息化进程监控对数据分析常态化[15]，以大数据分析推动各应用层架优化，由传统被动式运维转主动式运维，不断提升系统高可用架构，建立企业运维生态圈。

参考文献：

[1] 论国柱, 曹晓红, 何永涛. 企业 IT 运维自动化建设[J]. 现代信息科技, 2020, 4(10): 114-116.
[2] 杨定定. 企业 IT 运维管理实践与探索[J]. 信息与电脑(理论版), 2020, 32(15): 20-22.
[3] 郭涛. “后疫情”时代，IT 运维的“新常态”[J]. 网络安全和信息化, 2020(11): 9-10.
[4] 卢翔, 苏杨, 史峻丞. 基于 SLA 的 IT 监控告警分级及验证机制[J]. 贵州电力技术, 2017, 20(2): 62-64.
[5] 游锦海. IT 运维自动化研究与应用[J]. 中国新通信, 2020, 22(8): 92.
[6] 叶枝平. IT 监控系统的设计与实现[J]. 现代计算机(专业版), 2010(6): 176-178.
[7] 梁奂, 陈春华, 李军. IT 健康度模型的设计与实践[J]. 移动通信, 2014, 38(24): 62-66.

[8] 谢洪波. IT 集中监控管理平台的设计与实现[J]. 通讯世界, 2016(12): 283-284.
[9] 周万春. IT 综合管控平台的研究与应用[J]. 计算机安全, 2013(11): 79-83.
[10] 郑悦. ITIL 解惑 IT 监控[J].中国经济和信息化. 2006(37): 33-33.
[11] 张荣亮. 新一代 IT 运维门户驱动运维平台能力深度整合的探索和实践[J]. 中国金融电脑, 2020(12): 62-65.
[12] 昌盛, 李井波. APDEX 应用性能指标在保险行业的应用[J]. 中国新通信, 2016, 18(15): 98-100.
[13] 王俊敏. 面向应用系统的 IT 监控方式研究与实现[J]. 邮电设计技术, 2018(2): 84-88.
[14] 罗巍, 刘功总. 基于大数据的数据仓库研究现状[J]. 中国新技术新产品, 2020(17): 38-39.
[15] 袁倩媚. 基于大数据驱动的新型 IT 运维管理与决策研究分析[J]. 中国信息化, 2019(11): 54-55.

浅谈 VR 技术在核电站数据中心日常运维中涉及的应用场景

潘生，谢增，程芸
（信息技术中心苍南分部，浙江温州 325800）

摘　要：近几年来随着人们生产生活的提高，对于能源需求的不断增加，尤其是对电力能源的依赖，使得核电站数量、规模不断的发展扩大。核电站大多数位于地广人稀的区域，大型核电站的在建立数据中心和区域机房时，意味着其分布也往往相聚较远，甚至在地理位置上处于交通不发达区域，早已无法依靠人力去巡视和管理。如今三维可视化技术已成熟，在巡视和管理上，可借助该类手段实现数据中心的 VR 应用。本文对于 VR 是如何与数据中心及区域机房应用相结合的，进行简要阐述。

关键词：VR；VR 应用；数据中心；区域机房；日常运维

1　引言

核电站在生产过程中不断的累积，产生海量的数据，同时在生产运行过程中均需要数据支撑作为支撑，通过数据中心进行海量数据处理，使得数据中心变得至关重要。正因为其重要的地位，数据中心的日常运维也成为电站管理者的关注之地。借鉴数据中心 3D 可视化的管理理念，利用沉浸式 VR 设备，构建虚拟可视化管理环境，有效的管理地域分散的数据中心成为传统方式的一个转变，在恶劣的环境下帮助运维人员将日常工作借助可视化的手段开展。

2　VR、数据中心、数据中心 3D 可视化

虚拟现实（virtual reality，VR）主要是指通过计算机与传感器技术创造出一种新型的人机交互手段。在 VR 技术中，利用现实生活中的数据，通过计算机技术产生的电子信号，模拟产生一个三度空间的虚拟世界，提供用户关于视觉、听觉、触觉等感官的模拟，让用户沉浸到该环境中，带来身临其境之感，这些现象可以是现实中真真切的物体，也可以是我们肉眼所看不到的物质，通过三维模型表现出来，因为这些现象不是我们直接所能看见的，而是通过计算机技术模拟出来的现实世界，故称为虚拟现实。

数据中心是一整套复杂的设施，不仅包括计算机系统和其他与之配套的设备，如通信和存储系统，还包括冗余的数据通信连接、环境控制设备、监控设备以及各种安全装置。一个大型的数据中心内部往往都包含了很多小系统，运维工作是围绕着这些具体的应用系统展开。保证数据中心稳定和高效的运行，使之能更好的为核电站发展提供强大的支持能力。

数据中心 3D 可视化系统是一套集 3D 建模、三维场景仿真、视频监控、查询目标跟踪、二三维联动与 Web 发布于一体的三维监控系统程序。用户通过计算机生成的虚拟模型，可对数据中心一切的物理对象进行查看、交互式分析，有效提升信息交互的效率。

3　VR 技术应用于数据中心日常运维的可行性

随着核电站数据中心的规模日益扩大，依靠人力去巡视和管理数据中心已经不能满足现代数据中心运维管理工作的新模式了。核电站的数据中心和区域机房是非自由出入的区域，只有经过相关授权的少部分员工才能进入，为保障数据中心的安全，常常需要一天内多次进入数据中心进行巡视，因此巡视的工作量较大，发现物理环境安全隐患的实效性较低，成为数据中心和区域机房的短板，为了适应新时代的发展，采用各种新兴技术手段保障核电站数据中心和区域机房的安全稳定运行已变得尤为重要。

随着数据中心业务的不断增长，专业人员严重短缺，专业运维人员需要同时访问多个数据中心设施，在时间上及空间上将无法满足，迫切需要一个类似的主控室，专业运维人员可以在控制室中，一次远程巡视操作多个数据中心，而不必亲自到现场。

数据中心本身就处于前沿技术领域，区别于传统行业，更容易吸纳新技术，而数据中心 3D 可视化机房管理，加上 VR 技术应用，可为机房运维管理人员提供直观、实时、高效的可视化监控环境。

数据中心的 3D 可视化技术已经成熟，大量的数据内容已经被生产出来，只差 VR 应用，通过 3D 建模，设备设施画面能够比传统的 2D 平面图更加直观，更具立体感，能够给人带来身临其境的感觉，配合 VR 技术实现的数据中心 3D 示意图，运维人员可以从任意角度查看数据中心内设备的实时运行状态、数据监控信息及设备告警信息，在数据中心和区域机房发生故障的时候能第一时间定位、查看、判断并处理，解决了信息机房分布广、设备数量大、种类多等问题，进一步优化了工作流程，实现了远程巡视、远程排障等场景，大大提升了运维效率。

4 虚拟现实技术与数据中心环境相辅相成

（1）足够的数据存储

虚拟现实系统的部署，需要将数据中心的环境进行多维的数字仿真化，数据上进行有目的的融合，该过程的计算十分复杂，需要采用到高清视频组合才能够达到其清晰的视觉效果，数据中心本身在于数据存储及传输的优势，相当适合 VR 终端通过网络流媒体的形式进行随时访问、调取、写入、修改相关数据。

（2）稳定的数据传输

从数据传输的角度来看，VR 获取数据中心的数据，大量变化的数据要实现实时传输，强大的数据中心后台和网络带宽，直接决定数据的访问、调取、写入、修改速率和稳定程度。数据中心自身搭建的万兆、千兆的网络优势能够很大程度上保证网络稳定性和传输速率。

（3）高效的运算能力

VR 场景的实现需要对运维人员的操作、命令进行实时快速的响应，在这个交互的过程中涉及到大量的数据计算，视频数据与文字和图片访问请求不同的是，如果处理速度跟不上，将出现失帧、丢帧等卡顿现象，影响到视频的流畅性及整体观感。微秒级的处理速度是基本要求。数据计算的核心是 CPU，而 CPU 和存储设备相辅相成，数据中心机房统一恒定的环境发挥最大作用，使得 VR 计算设备能够达到最大的计算能力。

（4）安全的防御能力

近年国家层面相继颁布了网络安全法、网络安全等级保护条例等法律法规，规范了网络安全行为，对网络安全的重视程度空前，VR 作为新兴的技术，加上近年来物联网终端被劫持的事件频发，安全防护对于提高 VR 的使用体验来说相当重要，数据中心现有的集群防御能力能够有效地防止恶意所攻击带来的影响，比起终端来说，数据隐私可以得到更好的保护。

（5）良好的展示能力

对于核电站而言，经常性的上级主管单位视察、技术交流的公务活动较多，进入受限区域的数据中心所办理的授权流程复杂且周期较长，如利用 VR 技术，可以很好的利用传统的宣传所无法比拟的模式，可以更加便捷、真实的为公务活动及技术交流提供展示条件，大大提高了效率，同时避免时间上的浪费。

5 虚拟现实在数据中心运维过程中的优势

（1）沉浸体验式

随着核电站的业务发展，数据中心及其附属机房的分布区域日益扩大，在地理环境和恶劣天气下，早已无法完全依靠人力去巡视与管理，而身份识别的特殊性，注定其不是一个可以自由出入的区域，因此对于数据中心的运维和管理，需要达到高沉浸的模拟体验，借助 VR 可视化穿戴设备，运维人员以虚拟视角存在于虚拟环境中，虚拟程度可以达到让运维人员难以分辨环境真实，可随着运维人员头部转动进行视角变化，轻松控制视角与方向，各个角落尽在观察范围中，如配上模拟的光线和声音效果，甚至可以超越真实环境。以机房为例，我们可以把 VR 和三维可视化呈现结合起来，戴上头盔，就能感觉自己身处机房中，以行走的视觉去查看整个机房设施。转动头部可以轻松控制视角和方向，便于看到各个角落。配套的手柄控制器就是在虚拟机房中拥有的虚拟双臂，利用手柄，我们可以打开机柜，查看设备和板卡，模拟进行设备上下架等操作，能让用户有身临其境的感觉，对于核电站的工作票准备、工作流程校验等提供依据。

（2）交互操作式

运维人员可以在虚拟的环境中利用类似遥控的装置可对其中的物体和事件进行操作和处置，使得虚拟场景中的物体可以随着手部的移动而进行相应动作，同时可以借助 VR 技术通过对虚拟场景中的实施遥控，将动作进行有效转换，实现虚拟与现实的同步。

借助 VR 技术对可以选择需要进入的区域，对于楼层和房间，还可以做出如打开机柜，查看设备，板卡，进行设备上下架的操作，能够利用站在机房里的视角对机柜、机架、桥架、缆沟等平时进度难度较高的区域进行更加合理高效的巡视。虽说在目前在计算机终端上通过操作三维可视化系统已经可以达到非常清晰直观的内容，但是采用 VR 技术，能让运维人员拥有身临其境的感觉，仿佛置身于数据中心中行走巡视，达到对机房的管理运维。

（3）远程操作

数据中心及区域机房维护人员需要经过专业的技能培训，才能进入现场进行设备操作，若遇上突发紧急状况导致运维技术人员无法到达现场，尤其是在一些特殊情况下，例如疫情持续期间，运维技术人员无法现场对设备、服务器性能、网络配置，进行操作，针对这类情况，VR 技术的优势就凸显出来了，运维技术人员可借助 VR 技术对可以选择需要进入的区域，远程操作设备，实现远程运维“零”距离。

（4）应急演练

现实中根据运维需求及相关管理要求，数据中心及机房将会定期开展应急演练，模拟火灾、水侵以及恶劣天气下数据中心失陷的应急场景，以检验运维人员的应急能力。通过 VR 技术，将数据中心或机房的数据进行应急场景展现，可以将一些危险系数较大的场景加入演练，更真实的反映出运维人员的应急行动及处理方式，可以有效的提高数据中心整体的应急反应能力。

（5）优化设计

虚拟数据中心的设计方式必须使其能有效运行，而且这些虚拟数据中心需要以模块化方式设计，具有灵活和安全性等特性，运维人员可借助 VR 技术，进行测试，通过虚拟模型在方案实施前检测出设计中可能出现的缺陷，借助 VR 技术，找到最佳的设计方案。

6 虚拟现实在数据中心运维过程中的应用

6.1 应用目标

针对数据中心机房的日常运维，充分利用数据采集，将最新的数据通过计算机图形技术，直观的展现在运维人员面前，建立可视化交互平台，如图 1 所示。

通过虚拟现实技术，真实的还原展现数据中心的实际情况，对数据中心、机房和各类设备进行管理，集成现有的动环监控、主机监控、网络监控、系统监控等，达到让运维人员清晰直观的了解设备运行状况和信息资源配置情况，建立立体的、透明的、实时的基础运维平台，如图 2 所示。

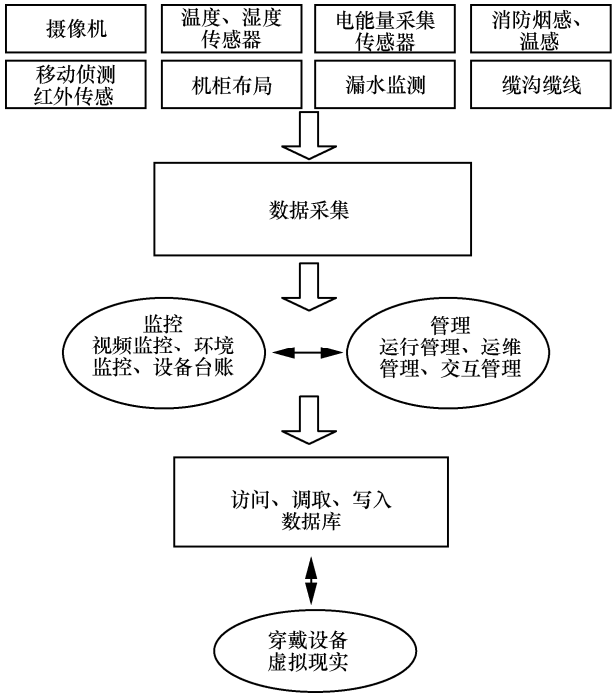


图 1　可视化交互平台

6.2 解决方案

（1）环境可视化

以现实环境为基础，动环监控为辅助，还原展现数据中心所在的实体环境，包含平面结构、机柜布局、线缆路径、管道布局等，达到可视化的目的。通过对动环监控、网络监控、主机监控系统的相关数据访问、调取，实现环境数据、主机运行状态、网络设备运行状态的实时查询。

（2）快速定位

通过对机柜及设备的查询，达到设备物理定位，不进行移动，自由选择呈现在面前的设备、线缆、配线架、桥架情况，巡视真实环境中到达相对困难的“死角”。

（3）监控可视化

将现有的监控系统加以整合，数据集中存储，需将采集对象进行唯一独立化，以免基础信息展示产生混乱，通过对基础运行状态信息的共同展示，以辅助数据中心的运维分析，保障数据中心的安全运行。通过虚拟现实技术配合穿戴设备，对单个系统进行直观展示，以 3D 视图的形式访问读取采集的数据信息。

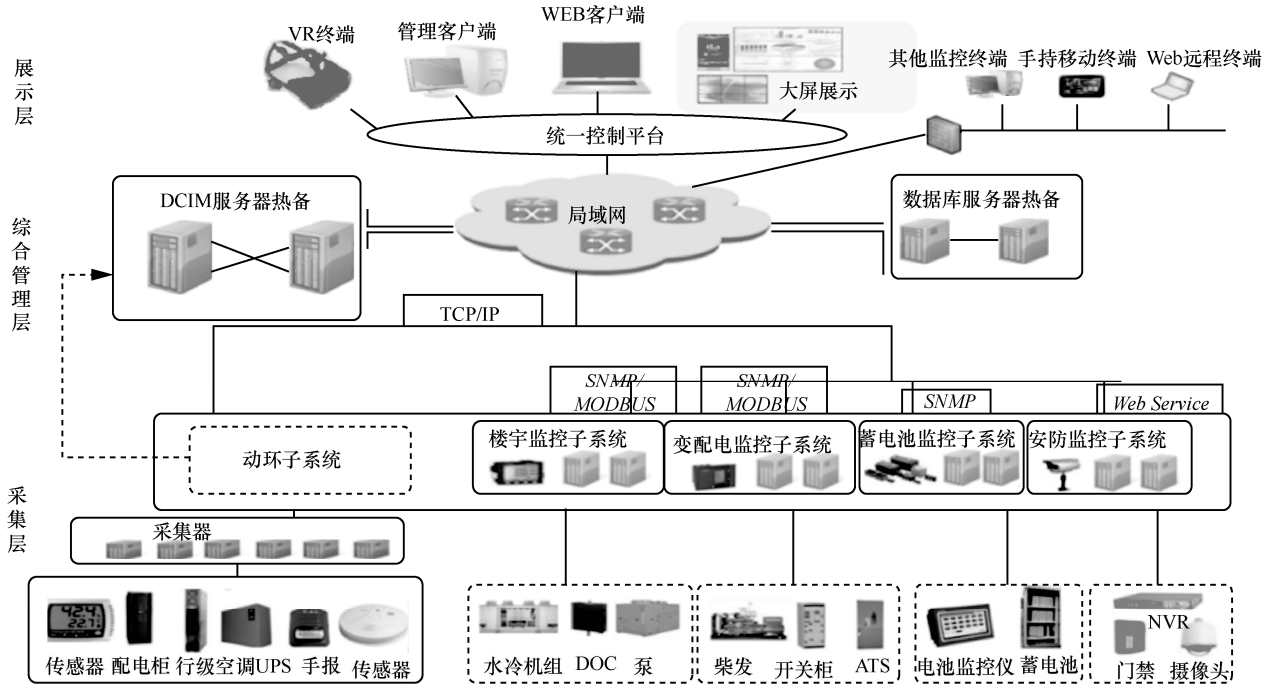


图 2　基础运维平台

7　核电站多数据中心日常运维实现VR技术目前的局限性

（1）目前，市场上的 VR 设备大都是为游戏开发，专业的高性能设备售价较高，对于日常运维及后期的维护管理费用，将会是一笔不小的开销。

（2）数据中心很难实现完全的运维数据虚拟化，核电站数据中心设备数量众多，需要监控的各类机房基础设施系统种类繁杂，例如 UPS 系统、恒温空调系统等，依靠现阶段的数据，只能部分实现故障定位功能。

（3）厂家、设备等技术存在一定的壁垒保护，各类数据接口标准及协议难以统一，平台建设将存在较大的挑战。

（4）核电站作为公众较为敏感的区域，任何技术的应用前提，是基于安全、可靠、经过多方论证及试验的成果，将新兴技术使用于核电站日常运维可能需要一个漫长的过渡阶段。

8　结束语

虚拟现实技术作为新时代的新兴技术，是非常具有潜力的前沿技术、值得深入研究的主要技术，在数据中心运维的理论上，软硬件环境上需要依赖数种新兴技术的综合应用，虽然目前还有较多技术有待完善优化，但随着科学技术的发展，相信在不久的将来，虚拟现实技术在生产运维中的应用将会越来越广。

参考文献：

[1] 甘芳. 可穿戴设备的创意革命[J]. 上海信息化, 2013(10): 70-73.
[2] 张仁玉, 马霖霖. 可穿戴设备的今世来生[J]. 走向世界, 2013(24): 86-91.
[3] 王倩. 可穿戴设备的信息安全问题研究[J]. 情报探索, 2016(3): 122-124, 128.
[4] 范秀敏. 深度沉浸: VR 技术的发展[J]. 互联网经济, 2016(11): 32-35.
[5] 喻国明, 盛倩玉, 李建飞. VR(虚拟现实)技术的产业化进程: 业态模型与发展关键[J]. 新闻知识, 2016(11): 3-8.
[6] 于帆. VR 发展：技术等待内容[N]. 中国文化报, 2016-11-07(6).
[7] 王建宾, 杨连营. 三维全景技术在机房管理平台中的应用[J]. 电子技术与软件工程, 2017(2): 76-77.

波束赋形技术研究与改进及其在电力应急通信中的应用

李骁睿，伍韵文，刘春，吴华兵，汪子钧
（国网四川省电力公司乐山供电公司 四川 乐山 614000）

摘　要：当下无线通信技术已融入我们生活和工作，人们对无线通信系统的用户承载量、传输速率、信号质量等因素要求更高了。波束赋形技术作为多用户多输入多输出（Multi－User Multiple－Input Multiple－Output，MU－MIMO）系统的关键技术，可以增加系统容量和速率，有效减少用户间干扰。本文对于多用户波束赋形技术展开了以下方面研究：本文深入研究了最优波束赋形技术。先后介绍了最大传输比（Maximum Ratio Transmission，MRT）、迫零波束赋形（Zero－Forcing Beamforming，ZFBF）、MMSE 和 Regul．ZFBF 等方法的原理。通过 MATLAB 软件仿真，分析了采用 MRT、ZFBF、MMSE 和 Regul．ZFBF 时系统的容量，讨论了使用 MMSE／Regul．ZFBF 时改变发射天线数对于系统容量的影响。得益于波束赋形技术对传输距离与质量的提升，使其能够较好的用于电力应急通信中，最后分析了 MRT 与 MMSE／Regul．ZFBF 在不同电力应急通信情景中的应用。

关键词：多用户 MIMO 波束赋形；电力通信

1　绪论

1.1　研究目的和意义

伴随社会的发展，无论工作还是生活都离不开无线通信。人们迫切需要一种发射功率更小但传输效率、频谱效率更高、能量利用率更高的通信方式。从 1991 第二代移动通信系统（2G）问世，3G 移动通信系统在 2001 出现，再到用于满足 International Mobile Telecommunications-Advanced（IMT-A）使用 IP 服务需求的 4G 无线通信系统。对于较低速率运动的设备，其数据的传输速度可以达到 1Gb/s，比如：漫游/本地无线访问（接入），对于高速率移动设备，其传输速率达到 100Mb / s，例如移动接入。长期演进（Long Term Evolution，LTE）及其延伸，LTE-Advanced 系统，正如现在的 4G 系统一样，已经或很快被全球采用。5G 技术在频谱利用方面更好，并且将与其他移动通信技术结合。然而，越来越多的用户加入宽带系统，渴望在移动状态下更快的因特网接入，一般而言就是可与他人进行即时通信或信息接收。EMO 指出，从 2006 年开始在移动宽带上有了 92%的增长[1]。无线研究论坛（Wireless World Research Forum，WWRF）截止至 2017 年将有 7 万亿用户享受到无线服务；也就是说，联网连接无线设备的数量将达到世界人口的 1000 倍[2]。

无线通信的飞速发展，让移动互联网、各种移动终端在人们日常生活中得到了广泛的应用，虽然这些技术的结晶带来了许多便利，但也带来了数据的爆炸式增长，给从事无线通信的企业带来了更大压力：

1. 无线频率频谱的有限可用性和实际环境的非理想性。

2. 要求服务质量（Quality of Service，QOS）更好，数据速率、容量更大,还需要达到用户覆盖范围的要求[3]。

此时，高数据速率、高可靠性的多输入多输出（Multiple-input multiple-output, MIMO）技术发展迅速，它覆盖了广泛的范围。MIMO 技术采用空间复用和分集增益提高无线信道容量、可靠性及降低误码率[4]。

MIMO 无线通信技术来源于天线分集和智能天线技术。在现实生活中，信号向整个小区均匀发射，大多数发射信号都被浪费了，而且这些能量还会对其他用户造成干扰，随之而来的是多径衰落和时延扩展。

在基于 MIMO 技术的移动通信系统中采用波束赋形（Beamforming, BF）技术[5]，在发送天线阵列发送信号之前，为使该发送天线发出的“波束”更加精

确地对准目的节点，将信号乘以一个发射机和接收机已知的权重向量，以提高位于期待用户处的接收信号强度，而降低对其他用户的干扰信号强度。用户收到信号后再通过上行链路将信道状态信息反馈给基站，从而让资源分配给最好的信道。

1.2 国内外研究现状及发展动态分析

在研究中将信道设为恒定衰落信道明显是不能适用于快速移动的复杂环境的，目前也有研究是设为频选衰落且移动台迅速移动的情况。

在实验方面，分为室内和室外 MIMO 实验[6]，国内电子科技大学、东南大学的国际上 V-BLAST 的可行性验证试验，IST METRA 项目实验、BYU MIMO 实验等，极大地促进了 MIMO 技术的研究进展。

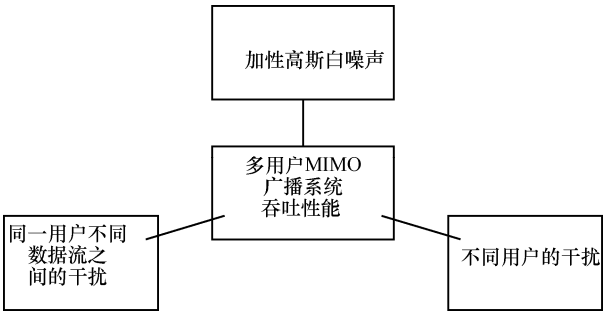


图 1-1 影响多用户 MIMO 广播信道系统性能的主要因素

Emre Telatar 的论文[7]已经证明了点对点 MIMO 通信系统的理论可达容量与最小天线数成正比，可以实现理论上的系统可达容量。而影响多用户 MIMO 系统性能的主要干扰来源于用户间干扰、数据流间干扰、小区间干扰。对于多用户 MIMO 广播信道而言，影响系统容量性能主要如图 1-1 所示。

总结近年来关于 MIMO 技术的研究，其主要内容包括 MIMO 信道容量的分析、基于 MIMO 的接收机的空时编/译码方法、关键的接收技术（如信道估计、均衡技术、多用户检测等）。

阵列天线的波束赋形主要分两种，早期采用模拟相移器控制各个天线阵元的相位，使给目标用户的信号因相位相同叠加而加强，其他方向都被或多或减少，其原理如图 1-2。

另外一种是数字波束赋形技术，数字信号可以通过对各个天线阵元的信号乘以复加权系数后相加，加权系数不仅可以调整信号相位，还能调整信号幅度。对于窄带信号而言，不仅可以增强目标方向的信号，还可以通过合理设置零点来抑制其他方向的干扰和噪声[8]，原理如图 1-3。

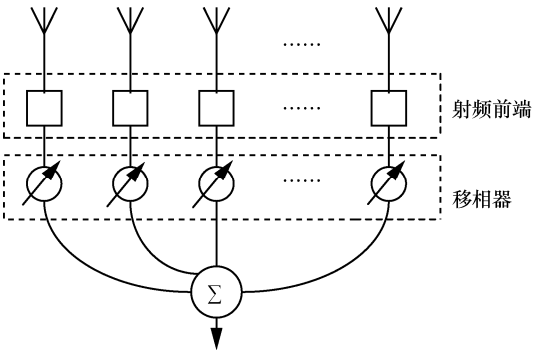


图 1-2 模拟相移器控制天线阵元的波束赋形

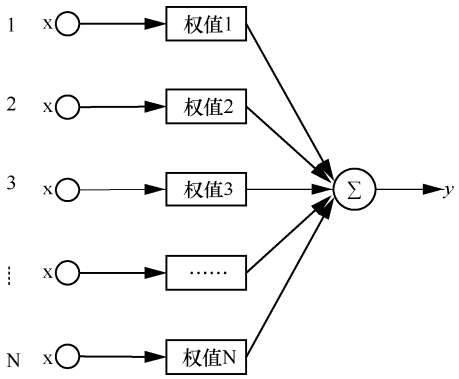


图 1-3 数字波束赋形技术

第 2 章 波束赋形技术的研究与改进

2.1 波束赋形技术

2.1.1 MIMO 系统介绍

多输入多输出技术（MIMO）适用于各种复杂环境，它利用空间分集技术来避免能量的损失。MIMO 系统通过在基站和接收端设置多根天线来获得空分复用增益和多用户分集增益，以此提高无线通信系统的频谱效率。其分为单用户 MIMO 信道模型和多用户 MIMO 信道模型。

对于这个单用户 MIMO 系统，所接收的信号可以表示为：

$$y = \mathbf{H}x + n \tag{2-1}$$

其中，y 为 MIMO 系统中的接收信号，H 为一个 $N_R \times N_T$ 维信道矩阵，x 为发送信号，n 为噪声信号。用矩阵的形式表示即为：

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_{N_R} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & \cdots & h_{1N_T} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{N_R1} & \cdots & h_{N_RN_T} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_{N_T} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ \vdots \\ n_{N_R} \end{bmatrix} \tag{2-2}$$

在信道矩阵 H 中任意的元素 h_{ij} 代表由第 j 根发射天线到第 i 根接收天线间的信道衰落系数。接收天线在传输过程中会受到高斯白噪声影响，噪声矢量 n 中每一个元素都是服从零均值、方差为 σ^2 的独立同分布复高斯随机变量。

假设配备 N_T 根天线的基站（Base Station, BS）使用空分复用接入（Space Division Multiple Access，SDMA）与 K 个单天线用户进行信息交流。发给用户 k 的单位化数据信号表示为 $S_k \in C$，而矢量 $h_k \in N_T \times 1$ 描述相应的信道。K 个不同数据信号使用线性波束赋形矢量 $w_1,...,w_k$,在空间上分离。矢量 w_k 与用户 k 紧密相关。归一化后的形式 $w_k/\|w_k\|$称为波束赋形方向，它在 n 维向量空间中指出一个方向，不过在视距已知情况下它只对应一个物理方向。平方的形式$\|w_k\|^2$ 是分配给发射到用户 k 的功率。我们为用户 k 的接收信号 $y_k \in C$ 建立模型：

$$\mathrm{y}_k = \mathrm{h}_k^H \left(\sum_{i=1}^{K} \mathrm{w}_i \mathrm{s}_i \right) + \mathrm{n}_k, k = 1, \cdots, K \qquad (2\text{-}3)$$

其中 n_k是零均值和方差为σ^2的附加接收机噪声。因此，用户 k 的信干噪比是：

$$SINR_k = \frac{\left| h_k^H w_k \right|^2}{\sum_{i \neq k} \left| h_k^H w_i \right|^2 + \sigma^2} = \frac{\frac{1}{\sigma^2}\left| h_k^H w_k \right|^2}{\sum_{i \neq k} \frac{1}{\sigma^2}\left| h_k^H w_i \right|^2 + 1} \qquad (2\text{-}4)$$

我们使用等号最右边的噪声归一化的式子，因为它强调了噪声的影响。若用矩阵形式表示：

$$\mathbf{y}_k = \mathbf{H}_k \sum_{i=1}^{N_T} \mathbf{x}_i + \mathbf{n}_k = \mathbf{H}_k \mathbf{x}_k + \mathbf{H}_k \sum_{i=1, i \neq k}^{N_T} \mathbf{x}_i + \mathbf{n}_k, k = 1, 2, \cdots, K \qquad (2\text{-}5)$$

由（2-5）可以看出，$H_k x_k$对于第 K 个用户是有用信号，而发送给其他用户的信号对第 K 个用户就是干扰。

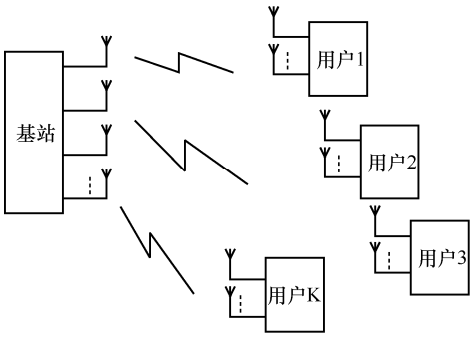


图 2-1　多用户 MIMO 系统信道模型

2.1.2　波束赋形简介

发射波束赋形可将信号从 N_T 个天线阵列发射到一个或多个用户[9]。在无线通信中，它的目标是提高目标用户的信号功率，降低对非目标用户的干扰。通过所有天线发送相同的数据信号，获得高功率信号。但由于信号的振幅和相位不同，以致信号成分相干地加在了用户上。要降低干扰可通过将信号成分相互抵消地加在非目标用户上来解决。

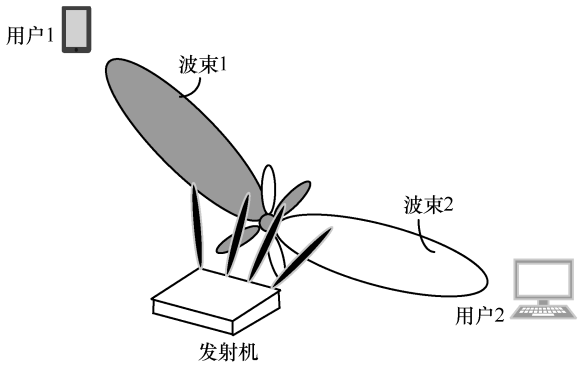


图 2-2　视距已知情况发射波束赋形技术示意图

在信号发送和接收的过程中，我们希望每个用户都能达到最优的 *SINR*，用尽可能少的发射能量，用数学表达式表示如下：

$$\min_{w_1, \cdots, w_k} \sum_{k=1}^{K} \|w_k\|^2 \qquad (\mathrm{P1})$$
$$subject\ to\ SINR_k \geq \gamma_k$$

其中，参数 γ 是用户所能达到的最优 *SINR*，我们在分析中常认为 γ 的值是一个常量。

2.1.3　凸优化问题的分析

要得出最优波束赋形结构，首先要将问题表示为一个凸优化问题。表示功率的式子$\sum_{k=1}^{K}\|w_k\|^2$ 明显是一个关于波束赋形矢量的凸优化函数，我们要使内积 $h_k^H w_k$ 为正实数，即 $\sqrt{\left| h_k^H w_k \right|^2} = h_k^H w_k \geq 0$。如果用 R 表示实部，则约束 $SINR_k \geq \gamma_k$ 可被重新表示为：

$$\begin{aligned} &\frac{1}{\gamma_k \sigma^2}\left| h_k^H w_k \right|^2 \geq \sum_{i \neq k} \frac{1}{\sigma^2}\left| h_k^H w_i \right|^2 + 1 \Leftrightarrow \\ &\frac{1}{\sqrt{\gamma_k \sigma^2}} \Re(h_k^H w_k) \geq \sqrt{\sum_{i \neq k} \frac{1}{\sigma^2}\left| h_k^H w_i \right|^2 + 1} \end{aligned} \qquad (2\text{-}6)$$

（2-6）被重新表示的 *SINR* 约束是一个凸优化类型的约束，很容易证明它满足斯特莱约束条件（Slater's constraint）[10]。而最优化理论提供许多重要的性质，

如强对偶性（Strong duality）和 KKT 条件（Karush-Kuhn-Tucker Conditions），为重新表述的凸优化问题的解决提供了方法。即使（P1）不是凸优化问题，文献[11]中附录 A 也表明这些性质同样适用。我们只需要改变一个简单参数就能调节模型，强对偶性和 KKT 条件在其中起到了重要作用。为证明这个问题，我们定义了一个关于此问题的拉格朗日函数：

$$L(w_1,\cdots,w_k,\lambda_1,\cdots,\lambda_k)=\sum_{k=1}^{K}\|w_k\|^2+\sum_{k=1}^{K}\lambda_k\left(\sum_{i\neq k}\frac{1}{\sigma^2}\left|h_k^H w_i\right|^2+1-\frac{1}{\gamma_k\sigma^2}\left|h_k^H w_k\right|^2\right) \quad (2\text{-}7)$$

其中，参数 $\lambda_k\geq 0$ 是拉格朗日乘子，它与第 K 个 *SINR* 约束紧密联系。根据对偶函数 $\min\ w_1,\ldots,w_k L=\sum_{k=1}^{K}\lambda_k$ 的强对偶性，它等于最优化方案中的总功率$\sum_{k=1}^{K}$。为了解决最优化的问题，我们在最优化方案中利用 KKT 条件，令$\partial L/\partial w_k=0, for\ k=1$：

$$w_k+\sum_{i\neq k}\frac{\lambda_i}{\sigma^2}h_i h_i^H w_k-\frac{\lambda_k}{\gamma_k\sigma^2}h_k h_k^H w_k=0 \quad (2\text{-}8)$$

$$\Leftrightarrow\left(\mathrm{I}_N+\sum_{i=1}^{K}\frac{\lambda_i}{\sigma^2}h_i h_i^H\right)w_k=\frac{\lambda_k}{\sigma^2}\left(1+\frac{1}{\gamma_k}\right)h_k h_k^H w_k \quad (2\text{-}9)$$

$$\Leftrightarrow w_k=\left(\mathrm{I}_N+\sum_{i=1}^{K}\frac{\lambda_i}{\sigma^2}h_i h_i^H\right)^{-1}h_k\underbrace{\frac{\lambda_k}{\sigma^2}\left(1+\frac{1}{\gamma_k}\right)h_k^H w_k}_{=\text{标量}} \quad (2\text{-}10)$$

其中，I_N表示 $N\times N$ 的单位矩阵，式（2-9）是由（2-8）在等式两边同时加上 $\lambda_k h_k h_k^H w_k/\sigma^2$ 得到的，（2-5）是通过乘以逆矩阵得到的。因为 $\lambda_k/\sigma^2\ (1+1/\gamma_k)\ h_k^H w_k$ 是标量，（2-10）表明最优的 w_k 必须平行于 $h_k/(I_N+\sum_{i=1}^{K}\lambda_i/\sigma^2 h_i h_i^H)$ 的。换句话说，最优波束赋形矢量 $w_1^*,\ldots,w_K^*$ 是：

$$w_k^*=\underbrace{\sqrt{p_k}}_{=\text{波束赋形功率}}\underbrace{\frac{\left(\mathrm{I}_N+\sum_{i=1}^{K}\frac{\lambda_i}{\sigma^2}h_i h_i^H\right)^{-1}h_k}{\left\|\left(\mathrm{I}_N+\sum_{i=1}^{K}\frac{\lambda_i}{\sigma^2}h_i h_i^H\right)^{-1}h_k\right\|}}_{=\tilde{w}_k^*=\text{波束赋形方向}} \quad (2\text{-}11)$$

$$for\ k=1,\cdots,K$$

其中 p_k 表示波束赋形功率，$\tilde{w}_k^*$ 表示单位化后用户 k 的波束赋形方向。K 个未知波束赋形功率是将最优化方案中的 *SINR* 约束（2-1）保持相等计算得到的。由此可得，$h_k/\gamma_k\ p_k\left|h_k^H\tilde{w}_k^*\right|^2-\sum_{i\neq k}p_i\left|h_k^H\tilde{w}_k^*\right|^2=\sigma^2\quad for=1,\cdots,K$。

由于我们已经知道波束赋形方向，用已有的 K 个线性等式可以得到 K 个功率是：

$$\begin{bmatrix}p_1\\ \vdots\\ p_K\end{bmatrix}=\mathrm{M}^{-1}\begin{bmatrix}\sigma^2\\ \vdots\\ \sigma^2\end{bmatrix}where\left[\mathrm{M}\right]_{ij}=\begin{cases}\frac{1}{\gamma_i}\left|h_i^H\tilde{w}_i^*\right|^2, i=j\\ -\left|h_i^H\tilde{w}_j^*\right|^2, i\neq j\end{cases} \quad (2\text{-}12)$$

$[M]_{ij}$ 表示矩阵 $M\in R^{K\times K}$ 里（i,j）位置的元素。

结合（2-11）和（2-12），我们得到最优化波束赋形结构：算子为 $\lambda_1,\ldots,\lambda_k$ 的一个拉格朗日函数。拉格朗日算子可以由凸最优化理论[4]或不动点方程得出。对于所有的 K 的不动点方程为:

$$\lambda_k=\frac{\sigma^2}{\left(1+\frac{1}{\gamma_k}\right)h_k^H\left(\mathrm{I}_N+\sum_{i=1}^{K}\frac{\lambda_i}{\sigma^2}h_i h_i^H\right)^{-1}h_k} \quad (\text{P2})$$

2.2 最优化波束赋形方案

上述分析得出了一个关于算子 λ 的最优波束赋形结构。现在我们需要研究出一种通用的发射波束赋形最优方案，首先建立一个随机效能函数 $f(\mathrm{SINR}_1,\ldots,\mathrm{SINR}_K)$。要使随机效能函数最大，在每个用户处的 SINR 都严格增长，但总功率是被限制在 P 以内，数学表达如下：

$$\max_{w_1,\cdots,w_k}\ f\left(SINR_1,\cdots,SINR_k\right)\quad \text{subject to}\ \sum_{k=1}^{K}\|w_k\|^2\leq P \quad (\text{P3})$$

虽然表达式看起来不难，但实际上并不容易解决[10]，其中效能函数是 $f(SINR_1,\ldots,SINR_K)=\sum_{k=1}^{K}log_2(1+SINR_k)$。现在我们假设 *SINR* 值已知：$SINR_1^*,\ldots,SINR_K^*$，并令 $\gamma_k=SINR_K^*, k=1,\ldots,K$，通过这些特殊的 γ 参数来解决通用最优化方案问题。

我们在前文已经得到了最优化波束赋形矢量：

$$w_k^*=\sqrt{p_k}\frac{\left(\mathrm{I}_N+\sum_{i=1}^{K}\frac{\lambda_i}{\sigma^2}h_i h_i^H\right)^{-1}h_k}{\left\|\left(\mathrm{I}_N+\sum_{i=1}^{K}\frac{\lambda_i}{\sigma^2}h_i h_i^H\right)^{-1}h_k\right\|}\quad for\ k=1,\cdots,K \quad (2\text{-}13)$$

其中，参数 $\lambda_1,\ldots\lambda_k$ 为正。由（P1）中的强对偶性可知 $\sum_{i=1}^{K}\lambda_i=P$，且该式子为对偶方程。在[1,*K*]这个范围内，找到最优参数值就等于解决了（P3）。因此，虽然要完全解决原问题很难，但（10）为最优波束赋形提供了一个简单的结构。（2-13）中的逆矩阵适用于所有用

户，包含最优波束赋形矢量的矩阵 $W^*=[W_1^*...W_K^*]\in C^{N\times K}$。我们注意到等式 $\sum_{i=1}^{K}\lambda_i/\sigma^2 h_i h_i^H=1/\sigma^2 H\Lambda H^H$，其中 $H=[h_1,\ldots,h_k]\in C^{N\times K}$ 包含信道，Λ=diag（$\lambda_1,\ldots,\lambda_K$）是含有 λ 的对角矩阵。通过功率 P 分配，我们得到：

$$\mathrm{W}^*=\left(\mathrm{I}_N+\frac{1}{\sigma^2}\mathrm{H}\Lambda\mathrm{H}^H\right)^{-1}\mathrm{HP}^{\frac{1}{2}} \qquad (2\text{-}14)$$

其中，$\mathrm{P}=\mathrm{diag}\left(\frac{p_1}{\left\|\left(\mathrm{I}_N+1/\sigma^2\,\mathrm{H}\Lambda\mathrm{H}^H\right)^{-1}h_1\right\|^2},\cdots,\frac{p_K}{\left\|\left(\mathrm{I}_N+1/\sigma^2\,\mathrm{H}\Lambda\mathrm{H}^H\right)^{-1}\mathrm{h}_K\right\|^2}\right)$，而 $(\bullet)^{\frac{1}{2}}$ 是指矩阵平方根。

2.2.1 最大传输比

方程（2-13）中最优波束赋形的方向包括两个主要部分：1）基站 BS 和用户 K 之间的信道矢量 h_k；2）矩阵（$I_N+\sum_{i=1}^{K}\lambda_i/\sigma^2 h_i h_i^H$）$^{-1}$ 和信道在同一方向的波束赋形叫作最大传输比（MRT）或匹配滤波[12]。当使用 MRT 时，期待用户处的接收信号功率 $\mathrm{pk}\left|h_k^H\tilde{w}_k\right|^2$ 被最大化：

$$\arg\max_{\tilde{w}_k:\|\tilde{w}_k\|^2=1}\left|h_k^H\tilde{w}_k\right|^2=\frac{\mathrm{h}_k}{\|\mathrm{h}_k\|} \qquad (2\text{-}15)$$

由柯西—施瓦茨不等式，可知 K=1 时这是最优波束赋形方向，但 $K>1$ 时（多用户）最优波束赋形方向就难以用上述方法确定了。这是因为在 MRT 里用户间的干扰是未知的，这影响着式子 $(I_N+\sum_{i=1}^{K}\lambda_i/\sigma^2 h_i h_i^H)^{-1}$ 的值：它循环地使 MRT 减少共同用户信道 $h_1,\ldots,h_{k-1},h_k,\ldots,h_{k+1}$ 中产生的干扰。如图 2 所示，最优波束赋形位于 MRT 和正交于所有共同用户信道的向量之间。最优波束赋形方向最终依赖于效用函数 $f(\cdot,\ldots,\cdot)$。不仅如此，参数 $\lambda_i\geq 0$ 还将决定用户 i 的优先权，参数值越大意味着其他用户的波束赋形矢量将越正交于 h_i。

波束赋形 w_k*是基于信道方向 h_k 的，但是旋转后在高信号功率和正交于共同用户信道之间取得平衡.

2.2.2 迫零波束赋形

在天线发射信号，为信号进行赋形的过程中，存在着渐进波束赋形性质：

1）在低信噪比 SNR 情况下，以 $\sigma^2\to\infty$为代表，系统是噪声受限的且（2-14）中的波束赋形矩阵收敛于：

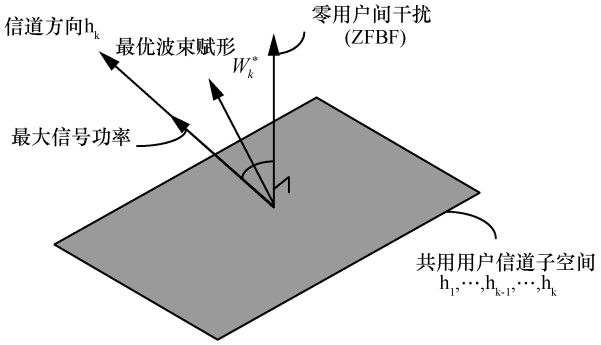


图 2-3 最佳波束赋形方向

$$\mathrm{W}^*_{\sigma^2\to\infty}=\left(\mathrm{I}_N+0\right)^{-1}\mathrm{HP}^{\frac{1}{2}}_{\sigma^2\to\infty}=\mathrm{HP}^{\frac{1}{2}}_{\sigma^2\to\infty} \qquad (2\text{-}16)$$

矩阵的逆便不再存在，$P^2_{\sigma\to\infty}$表示渐进功率分配。这意味着 w_k*与信道矢量 h_k 成比例（是信道矢量 h_k 的缩小版），它等于 MRT。

2）在高 SNR 时，$\sigma^2\to 0$，系统是干扰受限的。我们关注到 $N\geq K$，每个用户至少拥有一个空间分集自由度——这是对 SDMA 的体现。为了避免当 σ^2 太小时逆矩阵中的奇点，我们使用恒等式 $(I+AB)^{-1}A=A(I+BA)^{-1}$，重写（2-14）：

$$\mathrm{W}^*=\mathrm{H}\left(\sigma^2\mathrm{I}_K+\Lambda\mathrm{H}^H\mathrm{H}\right)^{-1}\tilde{\mathrm{P}}^{\frac{1}{2}} \qquad (2\text{-}17)$$

其中，$\tilde{\mathrm{P}}=\mathrm{diag}\left(\frac{p_1}{\left\|\left(\sigma^2\mathrm{I}_K+\Lambda\mathrm{H}^H\mathrm{H}\right)^{-1}\mathrm{h}_1\right\|^2},\cdots,\frac{p_K}{\left\|\left(\sigma^2\mathrm{I}_K+\Lambda\mathrm{H}^H\mathrm{H}\right)^{-1}h_K\right\|^2}\right)$ 表示匹配的重写后的功率分配矩阵。它现在满足：

$$\begin{aligned}\mathrm{W}^*_{\sigma^2\to\infty}&=\mathrm{H}\left(\sigma^2\mathrm{I}_K+\Lambda\mathrm{H}^H\mathrm{H}\right)^{-1}\tilde{\mathrm{P}}_{\sigma^2\to\infty}=\\&\mathrm{H}\left(\mathrm{H}^H\mathrm{H}\right)^{-1}\Lambda^{-1}\tilde{\mathrm{P}}_{\sigma^2\to\infty}\end{aligned} \qquad (2\text{-}18)$$

其中，$\sigma^2 I_K$ 项随着 $\sigma^2\to 0$ 而消失，$\tilde{P}_{\sigma^2\to\infty}$表示渐进功率分配。这个解决方案被叫作信道翻转或者迫零波束赋形（ZFBF）[13]，因为它包含信道矩阵 H^H 的伪逆矩阵 H（H^HH）$^{-1}$。所以，$\mathrm{H}^H\mathrm{W}^*_{\sigma^2\to\infty}=\Lambda^{-1}\tilde{\mathrm{P}}_{\sigma^2\to\infty}$ 是个对角矩阵。非对角阵的元素是 $h_i^H w_k^*=0$ for $i\neq k$。迫零波束赋形技术将 h_k 映射到正交于共同用户信道的子空间内。

2.2.3 最小均方差滤波器

在下行链路中的发射波束赋形与上行链路接收波束赋形之间，有着惊人的相似之处，也有本质性的区

别。为描述之，我们考虑这样一个上行的情况：相同的 K 个用户发射给相同的基站。基站处的接收信号 $r\in C^{N\times 1}$ 为 $r=\sum_{i=1}^{K}h_i s_i+n_r$，其中用户 K 以上行链路发射功率 q_k 来发射数据信号 s_k。接收机噪声 n_r 是零均值的，协方差矩阵为 $\sigma^2 I_N$。用户 K 上行链路中信号的 SNR 是：

$$\mathrm{SINR}_k^{\mathrm{uplink}}=\frac{\frac{q_k}{\sigma^2}\left|\mathrm{h}_k^H\mathrm{v}_k\right|^2}{\sum_{i\neq k}\frac{q_i}{\sigma^2}\left|\mathrm{h}_k^H\mathrm{v}_k\right|^2+\mathrm{v}_k^H\mathrm{I}_N\mathrm{v}_k} \tag{2-19}$$

其中 $v_k\in C^{N\times 1}$ 是单位化形式的接收波束赋形矢量，它被基站用来从干扰信号中空间分离（空分）出用户 K 发送的信号。我们可以对每个用户分别优化波束赋形：

$$\underset{\tilde{\mathrm{v}}_k:\left\|\tilde{\mathrm{v}}_k\right\|^2=1}{\arg\max}\ \frac{\frac{q_k}{\sigma^2}\left|\mathrm{h}_k^H\mathrm{v}_k\right|^2}{\sum_{i\neq k}\frac{q_i}{\sigma^2}\left|\mathrm{h}_i^H\mathrm{v}_k\right|^2+\mathrm{v}_k^H\mathrm{I}_N\mathrm{v}_k}=\frac{\left(\mathrm{I}_N+\sum_{i=1}^{K}\frac{q_i}{\sigma^2}\mathrm{h}_i\mathrm{h}_i^H\right)^{-1}\mathrm{h}_k}{\left\|\left(\mathrm{I}_N+\sum_{i=1}^{K}\frac{q_i}{\sigma^2}\mathrm{h}_i\mathrm{h}_i^H\right)^{-1}\mathrm{h}_k\right\|} \tag{2-20}$$

由于这是个广义的瑞利商的最大化问题，解决方案如下。在不考虑我们想要优化的上行 SNR 方程时，相同的接收波束赋形是最优化的。实际上，（2-20）将被发射的信号和被处理的信号之间的均方差（MSE）最小化，因此它常被称为最小均方差（MMSE）滤波器（或 Wiener 滤波器）[13]。

最优化的发射和接收波束赋形有着相同的结构：（2-20）中的 MMSE 滤波器是由（2-14）中将 λ_k 设为等于上行发射功率 q_k 得到的。这个参数的选择只是在对称情况下的下行链路是最佳的，并且通常情况下参数是不同的。之所以不同是因为上行信号的传输通过不同的信道（因此，上行链路受到信道标准变化的影响），然而下行链路中到达任何一个用户都只经过一个简单的信道[14]。

2.2.4 正则化迫零波束赋形

通常寻找最佳的 λ 参数是很困难的，但是（2-14）和（2-15）中的波束赋形结构提供了一些启发。如果我们让所有参数相等，对于所有用户令 $\lambda_k=\lambda$，我们得到：

$$\mathrm{W}=\left(\mathrm{I}_N+\frac{\lambda}{\sigma^2}\mathrm{HH}^H\right)^{-1}\mathrm{HP}^{\frac{1}{2}}=\mathrm{H}\left(\mathrm{I}_K+\frac{\lambda}{\sigma^2}\mathrm{H}^H\mathrm{H}\right)^{-1}\mathrm{P}^{\frac{1}{2}} \tag{2-21}$$

（2-21）常被称为正则化迫零波束赋形[15]，因为在（2-18）里单位矩阵表现为 ZFBF 的正则化。正则化是让信道误差的数值达到稳定性的鲁棒性的常规手段。在正则化 ZFBF 里只有一个简单的参数 λ，所以它能够在一个特定的传输情况下通过传统的线性搜索达到最优化。

参数总值 $\sum_{i=1}^{K}\lambda_i=P$ 说明，我们在正则化 ZFBF 里设置的参数等于平均发射功率：$\lambda=P/K$。参数的选择有一个简单的导向：匹配的波束赋形方向 $(I_N+\sum_{i=1}^{K}p/\sigma^2 Kh_ih_i^H)^{-1}h_k$ 是使其他用户的信干噪比最大化的，换句话：

$$\underset{\tilde{\mathrm{w}}_k:\left\|\tilde{\mathrm{w}}_k\right\|^2=1}{\arg\max}\ \frac{\frac{P}{K\sigma^2}\left|\mathrm{h}_k^H\tilde{\mathrm{w}}_k\right|^2}{\sum_{i\neq k}\frac{P}{K\sigma^2}\left|\mathrm{h}_i^H\tilde{\mathrm{w}}_k\right|^2+1}=\frac{\left(\mathrm{I}_N+\sum_{i=1}^{K}\frac{P}{K\sigma^2}\mathrm{h}_i\mathrm{h}_i^H\right)^{-1}\mathrm{h}_k}{\left\|\left(\mathrm{I}_N+\sum_{i=1}^{K}\frac{P}{K\sigma^2}\mathrm{h}_i\mathrm{h}_i^H\right)^{-1}\mathrm{h}_k\right\|} \tag{2-22}$$

正则化波束赋形与（2-19）中的上行链路 SNR 最大化时相同，上行链路功率 $q_i=P/K$。因此，（2-22）就被解决了，此时它类似于（2-20）是一个广义的瑞利商。这种想法已经被多位作者独立地提出了，最早的研究可能是 1995 年的[16]，作者在论文中建议波束赋形“期待贡献值的平均功率与非期望贡献值的商是最大化的”。鉴于关系到接收波束赋形，这个方案也被称为发射最小均方误差波束赋形，发射 Wiener 滤波器[13]，信号与泄露能量和噪声比值波束赋形[16]和虚拟 *SINR* 波束赋形。文章[10]中的备注 3.2 讲述了更多的历史背景。

（2-22）中的正则化波束赋形只在特殊情况下是真正最优的。比如考虑一个对称情况，各信道的相同且均有良好的分离方向性，则（P3）中的效能函数相对于 $SINR_1,\ldots,SINR_K$ 是对称的。同理，参数 λ 是对称的，即 $\lambda_k=P/K$（由于 $\sum_{i=1}^{k}\lambda_i=P$）。换句话，发射最小均方误差波束赋形表现不错的原因是它满足了最优波束赋形结构（至少在对称情况下）。因为正则化 ZFBF 中的单个参数并没有提供足够的自由度来改变非对称用户信道的条件和效能函数，所以我们需要用 $\lambda_1,\ldots,\lambda_k$ 所提供的 K 个自由度要寻找到最优波束赋形。

2.4 仿真比较与结果分析

用仿真软件 MATLAB 探究了迫零波束赋形的相关性质，改变天线数进行了验证。将问题转化为了凸优化问题，比较了最大传输比、迫零波束赋形、最小均方误差滤波器和正则化迫零波束赋形几种方法的系统容量，作为改进后的迫零波束赋形，最小均方误差和正则化波束赋形应该是比原方法更优的，这将在下面的仿真中得以验证。

2.4.1 固定天线数改进波束赋形仿真

如图是对所提出的最大传输比（MRT）、迫零波束赋形（ZFBF）、最小均方差（MMSE）和正则化波束赋形（Regul. ZFBF）的仿真。我们考虑 4 个用户时（K=4）的情况，此时的效能函数为 $f(SINR_1,...,SINR_4)=\sum_{k=1}^{4}\log_2(1+SINR_k)$。仿真结果在随机圆对称复杂高斯信道中是平均的，$h_k \sim CN(0,I_N)$，并且 SNR 的值测量为 P/σ^2。最优化波束赋形由[10]中的最小分支定界算法计算得出，该算法的计算复杂度随着 N 呈指数增长。但巨大的复杂度与我们的初衷并非一致，这种启发式的正则化迫零波束赋形方向结合了一个闭合形式的功率分配方案。[10]

图 2-3 和 2-4 展示了当 N=4 和 N=12 个发射天线时的仿真结果。在前者的情况下（N=4），我们观察到 MRT 在 SNR 值较小时接近最优化曲线，然而当 SNR 值增加时 MRT 的表现逐渐变差，在 MRT 里用户间的干扰是未知的，这是由柯西—施瓦茨不等式得出。也就是说只有当 K=1 时，MRT 才可能是相对最优的。很明显在此处 K=4 时，它的性能并不好。

ZFBF 在高 SNR 值时是渐进最优化的。低噪声时由于系统是噪声受限的，即噪声为主导因素，波束赋形矢量 w_k 与信道矢量 h_k 是成比例。随着 SNR 增加，系统逐渐成为了干扰受限的，尤其在 N=12 情况下，每个用户拥有大于一个的空分自由度——这是对于空分多址 SDMA 的体现。因此，在低噪声时我们很直观地知道，噪声支配干扰，此时应该使用 MRT 来最大化信号功率，而干扰不需要去考虑。相反，在高 SNR 区域，干扰支配噪声，因此我们应该使用 ZFBF 来消除干扰。回顾图 2-3，MRT 和 ZFBF 从几何角度来看就是两个极端，任何 SNR 处的最优波束赋形均平衡于二者之间。

MMSE 和 Regul. ZFBF 是适用性更强的方案，它结合了 MRT 和 ZFBF 各自的渐进性质，在 SNR 值大、中、小各段均有很好的性能。但无论如何，和最优化解决方案相比仍然存在一个明显的差距，它向最优方案的过渡仅仅是调整 K=4 个参数值 λ_1，…，λ_4（但 K 中有着指数级的复杂度）。N=12 时，天线数比用户数更多，这让调整需求变得更少了，发射 MMSE 和 Regul. ZFBF 在整个 SNR 范围内都是接近最优化值的，对于大规模天线阵列系统 （Massive MIMO）来说这是个重要的发现。

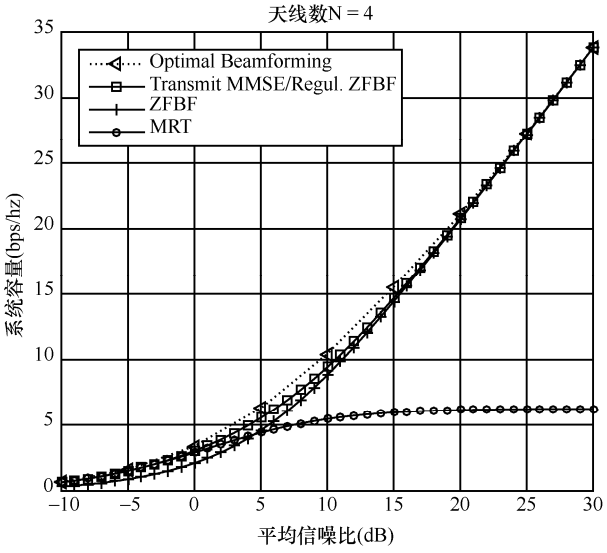


图 2-4 天线数为 4 时各种方案性能对比

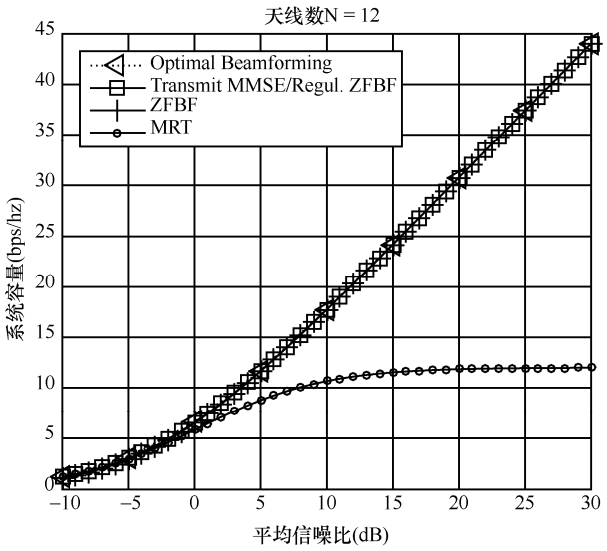


图 2-5 天线数为 12 时各种方案性能对比

2.4.2 天线数递增波束赋形性能仿真

图 2-6 展示了随着发射天线数增加，系统性能的变化，我们考察的是系统容量这一指标。基本上，不

考虑天线数目，随着信噪比 SNR 增加，都能使系统容量增加。当天线数目增加时，会发现系统容量越来越大。这主要是因为信道平方形式$||h_k||^2$与 N 是成比例的，但内积$|h_i^H h_k|$且（i≠k） 随着 N 增长的变化就慢得多了（准确的增长比例依赖于具体的信道模型）。因此随着 $N\to\infty$，用户信道逐渐正交化，并且干扰减少、允许更少的发射功率。观察 N 很大时的 $\sigma^2 I_k+\Lambda H^H H\approx\Lambda H^H H$，其中只有 $H^H H$ 是随着 N 增长的。类似于（2-18），由于渐进信道的正交性，能够证明 MMSE 和 Regul. ZFBF 是随着发射天线数渐进最优的[17,Table1]。这也是目前大规模天线阵列（Massive MIMO）越来越受人关注的原因。

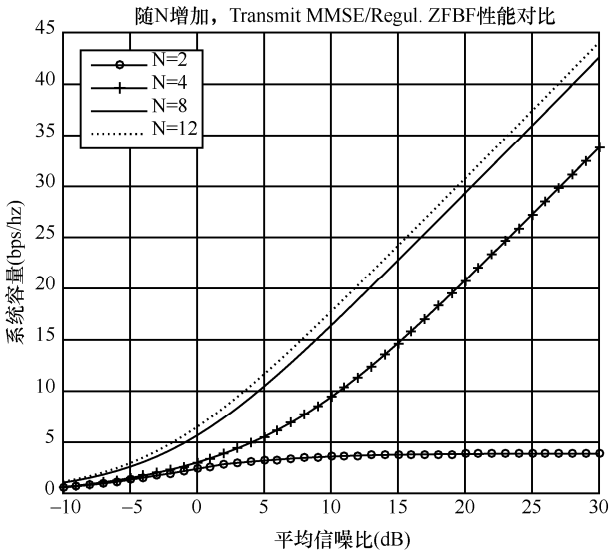


图 2-6　天线数递增性能比较

第 3 章　波束赋形技术的在电力应急通信实际应用

3.1　电力应急通信

电力系统是一个由电力元件组成的网络，用来发电、输电、用电。举例来说，电力系统就是提供一个区域家庭用电及工业用电的网络，如果这个区域很大，那么这个电力系统可以称之为输电网络，并且可以区分为三个部分：发电系统，输电系统，配电系统。

电力应急通信指的是在电力系统出现自然的或人为的突发性紧急情况时，同时包括重要节假日、重要会议等通信需求骤增时，综合利用各种通信资源，保障救援、紧急救助和必要通信所需的通信手段和方法，是一种具有暂时性的、为应对自然或人为紧急情况而提供的特殊通信机制。在不同的紧急情况下，对应急通信的需求不同，使用的技术手段也不相同。

电力应急通信突出体现在“应急”二字上，在面对公共安全、紧急事件处理、大型集会活动、救助自然灾害、抵御敌对势力攻击、预防恐怖袭击和众多突发情况的应急反应，均可以纳入应急通信的范畴。应急通信所涉及的紧急情况包括电力应急指挥通信以及电力生产应急通信。

就电力应急指挥通信而言，更多参照“整合三种资源，提供三种保障”的主要思路，整合公用电信网，电力通信专网与自备机动通信设施，例如重大施工事故、公共紧急事件、性质恶劣的违章操作、地震、洪涝等，极易引发大规模停电事故甚至电网瓦解，对于社会影响非常大，涉及时间长，空间广，需要调动和协调电力公司各级部门和单位，统一领导，积极行动，及时有效的开展生产恢复工作。

因电力生产应急通信一般采用有线传输，几乎不采用 MU-MIMO 及其他无线传输方式，故本文主要研究电力应急指挥通信的各类场景。

3.2　多用户波束赋形技术在电力应急通信中的应用

在对各个场景进行分析后，我们就能够研究多用户波束赋形技术在电力应急通信中的应用方案。

由于 MIMO 天线是多输入多输出天线阵，不同天线之间的距离一般要求大于信号的半波长。由于尺寸所限从而导致天线阵一般只能安装于应急通信车，可以随身携带的通信终端则一般为单天线。由图 2-4，图 2-5 及其两者结论可得，对于能够安装天线阵来增加天线数目的应急通信车而言，MMSE 和 Regul. ZFBF 在 SNR 或天线数量增加的情况下均会更加逼近最优化曲线，故它是最适合应急通信车的多用户波束赋形技术。而对于随身携带的通信设备而言，在天线数量为 1 即 k=1 时，天线数量的限制反而完全消除了用户间内波束干扰，此时 MRT 为最好的选择。

1）自然灾害及其他重要公共事件通信场景。在自然灾害或者其他重要公共事件场景中，道路通行极易受限，应急通信车很有可能无法开到工作位置。此时只能让携带通信终端的相关人员徒步到达工作地点，此时考虑到通信的重要性和可靠性，选择 MRT 作为通信终端与应急通信车之间所采用的波束赋形方式为较佳的选择。因为波束赋形会增加消息传输距离，故在距离较近时可以跳过应急通信车直接与指挥中心联系；距离较远时，采用 MRT 与应急通信车建立通信，随后应急通信车用 MMSE 和 Regul. ZFBF 与指挥中心

建立通信。

2）临时指挥中心通信场景。临时指挥中心担负着通信枢纽的作用，此时采用波束赋形需要一定数量天线共同运作，联系各个救灾/抢修现场。临时指挥中心一般不会离各个现场太远，故可以直接采用 MMSE 和 Regul. ZFBF 来进行波束赋形，若现场与临时指挥中心距离过远可采用应急通信车来进行中转。临时指挥中心与上级指挥中心一般距离较远，此时临时指挥中心可与附近变电站或者供电局建立通信然后通过电力通信网与上级指挥中心通信。

3）上级下达的重要通信保障任务通信场景。因为本文探究范围为电力通信，故在此场景中主要为保电任务，最重要的是保电现场与调度指挥中心的通信，二者一般在同一地级市或者县城中，在此中等范围通信区域中可以布设天线阵来保障一对多的波束赋形通信，此时采用 MMSE 和 Regul. ZFBF 是最为方便和可靠的。若是省内乃至全国的大型保电任务则需设立多个天线阵采用 MMSE 和 Regul. ZFBF 组成作业现场—供电局/指挥中心—上级指挥中心的网络来保障通信的可靠性和有效性。

第 4 章　总结与展望

4.1　总结

波束赋形的目的是让阵列天线发射的电磁波的主瓣方向对准目标用户，而旁瓣对准干扰源，在此论文中首先对波束赋形技术存在的系统环境——多输入多输出系统进行了介绍，并引入了 MIMO 系统的容量公式，为之后的系统容量分析奠定了理论基础。第三章是论文的重点章节，在这章中主要对波束赋形技术进行了改进，并且改变发射天线数对系统容量的变化进行了探究。在此基础上，引入了有限反馈，在固定反馈比特情况下改变 SNR 值研究了其系统容量的变化趋势，并利用仿真结果对电力应急通信实际场景进行分析，得到了如下成果：

（1）针对现有的波束赋形、MRT 技术，本文采用了最小均方差滤波器和正则化波束赋形技术作为改进后的技术。仿真结果表明，这种改进在整个 SNR 阶段都很接近最理想曲线，并且在 SNR 很高时基本上与之重合。

（2）针对多天线系统，通过改变发射天线的数目，得到渐进性质，即随着天线数目的增加，在相同 SNR 情况下系统容量也将增加。但这种渐进最优性质也是有一定限度的。

（3）由仿真得到的 MRT，MMSE 和 Regul. ZFBF 在特定场景有各自的适用区间，在交通受限主要由小型化设备负责维持通信的情况下 MRT 有较好的表现，在指挥中心或者通信枢纽则非常适合 MMSE 和 Regul. ZFBF。

4.2　展望

波束赋形技术近年来越来越受人瞩目，相关研究也层出不穷。但由于作者学识有限，从理想情况下出发比较多，数学模型较为简单，并不能完全反映复杂多变的电力应急通信实际情况。在今后的研究中，会考虑当前出现的问题与国内外研究进度，对于以下几个方面做出完善：

（1）信道假设实际性不好。目前的研究主要将信道设为平坦衰落、频率选择性衰落，在噪声引入时考虑为高斯白噪声。可以在信道更加复杂、噪声的突发性更强等方面多加考虑。

（2）波束赋形时增益相对于原来的中心轴向有所降低，波束展宽。对于天线来说，赋形回路中要加移相器和放大器，这样也增加了所需功率，导致损耗增加。现可用共享口径来解决但是效果仍不够理想。

（3）未使用机器学习来辅助分析，增加数据多样性和结果可靠性。早期的自适应天线、智能天线，已经是“智能波束赋形”的萌芽，使用机器学习来辅助分析具有很强的现实意义。

（4）并未针对应急通信车和小型通信终端建立模型，只考虑了波束赋形方面的内容。

随着时间推移，波束赋形作为 5G 核心技术必将发展的更加壮大，同时“能源互联网”成为新时期国家电网的战略目标。由此，波束赋形一定能为“能源互联网”和 5G 的深度融合起到至关重要的作用。

参考文献：

[1] 张凌云. 移动+宽带 没有尽头的开始 移动+宽带 着力于应用的开始[J]. 信息通信, 2006, 19(5): 13-15.

[2] SORENSEN L, SKOUBY K E. User scenarios 2020[R]. 2009.

[3] 张伟光. MIMO 下行波束赋形技术研究[D]. 郑州: 解放军信息工程大学, 2010.

[4] 张敏, 何世文, 陆莹, 等. 一种多小区多用户能效波束赋形分层优化算法[J]. 数据采集与处理, 2017, 32(1): 86-94.

[5] PALOMAR D P, CIOFFI J M, LAGUNAS M A. Joint Tx-Rx beamforming design for multicarrier MIMO channels: a unified framework for convex optimization[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2003, 51(9): 2381-2401.

[6] 孟令哲. 无线 MIMO 系统的仿真与实践[D]. 大连: 大连理工大学, 2010.

[7] Emre Telatar, Capacity of Multi-antenna Gaussian Channels[C]// AT&T Bell Laboratories, Internal Tech. Memo, June 1995,87-89

[8] 赵季红, 王伟华, 曲桦. 阵列天线的三维波束赋形技术及其 Matlab 实现[J]. 北京邮电大学学报, 2014, 37(3): 78-82.

[9] GERSHMAN A B, SIDIROPOULOS N D, SHAHBAZPANAHI S, et al. Convex optimization-based beamforming[J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2010, 27(3): 62-75.

[10] BJÖRNSON E. Optimal resource allocation in coordinated multi-cell systems[J]. Foundations and Trends® in Communications and Information Theory, 2013, 9(2/3): 113-381.

[11] YU W, LAN T. Transmitter optimization for the multi-antenna downlink with per-antenna power constraints[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2007, 55(6): 2646-2660.

[12] LO T K Y. Maximum ratio transmission[J]. IEEE Transactions on Communications, 1999, 47(10): 1458-1461.

[13] JOHAM M, UTSCHICK W, NOSSEK J A. Linear transmit processing in MIMO communications systems[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2005, 53(8): 2700-2712.

[14] BENGTSSON M, OTTERSTEN B. Optimum and suboptimum transmit beamforming[M]//Handbook of Antennas in Wireless Communications. CRC Press, 2018: 18-1-18-30.

[15] PEEL C B, HOCHWALD B M, SWINDLEHURST A L. A vector-perturbation technique for near-capacity multiantenna multiuser communication-part I: channel inversion and regularization[J]. IEEE Transactions on Communications, 2005, 53(1): 195-202.

[16] ZETTERBERG P, OTTERSTEN B. The spectrum efficiency of a base station antenna array system for spatially selective transmission[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 1995, 44(3): 651-660.

[17] RUSEK F, PERSSON D, LAU B K, et al. Scaling up MIMO: opportunities and challenges with very large arrays[J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2013, 30(1): 40-60.

大数据+AI 在 5G 网络综合能源服务中的应用

杨军[1]，刘化召[2]，李盟[3]，赵涛[4]，杨云霞[5]，蔡伟[6]

（1. 中国通信服务股份有限公司，北京 100010；2. 中通服软件科技有限公司，上海 200127；
3. 广东省电信规划设计院有限公司，广东 广州 510630；4.中通服创立科技有限公司，四川成都 610041；
5. 浙江省邮电工程建设有限公司，浙江 杭州 310020；6. 重庆市通信建设有限公司，重庆 400042）

摘　要：5G 网络建设是我国新型基础设施建设的重要组成部分，随着 5G 网络商用时代开启，设备能耗问题成为制约 5G 发展的关键因素。首先，阐述了 5G 网络建设在新基建中的重要地位；然后，对 5G 网络基站建设、边缘计算中心建设中的设备能耗问题进行分析，提出了 5G 网络综合能源服务的解决方案和思路；最后，结合中国通服在通信运营商的实践经验，提出了基于人工智能、大数据、物联网等新一代信息技术的 5G 网络综合能源服务的应用方案及实践。

关键词：5G；大数据；人工智能；物联网；综合能源

1　引言

当前，5G 已成为全球各国数字化战略的先导领域，是国家数字化、信息化发展的基础设施，“4G 改变生活，5G 改变社会”。2019 年 11 月，5G 商用正式开启，我国也将 5G 技术列为发展战略，一直积极推动 5G 核心技术突破，《中国制造 2025》提出全面突破第五代移动通信（5G）技术，5G 定为国家战略性新兴产业。

2019 年 12 月，中央经济工作会议就提出了“新基建”概念，把 5G、人工智能、工业互联网、物联网、区块链等新型基础设施建设列为 2019 年经济建设的重点任务之一，推动国内 5G 网络，大型数据中心等数字新基建投资建设。

2020 年 2 月 21 日，中央政治局会议强调推动 5G 网络、工业互联网等加快发展，将“强调推动 5G 网络加快发展”上升到中共中央政治局会议这一层级是史无前例的，将 5G、工业互联网两个领域专门提出来，与生物医药、医疗设备并列，在很大程度上凸显了中央对 5G 和工业互联网的高度重视和寄予厚望。

2020 年 3 月 4 日，在中共中央政治局常务委员会召开的会议上，决策层强调，要加快 5G 网络、数据中心等新型基础设施（即新基建）建设进度。新基建是指发力于科技端的基础设施建设，主要包含 5G 基建、特高压、城际高速铁路和城际轨道交通、新能源汽车充电桩、大数据中心、人工智能、工业互联网等七大领域，涉及通信、电力、交通、数字等多个社会民生重点行业。3 月 24 日，工业与信息化部发布《关于推动 5G 加快发展的通知》重要公告，指明国家层面的 18 条 5G 发展建议。

2020 年 5 月 22 日，国务院总理李克强代表国务院向十三届全国人大三次会议作的 2020 年国务院政府工作报告中提出重点支持“两新一重”建设，要求加强新型基础设施建设，发展新一代信息网络，拓展 5G 应用，建设充电桩，推广新能源汽车，激发新消费需求、助力产业升级。

5G 作为新基建的排头兵，成为拉动经济、缓解疫情冲击、稳增长稳就业新希望。

2　5G 发展面临的巨大能耗挑战

2.1　5G 网络

ITU 定义了 5G 三大场景：增强移动带宽（eMBB）、超高可靠低时延通信（uRLLC）、大规模机器类通信（mMTC）。相对应 ITU 的三大场景，我国 IMT2020 提出了连续广域覆盖、热点高容量、低时延高可靠和低功耗大连接四大场景。

- eMBB-连续广域覆盖：用户体验速率为 100Mbit/s；移动性为 500Km/h。

- eMBB-热点高容量：用户体验速率为 1Gbit/s；峰值速率为 20Gbit/s；流量密度为 (10Tbit/s)/km^2。
- 低时延高可靠（URLLC）：单向空口时延为 1ms；可靠性为 99.999%。
- 低功耗大连接（mMTC）：连接数密度为 10^6/km^2；低功耗、低成本。

2.2 5G 时代通信网络重大变化

（1）站点频谱数多

在相当长的一段时间内，现网的 2G/3G/4G 将会和 5G RAT 共存。目前 70%的运营商站点频谱数≥5 频，未来毫米波部署之后，站点频谱数普遍达到 7～10 频及以上，涵盖从 700MHz 双通道到 3.5GHz 的 64 通道共 9 个频段（包括 700MHz（2T2R）、800MHz（2T2R）、900MHz（2T2R）、1.8GHz（8T8R）、2.1GHz（8T8R）、2.6GHz（8T8R）、2.6GHz（64T64R）、3.5GHz（64T64R）、毫米波）。

待 5G FR1 部署完成后，站点峰值功耗将增至约 13700W，在未来几年，随着毫米波、及新技术在现有频段的应用，最终站点日常功耗增至约 13400W，峰值功耗将增至 18900W。

（2）站点数量多

5G 各类型基站信号覆盖范围如下。

- 宏基站 Macro Site：200m 以上
- 微基站 Micro Site：50～200m
- 皮基站 Pico Site：20～50m
- 飞基站 Femto Site：10～20m

由于 5G 频段的上移，为提升 5G 用户体验速率和实现热点地区及高容量业务场景的连续覆盖，运营商将以“宏基站为主，小基站为辅”的组网方式有效补充 4G 网络覆盖的问题，所以运营商需要新增更多站点，导致消耗更多的电量。

（3）多接入边缘计算（multi-access edge computing，MEC）下沉

MEC 作为云计算的演进，将应用程序托管从集中式数据中心下沉到网络边缘，更接近消费者和应用程序生成的数据，在靠近移动用户的网络边缘提供 IT 和云计算的能力，并利用网络能力开放获得高带宽、低时延、近端部署优势，从而产生新的业务和收入的机会，创造出新的商业模式。

为满足物联网高即时性的需要，从网络结构上看，服务器将会从数据中心，下沉到接入网机房及站点，以降低通信过程中的时延影响，运营商会新建更多的边缘计算中心，这些新增的边缘计算中心必然会比现在消耗更多电力。

2.3 5G 基站能耗发展趋势

随着智慧交通、泛在电力物联网、智慧城市等数字化应用的发展，5G 万物智联带来海量的数据，而海量数据引发的电力消耗也将成几倍增长。通信运营能源的消耗主要是电力，占比 80%～85%。其中，移网基站、固网通信机房和 IDC 机房占到总耗电量的 95%以上。2019 年，4G 基站对全社会用电量的增量贡献约 1.1%～1.6%。因此控制能源费总量增长，核心点是基站和 IDC 机房。

2.3.1 典型 5G 基站功耗分析

通常情况下，5G 基站设备主要包括 BBU 和 AAU 天线两部分。现有国内主流的 5G 基站设备厂家的 5G 设备功耗情况见表 1。

表 1 国内主流厂家 5G 基站设备功耗表

	中兴	华为	大唐
BBU	315W /1300W	1000W/ 2100W	800W/1300W
AAU 天线	980W/1360W	950W/1220W	1380W

由以上数据可知，5G 的 AAU 天线单设备功耗约 1200～1300W，是 4G RRU 的 3 倍以上。对于典型 5G 基站而言，一个站点按 S111 考虑，空载功耗约 2.2～2.3kW，满载功耗约 3.7～3.9kW。

按照中国通信标准化协会的数据，5G 基站的功耗范围为 2.25～3.8kW。按 0.65 元/kWh 的费用计算，一个 5G 基站无线设备全年运行的电费接近 1.3～2.2 万元。

2.3.2 运营商基站数量发展趋势

截至到 2019 年末，全国三大运营商 4G 总基站总数合计在大约 519 万个，其中宏基站占比 70%，约 360 万个，各运营商 4G 基站数量情况如图 1 所示。

未来，基于 5G 中频段的宏站覆盖范围与 4G 宏站大致相当或稍弱，大致估算宏站需求个数是 4G 的 1.2 倍，大约在 450 万个，加上微基站数量，预测到 2025 年，我国 5G 基站总数将达到 623 万个，变化趋势如图 2 所示。

2.3.3 运营商用电量发展趋势

据统计，2018 年全年 3 家运营商用电总量约 500 亿度，总电费约 505 亿元。其中，移动基站共耗电约 270 亿度，总电费约 240 亿元。在达到与 4G 同样覆盖

的情况下，5G 网络的能耗将达到现有基站 3～4 倍，预计到 2025 年，5G 基站的电费开支将达到惊人的 800～1300 亿之间，三大运营商用电量及电费统计见表 1，三大运营商 5G 基站电费开支预测如图 3 所示。

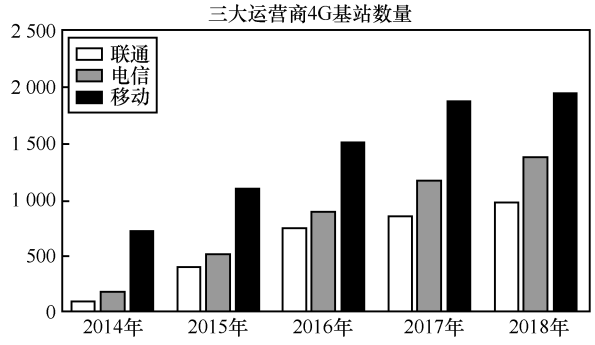


图 1　三大运营商 4G 基站数量

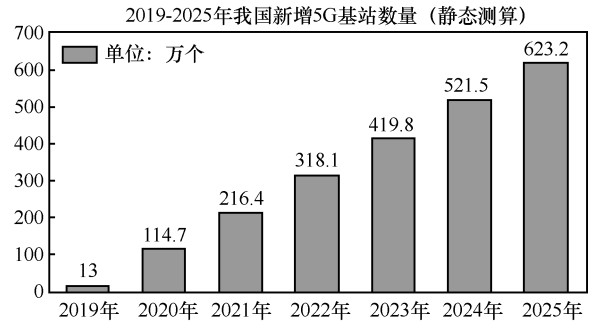


图 2　三大运营商 5G 基站数量增长预测

表 1　三大运营商用电量及电费统计

	中国电信	中国移动	中国联通
用电量（兆瓦）	140	240	120
电费（亿元））	140	245	120

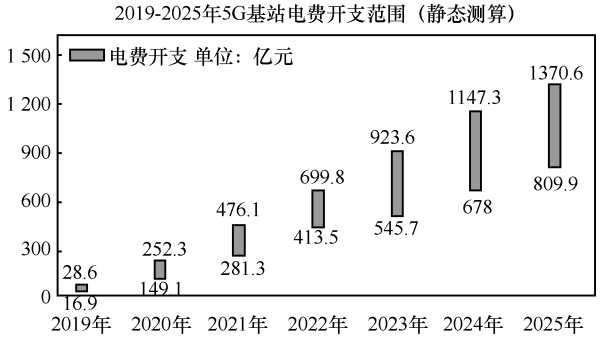


图 3　三大运营商 5G 基站电费开支预测

2.3.4　5G 基站电费开支对运营商盈利的冲击

5G 基站的巨大电费开支，也将会对运营商的经营和盈利情况带来巨大冲击。2018 年，三大运营商共盈利 1492 亿元。如果按未来 5G 的用电成本，和每年 2.9% 的利润增长率计算，2025 年运营商的盈利将会大幅降低，运营商电费及利润占比的变化趋势如图 4 所示。

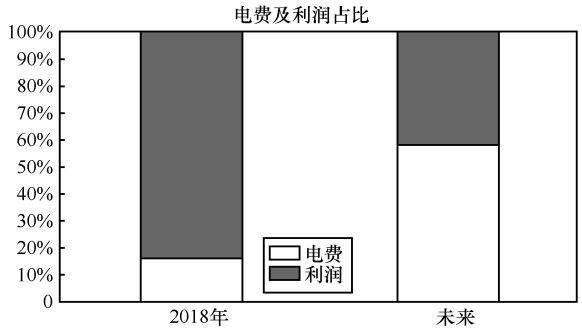


图 4　运营商电费及利润占比的变化趋势

2.3.5　5G 的高能耗对整个供电系统带来挑战

除了基站自身设备能耗带来的挑战，5G 的高能耗对整个供电系统也带来挑战，包括市电容量、整流器容量、备电能力、温控能力等。

- 市电容量，因为 5G 基站设备是 4G 能耗的 2.4～4 倍，所以从变压器到电源开关至末端线缆都面临电力不足的挑战。
- 基站空调，基站电源方面，因为空调配套大约占基站能耗的 56%，设备功率增加令空调制冷量不足，进而会影响基站设备正常工作。
- 电池容量，设备能耗增加导致电池容量不足，现有基站的空间不一定能扩容更多组电池。此外，由于电压不稳造成降压情况，导致天线无法工作等情况也不容忽视。

2.4　IDC 能耗持续增长

随着 5G 及物联网发展带动应用增长，大数据、云计算需求增长，IDC 能耗也将增长。从全球范围看，根据瑞典研究员 Anders-Andrae 发布的数据，到 2025 年全球数据中心能耗将占到 ICT 行业的 33%。数据中心占全球能耗比例将从 2015 年的 0.9%上升到 2025 年的 4.5%，数据中心耗电量发展趋势如图 5 所示。

虽然我国 IDC 的建造技术不断在提高，也不断在新建的 IDC 中加入新的节能技术，新建 IDC 的 PUE 不断降低，但因为 5G 网络建设对 IDC 的大量需求，其总能耗还是呈每年递增的趋势。

3　5G 综合能源服务系统解决方案

3.1　综合能源服务

综合能源服务的出现既有社会需求的外部驱动，也有技术创新的内在动力。一方面，节能减排的社会

共识及多元化的用户需求催生出庞大能源服务市场，这是外因。资源和环境问题已成为全社会共同关注的热点，绿色低碳发展也成为能源转型方向，催生了绿电使用、节能改造、能效服务等一系列综合能源服务。同时，需求个性化、多样化发展需要以用户为中心提供多元化能源服务，综合能源服务市场潜力巨大。另一方面，能源互联网技术发展，使得能源之间互联、能源和信息融合进一步加强，为发展综合能源服务提供了可能。信息技术发展，包括物联网、云计算、大数据、人工智能等技术发展，不但有效支撑了能源高效互联以及用户侧的友好交互，而且集合了大量数据资产，并能够将数据资产转换为多样化增值服务。

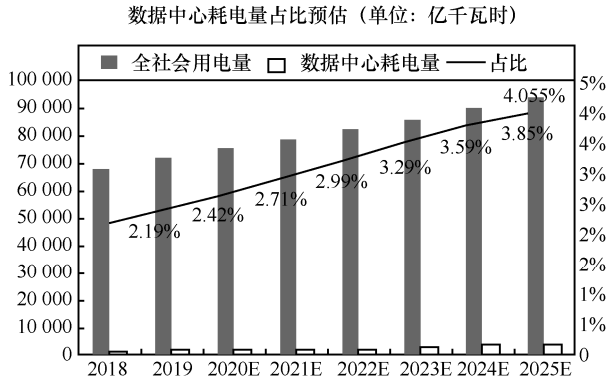


图 5　数据中心耗电量发展趋势

3.2　5G 综合能源服务系统解决方案

3.2.1　5G 用电成本改造方案

从降低用电成本角度，减轻运营商负担的一些方案。

- 推动存量基站的转供电改直供电改造，降低每度电单价；
- 将 5G 基站打捆参与大用户直接交易、电力现货交易等，进一步降低 5G 基站用电成本；
- 与电网公司开展电力基础设施的共享建设，节约投资，加快建站速度。

3.2.2　5G 基站节能技术方案

主要是针对基站本身的技术改造，具体如下。

- 电源高密，通过结构及功率技术改进，电源持续向高密化演进，有效节省柜内空间。
- 锂电，相比铅酸电池在能量密度、寿命上的明显优势，锂电广泛应用于电动车、储能、终端设备，锂电池在通信站点的部署最近两年也在快速增长。
- 光伏，光伏能技术日益成熟，发电成本持续降低（显低于火电发电），部分通信网络部署太阳能来降低网络能耗成本也成为趋势。
- 人工智能（artificial intelligence，AI），AI 技术在图像识别、生产控制等领域具有一定优势，也将广泛应用于通信站点供电系统，促进站点供电自动化控制，持续提高站点能效（SEE）和站点可靠性。
- 数字化，物联传感、云技术、IoT 技术在行业应用已经成熟，这也将助力通信站点设备数字化，实现站点信息在线监控、问题在线处理及提前处理等，有效提升站点运维效率。

3.2.3　数据中心系统级节能方案

（1）机房资源管理系统

通过对机房整体监控，利用数据模型，计算温度情况以及空调状态，通过机房散热及气流组织模型，主动调节送风单元运作，达到降温节能效果。

（2）合同能源管理（contract energy management，CEM）

通过节能改造，合理分配 IT 设备及通过虚拟化等手段提高信息系统效能，整体降低机房的 PUE。

4　中国通服 5G 网络综合能源服务实践

中国通服作为新一代综合智慧服务商，在长期服务运营商的过程中积累了丰富的 5G 网络综合能源服务经验。中国通服在 AI、大数据、物联网 3 个方面的应用方案如下。

4.1　AI 在 5G 综合能源服务中的应用

4.1.1　能源管理中的大数据挖掘与深度学习技术

在用户侧和需求侧，从海量的用户数据挖掘出有价值的商业信息需要进行高层的语义分析，使用循环神经网络 RNN、卷积神经网络 CNN、长短记忆网络 LSTM 等完成对海量文本的语义理解、信息抽取等数据挖掘任务。

在供给侧和售电侧，随着电网智能化要求提高，完成不同的领域任务需要训练不同的深度神经网络模型，而模型训练依赖海量历史数据，注意力机制与迁移学习可有效降低训练新模型所需要的数据量要求。通过每个的离散状态发现最优策略以使期望的反馈奖赏和最大。如将深度卷积神经网络和强化 Q 学习方法用于 5G 基站供电控制，实现市电供电信息到基站射

频最优控制策略的直接映射。

4.1.2 基于 AI 的 5G 基站能耗智能分析与控制平台

基站节能作为整个移动通信网络节能的关键，降低基站能耗成为了通信运营商最关心的问题。无线网络资源并不是无时无刻都在高效的被占用，如夜晚的工业园区、工作时间的住宅小区等，网络设备在持续消耗着电能。如果这些网络资源能在特定状态下被关闭、在需要的情况下被激活，那么将会有大量的能源被节省下来。

本系统由中通服创立科技有限公司研发，框架如图 6 所示，由上而下分为 3 层，最上层为构建在通福云平台上的大数据及 AI 中心，部署各种机器学习的算法组件，第二层是物联网管理中心，支持各种基站设备的 AI 边缘计算服务，负责节能策略执行，及效果反馈；接入层是 IoT 控制层，负责协议栈的实时调度，完成数据及控制指令的双向传输。通过 AI 模型统计各种情况下主设备能耗变化情况，如进行业务和空闲能耗对比、不同时间段的能耗对比，单个设备的用户随事件的分布情况和能耗情况，自动计算出可以对该设备进行休眠的时间窗，进行设备射频通道关断，达到省电、降低运营成本的目的。

4.2 大数据在 5G 综合能源服务中的应用

4.2.1 中国通服电力大数据平台系统基础架构

为了达到对海量数据的高效分析，中通服软件科技有限公司搭建了电力大数据平台系统基础架构，整体系统架构由大数据分层管理框架、5 个配置管理平台、1 个核心服务框架、4 个基础服务框架构成，如图 7 所示。

- 大数据分层管理框架主要在数据模型、数据存储方面面向数据业务层次构建多层数据存储架构；
- 5 个配置管理平台可作为独立平台部署应用，包括数据加工处理平台、数据稽核平台、数据共享服务平台、数据可视化平台以及数据资产管理平台；
- 核心服务框架为智能计算服务框架，用于实现数据分析、挖掘计算，主要支撑数据共享和数据可视化应用；
- 4 个基础服务框架提供系统基础框架的管理和公共工具包，包括基础平台、调度平台、消息平台、数据安全等。

各个平台框架既可集成在一起作为整体解决方



图 6　5G 基站能耗智能分析与控制平台框架

案，也可独立部署成为通用工具。里面集成了 Spark、Stream、Hive、Kafka 等大数据计算框架，上层灵活支持各种 BI 工具及视图，便于分析及展示。

4.2.2 铁塔能源经营运维监控系统

中通服软件科技有限公司通过建设能源平台，支撑铁塔集团实现对备电、发电、换电等各项应用提供核心支撑平台和提供终端远程管理、运行监控、运维管理、协议适配、业务数据传输等综合服务功能，为业务应用提供强大、稳定的物联网化运行支撑环境，如图 8 所示。

该平台不但采用了中国通服电力大数据基础架构，还使用了先进的 FaaS 技术架构、物联网智能平台，支持 RS484、TCP、MQTT 多种接入协议，支持扁平化、internet 公网数据接入，可灵活支持换电柜、电池等各项设备。其中，FaaS 框架如图 9 所示。

4.2.3 能耗监测及综合能源管理平台

重庆市通信建设有限公司在能源消费领域基于 5G 通信、物联网、云计算、大数据等技术开发的工业

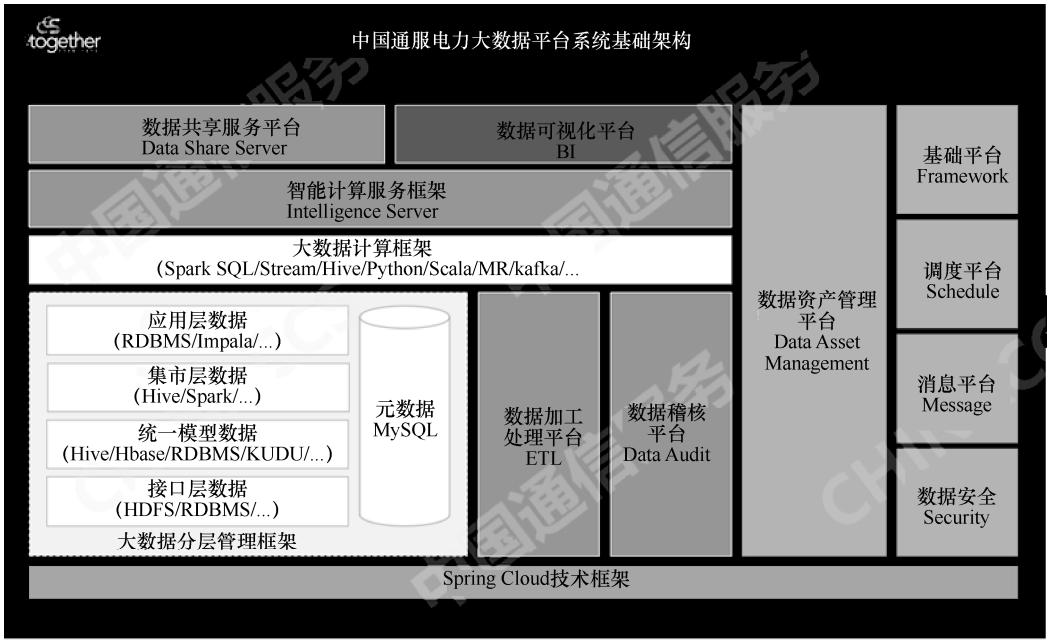


图 7 中国通服电力大数据平台基础架构



图 8 铁塔能源经营运维监控系统

互联网产品，如图 10 所示。产品包括数据采集、运营服务、平台管理 3 个层面，实现了能耗监测、总量管理、消费管理、能效分析、节能目标管理、节能技术推广、用电及用能权交易、节能诊断及预测等八大功能。2016 年以来，产品已在若干省级能管平台和数十个企业级能管中心落地应用，接入企业千余家。面向省级节能中心和重点用能单位，以能耗监测、用能管理和能效提升为核心，强化节能降耗监管，及时研判能源消费趋势，提高预测预警能力，指导企业合理用能，从而推动企业转型升级和绿色发展，构建资源节约型和环境友好型工业体系。

4.2.4 通信基站储能管理应用方案

通信基站的充放电节能机制如图 11 所示，方案由中通服软件科技有限公司提供，针对供给侧和用户侧提升节能降耗效益。

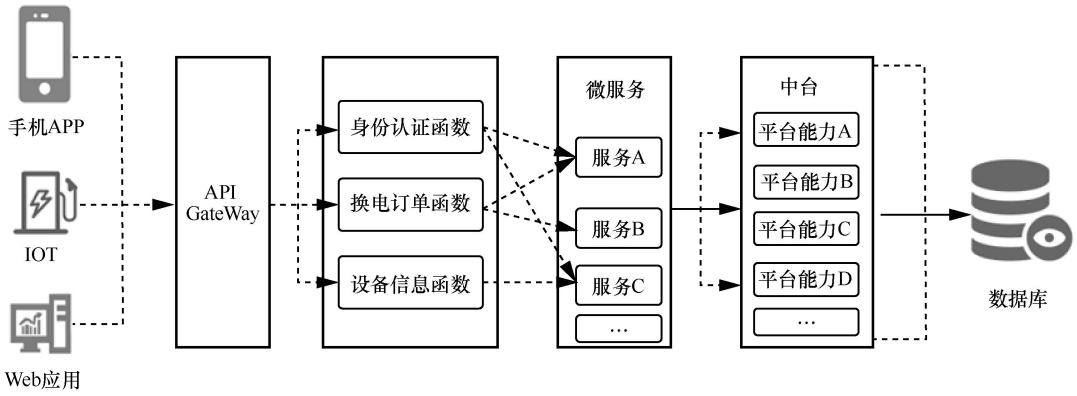
- 供给侧：保障供电容量、辅助发电动态运行、可再生能源平滑输出
- 用户侧：用户分时电价管理、容量费用管理、电能质量、紧急备用

经过计算，以工业用电分时电价削峰填谷为例，北京峰谷电价差 1 元，宏基站每天 240 度电，1 小时可节省 240/24=10 度电，一个基站每天可以节省 15 元。

4.3 物联网在 5G 综合能源服务中的应用

4.3.1 中国通服能源物联网平台

能源物联网平台由基础技术支撑平台和专业业务应用平台组成，基础技术支撑平台具有以下四大特性。



Severless+BFF+中台架构下，基于Auth0，订单，设备信息三个函数和服务间调用例子

图 9 FaaS 框架

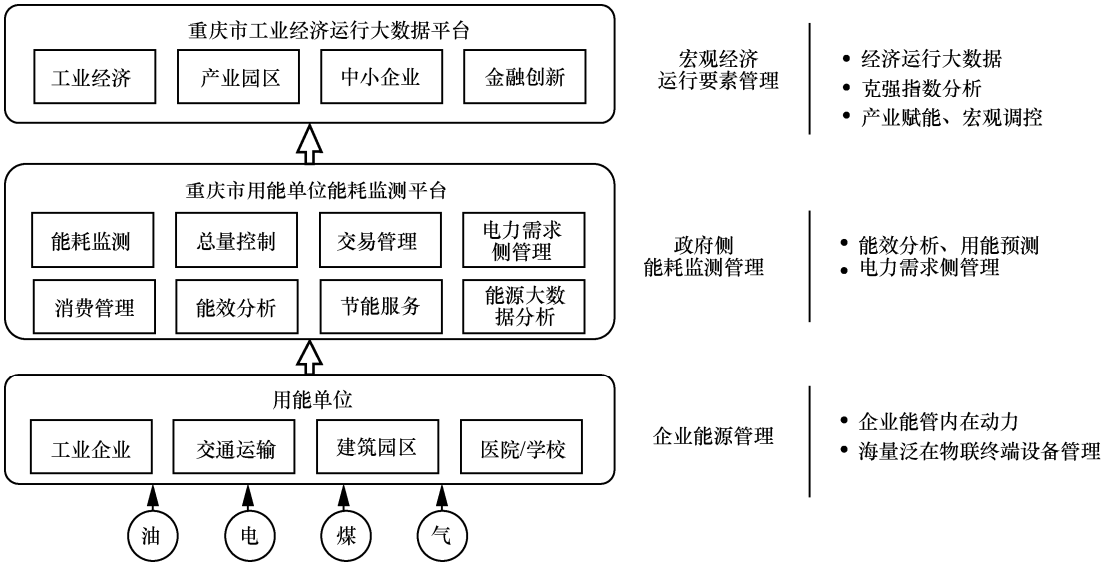


图 10 能耗监测及综合能源管理平台

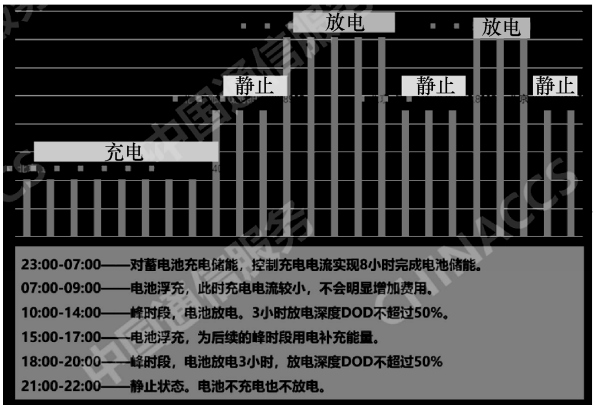


图 11　通信基站的充放电节能机制

- 集成了各种常见的网络协议 MQTT、HTTP、TCP、UDP、CoAP、LWM2M 等，也支持 RS232、RS485 等工业设备通讯接口，并对其进行封装，实现统一管理、监控、在线调试、在线启动、停止、更新等功能，降低网络编程及设备通讯的复杂度；
- 灵活的设备接入方式，具备动态配置设备网关服务，并把网关服务通过微服务方式部署，便于集成及调用；
- 统一的设备操作 API,利用 OpenAPI 屏蔽各个厂家不同协议不同设备的差异，支持跨服务、同步（RRpc）、异步的设备消息收发；
- 组网设备的云端动态鉴权服务，并且支持 128 位的 AEC 加密算法。

专业业务应用平台建设在基础技术支撑平台之上，利用基础技术支撑平台的技术、组件、接口来规范化标准化实现用户的专业应用需求。专业业务应用平台是用户在专业领域不同方向应用产品的集合和容器，是用户直接面对的方便简洁的交互门户。

目前已开发完成的专业业务应用平台有运营商能源管理系统、数据中心能源管理系统、配用电监控运维系统、光伏监控运维系统、储能监控运维系统、充电桩运营管理系统、智慧照明管理系统、空调管理系统等。

4.3.2　电信运营商能耗管理平台

很多公司在进行能源管理、节能增效、设备选型等方面缺少有效的数据支撑，无法推动节能增效措施的落地实施，所以某省电信结合本省管理需求，建设了省级能耗管理平台，如图 12 所示。

本平台由浙江省邮电工程建设有限公司研发，打通原有 11 个系统接口，复用已有系统数据，通过平台进行二次整合集成，避免重复建设，大大节省了建设成本。能耗系统与资源管理系统（获取站址信息）、动环监控系统（获取自有站址用电信息）、综合代维巡检系统（获取铁塔站址用电信息）实时对接，保证基础数据的准确和一致，并通过系统对转供电合同、用电单价、支付周期进行管理，将报账信息统一推送到财辅，并生成各类告警信息进行闭环管理，大大减少了人工工作量。

公司编制了能耗预算，设置了能耗标杆（PUE 值、单位能耗、人均能耗等），通过平台对电费进行划小管理，加强了成本管控，提升管理效率。平台通过异常电费监控、各系统数据多维度对比、注智派单等功能，解决跑冒滴漏问题，利用物联网及大数据数段，

对基站及机房进行画像分析，分析判断出哪些是虚假的电费上报数据和不合理数据。按照“砖混、彩钢、一体化机柜、无机房”4 种房屋类型分地域分时段利用 PUE 值精确管理用电标杆，对超标杆值 10%的电费不予确认。

平台 2018 年累计审核不合理电费 768.44 万元，大大降低了运营成本。同时通过能耗数据分析，发现电网电能质量不稳、空调能耗异常等问题，为公司提质增效工作指明了方向。

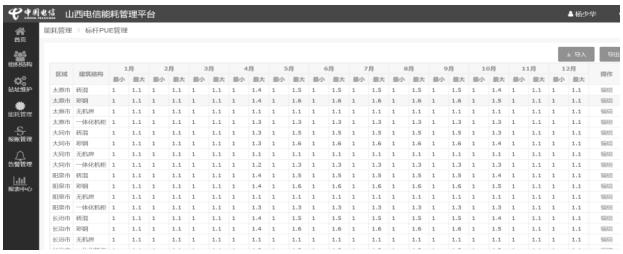


图 12　运营能耗管理平台

4.3.3　智慧灯杆运营管理系统解决方案

由中通服软件科技有限公司研发的慧灯杆运营管理采用的是“无线、互联网+、AI 平台”的建设模式，依托云平台、大数据、AI、物联网等先进技术及思路研发，技术特点如下。

- 依托云架构、移动互联网及 XML 方式接口，支撑边缘网关高效、快速入网；
- 基于物联网技术，实现对底层网元设备进行“四遥”操作；
- 引入大数据技术管理海量数据，提升数据分布

式管理分析能力；

- 网管监控、故障派单一体化，确保故障及工单全过程闭环管理；
- 一级平台、开放的互联网系统，分权分域使用，满足扁平化运营管理的需要。

目前平台系统注册用户已达 8 万多，活跃用户 2 万多，日均故障工单量 6 万张，日均采集性能数据达 65+亿条。

5 结束语

随着 AI 技术的发展，基于 AI 的智能化节能成为了未来新的技术发展方向。利用 AI 技术可以对现网海量数据进行分析、建立业务模型，实现业务预测及参数训练，同时通过 AI 算法可自动识别节能小区、选择节能策略，提高节能触发的灵活性，为软件节能特性的广泛应用提供了可能。作为新的技术发展方向，基于 AI 的节能技术还需要深入研究，研究如何利用机器学习及人工智能算法实现更加智能化的节能技术。

5G 已来，万物将通过 5G 网络互联，人们真正意义上的智能生活方式正在开启，无人驾驶、智慧医疗、智慧教育、智慧居家等都将逐一实现。预计到 2025 年，通信行业将消耗全球 20%的电力，电费将成为运营商最高的 OPEX 支出，至少占总运营成本的 15%。在绿色低碳发展的大背景下，节能降耗、提升网络能效是未来移动通信行业可持续发展的必经之路。

参考文献：

[1] 刘振亚. 落实科学发展观 加快建设坚强的国家电网[N]. 中国电力报, 2005/02/24(1).

[2] 马忠贵, 宋佳倩. 5G 超密集网络的能量效率研究综述[J]. 工程科学学报, 2019, 41(8): 968-980.

[3] 吕婷, 张猛, 曹亘, 等. 5G 基站节能技术研究[J]. 邮电设计技术, 2020(5): 46-50.

[4] 陈建煌. 5G 时代基站两大场景节能方案的应用分析[J]. 通信电源技术, 2019, 36(6): 232-233.

[5] 李兵. 5G 移动通信网络节能减排技术研究[J]. 通讯世界, 2019, 26(7): 78-79.

[6] 梁力维, 李荣聪. 基于 AI 的 5G 基站节能技术研究[J]. 移动通信, 2019, 43(12): 32-36.

[7] 曹桓, 周昶, 许勇. 一种基于 5G 云接入网络架构下的能耗获取方法[J]. 电信工程技术与标准化, 2019, 32(5): 74-79.

[8] 龚文, 杜秋. 运用智慧能源破解 5G 基站高耗能难题[J]. 国际融资, 2019(8): 30-32.

[9] 葛俊, 童陆园, 耿俊成, 等. TCSC 暂态过程中晶闸管导通角特性的研究[J]. 电网技术, 2001, 25(7): 18-22.

[10] 袁慧梅. 用GA优化的ANN在配电网线损中的应用[EB]. 北京: 中国农业大学, 1999: 7-9.

[11] 蒋卫平. 西北 750kV 系统电磁暂态实时仿真研究[EB]. 北京:中国电力科学研究院, 2002.

[12] KENNEDY J, EBERHART R. Particle swarm optimization[C]// Proceedings of ICNN'95 - International Conference on Neural Networks. November 27 - December 1, 1995, Perth, WA, Australia. IEEE, 1995: 1942-1948.

[13] GB/T 5795—1986. 中国标准书号[S]. 北京: 中国标准出版社, 1986.

[14] 中华人民共和国信息产业部. 《通信局（站）节能设计规范》（YD51842009）[S]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2009.

[15] 中国电信集团有限公司. 中国电信首次发布人工智能发展白皮书[J]. 中国仪器仪表, 2019(7): 20.

[16] 3GPP. Study on Scenarios and Requirements for Next Generation Access Technologies: TS 38.913[S]. 2017.

[17] 尤肖虎, 潘志文, 高西奇, 等. 5G 移动通信发展趋势与若干关键技术[J]. 中国科学: 信息科学, 2014, 44(5): 551-563.

[18] 龚钢军, 王慧娟, 杨晟, 等. 区块链技术下的综合能源服务[J]. 中国电机工程学报, 2020, 40(5): 1397-1409.

[19] 岑祺. 5G 基站电源解决方案[J]. 电信快报, 2019(8): 15-24.

大型企业在数字 2.0 时代视频监控系统新应用的构想

李胜亮[1]，谢植琦[2]，刘德滦[3]，孙萌[4]
（中国广核电力股份有限公司）

摘　要：作为大型企业数字化转型的“先头兵”，视频监控系统首当其冲作为第一批要进行改造的系统，，我们可以从基础框架着手，通过改善整体网络环境，压缩数据远程传输体量，以及通过数据结构化挖掘视频数据深层次业务应用的方式，助力大型企业视频监控系统走出当前困境，朝着标准化、开放化和智能化的“数字 2.0 时代”前进。

关键词：大型企业，数字化 2.0，视频监控，数据结构化，结构化数据，业务应用

1　引言

市场现存的大部分视频监控系统主要的功能还仅限于实时监控和大屏展示，已远远不能满足企业管理者的期许。随着国家对企业数字化转型工作的推进，从 1.0 时代到 2.0 时代，数字化转型工作已深深的影响到实际的工作和业务实践过程，视频监控系统也在数字化转型的过程中发生了重大的变化，从原来的模拟架构，发展到现在的纯网络架构；应用范围也从原来单纯的“监控”扩展到混合型业务应用。

大型企业在数字化转型中发挥着重要的作用，特别对于大型国有企业，冲在了数字化转型的前沿阵地，为国家数字化转型的战略目标“攻城略地”。在这个过程中，对于视频监控系统来说，是一个机遇，也是一个挑战。

2　背景

数字化转型的主要目的是从根本上解决企业在实际业务中的一些难点和痛点，使得企业管理规范化，业务高效化大。对于视频监控系统而言，考虑大型企业内部独立运营和跨省市业务布局的现状，使得企业视频监控系统建设过程中很难进行统一的管控，导致监控数据在互联互通、编解码、平台对接等多方面存在很大的问题，详列如下。

2.1　系统封闭、信息孤岛

大型企业各成员公司业务采取独立运作模式，企业只负责统筹管理和大方针政策的制定，导致公司间在视频监控系统建设过程中，不管是在网段规划还是在设备选型，都未进行长远规划，仅考虑系统自我可用性，造成数据不能互通，各平台之间不能随意调度视频数据，形成信息孤岛。

2.2　功能单一、效能低下

传统的视频监控系统，由于其技术和架构的局限性，仅能实现监控和展示的功能，且既浪费人力和财力，也很难达到想要的效果，投资回报率低，造成领导不重视。

随着技术的不断进步和需求的不断扩展，视频监控系统只是“监控”的观念开始转变，一些厂商开始考虑视频监控数据在业务层面的应用，如监控测温、人脸识别等一些简单的的场景应用，很难适应人们对监控系统的期望。

2.3　私有协议、使用受限

对于大型企业视频监控系统建设，除以上存在的问题，各成员公司业务的独立性导致在视频监控建设的过程中，选用的终端产品、管理平台和接口协议不尽相同，这就导致了，即使物理链路通畅，也无法进行通信的局面，这样就造成了集团内各公司之间视频数据无法互通，更别说二次利用。同时，一对多的采购模式，导致商务成本的增加和商务采购的不确定性。

3　解决方案的探索

3.1　通过建立专网的方式，把封闭系统打通

为了解决信息孤岛的问题，我们需从整体上进行考虑，根据集团网络资源现状，用拿来即用的方式，

通过迁移手段把原来挂在不同监控系统网络设备上的设备，整合成独立的网络，即建设视频监控专网。专网独立于办公网之外，通过边缘安全设备接入办公网进行有限制的数据互通，这样就可以实现在有在办公网环境下既可以对监控系统进行操作，又使得视频监控数据可以为业务所用。

2.2 通过数据结构化和算法分析探索数据多层次应用

为了解决功能单一的问题，我们通过视频数据切片的形式，提炼单张图片或单个视频中人或物的特征，形成结构化数据，结构化数据是可以被量化的数据，通过大数据分析、AI 算法和智能学习等技术，把这些基础数据应用到具体的业务层面。

在不久的将来，视频监控系统应该会整合传感系统、拾音系统，定位系统，全方位的获取环境数据，通过云/平台大脑进行智慧分析和指令的自动生成，大大的简化人为操作因感性判断、知识匮乏造成的损失。

2.3 统一标准协议，降本增效

市场的差异化发展是导致标准协议不统一的根本原因，大型企业各下属企业的独立化运作是导致企业视频监控系统标准协议不统一的重要原因。随着视频监控市场规模的形成，相应的国家和行业标准规范也会同步出台，但对于单个企业而言，可以由集团牵头，整合优秀资源，通过定制化或指向性开发，实现标准协议统一，通过框架协议的模式建立良好的长期合作关系，实现降本增效和标准统一。

4 数字转型 2.0 时代视频监控模型的探索

对于大型企业而言，视频监控系统的长期规划是发展的重要组成部分，长期规划应切中企业的痛点，以解决实际问题为出发点，确保系统的开放性、先进性、实用性、经济性和安全行的基础上，为企业的业务开展增值。

通过对原有视频监控系统的痛点分析和解决方案的探索，我们以视频专网为基础，通过监控数据的结构化处理和数据解耦深化视频数据在业务上的应用，采用分布式部署的方式实现系统框架的高扩展、高智能和高开放，实现视频监控数字转型的目的。

4.1 模型概述

在整个架构中，包含纵横两个方面，其中横向应该包括两个部分，一部分是监控存量的使用、另一部分是新建系统，应保证两个数据的一致性；纵向包含集中建设部分和分批扩展部分。集中建设主要包括全集团层面共性业务，主要包括数字中台、AI 中台和算法仓库，主要负责算法的编制、自主学习，业务应用的下发和集团层面的管理工作，同时负责系统关键数据的备份和管理。分批扩展部分主要从成员公司层面对个性应用做定义，实现个性化配置，同时对本地的视频数据进行存储和管理。

系统架构采用模块化设计结构。可以根据实际情况对系统进行裁剪和扩展，在保证基础功能的条件下，根据实际需要对系统进行扩展。同时为通过数据全解耦，实现数据的标准化，实现技术自主化控制。同时各边缘数据平台通过管理网接入集团中台，利用集团中台的运算能力进行智能应用的解析和下发，实现资源配置的合理性和功能实现的经济性。在成员公司层面，管理平台还应提供相关外围系统的接口，其中包括对整个安放平台的数据开放和本地个性化视频监控结构化数据应用的部署，满足本地业务的实现。

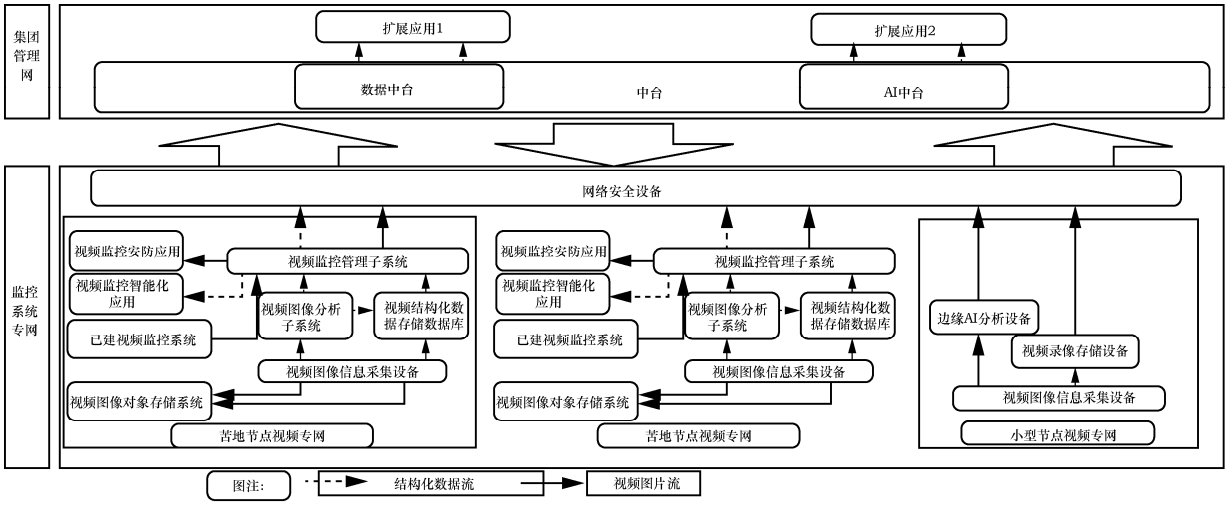


图 1 视频监控系统架构图

4.2 模型技术亮点

本模型从整体上解决了视频监控系统实际应用中存在的问题，通过对视频数据进行结构化处理、数据全解耦使得数据在形式和内容上统一，通过算法仓库和 AI 学习使得业务数字化转型。这套架构同时具备以下几方面的技术亮点。

4.2.1 中台系统

中台系统包括多方面的内容，其中最重要的就是数据中台和 AI 中台。数据中台定位于数据治理和数据分析，可对接视频监控系统，提供视频相关数据结构化后的存储、分析、对外数据服务，同时对少量小视频、图像数据文件，可以非结构化方式提供存储、查询调用服务，数据中台存储的数据亦是全解耦后的数据，可以与下游各节点的管理平台进行对接，实现数据的无障碍沟通。

AI 中台包括模型开发训练平台和 AI 服务中心，可对各类 AI 模型进行纳管、再训练和发布，一方面 AI 中台的视频分析模型可下发到视频图像分析单元中计算生产新的结构化数据，另一方面，对接数据中台，将视频监控系统所生成的结构化数据封装接口对外发布。数据中台和 AI 中台可以负责系统所有数据的存储和数据分析模型的下放，对系统各下游节点的关联起着至关重要的地位，同时，缩减了各下游节点的共性业务的建模开支，为系统推广创造了条件。

4.2.2 视频监控专网

以往的视频监控系统往往与办公网共用物理网络设备或共用网段，且中间没有网络安全设备进行隔离管控，这样不但容易造成办公网拥塞和视频监控画面的卡顿，还容易造成办公网信息安全问题的发生。为此，建立视频监控专网即解决路网络安全薄弱的问题，同时满足视频监控业务的稳定性。

其中在中、小型项目节点内，视频专网表现为单体建筑内的视频监控组成独立的传输网络；在大型项目节点内，则是把所有单体建筑之间的视频监控传输网络连接在一起形成的网络；各主要节点的核心层通过安全设备接入集团办公网络，从而与集团中台资源进行对接，形成节点内可控，集团亦可控的的网络架构。通过集团与互联网对接，亦可以达到通过外网实现对视频监控数据的读取和相关业务扩展。

对于开阔空间的前端点位，采用双绞线传输往往会造成信号的衰减，影响视频数据的质量。针对这个问题，我们采用 5G 无线传输协议对视频数据进行传输，保障零散分布前端点位的传输质量，实现监控业务的全覆盖。

4.2.3 统一对象存储

对于传统的文件存储模式，数据采用集中式的存储方式，由于数据读取仅靠单体硬盘完成，对于数据的调用和分析造成很大的困难，特别是像视频监控这种量级的视频和图片数据。而且集中式的存储方式数据读取速度较慢，数据错误之后很难找回，从一定程度上阻碍了视频监控系统的发展。而对象存储对于非结构化的数据存储有天然的优使，主要体现在以下几点：

（1）数据存储为扁平结构，没有文件夹的概念，所有的文件在同一个层级中，每个存储对象有一个特有的凭证，能够更快速的找到相应的文件。

（2）对象存储采用分布式的架构，所有的数据都可以从最近的服务器进行获取，加快了数据的传输和访问。

（3）由于采用的是分布式存储方式，对于整个系统来讲，所有节点的存储空间的和构成了整个视频监控系统总的存储容量，一般都是以 EB 计算，而且扩容起来更方便快捷。

4.2.4 数据全解耦

对于数据量小，并发量小，业务简单的监控系统，可以通过数据耦合迅速的处理业务问题来提高资源利用率，但随着视频监控系统越来越复杂，数据量越来越大，并发量越来越大，在数据检索和应用的过程中，检索的工程量越来越大，数据库的性能越来越低，而且数据扩容很复杂。

视频监控系统的私有协议泛滥，导致采购受限和使用受限。对数据全解耦方式，实现整体系统架构从前端、平台、存储等各环境不存在逻辑绑定，为技术自主可控提供基础。数据解耦主要包括两个方面的内容：

（1）硬件解耦：设备与平台之间、设备与存储之间、平台与存储之间的数据接口协议需参照特定的标准。

（2）软件解耦：要求视频图像分析子系统中所产生的结构化数据为未经任何应用加工，及应用关系定义的原始数据。

4.2.5 视频数据结构化

非结构化数据是凌乱的多元信息的载体，由于其复杂的耦合关系，很难被用来定量和定性分析，而结

构化数据是从非结构化数据中提取的线状或面状信息，可以用简单的二维表格进行数据的呈现，也更能让计算机去识别、去分析。结构化数据从基础对象分，主要包含的人、物、环境等，通过对基础对象的特征进行取值分析，来定义对象某一时刻的特定状态，以期达到数据固定值和动态表现的关联。

结构化数据是业务应用的数据基础，可以说数据结构化特征值的定位角度和分析的精确度直接影响了应用是否可以有效的实施。一般对于简单的应用，数据结构化需要采集的特征值不需要太复杂，但越复杂、精细的应用，对特征值的采集细度要求越苛刻。在系统中视频图像结构化数据分为两个部分，一部分为由本地视频监控系统分析视频图像后，所生成的原始结构化数据，存储中在本地监控系统的结构化数据库中，为本地业务应用提供数据。一部分为由本地视频监控系统把原始视频图像结构化数据推送至数据中台，成为标准的视频结构化数据，为企业共有业务应用提供数据。

4.2.6 业务应用扩展

这套架构从根本上解决了视频监控系统功能单一的现状，同时大幅度提高了基础数据的利用效率，如果能在业务层面大范围铺开，将会对整个企业的业务智能化的发展起到跨步式的作用。

业务应用扩展包括两方面内容，一是视频监控系统应用的开发，使监控系统从原来仅作为事后回放的工具变成指导业务开展的工具，减少感性因素的参与，简化工作过程，使得效率最大化；另一个是业务的指标化、图表化，对业务进行分解，提取和数学化定义，抽离业务的主要参数因素进行指标化、具现化，通过生动形象的图表展示业务的状态，在人为参与的情况下自动生成指令，让视频监控系统参与实际的业务过程。这两方面是相辅相成的关系，应用开发是业务具象化的基础，而业务具象化是应用开发的表现形式。

业务应用扩展是对需求的回应，是架构推广的形象工程。在大型集团企业中，用户方考虑的往往是能帮他们解决什么问题，而这正好是应用扩展的内容。业务应用扩展旨在解决现有现有监控系统本身和其他业务在管控方面的缺陷，做到精简、高效的管理。

5 业务应用

专网建设为视频监控业务的实现提供了基础通道，对象存储技术的应用在一定程度上为数据的迅速提取、交换提供了保障，中台提供应用的开发和共享，不管是从技术经济性还是从系统统筹管理层面都是必不可少的一环。同样的，模块化部署方式，也为个性化业务的开发预留了接口。在这个架构中，随着分析平台算子仓库的不断扩充，以及通过大数据分析和智能学习研究的不断深入，架构在目前及未来业务的应用层面将发挥着越来越重要的地位。

5.1 应用实例——工业安全

对于建筑企业而言，施工现场的安全是最重要的一块，人为巡检往往不能兼顾，很难有效的发现现场的安全隐患。视频监控的智能化应用能有效的补足这方面的缺陷。

最为基础的场景应用，如现场人员劳保用品的使用情况，具体的实现逻辑如下：识别基本场景，判定人员所处的工作环境，通过判定值取值劳保用品佩戴标准，同时截取现场人员正面图像，识别图片中的人——作为追责，识别场景中的物——作为对比，获得对比偏差，进行人员匹配，自动触发告警通知到指定位置或人员，已达到劳保用品是否按标准佩戴的管控目的。

同样也可以对未发生的安全隐患进行有效的控制，具体实现逻辑如下：如现场仓库的材料位置随意摆放，特别是易燃易爆材料与其他材料设备未进行隔离存储或单独存储，发生火灾时，很容易造成重大的经济损失。鉴于这种情，我们可以通过对材料进行识别，通过算法计算，当出现易燃易爆物品与其他材料混合堆放时，会发出隐患告警的通知，提醒仓管人员，提前处理，防止后续重大事故的发生。

5.2 应用实例——设备巡检

对于设备的巡视检查，人为巡检的频次决定了其不能获得实时数据的局限性，特别是对于一些处于关键节点上的设备仪器，需要知道其时时刻刻的读数、状态等数据，这些参数的分布函数会对我们分析系统的稳定性也有重要的意义。但对于很大一部分设备仪器，一方面不具备参数量化的条件，另一方面从价值回馈来讲的化，投入过大，收益不高，所以我们一般考虑对方便量化参数的重要或对系统的运行有着“卡脖子”影响的仪器仪表进行视频监控。

设备巡检的应用逻辑跟物的识别是同一个概念，只是在算法上会有一定的异同，一般物体的识别，只是识别笼统的外部特征，通过数据的过筛处理，只需

要达到需要的精度即可进行数据的应用，但设备巡检的结构化数据可能不是对设备的外部特征，而是设备显示的参数和设备的状态，其精确度要求较高，这就要求在设备巡检配置的前端配置、算法配置应异于其他业务应用。

6 结束语

对于大型企业，在数字化转型的大浪潮下，视频监控系统会越来越多的依赖大数据分析、AI 学习和区块链技术，2.0 时代的视频监控系统已不仅仅可以用“监控、安防”等字眼去概括，在企业实际业务层面，视频监控系统将发挥着越来越重要的作用，在不久的将来，随着人工智能的发展，视频监控系统将会有更广阔的市场需求。

参考文献：

[1] DB65/T 4176.1. 公安视频图像信息应用系统第 1 部分：通用技术要求[S]. 出版地: 出版者未知, 2018.

[2] GA/T 1400.2. 公安视频图像信息应用系统 第 2 部分：应用平台技术要求[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.

[3] GA/T 1400.3. 公安视频图像信息应用系统 第 3 部分：数据库技术要求[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.

[4] GA/T 1400.4. 公安视频图像信息应用系统 第 4 部分：接口协议要求[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.

[5] 陈硕. 监控视频结构化分析的研究与系统实现[D]. 济南: 山东大学, 2018.

[6] 方帅. 计算机智能视频监控系统关键技术研究[D]. 沈阳: 东北大学, 2005.

[7] 施巍松, 孙辉, 陈彦明. 基于边缘计算的新型视频监控系统展望[J]. 自动化博览, 2018, 35(12): 60-63.

[8] 葛畅, 白光伟, 沈航, 等. 基于边缘计算的视频监控框架[J]. 计算机工程与设计, 2019, 40(1): 32-39.

[9] 李静宇, 刘艳滢, 田睿, 等. 视频监控系统中的概率模型单目标跟踪框架[J]. 光学 精密工程, 2015, 23(7): 2093-2099.

[10] 罗超. 视频结构化技术让大数据腾飞[J]. 中国公共安全, 2018(5): 146-151.

[11] 周维. 视频监控中运动目标发现与跟踪算法研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2012.

[12] 黄源源. 视频监控系统中一些关键技术的研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2013.

[13] 曾冬冬. 视频监控中的前景目标检测算法研究[D]. 中国科学院大学(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所), 2019.

[14] 刘嘉威. 视频监控中的行人再识别算法研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2019.

[15] 毕国玲. 智能视频监控系统中若干关键技术研究[D]. 长春: 中国科学院研究生院(长春光学精密机械与物理研究所), 2015.

[16] 李辰宇. 基于海量网络数据的视频业务流量分析与应用[D]. 北京: 北京邮电大学, 2017. LI C Y.

[17] 戚玲. 基于大数据的网络视频业务特性的分析与应用[D]. 北京: 北京邮电大学, 2017.

大型企业统一身份认证平台的建设及应用

于龄涛，黄天武，陈阳俊
（中国广核集团有限公司信息技术中心，广东深圳 518000）

摘　要：随着信息化建设的推进，企业的信息化水平正在不断提升，建设了众多传统办公应用系统和移动办公应用系统，这些办公应用系统已经成为业务运转的重要组成部分，并且这些办公应用系统是由不同开发商在不同的时期采用不同的技术建设的，大多数应用系统都有用户管理模块和认证模块。对于 IT 管理者来说，想要了解关键业务系统的用户访问情况，需要到每个系统中来查看，没有统一的用户和认证信息全貌，不能及时掌握用户的访问轨迹。企业迫切需要建立 4A 统一身份认证平台，使得业务、系统和人员可以对业务系统的各种资源进行集中账号管理、认证管理、权限分配和集中审计，并保障安全策略的有效实施。

关键词：4A；统一身份认证；PKI

1　引言

随着企业信息化水平不断提高和发展，总部集中应用建设与在企业规模性推广，当前的应用集成场景与环境变得越来越复杂，系统开发语言、终端设备及浏览器的多样化带来了应用集成需求更大的差异化，另外国家层面对信息安全高度重视，要求安全系统自主可控。目前国内部分企业和高校已经在实施统一身份认证平台建设方面积累了一些经验，但基于完全 4A 体系（统一身份、统一认证、统一授权、统一审计）和自主技术实施统一身份认证平台建设的大型企业极少。这为大型企业建设安全、高效的统一身份认证平台带来了较大的挑战。

2　目标

4A 统一身份认证平台建设的总体目标是“统一身份、集中管理、简化应用、保障安全”，全面支撑新的安全形势下带来的信息化统一身份管理和认证访问控制的要求。实现众多信息系统中的用户身份、用户属性、用户行为、用户生命周期的集约化管理。经过与试点应用的集成，简化应用系统在用户身份管理方面的工作，提高了用户使用体验，保障了安全性。降低管理成本，减少建设的重复投资。

在企业内部建立一套统一的身份认证管理平台，确保可信的主体（人、设备、应用）在恰当的时间和地点（国内、国外），通过可信的访问链路，以多种认证方式，安全合规的访问已授权的客体（应用后台、应用功能、数据或服务接口）。统一身份认证平台示意图如图 1 所示。

为达成此目标，4A 身份认证管理平台建设具有如下 5 个特征：

（1）数据集中，权威身份

整合原有实体身份信息源，并提供扩建方案与服务，集中并管理多种可以赋予实体身份的数据类型，为 4A 平台和应用系统构建权威数据源。并为零信任下的可信身份认证提供基础支撑。

（2）身份集中，认证便捷

提供单点登录与多种认证方式；提供对内外网用户、设备、应用的基于密码的安全服务支持，满足企业互联网化的需求；实现实名制的全生命周期管理。

（3）统一规范，简化应用

提供统一规范，提高开发效率；提供统一开发平台，简化应用集成难度；提供多种集成手段，最大化满足企业复杂应用场景需要。

（4）自主可控，安全合规

实施自主战略，提高企业的业务响应能力；打破国外技术壁垒，实现知识产权自主可控；满足公安部信息系统安全等级保护要求和密码管理局密码测评要求。

（5）运行感知，集中管控

实现对主要服务和各类实体状态的实时监控和集

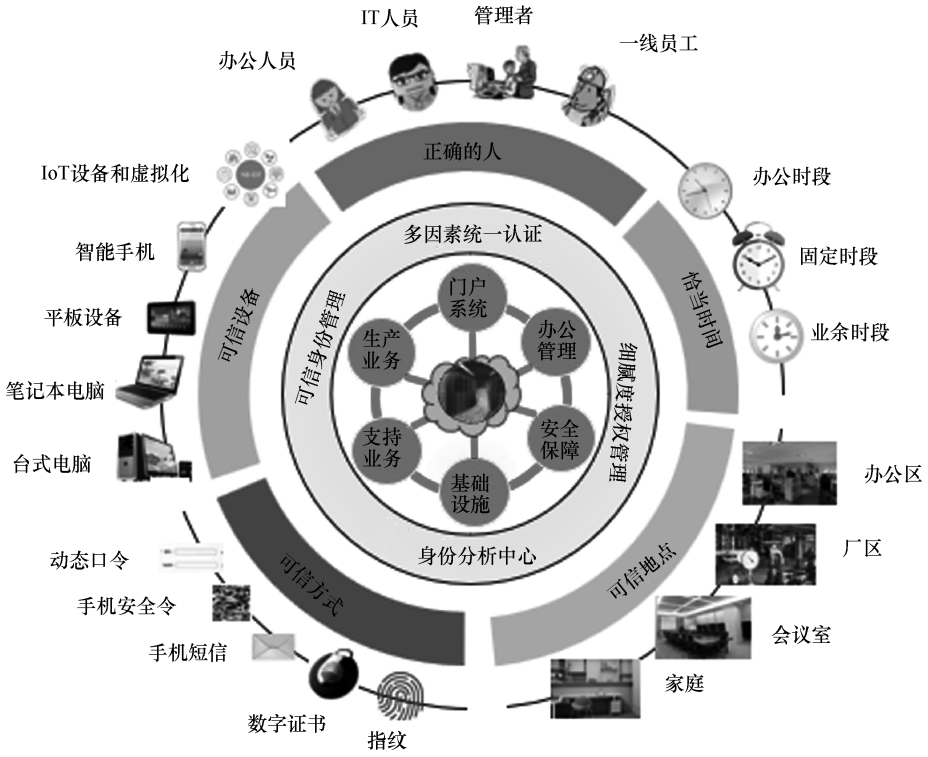


图 1　4A 统一身份认证平台示意图

中管控，与自身及第三方的安全联动进行动态响应处置；提供统一报表，提升运维感知度；满足对上市企业合规审计的需求。

通过 4A 体系的构建，建立起与企业公司相适应的全场景安全防护体系，开展可信互联、安全互动、智能防御相关技术的研究及应用，为各类企业业务做好全环节安全服务保障。4A 平台安全防护体系如图 2 所示。

可信互联：规范泛终端安全策略管控原则，构建基于密码基础设施的快速、灵活、互认的身份认证机制。

安全互动：落实分类授权和数据防泄漏措施，强化 APP 防护、应用审计和安全交互技术，实现“物-物”、“人-物”、“人-人”、“人-应用”安全互动。

智能防御：实现对企业平台安全态势的动态感知、预警信息的自动分发、安全威胁的智能分析、响应措施的联动处置。

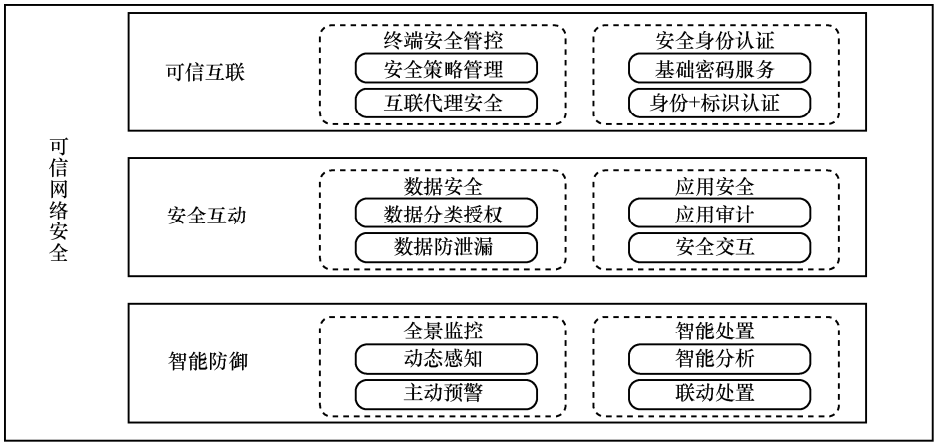


图 2　4A 平台安全防护体系

3 技术方案

3.1 技术路线

现有传统的认证系统随着企业的发展，已经不足以满足现有企业的需求，诸如大并发、大数据以及一些身份安全的问题都暴露了出来，并且传统的认证体系已经不足以支撑这些业务，那么要解决这些高性能、可扩展性以及认证的安全风险问题（态势感知？环境感知）需要很对传统的认证系统进行相应的技术改进，具体如下：

针对目前高并发、高压力的用户使用场景，产品需要在原有的技术上进行升级，支持该种场景，分别对 Apahe、Ngnix 等主流的开源框架进行调研分析，选择一个更适合当前产品使用场景的高性能处理模型，并基于该模型进行扩充相关的功能模块。现在统一认证系统采用了 Nginx 技术框架，对产品的高性能提供基础保障和框架支撑。

随着市场产品的云化需求日益增加，新产品逐步的从硬件产品向基于云的服务化产品迁移，为了更好的适应将来的新市场、新形态、新需求、新业务，产品需要做到能够在云环境中灵活部署，动态横向扩展，因此产品开发的技术框架模型应采用微服务的技术架构，以基于该架构要求为后续的软件开发指引。

云服务架构即采用微服务架构，微服务架构的特点是每个服务完成独立的业务，并且同类功能的微服务可以存在多份，为高性能提供了基础的同时，微服务技术的扩展性为整个系统提供了高可用和高可扩展性。

互联网环境的日趋恶化，传统的单一身份因子的认证已经不能够满足市场需求，无法完美地保证用户的身份安全，因此产品在设计时应考虑多种因子结合的认证方式，能够自有组合因子策略，并且能够实现针对不同的访问客体可按照不同的因子组合策略。已达到既保证认证的安全等级，也能够兼顾到使用过程的易用性，加强企业权限管理的同时，满足各方面的合规要求。

3.2 业务架构

4A 平台通过外部用户管理系统自助并通过 MDM 获取基础身份，集合管理身份信息，实现平台开放的身份管理和服务能力。支撑 Web 应用、桌面、移动、设备终端、应用、服务的认证接入。在应用层提供安全、便捷、高效的统一身份认证与授权审计等核心能力，实现企业全平台架构支撑能力。4A 平台业务架构如图 3 所示。

（1）可信的统一认证服务

提供各种强度适用的认证方式，实现单点登录。为用户解决口令管理和口令应用漏洞的问题，支持 PC 端与移动端及其他泛终端的接入。

（2）可信的身份管理服务

建立可信的身份库。集中各类身份、账号、授权供应，进行全生命周期管理。

根据需要对违规与可疑的行为进行识别和分析。

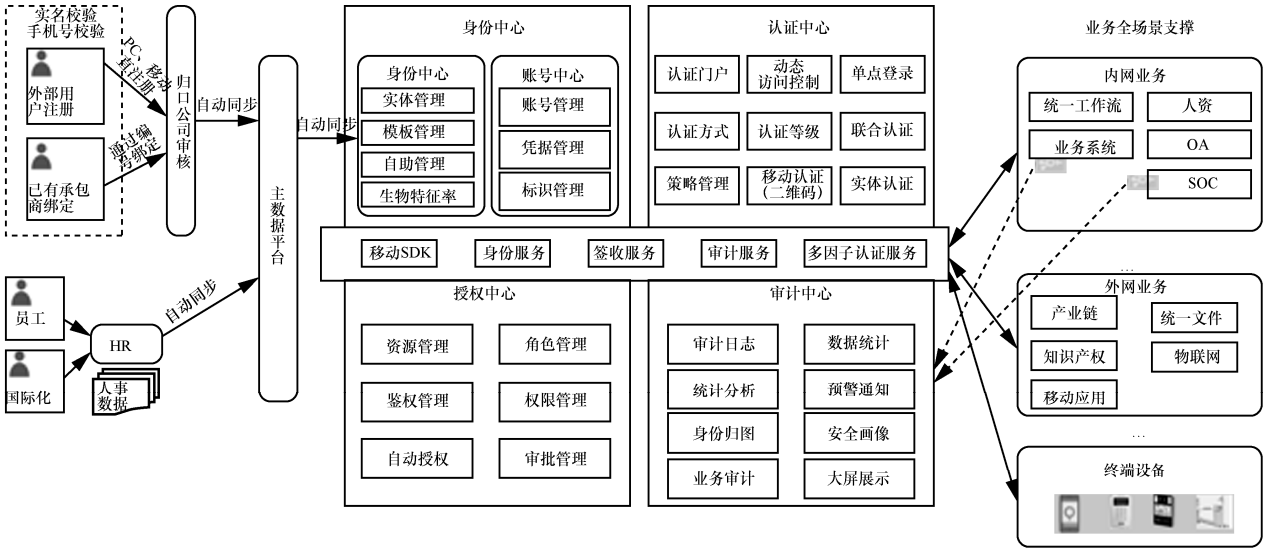


图 3　4A 平台业务架构

加强企业权限管理的同时，满足各方面的合规要求。

3.3 技术架构

4A 系统采用目前主流的微服务架构，基础分布式的理念，按业务场景进行独立服务单元的划分，解决单体系统的不足，同时也满足越来越复杂的业务需求，架构需要满足如下特性支撑项目灵活扩展。4A 平台技术架构如图 4 所示。

（1）特定服务发布，影响小、风险小、成本低

4A 产品采用微服务部署模式，将不同业务拆分成独立部署模块，模块之间耦合度很低，都是通过标准接口对接，所以后续项目在添加特定的新业务时，可以按新业务形成独立服务，与 4A 中标准业务接口进行对接即可，不影响 4A 原有业务，也减轻本身业务复杂、开发工作量、测试工作量，从而有效地控制了项目成本。

（2）频繁发布版本，快速交付需求

为了应对多期项目建设与快速需求相应，4A 产品选择微服务架构，利用独立服务的理念，可以针对具体业务系统，进行独立管理，采用敏捷开发模式，达到频繁快速交付需求的目的。

（3）低成本扩容，弹性伸缩，适应云环境

4A 系统采用微服务架构，可以达到灵活的横向扩展，针对每个独立的服务都可以通过单服务扩展来满足性能需求。服务可分可合。可以将多个服务部署在一台服务器上，也可以部署在多台服务器上。可以根据实际情况灵活应对。如认证服务，后续如果业务量和并发量增多的时候，可以只针对认证单服务模块就行横向扩展，管理服务可以不用进行扩展，从而降低项目实施成本。

3.4 服务架构

为确保 4A 服务在全集团用户、应用方便、可靠、安全运行，服务架构基于统一、开放原则设计。4A 平台服务架构如图 5 所示。

（1）通过统一的中台服务发布平台，将 4A 平台的身份服务、认证服务、权限服务、审计服务进行集中发布；

（2）为各类用户提供不同端的认证门户访问服务；

（3）通过认证中心为应用与认证实体提供各类因子的认证服务；

（4）为应用提供各类身份信息支撑同步服务；

（5）为移动端应用提供移动端认证集成服务；

（6）过审计服务采集各类日志。

3.5 部署架构

4A 平台各模块包括认证服务和门户只需要在内网部署一套，内网应用直接接入认证中心，不需要在外网独立部署门户，实现唯一的统一认证门户。4A 平台部署架构如图 6 所示。

外网应用通过代理服务接入认证中心满足应用单点认证建设要求。

内网外用户无感隔离环境，访问认证门户没有体验上的差异，构建相同的访问与认证流程。

3.6 安全性设计

系统按照国家等保 2.0 三级标准建立。在企业整体信息安全框架内 4A 系统遵循统一的信息安全管理

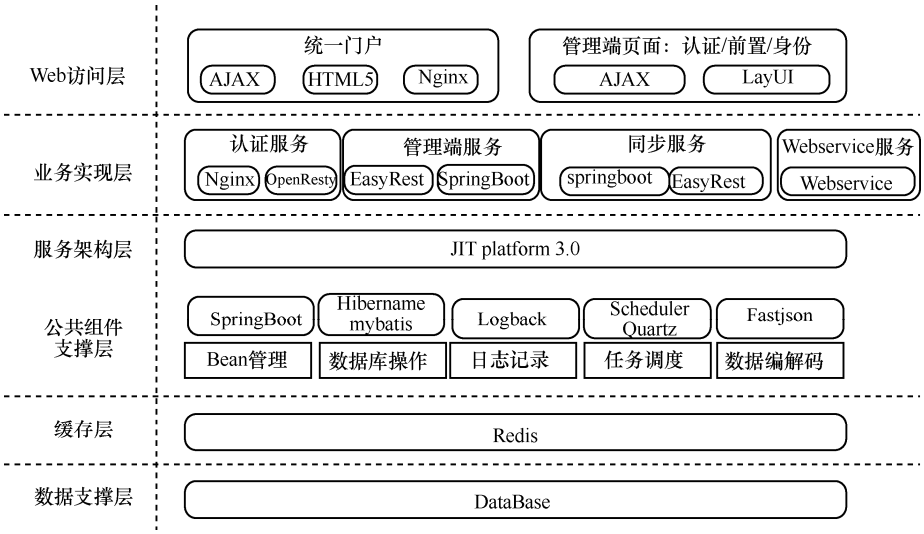


图 4　4A 平台技术架构

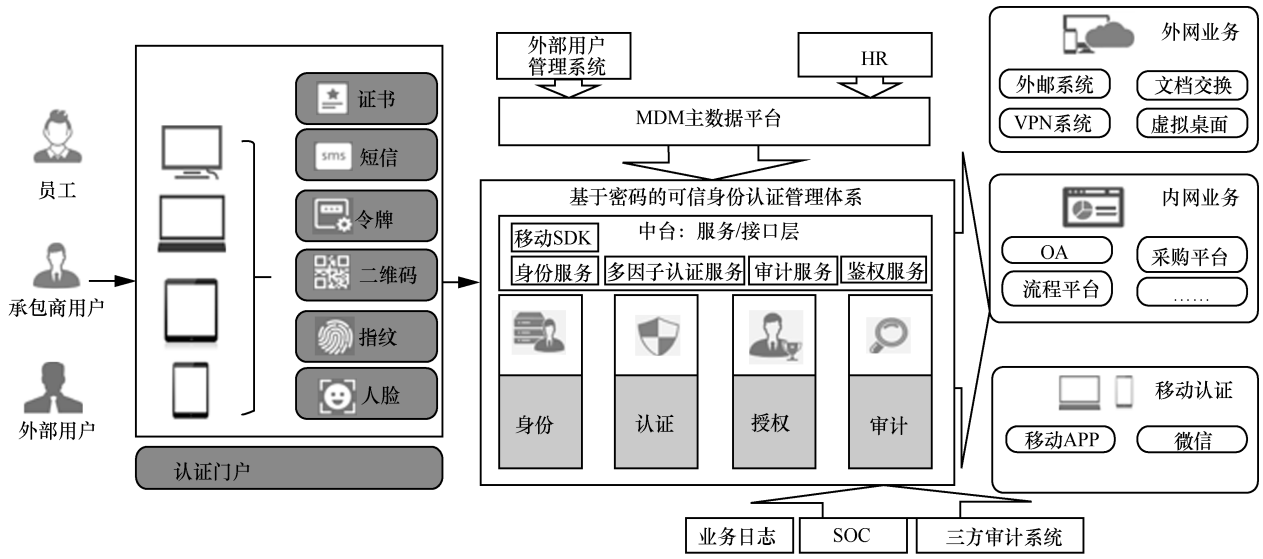


图 5　4A 平台服务架构

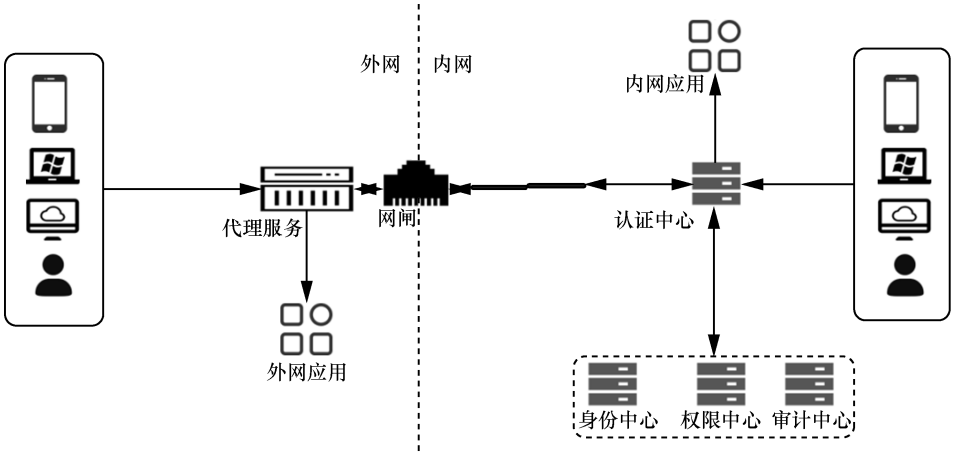


图 6　4A 平台部署架构

相关策略、制度，将以 PKI/CA 系统、审计系统等为依托，在物理安全、应用安全、数据安全、网络安全和主机安全等基础性安全建设内容基础上，在应用系统身份鉴别、访问控制、关键操作抗抵赖、通信安全、剩余信息保护和资源控制等方面加强安全保护，最终实现业务安全的目标。经等级保护评测中心检测，符合三级的等级保护要求。

系统安全采取了如下安全措施。

3.6.1　身份认证及访问控制

系统管理员采用基于企业数字证书的强身份认证方式，保证身份认证的强度及安全性。系统提供应用系统用户基于数字证书的强身份认证及多系统的单点登录服务，单点登录票据通过密码数字签名，保证其真实性及完整性。系统基于 RBAC 实现用户的授权机制，做到严格的访问控制，三权分立管理。统一身份及认证如图 7 所示。

身份管理：（1）原主数据不改变流程、避免重复建设；（2）新注册外部用户与已有承包商绑定通过自助服务实现；（3）身份中心自动接收自身员工和外部注册/绑定用户数据，开通数字证书；（4）4A 平台集中身份中心为权威数据源，为其它 4A 平台提供身份支撑。

统一认证：（1）认证中心通过内网部署，并通过中台与应用系统对接，为其提供统一的认证服务；（2）多种终端支持，移动办公、桌面应用、B/S、C/S 应用都是用统一的认证服务；（3）多因子强认证，可灵活组合多种强认方式，大幅提升认证强度。可提供账号口令+短信、动态口令、证书、人脸识别等方式，提

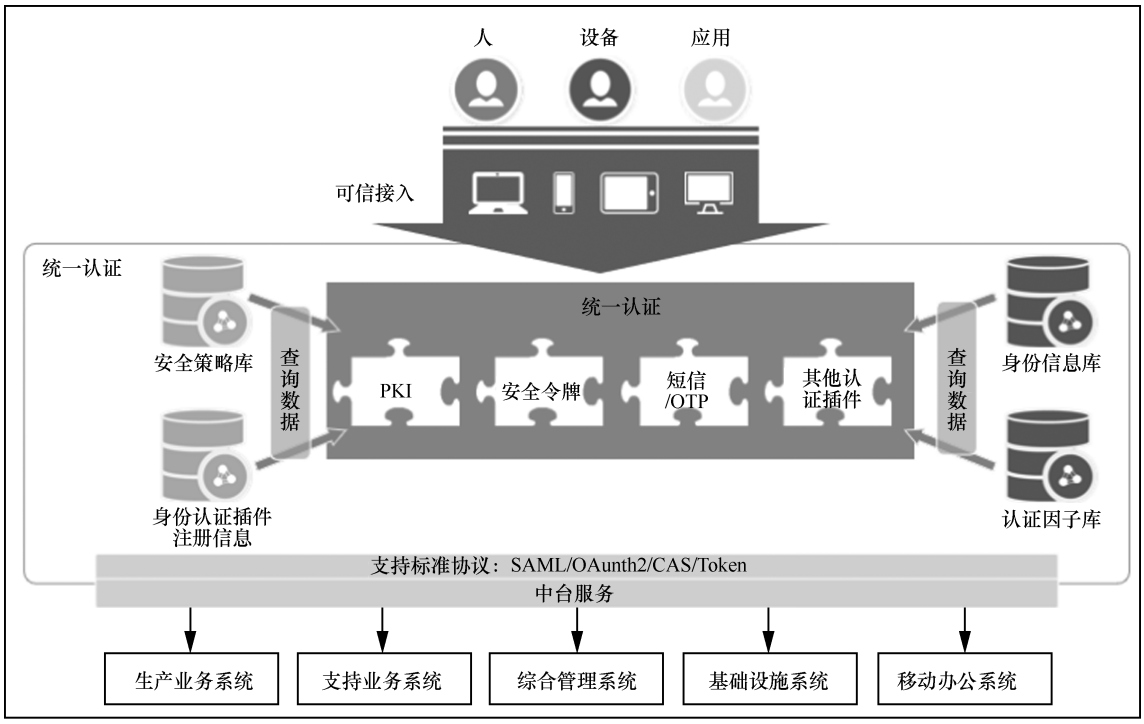


图 7　统一身份及认证

升安全认证等级；（4）分级安全策略：可根据不同的时间、环境、用户、应用设置不同的认证规则，兼顾效率与安全。（5）手机安全令：用户可使用手机作为认证设备，支持证书+二维码扫描、动态口令、指纹、扫脸等生物识别技术。

认证策略分级策略：（1）可针对不同业务制定不同等级的认证防御策略；（2）访问更高级别的应用系统时需要进行更高等级的认证方式（比如证书、人脸）；（3）某应用系统在进行关键业务操作时可以进行更高等级的认证方式（比如证书、人脸）。

3.6.2　通信安全

通信安全包括通信过程的保密性及完整性，与 4A 系统间存在数据交互的实体包括各类的实体，全部采用基于标准的 SSL/TLS 协议实现。

（1）关键操作抗抵赖：系统中用户身份禁用、口令重置及应用系统权限开通等操作为关键业务操作，采用基于数字签名技术，实现上述操作的抗抵赖。

（2）软件容错：系统对所有输入数据进行有效性校验，对输入数据进行过滤，防止 SQL 注入、XSS、CRLF 等攻击。统提供自保护功能，当发生故障时，自动切换到备份系统。

（3）资源控制：对系统资源（通信会话及公共资源等）进行有效控制，对长时间无用户操作由系统自动终止会话，对用户长时间占用并且无操作的系统资源进行自动释放；

（4）剩余信息保护：系统采用面向对象技术，对内存的用户鉴别信息正确释放及清除，并结合 JAVA 的垃圾回收机制进行保护。系统内文件、目录和数据库记录采用同样保护机制。

（5）数据传输安全：采用安全通道保证数据的传输安全，对人员的数据进行分类，保证存储和使用过程中的数据安全。

（6）网络安全：网络安全根据 4A 系统业务特点，划分了核心区、接入区、服务区和应用数据区，并采取了相应网络安全策略进行安全防护。

（7）主机安全：在操作系统、数据库和中间件三方面进行了安全加固。

除上述技术手段外，系统建设同时应编制《企业统一身份认证管理办法》，以加强安全管理。

3.6.3　审计中心

审计中心用于解决以人、设备、应用等实体维度的账号安全和权限安全，内部账号失窃，账号盗用、账号异地登陆，越权访问应用资源等安全问题场景。此类场景往往攻击不明显，无法形成方法论，

业务显著的规律可循。审计中心结合认证中心、授权中心的业务日志，通过机器学习方案不断积累用户的操作行为，通过专业的分析、论证，发现风险，及时处置响应，给客户直观的图表展示，解决企业内部潜在的危险。

4 结束语

本项目是为了满足集团对人员、组织的统一管理，以及对业务系统资源的统一管理，建立的一套集统一身份、统一认证、统一授权、统一审计管理于一身的4A安全防护平台。4A平台于2020年6月7日投产上线；2020年7月完成4A客户端产品——“和安盾”上线，并在集团范围内分三批完成国内28家公司、海外4家公司推广安装。目前已实现集团16万用户身份的管理维护、195 套应用接入，覆盖集团所有关键重要应用，已发布技术方案标准、4万桌面端用户安装，工作日平均认证数量达到15万次。运行情况良好。平台提供持续进行应用系统认证接入同时，扩大业务集成覆盖范围，平台专项功能完善提升，满足中广核集团全面应用的需求。

项目已完成“统一身份、集中管理、简化应用、保障安全”的总体目标，全面支撑新的安全形势下带来的信息化统一身份管理和认证访问控制的要求。实现众多信息系统中的用户身份、用户属性、用户行为、用户生命周期的集约化管理。经过与应用的集成，简化应用系统在用户身份管理方面的工作，提高了用户使用体验，保障了安全性。降低管理成本，减少建设的重复投资。

参考文献：

[1] 杨雪婷, 李重. 车联网中基于车辆行为预测的身份认证方案[J]. 计算机工程, 2021, 47(1): 129-138.

[2] 汤阳, 张翼英, 何业慎, 等. 一种基于 PKI 的能源信息系统多渠道统一身份认证方法[J]. 电信科学, 2019, 35(6): 41-49.

[3] 国家互联网应急中心. 2020 年我国互联网网络安全态势综述[R]. 2021(5):1-32.

[4] 杨婧媛. 统一用户信息管理服务框架的设计与实现[D]. 北京: 北京邮电大学 2015.

[5] 王瑶, 何淳真, 康莹, 等. 统一身份认证在企业信息系统中的应用[J]. 中国管理信息化, 2019, 22(1): 193-196.

[6] 吴仲. 计算机网络安全风险评价及防范措施探析[J]. 电子技术与软件工程, 2015(19): 216.

[7] 黄欣. 计算机网络安全威胁与防范措施[J]. 产业与科技论坛, 2011, 10(5): 95-96.

[8] 王春晖. 《网络安全法》六大法律制度解析[J]. 南京邮电大学学报(自然科学版), 2017, 37(1): 1-13.

[9] 刘夏婷, 袁一文. 防火墙技术在计算机网络安全中的应用[J]. 福建质量管理, 2020(2): 277.

[10] 赵永圣. 计算机网络通讯安全中数据加密技术的应用分析[J]. 计算机产品与流通, 2019(5): 37.

[11] 董海军. 数据加密技术在计算机网络通信安全中的应用研究[J]. 电子测试, 2016(11): 94-95.

[12] 李艳. 基于PKI技术的安全接入平台中接入认证的研究[J]. 科技传播, 2020, 12(22): 131-133.

[13] 谢宗晓, 董坤祥, 甄杰. 信息安全管理系列之六十四 公钥基础设施(PKI)的发展过程及其架构[J]. 中国质量与标准导报, 2020(5): 17-20.

[14] 陈放, 刘晓瑞, 杨明业. 基于活体检测和身份认证的人脸识别安防系统[J]. 计算机应用, 2020, 40(12): 3666-3672.

[15] 张建斌. 大型信息系统集成项目管理中的问题与策略[J]. 中国管理信息化, 2015, 18(8): 70.

典型用户电碳排放研究与应用

尹飞[1]，季聪[1]，孙权[1]，仲智颖[1]，苏红莉[2]
（1. 江苏方天电力技术有限公司，江苏 南京，211100；2. 北京国网信通埃森哲信息技术有限公司，北京 100052）

摘　要：2020 年，中国在联合国大会一般讨论上提出了 2060 碳中和的目标，为加快实现碳达峰、碳中和最终目标，电力领域作为中国碳排放的主力，电力企业必须寻求低碳转型的发展道路。本文基于典型园区/用户的水、电、气、热、煤、油等实时数据及用户光伏能源、清洁能源等数据，搭建电碳中和指数算法模型，开展碳排放评价，辅助评估诊断生产工艺环节降碳方式，推广低碳化用能典型案例，实现定制化开展综合能效服务。

关键词：电力企业；度电碳排放量；电碳中和指数

1　引言

中国在联合国大会上的郑重表态，标志着中国正式承诺碳中和，通过加大投入力度、缩小排放差距、参加碳中和策略响应等行动，提升国家碳减排实践能力，助力中国社会经济发展，缓解气候变化带来的影响。

进入新时期，世界碳中和愿景实现、行动开展面临着多种复杂形势，一是世界碳中和团队迅速壮大，特别是中国宣布在 2060 年前实现碳中和，对碳中和参与国的框架产生了重要影响。二是，新冠疫情的发展导致产生了新的世界政治经济结构。经受疫情冲击后，世界的低碳恢复行动对碳中和愿景和趋势将产生可以预见的深远影响。

中国能源结构以煤为主，火力发电行业作为国内碳排放的主体，致使电力行业成为碳减排的主力军。电网作为电力行业的重要一环，在发电企业和用户方面节能减排中发挥着重要作用，其企业内部碳减排有利于电网企业抢占碳交易市场占有率。本文以为基础，开展区域能效监测专变用户碳排放研究。

2　碳排放研究现状

在当前针对碳排放的研究中，主要从生产侧和供给侧两方面计算区域电力、碳排放。

生产侧的电力、碳排放是指区域在发电过程中直接产生的温室气体排放量。由于电力供应和需求空间的不匹配，地区间存在通过输电网产生的大规模直接电力流，同时电力中所含的碳的排放和其他污染物也通过输电网流动。在这种情况下，某一地区生产侧的直接电力碳排放和供给侧的间接电力碳排放可能存在很大区别。一些学者使用直接贸易调整法和网络法模拟区域间直接电力碳排放流动，计算区域供给侧的电力碳排放。

供给侧的电力碳排放是指区域间的力交易后，区域电力供给中所包含的碳排放。直接贸易调整法比较简单，该方法假定在一个地区购买的电力完全在当地消耗，而从本地流出的电力不包括购买的电力，因此不存在高阶的电力流动（也就是说一个地区的电力通过中继地区流向其他地区）。网络法假定，在当地购买的电力首先与当地的电力混合，在当地消费或销售。由于考虑到流过中继区域的高阶功率流，网络方法有利于获得更准确的间接功率碳发射。然而，在现有的研究中，从单一角度（消费方或供给方）计算电力碳排放，忽略了区域间贸易对电力碳排放的影响。与隐含能量、虚拟水、隐含碳等类似，电力和碳排放可以通过区域间的贸易网络流动。如果无视区域贸易对地区电力和碳排放的影响，就会发生碳排放泄露，根据地区消费方的电力和碳排放削减政策，避免区域贸易中碳泄漏问题。

此外，地区消费侧方面的电力碳排放可以在一定程度上反射出消费者和贸易受益区域在低碳中的责任，并为减少消费者队伍的政策提供参考，有利于补充以现有生产方和供给方为主的减排政策。在本文中，消费侧方面的电力碳排放举措能够满足当地的最终需求以及日常生活需要。

3 碳减排策略研究

3.1 完善低碳发展的法律体系

通过分析德国新能源发展过程可以从中得出结论[1]，构建完善的法律体系是低碳发展的重要保障，包括《电力运输法》、《可再生能源法》、《环境适应性监测法》、《可再生资源法》等法律的制定有效地促进了德国的低碳发展。日本低碳经济发展较快的国家，法制建设相对完善，制定了《节能法》（1979）、《新能源利用促进特别措施法》（1997）、《车辆再生法》（2002）、《低碳社会建设促进法》（2010）等法律，可以认为在促进低碳发展方面发挥着重要作用[2]。

3.2 积极发展清洁能源

在当前的国际社会中，清洁能源受到各国的重视，正在飞速发展。清洁能源的比重提高对低碳经济的发展起着很大的推动作用。实施碳减排的主要途径是降低碳排放强度，提升清洁能源在能源消费结构中的占比，增加太阳能和风能等清洁能源利用可大幅提升碳排放强度。朱永彬[3]　采用了三种方案，模拟了清洁能源比例增加对碳排放趋势的影响。在三种情况下，随着碳排放的峰值较高，清洁能源的使用量分别降低164.78MtC、486.72MtC、329.04MtC，可看出提高清洁能源的比重，可明显降低碳排放量[4-7]。

3.3 开发低碳技术

低碳技术主要包括碳减排技术、碳效率技术、碳捕获和贮藏技术、碳汇兑技术。碳减排技术主要体现在清洁能源研发技术和低碳替代技术中。碳效率技术主要应用于提高能源利用效率。碳捕获和贮藏技术包括煤炭预燃烧、氧气燃烧和后燃烧三种捕获技术。碳汇兑技术主要体现在土地利用管理技术、森林管理技术等方面。从碳排放强度降低过渡到碳排放量减少，低碳技术是主导驱动力[8]。经济的增长驱动着人均能源足迹的增加，技术进步是抑制增长的重要因素。近几年来，经济持续稳定增长，人均能源足迹总体呈现较快增长趋势，但技术水平还没有得到同步提高[9]。根据其他几项研究，增加对绿化的投资，提高碳汇款能力，建设城市的绿化隔离带，提高环境的自净能力，是减少碳排放的有效手段[10-15]。

4 碳排放评价相关概念及算法

4.1 度电碳排放量

不同能源发电方式每生产一度电的碳排放量不同，通过计算不同能源结构下多种能源排放的二氧化碳量总和，来计算度电碳排放量。

$$\alpha=\sum E_i C_i \ (i=1,2,\ldots,n) \qquad (1)$$

其中，α 为度电碳排放量，E_i 代表使用第 i 种能源产生的电量（电、气、油、煤等），C_i 代表第 i 种能源单位负荷碳排放因子。

度电碳排放量是电碳排放量与用电度数的比值，是指每消耗一度电产生的二氧化碳排放量。计算公式如下：

$$\beta=\frac{\sum E_i C_i}{\sum E_i} \ (i=1,2,\ldots,n) \qquad (2)$$

其中，β 为度电碳排放量。

借鉴世界核能协会（World Nuclear Association）对1997 年以来 23 份相关研究报告的综述结果，本文计算电碳排放量所依据的能源单位负荷碳排放因子如下：

下面，以电力企业某省的用电结构数据为例，计算度电碳排放量。

2019 年，某省全省发电量为 5062.28 亿千瓦，其中新能源发电量 446.32 亿千瓦时。新能源发电量中，风发电量 183.89 亿千瓦时，光伏发电量为 154.07 亿千瓦时，垃圾发电量为 73.28 亿千瓦时，生物质发电量为 35.08 亿千瓦时。核电站 2019 年全年发电量为 328.89 亿千瓦。

2019 年该省电碳排放量=4286.90×950+154.07×85+35.08×45+328.89×29+183.89×26=4.11 亿 T

则 2019 年该省度电碳排放量=4.11/5062.28×10^6=812 g/(kW·h)。

4.2 电碳中和指数

电碳中和指数反映发电主体清洁化程度。计算公式如下：

表 1　能源单位负荷碳排放因子 单位：g/kWh

能源类型	非清洁			清洁				
	煤	燃油	天然气	太阳能	生物质	核电	水电	风电
碳排放因子	950	733	499	85	45	29	26	26

$$\mu=\frac{\sum E_{清洁}\times\left(C_{煤}-C_{清洁}\right)}{\sum E_i\times C_{煤}}\ (i=1,2,\ldots,n) \quad (3)$$

其中，μ 为电碳中和指数，$E_{清洁}$ 指清洁能源产生的电量，$C_{煤}$ 指煤的碳排放因子，$C_{清洁}$ 指清洁能源的碳排放因子。

5 能效监测用户电碳排放典型场景

基于上述算法，下面以重点能效监测用户及工业园区为例开展电碳排放量测算及评价。

5.1 场景一：重点能效监测用户研究

根据 2019 年底，以纳入能效监测的 900 余家企业用能数据为输入，开展重点专变用户的碳排放分析。基于电碳排放量等计算方式，借助数字可视化展示技术，构建碳排放热力图，直观显示不同行政区域内。

结合所有能效监测用户的用电、用热、用气、用煤量，以专业为维度进行划分，计算不同行业的碳排放量，发现碳排放量最多的 5 个行业分别是电力、热力生产和供应业，燃气生产和供应业，化学原料和化学制品制造业，计算机、通信和其他电子设备制造业，黑色金属冶炼和压延加工业，且碳排放量最少的行业也已达到千万吨级，如图 1 所示。

其次，也可分析重点用能企业的电碳排放量在整个能源消耗碳排放量中的占比，评价该企业电能替代潜力，对某一区域或领域内的企业进行最具潜力企业排名，在开展电力营销普查的同时，可重点调研其电能替代需求、意愿，推广综合能效服务。

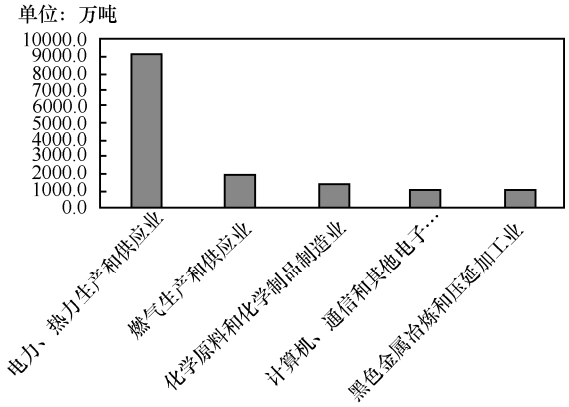


图 1 重点能效监测用户行业碳排放排名 Top5

5.2 场景二：典型园区能源碳排放分析

以内部兼备自用热电厂、光伏、储能等多种能源的某典型工业园区为例，开展园区碳排放分析。

该工业园区内部热电厂容量 24MW、光伏电站装机容量 13.39MW、储能容量 4MW。2020 年年度电量 1497 万 kWh。

5.2.1 不同能源结构碳排放量测算

园区用能主要是电能和热能，电能通过热电厂、光伏、储能以及电网供电，热能通过热电厂燃煤供应（单位：电量/万 kWh；用热量/吨）。通过对该园区 2020 年不同月度不同类型的用能数据进行统计，发现因热电厂 2 月份例行检修，园区更多使用了电网供应电量，故 2 月份热电厂发电量较其他月份低，如图 2 所示。

基于以上数据，测算不同月度、不同用能类型的碳排放量，如图 3 所示，面积大小代表碳排量的多少，

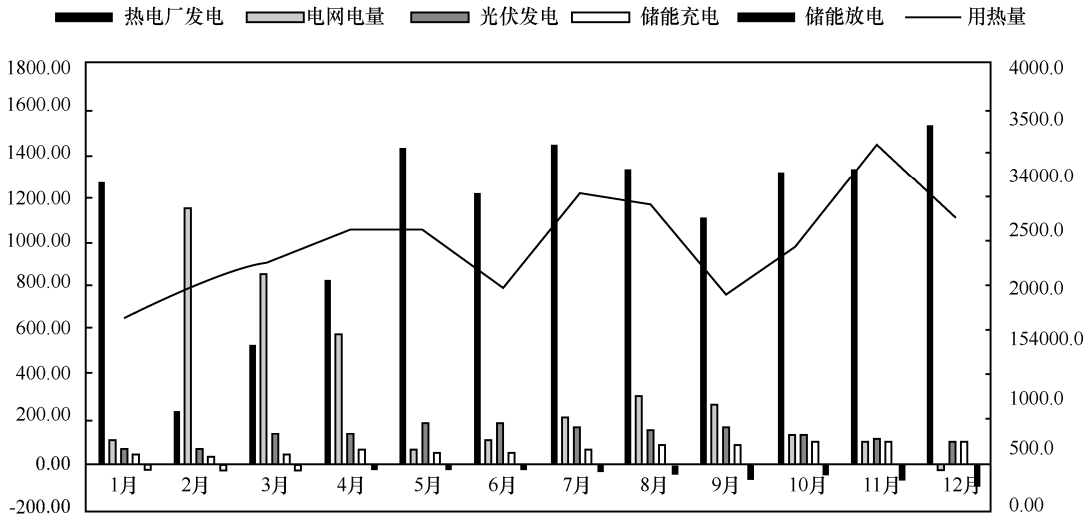


图 2 园区月度能源消耗量

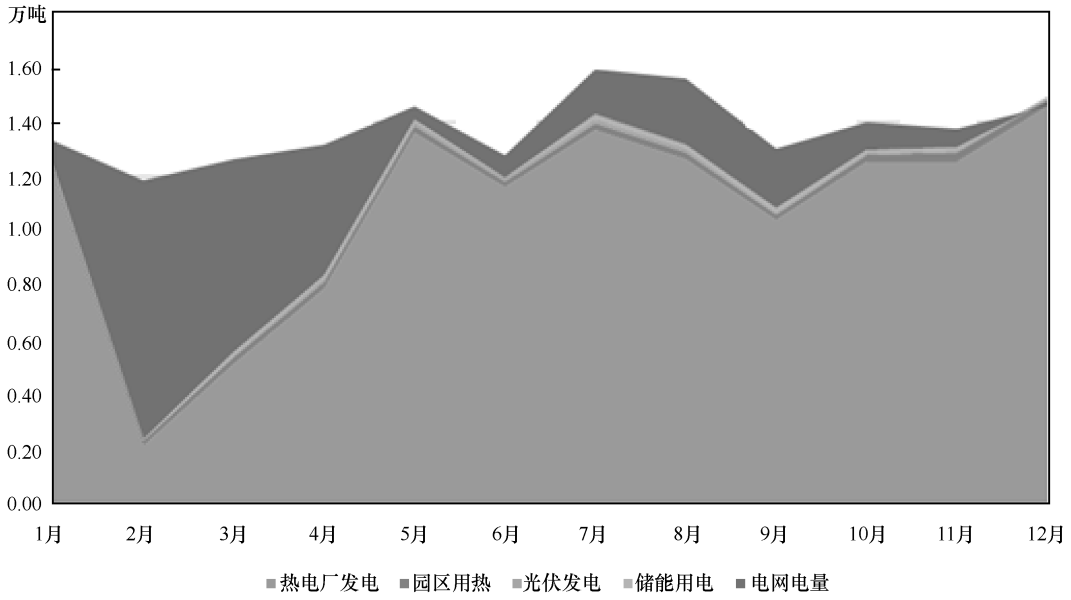


图 3　月度能源碳排放量

从图中可看出，2 月份当热电厂发电量较其他月份低时，光伏电量占比很小，碳排放量也很低。

5.2.2　园区清洁/非清洁能源碳排放分析

通过该园区所在市的用能数据测算，得出该市度电碳排放量为 802g/kWh。利用该园区热电厂发电数据及光伏发电数据进行测算，发现当该园区热电厂发电时，较该市平均水平增排二氧化碳 20110 吨，而光伏发电减排 10736 吨，如图 4 所示。同时，对该园区进行电碳中和指数测算，发现如果不考虑热电厂为 6.86，考虑热电厂的情况下为-5.99，可看出清洁能源的使用可大幅降低电碳中和指数，政府可通过电碳中和指数进行企业用能清洁度评价，指导开展企业排污考核。

6　结束语

本文以工业园区的低碳发展路径研究为指引，充分调研国内外电力市场碳排放、碳足迹、工业园区的发展及研究现状，利用度电碳排放量、电碳中和指数指标开展典型用户/工业园区碳排放研究及评价。下一步，将以用能数据、碳排放指标为基础，开展企业能源利用率、碳排放强度分析，为企业绿色经济健康发展提供参考与借鉴。

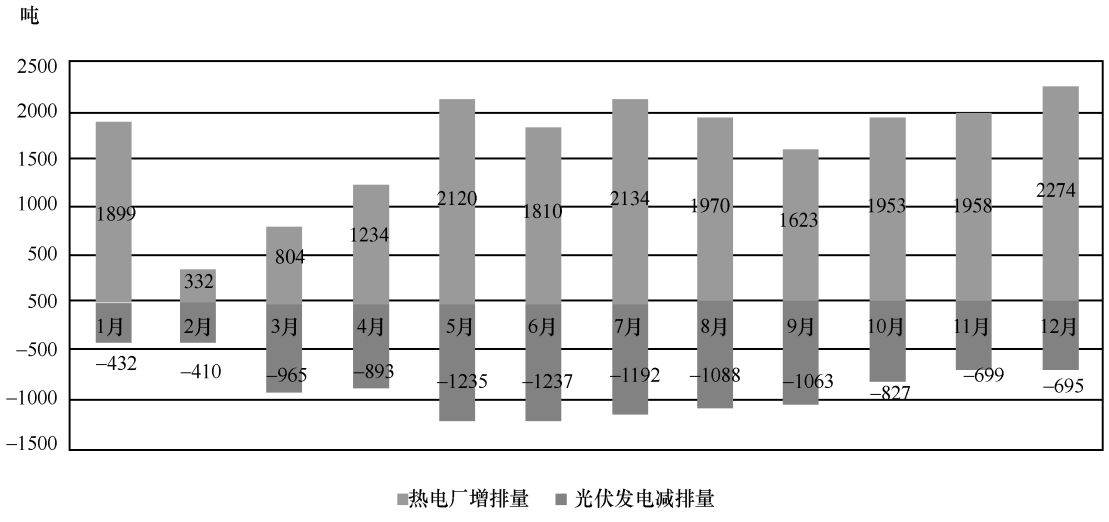


图 4　园区清洁与非清洁能源碳排放

参考文献：

[1] 黄玲, 张映红. 德国新能源发展对中国的战略启示[J]. 资源与产业, 2010, 12(3): 48-53.

[2] 彭近新. 全球低碳经济发展状况及趋势[C]//中国低碳经济发展报告（2011）. 北京: 社会科学文献出版社, 2011.

[3] 朱永彬, 王铮, 庞丽, 等. 基于经济模拟的中国能源消费与碳排放高峰预测[J]. 地理学报, 2009, 64(8): 935-944.

[4] 雷军, 张利, 张小雷. 中国干旱区特大城市低碳经济发展研究: 以乌鲁木齐市为例[J]. 干旱区地理, 2011, 34(5): 820-829.

[5] 安瓦尔·买买提明, 张小雷, 杨德刚. 阿图什市城市化过程的大气环境污染效应[J]. 干旱区地理, 2012, 35(2): 274-280.

[6] 尹硕, 郭兴五, 燕景, 等. 考虑高渗透率和碳排放约束的园区综合能源系统优化运行研究[J]. 华电技术, 2021, 43(4): 1-7.

[7] 王姝, 石晶, 龚康, 等. 多元复合储能系统及其应用[J]. 电力科学与技术学报, 2013, 28(3): 32-38, 44.

[8] 陈劭锋, 刘扬, 邹秀萍, 等. 二氧化碳排放演变驱动力的理论与实证研究[J]. 科学管理研究, 2010, 28(1): 43-48.

[9] 方恺, 沈万斌, 董德明. 经济增长和技术进步对吉林省能源足迹的影响分析[J]. 干旱区地理, 2013, 36(1): 186-193.

[10] 马玲. 论当前国内电力市场发展动向及思考[J]. 电子制作, 2015(14): 88-89.

[11] 陈满, 陆志刚, 刘怡, 等. 电池储能系统恒功率削峰填谷优化策略研究[J]. 电网技术, 2012, 36(9): 232-237.

[12] 王文举, 赵艳. 全球碳市场研究及对中国碳市场建设的启示[J]. 东北亚论坛, 2019, 28(2): 97-112, 128.

[13] 莫建雷, 朱磊, 范英. 碳市场价格稳定机制探索及对中国碳市场建设的建议[J]. 气候变化研究进展, 2013, 9(5): 368-375.

[14] 张丽娜. 碳排放权交易对可再生能源发展的影响[D]. 北京: 对外经济贸易大学, 2020: 7-22.

[15] 宋晓玲, 孔垂铭. 中国碳交易市场对地区经济结构影响的实证分析[J]. 宏观经济研究, 2018(9): 98-108.

电力大数据安全审计技术框架研究与分析

连晨[1]，冯国聪[2]，王健[3]
（1. 南方电网数字电网研究院有限公司，广东 广州 510633;
2. 南方电网数字电网研究院有限公司，广东 广州 510633;
3. 南方电网数字电网研究院有限公司，广东 广州 510633）

摘　要：电网数字化是现代电力能源网络与新一代数字信息网络的基础，随着新一代云大物移智技术的推动、以数据为关键生产要素的电网企业，在业务与管理深度融合过程中正面临着大量数据处理需求与涉及到的大量审计风险。进行大数据审计技术框架研究，建立大数据安全自动化审计系统是数字化信息保障体系最有效的保障手段之一，要对海量非结构化数据进行审计，需依托于大数据技术与大数据处理框架，从而达到对数据各维度的智能分析和趋势预测。本文对数据的全生命周期提出了一种在大数据背景下的数据安全审计技术框架、并应用大数据技术实现对电力数据的自动审计，以提高现代化信息安全防护系统的可靠性、智能性。

关键词：大数据，数据审计，审计技术，审计分析

1　引言

为实现数据安全审计追责功能，常用的能力组件对于数据审计产品布局主要基于主机审计、网络审计、数据库审计三大类展开[1]。随着技术日新月异，数据风险威胁日益增加、网络安全事件的层出不穷，人们面对网络安全风险的防范意识日益提高，传统的审计技术与单一的安全防御设备、风险检测设备已无法满足对于大数据背景下的动态的、实时的能源数据的安全防护需要。因此需要应用新型大数据技术，从整体系统出发，进行宏观监测预警，代替某个功能块的独立审计分析，动态反映全网数据的实时安全状态，并对可能面临的安全威胁进行检测分析和预警。

网络安全等级保护标准 2.0 里明确指出，审计追责功能是合规性需求也是企业组织应关注的重点，因此建立基于大数据技术的能源数据审计技术框架，是未来必然的发展需求与趋势[2]。

2　数据审计技术框架

本文提出了一种基于大数据挖掘技术与数据分析技术的能源数据审计技术框架，学习大数据技术架构，采用数据分析思想，构建了能源大数据审计体系如下图所示。

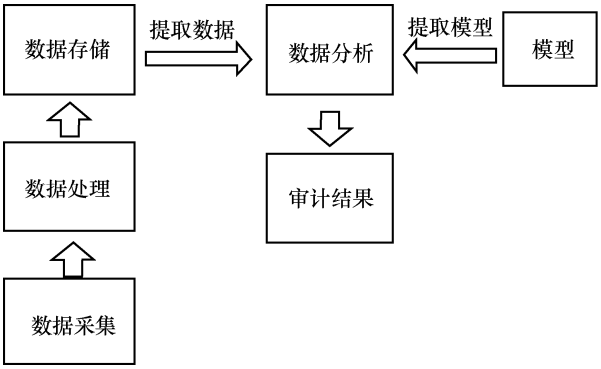


图 1　大数据审计体系

3　数据挖掘

3.1　数据采集

数据挖掘的第 1 步是数据采集，能够对采集的数据进行清洗是后续进行数据分析并提取数据价值的最基础的保障。目前，多采用直接读取数据或者连接数据库的方式进行数据采集，其中，直接读取数据可以获得最佳的数据质量来源，但是对于权限有要求；数据库连接的方式，则对于数据格式有要求[3]。

数据的采集方式分为被动采集和主动采集[4]。被动采集是指通过调用审计接口，为审计系统调用各业务系统的日志数据，在这个过程中，在前端应用上提

供采集数据接口，通过采用这些审计接口，为审计系统调用各业务系统的日志数据，执行数据采集过程。这种方式不利于对旧有系统的数据采集，但是有职责追溯清晰以及系统升级带来的接口风险较少优点。

主动采集是指数据采集系统对于数据源主动进行数据收集，这种模式由于主动性强，因此能够更快速的收集针对性的数据，但是对于敏感数据的处理与规范能力不足，对数据格式要求较高。

数据采集后，得到的数据质量未必符合要求，因此需要进行预处理，包括应用缺失值处理，重复数据处理，噪声数据处理，数据变换处理等，进行数据清洗后，高质量的数据采集才算完成。

3.2 数据处理

数据处理是为了保障数据质量而对采集到的含有缺失值数据进行处理处理，处理方式包括删除缺失数据或是填补缺失数据，填补的方法包括人工填写，平均值填写填充，最临近方法填充，期望值最大化填充，贝叶斯 boostrap 方式填充，回归法填充等[5-7]。

重复出现的数据也被称为冗余数据，对于这些冗余数据，首先可以通过数据的关键词识别重复数据，后进行分类识别与合并，这个过程可以通过模糊匹配和相似度计算的技术处理。

噪声数据是指存在错误或异常(偏离期望值)的数据，为避免噪声数据对数据分析结果，造成大的影响，需要先对噪声数据进行处理，方法分以下几种，一、分箱，通过数据周围的值对数据进行平滑处理，二、回归，通过函数将数据拟合到一个多维平面后，对数据进行平滑处理，三、聚类，将数据聚类成群或簇，没有在群或簇的值就是噪声[8]。

数据变换，即将数据规范化，由于数据来源自不同的类型的数据库，需要先将这些不同类型的数据变换成同一类形式的数据后进行分析，常用的三种数据规范化的方法如下[9][10][11]。

1）Min-max 规范化（Min-Max normalization）：

Min-max 规范化通过线性变化将原始数据投射到指定的空间[min,max]，变化过程用公式表示如下，SciKit-Learn 中的 MinMaxScaler 可以完成这个功能。

$$x' = \frac{x - \min}{\max - \min} \quad (1)$$

式中：x'为规范后的数据；x 为原始数据；max 为样本数据最大值；min 为样本数据最小值。

2）Z-Score 规范化：

该变化将原始数据转换为正态分布的形式，使结果易于比较。可用公式如下，在 SciKit-Learn 中的 preprocessing.scale()可以直接将给定数据进行 Z-Score 规范化。

$$x' = \frac{x - a}{b} \quad (2)$$

式中：x’为规范后的数据；a 为对应特征均值；b 为标准差。

3）小数定标规范化：

通过移动小数点的位置来进行规范化。小数点移动的位数取决于该属性数据取值的最大绝对值。

数据降维，是节约在面对复杂的数据的运算量和提高分析效率而进行的某种映射方法，将原先高维空间中的数据向量映射到低纬度空间中的低纬向量，映射方法可以是线性或非线性函数。一般认为，数据降维以后会删除高维空间原有的冗余数据，可以增加数据精度。

目前常用的降维算法有 PCA（Karhunen-Loeve Transform），LDA（Linear Discriminant Analysis），LLE (Locally Linear Embedding) 局部线性嵌入，拉普拉斯特征映射。PCA 是一种常用的对于高维数据压的缩算法，许多软件如 Python 的 SKLearn 中，就包含了 PCA 功能，调用方式如下：sklearn.decomposition.PCA(n_components=None, copy=True, whiten=False)。Pca 是丢失原始数据信息较少的一种线性降维方式。

4 数据存储

传统的关系型数据库已不足以面对海量异构数据的存储与应用需求。为防止数据泄露，安全的存储方式是采用加密系统，而为防止数据丢失，安全的存储方式是分类存储[12]。相比于传统的集中式数据库，分布式数据存储具有更高的可靠性和拓展性特点，是因为它既采用了加密技术，也拥有数据备份功能，可以最大限度的提供对于各类数据的安全存储与高效检索功能，满足对大数据的存储安全与应用需求。在新型的分布式大数据存储模式中，数据不再单一集中存放在某个系统，而是分开放置于网络各个节点上，节点之间互相冗余备份[13-15]。

5 数据分析

5.1 实验场景

审计数据分析是为了对于用户行为进行模式挖掘与分析，从中提炼出有价值的行为事件，分析出有特

征的威胁行为模式，积累威胁数据经验，以提醒审计工作者。审计过程一般通过插件式方法，把审计插件程序安装到系统软件中实现，将已经处理、储存好的高质量审计数据作为审计算法的输入，输出算法分析后的审计结果。审计方法除了常规的行为特征提取审计和利用统计学模型概率分布法刻画对象的审计，还有目前利用大数据挖掘算法进行的自学习统计，常见的挖掘算法包括了聚类算法，神经网络算法，决策树算法，遗传算法等。本次仿真实验过程，是应用大数据算法对电力数据的审计挖掘。

5.2 实验背景

电力行业的电力数据本身多是由用户活动所产生的，因此电力行业的数据真实性可靠性较高，可以用于分析社会经济活动。在经济活动中房价的上涨和土地增值税的收入，既是风险控制的关键一环，也是地方财政收入的重要来源。但是目前存在开发商通过自然人代持手法逃避税收的现象，由于在部分地区个人住房销售免征税，出现了开发商可以通过寻找自然人代持房产，等度过限制期后再出售，最终达到规避代持期间应缴纳的巨额房产土地增值税的目的[16-17]。本文基于此社会背景，设计出应用于大数据审计框架下电力审计实验。

5.3 实验过程

为进行数据分析仿真实验，本文采用自学习模式分析方法代替传统审计方法，仿真测试大数据分析方法的性能。下面通过采用电力数据进行违规行为分析，实现对开发商是否存在通过代持房产规避土地增值税的情况的审计，本审计思路与审计数据参考来源自论文[17]，论文内采用 SQL 手工输入算法进行数据分析，本文审计方法则使用大数据学习方法学习出审计模型，最后以 M5P、RandomTree、RandomForest 三类挖掘算法作为对比项，进行仿真分析，属于监督机器学习算法在审计领域中的应用。

5.3.1 实验数据

传统的专家判断法认为，凡是持有户数超过 10 套以上，用电账单月均用电量小于 10 度的为疑点用户对象，应该重点排查。下面采用该审计思想[17]，设计出实验数据，并增添多几列数据作为冗余数据。设计出的电力数据集包含 499 条实例和 6 个属性，如下图。

上图的属性中，code 代表用户的名字，用 1~500 顺序排序的数字表示，所有实例的用户编号均不相同，对于模型学习属于冗余数据，可以删去；number 代表用户的房子套数，疑点用户的数据的年用电量为 10~100 内的随机生成数，清白对象的为 1~9 内随机生成数；address 代表用户的地址，所有地址均为广东地区邮编 510080，PowerOfYear 代表年用电量，疑点用户的数据的年用电量为 0~100 度内的随机生成数，清白对象的为 2000~1 万的随机生成数，PowerOfMarch 代表用户月用电量，疑点用户的月用电量账单为 0~10 度内随机生成数，清白用户的月账单为 200~1000 度内的随机生成数。duringYear 代表开户时长，均为 1~10 的随机数；class 代表分类结果，1 属于怀疑对象，0 属于清白对象,下图为其中几行实验数据的展示。

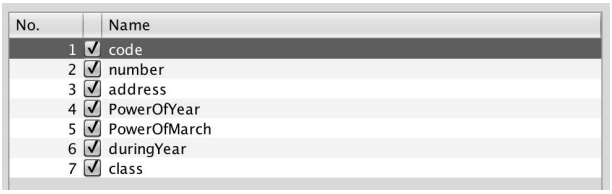


图 2 数据属性

5.3.2 训练过程

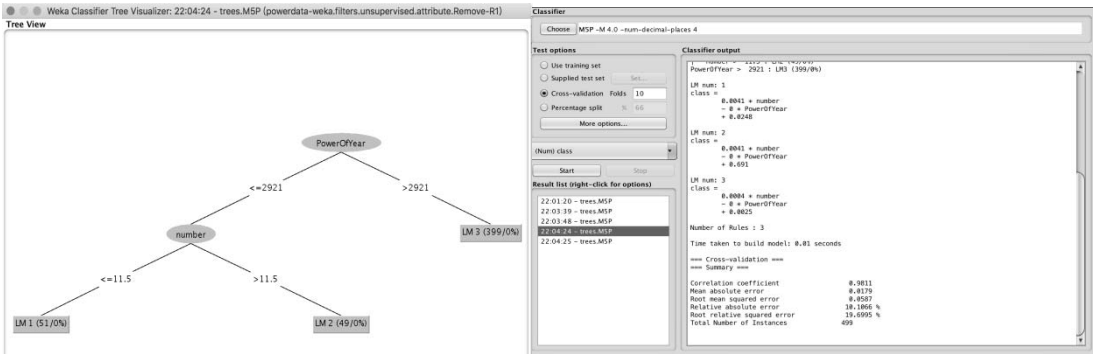
首先进行数据处理，去除冗余数据即用户的编号，避免用户编号数字影响训练结果，然后使用 Weka 软件中的 explorer，分别切换到 M5P、RandomTree、RandomForest 算法模块开展训练。为得到可靠模型，建模过程使用交叉验证法，本次仿真采用 10 折交叉验证（10-foldcross-validation），最后观察模型预测结果以及混淆矩阵。

5.3.3 结果分析

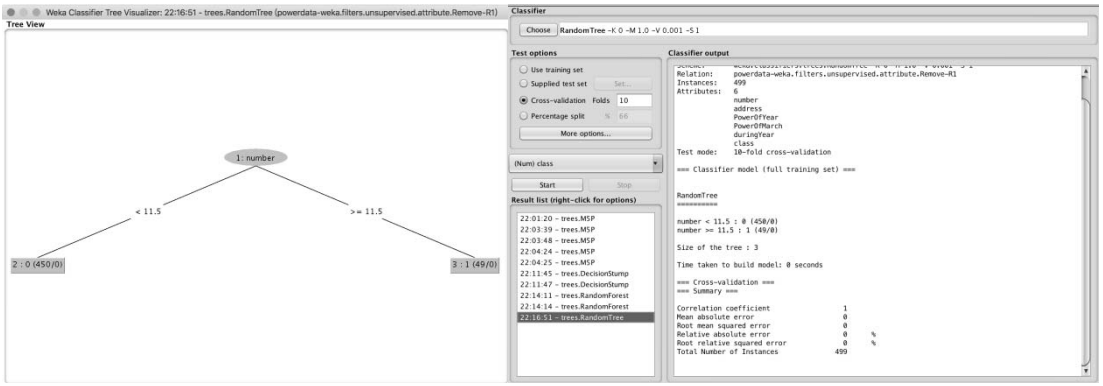
对于分析结果，采用混淆矩阵作为评价指标，各算法实验结果如下图。结果分析可知，在本次仿真实验中，M5P、RandomTree、RandomForest 算法模型的

1: code	2: number	3: address	4: PowerOfYear	5: PowerOfMarch	6: duringYear	7: **class**
Numeric	Numeric	Numeric	Numeric	Numeric	Numeric	Numeric
48.0	14.0	51008...	93.0	5.0	5.0	1.0
49.0	99.0	51008...	84.0	8.0	5.0	1.0
50.0	7.0	51008...	2403.0	637.0	7.0	0.0
51.0	5.0	51008...	2353.0	760.0	6.0	0.0

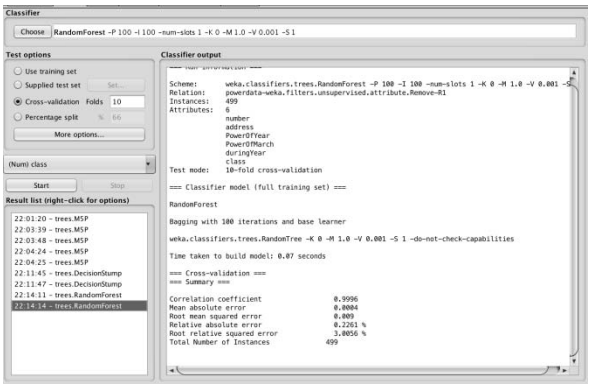
图 2 实验数据行



（a）M5P



（b）RandomTree



（c）RandomForest

图 5 实验结果

正确率分别为 98%、100%、99%。其中，RandomTree 对于 499 个数量的判断结果有 499 个判断正确，因为该算法发现了原始数据集的审计依据，即凡是持有户数超过 10 套以上的为怀疑用户；另一方面，M5P 算法挖掘出了新的学习模式，即通过年用电量代替月用电量作为判断依据。

本次数据分析模型只是对三种算法各开展了一次仿真实验，模型的精度还未调到最优值（例如 M5P 以年用电量为树的主节点），未来可通过改进算法结构进一步提高模型准确率，且由于开源样本数量与数据维度不够庞大，敏感数据样本值采用的是随机生成的，因此得出来的实验结果可能与实际存在一定偏差，有待未来更多的实验进行讨论。

6 结束语

面对海量的能源审计数据，如何更高效的运用人

工智能技术开展审计并挖掘出信息价值，这对于审计工作者来说至关重要。对此本文提出了基于大数据分析技术的数据审计挖掘框架，并在传统审计的背景中引入自学习审计模型，运用大数据分析技术开展审计实验，取得了一定成果。

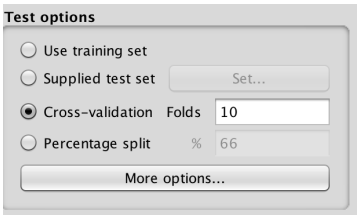


图 4　交叉验证

参考文献：

[1] 盛富城. 大数据对审计风险的影响研究[J]. 纳税, 2019, 13(15): 216.

[2] 裴华, 刘炜, 唐冬林. 大数据下统一审计技术框架研究[J]. 通信技术, 2020, 53(9): 2252-2256.

[3] 田俊峰, 井宣. 多方参与高效撤销组成员的共享数据审计方案[J]. 电子与信息学报, 2020, 42(6): 1534-1541.

[4] 张红丽. 基于大数据的金融风险动态审计预警体系构建[J]. 财会通讯, 2021(13): 123-127.

[5] 徐超, 陈勇, 葛红美, 等. 基于大数据的审计技术研究[J]. 电子学报, 2020, 48(5): 1003-1017.

[6] 陈祺琳, 李云强, 黄红, 等. 基于大数据技术构建嵌入式智能持续审计系统研究[J]. 中国内部审计, 2020(3): 22-29.

[7] 唐志斌. 网络数据采集及安全审计技术研究综述[J]. 网络新媒体技术, 2020, 9(1): 11-20.

[8] 廖智玮, 袁静. 数据分析挖掘技术在审计中的运用[J]. 市场观察, 2020(9): 44.

[9] 王晨阳. 基于决策树算法的审计数据分析研究[J]. 会计之友, 2020(13): 139-143.

[10] 雷洋昆, 刘芝玮. 基于数据挖掘的高校数据式审计框架探究: 以高校办学和科研业务为例[J]. 会计之友, 2021(12): 25-30.

[11] 赵浏洋. 基于数据挖掘的金融审计数据分析研究[J]. 中国商论, 2020(20): 55-57.

[12] 熊玲, 李忠. 全日制专业学位硕士研究生教学质量保障体系的构建[J]. 学位与研究生教育, 2010(8): 4-8.

[13] 石永. 数据安全审计方法与内容的探索[J]. 中国内部审计, 2021(2): 40-42.

[14] 王磊. 数据挖掘技术在保险公司内部审计中的运用研究[D]. 济南: 山东财经大学, 2015.

[15] 秦楠. 探索大数据环境下的电子数据审计方法[J]. 科学与信息化, 2020, 7:1.

[16] 陈冬梅, 厉雨. 新时代电网企业全业务大数据审计研究[J]. 中国内部审计, 2019(12): 26-32.

[17] 段超, 黄敏杰. 电力数据在审计开发商偷逃土地增值税中的应用[J]. 中国内部审计, 2020(5): 47-49.

电力行业云网融合场景及关键技术研究

王怀宇，邵丹妮，李岩，李雨泰，李济伟
（国家电网有限公司信息通信分公司，北京 100761）

摘　要：传统模式下云和网割裂运行，存在企业内资源一体化运营能力不足，云上业务便捷服务能力不足，弹性扩展动态调配能力不足，基础支撑平台运维能力不足的问题。本文介绍了基于云网融合应用场景研究开发的云网融合平台。通过云网融合平台实现多云资源和网络资源的统一纳管、统一监控和统一呈现，提升云网资源管理效率和业务需求响应效率，服务企业数字化转型和能源互联网建设。

关键词：云网融合；SRV6；统一云管；内容分发网络

1　引言

“新基建”作为国家的重要发展战略，把网络、云、算力等视为重要的基础设施，特别对网络和云的结合提出了更高的要求，云网融合已成为通信基础设施、新技术基础设施和算力基础设施之间的粘合剂，是新基建中新型信息基础设施的底座。因此，建成满足能源互联网全场景需求的信息通信网络和“资源全域调配、业务敏捷支撑、开发运维一体”的云平台，将成为电力行业各单位开展能源互联网企业转型升级的数字化基础。

面临新形势和新要求，传统模式下云和网割裂运行的模式已无法适应电力行业能源互联网建设发展和数字化转型的需要，具体体现在：云平台和网络资源均为属地化管理，各数据中心之间资源调配和管理的能力不足，企业整体资源一体化运营能力不足；新兴业务云上部署完成后，需要云和信息网络资源快速开通，当前云和网络管理割裂，网络开通效率低，无法满足业务需求，云上业务便捷服务能力不足；在数字化新需求推动下，业务流量增长迅速，当前网络通道带宽弹性扩展能力差，无法为不同用户、业务提供高效灵活的服务[1]，弹性扩展动态调配能力不足；当前运维运营依赖人工对网络信息进行配置和调试，工作效率低下，运维手段不够智能化，自愈能力不足，基础支撑平台运维能力不足。

为解决以上问题，本文提出适应电力行业的云网融合场景及关键技术要点。通过云网融合平台，为业务上云提供云网一站式服务，实现云网资源的一体化调配、快速开通和灵活调整，赋予公司核心能力，服务公司数字化转型。

2　云网融合的内涵及特征

云网融合是一个新兴的、不断发展的新概念，在技术、管理层面上有着丰富的内涵。

云是计算，网是连接，云网融合是指将计算和连接协同一体，形成一体化供给、一体化运营、一体化服务的云网的服务体系，赋能新基建与数字化转型[2]。

一体化供给：网络资源和云资源统一定义、封装和编排，形成统一、敏捷、弹性的资源供给体系。

一体化运营：从云和网各自独立的运营体系，转向全域资源感知、一致质量保障、一体化的规划和运维管理。

一体化服务：面向客户实现云网业务的统一受理、统一交付、统一呈现，实现云业务和网络业务的深度融合[3]。

从技术层面来看，云计算的特性在于 IT 资源的服务化提供，网络的特征在于提供更加智能、灵活的连接，而云网融合的关键在于“融”，其技术内涵是面向云和网的基础资源层，通过实施虚拟化/云化乃至一体化的技术架构，最终实现简洁、敏捷、开放、融合、安全、智能的新型信息基础设施的资源供给。

从管理层面来看，云网融合是新型信息基础设施

的深刻变革，其内涵在于通过云网技术和生产组织方式的全面深入的融合与创新，在业务形态、商业模式、运维体系、服务模式、人员队伍等多方面进行调整，是组织机制的变革。

3 云网融合场景研究

根据电力行业业务应用特性和部署架构不同，云网融合应用场景可以分为云内场景、数据中心内场景、多云之间协同场景。云内场景为全部业务在云上部署，通过云对业务提供云网资源服务。数据中心内场景中，业务为混合架构，在数据中心内云上和云下均有部署，需协同对业务提供云网资源服务。多云之间协同场景中，业务应用跨云部署，需要调度多云的资源及云间的通道为业务提供云网资源服务。

3.1 云内场景

针对云内场景，基于云平台提供计算、中间件、存储、网络、人工智能等服务能力，通过云管平台实现各项服务能力的协同，实现资源的按需供给，支撑业务系统的灵活快速部署，为业务系统上云提供一站式的服务。

3.2 数据中心内场景

针对数据中心内场景，基于数据中心内云平台和信息网络的服务能力，通过统一云网管理平台将云平台、数据中心网络和传统区域的计算资源、存储资源进行统一纳管，实现数据中心内部云和网资源的统一对外服务，具体包括实现云上应用节点与云下数据库的交互，业务系统云上业务模块与云下专用模块的交互以及云上业务系统与云下业务系统的交互，需要云和网在数据中心内部的紧密协作，提供统一的服务入口。

3.3 多云之间的协同场景

多云之间协同场景多为跨云的业务应用，需要调度多云的资源及云间的通道提供服务，具体场景可细分为业务系统容灾、边缘云、公共服务云、内容分发网络（CDN）等场景。多云之间协同场景最为复杂，对云网资源服务的要求最高。

3.3.1 业务系统容灾

业务系统容灾是指在异地建立两套或多套业务系统（异地多活），在发生灾害或故障时切换到其他正常运行的业务系统，保障业务的正常运行，提升系统的可用性[4]。容灾的用户访问通过 DNS 随机到不同的数据中心（LDC）并进入多活的接入层，在多活接入层根据路由规则对流量进行校验和重定向；在应用层同步两个数据中心的应用服务，同时应用根据路由规则对不正常的服务调用进行纠错和写入保护；在消息层面同时满足本单元的调用及跨数据中心的远程路由调用；在数据库层面根据路由规则进行写入保护，通过双向复制技术对两边数据库进行数据的双向复制，在各个层面均需云与网资源的高度协同配合。

3.3.2 边缘云

边缘云是在数据源侧构建具有云服务能力的小规模云平台，为边缘计算和存储提供算力[5]。随着 5G、物联网等技术的不断成熟并投入应用，电力行业在边缘存在大量的终端量测数据和视频类数据，需要就近实时进行数据处理与分析，同时将处理后必要的结果数据传输至集中的云数据中心，对终端设备产生的数据进行计算和分析，以满足基层单位业务对边缘算力的需求[6]，实时支撑业务的智能化决策的需要，需各级的云平台和网络层面进行大量的协同配合。

3.3.3 公共服务云

各基层单位远程使用集中式数据中心的云资源，各基层单位以租户形式使用集中式数据中心的云平台及数据中台资源，通过高速互联通道就近接入集中式数据中心，以企业建设集中式数据中心支撑全公司服务模式，需要云和网大量的协同工作，以满足各单位不同的业务需求。

3.3.4 内容分发网络

内容分发网络（content delivery network，CDN），通过中心平台的负载均衡、内容分发、调度等功能模块控制位于各个地区网络中的缓存节点，经智能 DNS 系统帮助用户就近获取所需内容，降低网络拥塞，提高用户访问速度和成功率[7]。中心节点部署 CDN 管理系统，具备完整的 CDN 系统功能；边缘节点提供网页、直播、点播等加速服务，提升业务系统访问体验。

4 云网融合关键技术研究

基于云网融合应用场景研究与业务需求分析，建立云网融合平台，统一管理云平台和信息网络，构建业务编排能力，实现云资源和网络资源集中管控、灵活调配，提高云网资源服务效率，支撑业务按需快速部署。

云网融合平台从上至下分别为业务层、控制层、

功能层和基础设施层。业务层为承载的业务系统。控制层负责在云网资源统一抽象的基础上，进行统一编排，提供云资源、数据、云网切片、人工智能等服务能力，将云网融合资源和服务为应用平台形成全面的赋能。功能层负责对传统的云功能和网络功能进行虚拟化抽象化处理和软件定制，并通过相应的管理平台和系统实现相关的功能纳管和原子化封装，为云资源编排提供基础条件。基础设施层由构成一体化云平台和信息网络的服务器、交换机和路由器等物理设备组成，物理设备尽量采用通用和标准化的硬件形态，结合少量对性能和容量要求较高的专用设备。

4.1 多云资源管理技术

IT 的基础架构伴随着企业的发展而逐步演化，不同的场景中会引入不同的技术形态。一个企业中，广泛存在着大量的不同品牌、不同形态的异构基础设施。在相当长的一段时间内，企业的 IT 基础环境中可能会同时存在公有云、私有云、传统虚拟化环境、网络管理平台，以及传统物理服务器、设备控制器、网络安全设备等多种技术形态[8]，应有效整合这些基础设施，形成标准的资源管理平台。

4.2 资源服务编排技术

通过云平台的资源编排技术，实现业务驱动的云资源统一管理和发布，实现计算、存储、网络及安全资源的统一编排和调度，实现多租户模式下的资源部署流程的自动化处理[9]。创建资源编排模板，实现云平台和网络的不同资源按照模板进行自动化部署、调配。

4.3 外部系统融入技术

大企业往往经过数年的发展，权鉴管理体系、流程管控体系、监控告警体系、配置管理系统等多种系统已然成形，并渗透到企业 IT 管理的方方面面。云平台在设计和建设的同时，必然要和这些已经稳定运行的系统进行交互。因此，需要借助云网融合平台这个渠道，有效融合周边系统，实现 IT 信息的互通、共享和交互管理，实现信息及数据的收敛。

4.4 多维度的运营分析技术

运营的目标是将 IT 基础设施池化，资源抽象化，将资源形成一种标准化服务能力[10]，形成服务目录以云网资源的形式对外展现。云和网可在管理平台上无缝对接，能对异构网元和设备进行统一纳管，初步实

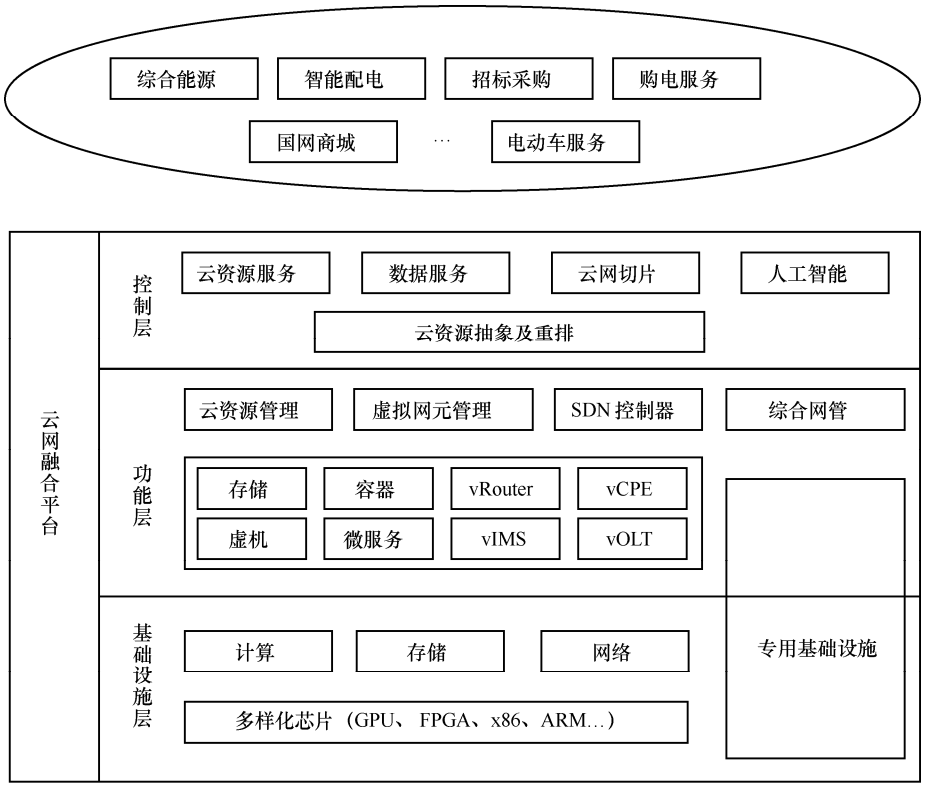


图 1　云网融合平台逻辑架构

现自动化的开通、故障定位和排除能力。云和网可集中管理，具备统一的公共服务能力模块，实现对物理实体和虚拟实体的统一调度与可视化故障时能够对云网资源进行快速定位，并实现云网负载的自动切换。根据资源使用情况，提供各云网资源的计量、虚拟结算计费报表清单，衡量各单位的资源使用成本，助力提升资源使用效率。

4.5 云平台和 SDN 控制器适配技术

随着云管平台业务的快速增长及相关技术的发展，数据中心在对网络进行扩容、系统升级等业务场景时，往往受到云管平台仅支持和单平台或单厂商 SDN 控制器适配的问题，造成网络扩容受限、迁移或者升级成本巨大等问题，为解决上述问题，研究云管平台和不同厂商平台 SDN 控制器适配相关技术，具体包括：

通过研究云管平台和 SDN 控制器的对接技术，实现对接接口技术的选择，开展接口业务种类、接口属性设计，接口设计应具备易于理解和学习、应用可移植性和接口可扩展性等特点[11]。

通过研究多平台、多厂商 SDN 控制器动态接入技术，实现了新增类型的 SDN 控制器可动态接入云管平台，实现新增适配接口的不停机上线功能。

通过研究业务高并发场景下，云管平台和 SDN 控制器的对接方案设计技术，实现云管平台业务的快速下发。

通过研究云管平台业务数据和 SDN 控制器数据一致性技术，提高系统的可靠性、安全性。

4.6 跨平台通用 SDN 控制器间技术

为了实现不同平台、厂商 SDN 控制器和云管平台对接，不同类型的 SDN 控制器需要形成一个统一的通用 SDN 控制器，在该控制器内对所有网络配置信息进行统一的处理[12-13]。

通过研究不同类型控制器管理下的网络域数据互联互通技术，实现网络需求根据客户位置、网络状态、剩余资源数量等信息下发给不同的控制器。

通过研究设备、网络拓扑发现技术，根据发现的信息及系统数据对业务做可视化展示，并利用相关信息实现网络故障的快速定位和恢复。

4.7 白盒网络设备硬件操作系统技术

白盒交换机的提供了选择最佳软硬件平台的权利，它仅仅提供交换机硬件和 ONIE（开放网络安装环境），用户可以自行选择最合适的交换机芯片，降低成本实现最大效益。但是白盒网络设备没有软件是无法使用的，因此每个白盒交换机都需要一个操作系统，用于管理交换机硬件和软件。这个操作系统向下可能整合所有芯片硬件，向上可衔接所有应用[14]。现阶段主流白盒网络操作系统包括 OpenNetwork Linux、FBOSS、OpenSwitch（OPS）、SONiC、OpenSwitch（OPX）、Cumulus Linux、PicOS，需要开展各个操作系统对硬件接口的支持情况、操作系统架构及实现思路的研究。

5 结束语

云平台和信息网络的融合将成为重要的数字化转型的重要基础设施。云网融合是一个长期的、不断演进的过程。以云网融合为核心的信息通信技术创新，将强有力推动未来信息基础设施的转型。随着人工智能、大数据、区块链等技术的演进，新型电力系统、智能制造、自动驾驶等新业务的发展，将为云网融合目标的实现，注入更加丰富的强大动力[15]。

展望未来，智能云网将持续演进，实现云、网、端统一协议、统一语言、统一部署，进一步提升云网的自动化、智能化水平，逐步从云网协同、云网融合向云网一体演进，为电力的能源互联网转型提供坚强的技术支撑。

参考文献：

[1] 冯博昊, 周华春. 移动边缘计算场景下网络服务灵活适配的解决方案[J]. 电信科学, 2019, 35(3): 18-24.

[2] 朱翔. 5G 云网融合构筑数字化转型基座[J]. 电脑与电信, 2020(12): 58-61.

[3] 吴翠敏. 新基建下云网融合需求及关键技术架构分析[J]. 无线互联科技, 2020, 17(22): 33-34, 39.

[4] 赵明. 广电云平台容灾备份建设的思考与实践[J]. 广播与电视技术, 2021, 48(4): 76-80.

[5] 张柯. 大型电力集团企业云边协同技术研究及应用[J]. 信息通信技术, 2020, 14(4): 65-69, 75.

[6] 董恩然, 孙宗哲. 云边协同助力行业数字化转型[J]. 信息通信技术与政策, 2020(5): 76-79.

[7] 刘云毅, 张蕾, 张建敏, 等. 基于 MEC 的边缘 CDN 业务调度方案及测试分析[J]. 电子技术应用, 2020, 46(6): 12-15.

[8] 徐晓峰, 徐劲松. 一种混合云环境下 SLA 约束的云资源调度方法[J]. 电信科学, 2016, 32(2): 126-133.

[9] 王骏翔, 徐一言. 企业级云计算平台服务编排技术的设计与实现[J]. 上海船舶运输科学研究所学报, 2021, 44(2): 52-57, 65.

[10] 王俊敏, 徐德徕, 马强, 等. 多云环境下的集约化运营平台建设方案探讨[J]. 邮电设计技术, 2021(1): 13-17.

[11] 刘蓓蕾, 尹辉, 武斌, 等. 面向云网融合的传输接入及 SDN 部署策略研究[J]. 电信工程技术与标准化, 2021, 34(6): 38-43.

[12] 穆琋博, 柴瑶琳. SDN/NFV 技术演进趋势分析[J]. 信息通信技术与政策, 2021, 47(3): 12-18.

[13] 赵慧玲, 史凡. SDN/NFV 的发展与挑战[J]. 电信科学, 2014, 30(8): 13-18.

[14] 刘曦. 数据中心网络 SONiC 白盒技术的发展趋势[J]. 通信世界, 2019(33): 42-43.

[15] 史凡. 对云网融合技术创新的相关思考[J]. 电信科学, 2020, 36(7): 63-70.

电力系统大数据技术范式转换障碍和前景探讨

姜丹，贺月
（国网河北省电力有限公司信息通信分公司，河北 石家庄 050700）

摘　要：电力系统在信息和通信技术的应用上取得了巨大的进步，许多新的测量设备以先进的计量基础设施、分布式能源（distributed energy resources, DER）监测系统、高速同步广域感知系统的形式安装，这些系统正在生成大量的能源数据。对电力系统领域大数据分析发展中的突出方面进行了评估。对电力系统中与大数据分析相关的结构和方法中的现有和缺失元素进行了分类，并就能源大数据分析的技术方法、研究方向和应用领域提供了整体概述、分类和简明讨论。

关键词：能源；大数据分析；能源互联网；智能电网

1　引言

从信息技术（informatin technology, IT）开始，大数据分析（big data analytics, BDA）现已在技术和商业智能的许多领域得到广泛应用。从事大众消费服务的人员，特别善于使用这些工具来了解其业务的当前状态并跟踪仍在发展的方向。作为最大的客户服务关键网络之一，电力行业在业务和技术范式方面正在经历一些剧烈、快速的变化，这为电力系统大数据（big data, BD）的发展带来了新的机遇，如提供一个原本不存在的反馈回路，采取纠正措施并加强规划，从而实现更智能的操作。

本文目的是概述一些电力系统领域基本概念和特征的 BD 和 BDA。解决的问题包括：能源数据的属性是什么，它们是否构成 BD？BDA 中与电力系统相关的不同概念是什么？BD 的生成、通信、管理和分析面临哪些挑战？在电力系统领域提供 BDA 的新核心理论是什么？在电力系统中采用现有通用 BDA 工具和平台进行 BDA 的障碍是什么？

2　能源大数据表征

尽管“大数据”一词不言自明，但它仍然可能引起混乱或争议。如，电力公司可以考虑 BD 是以数据为中心的中等规模企业数据，BD 与基于这些数据运行系统的相关性即使在 IT 界也得到了认可。尽管如此，BD 通常使用的定义是“高容量、高速率和高多样性的信息资源，采用经济高效、创新的信息收集、存储和处理形式，以增强知识发现和决策能力”。根据

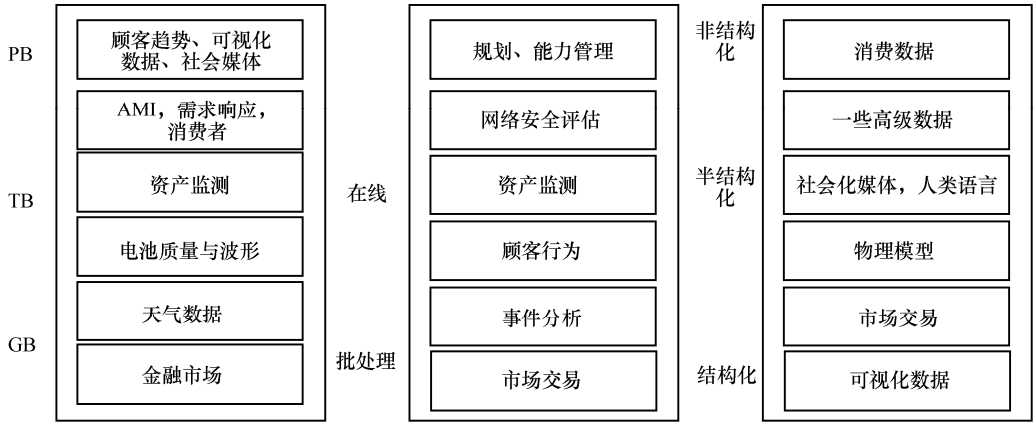


图 1　BD 的 3V 属性和电力系统中的示例

这个定义，数据量（即数据大小）不是唯一的因素。

2.1 BD 特征及相关电力数据示例

BD 的 3V 属性和电力系统中的示例如图 1 所示。

- 容量大（Volume）：许多 IT 相关组织定义 BD 的单位是 TB，或者 PB。如某大型广告网络的数据仓库拥有超过 200 TB 的生产数据。BD 的范围也影响其量化，如图 2 所示，一个分辨率为秒到分钟的智能仪表生成的数据比一个分辨率为毫秒的相量测量单元（phasor measurement unit , PMU）生成的数据少得多；然而，高级计量基础设施（advanced metering infrastructure, AMI）可能会产生来自数百万客户的大量数据。
- 多样性（Variety）：与传统的数据系统相比，现在的数据来源更加多样。所谓的结构化数据（如关系数据库的表和其他数据结构、大多数应用程序的记录格式以及许多平面文件中以字符分隔的行）仍然构成了大部分数据，但非结构化数据（如文本、语音和视频）和半结构化数据（如 XML、JSON、RSS 提要）也十分庞大，电力系统数据示如图 2 所示。
- 速度快（Velocity）：数据生成的频率或数据交付的频率是一个十分关键的属性。如连续的数据流，而不是来自传感器的偶尔事件触发数据，尽管大多数电力系统传感器都是事件触发的，但也有传感器，如输电和配电级别的 PMU，以高速率产生数据流。

（（a）每 15 分钟读取一次智能电表能耗读数；（b）和（c）为变电站有功功率和无功功率读数，每分钟一次；（d）和（e）为 PMU 电压幅值和相位角读数，每 8.3 ms 读取一次；（f）和（g）为电压和电流波形，每 130 微秒采样一次。每天生成的数据大小从智能仪表的几千字节到波形传感器的几千字节不等）

目前是否在电力行业面临 BD？答案不是一个明确的“是”或“否”。事实上，由于智能电网技术的部署，电力行业产生的数据量在过去几年中大幅增长，能源数据来源十分广泛，涵盖各个不同的位置、类型和应用。此外，还有许多形式的网格数据正在高速生成。

对于许多电力系统传感器，包括许多新兴和最先进的传感器，大多数数据要么没有记录，要么很快被覆盖。如在大多数保护继电器和相关传感器中，收集

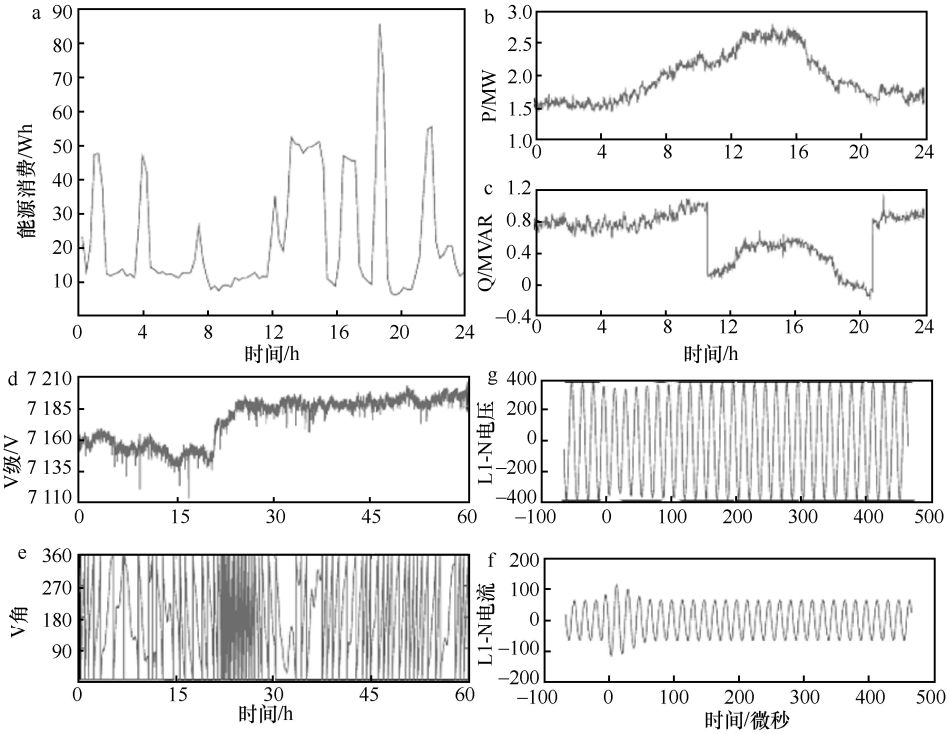


图 2　电力系统数据示例

的数据在内部使用后不久即被丢弃。此外，几乎所有最先进的电能质量传感器，都倾向于仅在检测事件前后的几个周期内存储电压或电流波形，如果未检测到预编程事件，则不会自动存储波形数据。电力系统中的大多数测量数据在其生成点附近使用，很少将其传送到企业数据中心，这与 IT 部门的 BD 思维相反。这是由于电力部门的不同设计要求，在许多实际电力应用中，传统没有集中式数据存储模型能够满足极低时延控制器系统的需求。因此，尽管许多最近部署的或新兴的电力数据测量系统都存在于 BD 的描述中，但它们当前的管理方式并不完全符合 BD 的灵魂和目的。一旦收集、管理和分析这些隐藏数据，它们将构成电力系统中的真实 BD。

2.2 电力系统中 BD 数据类型

电力系统中最终形成 BD 的数据类型可分为领域数据和非领域数据，如图 3 所示。领域数据可根据其来源进一步分类。

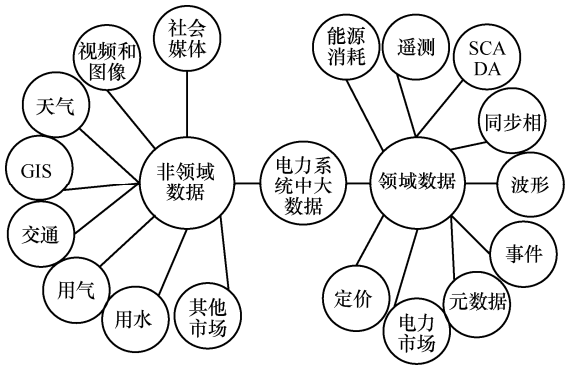


图 3 电力系统中 BD 类型的分类示例

（1）遥测和 SCADA 数据

实现对电网设备状态和参数以及其他电网变量的连续测量流。SCADA 数据可以有各种来源，如可再生能源，这些资源产生大量数据，如实时生产和设备状态。如来自许多风力涡轮机状态监测系统的数据可用于预测性维护策略。

（2）示波和同步相数据

由时域或频域中的电压和电流波形样本组成，可以创建图形记录。

（3）消费数据

通常是智能电表数据。

（4）异步事件数据

通常来自具有嵌入式处理器的设备，在各种正常和异常条件下生成消息。

（5）元数据

可以描述其他数据的任何数据。网格元数据具有高度多样性，可能包括内部传感器数据、校准数据和其他特定于设备的信息。

（6）财务数据

可能包括日前和实时市场报价和价格数据、双边交易和零售价格。

传统上，电网运行还依赖于不同形式的域外数据，即不特定于或不一定用于电力部门的数据。如天气数据、来自国家雷电探测网络的数据和 GIS 数据,目前用于在不同级别和时间上增强电力系统的运行，有许多形式的现有或新兴的域外数据尚未用于电网运营和能源企业。示例包括交通数据、社交媒体数据、贸易指数以及图像和视频流，从本质上讲，所有数据源向电力系统提供智能的可能性是没有限制的，这些数据源最终可以共同创建 BD。

3 电力大数据分析

BDA 实践的新特性体现在以下几个方面。

- BDA 本身已在多个行业出现。
- 硬件和软件工具及平台（如 Hadoop2 和 Spark 3）都取得了重大进展，以提高大规模数据采集、通信和存储的经济性。

因此，电力行业现在不仅需要 BDA，还需要实现 BDA 的工具，如预测分析（领域和非领域数据预测）、数据挖掘和机器学习（分类、回归、聚类）、人工智能（认知模拟、专家系统、感知、模式识别）、统计分析、自然语言处理和高级数据可视化，这些新工具和技术中的大多数都具有探索性质；也就是说，它们不要求预先确定期望在数据中寻找或看到什么。最后，区别于当今 BDA 实践的一个重要变化是对数据的看法，因为 BD 现在被视为一项重要的“资产”，许多传统的和占主导地位的数据观点和做法受到质疑和重新定义。

数据分析的新方法与企业数据仓库（enterprise data warehousing, EDW）和数据管理系统（包括电力行业的当前实践）中的公认做法有一些本质区别，传统数据分析与 BDA 的概念比较如图 4 所示。

- 数据本身在 BDA 中起着中心作用。新技术范式要求在 BD 上建立平台，以实现不同的预期目标，而不是构建操纵特定数据以达到特定预期目标的系统。

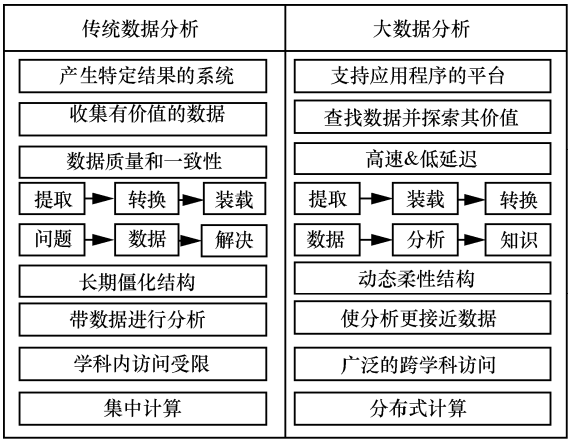


图 4　传统数据分析与 BDA 的概念比较

- 新平台的建立意味着，即使在充分了解数据的应用和价值之前，也会存储更多类型和种类的数据，而在传统的数据管理下，除非预见到数据的价值和应用，否则通常不会保存数据。
- 鉴于数据在 BDA 结构中无处不在，EDW 必须通过收集数据跟上步伐，而不管数据质量如何改进。传统的 EDW 方法通常不包含数据，除非首先对其进行仔细清理和集成（以识别错误或缺失的数据或转换为理想的格式），如通过传统的提取-转换-加载（extract-transform-load, ETL）过程。相比之下，在 BD 时代，将新数据源完美集成体系结构数据环境中的开销是巨大的，并且可能阻碍对数据的访问。因此，在 BDA 平台下，考虑了另一种 ELT（extract-load-transform）方法，其中转换在加载后完成，依赖于能够并行执行的 DBMS 转换脚本。
- 数据仓库的传统观念是建立在长期、仔细和不灵活的设计和规划之上的。现代 EDW 必须具有高度灵活性，以允许分析师以快速和经常变化的结构接收并生成数据，这需要一个物理和逻辑内容不断演变的数据库。
- 传统的 EDW 在将数据分配给正确的功能和正确的用户时具有很高的敏感性。它们是高度层次化的，许多数据与非常有限的一组功能、部门和用户相关联，因为成本和安全问题，仅在需要的基础上允许共享访问。为探索尽可能多的未知值，BDA 需要更广泛的数据访问。这涉及创建数据管理和安全系统，该系统在建立和管理访问级别，以及在同一企业或第三方的其他职能部门、部门和用户之间共享数据方面具有灵活性。
- 现代数据分析涉及越来越复杂的方法，远远超出了传统信息技术的总和。传统的 EDW 有时只向用户提供特定的数据统计信息，即使这些统计数据确实有用，分析师也常常需要知道数据的精确推导方法，更重要的是，有时还需要修改和重新使用，然而，EDW 提供的工具和算法通常是黑盒的。现代数据仓库既可以作为深层数据存储库，也可以作为复杂的算法运行时引擎。

总之，一旦理解、适应并融入新的数据管理环境，BDA 的真正意义就实现了。因此，电力部门的数据管理和计算结构及工具尚未经过转变，以适应 BDA 中的新概念和应用。

4　电力大数据的科学性

大数据分析科学不仅限于开发新平台和工具以存储、管理大数据的信息技术。它还涉及跨多个学科开发的广泛方法，以利用相关模型和概念。BDA 在不同学科问题中的适应，特别是在电力系统中，并不总是一个均匀的过程，BDA 经常为许多问题增加新的维度。

电力系统中的传统分析方法通常主要基于模型。相比之下，IT 部门开发的方法通常纯粹是数据驱动的。在许多能源基准问题上，混合使用数据和基于模型的方法似乎是最有效的。此外，通常需要在模型细节和数据维度之间进行技术权衡。

广义而言，BDA 方法旨在实现知识或决策的一种增强，因此，它们的特点是旨在为电力行业带来智能；其中包括描述性、诊断性、纠正性、预测性、规定性、适应性和分布式分析。开发这些智能方法中的许多方法的工作已经开始，针对电力系统中的 BDA 进行扩展、增强和定制如图 5 所示，预计它们将在电力系统应用中增长，主要的研究成果包括如下内容。

（1）复杂事件处理

复杂事件处理通常实时运行，可以与各种其他分析结合使用，并在广泛地应用中使用，如在电能质量、稳定性等方面，并且仍在不断发展以处理流式 BD。

（2）数据库内的数据挖掘和计算

许多常见的数据挖掘方法，如聚类、分类、关联规则，都关注将单个点分配给群组（类标签或集群 ID）。在 BDA 中，这些方法旨在支持灵活的编程环境，

环境可以通过可扩展的 SQL 或 MapReduce 算法引入到 BD 场景中。如在数据库中开发数据并行信号处理工具（如普通最小二乘法、共轭梯度法、Mann–Whitney U 测试）和通用工具（如矩阵乘法和自举法）,这些工具也可用于电力系统分析。

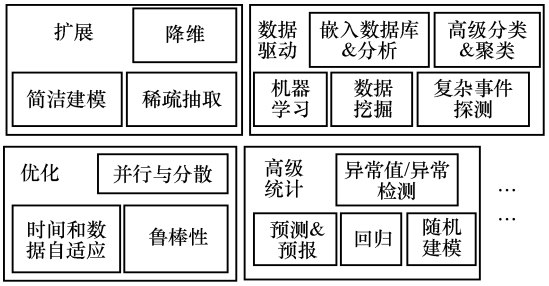


图 5　针对电力系统中的 BDA 进行扩展、增强和定制

（3）将统计软件包与数据库集成

数据库通常提供相当有限的统计功能。因此，标准做法是将部分数据库提取到桌面统计软件包中，如 SAS、Matlab。对于大型数据集，意味着对数据库进行采样以形成提取，会丢失详细信息。更好的方法是将统计计算与大规模并行数据库紧密集成。

（4）大规模并行性

随着基于数据生成和运行的源和设备数量的增加，开发出了将智能和决策过程分布到许多本地设备的方法。邻域非侵入性负荷监测基于 AMI 数据分解开发到另一个有价值的应用程序，非常适合大组数据。分解的应用有利于分布式能源数据，如太阳能发电。对于太阳能系统，通过使用变电站/馈线头部的聚合功率流测量值和全球水平辐照度数据，可以帮助估算配电馈线下游的无监控光伏发电和负载概况。

（5）放大的模型

维度的复杂性挑战了 BD 时代的许多传统分析方法。因此，需要重新审视成熟的方法，并纳入能够以巨大维度放大的替代算法。通过利用系统矩阵的稀疏性，将数据分解为低秩和低变化分量，或重新制定模型以避免 BD 失败，成功地解决了某些电力系统问题中的建模挑战，如非线性交流最优潮流（OPF）问题。

4　电力系统采用大数据分析的障碍

世界各地的许多能源技术开发商和监管机构都将广泛的数据分析作为电网现代化的主要解决方案之一，并解决能源需求转型带来的挑战。

为了在电力系统中采用广泛的高级数据分析，该领域的数据收集、通信和管理也需要进行转换。BDA 和 BD 结构紧密相连。新一代高级分析非常了解数据系统的约束和要求，并密切利用系统和结构的功能。作为回报，电力系统中用于数据收集、通信和数据管理的新系统和结构的设计应以 BDA 要求为目标，并提供分析性能的改进。因此，重新设计数据结构和升级电力部门的数据管理系统可以为扩展和增强 BDA 以提供更有效的监测、控制和运行规划提供基础，从而提高电网性能。但是，为了开发和改革此类数据系统，必须彻底确定电力行业特有的 BDA 要求、挑战和特点。电网中需要克服/采取一些障碍/步骤，以实现和促进 BDA。

（1）处理丢弃的数据

如前所述，电力系统数据管理的传统方法仅包含监督和监督预先设计的操作和应用程序所需的最关键的数据。在过去，这种方法的驱动因素一直是在数据仓库系统中传输或管理许多已部署传感器的能力和/或高成本，以及假定没有指定应用程序的数据没有价值。相比之下，BDA 涉及从数据中提取新值，这些数据不是专门为某一特定目的而收集的。即使最初没有为此类应用收集测量值，探索性 BDA 也会创建新的值，如通过加快故障设备的维护以避免早期故障。如基于 SCADA 报警日志数据的探索性分析，以提出各种新的应用，如风轮机故障检测，甚至量化风轮机齿轮箱的疲劳寿命。这些只是为数不多的实例工作，它们提供了证据，证明电力系统中的数据不应作为需要的基础进行收集，而应处理丢弃的数据。

（2）处理孤立的数据

数据访问仍然是许多行业分析师面临的最大挑战之一。根据最近的一项调查，数据科学从业者声称 80% 的时间都用于获取和准备数据。数据孤岛，即被禁止用于任何非预期用途或用户的孤立数据仓库，是 BDA 开发的一大障碍。在电力系统中，孤立的数据构成了更大的挑战。除实体间的数据可用性外，实体内的不同部门（如配电系统运营商或输电运营商）无权访问彼此部门的数据。一些驱动因素可能与结构缺陷有关。考虑到资源的自然限制，应用程序和数据库已针对其主要功能和特定团队进行了优化，单个团队的激励措施往往不足以鼓励数据共享。除了与其他部门共享的驱动因素外，电力系统运行数据的敏感性也可以追溯到网络物理安全。物理系统在过去已经显示出易受攻击性，而利用这种脆弱性的方式以及相关损害和成本

的程度尚不完全清楚。在限制的原因没有完全解决之前，这些数据仓库很可能会继续限制访问，并阻碍电力系统中的 BDA。然而，可以通过确定方法和途径来解决这一问题，这些方法和途径至少可以消除某些类型的数据孤岛。

（3）支持实时分析

能源 BDA 的许多应用与自动化操作/控制有关，需要实时数据收集和实时操作。能源 BDA 的许多应用与自动化操作控制有关，需要实时数据收集和实时操作。这一要求与 IT 部门的许多 BDA 应用程序截然不同，因为电网是一个关键的基础设施。DER 的实时监测和控制可以解决与此类资源相关的挑战，缓解配电馈线和变电站中的反向功率流（反向注入）、配电系统一次电压控制设备的过度运行等问题，以及重新配置保护设备，以处理双向功率流，并在系统故障时仍能正确跳闸，而不会造成干扰或相应跳闸。然而，利用各种 BDA 监测和控制数百万这样的边缘资源和设备的系统需要修改从实时测量和操作设定点生成、传输和管理数据的方法。如果需要在几秒钟内将控制信号发送到配电馈线上的多个 DER，以响应这些资源的变化以及电网条件，那么快速可靠的通信将是一个巨大的挑战。必须支持这种实时数据访问的现有通信网络在响应时间、带宽和延迟方面的性能往往不可靠。因此，在监测和控制中生成、管理或利用数据的系统的设计应考虑此类约束，并提供故障安全功能。此外，还应采用各种方法和技术来降低为实时操作而交换的数据的集中度，从集中控制方案转向分布式和/或分层体系结构，并降低控制器对故障数据的敏感性。如，通过预测性状态估计和几个精心选择的控制节点，仅使用几个输入测量点，就可以开发出主动管理非常大的分布式能源群体的方法，以便使用电网上的一小部分有源设备提供全系统的监测和控制。

（4）集中式和分布式数据管理共存

正如 IT 部门所提倡的，BDA 的常见方法是从集中式数据管理迁移到分布式数据管理系统。目的是降低数据和系统集成的成本和开销。乍一看，这似乎很适合电力系统通过建立分布式文件管理系统来扩展数据结构，因为电力系统中的 BD 自然是分布式的，涉及地理区域和忽略数据的各种操作员。然而，传统集中式系统的改造或退役既不可能也不有效。因此，支持现有集中式和未来分布式体系结构之间的共存和协调对于在电网中实现 BDA 至关重要。

（5）平衡一体化和解体的系统

另一个挑战是解体的程度；我们是否应该将数据管理/分析系统分解到整个电网的每个角落和每个设备？在电力系统中，完全集成和完全分解的设计都可能是无效的。尽管电网中数据源的分散性要求进行分散的数据管理，但由于通信和网络安全限制，它也构成了一个障碍。因此，在集成或分解的系统之间达成正确的权衡是一项挑战。

（6）应对快速数据的定制数据管理系统

应对电网中数据和处理速度的要求有时甚至延伸到 IT 部门。某些功率传感器设备（如 PMU）的采样率很高，并且某些进程的时间窗口很紧，因此通用的商业数据库系统（如 SQL 或 HDFS）是不够的。因此，BDA 的高级实践将涉及不同领域特定的数据管理系统，以满足其速度要求。此类定制开发平台的一个示例是为管理分布级 PMU 测量而开发的 BTrDB5。构建 BTrDB 的目的是为原始插入和查询提供更高的持续吞吐量，以及为每台服务器每年加速分析预期 44 万亿数据点的高级原语。该数据库的原理和设计也适用于各种时间序列类型。BTRBB 还提供了监测和可视化配电网行为的基础，在近实时使用 DISTIL 框架。DISTIL 框架支持灵活开发可伸缩的分析管道，并严格保证结果的完整性，即使数据发生异步更改或出现无序到达。

5 电力系统中大数据应用

BDA 在电力系统中的许多应用领域尚未完全体现出来，可以预测其应用领域主要包括：

（1）增强的需求响应

到目前为止，由于大量小负荷运行的管理和价值主张受到阻碍，需求响应主要是大型公用事业公司和大型客户的职责范围。然而，BDA 最终将使公用事业公司，或者更确切地说是公用事业公司使用的基于云的平台，能够同时查看数百万用户的消费模式，并快速确定哪些客户愿意参与灾难恢复活动，这些客户将为参与活动收取多少费用，以及实际节省了多少。基于 BDA 已经开发了几种方法和工具，可以显著增强需求响应。如，用于需求运营和管理的可视化和洞察系统（VISDOM）是一个平台，用于解释和提取给定公用事业服务区或地理区域内智能电表数据的巨大样本中的可操作信息，VISDOM 是智能电表数据分析算法和可视化工具的集合，旨在解决解释能源数据模式的挑战，以支持公用事业能源效率和需求响应计划。

作为 IT 功能之一，VISDOM 允许使用功能标准过滤、排序和组装消费者子集，并使用通用（即直方图和散点图）或任务专用（即累积总和和负载形状）交互式可视化显示过滤客户的属性。

（2）分解和细粒度预测

通过采用 BDA，可以每几分钟为数百万客户发布一次预测，以微调整个地区、特定地理区域或特定配电馈线分支沿线的电力负荷预测。预测每台电表、变压器和馈线的能力将提高预测质量并节省运营成本。如，预测工具可用于各种应用，如电力市场价格或客户响应。聚类技术已被提出用于确定客户的自然细分和识别时间消费模式。利用灰色关联分析、核函数与主成分分析相结合、支持向量机等算法，提出了基于大价格数据的价格预测方法。还提出了基于在线聚类算法并利用基于神经网络的预测模型的体系结构。

（3）利用域和域外数据进行故障/停电检测

随着智能向下扩展到配电馈线，可以生成大量数据并用于停电检测和电力恢复，以帮助公用事业改善关键指标。智能电表记录计费用电量，测量线路末端电压，在停电的情况下，在断电时发出最后的喘息声。随着社交媒体的广泛使用，类似的/免费的信息可能会从客户的移动推文等数据源获得，这些推文链接到一个地址。如，神经网络或模糊逻辑等分析已经用于实时计算故障阈值，以克服传统保护方案中的一些挑战，特别是在故障为非平稳、包含基频分量的情况下。

（4）运营计划收敛

所谓的收敛是指电力公司以高概率和高精度实现电力系统未来条件的能力。运行计划是指为未来几分钟、几小时和几天内天气、负荷和发电条件的变化做准备。如果没有系统的数据管理和精确的建模，这是很难实现的。造成这一趋同差距的原因有很多，如不同的模型、不同的数据源和数据格式以及低效的数据管理工具，这些都可以通过统一的方法和系统化的数据管理加以克服。这方面的挑战非常广泛。该领域需要的一些应用和方法包括但不限于：随机分析、预测分析、“假设研究”的动态场景构建，以及预测电力系统行为的机器学习技术，能够自动识别由于计划内和计划外切换事件导致的网络拓扑变化，并最终使电力系统能够作为互连子网运行，可以组合或分离，以实现最佳功率流和提高可靠性。一些研究提出了数据驱动方法、统计分析和随机优化方法，以规划分布式可再生资源的随机行为，或在预测不确定性条件下实现储能装置和住宅光伏逆变器的预测随机调度和运行。

（5）运营计划收敛

所谓的收敛是指电力公司以高概率和高精度实现电力系统未来条件的能力。运行计划是指为未来几分钟、几小时和几天内天气、负荷和发电条件的变化做准备。如果没有系统的数据管理和精确的建模，这是很难实现的。造成这一趋同差距的原因有很多，如不同的模型、不同的数据源和数据格式以及低效的数据管理工具，这些都可以通过统一的方法和系统化的数据管理加以克服。这方面的挑战非常广泛。该领域需要的一些应用和方法包括但不限于：随机分析、预测分析、“假设研究”的动态场景构建，以及预测电力系统行为的机器学习技术，能够自动识别由于计划内和计划外切换事件导致的网络拓扑变化，并最终使电力系统能够作为互连子网运行，可以组合或分离，以实现最佳功率流和提高可靠性。

（6）通过预测性故障检测对设备进行监测和延长寿命

预测性维护需要关于设备状况的详细信息。对于位于电网不同部分的电力系统设备而言，专用状态监测系统和/或执行间隔测试的人员成本高昂。然而，使用 BDA 方法，可以实现对许多系统资产的密切监控、降级检测和早期故障预防。此外，部署用于系统性能评估的现有监测系统的数据还可用于设备状态监测。

（7） 特征提取和高级可视化

当前的自动推理工具在应用于具有许多不必要属性的数据时，往往在准确性和时间复杂性方面受到影响。然而，BDA 方法有助于区分哪些是有用的，应该在决策中使用，哪些不是。视觉工具与操作员反馈机器学习相结合将有助于进行此类区分。

总之，BDA 在电力系统中的新兴和潜在应用是建立在四个新特征基础上的：（1）更高的数据量变得可用，这使得更稳健的统计或数据挖掘分析能够提高处理的准确性和增强的控制。2)新类型的数据正在出现，这允许为规划和操作创建新的反馈回路(3）现在可以更好地管理数据，从而提供清晰、可操作的信息(4）高级分析正在兴起，它允许发现有关系统的新事实，以支持复杂的决策。

6 结束语

尽管能源领域的数据一直在大幅增长，但大部分电力系统数据仍有待开发。许多能源领域遗留测量设

备和数据管理系统基于企业数据仓库的传统概念，而在大数据分析（BDA）方法下，其一些关键基础已被重新考虑。我们确定了电网中需要克服/采取的几个障碍和步骤，以实现和促进 BDA。论文对能源 BDA 中可以利用的几个核心概念、理论和方法进行了分类。最后，概述了 BDA 在电力系统领域的几个研究和应用前景。

参考文献：

[1] 王德文, 孙志伟. 电力用户侧大数据分析与并行负荷预测[J]. 中国电机工程学报, 2015, 35(3): 527-537.

[2] DALL'ANESE E, BAKER K, SUMMERS T. Chance-constrained AC optimal power flow for distribution systems with renewables[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2017, 32(5): 3427-3438.

[3] 金伟超. 基于电力大数据的用户用电行为分析与用电优化策略研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2021: 13-21.JIN W C.

[4] 朱州. 基于大数据分析的电力客户服务需求预测[J]. 沈阳工业大学学报, 2020, 42(4): 368-372.
ZHU Z. Servicedemandforecastingofpowercustomers based on big data analysis[J]. Journal of Shenyang University of Technology, 2020, 42(4): 368-372.

[5] 陆春光, 叶方彬, 赵羚, 等. 基于密度峰值聚类的电力大数据异常值检测算法[J]. 科学技术与工程, 2020, 20(2): 654-658.

[6] 廖寒逊, 滕欢, 卢光辉. 基于 MapReduce 的电力大数据增量式属性约简方法[J]. 电力系统自动化, 2019, 43(15): 186-192.

[7] 杨硕, 范军太, 卫伟, 等. 基于大数据分析的电力系统远程运维及故障诊断[J]. 电力学报, 2021, 36(1): 84-89.

[8] 赵云山, 刘焕焕. 大数据技术在电力行业的应用研究[J]. 电信科学, 2014, 30(1): 57-62.

[9] 高明远. 面向电网大数据的电力用户行为分析平台设计与实现[D]. 北京: 北京邮电大学, 2020: 15-18.

[10] 王赛一, 余建平, 孙丰杰, 等. 电力大数据的价值密度评价及结合改进 k-means 的提升方法研究[J]. 智慧电力, 2019, 47(3): 8-15.

[11] 李皎. 大数据时代到来对电力行业发展提出新要求[J]. 华北电业, 2012(4): 82-83.

[12] 宋雪莹. 基于异构数据源的电力大数据处理方法[D]. 北京: 华北电力大学(北京), 2019: 1-5.

[13] 刘士李, 万一荻, 赵迎迎, 等. 基于 Clara 算法的电力工程大数据分析与评估模型设计[J]. 电子设计工程, 2021, 29(4): 131-134, 138.

[14] 张成宇. 基于电力大数据的谐波仿真系统关键问题研究[D]. 北京: 北方工业大学, 2019: 11-14.

[15] 方静, 彭小圣, 刘泰蔚, 等. 电力设备状态监测大数据发展综述[J]. 电力系统保护与控制, 2020, 48(23): 176-186.

[16] 江秀臣, 盛戈皞. 电力设备状态大数据分析的研究和应用[J]. 高电压技术, 2018, 44(4): 1041-1050.

分布式光伏快速发展形势下的的电网安全阈度分析

朱涛，谢一工，张鹏，雷昊
（云南电网有限责任公司昆明供电局，云南 昆明 650011）

摘　要：传统的电网安全阈度分析方法，存在对未来负荷分布预测能力有限、无法适应分布式光伏快速发展、针对电网运行方式适应性差等方面的问题。因此，提出了基于母线负荷预测的电网安全阈度分析方法。首先，基于日出时刻搭建光伏发电的若干理想发电效率模型曲线，根据历史发电数据进行关联因素分析、设置参数，采用插值法、滑动平均法对参数进行补全与调整；然后，基于特殊天气下负荷变化特征，对不同母线上所带分布式光伏的容量进行估算，结合数值天气预报信息，对分布式光伏发电、母线负荷进行预测；最后，基于母线负荷预测结果、电网运行方式、自投装置的分布，对电网的薄弱环节进行整体的计算评估。

关键词：电网安全阈度；母线负荷预测；分布式光伏；电网薄弱环节

1　引言

电能是当今社会最重要的一种能源之一，电网的安全稳定对经济的发展、社会的进步起着至关重要的作用。为了对电网的安全性能进行检测，电网公司调控中心汇总了负载率、电压等方面的若干重要指标及其调节能力进行监测。

近年来我国提出了碳达峰、碳中和的战略目标，为减少碳排放，使用光伏等可再生能源进行发电，成为了重要的发展方向。据预测，到 2025 年十四五结束，光伏、风电的装机容量，将有望达到 10 亿千瓦以上。和火电相比，新能源发电真正可以达到的发电功率，受到外界因素（如光照强度、风力大小等）的影响巨大，对发电预测、负荷预测、电网安全阈度的分析造成了极大的干扰。

针对电网整体负荷预测的研究工作，在各级调度运行管理过程中得到广泛关注与研究，相应的技术相对比较成熟，预测结果已经相对准确。如文献[1-3]采用了不同模型、算法对电网整体负荷进行评估预测。

电网整体负荷的预测结果，可以作为对电网安全阈度分析的一个参考，如果需要更加准确的分析，需要针对电网中的各个计算节点，进行母线负荷预测。在母线负荷预测方面，文献[4-7]中基于深度学习等不同的算法模型进行建模，并参考了数值天气预报等不同的外界因素进行整体计算。

随着大量分布式电源的接入，对母线负荷预测模型的搭建造成了很大冲击，造成上述母线负荷预测相关方法预测结果的准确性逐渐变差。文献[8]针对风力发电的影响因素进行了分析，文献[9-12]对影响光伏发电因素特征进行了分析。从整体来看，上述文献在应用于新环境下母线负荷预测存在问题如下。

- 因为数据完整性、有效性的原因，针对分散到千家万户的分布式光伏的发电预测方面没有涉及；而随着分布式光伏装机容量的不断增长，光伏发电对电网造成的冲击日益增大；
- 没有考虑随着大量的可再生能源装机容量的迅速加入进行相关参数的动态调整。

文献[13-14]针对电网的拓扑分析，可以用于本文中对电网的接线方式、运行方式的分析。文献[15-25]针对不同接线方式、运行方式下电网的安全水平进行了不同角度的分析，具有一定的参考意义。然而，相关的方法在适应未来电网的负荷变化方面基本没有考虑；另外，针对自投装置的安装、投退情况，没有进行建模。

本文通过对影响发电能力的因素分析、建模，搭建光伏发电能力的评估预测模型，在此基础上，对每条 10kV 的母线进行负荷预测，进而结合电网的运行方式、设备的电能损耗对电网中的设备进行供电能力阈度分析。基于电网整体的安全阈度分析，可以对电

基金项目：中国南方电网有限公司科技项目资助“电力调度控制中心调控一体化模式下的电网运行监控大数据分析及智能决策技术研究与应用项目技术开发”（0501002020030101DK00005）

网设备的检修计划的安排提出指导的建议。

2 电网安全阈度框架

对母线的负荷进行预测，难点在于对分布式电源发电量的预测，尤其是对分布式光伏发电能力的预测。光伏发电受云量、日出时间、光照强度、温度等因素的影响；结合集中式光伏发电场的装机容量、发电曲线数据，可搭建光伏发电预测模型。使用光伏发电预测模型，根据历史整体负荷的变化规律、历史天气数据，结合各条母线随着天气变化的负荷变化曲线（分布式光伏发电能力在某些天气维度上异常敏感，据此大体评估分布式光伏的规模与分布），对分布式光伏的整体装机容量、每条母线上所带分布式光伏的容量进行评估。结合天气预报信息，预测光伏发电情况。

针对历史上各条母线的负荷情况，结合母线上分布式光伏发电评估结果，对母线上用户真正消耗电量情况进行评估。进一步结合各个影响因素，对母线负荷预测模型的参数进行调整。汇总母线上用户用电量、光伏发电（含光伏电厂及分布式电源），对母线进行整体的负荷预测。在此基础上，基于电网的接线方式、运行方式，对可能的备用电源部署情况进行自动分析，分析 $N-1$ 情况下，各个设备发生跳闸时电网的供电关系，整体评估电网的安全阈度，基于母线负荷预测的电网安全阈度框架如图 1 所示。

3 光伏发电预测模型搭建

首先，分析光伏发电的影响因素，某省一处光伏群发电曲线如图 2 所示，选取的曲线是同一年 5 月 5 日、23 日、24 日的发电曲线，观察区间为 5 点—20 点（其余时间出力均为 0）。其中，5 月 23 日天气状况为小雨转晴。。

通过对上述曲线进行分析，得出结论见表 1。

步骤 1 将历史发电数据，按照所在日期的日出时间、时刻点进行分组基于以上结论，搭建光伏发电评估预测模型。

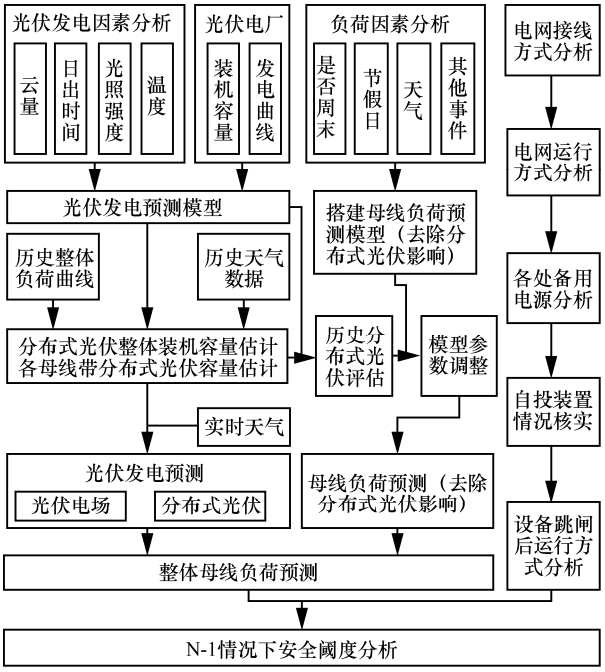


图 1 电网安全阈度框架

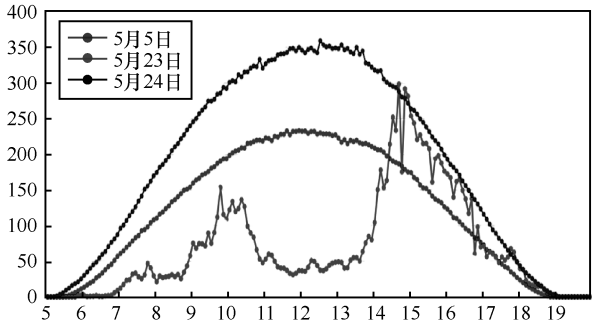


图 2 光伏发电曲线

针对有观测数据的时间范围，按照日出时间对日期进行分组（日出时间在一分钟之内的归为同一组），并按照距离日出的时间长度对数据进行详细分组（时间长度为 5min 之内的分入同一组）。

针对每一组可观测的光伏群，将发电功率进行标

表 1 光伏发电曲线特征

分析结论	结论支持理由
光伏发电的时间区间，基本和当地日出、日落时间紧密吻合	每条曲线有出力的时间区间与当地日出、日落时间对比得出结论
随着进入夏季，日照强度的增加，光伏发电能力显著提升	通过对比 5 日、23 日的发电曲线得知
相近日期，天气晴好时相同时间点的理想出力值接近	观察 23 日、24 日 15 点以后的曲线得到结论
光伏发电能力受阴雨、云量等因素的影响巨大	对比 23 日、24 日曲线得知前面结论

准化处理（得到每一单位的装机容量对应的发电功率）。发电效率 R 计算过程如公式 1 所示：

$$R = \frac{P}{\sum_{i=1}^{n} C_i} \tag{1}$$

其中，P 表示某观测点的发电功率，$\{C_1, C_2, \cdots, C_n\}$ 表示此观测点在对应时刻包含光伏群的装机容量。

步骤 2 计算每一点的理想发电效率值

对每一组数值（对应一个固定的日出时间所在日期的距离日出一定时间范围内的发电效率值）由大到小进行排序，得到效率值序列 R_i（i大于0），满足式（2）条件的数值 R_1 将作为异常值过滤掉：

$$R_1 - R_2 > (R_2 - R_6) \div 2 \tag{2}$$

去除之后重新排序、记录序号，并循环进行计算，直至没有异常值，或者序列的长度小于 6。去除异常点之后，将效率最大的 R_1 作为这一点的理想发电效率值。

步骤 3 数据补全及调整

针对日出时间在同一时刻的一系列理想发电效率值中，距离日中时间越小，理想发电效率应该越大。按照这个原则，使用滑动平均法，对异常值进行处理。如果中间缺少数据，使用线性插值的方法进行补全。通过以上方法，得到不同日出时间理想情况下最优发电效率曲线。

步骤 4 云量对发电效率的影响系数

云量是对光伏发电影响最大的因素（在实际天气信息中往往用天气类型来体现，如晴、多云、阴、雨等）。云量的数据一般只有几小时一个点的数据，而且云量的数据对光伏发电效率影响有很大的不确定性。通过对历史上不同云量条件有效系数之间关系的计算，统计评估云量对发电效率的影响系数。首先，提取一定云量范围之内的数据；然后，按照上述步骤 1 的方法进行分组，并计算每一点的发电效率；最后，通过各点和理想发电效率进行对比，计算整体的影响系数 Cl_R，具体的计算方法如式（3）所示。

$$Cl_R = \frac{\sum_{i=1}^{m} r_i}{\sum_{i=1}^{m} R_i} \tag{3}$$

其中，r_i 表示此云量条件下各个点的发电效率，R_i 表示此点对应的理想发电效率。这样可以得到不同云量范围影响系数的对应表。空气质量对发电的影响类似，也可以作为云量因素的一部分进行拆分计算。

步骤 5 温度对发电效率的影响系数

温度对发电效率也会造成一定的影响。使用式（3）对温度的影响系数进行计算，得到不同温度范围影响系数的对应表，此系数记为 H_R。

步骤 6 光伏发电预测整体计算公式

在对某区域的光伏发电进行预测时，需要根据区域内包含光伏发电的装机容量 C，并根据所在区域天气预报的结果对影响系数 Cl_R、H_R 进行计算。最终，针对时间 t，光伏发电预测结果 F_t 的计算方法如式（4）所示。

$$F_t = C \times R_t \times Cl_R \times H_R \tag{4}$$

其中，R_t 表示时刻 t 对应的理想发电效率值。

4 分布式光伏装机分布评估

分布式光伏没有对应的装机容量、发电功率数据，是母线负荷预测的主要障碍之一。一个地区在一定时期内可能会有一个分布式光伏装机容量规模的统计，可以作为参考因素。

光伏发电的功率，对天气的敏感性极高。从图 2 中可以看出，小雨天气下，光伏发电的功率降低到接近 0 的水平。针对分布式光伏，因为没有单独的光伏发电数据，只能从变电站各个 10kV 出线的负荷中得到间接的反映。不过，10kV 出线所带的用户的真正用电量，也会受到天气变化的影响（如空调负荷、照明负荷等）。

本文中，通过对历史中天气骤变的样例数据进行提取，去除天气变化对用电负荷影响之后，对分布式光伏在各条母线上的分布进行评估，进一步地结合分布式光伏的统计数据，对各条母线所带的分布式光伏的装机容量进行调整，步骤如下。

步骤 1 典型样例数据提取

典型样例数据的提取条件包括必须发生在白天（晚上光伏发电保持为 0）；天气变化必须迅速，能够看到负荷的急剧变化。最合适的例子是某地区由大雨到雨后快速转晴的天气变化过程。

步骤 2 分析单纯用电负荷变化因素

针对天气由雨到晴的转换过程，由于人针对环境变化的滞后性，真正的用电负荷不会马上发生变化。但是光伏发电的出力会快速发生变化。所以，这种情况下反馈到 10kV 出线上面的负荷变化，基本上都是

由于光伏出力变化引起的。这里，先忽略由于天气变化造成的用电负荷的特殊变化，单取同期、同时段正常的负荷变化，加入到影响因素的计算。

步骤 3 计算各条母线分布式光伏装机容量

针对某一母线 j，所带分布式光伏的装机容量 C_j^B 计算方法如式（5）所示.

$$C_j^B = \{\sum_{i=1}^{n}[(P_{i,t\text{-}1} - P_{i,t}) + (P_{i,t}^0 - P_{i,t-1}^0)]\} \div R \qquad (5)$$

其中 $P_{i,t}$ 表示恢复到晴天后的母线所带出线 i 对应的有功，$P_{i,t\text{-}1}$ 表示下雨时出线 i 对应的有功；$P_{i,t}^0$ 表示相似日出线 i 在时刻 t 的有功平均值，$P_{i,t-1}^0$ 表示相似日出线 i 在时刻 t-1 的有功平均值。R 表示在时刻 t，对应的理想发电效率值。将 a 作为待调整系数，最终，用 $a \times C_j^B$ 表示母线 j 上所带分布式光伏总的容量。

步骤 4 基于统计数据调整分布式光伏装机容量

根据整个地区统计的分布式光伏装机容量总值 C^T，对系数 a 进行调整，系数的计算方法如式（6）所示。

$$a = \frac{C^T}{\sum C_j^B} \qquad (6)$$

如果没有总的装机容量的数据，此步可以跳过，系数直接取 1。在实际的应用中，随着分布式电源的快速部署安装，需要定时对各条母线所带分布式电源的装机容量进行评估检测。

5 整体母线负荷预测

母线的负荷大小，受用户用电、集中式光伏场、分布式光伏（除此之外，还可能会受到风电场等发电的影响，这里不作为重点进行讨论）等因素影响。其中，除了用户用电之外，都是作为发电的因素，需要从总的用电负荷中减去，预测步骤如下。

步骤 1 预测用户用电负荷

根据出线所带用户的性质，需要考虑以下几方面影响。

- 母线的负荷预测，要考虑是否周末的周期性变化规律、节假日变化规律、天气影响变化规律、特殊事件的影响等。
- 针对铁路牵引站，用电的功率和通过相应铁路段的火车的数量、时间有关，而且功率呈跳跃式变化。为了保证牵引站的供电安全，各时刻点的负荷预测可以取此时刻点历史上最大负荷。
- 针对带有自备电厂的大用户，要去除自备电厂发电计划的影响。

已经有多种预测方法对于常规意义上的母线负荷进行预测，相对比较成熟，因此不作为本文分析的重点。在使用历史数据进行母线未来负荷预测的过程中，会对历史上分布式光伏的发电数据进行评估（评估同针对未来的分布式光伏发电的预测方法，只不过使用的光伏装机容量、天气条件有所不同）。最终针对母线 j 计算出来的用户用电的预测值用 F_j^1 表示。

步骤 2 预测集中式光伏电场发电

基于搭建的光伏发电在不同日出时间、距离日出时间差建立的理想发电量模型，结合云量对发电效率的影响系数 Cl_R、温度对发电效率的影响系数 H_R，最终计算母线所带各个光伏电场的发电功率预测结果 F_j^2 如式（7）所示.

$$F_j^2 = (\sum_{i=1}^{n} C_i^{'}) \times R \times Cl_R \times H_R \qquad (7)$$

其中，$C_i^{'}$ 表示母线上所带光伏电场 i 对应的装机容量，R 表示此时刻点对应的理想发电效率值。

步骤 3 预测分布式光伏发电

通过式（5）计算出当前母线所带分布式光伏的容量设置为 $C_i^{''}$。通过式（7）得到分布式光伏的发电功率预测结果 F_j^3 如式（8）。

$$F_j^3 = (\sum_{i=1}^{n} C_i^{''}) \times R \times Cl_R \times H_R \qquad (8)$$

最终，得到母线 j 的负荷预测结果如式（9）所示：

$$F_j = F_j^1 - F_j^2 - F_j^3 \qquad (9)$$

上述的计算结果如为负数，表则示将来会倒供负荷。

6 基于运行方式的备用电源分析及核对

基于电网设备之间的拓扑连接关系、开关刀闸设备的分合状态，对电网的接线方式、运行方式进行分析，在此基础上，结合调度规程、运行方式规定、保护细则等知识，对设备故障时可能的备用电源进行分析。备用电源的分析过程，采用自上而下的递归分析方法，如图 3 所示。

步骤 1 获取跳闸设备

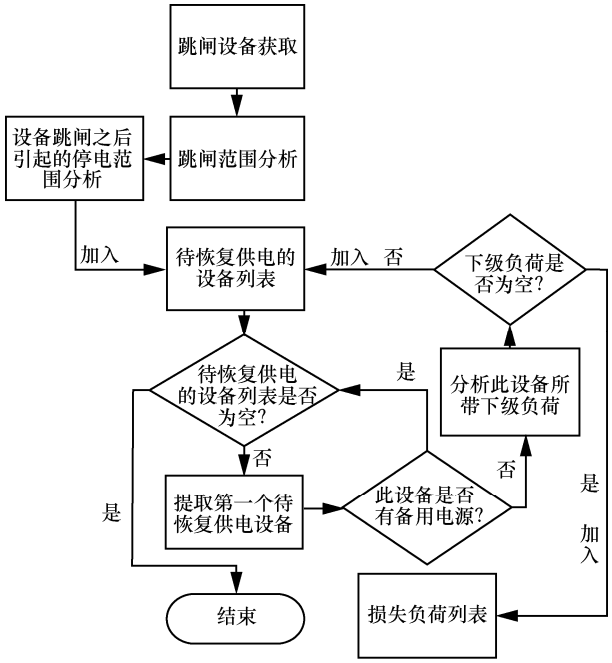


图 3　备用电源分析流程

获取跳闸设备的信息，包括设备的拓扑连接关系，为后续的分析工作做准备。

步骤 2　分析跳闸范围

基于跳闸的源头设备的拓扑进行分析，分析设备上面相关的保护、保护跳闸的范围，对跳闸的范围进行分析。进一步地结合保护的故障情况、开关的闭锁情况，对事故范围扩大的可能性进行分析，并进一步分析事故范围扩大时的连锁反应。

步骤 3　分析设备跳闸之后引起的停电范围

基于设备的接线方式、运行方式，对设备之间的供电关系进行分析，并提取设备跳闸时影响到哪些设备失电，加入到“待恢复供电的设备列表”。

步骤 4　分析设备是否有备用电源

针对“待恢复供电的设备列表”，逐一分析设备是否有备用电源。这一分析过程需要结合电网接线方式、运行方式进行分析，分析的内容见表 2。

步骤 5　分析设备所带下级负荷

如果设备无法恢复供电，需要根据运行方式对设备所带的下级负荷进行提取，尝试恢复下级负荷的供电。此分析过程和设备跳闸之后引起的停电范围分析过程类似。

步骤 6　损失负荷列表

如果没有备用电源的设备在拓扑上也没有下级电源，那么这些设备就是无法恢复供电的末端设备，将作为损失负荷进行提取。

表 2　备用电源情况

接线方式	备用电源检查方向
所有接线方式通用	是否有本段母线上热备用的线路，线路对端的开关运行
	是否有本段母线上空充带电的线路
双母线	是否有热备用的母联开关，可以在母线失电的时候提供备用电源
内桥接线	是否有热备用的分段开关，可以在母线失电的时候提供备用电源
	是否有热备用的线路开关，可以在母线失电的时候提供备用电源
母线分段	是否有热备用的分段开关，可以在母线失电的时候提供备用电源

其中，步骤 4 的分析过程中，分析的备用电源是可能的备用电源的集合，是否真的有备用电源，和自投装置的配置、投入情况有关，在使用的过程中根据需要将可能的备用电源情况推送给运行人员加以确认。如果存在没有配置或者投入自动装置的备用电源，也会作为手工恢复供电的信息推送给运行人员。

7　*N*－1 情况下的安全阈度分析预测及应用

需要对可能跳闸的设备进行 *N*－1 扫描，逐一分析设备发生跳闸之后负荷损失情况。为了加快 *N*－1 扫描的速度，将设备按照主保护的范围进行分组，将保护动作范围一致的设备进行合并分析（如母线侧刀闸故障和对应的母线故障合并，内桥接线的主变故障和高压侧母线故障合并等）。

针对每个设备的跳闸，分析自动装置的动作情况、预期中失电设备、失电设备可选的恢复供电的方案，并自动梳理故障跳闸之后新的供电关系，对未来一段时间的低压侧母线的负荷进行预测，并依据供电拓扑关系，自动计算主要承担新负荷的设备上的潮流情况。

- 针对环网设备，需要借助潮流计算工具进行计算；
- 针对辐射网，可以在适当添加线损的前提下，直接将下游负荷进行叠加进行快速计算（一是可以进行快速计算，二是可以避免低压辐射网因为设备参数不全、不准带来的计算误差）。

根据供电阈度的分析结果，分析设备故障时的后果严重程度，对应到电力公司规定的事故（事件）等级上面。进一步可以和检修计划结合起来，为检修工

作的安排、平衡提供数据支撑。

- 可能会导致负荷损失的设备，定义为电网薄弱环节；
- 针对电网薄弱环节，根据其导致事故（事件）等级的严重程度进行排序；
- 针对无法恢复供电的设备，分析现有检修中的设备是否可以作为停电设备的备用电源，并加快相关设备的检修进度，提高电网的稳定性；
- 基于现有检修计划，对电网的方式进行调整，在此基础上再次进行安全阈度分析，评估存在的薄弱环节，对设备检修过程中电网的安全性进行评估。

8 算例分析

以地区的发电预测、母线负荷预测、电网安全阈度分析为例，进行相关算法的验证。

（1）研究数据范围

研究范围内，有 11 个光伏群 2019 年以来的发电数据，可以用来作为光伏发电建模的数据依据日出日落时间是从网上下载的 2019 年以来该地区的离线数据。天气数据使用区域内若干测点的天气预报信息，并根据大概的位置关系和变电站、光伏场建立关联。由于拿到的天气数据，没有具体的云量数据，只有天气类型数据，所以本文中根据天气类型，建立了几个和云量相关的类型等级（晴、少云、多云、阴、小雨、中雨以上、小雪、中雪以上、雾）。研究范围内，包含 110kV 变电站、35kV 变电站分别为 55 座、34 座。

（2）光伏理想发电效率曲线分析

本地区一年的日出时间分布在 4:52 到 7:24 的区间之内；根据日出时间，将要拟合的发电效率曲线分为了 153 条目标曲线。由于监测的 11 个光伏群位置相对集中，天气情况近似，导致只有 800 条左右的有效发电曲线，按照日出时间进行划分，每个组只有 5 条左右的可供参考的曲线。以上情况导致部分理想发电效率曲线无法准确生成。本文中针对任意时刻点（如上午 10:00），通过将 153 条曲线的此时刻点的发电效率值提取出来作为一个数列，将数列中的每一个数据和周围 4 个数的平均值进行比较，如果差值大于平均差值 3 倍以上的，将此点的值直接用周围 4 个数的平均值替代。以日出时间在 4:57、5:14 为例，对应的理想发电效率曲线的结果如图 4 所示。

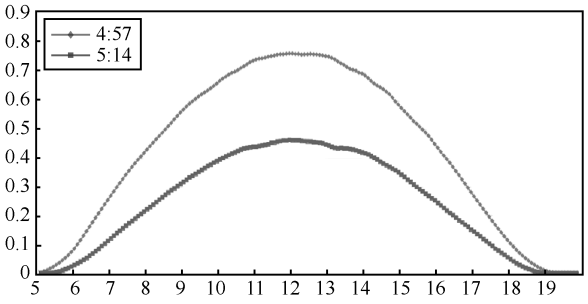


图 4　理想发电效率曲线

（3）分布式光伏装机容量评估及因素影响系数计算

参考近期本地区历史天气信息中的若干次阵雨，对母线所带负荷的有功变化情况进行跟踪。考虑到不一定每次雨中到雨后光伏的发电都一定是由 0 迅速攀升到当前时刻的理想发电效率，取若干次计算结果中最大的一次作为各条母线所带分布式光伏的容量。通过对光伏历史数据的统计，计算云量、温度对光伏发电的影响系数。天气类型和光伏发电效率的关系曲线如图 5 所示。

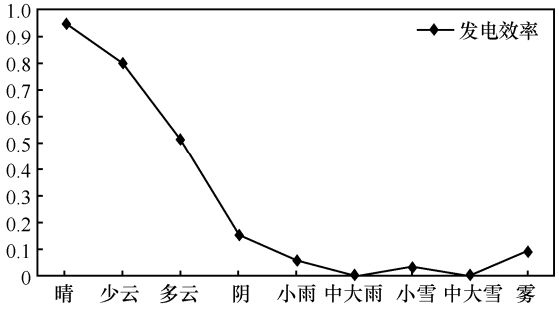


图 5　天气类型和发电效率关系曲线

（4）母线负荷预测

通过本文的母线负荷预测方法，使用历史数据进行母线负荷预测的计算，并通过真实的负荷情况进行验证，并和常用的算法模型进行对比，得到结论见表 3。

从以上数据可知，对于有较少分布式电源的母线，预测的准确率差别不大；对于有较多分布式电源的母线，预测的准确率有非常大的差别。另外，天气预报的准确性对预测的准确率有一定的影响，尤其是对有较多分布式电源母线的影响会更大。

（5）基于母线负荷预测的电网安全阈度评估

通过对本地区的母线负荷进行预测，并结合检修计划对未来的电网方式进行调整，可以对设备在未来时间可能存在的重过载信息进行预估。经过历史数据进行模拟测试（将历史上某段时间的数据当做“未来”的预测对象），设备的最大负荷的预测准确率达到 97%，可以较为准确的对未来电网的安全阈度进

表 3　母线负荷预测准确率统计

算法模型	使用天气信息类型	母线属性	预测准确率
本文算法模型	较为粗略的天气预报信息	较少分布式电源的母线	93.1%
		较多分布式电源的母线	84.2%
	实际天气信息的记录	较少分布式电源的母线	95.8%
		较多分布式电源的母线	90.3%
LSTM	较为粗略的天气预报信息	较少分布式电源的母线	88.7%
		较多分布式电源的母线	65.9%
	实际天气信息的记录	较少分布式电源的母线	89.4%
		较多分布式电源的母线	69.5%

行评估。

在此基础上对设备进行 $N-1$ 扫描，可以对设备跳闸之后的运行方式进行评估，并进一步校验相应运行方式下电网的安全阈度。

9　结束语

通过对影响光伏发电的因素的分析，搭建了发电能力评估模型，并基于光伏发电对天气变化灵敏性强的特点，对分布式光伏的规模、分布进行评估，能够对未来光伏发电能力进行更加准确的评估预测。在此基础上，结合母线上用户属性及用电量分析，能够较为准确的对母线的负荷进行预测。

基于母线负荷预测搭建的电网安全阈度评估模型，能够对 $N-1$ 情况下电网的安全性进行自动评估，为检修工作安排提供了一个智能分析、平衡的平台。

参考文献

[1] 王保义, 赵硕, 张少敏. 基于云计算和极限学习机的分布式电力负荷预测算法[J]. 电网技术, 2014, 38(2): 526-531.

[2] 王德文, 孙志伟. 电力用户侧大数据分析与并行负荷预测[J]. 中国电机工程学报, 2015, 35(3): 527-537.

[3] 苏学能, 刘天琪, 曹鸿谦, 等. 基于 Hadoop 架构的多重分布式 BP 神经网络的短期负荷预测方法[J]. 中国电机工程学报, 2017, 37(17): 4966-4973, 5216.

[4] 颜宏文, 李欣然. 基于差分进化的含分布式电源母线净负荷预测[J]. 电网技术, 2013, 37(6): 1602-1606.

[5] 熊图, 赵宏伟, 陈明辉, 等. 基于特征排序与深度学习的母线负荷预测方法[J]. 可再生能源, 2019, 37(10): 1511-1517.

[6] 尹星露, 肖先勇, 孙晓璐. 基于预测有效度和马尔科夫-云模型的母线负荷预测模型筛选与变权重组合预测[J]. 电力自动化设备, 2015, 35(3): 114-119.

[7] 李博, 门德月, 严亚勤, 等. 基于数值天气预报的母线负荷预测[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(1): 137-140.

[8] 姜兆宇, 贾庆山, 管晓宏. 多时空尺度的风力发电预测方法综述[J]. 自动化学报, 2019, 45(1): 51-71.

[9] 赵唯嘉, 张宁, 康重庆, 等. 光伏发电出力的条件预测误差概率分布估计方法[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(16): 8-15.

[10] 张曦, 康重庆, 张宁, 等. 太阳能光伏发电的中长期随机特性分析[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(6): 6-13.

[11] 赖昌伟, 黎静华, 陈博, 等. 光伏发电出力预测技术研究综述[J]. 电工技术学报, 2019, 34(6): 1201-1217.

[12] 丁明, 王伟胜, 王秀丽, 等. 大规模光伏发电对电力系统影响综述[J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(1): 1-14.

[13] 朱国防, 沈培锋, 王勇, 等. 基于拓扑片的智能分布式馈线拓扑分析[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(14): 152-157.

[14] 郭帅文, 燕跃豪, 蒋建东, 等. 基于邻接矩阵的网络拓扑辨识算法[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(12): 50-56.

[15] 孙东磊, 李雪亮, 韩学山, 等. 考虑运行方式优化和拓扑校正控制的参考电网优化方法[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(13): 92-97.

[16] 丁明, 过羿, 张晶晶, 等. 基于效用风险熵权模糊综合评判的复杂电网节点脆弱性评估[J]. 电工技术学报, 2015, 30(3): 214-223.

[17] 曾鑫, 杨琦, 任建文. 基于组合赋权法的输电线路脆弱性评估[J]. 电力系统及其自动化学报, 2016, 28(8): 44-48.

[18] 李路军, 丁鹏堃, 房鑫炎, 等. 基于权重自适应的电力应急预案指标评价方法[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(16): 27-33.

[19] 周剑, 罗添允, 李智勇, 等. 基于改进可拓层次分析的停电影响综合评估[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(3): 31-38.

[20] 牛进苍, 许奕斌, 辜超, 等. 基于拓扑建模和关联集分解的电网设备风险评估技术[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(13): 155-160.

[21] 侯赞, 刘宝柱, 张爽. 基于随机集理论的电力系统运行风险评估[J]. 电网技术, 2017, 41(12): 3757-3764.

[22] 陈召阳, 吕飞鹏. 考虑运行方式的电网关键线路辨识[J]. 电力系统及其自动化学报, 2014, 26(11): 32-36.

[23] 叶剑华, 林济铿, 胡世骏, 等. 计及气象因素的电网静态安全指标体系[J]. 电力系统及其自动化学报, 2014, 26(9): 59-64.

[24] 李玲玲, 鲁修学, 孙东旺, 等. 基于元件功率的区域电力系统薄弱环节辨识算法[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(4): 77-83.

[25] 纪静, 谢开贵, 曹侃, 等. 广东电网薄弱环节辨识及可靠性改善分析[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(13): 98-102.

分布式海量数据导出组件设计

胡竹青[1]，汪洋[2]，张志鹏[1]，林峰[1]，温鹏飞[2]
（1. 国网电力科学研究院有限公司 江苏 南京 211000；2. 国电南瑞科技股份有限公司 江苏 南京 211000）

摘　要：随着数字化转型工作的深入，依托信息化系统开展企业运作已成为常态，在系统操作实践中业务数据频繁需要通过电子文件模板进行导入或导出，遇到百万行记录等海量数据的多人并发操作场景时，对信息系统运行造成巨大压力，经常需要专人定制开发和申请按峰值估算的系统资源。基于此，本文提出了基于微服务技术架构的分布式海量数据导出组件的设计框架和实现策略，阐明了文件模板配置、导出请求异步、数据切片/拼接、通道分流调度、异常阶梯补偿等组件功能模块设计及关键技术实现方法，该组件在电工企业百万行数据导出场景中实际应用效果良好。

关键词：海量数据导出；分布式并发；数据切片；阶梯补偿

1　引言

微服务开发模式把项目拆分成多个小服务，每个小服务按需分配资源，不再强调单节点服务器物理性能。每个服务的划分粒度特别细，单一应用程序分配的系统资源较少，通常小于 1G 内存[1-4]。各业务微服务正常运行状态下，当多个用户从系统中同时导出多个业务数据时，因为频繁内存操作，系统运行负荷水平迅速上升，单一节点服务响应缓慢。如果数据行记录达百万行及以上时，由于微服务节点分配内存较小无法正常运行程序，微服务水平扩展失效，导出数据服务可用性得不到保障，用户对系统的体验感变差。

分布式海量数据导出组件（以下简称：导出组件）设计的核心策略是采用请求分流，数据切片，多文件合并等处理方式，保证高并发环境下海量数据导出任务顺利完成[5-15]。同时，通过队列记录操作和异常情况阶梯补偿的方式保证操作的完整性，通过导出记录的操作时长找出客户端和导出组件中需要优化的功能项进行持续优化。导出组件设计的基本原理和运行机制如图 1 所示：

分布式海量数据导出组件使用微服务架构，使业务足够内聚，足够小，功能足够利用。海量导出服务与其他业务组件独立部署，使持续集成成为可能。

2　功能模块设计

在业务系统使用过程中，常用的导出数据应用场景有以下几种方式。

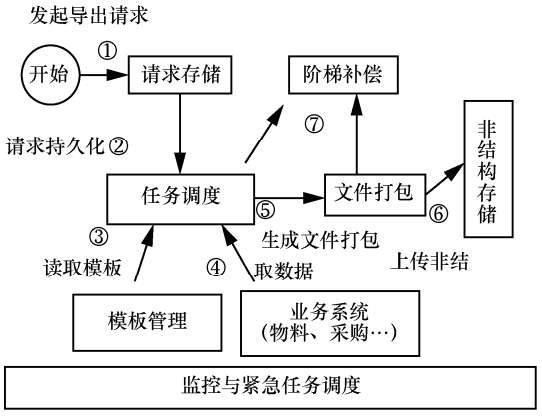


图 1　海量导出组件设计框架

（1）用户需要大量填写不规则数据，通过系统导出表格，填写完成后导入到系统中。

（2）第三方机构需要系统中数据，业务用户导出脱敏后给第三方存档。

（3）业务部门周期性导出业务数据，利用 Excel 工具进行离线分析。

综合以上场景得出结论：导出的数据量不规律，导出量少则几十条，多则几十万条甚至上百万条。这样的请求操作数据量大，响应缓慢，用户在操作过程中需要长时间等待，操作是否成功具有不确定性，在多用户操作下系统容易出现卡顿和宕机。为保证业务系统和导出组件稳定、健康运行。导出组件功能模块

设计如下。

（1）模板管理。

提供可视化模板的管理，在分布式系统中实现一次上传多处调用。

（2）请求存储。

对用户请求和运行状态做持久化存储，为任务调度、文件下载、运行监控、综合分析提供数据支撑。

（3）任务调度。

请求分流，针对不同导出任务的数据量大小选择不同通道的执行队列进行处理，保证业务系统健康稳定运行，不影响用户对业务的操作。

（4）导出文件生成与切片拼接/合并。

当导出数据记录条数超过 10 万条时，导出数据被切割成多个文件存储。系统提供打包功能保证一次请求获得所有的导出信息。

（5）紧急任务调度与监控。

紧急任务调度实现了任务插队的能力，在程序中任务插队则会优先执行，属于紧急任务紧急处理。监控功能可实时查看导出任务运行状况和运行时长，为任务分析做数据支撑。

2.1 模板管理

业务系统中导出和导入文件使用的功能不同，文件模板的风格、样式、内容各不相同。传统单体应用一般将模板文件放到服务器的固定目录中，应用程序执行时读取服务器硬盘上固定位置的模板。当单体应用需要部署到多个网络环境中，模板需要反复拷贝，随着时间迁移和版本迭代，容易产生模板文件管理混乱，造成反复申请服务器权限调整文件模板。导出组件将导出文件模板与非结构化平台等文件管理系统的文件唯一 ID 绑定，对各系统提供统一的、可视化的导出模板管理功能，如图 2 所示。

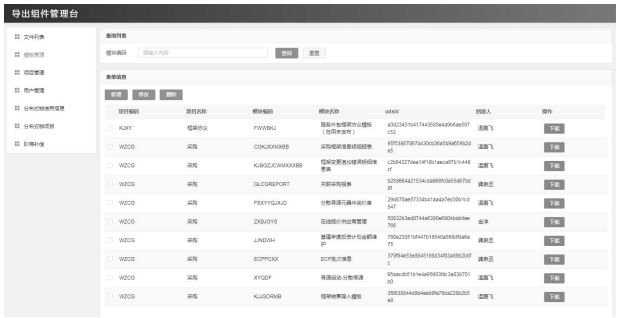


图 2　模板管理列表示意图

管理员模板管理组件中通过“添加模”” 功能，定义模板所属项目和、模板名称和模板唯一编码，选择模板文件保存到系统中，并将模板文件上传至非结构化平台等文件管理系统，进行模板编码和模板文件 ID 的绑定，同时为各业务系统提供接口使用模板文件下载、导出和更新，实现了一次上传，到处使用目的。

2.2 请求存储

导出组件采用请求存储，异步执行方式实现导出计划与任务执行的分离，用户请求导出功能时，导出组件接口将用户信息和请求的相关参数存入数据库并发送异步消息，经消息队列进入调度器模块。

导出请求消息参数包括模板信息、回调地址、查询条件、数据记录行数量等，具体消息体格式如下：

ProjectCode: 项目编号，区分不同业务系统

FuncName: 导出目标任务名称

FuncCode: 导出目标任务编码

CallbackType:回调类型，0：微服务 1：单体应用

CallbackUrl:回调地址，调用各项目组查询的接口路径

UDSId: 模板文件 ID，取自非结构化文件存储系统

ExportAmount: 导出数据的条数

CreateUserCode: 操作用户人员编号,

OpsTime: 操作时间

CallbackParam:回调查询条件，为各项目组查询列表的条件 JSON 字符串供后面调用时解析

项目编号和模板编号参数直接在导出组件中读取相关信息。导出数据量是分流策略的重要参考依据。回调方式有两种：微服务和单体应用。回调地址与回调方式组合使用，当前回调方式为“微服务”时，回调地址存放微服务业务调用接口的策略键。回调方式为“单体应用”时，回调地址中存放的是访问单体应用的 URL。查询条件是业务系统的查询条件，微服务中查询条件一般为 JSON 格式，单体应用开发人员可在各自的策略方法中自行编写。

2.3 任务调度

请求分流和数据切片是系统的核心，调度的合理性是对用户操作响应时长有决定性的影响。数据切片的合理性决定服务的稳定性。

任务调度分流策略的运行过程：任务调度器获得导出请求后，根据导出请求的信息和分流策略生成导出请求消息，发送到合适的消息通道。消息通道的消费端使用单体应用提供的回调接口，或以策略模式调用业务微服务中提供的方法，从而获得需要导出的数

据和文件生成模板，导出业务处理完成后将状态反写到请求的记录中。

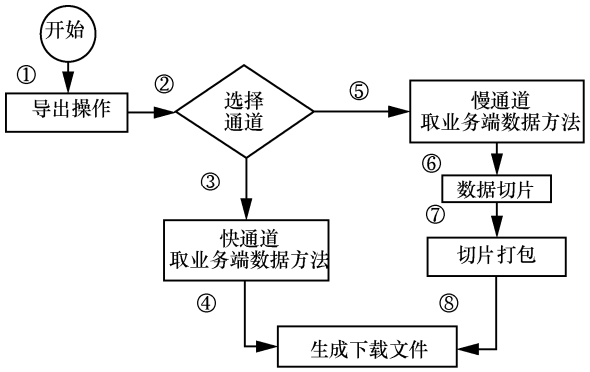


图 3　任务调度运行示意图

2.4　导出文件生成与切片拼接/合并

导出文件生成与任务调度同步进行，在文件生成过程中，数据量大于某个数量值以上时，执行切片操作策略，数据切片的办法是进行动态分页查询。分页数量计算公式为：

$$pageNo = (totalNums + pageSzie-1)/pageSize$$

其中 totalNums 用户请求导出的数据量，由客户端提供参数。pageSzie 为数据切片后每一片的数据量，是一个动态参数，由客户端传递。实际 pageSize 取值还需要与系统定义的 sysPageSize 比较。如 pageSize 大于 sysPageSize 时取值 sysPageSize，业务端传递的 pageSize 小于等于 0 时直接取 sysPageSize。pageSize 的取值与导出数据的列数和每条记录所占容量有关，需要根据监控模块运行开展辅助决策，分析出一个合理取值。

文件打包用于慢队列的数据切片，将数据切片生成的文件统一压缩打包上传到非结构化平台等文件管理系统，将文件地址返回给调度器。文件打包采用单线程，排队执行，执行完成后更新存储请求的状态，供用户下载。

2.5　监控与紧急任务调度

监控和紧急调度应用方便管理员对系统的运维和管理。导出组件的监控功能主要是对用户每个请求在每个环节运行的健康状况。紧急调度是人工介入调整请求的执行状态和执行顺序。

当用户请求一个导出任务，通过监控可以实时查看导出任务运行状况和运行时长，通过数据量和运行时长一系列指标对需要优化的请求进行预警。业务系统出现多个慢导出请求时，用户后续新请求的优先级高于排队中的请求，此时采用紧急任务调度，将优先级高的请求放入紧急队列中实现插队，提高操作优先级，最大限度提升用户体验。

3　关键技术实现方法

3.1　通道分流策略

针对业务数据差异性，分而治之建立不同的导出任务通道以提高整体执行效率。分流策略采用 4 个通道，分别定义为 2 个快速通道、1 个慢通道、1 个紧急通道，处理规则是系统定义的导出数据量和导出任务数量两个参数进行判断。调度器接收请求后判断客户端业务系统导出数据实际条数和按业务系统分别定义的快通道上限，业务系统导出的数据量大于系统设定的快通道上限走慢通道，反之走快通道。快通道根据执行计数器的奇数和偶数进行选择。

3.2　阶梯补偿

在分布式系统中，一个完整的业务是由多次跨越硬件设备或应用组件，特别是微服务环境中因硬件、网络、依赖服务可靠性等问题，单体应用中版本发布或其它不可控因素导致的问题，以及同一业务在多种



图 4　导出任务监控示意图

网络环境下同时部署等因素，系统产生异常的情形难以避免。

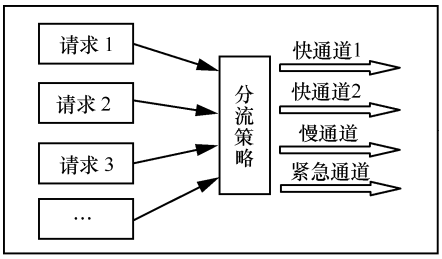


图 5　分流策略示意图

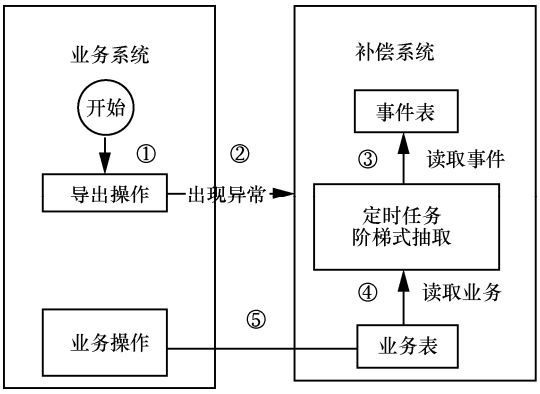


图 6　阶梯补偿系统操作步骤图

导出组件采用增量间隔阶梯式补偿模式。用户点击导出操作时，在每一个步骤的开始和完成添加中间状态，判断中间状态码或中间状态操作存在超时，发现异常情况后每一次的重试间隔时间增量递增。比如，第一次 0 秒、第二次 5 秒、第三次 10 秒这样依次递增。重试间隔公式为：(retryCnt - 1) * incr，其中 retryCnt 为补偿次数，每补偿一次 retryCnt 自增 1，incr 为预先配置的阶梯步长，如示例的 5 单位秒。按公式推算：执行失败次数越多，请求的优先级越低，从而给新进入的请求让出执行空间。

4　客户端使用方法和实验结论

4.1　客户端使用方法

客户端业务系统在定义和配置导出模板文件后，按协议开发自有数据查询回调接口，通过调用导出组件微服务接口和复用页面的方式实现导出完整业务操作。微服务接口主要是导出请求发起接口，导出组件管理台页面进行任务进度跟踪和导出文件下载等操作。客户端业务系统使用导出组/件的一般方法步骤如下：

（1）用户在页面中点击导出按钮，业务系统将用户请求参数按消息体格式要求传递到公用导出服务中。

（2）用户打开导出组件提供的统一的任务监控页面，根据权限范围和设置的查询条件查看各项导出任务进展状态。

（3）导出任务的状态分为： 等待生成、生成中、未下载、已下载、生成失败 5 种状态。点击“进度”按钮查看导出文件生成进度。

（5）点击“下载”按钮，下载导出的文件并将状态改为“已下载”。

4.2　实验结论

导出组件在以下配置环境条件下可稳定运行（复用统一的 PaaS 组件数据库）：

服务器配置：见表 1

表 1　服务器配置

CPU	内存	硬盘	服务器数量
1C	512 MB	300 GB	1 台
2C	4 GB	300 GB	1 台

操作系统：CentOS 7

运行环境：JDK1.8

部署方式：微服务（支持单体部署）

生产环境上线时间一年来，接入了 3 个业务系统，导出请求条目数 5 万以上，有效地解决了多用户超大数据量导出对系统资源占用带来的不良影响。结合运行情况提出生产环境推荐配置：服务端内存 512M，单条记录 10K 左右，在不影响用户使用的用户并发量 50TPS 时，页面展示数量设置在 2 万，可以支持 2 快，1 慢 3 个通道同时运行，此配置下生产环境未出现 4 通道同时请求一个服务的情况。

5　结束语

分布式海量数据导出组件是为了解决在分布式系统中多个大量数据导出请求不影响系统稳定性的一种解决方案。它采用多通道快慢请求分流的方式进行请求消峰的方法处理并发，数据记录分片处理的方法解决内存大量占用问题，阶梯补偿保证导出业务操作一致性。

参考文献：

[1] 张贺, 王忠杰, 陈连平, 等. 面向持续软件工程的微服务架构技术专题前言[J]. 软件学报, 2021, 32(5): 1229-1230.

[2] THÖNES J. Microservices[J]. IEEE Software, 2015, 32(1): 116.

[3] 黄文毅. 分布式微服务架构: 原理与实战[M]. 北京: 清华大学出

版社, 2019: 10-51.
[4] 克里斯·理查森, Chris, Richardson. 微服务架构设计模式[M]. 北京: 机械工业出版社, 2019.
[5] 郑晓健. 微服务架构的分布式共享打印系统设计[J]. 计算机时代, 2021(6): 36-39.
[6] 曾琪. 基于 ASP.NET 的导出组件研究[J]. 现代工业经济和信息化, 2015, 5(17): 83-84.
[7] 刘振声. 海量数据导出 Excel 的方法与实现[J]. 计算机与现代化, 2010(2): 130-132.
[8] 谢巍. 通用数据导入导出系统的组件实现[D]. 长春: 吉林大学, 2002.
[9] 王洋. 复杂 Excel 文件自动解析及数据导出工具的设计与实现[D]. 北京: 北京大学, 2013.
[10] 秦玉兰. 基于 HIVE 的海量数据报表服务系统的设计与实现[D]. 北京: 北京邮电大学, 2014.
[11] 卢鹏, 芦立华. 基于云计算技术的分布式网络海量数据处理系统设计[J]. 现代电子技术, 2020, 43(18): 36-39.
[12] 秦东霞, 周航. 基于分布式系统的海量数据存储技术[J]. 周口师范学院学报, 2013, 30(5): 125-128.
[13] 邓苗. XML 数据的分布式并发控制机制研究[D]. 长沙: 中南大学, 2013.
[14] 牟帅. 分布式事务并发控制关键技术研究[D]. 北京: 清华大学, 2015.
[15] 王宇. 产业链协同 SaaS 平台数据分片及下载服务系统设计与实现[D]. 成都: 西南交通大学, 2014.

分布式应用微服务下系统灰度发布设计与实现

陈辉，戚文君，厉文婕
（江苏方天电力技术有限公司，江苏 南京 211100）

摘　要：信息系统版本的发布会对系统的正常运行造成一定风险。基于信息系统微服务架构，研究在不同灰度等级下，根据企业级分布式应用服务（enterprise distributed application service, EDAS）灰度等级表开展信息系统的委托管理，并结合系统的开发、配置、监测、运行维护等不同需求，提供全方位式解决方案，有效提升微服务架构下平台核心计算能力，实现系统在线发布、无损失退回，降低系统发布风险，提升系统服务质量。

关键词：信息系统；灰度发布；EDAS

1　引言

信息系统通过版本迭代更新与发布修复系统bug、优化系统功能、提升服务质量，传统滚动发布形式业务支持变难、系统更新长时间停止、运行风险高的问题日趋凸显，数据群日益庞大，对系统的监督管理造成了困扰。

相反，微软 Windows 系统灰度更新发布的优势则备受青睐。灰度是指纯白、纯黑及两者中的一系列黑到白的过渡色，灰度等级发布被用于系统服务，保障了新旧版本之间的平滑过渡，有效地控制了在线风险，实现系统无感升级。与微软相比，国内很多大型企业的服务平台也采用了系统灰度发布，如阿里巴巴集团的淘宝、腾讯公司的微信等[1]。

基于信息系统总体规划与设计，强化系统对业务的支撑、提升系统利用率，改进现有的系统发布模式，提高系统的运营和维护能力、实时监控能力，开展基于企业水平分布式应用服务的系统灰度发布设计是十分紧迫且必要的[2-4]。

2　灰度发布概述

2.1　灰度发布含义

灰度发布也叫做金丝雀发布[5]。启动发布灰度等级后，首先启动新版本的应用程序，但并非直接切断流量，而是测试人员在线测试新版本，启动这个新版本的应用叫金丝雀。如无问题，将少量用户流量导入新版本，观察新版本的运行状态，收集信息系统运行时的数据，与旧版本运行时的数据进行对比，就是所谓的 A/B 测试[6-10]。

在确认新版本的运行状态良好后，便可将更多的流量导入新版本，在这期间产生的承受新版本的流量压力可以通过动态化调整新版本运行服务器的副本数量来解压。在将 100%的流量切换到新版本之前，关闭剩余的旧服务，即可完成灰度释放[11-12]。

在灰度释放过程（灰度周期）中，发现新版本有问题时，应立即将流量恢复到旧版本，从而将系统版本升级造成的负面影响降至最低[13]。灰度发布后新旧数据切换如图 1 所示。

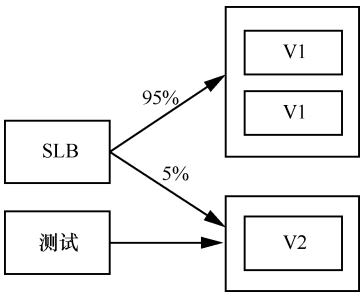


图 1　灰度发布后新旧数据切换

2.2　灰度发布含义

目前，信息系统生产环境应用发布采取单批发布（滚动发布），所谓滚动发布即在系统升级过程中，并非一次性启用全部新版本，而是用新版本逐台替换旧版本：先启动一台新版本，再停用一台旧版本，再启动一台新版本，再停止一台旧版本，直到所有旧版本全部升级完成[14]。

系统在开始滚动升级后，流程将直接流入已经启动的新的版本。此时，新版本能否完全使用，还需要进行进一步的测试。如果在升级期间出现问题，很难确认是源于新版本还是旧版本。滚动发布如图 2 所示。

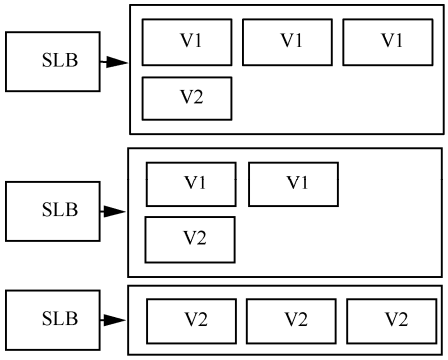


图 2　滚动发布

为了解决上述问题，需要提升滚动升级的流量控制能力来判断问题或故障来源。部分用户或流量先进入新版本，对新版本进行进一步测试，在新版本测试没有问题时，再将所有版本升级为最新版本，让所有用户使用新版本[15]。

3　灰度发布设计

企业级分布式应用服务（enterprise distributed application service，EDAS）是阿里云提出的企业级分布式应用服务，企业和开发者可通过 EDAS 托管应用，EDAS 同时也提供了应用开发、配置、监视、运行维护等全方位解决方案。

3.1　基于 EDAS 内部的灰度发布

当新版本在生产环境上线应用时，考虑用户对新版本的接受程度，从产品的稳定性来看，将旧版本的应用程序直接升级为新版本存在很大风险。为了避免系统升级带来的风险，一般采取的方法是让新旧版本双轨同步运行，并且将少量流量切换到新版本。在确认新版本没有问题后，再将流量逐步批量切换到新版本。该过程的核心是可以根据需求配置业务的流入传输规则，EDAS 的灰度发布能力可以满足多个版本同时在线，并且能够灵活提供适用于不同版本的流量分配配置规则。

在灰度环境中，能够根据规则条件控制某些流量进入灰度环境的应用实例，相当于在流程上加了灰度标记。同时，用户还可以判断具体应用的具体例子是否属于灰度环境，相当于在应用实例上进行了灰度标记。

3.2　灰度发布限制的微服务

以电网企业某一信息系统为例，该系统目前有 281 个微服务。其中，业务中台 236 个，数据中台 45 个。分析业务中台的微服务是否可以进行 EDAS 的灰度发布，同时，暂时不考虑连接到数据中台及外部系统的微服务。

3.2.1　涉及 Redis、MQ、SchedulerX、OTS 的服务

基于 EDAS 的灰度发布中，所有的外部组件，如 Redis、MQ、SchedulerX、OTS 等，共用一套。而在灰度发布期间，无法保证 2 个不同版本的微服务对这些组件不产生影响。因此，所有涉及这个核心外部组件的微服务不建议采取灰度发布。

全局事务服务（global transaction service，GTS）是一款高性能、高可靠、接入简单的分布式事务中间件，主要用于解决分布式系统数据一致性的问题。而分布式系统，即多个子业务或者服务完成同一个服务，类似灰度上不同版本处理同一个事物。当两个版本处理同一条数据出现差异时，由 GTS 对事物进行回滚，保证了数据的一致性，因此，涉及 GTS 的微服务进行灰度后将不会有影响。

3.2.2　基础平台及核心算费的微服务

提供基础平台的微服务，如数据、工单、消息等，与业务逻辑关系不大，并且该类应用的版本具有兼容上一个版本的特性，只需最新版本就行。

3.2.3　具备 HPA 弹性扩缩的微服务

基于 EDAS 的灰度发布与 HPA、Rancher、Istio 或依赖 Deployment.Metadata.Name 、Deployment.Metadata.Uid 等 K8s 原生功能存在冲突。而当前信息系统中有 8 个微服务设置了 HPA，对这些微服务不能进行灰度发布，否则，应用部署之后这些 K8s 的原生功能或配置将出现异常。

3.2.4　灰度发布的限制原则

首先，与外部系统连接的服务，如业务链接平台、物联等，不进行灰度；其次，涉及 MQ、SchedulerX、OTS 外部组件的微服务不灰度；然后，所有数据微服务及提供基础平台的微服务不灰度。

再者，设置了 HPA 弹性扩缩的微服务不灰度；最终，考虑涉及 Redis 是否都不支持灰度。

3.3　灰度精准引流

通过给请求地址加上特定参数，实现指定流量访问灰度微服务应用。

1）在 EDAS 微服务发布的时候，选择灰度发布

按提示设置需要灰度发布的版本。

2）对发布批次进行设置，设置发布灰度批次，首批进行灰度的 pod 实例个数为正常实例个数的一半，分批处理。

3）设置流量灰度规则，根据流量内容选择灰度，满足条件的流量可以进入灰度环境。协议模式选择 springcloud，条件模式设置参数类型是 parameter。将客户要求参数的 version 值为 grey 的流量转移到灰度环境。

4）修改要进入灰度环境的客户地址请求 url，在地址后面加入参数 version=grey。

5)验证客户访问的功能是否是灰度环境的新版本环境。

3.4 配置网关服务

在该信息系统生产环境中，没用 cookie 参数，同时 EDAS 的 header 和 parameter 配置参数无法实现根据客户端的 IP 地址或者用户 ID 进入灰度环境。但是，可以结合配置 emss-scp-gateway 网关微服务的 header 参数，筛选特定条件（如 IP 地址、地址段或者用户 ID），根据条件给该流量打上灰度标签，使用链路传递的特性使该流量能够流向下游灰度的应用，从而实现特定 IP 或者用户 ID 进入灰度环境。

该方法需要研发对网关微服务 emss-scp-gateway 的代码进行修改，加入对指定 IP 或者 ID 的判断筛选的流程。

4 实施部署

该灰度发布的实施步骤如下。

（1）登录控制台。

（2）在导航栏单击应用程序列表，在顶部菜单栏选择区域，在页面选择服务空间。

（3）从应用程序列表页面的簇类型放弃列表中选择容器服务/Serverless K8s 集群，单击目标应用程序名称。

（4）在综合页选择对齐方式。

（5）选择展开模式页面，点击金丝雀发布（灰度）区域右上角开始展开。

（6）在灰度公开页面上设置新版本的应用程序的配置参数、策略、灰度规则，单击并决定。

1）设置部署参数

部署参数见表 1。

2） 在发布策略区域配置发布策略参数

发布策略参数见表 2。

3） 设置灰度规则按内容灰度：单击创建新的入口流量规则，设置入口流量规则。

按内容灰度参数见表 3。

5 结束语

本文指出现有服务系统的业务支撑难、数据共享难、平台扩展难等问题，并针对这些问题提出了服务系

表 1 部署参数

参数	描述
配置镜像（仅适用于镜像部署的应用）	镜像不可更改，只能更新镜像版本。
应用程序运行环境（JAR 包装和 WAR 包装适用的应用程序）需要与上次的配置一致	需要和上一次部署保持一致。 JAR 软件包的配置：应用程序运行环境是标准 Java 应用程序执行环境，无法变更。 WAR 包装配置：应用程序运行环境为 Apache Tomcat，类型无法变更。如果需要的话，可以改变版本。
Java 环境（适用于 JAR 包和 WAR 包的配置的应用程序）	根据需要从列表中选择。
当前环境	显示了当前应用程序的运行环境。只有 JAR 包和 WAR 包配置的应用程序，表示当前应用程序的执行环境。EDAS 将自动将应用程序的 Java 环境和应用程序执行环境升级为最新版本。
文件上传方式（适用于 JAR 包和 WAR 包的展开应用）	扩展包类型（WAR 包或 JAR 包）需要与上次的配置一致，无法更改，上传方法是根据实际需求上传扩展包（上传 JAR 包或上传 WAR 包），或者输入部署的分组地址（JAR 分组地址或 WAR 分组地址）两种方法。
版本（适用于 JAR 包和 WAR 包的开发的应用程序）	可以使用时间戳作为版本号。
时区（适用于 JAR 包和 WAR 包的配置的应用程序）	根据实际需要从列表中选择。

表 2　发布策略参数

参数	说明
第一批灰度数量	第一批发布的应用实例数量，右侧显示应用程序的当前实例数，为了保证应用程序的稳定性，灰度深度不能超过应用实例总数的 50%。 说明：灰度分组发布后，必须手动开始剩余分批发布。
剩余批次	首批发布后，剩余的应用实例按照此处设定的批次完成分批发布。
分批间处理方式	支持以下处理方式。 自动：根据间隔自动分配分批发布，间隔即剩余批次间的发布时间间隔，单位为 min。 手动：手动触发下一个批次的发布。 说明：仅当剩余批次大于 1 时，才会显示分批间处理方式。
批次内部署间隔	每一批次内，如果应用实例数大于 1，则应用实例会按此时间间隔部署，单位为 s。

表 3　按内容灰度参数

参数	描述
协议类型	包含 Spring Cloud 和 Dubbo，按应用实际情况选择。Spring Cloud：需要设置 path。Dubbo：需要选择服务和方法。
条件模式	包含同时满足下列条件和满足下列任一条件。
条件列表	Spring Cloud 和 Dubbo 协议的条件有所不同，包含 cookie、header 和 parameter 3 种方式，根据实际需求选择。Spring Cloud：包含 cookie、header 和 parameter 3 种方式，根据实际需求设置。Dubbo：根据应用实际的参数、参数值获取表达式设置。

统基于 EDAS 灰度发布的解决方法，通过详细的技术分析与实施部署，有效提升系统版本发布过程中的客户体验度，并阐述了部分微服务不可灰度发布的原因。下一步，将在不断地测试及客户的反馈中，确定迭代发布版本，给用户提供更好的使用体验和服务品质。

参考文献：

[1] 张攀, 胡威, 毛一凡. 信息系统灰度发布与研究[J]. 科研, 2016, 15(12): 303-304.

[2] 李林锋. 分布式服务框架原理与实践[M]. 北京: 电子工业出版社, 2016: 33-41.

[3] 潘杨. 一种灰度发布方法和装置: CN105653440A[P]. 2014: 11-17.

[4] 赵玉伟, 赵小雨, 乔木. 缓存技术在 B/S 架构信息系统中的应用[J]. 计算机工程, 2008, 34(1): 233-235.

[5] GLENN J M, GALEY M, EDWARDS A, et al. Validity and reliability of the abdominal test and evaluation systems tool (ABTEST) to accurately measure abdominal force[J]. Journal of Science and Medicine in Sport, 2015, 18(4): 457-462.

[6] VERÍSSIMO P, RODRIGUES L. Distributed systems for system architects[M]. Boston, MA: Springer US, 2001.

[7] 田世明, 栾文鹏, 张东霞, 等. 能源互联网技术形态与关键技术[J]. 中国电机工程学报, 2015, 35(14): 3482-3494.

[8] 王英瑞, 曾博, 郭经, 等. 电–热–气综合能源系统多能流计算方法[J]. 电网技术, 2016, 40(10): 2942-2951.

[9] 曾鸣, 杨雍琦, 刘敦楠, 等. 能源互联网“源–网–荷–储”协调优化运营模式及关键技术[J]. 电网技术, 2016, 40(1): 114-124

[10] 任韵. 移动电子渠道灰度发布系统的设计与实现[D]. 长沙: 湖南大学, 2017: 7-15.

[11] 胡树. 基于云计算平台的应用环境自动部署技术研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2013.

[12] 赵佳, 赵铭, 李昌华. 分级网格服务的 Apache ab 测试分析[J]. 电子设计工程, 2009, 17(3): 22-24.

[13] 贾磊, 阳旺, 王昭阳, 等. 基于位置信息的流式移动应用推送系统的研究[J]. 计算机工程与科学, 2016, 38(2): 284-289.

[14] 白琳, 魏峻, 黄翔, 等. 一种面向移动应用的探索式服务组合方法[J]. 软件学报, 2015, 26(9): 2191-2211.

[15] 熊伟. 混合型移动应用开发框架的设计与实现[D]. 南京: 东南大学, 2016: 9-18.

风力发电设备发热隐患诊断及叶片劣化预警系统

张华
（中广核新能源投资（深圳）有限公司新疆分公司，新疆 乌鲁木齐 830000）

摘　要：风力发电机组运行时，在载荷激励的作用下产生噪声，当其叶片发生故障时，激励发生变化，从而使设备的振动状态发生变化。基于此，提出了一种风力发电设备发热隐患诊断及叶片劣化预警系统，通过声音传感器测量风力发电机组的声强度信号，通过信号分析、时间序列分析对振动监测数据进行特征挖掘和建模，提取反映风力发电机组的特征指标信息，最终形成各类功能指标，从而实现对故障的自动诊断和预测，并通过可视化应用进行展示和人机交互。

关键词：风力发电机；叶片劣化预警；数据挖掘

1　引言

2020 年是行业最特殊的一年，风电行业正值抢装，走向成熟，迎接平价的一年。同样地，2020 年风电行业安全事故频发，有因抢装而发生的吊车事故，有因施工措施不规范发生的事故，有风机着火事故，也有飞车、倒塔事故，每一起都牵动着千万风电人的心。

随着风力发电机组长期运行，风力发电机组运行隐患逐渐暴露，由于缺乏必要的监测和保护手段，导致故障破坏链扩大，甚至递延至叶片折断、脱落、主轴断裂、风力发电机组倒塌、风力发电机机舱失火等恶性事故。据统计，风动发电机停机故障包括叶片、发电机、变速箱等接触不良或短路导致的温度过高发热，进而引发火花。其中，叶片由于长期运行在严酷的自然环境中，承受各种复杂作用力，其故障停机时间占比高达 34%，其表面损伤主要包括表面磨蚀、表面裂纹等。根据西方国家统计，随着风电机组运转时间的增加，设备维护次数也会增加，各类费用将同步上升。因此，风电机组的维护检修水平对于风电企业长期效益具有重要作用，通过对影响风力发电机组安全运行的关键因素进行监测、分析、预判，使运维人员安排合理的维修计划，防止由于零部件故障失效造成的设备事故。

传统的阈值管理采用单点阈值报警的方式对设备进行健康管理，运行人员对于风力发电机组的运维往往通过在线监测数据进行监视和分析。然而设备出现潜在故障时，往往前期健康指标的期望值正在缓慢上升或下降，随着接入设备和测点的增多、监控覆盖的完善，监控数据量越来越大，运维人员无法从海量监控数据发现设备异常问题。此外，虽然风电机组叶片状态监测已经有振动、声发射等技术，但是都需要采用安装接触，导致这些产品难以实际运行。风力发电机组出现机械故障时，其振动特性或部分频段内的振动能量将发生改变，常伴随异常声音。因此，风力发电机组的不同位置所测取的声音信号包含着丰富的信息，具有丰富经验的工程师也通常根据现场的异常声音判断故障。本文提出了一种风力发电设备发热隐患诊断及叶片劣化预警系统，可以在未出现故障之前对设备进行预警判断，提高团队对风机的整体维护、管控水平，实现风电场的安全与效益同步提升。

2　系统功能

风力发电设备发热隐患可视化预警系统涉及机械动力学、红外温度热像分析技术、温度图像生成技术、信号分析大数据与人工智能等多个领域的技术。

2.1　风电机组的可视化隐患诊断

能够在线监测风电场内各风电机组含机舱及箱变等重点部位的发热情况，判断主轴刹车劣化性能，自动预警诊断不安全状态及存在隐患，能实时采集并捕捉监测部位温度进行在线或离线分析，智能跟踪每个监测部位的安全状态并进行动态分析，准确预警与故障诊断。

2.2 升压站的可视化热像安全诊断

能够在线监测升压站内集电线路、SVG 就地补偿、主变及输电电缆等重点部位的发热与温升情况，自动预警诊断不安全状态及存在隐患，能实时采集并捕捉到监测部位温度进行在线或离线分析，智能跟踪每个监测部位的安全状态并进行动态分析，准确预警与故障诊断。

2.3 风机叶片劣化预警

对风力发电机组叶片劣化分析结果进行自定义格式的统计展示，生成风力发电机组叶片声学劣化预警报告，并支持以 Word、PDF 格式导出数据并在线打印。

2.4 后台功能

系统软件提供良好的人机界面，在本软件平台上可以方便地进行数据存储、实时监控、智能分析、输出温度预警/超限警讯、历史记录和曲线等，为设备安全管理提供了强有力的管控工具。

3 系统建设原则

在建设原则上，应秉持开放性、兼容性、安全性 3 个原则。

（1）开放性

本系统以边缘计算为核心架构，系统各个模块可以灵活变更和扩展，同时可以通过与其他业务系统相互调用，相关测点、阈值可以灵活配置。系统应采用模块化编程思想，每一功能以功能块的形式实现。后期其他机组接入时只需改变输入输出数据即可实现相关功能。系统具备跨平台移植的能力，所有功能模块应可以方便移植。

（2）兼容性

本系统支持用户和第三方应用软件程序的二次开发，保证能和其他系统互联和集成一体，或者方便地实现与其他系统间的接口。监测分析的原始数据和中间结果可以以数据服务的方式与风电场其他系统无缝集成，可以将采集数据以大数据标准格式汇入风电厂集控系统。

（3）安全性

系统安全性包括系统安全、网络安全和数据安全 3 类。系统安全采用分布式部署，保证系统能够在宕机、进程堵塞情况下也能稳定运行。网络安全即系统遵守国家能源局、电监会、风电专业相关的网络安全管控要求，无安全漏洞。数据安全即系统支持对数据的访问设置权限控制，支持数据备份和故障恢复等功能。

4 系统总体设计

风力发电设备发热隐患诊断及叶片劣化预警系统的总体架构如图 1 所示，主要包括 3 个部分。系统采

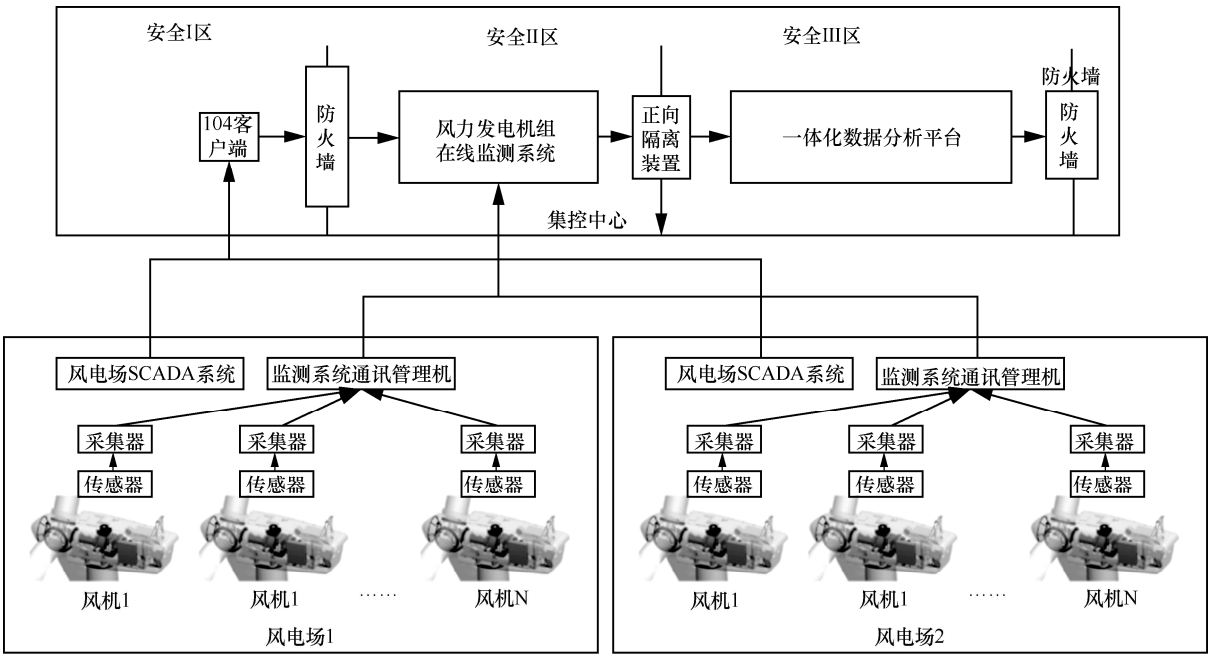


图 1 风力发电设备发热隐患诊断及叶片劣化预警系统的总体架构

用典型“云—管—边—端”工业互联网架构模式，实现监测数据的汇集和算法模型的部署。

（1）数据获取

通过对应的红外矩阵装置、声学监测装置获取的矩阵温度和声音数据，并通过边缘计算获取相应的特征数据，通过工业网关将数据汇集到监测系统，通信到 III 区进行集控中心汇集，进行数据的汇集和管理。

（2）特征工程

隐患诊断和劣化分析需要分析不同海量数据与机组健康程度的相关关系，并建立健康样本库，通过机器学习算法，分析各个样本之间的相似度规律，完成特征训练，并部署在现场服务器中，结合实际运行数据计算设备隐患及劣化性能指标。

（3）多维时间序列建模

由于风力发电机组往往在不同的风速和出力下运行，不同工况的性能指标无法对应判定，需要综合“风速—出力—指标量（如温度、声音特征）”等多维数据，并带入神经网络进行多维时间序列建模，并分析对比多维时间序列的变化，以进行性能对比分析。

（4）隐患及劣化预测，通过性能指标的多维时间序列模型的各个时期的历史数据，并结合这些历史数据，对未来机组的设备情况进行分析，分析设备在该工况下未来的劣化情况，从而得到机组未来的健康状态，指导机组状态检修。

5 系统关键模块及设计

风力发电设备发热隐患诊断及叶片劣化预警系统是一个典型的工业大数据分析系统，由数据采集层、数据清洗和存储层、算法模型层和应用展示层四大子系统组成，部署在风电发电集控中心。

5.1 数据采集层

数据采集层是部署支持边缘计算的嵌入式工业网关，用于实时数据的采集、汇聚、存储、共享、发布等各项功能。该数据平台采用微服务架构设计，主要功能和技术特点如下。

（1）支持 OPC-UA、Modbus、RS-485 等协议的自动协议，采用无风扇架构设计集 GPRS、4G 网络、广域网、局域网、Wi-Fi 等多种通信方式，可选 NB-IoT 传输方式，支持有线和无线互为备份，支持多中心通信，可同时与多个后台服务器进行通信。

（2）丰富的采集控制端口满足各种传感器的采集和控制，支持工业路由器功能，实现 2 路局域网接入和环保视频数据的采集和上传。

（3）强大的存储和外扩存储功能，可保存较长历史数据，掉电不丢失数据。

5.2 数据清洗和存储层

数据清洗和存储层是部署嵌入式边缘计算的一体化服务器，用于实现风力发电机组实时数据的采集、汇聚、存储、共享、发布等各项功能。该数据平台采用微服务架构设计，主要功能和技术特点如下。

（1）以主流 InfluxDB 时序数据库为核心构建数据汇集平台，多个客户端同时并发情况下，写入速度远远高于 Cassandra、ClickHouse 等数据库。同时随着数据库记录上涨，写入性能始终稳定，写入时延在亚秒级，为劣化分析提供可靠数据来源。其性能测试对比如图 2 所示。

（2）编码管理与服务，通过工具对所有数据进行风电厂设备编码绑定，通过编码管理和使用数据，管理平台具备三级权限，最高权限具备编码增加、删除、修改、查看、导出等功能，二级权限具备修改、查看、



图 2　性能测试对比

导出等功能，三级权限仅具有查看、导出功能。用户权限使用用户名与密码进行区分登录。

（3）数据应用服务，为外部应用程序提供标准统一的数据访问接口。

（4）数据库同步接口，采用增量同步的方式，将源数据库数据同步存储到数据平台的功能接口。

（5）数据库访问接口，将源数据库当作外挂数据库，直接访问读取，不进行数据库转存。

（6）数据通信接口，从智能数据终端读取并存储数据的接口，包括各种工业标准通信协议。

5.3 算法模型层

算法模型层完成数据的加工和处理，并在线加工计算各种隐患、劣化分析模型，是人工智能算法的计算部件，功能特点如下。

（1）各算法模块采用微服务架构，可以将一个个算法作为“App”来进行分析和运行，各个“算法模块”可以相互独立、自由升级，不影响其他模块。

（2）各种算法模块对集成的各种监测参数进行在线算法加工和处理，形成各种中间计算量，特征指标、故障指标、性能曲线或曲面等供应用程序展示和交互。

（3）各个分析指标提供趋势分析、阈值管理和运行维护决策信息管理功能，通过内置的故障树算法，可以自由组态对应的算法和测点，实现系统开放和扩展性。

计算结果汇总存入统一数据平台，进行数据共享功能，供应用程序使用。

5.4 应用展示层

应用展示层通过交互可视化的数据分析与展示平台，可以接入不同数据源，根据分析场景，快速地搭建数据指标分析仪表板。其功能特性如下。

（1）通过自定义仪表板对风力发电机组进行指标预警和劣化趋势分析，支持常用的分析图表控件，包括折线图、柱图、散点图、饼图、表格等。支持专业图表分析控件，包括波形分析、多维时间序列分析等，提供基于 HTTP 的接口 API，与具体程序语言无关，提供基于组织、用户、角色的权限管理，权限可细分到仪表盘控件。可接入使用现有权限管理系统，如 LDAP，甚至是企业内部的权限管理系统。

（2）支持自定义报告，可以将各个分析指标形成 Word、PDF 等通用格式的报告浏览并打印，并提供如日、月、年等不同时间周期的指标对比分析。

6 系统的实现

6.1 监测站配置

针对风电机组、集电变压器或升压站监测需要而设计的现场采集单元及边缘计算处理器，即监测站（采集箱），应满足体积小巧、重量轻，可方便地安装在机舱内部，负责采集和调理现场传感器采集的信号，并进行数据通信。系统是全集成结构，具备以太网、无线等通信方式，能适应不同的工业现场。叶片噪声任意两通道同步采集，必要时，最大可实现 4 通道的同步采集。系统采用模块化设计，每个采集箱的最大配置可达 16 路噪声（振动）通道、8 路温度矩阵、2 路转速量，可对每台设备进行全面的监测。风力发电机组劣化分析预警系统架构如图 3 所示。

6.2 风力发电设备发热隐患诊断及叶片劣化预警系统软件

本系统的核心是劣化分析模型的建立和 App 应用开发，风力发电机组劣化分析预警是典型的工业大数据应用，需要经过数据获取、特征工程、异常检测与多维时间序列与劣化预测等步骤，如图 4 所示。

声学劣化预警的主要流程如图 5 所示。通过声音传感器测量风力发电机组的声强度信号，经数据采集装置处理后形成数字量，存入实时数据库并实现共享，通过信号分析、时间序列分析、关联分析、动力学分析对振动监测数据进行特征挖掘和建模，提取反映风力发电机组的特征指标信息，最终形成各类功能指标，从而实现对故障的自动诊断和预测，并通过可视化应用进行展示和人机交互。

6.2.1 声学指标

正常叶片在运转过程中发出周期性的声音，但当表面出现裂纹、腐蚀等损伤时，气流经过壳体表面凸起，在摩擦振动时将会发出尖锐的啸叫声，不同的损伤类型和位置，其引起的啸叫声也有所区别。这种声学特征是表面损伤的伴生现象，因此可以通过声信号分析检测的方法，实现对运转状态下风电机组叶片表面损伤的实时诊断。

通过在叶片以非接触式部署空气声呐系统实现对环境声音的连续采集与实时分析，并将提取的声音特征分量进行可视化展示，如常见的声纹图、分贝、主频、短时能量、过零率和相关性等参数，检测工程师可以通过某些定量的特征参数判断设备环境噪声现场可能发生的变化，如噪声分贝是否超标，设备的主频

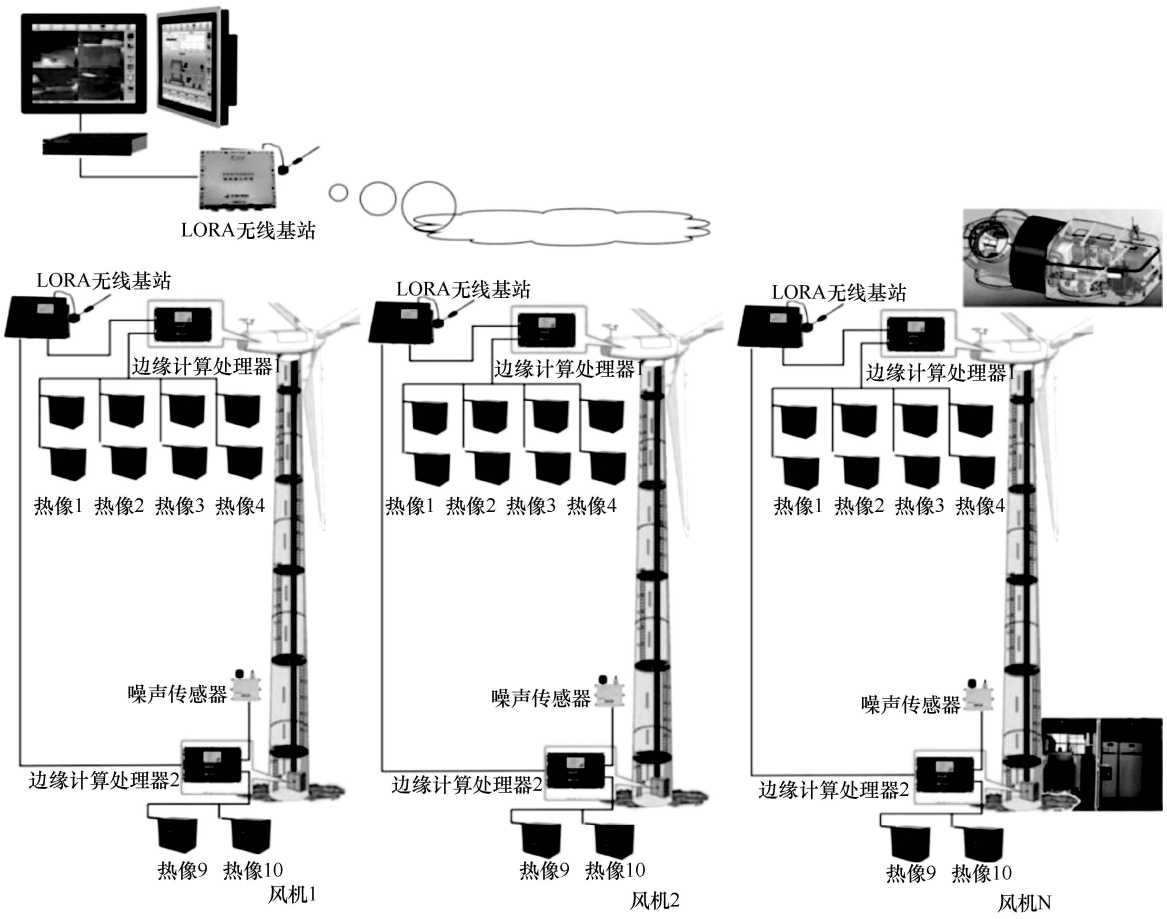


图 3　风力发电机组劣化分析预警系统架构

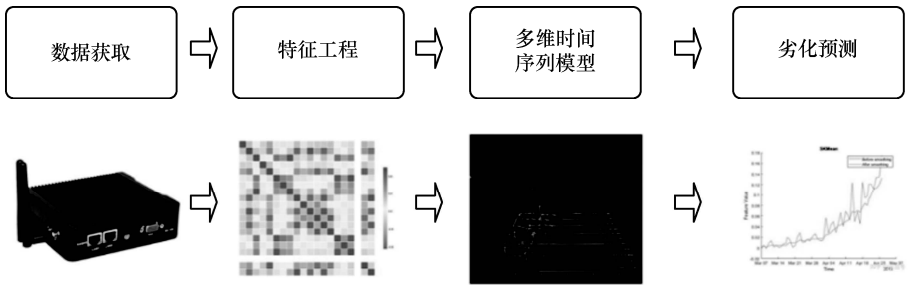


图 4　风力发电机组劣化分析预警步骤

是否发生偏移等问题。

（1）时域特征

时域特征是通过采集声学的一维波形，结合工况数据，计算波形的峭度、偏度、幅值和峰值等特征指标，联合波形的一维卷积特征带入 Auto-Encoder 深度学习网络进行特征提取，得到样本与训练模型的欧氏距离作为特征。

（2）频域特征

频域特征是通过傅里叶变换算法，分析叶片声音在转频、叶片通频、高频等部位的能量变化，结合工况数据，得到特征频带的能量作为特征进行分析。

（3）时频图特征

频域特征是通过把周期性的声音转为“时频图”的声音图像，结合最新深度学习网络，模拟“人眼”视觉观察声音图像的变化情况，通过人工视觉观察图像是否存在明显的分量变化，结合工况数据，得到深度学习的输出特征作为权重。

6.2.2　特征工程

劣化预警应用采用三大类特征来对风力发电机组叶片的劣化进行特征提取。

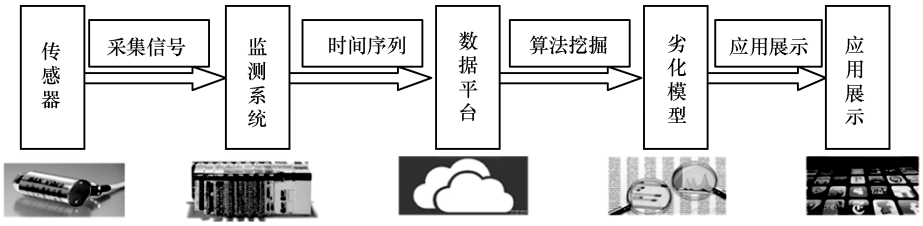


图 5　声学劣化预警的主要流程

（1）统计特征

系统自动统计风力发电机组设备声学幅值的最大值、最小值、均值、中位数、平方和、重复值、方差、偏度、峰度、同比、环比、周期性、自相关系数、变异系数等统计特征。

（2）拟合特征

系统自动统计风力发电机组叶片声音特征在一定时间周期的时间序列拟合特征，如滑动平均系数、指数平均系数、二次及三次平均系数来分析风力发电机组特征的变化趋势。

（3）分类特征，系统自动计算熵值特征、小波特征来分析整体系统的周期性分类特征。

6.2.3　多维时间序列分析

设备都有自己的状态，随着使用时间的增加，轴承会出现润滑状况下降、轴承的磨损程度增加、性能降低等情况。设备运行过程中，会发出一些可以检测到的信号，如温度、振动等，在设备状态出现劣化后，这些信号会发生一些明显的改变，如温度升高、振动速度加快等。

然而仅仅知道设备状态临界值还不够完善，因为在设备状态劣化时，随着使用时间的增加，设备不断劣化，但其状态数据还没有达到设备差状态临界值，换句话说，还没有达到一级报警状态，但是其状态劣化幅度却很大。对处于这种状态的设备，需要引入设备的时间序列趋势分析，判断设备是否需要加入到预防性维修计划中。如图 6 所示，在设备趋势变化中主要分为 3 种情况。

（1）缓变劣化

缓变劣化主要为磨损，幅值特征频率缓慢上升等，可以采用最小二乘、指数回归进行分析。

（2）突变劣化

突变劣化主要为冲击，表现为叶片声音幅值突然上升等。

（3）不规则形态变化

主要表现为趋势有规则的变化。

由于在不同运行的工况下，风力发电机组叶片特征指标往往差别较大，因此需要对运行工况进行网格离散化处理，对风速和出力进行间隔划分，在网格离散化后，经过统计计算得到的各个网格内稳定性状态数据的期望与标准差，可以计算出各个网格中稳定性

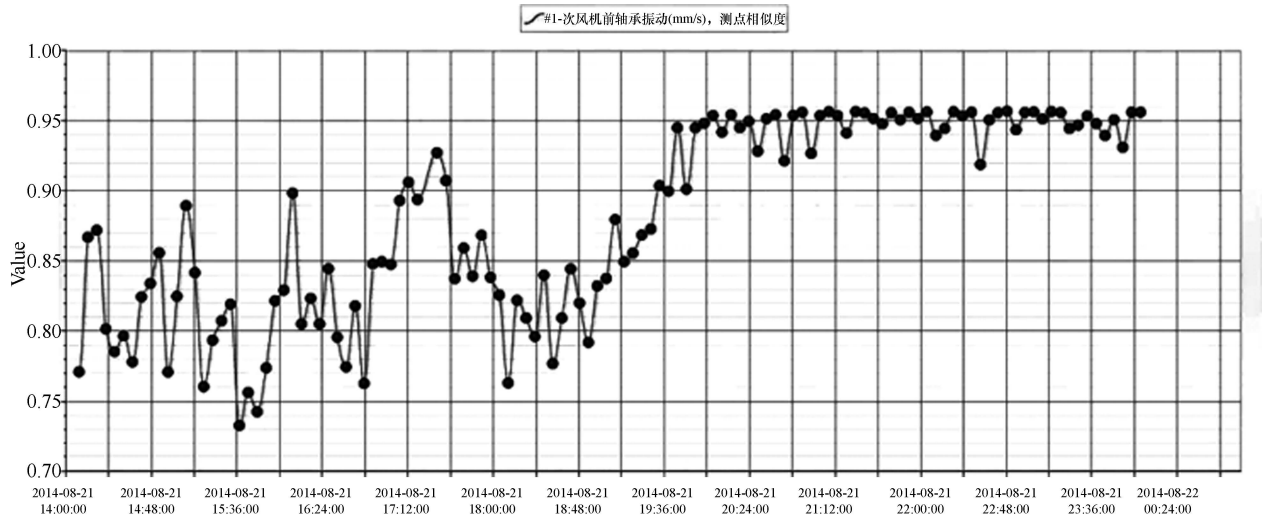


图 6　设备趋势变化

状态的阈值，当风速和有功的运行范围较大时，网格阈值相对于固定阈值更能够进行可靠的报警。在工程实际应用中，样本数据量越大，网格划分得越精细，阈值也就越精确，最终得到的报警结果也就越可靠。

如图 7 所示，在网格离散化后，需要通过神经网络来拟合风力发电机组设备的多维时间序列曲面，根据上一步得到的上下界限值和特征指标，代入深度神经网络，可以拟合得到多维时间序列运行特性曲面，在结合曲面的时间序列来进行劣化分析。

6.2.4 数据挖掘

隐患诊断与劣化预警应用采用自适应无监督异常检测算法对当前健康样本进行建模，当标记了大量健康样本后，采用无监督学习算法，自动对样本进行挖掘和计算，得到性能指标模型。该工作分为两个部分，如图 8 所示，在离线训练阶段，需要得到海量历史数据，从数据平台中对风力发电机组监测数据进行建模，并人工标记健康样本，通过特征工程，得到设备健康状态的典型特征，并结合人工智能算法进行训练。而在在线阶段，系统拿到设备当前的实时状态数据，通过训练阶段得到的大数据分析模型对当前实时的状态数据进行分析，并与健康状态的数据进行对比得到设备的性能指标结果。

通过有限的正样本，实现对正常工作状态下的设备环境噪声特征的训练学习，以实现无监督的异常声音检测功能，当变压器发生明显异常时（包括从未见过的异常），系统可以快速检测到声音信号的偏离并快速预警，如图 9 所示。该算法不依赖大量的声音负样本，仅需少量的正样本即可完成快速部署。在完成系统部署的同时，系统也会不断存储、积累正负数据样本，以便于后期进行人工数据标定与二次训练。

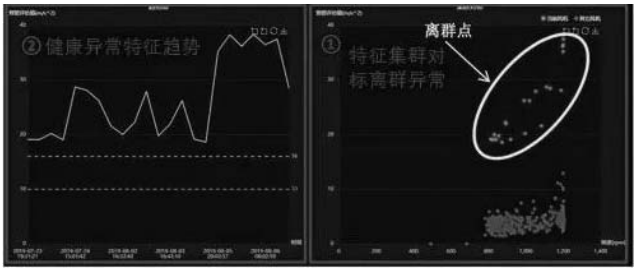


图 9 异常声音检测功能

6.2.5 生产智能报表

电厂生产报表是生产人员每天必须处理的工作，传统的报表形式需要运行和维护人员手动取数录入填写，是一项既耗时又枯燥的统计工作。通过本系统集成设备监测、设备台账等多源数据，可以实现风力发电机组叶片的数据汇集和统计计算，自动生成设备运行报表，“专业、简捷、灵活”地为生产人员设计各

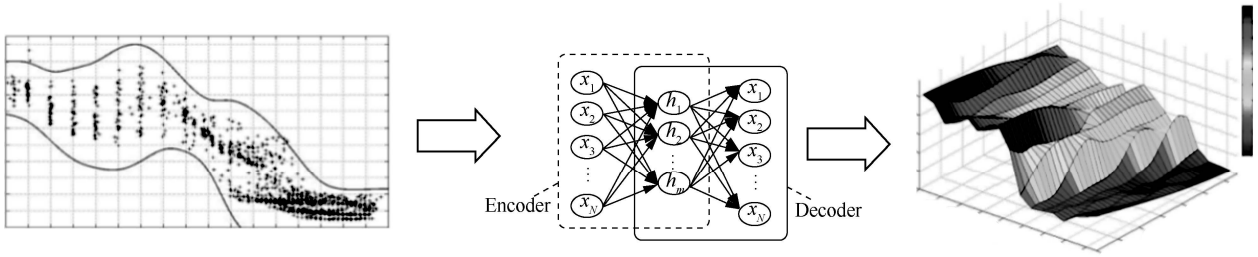


图 7 多维时间序列分析

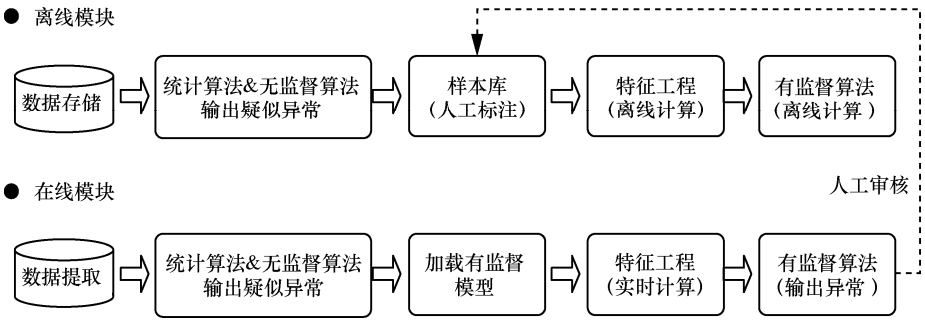


图 8 自适应无监督异常检测算法过程

业务所需的报表。

平台集成帆软报表工具如图 10 所示。通过报表组件提供统一的报表运行环境，提供报表打印、在线预览、报表导出等功能。与系统架构相融合，并无缝集成，满足二次开发要求，能够展现基于登录角色权力和职责的图表和仪表盘信息，并能使用拖拽方式产生各种分析图形和数据分析表格。主要功能包括以下方面。

（1）基于 Java，可通过互联网访问和发布。

（2）可以根据用户需求自定义生成灵活多样的用户报表。

（3）报表支持丰富的可视化元素，如表格、图形、图片、视频、筛选控件等，图形元素涵盖热力图、词云图、流向地图、矩形树图、统计图等多种样式。

（4）报表具备请求操作（操作员请求），可随时提交报表条件和相关选项，可定期产生报表，自动将报表发送到指定领导的邮件收件箱。

（5）界面风格兼容 Excel 风格，能够制作形状极其复杂的报表格式。报表内容可方便地导出导 Excel。

（6）可以基于多种策略定义简单查询、复杂查询、参数查询、存储过程、支持多数据源，可同时访问多数据库。

（7）在报表设计器生成用户报表，实现所见即所得。

报表具有数据挖掘功能，可进行数据分析，系统提供报表计算功能和编辑功能，实现对报表的调度、打印和管理，如图 11 所示。报表的数据来源于实时数据、历史数据、应用数据、人工输入及其他报表输出，报告可以结合风力发电机组各个专业的实际统计数据，进行日、周、月、年或自定义时间的统计报表，同时可以结合如饼图、棒图等进行数据可视化报表的生成。报表格式可以按照电厂业务人员的要求自行定义。



图 10　平台集成帆软报表工具



图 11　数据挖掘功能

7 结束语

风电机组的劣化分析和维护检修对于风电企业具有重要意义。在早期自动挖掘相应的时间序列规律，通过监控系统发现异常，是劣化分析和异常指标的核心。相比于传统监测，本文提出的风电机组叶片声学劣化预警系统具备多源数据集成、故障诊断、劣化分析、维修决策等功能。风力发电机组在线振动监测系统的建设，可以在故障出现之前对设备进行预警判断，如产生预警则进行相应的前期处理。从源头减少设备故障隐患，大量地减少使用和维护费用，节约工业成本，降低风电厂现场巡检强度，支持风力发电机组设备的状态检修，提升电厂企业效能，推动风电厂朝着“数字化、智慧化”的风电厂方向发展。

参考文献：

[1] 刘昊, 代海涛, 黄宜森, 等. 大型风电机组叶片故障声学诊断技术研究[C]//第五届中国风电后市场专题研讨会论文集. 上海:[出版者不详], 2018: 272-276.

[2] 赵娟. 风机叶片健康监测声学特征提取方法研究[D]. 北京: 北京邮电大学, 2018.

[3] 王洪亮, 刘倩. 风电装备故障诊断与健康监测研究综述[J]. 商品与质量, 2020(5): 84.

[4] 吴宏钢. 风力发电机组振动检测及噪声评估研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2010.

[5] 吴国中, 李镇, 宋增禄. 风电叶片在线检测技术研究进展[J]. 南京工业职业技术学院学报, 2018, 18(2): 4-8.

[6] 杜万里, 沈小军, 李睿. 风电机组叶片检测现状与展望[J]. 科技展望, 2015, 25(2): 98-99.

[7] 韩敬宇. 基于声发射技术的风电叶片裂纹无线监测系统研究[D]. 北京: 北京化工大学, 2010.

[8] 谢朝阳. 声发射信号处理方法分析[J]. 中国科技信息, 2009(5): 131-132.

[9] 杨斌, 张卫冬, 张利欣, 等. 基于无线声发射传感器网络的风电叶片损伤监测定位系统: CN102721741A[P]. 2012-10-10.

[10] 董文婷. 基于大数据分析的风电机组健康状态的智能评估及诊断[D]. 上海: 东华大学, 2016.

[11] 刘鑫. 无监督异常检测方法研究及其应用[D]. 成都: 电子科技大学, 2018.

[12] 关健, 刘大昕. 基于主成分分析的无监督异常检测[J]. 计算机研究与发展, 2004, 41(9): 1474-1480.

[13] 邓凯. 叶片裂纹原因分析及处理[J]. 四川电力技术, 1998, 21(S1): 20.

[14] 郑国, 李涛, 牛海峰, 等. 600MW 机组风机叶片断裂分析[J]. 黑龙江电力技术, 1999, 21(2): 40-41.

[15] 赵勇, 韩斌, 房刚利. 风力发电机状态监测与故障诊断技术综述[J]. 热力发电, 2016, 45(10): 1-5.

[16] 杨巍. 风力发电机组故障诊断与预测技术研究综述[J]. 工程建设与设计, 2018(4): 77-78.

[17] 张彦峰. 风力发电机组火灾隐患分析与防范[C]//《风电技术》. 北京:《风电技术》编辑部,2013: 77-80.

服务化在财务信息系统中的应用研究

王晔，孙晓娟
（中国广核集团有限公司信息技术中心，广东 深圳 518000）

摘　要：随着人工智能、物联网、区块链等新兴技术的迅猛发展，财务信息化呈现出智能共享趋势，本文针对传统的IT架构及模式对企业信息化发展存在的通用问题，提出了信息化建设中要采用中台微服务架构及服务化的设计思路，并通过供应商采购付款业务和商旅平台建设两个具体的应用场景说明了该设计思路已在大型企业财务信息系统中成功应用。本文对促进大型企业业财一体化、财务数字化转型有很好的参考借鉴意义。

关键词：财务信息化；IT架构；中台；服务化

1　引言

随着财务共享业务覆盖面越来越广，集团板块化、国际化、产业化的快速拓展，传统的IT架构及模式有如下问题：

（1）缺乏数据的统一性、标准性和扩展性，这使得后期数据的抽取和同步困难，系统间数据集成差造成数据孤岛，各系统数据标准、数据模型的不一致导致使用数据分析时容易出现问题及矛盾。数字化时代也已到来，为满足用户体验的快速提升及多维度的需求，多系统数据链的打通迫在眉睫。

（2）传统信息化系统建设周期长，对前端业务需求变化响应速度相对较慢，用户体验欠佳，无法快速支撑业务的发展及创新。

（3）烟囱式”系统建设，重复功能建设和维护带来重复投资，企业在打通“烟囱式”系统间交互的集成和协作成本高昂，且不利于业务的沉淀和发展，加大了开发和运维成本，且运维和项目的功能无法共享，目前软件实施的“项目制”导致系统无法持续迭代发展，运维保障困难，系统自动化运维程度低，分布式事务的处理得不到有效处理。

（4）IT人员忙于跟踪项目和支持运维，无法沉淀业务，也会对IT引领业务造成瓶颈。

协同应用、系统复杂度、实施成本及集团级应用大规模使用推动了传统应用朝互联网式应用变革，互联网式的新应用即是发展方向，也是现实需求。在此背景下，融合互联网技术架构的中台微服务架构应运而生。通过在前后台之间增加一层中台，打破传统企业IT架构，可实现企业数据资源由“烟囱”式的单体模式向“共享”式的一体化模式转变，国内热议的“中台”概念已经过阿里、腾讯、华为等一批国内创新型企业的充分论证及成功实践。

2　基础概念

为了在大型企业中更好的应用互联网新的技术架构，我们必须先充分理解几个重要的基础概念。

2.1　微服务架构

2014年一位名为马丁.福勒的工程师提出微服务架构设计理念。微服务架构（Microservices Architecture）是一种架构风格（ArchitecturalStyle）和设计模式，提倡将应用分割成一系列微小的服务，每个服务专注于单一业务功能，运行于独立的进程中，服务之间边界清晰，采用轻量级通信机制（如HTTP/REST）相互沟通、配合来实现完整的应用，满足业务和用户的需求，满足去中心化的目标。

2.2　服务化设计思路

为了解决传统财务系统中存在的问题，提升财务共享系统运行水平和效率，财务共享信息系统建设总体应采用高内聚、低耦合、前后端分离的服务化设计思路，并从业务能力聚合的角度对服务进行适度拆分，降低各功能之间的耦合度，提升系统整体的灵活性，弹性伸缩能力，并利用微服务的开发框架，通过API接口访问，服务化应用无状态，通过缓存、消息等集

成技术实现服务间的数据一致性保证。

2.3 业务中台、数据中台、技术中台的定义及关系

业务中台：各系统拆分的服务通过提炼，将公共、通用的业务逻辑和数据进行沉淀形成独立业务服务单元（微服务），一个个业务服务单元构成了业务中台。业务中台的作用是“沉淀、标准、共享”，业务中台承载通用业务，通过将不同系统相同功能的服务聚合起来，统一标准、规范、出口，形成面向未来业务流程的、可复用的标准化组件，实现企业业务的整合，为前端业务提供专业、稳定的业务服务，基于业务中台的应用系统建设，是一个“组装服务”的过程，通过这种整合实现资源与能力共享，支撑新应用与新业务的快速开发与迭代，以满足快速变化的用户需求。数据中台的作用是“连接、整合、服务”。

数据中台：连接各类场景下的数据源作为其生产原料，整合大数据的计算和存储能力形成其生产能力，并通过提供标准的数据服务进一步将数据与应用场景连接起来，通过高效的数据采集、清洗、管理和分析实现数据精细化运营，形成一套让企业可持续利用数据的机制，帮助企业从数据中学习改进、调整方向。

技术中台：其作用是强调资源整合、能力沉淀的平台体系，为技术前台提供底层的技术、数据等资源和能力的支持，技术中台包含一些基础的技术服务，比如文件服务、邮件服务、认证服务、短信服务等。

我们应该充分利用 IT 的业务中台、数据中台、技术中台的能力，在技术中台、数据中台的基础上构建业务中台，并在业务中台的基础上构建前端业务系统，同时业务系统也源源不断的向中台提供更有价值的公共服务供其他系统调用，达到利益最大化。通过业界所调研的公司在中台服务化战略实施两年后，与以前相比能在新项目上降低实施成本（50%）、缩短交付周期（20%），同时还能提升项目交付质量。

3 服务化的拆分原则

服务化设计一般需要从业务和技术两方面同时考虑，服务是逐步沉淀的过程，服务的颗粒度没有标准答案，每个服务需要进行评估决策，适度拆分服务，服务化拆分总体原则一般从以下几个方面进行考虑：

（1）单一服务职责：拆分的服务必须满足高内聚、低耦合来满足各服务间的无缝组合，以便后续可以更好的扩展，并具有可重用性，可扩展性和可维护性原则；

（2）业务驱动服务划分：也就是服务划分的颗粒度问题，服务划分应依赖各业务领域的划分，如是独立的业务活动就建议拆分，如业务关系紧密的不建议拆分，如果关系模糊的谨慎拆分；按照业务领域职责单一性、功能完整性进行拆分，避免过度拆分造成跨微服务的频繁调用。

（3）基于业务变化频率和业务关联拆分，识别系统中的业务需求变动较频繁的功能，考虑业务变更频率与相关度，并对其进行拆分，降低敏态业务功能对稳态业务功能的影响。

（4）基于应用性能拆分，考虑系统非功能性需求，识别系统中性能压力较大的模块，并优先对其进行拆分，提升整体性能，缩小潜在性能瓶颈模块的影响范围。

（5）基于不同功能的技术和架构异构以及系统复杂度进行拆分。

（6）进程间服务无状态：服务间功能不依赖共享数据，只要传递相同的参数，该服务就能以相同的方式正常运行；

（7）数据一致性：服务设计需要考虑不同服务间的事务，保证在服务和数据库之间满足最终数据的一致性；

（8）业务配置化：在系统实现方面，首先识别各系统可配置的功能，在不同的服务之间统一进行配置，上线管理时通过修改配置完成业务变更，快速的满足业务需求；

（9）线上动态治理：所有的服务上线之后，可以通过管理平台进行方便的在线治理；

4 服务化的具体应用场景

下面我们以供应商采购付款、商旅平台建设两个业务场景来具体说明服务化在财务业务流程流转中的具体应用及拆分思路。

4.1 供应商采购付款

如图 1 所示，供应商采购付款一般包含以下步骤：供应商申请付款提单——初审岗 OCR 扫描识别——初审岗 OCR 发票验真验重——初审岗 IDC 影像扫描上传处理——业务领导合理性审批——财务共享中心账务处理——会计人员生成凭证——出纳人员资金支付——归档人员会计档案归档，首先通过调用采购应付报账提报服务来发起采购付款业务，通过调用 OCR 扫描识别服务实现实物单据的扫描识别，通过调用采

购发票识别服务实现发票的验真验重，通过调用流程流转服务实现报账的合理化审批，通过调用账务预制服务实现财务共享中心的账务处理，通过调用对接 ERP 系统实现凭证返写服务，最后通过调用电子档案归档服务实现整个会计档案的归档操作。

在此基础上，将以上服务通用化，进而变成一种共享。其实财务共享中心就是一个最典型的业务服务共享的案例,财务共享服务中心将分散于各业务单位的大量、重复的财务工作集中回收，将可靠的、通用的财务能力沉淀下来，通过标准化、专业化、流程化、信息化转化成一项项标准服务，成为财务部门的产品，通过一个服务端向多个客户端（员工、供应商、客户等）提供标准规范的财务服务，共享企业级的财务资源。 业务服务共享化后，自然带来了数据的标准化、集中化，为更加有价值的数据分析提供了基础，让真实的数据产生真正价值，业务共享服务化一定是方向，就如同人类大分工模式，但中间的问题也一定要面对、处理好。

4.2 商旅平台建设

为了更好的加强集团商旅业务管控、落实精益化管理要求、提升员工商旅体验满意度、降低商旅成本，打造建立了集“商旅业务申请、审批、商旅标准管控、商旅产品预订、行程信息提醒、商旅业务快速报账、商旅产品月结、商旅数据分析”为一体的一站式业务集中处理智能化商旅平台，并依托于“商旅平台”，实现“快速报账”。

该平台上线后从四个方面体现商旅平台的价值：

（1）公司方面：整合了差旅业务统一平台，实现了差旅标准事前及事后管控；推动了机票、酒店月结以减少单据流转；挖掘了商旅数据价值，降低了商旅成本。

（2）员工方面：简化了差旅业务流程，全行程商旅信息提示，方便了员工出行；展示关键业务审批信息，实现了费用快速报账，提升了员工满意度。

（3）产品方面：提供多元化商旅产品资源，实时动态更新产品数据，智能展示个性化产品信息，推荐商旅行程最佳方案。

（4）服务商方面：实时提供多个服务商产品，引入服务商竞争机制，遴选优质服务商提供质高价优服务，强化供应链管理。

商旅平台在系统建设整体方案上遵循了前端应用和后端共享服务分离的原则，前端应用指的就是商旅平台、报账平台这些应用系统，后端的服务指的就是主数据调用服务、汇率查询服务、流程流转等基础的服务，这个项目的重点就是要识别哪些业务需求及功能可以提炼成共享服务，这种服务的识别如果单靠人为判断是不准确的，需要通过业务共享、应用协同、数据互通、技术共享等多方面对业务需求和功能进行

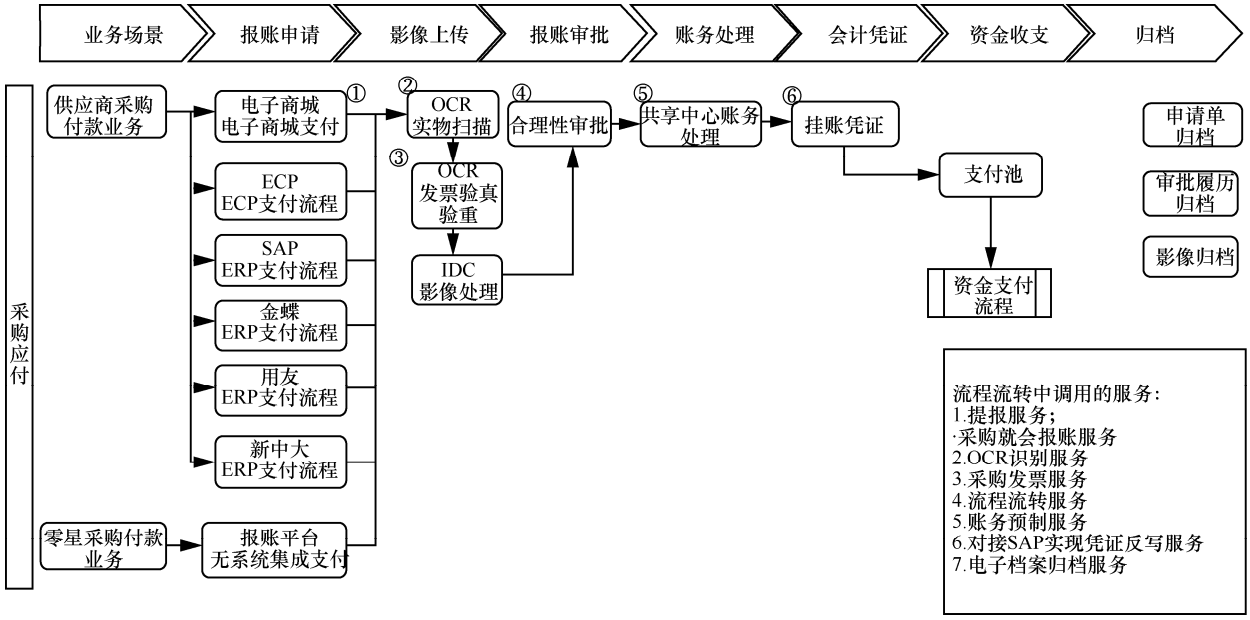


图 1　供应商采购付款业务服务化应用实例

打分，最终按照统计的分值结果甄别符合微服务建设要求的业务功能和需求。在提炼各类业务服务时需要考虑通用性、完整性，在业务服务化过程中，需要完成业务数据的标准化（需要使用一些主数据管理的理念），并在此基础上为后续的大数据分析提供基础。微服务甄别模板需要考虑的维度如下：

（1）业务共享的维度主要包含业务的重要性高，例如安全类业务，虽不能直接创造价值，但重要性高，能被其它系统复用，用户数多或跨组织应用。

（2）应用协同的考虑维度主要包含：使用频次比较高，用户非常在意使用体验，例如管理驾驶舱的用户体验，标准化程度高。

（3）数据互通的考虑维度主要包含：系统采用多种数据库，比如同时使用非关系库、缓存库、关系库等，数量量大，要建索引表。

（4）技术共享的考虑维度主要包含：变化比较多，新技术的一些东西，例卡夫卡读实时数据，人脸识别等，技术专业，复杂，不易学习或使用，例如 GIS 服务。

（5）还有其他现状方面，比如预估关联系统数量，系统的重要等级，整个系统使用基于中台进行微服务化开发的难度，项目整体周期等等。

通过微服务识别模板识别出相应的服务后需要编写微服务概要设计，也就是中台服务卡。通过中台服务卡进一步细化，编制微服务需求说明书，说明基本信息、业务功能描述、需求案例、数据需求描述以及阐述非功能性需求。根据微服务需求说明书编制微服务详细设计文档，主要包含总体设计的领域设计、逻辑架构图、接口清单，详细设计里面的功能设计、接口交互参数、数据库设计、异常处理机制等内容。以上内容都完成后才进入微服务开发阶段。

商旅平台通过对业务需求的梳理，梳理出需要使用的服务主要分为以下三类，如图 2 所示：（1）第一类是商旅平台本身的机票、酒店、火车票的预定、查询及支付服务，通过这些服务可以快速的查询到机票、酒店、火车票的预订信息，方便员工快速订票；（2）第二类是支撑差旅流程流转的基础服务，例如组织架构服务、省份城市服务、员工信息服务、成本中心、利润中心、项目主数据查询服务，币种及汇率服务、差旅补助查询服务，差旅流程流转的申请单及报销单的提报、撤销、退回、查询等服务，这些服务在整个差旅流程中起到了支撑业务流程流转的关键作用;（3）第三类是其他技术服务，比如统一认证、统一移动平台、消息、短信、邮件、文件服务，为商旅平台应用提供基础技术功能。通过以上服务复用的判定原则，

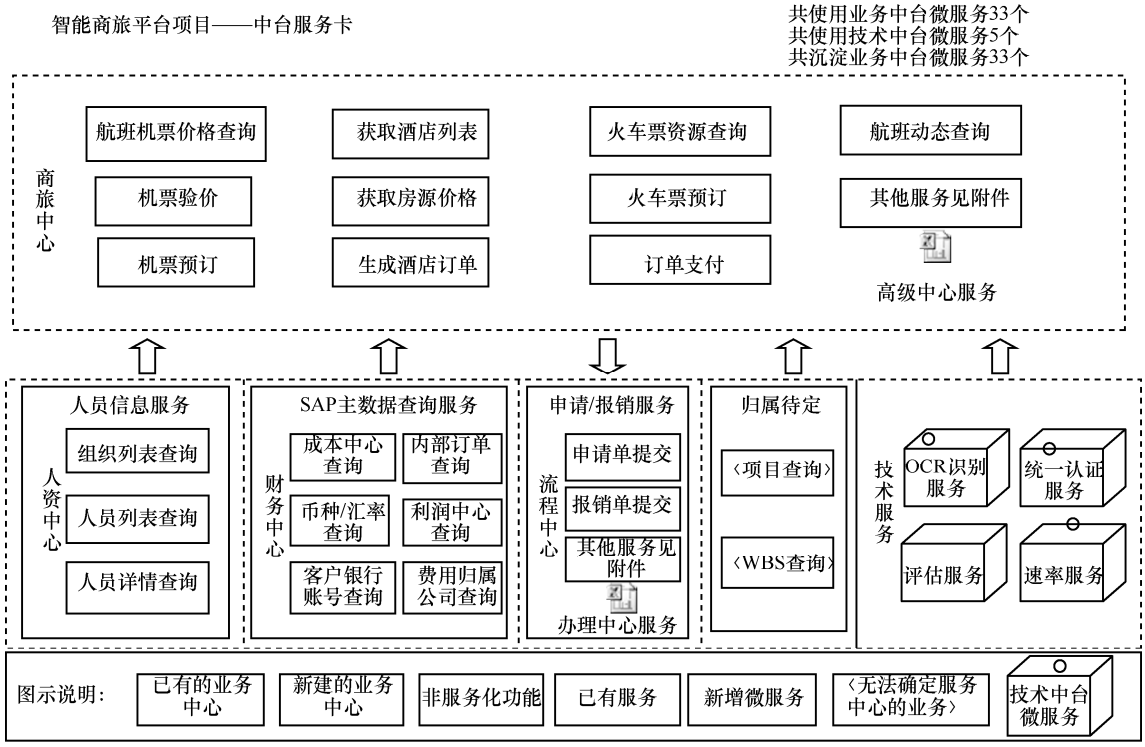


图 2　商旅平台中台服务卡

我们甄别出差旅各类主数据查询服务、商旅平台机票、酒店、火车票预定及查询服务都可以放入中台，以便其他系统可以调用，另外，针对一些中台已存在的，比如其他技术服务，项目可以直接调用，减少系统重复开发工作量。

5 结束语

前端系统的建设一定是基于后端的服务，而且也面向“角色”、“业务”，可以有很多不同的界面，共享服务在设计时需要充分考虑整体业务的通用性，避免个性化。我们在项目建设时，前端主要包含界面和流程，是个性化的，以用户为主，但我们需要将其提炼到通用化的底层业务服务，定义好“项目”的数据内容（消息内容）,定义好“项目”服务的契约（接口信息），定义好基于各种数据的“指标“服务契约,利用各类服务完成体系管理部的业务需求。

服务化对业务、技术都是一次深刻的变革，类似财务共享中心的成立、成长。但新模式业务上的挑战是---你需要信任别人提供的服务。IT 技术上也有很大的挑战，以前是一个单体系统，现在是一个复合系统。从项目本身做起，再推到别人，通过各类业务的不断滋养，使得我们服务能力不断的提升，只要方向对了，任何一小步在未来都是一大步，未来我们的方向是服务都有了，我们在此基础上搭建个性化的应用，以此来敏捷的、快速的支撑业务的发展变革，并为业务的标准化、数字化转型提供有力支撑。

财务作为企业价值管理的核心部门，将推动财务职能转型与财务业务一体化，以“中台”的角色打通业财链路，将财务的核心资源整合、核心能力沉淀、核心系统集成，形成财务的专业能力中心，对不同的业务单元进行总协调和支持，提供更敏捷的财务专业解决方案，帮助企业随时保持对市场的灵敏洞察，保持快速创新的能力，适应数字化浪潮下的商业环境。

参考文献：

[1] 钟华. 企业 IT 架构转型之道: 阿里巴巴中台战略思想与架构实战[M]. 北京: 机械工业出版社, 2017: 168-187.

[2] 陈虎, 郭奕. 财务数字基建 赋能企业转型[J]. 财会月刊, 2020(13): 15-21.

[3] 刘兵兵, 段敬, 张栋, 等. 新形势下财务系统中台的研究与应用[J]. 电力信息与通信技术, 2020, 18(3): 70-75.

[4] 王刚, 郑天娇, 叶明. 集团信息化环境下的财务中台构建路径初探[J]. 财务与会计, 2020(9): 64-66.

[5] 张庆龙. 以数字中台驱动财务共享服务数字化转型[J]. 财会月刊, 2020(19): 32-38.

[6] 郑天娇, 王刚, 周振, 等. 中台战略思想下的财务信息化体系探析[J]. 会计之友, 2021(2): 123-127.

[7] 段琳, 吴东洋, 龙江喜. 基于数据中台概念下的财务数据治理研究和实践[J]. 数字技术与应用, 2020, 38(10): 219-221.

[8] 唐勇, 胡先伟. 共享服务模式下企业财务数字化转型探讨[J]. 会计之友, 2019(8): 122-125.

[9] 陈虎, 孙彦丛. 全球共享服务[M]. 北京: 中国财政经济出版社, 2018: 47-59.

[10] 王舰, 张帆, 徐儒慧. 财务共享中心“三中台”模式构建研究[J]. 商业会计, 2019(17): 45-48.

[11] 王兴山. 数字化转型中的财务共享[M]. 北京: 电子工业出版社, 2018: 69-82.

[12] 周卫华. 信息技术对会计理论与实务影响的演变与发展[J]. 会计之友, 2019(5): 120-124.

[13] 陈沛, 彭昭朕, 孙健. 企业数字化转型路径及实践[J]. 管理会计研究, 2019, 2(1): 73-81, 88.

[14] 董皓. 智能时代财务管理[M]. 北京: 电子工业出版社, 2018: 121-145.

[15] 毛宇星. 推进大中台战略 加速数字化转型[J]. 金融电子化, 2019(6): 14-16.

[16] 杜栋, 杨莉媛, 谢炯. 企业中台战略研究: 以国家电网公司为例[C]//2019 电力行业信息化年会论文集. 无锡, 2019: 286-289.

[17] 陈新宇. 中台战略: 中台建设与数字商业 middle-platform construction and digital commerce[M]. 北京: 机械工业出版社, 2019: 94-148.

惯性技术在复杂工业厂房环境下的人员定位应用

阎喆[1]，万新朋[2]，彭少华[3]
（中国广核电力股份有限公司信息技术中心 广东省深圳市 518124）

摘　要：随着工业安全管理要求的日益提升，对复杂工业厂房环境下的人员位置追踪提出了越来越高的要求。本文通过惯性技术，利用智能无线终端的陀螺仪、加速度计、电子罗盘（磁力计）等传感器和现场部署的无线定位信标，结合生物仿生学算法，实现了人员实时位置在电子地图上的精准显示，达到了在复杂工业厂房环境下人员精准定位导航的目的。

关键词：惯性技术；导航；人员定位

1　引言

人员在复杂工业厂房环境下面临着多种多样的工业安全风险：人员进入幽闭空间被反锁，因缺乏通信手段长期无人发现；人员走错间隔导致误操作设备；人员超越权限进入未授权按或高风险区域；人员发生人身伤害长时间无人发现和处置等等，对复杂工业厂房环境下的工作人员人身安全和设备运行安全产生了极大的挑战。实现人员位置追踪，进而实现人员位置管理、巡检管理、辐射剂量统计及预警、事件追溯等功能的需求愈加迫切。

目前已有一些定位技术，如 Wi-Fi 无线信号指纹定位技术，UWB 超宽带定位技术等。但这些技术面临着部署成本和维护成本高，人员携带额外设备现场工作不便，定位设备电池续航能力有限等问题。因此，亟待探索一条在复杂工业安全厂房下易部署、易维护、易携带、长续航的人员精准定位技术路线。

2　定位技术方案的选择

2.1　需求分析

（1）利用厂区 Wi-Fi 无线网络，本项目所在工厂已实现了工业厂房内 Wi-Fi 无线网络的全面覆盖，定位数据传送利用现有 Wi-Fi 无线网络可以有效降低项目整体部署成本和后期维护成本。

（2）极限节约部署及运维工作量，项目后期运维应极大节约运维的工作量，降低定位系统的运维管理难度，对硬件部署数量有严格要求。

（3）项目实施要极限降低施工难度，本项目所在工厂分为控制区、保护区和要害区，所以施工方案应满足各个区域的施工要求，极限降低施工难度，避免安全事故发生，缩短项目实施周期。

（4）精准定位，能够准确实时定位作业人员作业区域，描绘作业轨迹。

（5）终端携带便利，电池续航能力强。

2.2　定位技术选择

目前，主流的室内定位技术包括纯蓝牙三点/指纹定位技术、Wi-Fi 指纹定位技术和 UWB 定位技术，但存在着部署和维护工作量大，终端携带和耗电量高，规模化应用困难等缺点，与项目需求存在冲突。

本项目利用在厂区 Wi-Fi 无线智能终端中的惯性装置（陀螺仪、加速度计、电子罗盘等）实现了人员在室内的位置感知，同时通过低密度部署的蓝牙信标对惯性导航的累积误差进行纠正，采用惯性追踪技术融合单点蓝牙和地图数据的人工智能融合算法形成惯性追踪与蓝牙融合定位方案，实现了人员在不携带额外设备情况下的长时间精准定位。蓝牙信标重量仅 145g，防水、防尘、防爆，内置长达 5 年寿命的电池并通过特殊材料黏贴至厂房墙壁，最大程度的降低了项目部署和运维难度和成本，惯性追踪与蓝牙融合定位方案如图 1 所示。

3　定位测试

3.1　测试场景及方法

本项目选取了具有代表性的 A、B 两个厂房进行

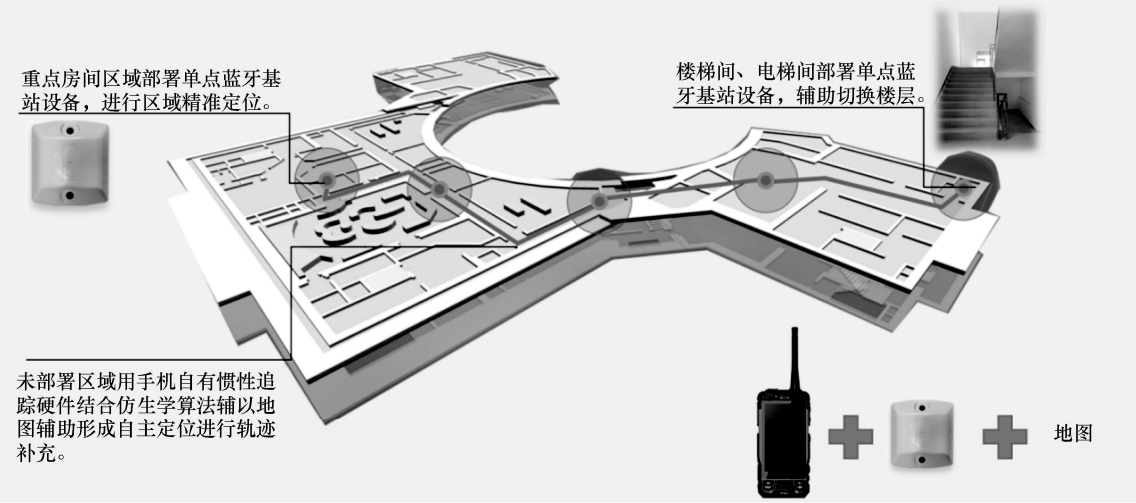


图 1　惯性追踪与蓝牙融合定位方案

测试。A 厂房为电气厂房，单房间面积小、房间间隔多，楼层之间为混凝土钢筋楼板，无线信号无法透传；B 厂房为机械厂房，房间空旷、间隔少，楼层之间为 gang 格栅，无线信号可以透传。

测试采用人员在厂区内实际行走定位，记录定位数据后统计计算的科学型方法，从定位精度、楼层切换率、显示误差等多个维度进行测试。

3.2　蓝牙信标部署情况

本次测试分别在 A 厂房部署 17 个蓝牙信标，其中楼梯间部署 3 个，通道和房间部署 14 个；B 厂房部署 13 个蓝牙信标，其中通道和房间部署 9 个,楼梯间部署 2 个，用于切换楼层在电梯间部署 2 个。具体部署情况见表 1。

表 1　蓝牙信标部署情况

厂房/楼层	蓝牙信标数量	部署位置
A 厂房 12 米层	8	通道、房间
A 厂房 12 米层	3	楼梯间
A 厂房 16 米层	6	通道、房间
B 厂房 8.8 米层	7	通道、工作区域
B 厂房 4.6 米层	2	电梯口
B 厂房 4.6 米层	2	楼梯间
B 厂房-0.5 米层	2	通道、工作区域

蓝牙信标参数设置见表 2。

3.3　打点测试

测试目的：测试在人员位置固定不变情况下的定位精度。

表 2　蓝牙信标参数

参数	数值
主从模式	从机模式
功率设置	- 8dBm
广播功率间隔	300ms

测试步骤：测试终端手持或揣兜，产生自动定位后，行走至预设定位参考点，记录终端定位所在的坐标。

测试结果：

- 手持：空旷区域（简称：房间）定位平均精度 2.487 米，通道区域平均精度 2.804 米；
- 揣兜：空旷区域（简称：房间）定位平均精度 0.854 米，通道区域平均精度 0.748 米。

3.4　定位轨迹连续性测试

测试目的：同一层区域步行运动状态下轨迹连续性、时延验证。

测试步骤：

- 手持测试终端，打开定位 app 加载定位地图；
- 按照设定测试路线开始行走，记录定位数据。

测试结果：方案运用惯导补充单点蓝牙区间的轨迹，在后台地图系统能清晰描绘出被定位人员的行走轨迹，途经的房间及区域，如图 2 所示。

3.5　跨楼层测试

测试目的：测试跨越楼层区域时的切换准确率。

测试步骤：

- 手持测试终端，通过楼梯上、下楼梯；
- 记录定位数据。

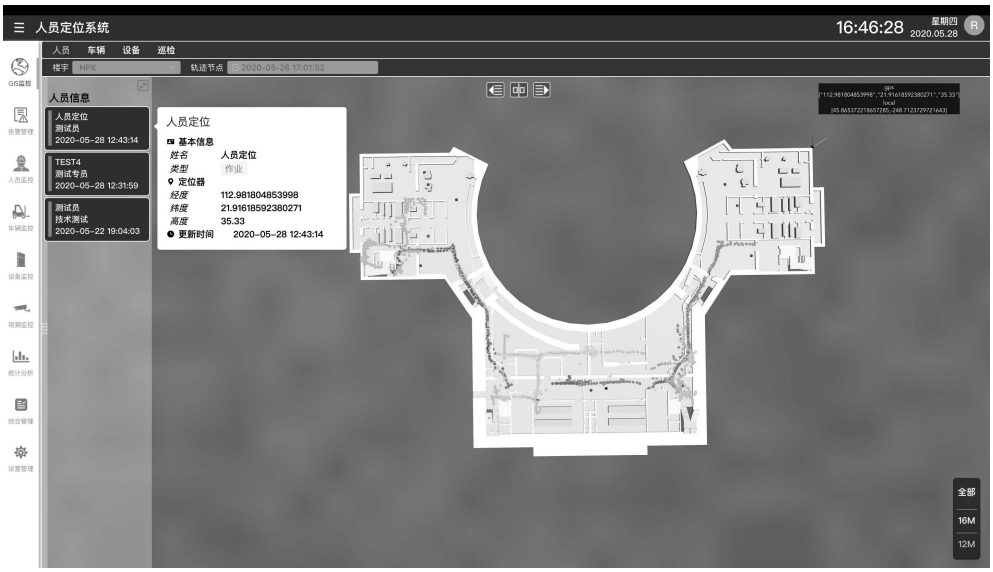


图 2　人员定位轨迹

测试结果：检测到人员位置楼层切换，识别准确率 100%。

3.6　终端侧和服务器侧显示对比测试

测试目的：定位区域手机端和服务器端地图位置对比、时延验证、行走轨迹验证。

测试步骤：

- 手持测试手机在定位区域行走，对边手机和服务器的当前位置；
- 效验手机端到服务器端的上报延时。

测试结果：时间延时小于 3s，手机端与监控平台显示平均误差 0.2m。

3.7　人员静止漂移测试

测试目的：终端在人员无运动状态下，惯性导航漂移测试。

测试步骤：将终端静止与桌面或放置于测试员身上或测试员手持，一段时间后测试员不产生运动或终端不移动，观察定位点是否移动。

测试结果：人身 60min 最大偏移 0.22m，桌面偏移 0m。

4　结束语

本次测试所用方案为移动智能终端惯性导航结合低部署蓝牙信标的方式，对该技术方案下定位的精准度、定位轨迹连续性、楼层切换率、显示误差和静置惯导漂移等多方面性能进行了测试和验证，具体结果如下。

（1）定位精度测试，A、B 两厂房实测定位（通道区域平均精度 0.75m，空旷区域）平均精度 2.5m，蓝牙纠正率达 95%；

（2）定位连续性测试，方案运用惯性导航补充单点蓝牙信标区间的轨迹，在后台地图系统能清晰描绘出被定位人员的行走轨迹，途经的房间及区域；

（3）手机静置惯导偏移测试，考虑到惯性导航长时间漂移的特性，特对终端静置状态的定位效果进行测试。经测试在正常办公位办公的人身上会有轻微偏移，60min 内最大漂移距离为 0.22m。放置在桌子上则偏移距离为 0。

（4）楼层切换率，在测试定位精度时兼顾楼层切换率的测试，经多次反复切换楼层的行走，在检测到蓝牙矫正点时可以在 1s 内切换至正确的楼层，测试楼层切换率为 100%。在楼梯口、电梯口部署单点蓝牙设备可以有效提升楼层切换的速度和准确度。

（5）显示误差率，后台搭配人员定位系统实时接收来自手机的定位数据，并显示在 GIS 地图上。经测试定位数据最大显示误差率为 0.2m，在网络条件良好的条件下，延时低于 3s，在实际应用中可为监控者提供厂区人员的实时位置。

综上，在复杂工业厂房环境下，采用惯性技术，利用工作人员自身挈带的智能无线终端和低部署、易维护的蓝牙信标，结合生物仿生学算法，实现了高精度人员定位，为后续实现人员位置管理、巡检管理、辐射剂量统计及预警、事件追溯等精准工业安全管控

探索出一条兼具经济和性能的技术路线。

参考文献：

[1] 王巍. 惯性技术研究现状及发展趋势[J]. 自动化学报, 2013, 39(6): 723-729.

[2] 肖烜, 王清哲, 程远,等. 捷联惯导系统/里程计高精度紧组合导航算法[J]. 兵工学报, 2012.

[3] 林雪原. 组合导航及其信息融合方法[M]. 北京: 国防工业出版社, 2017.

核电厂声警报系统架构优化升级设计

陈春色，张士帅
（中国广核电力股份有限公司，广东省 深圳市 518120）

摘　要：现有核电站声警报系统（声警报）作为核应急核心指挥系统，其功能为基地发生重大核安全事故期间及时发出两种报警音：厂房应急报警（A）：响 15s 停 5s 为一个周期，报警音长度为连续 3 个周期；场区应急及场外应急报警（B）：响 60s 停 10s 为一个周期，报警音长度为连续 2 个周期。确保基地人员及时疏散，并立即采取核应急措施，最大化降低人员财产损失，其重要性不言而喻。但由于基地分为多期工程建设，在建设过程中提出了提出不少新要求，中途改变设计架构，导致现有架构臃肿、杂乱、存有较多不合理设计，系统结构有较大的优化提升空间。结合本基地声警报系统的现阶段设备状态以及使用经验，进一步提高系统的稳定性、时效性、运维效率，降低运维成本，对声警报系统架构优化升级设计存在一定的必要性。

关键词：声警报系统；声警报架构优化；

1　引言

当代各国为了推进社会发展、科技进步及产业升级，能源架构升级已成为各国重点发展方向。我国倡导科学绿色发展观，重点发展新型能源体系以满足现今社会生产力的高速提升。核能凭借其发电能效高、功率密度大、输出功率大且绿色环保等优点得到了国家的高速发展。但核能也是一个“潘多拉盒”，回顾人类核电发展史，有切尔诺贝利核事故、东岛核事故等前车之鉴，也让人们充分认识了核辐射的危害。声警报系统作为最后的一道屏障，核电站对于声警报系统关键厂房通信的安全性、时效性以及可靠性要求越来越高，同时其通信保障的有效管理与监控也在不断探索与追求。

但本岗运维的声警报系统现有架构仍有较大的改进提升空间，为此本文对本岗运维的声警报系统（声警报）现有架构存在的问题进行升级设计的可行性进行研究讨论。

2　核电声警报系统架构

本岗运维的声警报系统现有架构如图 1 所示，核电厂内设三套声响报警系统，分别属于 1、2 号机组、3、4 号机组和 5、6 号机组，与应急指挥中心 EM 楼独立应急控制系统通过 MOXA 工业以太网交换机 EDS408A-SS-SC 相互连接构成专用环网，整个网络接为环形结构，各个控制中心相互独立且相互关联，以保证网络链路的某一点断开不影响整个网络的工作。如图一“　　”连线链路所示。其中各中心控制范围如下。

（1）1、2 号机组范围的核岛、常规岛、BOP 厂房内的报警器连接至 1、2 号机组的声响报警主机（9 声警报 0001AR）。

（2）3、4 号机组范围的核岛、常规岛、BOP 厂房内的报警器连接至 3、4 号机组的声响报警主机（8 声警报 0001AR）。

（3）5、6 号机组范围的核岛、常规岛、BOP 厂房内的报警器连接至 5、6 号机组的声响报警主机（7 声警报 0001AR）。

全厂共用的厂房、区域的报警器通过信号切换器同时连接至 3 台声响报警主机。EM 楼的控制台通过声响报警系统专用环网控制全场警报信号。

系统主要的设备包括控制单元、信号切换箱、负载分配、终端负载 4 种。

（1）控制单元

声响报警系统 PLC 处理器安装在 3 个 W601 通信机房的声警报 0001AR 机柜内，采用的处理器是 Schneider 早期中型处理器 PLC，型号为：TSXP57354，参数见表 1。

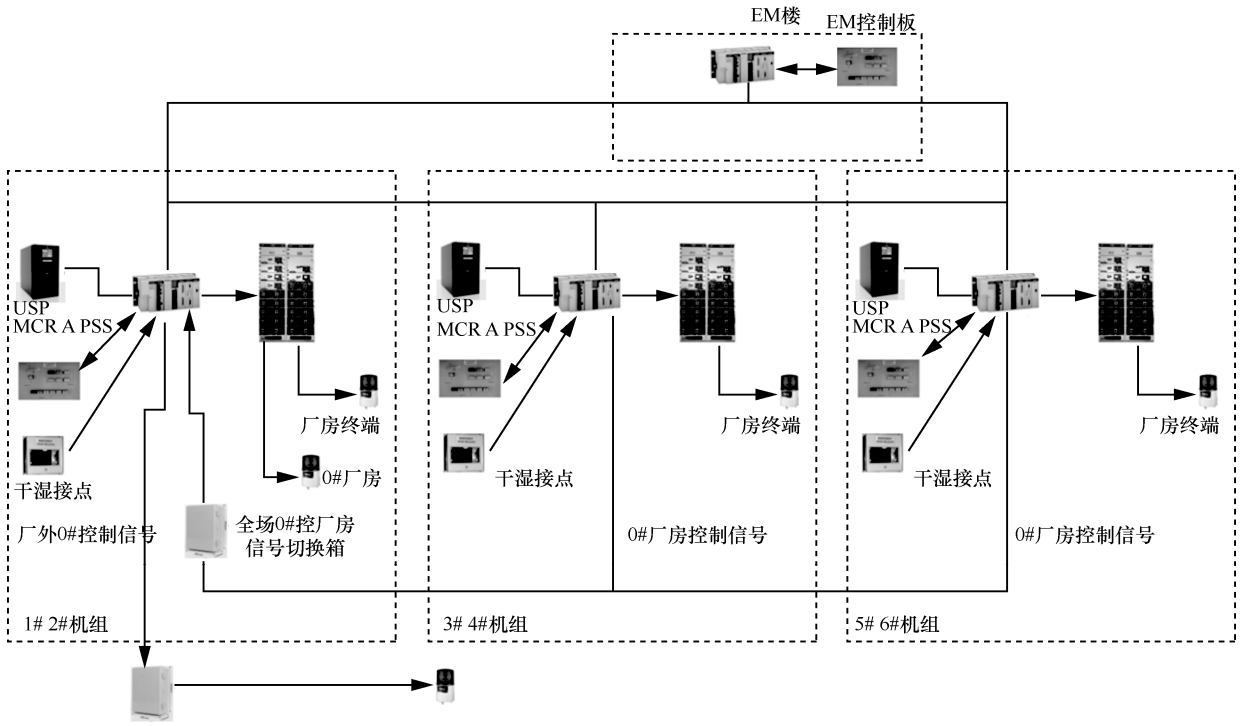


图 1　声警报系统架构

表 1　声响报警系统参数

特性			TSXP57354
最大配置	最大 TSXRKY12EX 机架数		8
	最大 TSXRKY4EX\6EX\8EX 机架数		16
	最大插槽数		111
	最大同步通讯 EF 数		48
功能	最大通道数	机架内离散量 I/O	1024
		机架内模拟量 I/O	128
		应用程序	32
	最大连接数	内置 UniTelway（终端口）	1
		网络(ETHWAY、Fipway、3Modbus Plus)	3
		主站 Fipio（内置）：设备数	127
		第三方现场总线	3
		AS-i 现场总线	8
	可保存的实时时钟		是
	过程控制通道		15
	过程控制回路		45
存储器	可保存的内部 RAM		208Kb
	PCMCIA 存储卡（最大容量）		1792Kb

该处理器服役时间相对较长，PLC 设备型号相对老旧，逻辑处理单元及其配套的部分元器件已经停产，在日常运维过程中，市场上难以采购所需的替换元器件。而现在该系统部分元器件也开始达到使用寿命年限，导致设备的稳定性降低。

（2）信号切换箱

信号切换箱安装在 1、2 号机组核岛 9W601 通信机房内。信号切换箱上游连接 3 台声警报主机柜，下游连接区域 10 的报警器网络。不论哪台报警主机对区域 10 发出报警，信号切换箱都可以将报警驱动信号送往区域 10。

信号切换箱内部安装接触器元气件实现信号的切换，把 3 台声警报主机柜送来的报警驱动信号作为信号切换箱的输入，另需要单独的外部电源供电驱动区域 10 的报警器网络。

（3）负载分配

声警报负载分配是采用 GCK 系列 24E(E=25mm) 低压开关柜作为负载一级断路器，其允许工作电流范围 400A～600A。通过 PLC 输出信号控制抽屉柜内对应分区的断路器、接触器等设备，对报警器网络输出 220V 或 380V 交流电，启动终端的报警器，实现对不同分区的报警，抽屉柜分区见表 2。

表 2　抽屉柜分区

层数	抽屉代码	控制区域	备注
第 1 层	001JS	主进线电源	
第 2 层	002JS	室外大型报警器	
第 3 层	003JS	全基地场区/场外应急	
第 4 层	004JS	全基地厂房应急	
第 5 层	005JS	机组燃料厂房应急	
第 6 层	006JS	机组反应堆厂房应急	
第 7 层	007JS	全厂公共区域报警	
第 8 层	008JS	场外应急分区	
第 9 层	009JS	全基地厂房应急	
第 10 层	010JS	机组燃料厂房应急	
第 11 层	011JS	4#机组反应堆厂房应急	
第 12 层	012JS	全厂公共区域报警	除 9 号机组外，该层作为备用件

（4）终端负载

- 室外大型声警报器，选用 JDL480 室外大型报警器产品，是一种单频高输出声响，并具防火和防雨、防酸碱气候的大型报警器。

规格参数：

—工作电压：380V 50Hz；

— 额定功率：4KW；

— 额定转速：2860P.P.M；

— 平均声压级（A 级）：120dB；

— 启动时间：≤7s；

— 外型尺寸：φ650x530mm；



图 2　室外大型声警报器

- 室内小型声警报器，采用韩国 Q-LIGHT 声光组合 S100D 报警器。外径为 119mm，内装灯泡反射镜旋转型警灯和 105dB 的信号音的产品，可同时传递视觉信号和听觉信号。

规格参数：

— 符合防护等级 IP54；

— 电源：220VAC　50Hz；

— 电流：64mA；

— 功率：14W；

— 音量：105dB（1m 处）；



图 3　室内小型声警报器

3　现有架构缺陷

3.1　架构冗杂

图 4 中绿色链路为“专用环网”通讯链路，声警报系统为了实现全基地报警功能，全基地由 4 台 PLC 处理器构成环网。但是 4 台 PLC 的 I/O 接口并未实现硬件直接连接，而是通过工业交换机和其他机组 PLC 构成环网，从而间接控制其他机组 I/O 信号。该架构虽保证了相互独立又相互关联，但 PLC 之间并未形成相互主备关系。

若在机组 PLC 处理器或交换机通讯环节发生故障时，则本组机组及其他机组均无法对故障机组发出警报，如 2020 年期间 8#机组 PLC 故障，导致 3# 4# 机组 MCR 、RSS 控制台、干湿接入点警报触发功能均失效，存在较大较大的警报盲点及安全隐患。

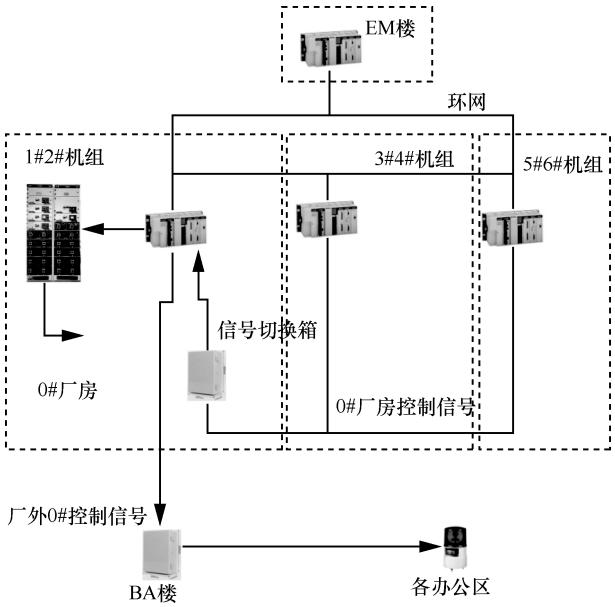


图 4　“专用环网”通讯链路

3.2 控制链路冗杂

图 4 中黄色链路为“全基地场外应急信号”控制链路，“基地全基地场外应急信号”并未通过各机组的互联的环网结构进行直接控制，而是通过光电转换系统传输至 9#机组信号切换箱中转，再到达 9#机组的 PLC 最终触发抽屉柜的场内 0#区域警报信号。而场外办公区域的警报，更是仅通过单根光纤通讯连接 BA 楼内控制箱方可触发警报。

该单链路通讯设计架构，且信息传输环节引入多个干扰点，如各光端机的电源及光纤端接口、信号切换箱端接点、PLC 信号接入点等，导致链路存在较多的单一失效点。以上信号链路任一环节失效，直接影响系统出发全基地场外应急警报，从而引发大片区故障，导致系统抗干扰能力较差，稳定性较低，存在较大的安全隐患。

3.3 抽屉柜选型裕度过大

本系统场内各机组终端负载通过三级断路器进行分配，其中#声警报 001AR-2 抽屉柜第一层抽屉作为第一级断路器，其余抽屉作为二级断路器，中转至#声警报 001AR-3 端接箱进行负载分配并配以三级断路器。

声警报系统一、二级负载分配是采用 GCK 系列 24E(E=25mm)抽屉柜，其工作电流范围 400A～600A。通过计算，现场终端分配的负载最大工作电流不超过 9A，远小于作为二级断路器的抽屉柜工作电流，选型不仅提升了设计制造成本也占用抽屉柜空间，增加#声警报 001AR-3 端接箱分配下游终端负载，导致系统结构离散而臃肿，而且也导致负载分配集中，存在较大的片区单一失效点。

3.4 负载未设分级保护

由于警报信号需要覆盖基地全场，现场终端分布需要连接各个警报区域，导致控制线路过长线路，而容流也随之增加。但是漏电保护断路器选型上未对分级保护纳入设计参考因素，在二级、三级断路器选型上采用的漏电保护器均为 Vigi iC65 ELE（2P/3P）30mA。

通过实际测试三级断路器启动瞬时容流可达到 54.33 mA，已经超出漏电保护器的触发电流阈值，而且基地内厂房端子箱内并未设置第四级断路器，无法做到单一厂房隔离，更是无法实现分级保护功能。在系统运行期间，发生片区控制断路器跳闸现象，导致对应的警报器失效，出现较大的警报盲区。

4 声响报警系统安全设计-冗余热备

4.1 冗余热备基本概念

在冗余热备控制系统中，整个 PLC 控制系统由两套完全一样的 PLC 主机、电源、冗余处理器模块等重要控制硬件组成，如图 5 所示。其中两个控制模块使用相同的用户程序并行工作，一块处理器为主控制处理器，另一个处理器用作备用处理器，后者用作监测且禁止输出信号。当主控制器出现故障时，系统立刻切换至备用处理器投入运行，可以实现无缝切换信号控制中心。

现场配置根据使用情况采用冗余机架 I/O 的配置结构。冗余开关量和模拟量 I/O 分别位于两个 CPU 机架上，主机和备机的机架底板上同时配有相同的 I/O 模块。I/O 模块与现场一次仪表之间的连接需通过中间连接器传输信号，能保证系统正常安全不间断运行，从而提高系统整体稳定性

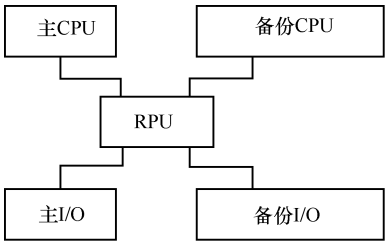


图 5 冗余热备控制架构

4.2 核电站声报警系统冗余热备架构

4.2.1 单控制中心选择论证

通过现有声警报现场 I/O 点位数据统计，全场 I/O 点位均为数字量信号且最多仅有 192 个。而现有的 PLC 处理器型号为：TSXP57354，最多可以支持 1024 个点位，则 I/O 点位实际使用率不到 19%。即使全场 I/O 信号仅使用一个 PLC 处理器进行控制，其 I/O 点位使用率为 56.3%，完全满足实际使用需求，所以声警报系统使用单一控制中心即可，这样能有效简化控制架构，降低控制链路失效点，从而降低系统整体的故障率。

4.2.2 冗余热备处理器选型

由于设备的迭代更新，P57 系列的 PLC 模块已经相对落后，新型架构采用 Modicon M580 ePAC 处理器，其中 M580 CPU 现有 7 个参考号，且所有 CPU 都可以管理设备网络中的分布式设备，其参数见表 3。

表 3　冗余热备处理器参数

参数 \ 参考号	1020(H)	2020(H)	2040(H)	3020	3040	4020	4040
最大离散量 I/O 通道数	1024	2048	2048	3072	3072	4096	4096
最大模拟量 I/O 通道数	256	512	512	768	768	1024	1024
最大 RIO 模块数	–	–	64	–	128	–	64
最大分布式设备组件数	64	128	64	128	64	128	64
最大以太网网络模块，CPU 除外 (1.)	2	2	2	3	3		4
最大本地机架数（主本地机架 + 扩展机架）	4	4	4	8	8	8	8
最大远程子站数 （每个子站最多 2 个机架）	–	–	8	–	16	–	16
以太网端口：	1	1	1	1	1	1	1
服务							
RIO 或分布式设备	–	–	2	–	2	–	2

“–”不可用

1. 在最大网络模块数中，指定的值不包括 CPU。

注意：这些特性表示系统中特定 CPU 可管理的最大

根据表 3 的数据及核电现场点位需求选择分布式远程 I/O 控制架构，PAC 处理器选型为：BME P58 2040 ，其功能参数满足全基地覆盖声警报冗余热备控制功能。

4.2.3　冗余热备控制逻辑

M580 热备系统设计用于避免系统中断。系统通过冗余提供高可用性。两个背板配置了完全相同的硬件和软件。可编程自动控制器（PAC）是工业制造过程的控制中心，与继电器控制系统相对，可实现过程的自动化。PAC 适合在条件苛刻的工业环境中使用，更适用于超大型和复杂的应用场景。PAC 系统性能相较于传统 PLC 系统在大型工程大量的仪表数量、远程设备、过程控制等控制监测信号处理能能力更出色。其中一个 PAC 用作主要 PAC，它通过执行程序逻辑并操作 RIO 子站和分布式设备来运行应用程序。另一个 PAC 则用作备用 PAC。每次开始扫描时，主要 PAC 都会更新备用 PAC。如果主要 PAC 停止通讯，备用 PAC 将在一次扫描内接管控制权。主要 PAC 和备用 PAC 状态可以相互切换。当 PACs 运行时，任何一个 PAC 都可以进入主要 PAC 状态。当其中一个运行的 PAC 成为主要 PAC 时，另一个运行中的 PAC 可能会处于备用或等待状态，此外 EIO 和 DIO 网络由主要 PAC 操作。

系统会持续监控系统自身状态，如果触发事件发生 ，热备系统将把控制权切换至备用 PAC，后者随即成为主要 PAC。如果备用 PAC 停止通讯，则主要 PAC 会在没有备份的情况下继续运行，从而达到效提高系统的整体稳定性。

4.2.4　分布式远程 I/O 控制架构

PAC 采用两套完全一样的 Modicon M580 ePAC 处理器搭配新型 M580 以太网底板及两个背板配置了完全相同的硬件和软件。

其中一个 PAC 用作主要 PAC，它通过执行程序逻辑并操作 RIO 子站和分布式设备来运行应用程序。另一个 PAC 则用作备用 PAC。每次开始扫描时，主要 PAC 都会更新备用 PAC。如果主要 PAC 停止通讯，备用 PAC 将在一次扫描内接管控制权。主要 PAC 和备用 PAC 状态可以相互切换。当 PACs 运行时，任何一个 PAC 都可以进入主要 PAC 状态。当其中一个运行的 PAC 成为主要 PAC 时，另一个运行中的 PAC 可能会处于备用或等待状态。

EIO 和 DIO 网络由主要 PAC 操作。

4.2.5　声警报冗余热备架构

根据冗余热备设计原理，结合核电站声警报系统实际需求，可以建立的冗余热备结构如图 6 所示。该架构特点是单一处理器控制中心为冗余热备，由于冗余热备的特点，可以满足而插拔维护要求，单一 PAC 控制器组态失效可以不影响系统整体运行，能有效提

高系统的稳定性。

RIO 子站代替现有架构的 PLC 处理器作为各机组控制中心，I/O 信号通讯通过光纤完全独立隔离与 Modicon M580 ePAC 处理器进行信息交互。各机组间形成独立控制中心，可以通过各机人机界面 HMI 远程遥控全基地所有控制信号，该系统任何一个 HMI 控制界面失效，其余控制界面均可以发出相应的警报信号。

（1）I/O 通讯设计

整个架构 PAC 与 RIO 子站之间通讯链路主干统一采用光纤建立通讯，能有效隔离电磁信号干扰，且降低项目筹备建设期间的材料成本。

（2）PAC 控制界面设计

声响报警系统应具备故障自动检测和告警功能。PAC 系统应对自身工作情况和报警输出情况进行实时监测，在出现以下情况时应发出故障告警：

- PAC 系统故障，导致报警启动信号不能正常输入、或对驱动部分的信号不能正常输出时，主控室和远程停堆站控制台的“系统故障”指示灯应点亮，详细的故障信息可以通过声响报警专用以太网传输至集中监控系统。
- PAC 以太网模块故障、交换机故障、或通信链路中断，导致各台声响报警主控制柜之间的网络通信中断时，主控室和远程停堆站控制台的“系统故障”指示灯应点亮，同时主控制柜应送出一路干接点信号至集中监控系统，指示系统故障。
- PAC 处理器等设备故障，导致整套 PAC 设备瘫痪时，主控室和远程停堆站控制台的“系统故障”指示灯应点亮，同时主控制柜应送出一路干接点信号至集中监控系统，指示系统故障。
- PAC 系统掉电或整台声响报警控制柜掉电，导致声响报警系统不可用时，主控室和远程停堆站控制台的“系统故障”指示灯应点亮，同时主控制柜应送出一路干接点信号至集中监控系统，指示系统故障。可以通过在控制台增加纽扣电池等方式来实现此功能。

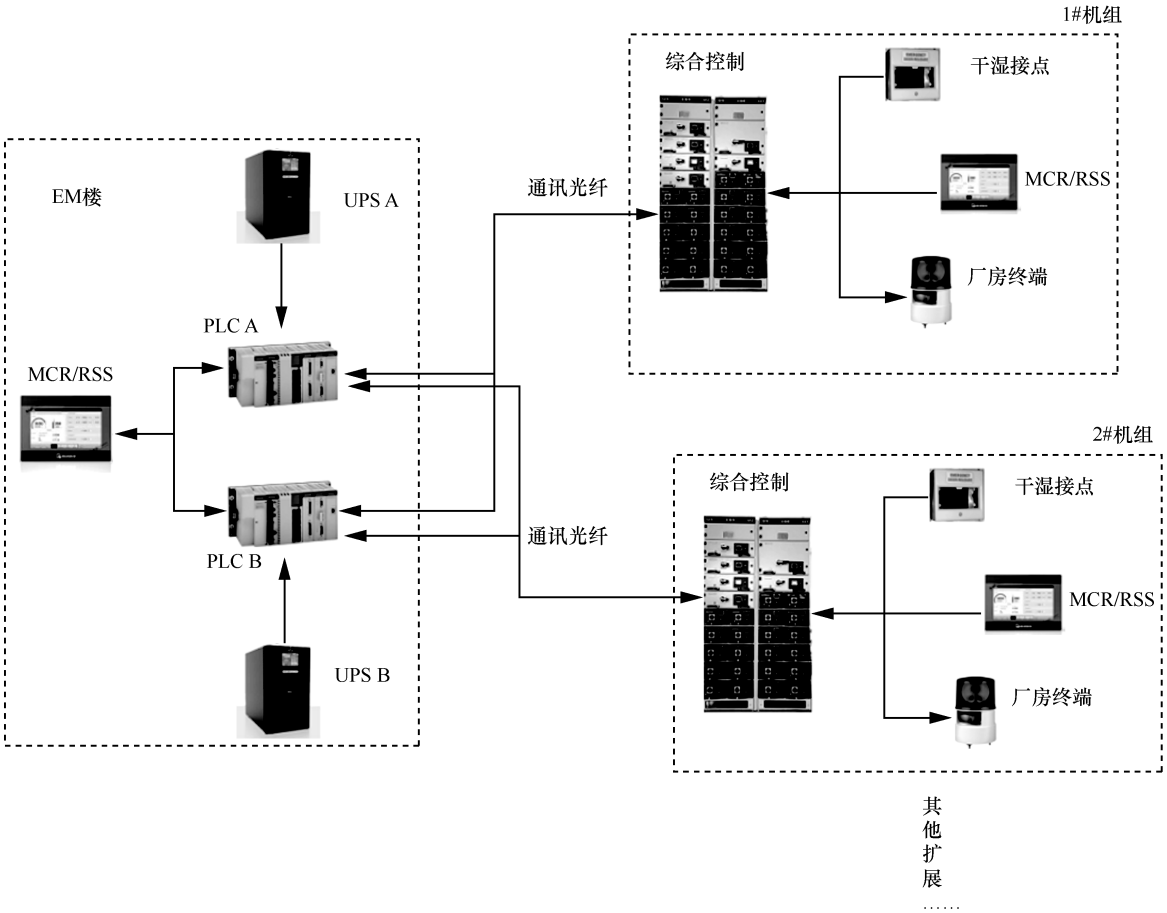


图 6　冗余热备结构

- 当主控制柜内二次直流操作电源失去，导致一次元件不能正常动作，报警不能正常发出时，主控室和远程停堆站控制台的“系统故障”指示灯应点亮，详细的故障信息可以通过声响报警专用以太网传输至集中监控系统。
- 当控制台或联动系统发出声响报警信号，但主控制柜并未按正常程序对相应报警分区输出220V/380V 电压时，主控室和远程停堆站控制台的“系统故障”指示灯应点亮，详细的故障信息可以通过声响报警专用以太网传输至集中监控系统。
- 当系统发生其他故障，但不影响报警功能的执行时，只需要通过以太网输出故障信息，而不需要点亮控制台的“系统故障”指示灯。
- 系统内重要控制元器件设置监测控制点，如驱动柜内继电器、中间继电器、下游负载一级开关、二级开关、各机柜的电压监测等重要监测信号均接入系统进行监测，并在 HMI 界面设置独立的故障警告界面以及对应的数据库，并在系统内设置定期存储故障数据至监测系统，方便后期运维查阅参考。

（3）抽屉柜设计

根据本文 2.3 章信息可知，系统实际负载较小，现有架构中的 GCK 柜选型过大。造成控制柜空间及功率容量浪费。根据 GCK 柜选型指南及 MNS 柜选型指南，应该选择 8E/2 的 GCK 型（≦63A）或 8E/4 的 MNS 型（≦100A）低压开关柜即可满足负载需求，且单个抽屉柜最大容纳 36 个 8E/4 MNS 型抽屉或 18 个 8E/2 的 GCK 型抽屉。结合两种抽屉柜性能，MNS 机柜各项性能更优。相同体积情况下， MNS 型抽屉能分配更多的终端负载，能有效缩小单一故障点影响范围，其配置的灵活性更高。

（4）综合控制柜进线电源设计

声警报系统在各机房内，采用为声响报警系统设备提供专用 220/380V 交流电源，声响报警终端负载设备（如室内小型报警器、室外大型报警器、控制台等）所需电源均由声响报警主机集中供电。UPS 电源设备采用纯在线式双变换 UPS 产品，保证长期连续运行，且输出电压、频率、谐波失真等稳定精度在规定技术指标以内。

- 正常情况下有 380V 交流电供电，经整流器滤波为纯净交流电，由逆变器变换为稳频、稳压、无波形畸变、无干扰、同市电电网完全隔离的交流电，通过静态开关向负载供电；
- 当交流电或整流器发生故障时，逆变器利用蓄电池能无间断地继续向负载提供优质可靠的交流电；
- 当交流电断电，负载有蓄电池供电后，如果交流电恢复供电，要求毫秒级转换为 UPS 的正常工作方式；

供电分级见表 4。

表 4　供电分级

阐述 / 级数	PAC 低压控制回路	终端负载回路
一级	综合控制柜总进线由 UPS 电源直接提供电源	
二级	控制回路 220V 低压总开关	抽屉柜总开关
三级	PAC 24V 低压总开关	抽屉柜各厂房控制开关
四级	–	各厂房独立控制开关

“–”不可用

5　结束语

声警报系统作为核应急警报最后的一道屏障，也是现有核电站核安全实现的坚强后盾。核电站对于声警报系统安全性、时效性以及可靠性应该提出更高的要求。结合声警报系统现有架构的缺陷提出的本文论述的新型控制架构。本着“分散控制，集中管理”为指导思想，提高系统稳定性以及系统稳定性的裕度，实现信息资源的共享与管理，提高工作效率，尽可能地减少人员和节约资源，提供一个高效、便利、可靠的管理手段，为核电厂提供强有力的通信保障。

参考文献：

[1] 余雷声.电器控制与 PLC 应用[M]. 北京:机械工业出版社,1996.

[2] 程周.可编程控制器技术与应用[M]. 北京:电子工业出版社,2002.

[3] 郭宗仁, 吴亦锋, 郭宁明. 可编程控制器应用系统设计及通信网络技术[M]. 北京:人民邮出版社, 2009.

[4] 王小宁,刘莹,刘力源,宋玉杰,王磊.浅谈施耐德 PLC 的优化应用[J]. 企业技术开发,2015,34(18):51-52.

[5] 郑阿奇.施耐德 PLC 应用技术 电子工业出版社,2011

[6] ABB 官网指导书 MNS 抽屉式 MCC 柜介绍 01/2011

[7] 施耐德官网指导书 Modicon M580 独立架构系统规划指南

[8] 施耐德官网指导书 Modicon M580 热备 常用架构 系统规划指南 09/2020.

[9] 施耐德官网指导书 Modicon M580 复杂拓扑系统规划指南 10/2019.

[10] 施耐德官网指导书 Modicon M580 系统规划指南 10/2013.
[11] 施耐德官网指导书 M580 硬件参考 10/2013.
[12] 施耐德官网指导书 M580 远程 I O 模块安装和配置指南 10/2013.
[13] 全厂 DTV 通信系统声警报单线图 PY0XX092105EETX 43DD 11ACFC
[14] 声警报系统 SDM 手册 PY017 声警报 001EETX45GN1
[15] 声警报系统控制台操作维护手册

核电领域智慧工地架构设计与创新实践

李湘蓉，朱士松
（中广核工程有限公司，广东 深圳 518124）

摘　要：核电施工现场落实智慧工地建设应用是核电产业转型升级，迈向数字化、智能化、智慧化管理的必然要求。智慧工地的建设需要建立在信息化良好应用实践的基础上，围绕现场管理活动，以数据为核心，强化智能化手段在数据采集方面的应用，通过移动生态的建立拉进产业合作伙伴的距离，按照分层级、分步骤有计划开展。

关键词：智慧工地；逻辑架构；核电领域

1　引言

“智慧工地”在广义上指工地信息化，是工程领域行业一种崭新的工程全生命周期管理理念，国内早先起源于建筑行业。

核电行业与建筑行业类同，是一个安全事故多发的高危行业。如何加强施工现场安全管理、降低事故发生频率、杜绝各种违规操作和不文明施工，提高工程建设质量是核电行业重要的研究课题。随着科技技术的不断发展，移动技术、智能穿戴等各种信息化工具在工程施工阶段的应用不断提升，传统的工程现场管理模式已不符合可持续发展的市场需要，核电领域智慧工地的建设应运而生并逐步获得主导地位。

2020 年、2021 年国家能源局、生态环境部发布《关于加强核电工程建设质量管理（征集意见稿）》及《关于加强核电工程建设质量管理的通知》，均对建设智慧工地提出了明确要求：深入研究信息化、智能化、大数据等新技术在核电建设管理中的应用，建设智慧工地提高核电建设管理信息化、智能化水平，更好地保障工程质量。与此同时，国家工信部、应急管理部发布《“工业互联网+安全生产”行动计划（2021-2023）》，亦指出：“建设安全生产快速感知、实时监测、超前预警、应急处置、系统评估等五大新型能力，推动安全生产全过程风险可感知、可分析、可预测、可管控”的智慧工地建设方向。

2　需求分析方法

核电信息化建设起步较早，已形成大量应用成果，并基本覆盖了所有的业务生产活动。智慧工地的建设，需要站在信息化应用成果的基石上，创造具备智能化条件的施工现场精益管理体系，将离散化的、优秀的实施建设成果形成面向项目生产的聚力效应，直面生产力、引领生产力。因此，在顶层设计时可选用“质量屋”成熟方法论，以结构化概念设计为主线，分析信息系统的建设情况与不足，识别智慧工地建设需求，开展创新性研究。主要实施步骤包括：

现状及需求评估：梳理面向项目应用层面的信息化、智能化建设情况，以问题为导向，识别工地现场信息化建设需求。同时，将获取的需求进行优先级排序，采用亲和图的方法，按照性能、可信性、安全性、经济性、时间性对获取需求进行分类，对需求的重要度进行量化。

技术需求评估：围绕软件的质量特性，定义及甄别智慧工地的技术需求。

技术需求相关性评估：根据已定义的技术需求，梳理自身的相互关联关系。确定智慧工地对外可能输出的产品类别。

用户需求与技术需求关系评估：识别需求期望与技术特点的相关联性，初步明确智慧工地可能的关注方向。

对标分析：结合外部良好实践，对自身的技术竞争性进行分析，找出目标差距。

技术评估：识别最终需求，明确需求实现路径。按照应用领域对现有信息系统进行逻辑拆分与重组，完成面向项目应用的智慧工地应用架构的搭建。

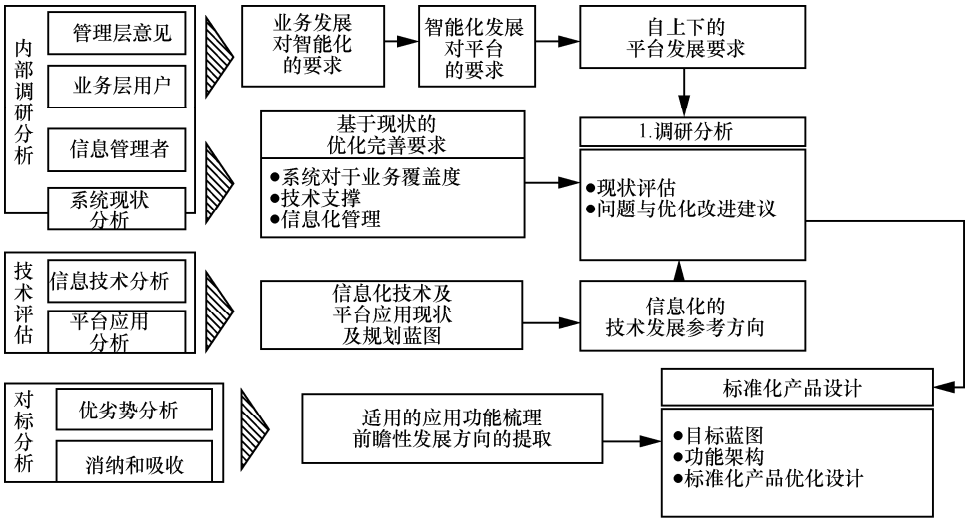


图 1　基于“质量屋”的需求梳理过程

3　总体架构搭建

3.1　定义

核电领域智慧工地的建设以国家发文为背书，以建筑信息模型（BIM）为理念、以工程现场“人、机、料、法、环”等业务要素为标地、以先进信息技术“云、物、移、大、智”为技术手段、以打通物联网与信息网为路径，聚焦工地管控痛点及一线班组管理，坚持问题导向和底线思维，提高项目管理信息化、智能化水平，直面施工现场的监管难点：现场施工生产组织，资源调配，人、机、物管理等仍通过传统模式进行管理；隐蔽工程、关键工序监控不足，工程安全质量监管、工地“新基建”的诸多挑战，勾勒基于互联协同、智能生产、科学管理为核心的项目信息化生态圈。通过数据标准的建立，将数据在虚拟现实环境下与物联网采集到的工程信息进行数据挖掘分析，提供过程趋势预测及专家预案，实现工程施工可视化智能管理，以提高工程管理信息化水平，从而逐步实现绿色生态建造的过程，辅助“创一流”项目精细化管理水平的提升。

3.2　架构

3.2.1　核心思想

聚焦 5 个方面：流程信息化、数字化协同、知识显性化、智能化辅助决策、智能化赋能生产。

流程信息化：充分利用智慧工地已有成果，强化移动应用，实现施工现场正向作业流程在信息系统的电子化处理，替代现有纸质管理方式；

数字化协同：以 DCP 为基础、XML 为格式搭建 CDE，打通内部业务板块及外部产业链网络，实现数据共享；建立数据标准，引入智能化手段，采集现场基础数据，形成面向一线生产的一手的数据资源池；

知识显性化：以三维设计成果（以数字华龙承载）为核心建立模型应用，凸显设计状态与现场状态的联动效应，主动推送项目基础信息；

智能化辅助决策：丰富智能决策（以 AE 在线来承载）看板指标，引入数据训练模型，支撑辅助决策。

智慧化赋能生产：以智能生产（施工生产）为核心，围绕项目控制的关键要素（成本、安全、质量、进度、偏差管理），以物联网技术为牵引，提升信息化与现场施工管理的业务融合度，赋能生产。

3.2.2　逻辑架构

智慧工地架构的搭建一般与公司业务战略紧密融合，核电智慧工地架构搭建遵循“协同创新、精益管理、提质增效”及“可视、可管、可控”的项目建设精细化管理要求，从决策层、管理层和执行层不同管理的对象入手：

决策层（可视）：主要围绕现场“视频影像、管理对象、项目综合评估指标、基于模型的技术状态”，通过逐层递进的数据推送方式，汇集项目现场一手资料，使指挥者能在整个工程“面”上掌握现场动态以及主要工程控制指标，为重大决策和指挥行动提供决策参考。

管理层（可管）：主要是将面向现场生产应用系统抽取的数据进行整合与协同，即采用 BIM、传感技术

和监控测量技术等新型技术手段与智慧工地范畴内的生产系统进行集成，以底层平台和业务逻辑为支撑，利用信息化集成各类技术将管理信息系统的各重要组成部分的节点进行有效衔接。进而从安全、质量、成本、进度等维度，辅助提升项目精益化的管理水平，实现模型与项目管理业务数据的融合。如在三维模型上实时掌握动火作业、高风险作业、占道申请、水压试验、焊接栓接作业的房间位置等，便于现场安全管理；如通过实景模型进行土石方的测算、通过实景模型与设计模型的对照进行进度展示及测量等。

执行层（可控）：主要是围绕现场施工信息化的自动流转，聚焦施工生产，贯彻执行业务规范，采用射频识别、传感检测、设备组网、数据处理与算法应用、图像处理与人脸技术、GIS 与 BIM 等新型技术，打通并融合物联网和信息网，建立工业互联网的关键基础能力，为生产赋能。促进产业协同。如：引入 AI 智能识别手段，保障施工现场生产安全的基础设施建设；以精细质量管理手段，通过不断优化质量计划的设计与模板优化，逐步采用质量自动签点、远程签点；在物资采购阶段引入远程见证节省供应商人力物力投入，在物资存储时引用物联网技术进行环境检测，降低巡检难度，同时引入智能盘点技术，更进一步节约人力等。

智慧工地的参与主体是多方面的，他们之间的信息传递可以通过智慧工地的信息化集成来完成。对此，需要通过集成 BIM、传感技术和监控测量技术等新型技术手段来实现，将各种技术手段与智慧工地范畴内的生产系统进行集成，以底层平台和业务逻辑为支撑，利用信息化集成各类技术将管理信息系统的各重要组成部分的节点进行有效衔接。所以在智慧工地的集成平台建设过程中，其基本的构成要素还将包括终端的数据采集层、保障现场的基础设施层以及面向产业链的移动应用层。

全面移动：将工期、技术、质量、安全等日常工作内容均实现手持终端的信息化，满足项目参建方在手机端进行主要业务流程的移动审批，实现质量巡查、安全巡检等现场操作，实现项目人员之间的有效连接，提升项目管理效率。

通过全面移动取得良好的应用体验：项目业务场景的轻量化应用，快捷操作；提供个性化的信息与服务，信息推送；现场数据与信息的实时交互，移动互联；产业链伙伴的系统管理，应用统一入口。

通过全面移动实现工作人员减负：全程在线操作，消息与数据快速传递；流程化引导，标准化操作，更智能方便；信息自动记录，数据自动计算，报表自动生成。

智慧物联（基础设施）：采用射频识别、传感检测、设备组网、数据处理与算法应用、图像处理与人脸技术、GIS 与 BIM 等新型技术，打通并融合物联网和信息网，建立工业互联网的关键基础能力，为生产赋能。

网络安全：通过分布式部署、混合云应用环境的部署，实现外网与内网业务系统数据互通，既保障安全同时也兼顾用户使用便利性，保障外部承包商、供应商的使用便利性。

4 实施要点与应用示例

4.1 实施要点

智慧工地的建设主要针对核电现场管理难点与痛点，整合各种硬件设备实现统一监控和管理，打造出能够在核电工地现场落地实施的模块化、一体化综合管理体系。基于“服务安全质量管理提升、服务资源加载数据采集”要求，运用物联网综合应用技术建设基础的物联环境，构建覆盖工程项目总部、项目现场多级联动的智慧工地管理系统，按照权限设置，分级管理的原则，工程项目总部、项目现场、监管方、实施方共享资源，形成核电项目信息化生态圈。实施要点可归纳为“五化”。

（1）最小化：以工地现场最小作业单元为中心。面向现场班组作业活动，充分整合资源，提高施工过程相关方工作协同性，改变现场业务执行模式，提高项目管理能力。并且管理留痕。

（2）模块化：以模块化建设为基础。

（3）多元化：以多方协同的延伸管理为诉求，面向产业生态，将施工现场的相关方纳入统一的沟通环境，实现工程现场参建方的数据贯通和一体化管理。

（4）集成化：以多种集成技术为依托，将各个分离的设备、系统和信息集成关联、统一协调，使资源达到充分共享。涉及硬件集成、软件集成、数据和信息集成、技术与管理集成等各方面。

（5）云化：

4.2 基于全生命周期的人员联动管理

实现人员入场至离场的全流程电子化管理模式，提高施工人员入场效率，减少入场办证人员工作负荷，促使施工单位引入符合核电工程建设需要的施工单位

人员，建立施工单位人员注册、人员培训、人员考试、授权制度，对不符合核电管理要求的人员建立退出机制，逐步促进施工单位建设稳定的专业化核电建设施工人员队伍。

（1）通过人脸识别门禁系统与施工人员管理系统联动，固化各施工现场流动人员管理模式。

（2）执行双维度管理，结合人员性别比例、工种结构、年龄段、违规记录等基础人员信息、响应跨项目间人员的联动管理机制。

（3）引入大数据分析机制，满足不同的组合条件，定向筛选特定对象，分析用工高峰期与低谷期的劳动力使用情况，辅助管理决策。

4.3 基于二维码的特种设备与工器具管理

针对工地现场施工专用设备、施工工器具建立全周期管理机制，以二维码为设备的身份标识，包括设备基本信息档案、设备巡检与维修、设备保养与使用等多个方面，涵盖了从设备入场、使用、停放、退场全过程管理。

（1）通过构建现场工器具设备库，统一管理。各项目设备档案生成统一报表，多种查询方式，方便操作人员对设备进行查看、统计和分析。

（2）通过一物一码，透明化设备巡检、维修、保养记录、出厂信息及设备所有人信息。设备问题便捷追溯。

（3）通过生态圈共享设备信息，避免重复引进工器具，最大化利用已有设备，有效成本控制与无效资源耗费。

4.4 基于现场安全隐患的智能化提升

通过智能化提升安全管理能力、改进管理效率，利用人工智能、大数据支撑安全发展，建立安全质量领域历史数据整理与趋势分析预测，结合已有的现场隐患排查数据机器学习的智能化研究，实现隐患排查的自动分类、隐患标准的自动录入，建立数据分析模型。

（1）有效提升隐患识别与事件处置能力，改进项目现场安全监管行为的执行效率。

（2）基于机器学习技术的隐患排查记录与隐患智能化分类，实现隐患排查从人工选择分类向机器智能分类转变，实现隐患的自动分类。

（3）实现隐患和时间的对接规律，实现事件的提前预警。

（4）增加隐患教育功能，从源头杜绝隐患。

4.5 基于电子化的质量管理

辅助对所有的预制、安装及调试服务物项进行质量跟踪控制，从而确保所有与质量有关的活动处于受控状态。严格控制管理每道工序的前期准备和完工验收，协调组织工序衔接及流程转换，为质量管理创造必要的条件，将工程质量从事后检查把关转向事前控制，以保证对工程质量进行及时有效的控制。

（1）通过手机进行“人脸识别+定位+自动时间”，实现签点有效性的控制。

（2）通过移动端质量签点、质量记录数据可追溯性改造、质量文件数字化交付和人员资质管理，进一步推进质量文件的数字化交付。

4.6 基于工程量的统计与 BIM 应用

通过基于人脸识别的门禁控制系统与人员定位、车辆定位相结合，自动计算每个专业在现场的人力工时投入。

自动统计作业区人员与设备作业工时：通过智能门禁、定位信息、人员轨迹、设备开机状态等信息的统计，在不增加现场人员工作负荷的前提下，自动统计人员作业工时与设备作业工时。

真实成本实时汇集：可将人员与设备作业工时实时汇集、自动统计，方便管理层的统计分析与管理。

成本偏差自动计算：对照计划进度，实时计算真实成本与计划成本之间的偏差，方便决策层实时掌握成本偏差。

定额模型构建：通过真实成本数据的搜集，支撑对项目实际的人力与设备成本构建定额模型。

其中，人车定位系统利用 RFID 远距离识别的原理，对进入电厂区域的标签进行自动识别和区域性定位。定位系统通过每个阅读器检测到的每个标签不同的场强大小进行逻辑解算，来判断标签当前所在区域位置，实现对人员动态管理。如：人员考勤、人员查找、人员区域限定、人员统计、视频联动、重点区域管理等。该技术主要用于现场户外空旷区域的人员定位及轨迹跟踪。通过定位技术，可获取人员在作业片区的作业的参与时间，为细化的作业消耗人力投入计算提供重要参考依据；可实时观察作业人员、车辆流动情况，作为动态风险地图汇制的支撑；可监控其活动范围，必要时通过电子围栏限制其移动范围；实现人员滞留提醒。

4.7 基于可视化的智能辅助决策

实现项目管理领域关键指标的展示。在线查看现

场人员、作业、变更等生产要素指标，以及项目的管理及集成的数据指标；提供项目经营评价及成熟度评估的基础；提供项目间管理水平的横向评估依据；针对不同的应用场景，设置预警推送机制，对现场的环境数据、管理对象、风险、违规行为等进行报警提醒；一手现场资料的直观获取，足不出户全面掌握现场管理对象的基础状态，准确及时地识别违规行为：在高清监控摄像下，每个现场作业人员的一举一动都显示在画面中，智慧工地系统通过结合 AI 和 RFID 技术，运用后台云计算展开行为捕捉分析 ，从而辅助管理者进行高危作业判定，在可能发生安全质量问题之前及时发出预警信号。

5 结束语

从国家到地方，智慧工地作为新一代 IT 技术与施工项目管理融合创新的手段，已经成为施工建设过程中必不可少的重要的建设工具。然而智慧工地的建设并非一蹴而就，势必经历从“感知”历“替代”到“智慧”这一“自我进化”的艰难旅程。

感知：借助人工智能技术，起到扩大人的视野、扩展感知能力以及增强人的某部分技能的作用；替代：借助人工智能技术，来部分替代人，帮助完成以前无法完成或风险很大的工作；智慧：随着人工智能技术不断发展，借助其“类人”思考能力，大部分替代人在建筑生产过程和管理过程的参与，由一部“建造大脑”来指挥和管理智能机具、设备，完成建筑的整个建造过程，这部大脑具有强大的“知识库”管理和强大的自学能力，人转变为监管“建造大脑”的角色。

由此，智慧工地的建设必定是分阶段、分步骤，有序推进、逐步实施的过程。实现“智慧”的工地一方面要发挥信息化新技术、新手段与不同业务操作模式的深度融合，形成由点及面的网状应用结构，发挥多模块组合的集群效应，另一方面要重点提升工地现场数据集成、存储、应用的能力。面对数字化转型的新形势，如何自动收集、整理工地现场的基础数据，建立统一的数据标准和传输协议，搭建项目级数据库，提升数据信息关联分析与智慧预测、实时预警反馈和自动控制的能力，是实现“建造大脑”旅程中下一个重点研究的课题。

参考文献：

[1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 2016–2020 年建筑业信息化发展纲要[Z]. 2016.

[2] 王超, 陈励宁, 王忠杰, 等. 智慧工地在项目建设安全生产管理中的应用与探索[C]//2020 年工业建筑学术交流会论文集. 北京:[出版者不详], 2020: 374-378, 373.

[3] 丘涛. 智慧工地建设的数据信息协同管理研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2019.

[4] 丁小虎, 冯俊国. 智慧安全监督体系的构建与应用[J]. 建筑经济, 2019, 40（7）: 12-15.

[5] 洪长河. 浅谈“智慧工地”的应用[J]. 工程质量, 2020, 38（1）: 98-100.

[6] 温耀斌. 电网项目管理中智慧工地平台系统的研究与应用[J]. 机电信息, 2020（36）: 53-54.

[7] 李雪松. 智慧工地管理系统的研究与实现[D]. 重庆: 重庆大学, 2019.

[8] 项军, 罗小满, 吴旭君. 分析智慧工地建设管理及应用实践[J]. 建筑技术开发, 2019, 46（23）: 104-105.

[8] 魏少雷. 智慧工地的内涵解读与实践应用[J]. 中国建设信息化, 2020（24）: 52-55.

[9] 王超, 陈励宁, 王忠杰, 等. 智慧工地在项目建设安全生产管理中的应用与探索[C]//2020 年工业建筑学术交流会论文集. 北京:[出版者不详], 2020: 374-378, 373.

[10] 郑小云. BIM 技术在设计优化及智慧工地建设的应用研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2018.

[11] 张昊晨. AI 学习在智慧工地的应用[C]//第 26 届华东六省一市土木建筑工程建造技术交流会论文集（上册）. 北京:[出版者不详], 2020:3.

[12] 张昊天. 基于物联网的智慧工地集成系统构建[J]. 数字通信世界, 2020（12）: 71-73.

[13] 李静. 基于灰色理论的可信软件规划质量屋模型研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2011.

[14] 吴亮. 智慧工地企业级管理系统研究[D]. 武汉: 湖北工业大学, 2020.

[15] 韩豫, 孙昊, 李宇宏, 等. 智慧工地系统架构与实现[J]. 科技进步与对策, 2018, 35（24）: 107-111.

核电站电网通信系统集中监控平台建设

杜冲
（中国广核集团有限公司信息技术中心，广东 深圳 518031）

摘　要：核电站电网通信系统承载着电厂与电网之间的通信调度、电力监控、自动化等各类重要业务，通信系统设备运行质量、机房环境、电源等都将影响通道传输质量。同时基于核电厂机组数量多、覆盖范围广等特殊性，对核电站电网通信系统进行集中监控，科学治理是十分有必要的。集中监控系统设计建设以面向对象为主导，提供统一的开放性服务接口以及一套 API 接口规范，保证系统的开放性及高扩展性。

关键词：集中监控；开放性；高扩展性；

1　引言

在大数据、5G 等信息技术支持下，信息设备已逐渐脱离人工巡检，现场检查等方式。对设备的自动化集中监控，统一管理已成为大势所趋。尤其基于核电站通信设备分布范围广、无人值守等特殊性，使得运维人员无法第一时间获取设备告警及故障信息，导致故障处理时间滞后，并可能导致其他不可控故障。同时由于电网通信系统设备品牌及型号众多，接口方式差异较大，因此，需要建设一套多接口、高可靠性和高扩展性的集中监控系统，方便运维人员实时检测设备、电源及机房环境情况，高效率完成故障处理。

2　集中监控平台建设项目背景

在核电站日常运行管理活动中，除一次设备的质量管理外，二次设备的系统运行质量也十分重要。其中涉网通信设备是电厂与电网之间数据交流的重要通道，承载着继电保护、远动、PMU、网络发令等各项业务，通道运行质量将直接影响上述业务的传输情况，其中误传、漏传都会威胁核电站发电安全。人工定期巡检、定检等都无法及时有效发现系统设备故障，快速处理，存在故障不可控风险。本项目借助信息化手段，实现通信设备、网络设备、蓄电池、电源整流柜、机房温湿度、门禁及视频监控等多节点、高扩展的集中监控平台建设。

3　系统结构

系统总体结构如图 1 所示，在各开关站部署两套集中监控分站采集器分别用于对通信设备网管信息、开关量信息以及遥测、遥信、遥控数据进行采集处理，同时在机房部署监控摄像头对机房进行统一监控，部署网络硬盘录像机进行监控视频数据存储功能。生产控制大区采集服务器收集各集中监控分站采集器数据，进行数据处理之后通过正向隔离装置传输至管理大区数据服务器，数据服务器收到生产控制大区和管理大区采集服务器数据之后，通过监控中心大屏进行数据展示。运维值班人员可在显示大屏实时查看各设备运行状态、机房环境、视频监控以及告警信息等，实现了电网通信系统设备的 7×24 小时全天候监控，保证设备隐患及故障的及时响应处理，保障了业务的稳定性、持续性。

4　系统运行技术特点

集中监控系统主要采用 B/S 结构，终端展示设备通过专网连接至服务器，使用浏览器登陆系统，查看系统实时运行信息。

4.1　系统运行介绍

（1）系统主界面

集中监控系统主界面以系统架构图为主，通过不同颜色显示各设备运行状态，如图 2 所示。

通过图形化界面清晰明了的展示了集中监控系统的整体架构，每台被监控设备的运行状态都能很直观的显示；

具备高可扩展性，后续若有新增监控设备，也可直接进行添加；

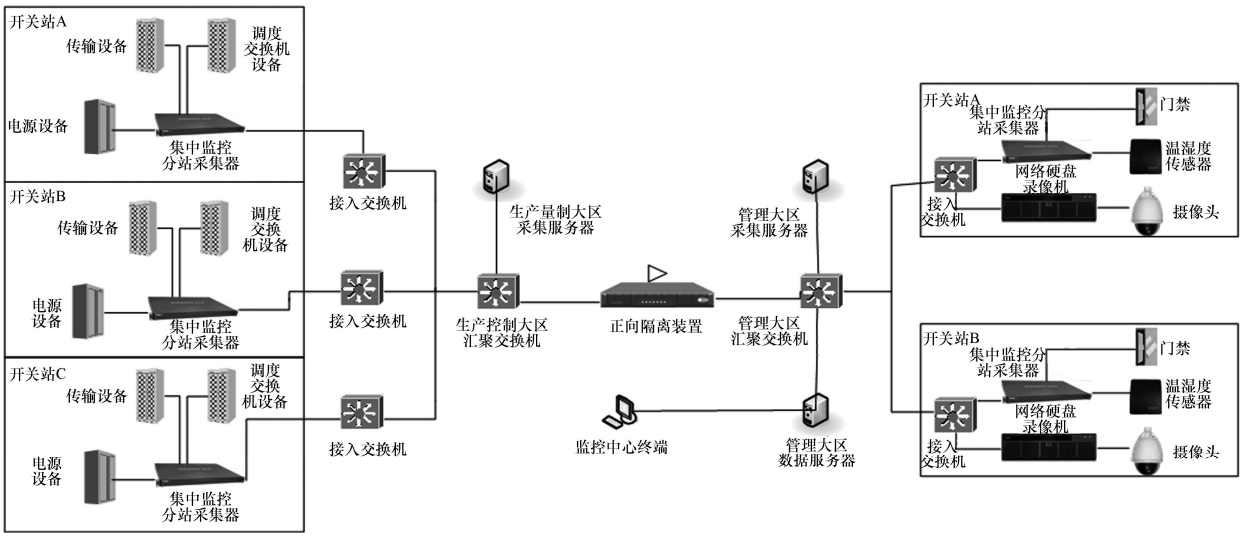


图 1　系统总体结构

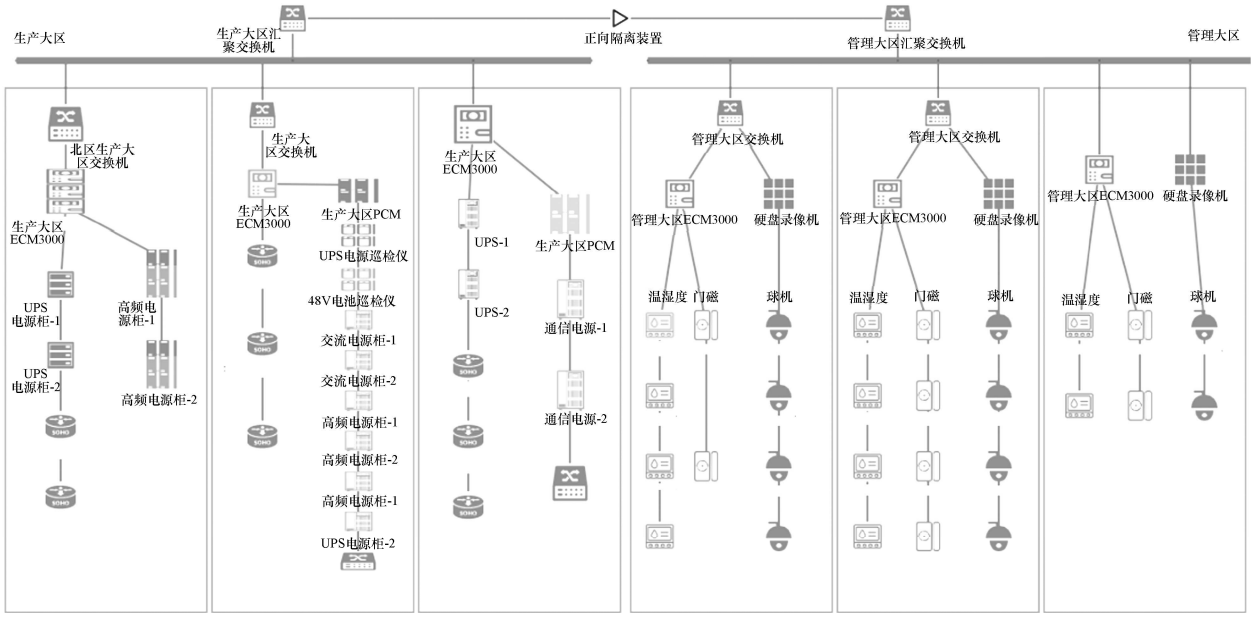


图 2　系统主界面

在每一台被监控设备上右键即可选择查看其设备当前告警、历史告警、当前性能、历史性能以及设备详细信息等数据；

通过被监控设备所展示的颜色表明设备运行状况，绿色表示设备运行正常，蓝色表示有通知信息，橙色及红色表示设备具有不同程度的告警，灰白色表示设备已下线，如对于门禁系统而言，绿色代表机房门关闭，橙色代表机房门打开，并能记录机房门打开时间等信息。

（2）个人首页设置

个人帐号可自行定制首页界面，在首页编辑界面的组件列表中选择需要展示的组件内容，如实时告警、机房设备拓扑图、公告等等，同时可对组件的大小、位置进行编辑，如图 3 所示。

设置完成之后，后续用户登录都将显示个人设置内容，如图 4 所示。

系统具有资源、监视、性能、视频、系统 5 个主要的菜单，主要功能如下。

- 资源：管理各机房的动环设备、交换机、摄像头、录像机等被监控设备。通过空间资源进行各类设备的管理。
- 监视：查看设备告警，包括当前告警信息及历



图 3　个人首页设置



图 4　首页展示

史告警信息。监视中还包含拓扑管理功能，目前仅有管理员具备拓扑管理权限，用于对其主页设备拓扑图进行增删查改等工作。

- 性能：展示动环设备的性能曲线图，有柱状图、折线图等形式进行展示，系统运维人员根据设备性能曲线图来判断设备当前运行趋势。
- 视频：通过选择各机房摄像头播放各机房的视频监控信息，同时可通过视频录像机来查看各机房的视频回放。
- 系统：用户区域授权管理、公告管理、系统日志查看等，主要是管理员来对用户授权、系统公告等进行修改，同时可查看系统的操作日志。

（3）资源管理

由于核电站区域大、多站点、多机房等特殊性，适合按区域、站点、机房等进行逻辑划分的资源管理模式。如图 5 所示，左侧展示空间资源树，区域、站点、机房、机柜、设备等资源以树形结构进行展示。右侧展示所选择的节点下列表信息或所选择设备的详细信息。

同时在该界面可对各资源节点进行增删查改等操



图 5　资源管理

作，若为动环设备时，还可对动环设备的遥信、遥测、遥控信息进行管理，可设置各机房动环监控告警等级，如对机房温湿度监控，可设置其一般告警、严重告警的温湿度范围。同时可通过此界面新增监控设备，方便后续系统扩展及变更。

（4）监视管理

监视模块是对告警信息及拓扑信息进行管理。拓扑信息管理主要是方便管理员对首页拓扑图进行增删等操作，对于运维人员而言，主要需求为对告警信息进行展示、查询、确认、消除以及告警维护经验管理。

告警查询支持按照告警级别、设备类型、根源告警、白名单告警及告警时间等多条件查询，可对每一条告警进行展示，查看告警详情，同时可对已知晓告警进行确认消除操作。对于维护人员而言，告警处理的经验反馈尤其重要，在告警详情中，可添加编辑维护经验，输入故障处理过程及处置措施，后续若出现相似故障信息，其可关联展示之前的故障维护经验，方便新接手运维人员的故障处理工作。

（5）设备性能管理

性能管理是针对动环设备的遥信、遥测及遥控数据、实时告警信息等以图形化界面进行展示的功能。以下图蓄电池性能为例，其动环遥信数据可展示每一个蓄电池单体是否存在告警，遥测数据可展示每一个蓄电池单体的电压、内阻以及标记蓄电池的温度，若相应数据不在提前设置的阈值范围内，根据超出数值大小触发不同级别告警。同时性能模块也可以通过折线图展示设备性能变化趋势，运维人员可依托此曲线判断设备运行状态，提前对性能逐渐恶化的设备进行



图 6　告警信息查询



图 7　蓄电池性能展示

更换，保障系统运行的稳定性。

（6）视频监控管理

视频监控即通过摄像头实时采集视频数据，运维服务器可直接登陆摄像头查看实时监控信息或登录硬盘录像机查看最近 6 个月的视频数据，可用于远程实时巡检、故障设备状态监控、机房人员监控等，方便运维人员巡检，故障回溯等工作。同时可对此功能进行扩展，实现自动化巡检、人员误入报警等功能，在机房人员安全、设备安全等多方面都有重大作用。



图 8　视频监控

4.2　系统管理

（1）安全管理

基于当前信息安全大形势下，系统针对信息安全方面对设备接入、协议转换、网络隔离、专网专用等多方面进行管理。监控系统采集服务器通过设备开放的网管接口或维护接口进行告警信息采集，同时限制系统权限为只读权限，避免因数据交互造成设备影响。对于 SDH 光传输设备、调度交换机设备等生产大区设备监控数据，通过正向隔离装置将其与机房动环监控、视频监控等进行网络隔离，利用专线将监控数据进行远程展示，避免外部网络攻击导致涉网设备收到影响，保障系统网络安全。

（2）配置管理

系统配置包括账号配置、权限配置等，登录管理员帐户，可对用户账户进行增删查改并进行权限配置，目前集中监控系统中设置了三种权限，分别为系统超级管理员、系统运维人员、系统普通用户。其权限设置为：系统管理员可查看系统全部展示信息，可对系统拓扑图、配置信息、资源数据进行修改；系统运维人员可查看系统所有信息，可对系统数据进行管理；系统普通用户能查看系统告警信息等数据，用于第三方实时监控。

5　系统关键设备卡板组成

集中监控系统分站采集器主要用于远端机房被监控设备的接入、数据传输，其主要由以下三种卡板组成：串口功能复用板、DQUK 数据采集板以及电源板。其中串口复用功能板和电源板数量是确定的，DQUK 数据采集板后续可根据监测信号的种类及数量，对其进行扩展，其设备组成如图 9 所示。

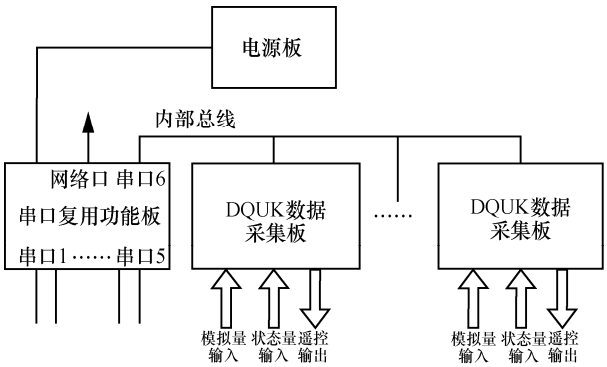


图 9　设备组成

为保证系统运行的稳定性及持续性，建议上游电源采取两个不同来源接入两个电源模块进行双电源供电，通过电源板对其控制。系统接电上线后，自检正常完成后即可开始进行监控数据采集上传工作。其中 DQUK 数据采集板通过遥测接口及遥信接口收集被监控设备的遥信遥测数据，然后通过内部总线将数据通过串口复用功能板传输至上层采集服务器进行数据传输、处理及展示。

5.1　串口复用功能板

（1）功能

串口复用功能板主要功能为实现远端通信机房多台智能设备通过 RS232 接口的同时监控，其主要有 6 个串行接口，如上图 9 所示。其中，可通过串口 1 和远程监控室的服务器相连，串口 6 通过内部总线与 DQUK 数据采集板通信，其余串口均可用于接受被监控智能设备的监控数据。串口复用功能板同步接收所有设备的监控数据，通过分时传输的方式将所有监控设备的监测数据复用为复用包，然后从串口 1 传输至采集服务器进行处理展示。同时，串口复用功能板还能接收上层服务器的轮询和控制指令，并将相关信息解复用后发送至对应的监控设备上，完成两方数据的传输。

除此之外，在一些对于通道可靠性要求较高的场

景中，串口复用功能板可支持通道集群功能，串口复用功能板和上层服务器可设置一条主用通道、一条备用通道两条通道进行监控数据的传输。串口复用功能板能检测其与服务器之间的互联通道状态，当两条通道状态均正常时，使用主用通道进行数据传输，若主用通道检测中断，则自动切换至备用通道，同时持续监控主用通道，待主用通道完成恢复之后，其可自行切换至主用通道进行传输，实现上联通信的高可靠性。

（2）组成及工作原理

串口复用功能板主要由控制模块、1 个以太网接口、1 个 RS232 转 RS485 转换模块以及 6 个串行接口组成。其中除了控制模块是用来执行监控数据复用上传及下达的控制数据解复用功能外，串口主要与监控设备进行数据传输，以太网接口则是通过网线与远端采集服务器进行通信。其组成示意图如下图 10 所示：

一般而言，串口复用功能板放置于远端机房设备中，通过其 6 个串行接口连接机房内被监控设备，如调度交换机等设备及 DQUK 数据采集器等，获取其运行数据，将这些数据通过上联接口传输至前台服务器用于处理展示。针对逻辑上而言，串口复用功能板有两个基本功能模块：串口复用器以及集群通道切换器，其逻辑框图如下图 11 所示：

上联接口通过线缆与前台采集服务器相联，下联接口连接被监控设备，同时对于每个下联接口，都具有一个唯一的复用端口号，其接收发送的每一个数据包都是通过这个复用端口号进行区分。当向前台采集服务器传输监控数据时，复用器先从各下联接口接收所有被监控设备数据，并将监控数据进行复用，再通过集群通道切换器对外传输至前台服务器。反之其接收前台服务器下达的数据，通过集群通道切换器进行解复用之后发送至复用器，根据复用端口号再发送至其对应的下联接口。

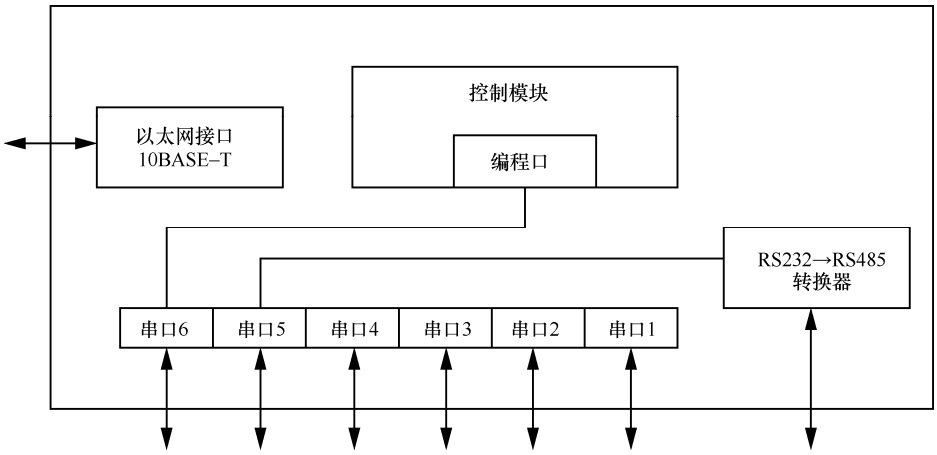


图 10　串口复用功能板组成结构

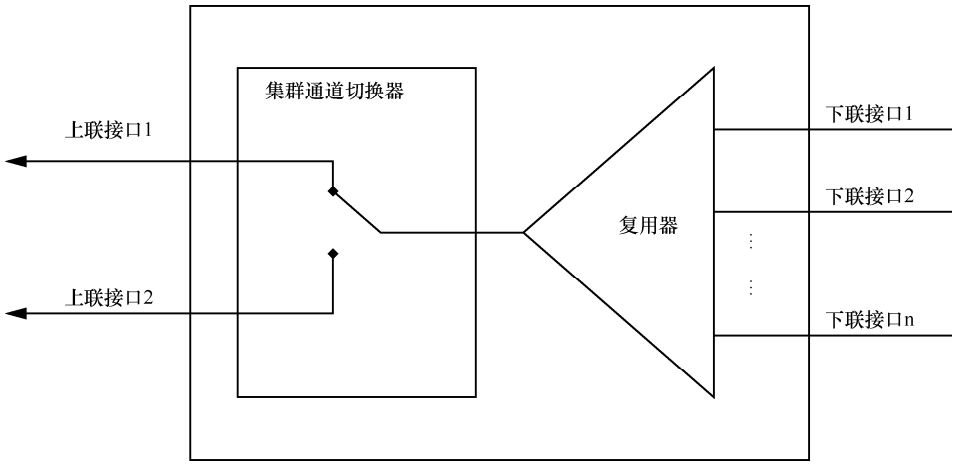


图 11　串口复用功能板逻辑

上联接口 2 是可选择配置的，若远端机房有 2 条通道连接至后台服务器，可分别接入上联接口 1 和上联接口 2，配置为优先通过上联接口 1 进行数据传输。同时服务器定时向其发送通道检测数据包，以此来判断上联接口是否正常运行，若未收到上联接口 1 的检测包，则判断该接口中断，通过上联接口 2 进行数据传输。

5.2 DQUK 数据采集板

（1）功能

DQUK 数据采集板主要用于对远端机房设备遥信、遥测、遥控等数据的采集。其主要有两个功能：信号采集功能及通信功能。信号采集功能主要是通过遥信及遥测两个接口进行，其中遥信接口电路先对 12 路遥信接口的遥信状态进行逐个扫描，再通过 A/D 转换模块测量遥测接口的接入设备输入的遥测信号，重复进行这个动作直至完成全部信号扫描。由于遥信接口的扫描测量所需时间在 0.1s 至 0.6s 左右，所以要想采集遥信数据，遥信量的变化持续时间必须在 0.6s 以上才能被采集。同理遥测量采集的时间大约在 0.6s 至 4.8s之间，所以遥测量的数据变化持续时间至少为4.8s才能被有效采集。通信功能是通过通信接口，接收远端采集服务器发送的通信数据，如果接收到的为遥信及遥测数据更新命令，则控制单元将目前采集的监控设备遥信遥测数据发送至远端采集服务器，如果收到的为遥控数据，则控制单元通过遥控输出来控制继电器状态。

（2）组成及工作原理

DQUK 数据采集板主要由通信接口、控制单元、遥信接口、A/D 转换模块、遥测接口、遥控输出以及电源等 7 部分组成，其组成框图如下图 12 所示。

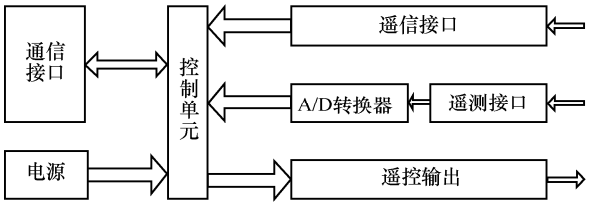


图 12　DQUK 数据采集板组成结构

遥信接口根据现场实际输入端子数量，制定了两种接口方式。其中方式 1 每一个遥信接口都是一个独立的链路，如图 13 所示。其光耦管的“遥信+”和“遥信-”两个接口单独进行引出接线，与其他的遥信接口无任何关联，在接入时无需考虑其他遥信量的影响。方式 2 则是为了节约设备输入端子数量，将多个遥信接口的“遥信-”并接在一起，作为“遥信-”的公共端子，多个遥信接入的“遥信-”均接入该端子。如下图 14 所示，但这种接入方式必须保证其共用该端子的遥信接入信号的告警变量一样。以下两种接入方式互有利弊，通过综合考虑现场实际情况及需求，前 4 个遥信量采用接口方式1，后 8 个遥信量采用接口方式2，既保证了告警信息的独立接入，也节省了系统输入接口。

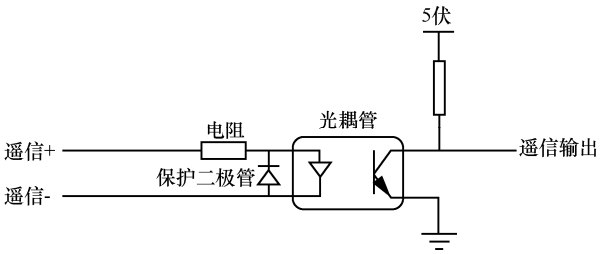


图 13　遥信接口方式 1

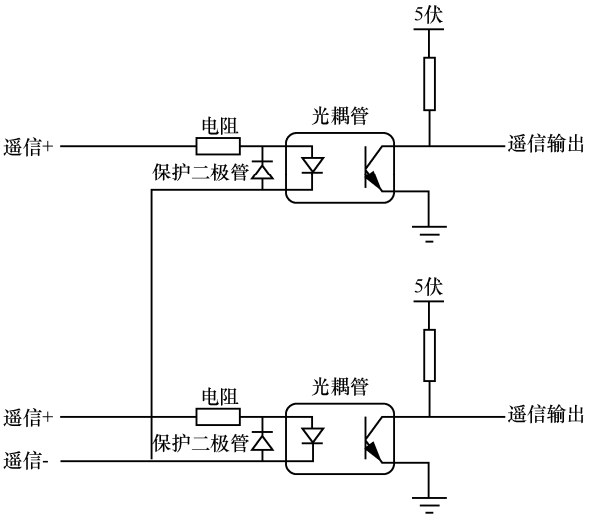


图 14　遥信接口方式 2

遥信接口原理为遥信量从“遥信+”接入，“遥信-”接地或接低电平，若“遥信+”没有遥信量输入，则光耦输入侧两端均为低电平，无电压差，光耦管输出处于截止状态，遥信输出为 5V 高电平；若“遥信+”有遥信量接入，且光耦管输入端两侧电压差在 1V 以上时，光耦管此时处于导通状态，遥信输出则为低电平。

遥测接口主要对模拟量进行输入，遥测量提供设备主要电平、电压及温度等模拟量，只能为不超过 5V 的直流电压输入，保证遥测量数据的正常传输。遥控

输出主要是将服务器下达的遥控信号通过继电器接点输出，其有 3 个输出接点，分别为常开、常闭及中心接点，通过继电器完成其关闭动作控制。同时会将遥控操作的时间、对象、操作人信息等保存在系统日志中，便于进行追溯。

5 总结

核电站电网通信系统集中监控平台集成了设备性能监控、系统告警提示、机房动环监控以及视频监控等多项功能，实现了设备远程巡检，告警展示，运行状态监控，故障现象回溯等，大大提高了运维人员的工作效率，缩短了故障响应时间。同时通过分析设备性能曲线，对性能劣化严重的设备进行提前更换，保障了电网通信系统运行的稳定性，业务连续性。同时也为后续电网通信设备的自动化巡检、无人值守机房工作的开展打下了良好的基础。

参考文献：

[1] 杨军. 新一代基于 Internet 技术的动力及环境集中监控系统[J]. 通信工程, 2001(2): 15-18.

[2] 徐志晖. 基于无线网络的远程控制平台研究与实现[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2005.

[3] 李文鑫. 基于 Internet 的远程实时监控系统研究[D]. 武汉理工大学, 2006.

[4] 刑权. 环境动力集中监控系统在电信网络系统中的设计应用[J]. ZTE 中兴通讯技术，2014，(4)：9-11.

[5] 陈鹏. 发电厂信息通信机房安防监控系统的实现[J]. 宁夏电力, 2013(01):54-57.

[6] 丁晓赟, 鲁丽萍, 刘娟. 基于 IEC 61400-25 的风电远程集中控制系统[J]. 电力信息与通信技术, 2016, 14(8): 82-86.

[7] 邱雪松, 蔺艳斐, 邵苏杰, 等. 一种面向智能电网数据采集的传感器聚合布局构造算法[J]. 电子与信息学报, 2015, 37(10): 2411-2417.

[8] 沈光剑. 电力通信中 ECM3000 通信综合网管监控系统的应用[J]. 贵州电力技术, 2011, 14(4): 48-50, 41.

[9] 张源. 电力通信网综合监控系统的设计和应用[D]. 南京: 南京邮电大学, 2010.

[10] 王迎新. DZK-95 电网综合监控系统在城南集控站的应用[J]. 山西电力技术, 2000(4): 12-14, 33.

[11] 闵涛, 黄冰. 变电站自动化系统一种智能测控装置设计[J]. 电力系统及其自动化学报, 2003, 15(6): 87-90.

[12]聂元秀. 串口通信在宿州供电公司通信监控系统中的应用[J]. 科技与企业, 2012(21):115-116.

[13] 戚晓勇. 开封地区电力通信监控系统的构建[J]. 黄河水利职业技术学院学报, 2010, 22(1): 42-45.

[14] 吴晖, 刘伯宇, 牛罡, 等. 电力系统视频综合监控平台研究[J]. 烽火科技报, 2009(5): 6-10.

[15] 吕佩哲. 电网通信综合监控系统的设计与实施[D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2014.

基于 5G 软切片方式承载的电力业务典型应用场景探索

郑立，陆绍彬，郑文斌，徐前茅，薛坚
（国网浙江省电力有限公司温州供电公司信息通信分公司，浙江 温州 325000）

摘要：简述 5G 软切片技术路线，重点探索 5G 软切片在电网中应用场景。智能电网是 5G 向垂直行业应用扩展的最重要方向之一，智能电网行业存在多种应用场景，它们的通信时延需求数据传输大小设备数量多少都存在差异从而造成信息交互也千差万别。电网试点 5G 软切片承载方式，旨在保障智能电网应用场景业务隔离需求。通过深入研究 5G 网络切片技术，定义电力 5G 网络切片模板、设计电力 5G 网络切片架构，探索 5G 网络切片技术在智能电网场景的应用方式，满足智能电网环境的业务独立性和安全性，推动高弹性电网主动融入国家 5G 发展战略。

关键词：智能电网；5G；网络切片；5G 软切片；电网应用场景

1 引言

中共中央办公厅印发《国家信息化发展战略纲要》要求 5G 技术研发和标准取得突破性进展，核心关键技术部分领域达到国际先进水平。国家电网公司于 2021 年两会报告提出了“试点建设融合量子通信等技术的 5G 公网电力应用示范区，探索电力有线通信的替代方案，满足对源网荷储海量资源的敏捷响应、精准控制”的工作要求，5G 公网电力应用示范工作成为建设多元融合高弹性电网进程中必不可少的探索和突破。从解决实际问题出发，立足于区域现状，以降低光缆建设投资，提升业务承载效率为目标，因地制宜开展 5G 公网电力应用试点任务，加快 5G 公网电力应用的工作落地，高效推动多元融合高弹性电网的建设已成为各家网省单位工作的重中之重。

5G 公网电力应用示范工作应遵循“业务分区、网络专用、横向隔离、纵向认证”的安全要求，依托现阶段行业 5G 技术发展和省内公网运营商 5G 网络建设情况，结合公司业务管理模式，充分利用和整合各种资源，力求技术适度超前，安全经济并重，具备可行性和可操作性。

2 5G 软切片技术说明

2.1 5G 切片关键技术说明

5G 网络切片，指在公共物理网络上创建多个相互隔离的虚拟网络，在提供定制化能力以满足行业要求的同时，还提供一定的隔离能力，相互独立运行，可独立生命周期管理。网络切片按资源占用形式的不同，可分为硬切片和软切片两种。硬切片是指单独占用部分 5G 网络资源，即使自己不用也不释放资源，适用于对网络时延、安全性、可靠性要求特别高的行业用户，缺点是无线资源消耗大、租赁成本高；软切片是指不单独占用 5G 网络资源，类似救护车有优先通行权，适用于对网络时延、安全性、可靠性有要求但不是特别高的行业用户，优点是无线资源消耗小、租赁成本低。5G 公网电力应用总体架构如图 1 所示。

2.2 5G 切片电力应用模式

硬切片用于承载生产控制类业务，达到等同于物理隔离的网络专用程度。5G 硬切片承载的源网荷储控制业务原则上通过安全接入区设备就近接入网省公司生产控制大区，也可通过省地县 5G 硬切片互联通道在省公司汇聚后通过安全接入平台接入网省公司需求侧响应平台等业务系统。硬切片内部可按业务类型划分不同逻辑隔离通道，同类业务独享一个逻辑通道。

软切片用于承载管理信息类和其他业务，业务之间采用逻辑隔离。针对电网管理信息类和互联网其他类业务的应用，考虑业务流向和业务系统的集中部署现状，电网软切片方式宜采用共享三大运营商行业 UPF 网元方式，不单独设置独立的专用 UPF，业务数据由三大公网运营省集中后直接通过运营商专线送至

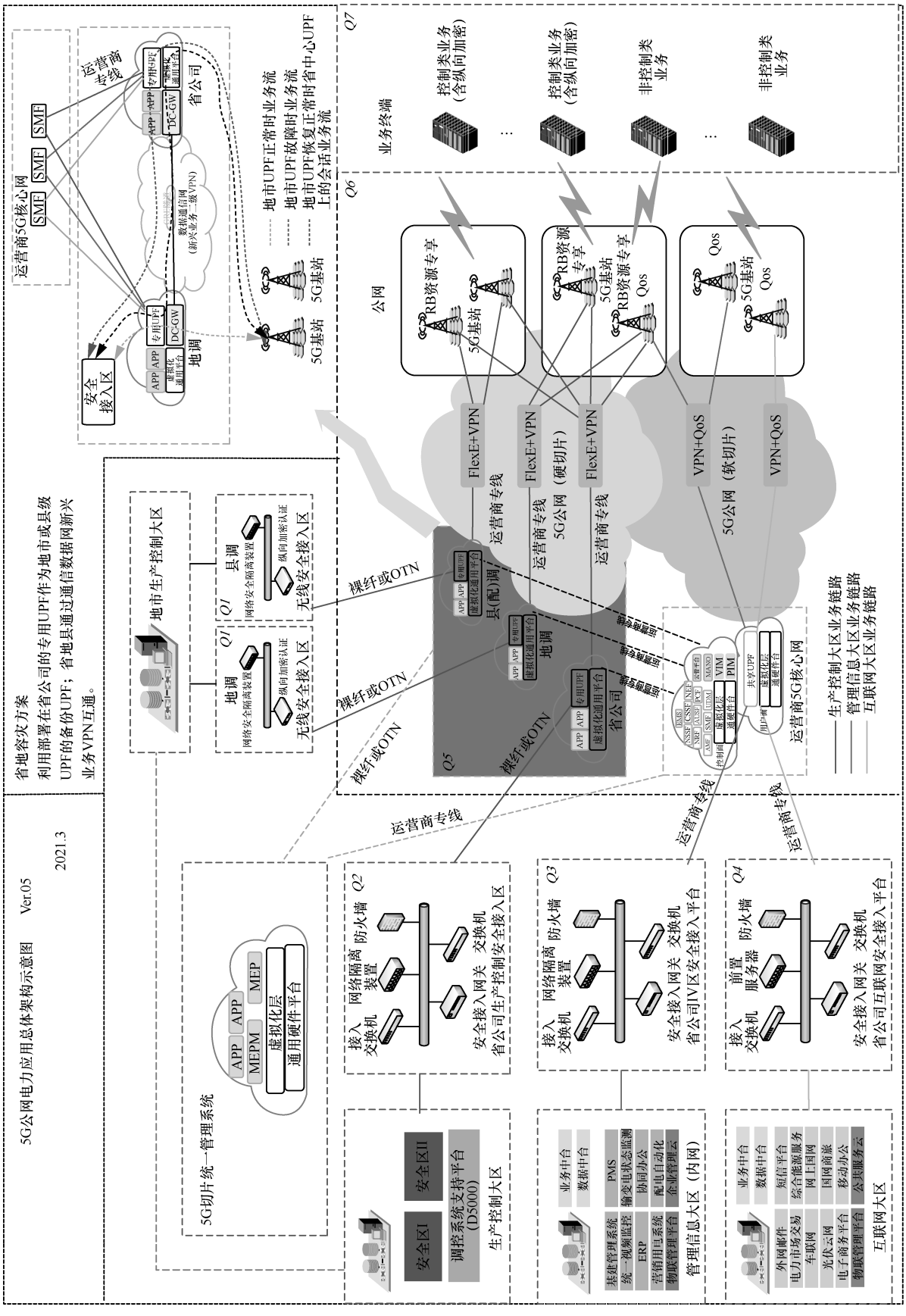


图 1　5G 公网电力应用总体架构

网省公司安全接入平台外侧。需进入电网公司信息内网的业务数据通过网省公司安全接入平台进入信息内网，无须进入信息内网的业务数据直接接入网省公司互联网大区相应的业务系统。5G 软切片与 2G/3G/4G 无线公网的主要区别在于网络、业务管理自主权会更大，如可自主分配业务终端 IP 地址、自主开通/关闭业务通道等。

2.3 5G 软切片技术路线

在无线侧采用基于 5QI 优先级保障的方式，为电力切片提供更高优先级的调度权限。在上下行有数据传输需求时，可以及时调配所需资源。在资源有限的情况下，为不同业务提供“按需定制”的差异化服务质量，包括业务调度权重、接纳门限、队列管理门限等。在资源抢占时，高优先级业务能够优先调度空口的资源，在资源拥塞时，高优先级业务也可能受影响。在承载网侧采用 VPN+Qos 调度的方式，组合 VPN+Qos 调度技术,转发基于 IP 包转发，流量参与 Qos 调度。实现多种业务在一个物理基础网络上的逻辑隔离。

表 1 5G 软切片技术方式

5G 网络	通信保障方式
无线	5QI 优先级保障
传输	VPN 隔离+Qos 调度
核心网	共同运营商行业核心网

3 典型应用场景方案

3.1 基于能源数据中心的负荷聚合与调控

3.1.1 典型场景背景及应用需求

以温州供电公司能源数据中心业务为例。温州市政府“城市大脑”建设方案中已明确温州供电公司负责智慧能源管理板块建设工作，温州供电公司紧抓政策时间窗口，依托温州市能源数据中心，基于碳交易机制模式，启动建立“分布式光伏碳资产虚拟银行”，指导各属地供电公司积极汇聚零散的 CCER 资产，协助分布式光伏用户进行 CCER 委托核证，实现碳交易区域供方市场的聚合，提速温州碳排放权交易的步伐。温州市域当前分布式并网光伏项目约有 15500 多个，主要分布在乐清、永嘉、瑞安等地区，合计装机容量 46.4 万千瓦。风电、水电资源在温州也较为丰富，合计有 77.4 万千瓦的装机容量。通过能源数据中心的用户侧智慧采集终端掌握用户用能数据，细分需求响应业务类型，将具备需求响应能力的电力用户集中，作为整体参与需求响应，也可将其他需求响应负荷聚合商的资源集中参与需求响应。

目前，能源数据中心已接入温州地区 6241 家企业的实时用电数据，覆盖全市 47 家小微园（产业园），接入分布式水电 164 座，分布式光伏 5 座;目前已调试接入商业楼宇、工业企业用户 45 户，累计投运负荷 3.92 万千瓦。2021 年将继续调试接入分钟级可中断负荷用户 38 户，预计新投运负荷 2.70 万千瓦。

未来，按照温州公司能源数据中心的整体规划，将逐步接入全市范围内 5 万多家高压用电企业的实时用能数据，不断丰富数据采集内容，完善企业水气数据，实现分布式小水电、分布式光伏、分布式储能等多种绿色能源接入及应用，进一步打通数据壁垒，引导企业节能降耗、降本增效，不断提升温州地区社会综合能效管理水平。

3.1.2 典型场景业务痛点与难点

当前分钟级可调节负荷资源有限，类型较为单一，需求响应终端对用户的负荷控制能力不强，需要社会化的负荷聚合商介入作为可调节负荷资源的补充。部分接入点因位处偏远地区，还未实现信号覆盖，特别是小水电用户，受地理环境限制，采集终端数据无法及时上传。部分接入点电力设施物联网受到配电房电磁屏蔽的影响，导致数据传输信号差、数据传输不稳定，需要一种更高可靠性的数据传输方式。

随着开展的业务门类（如智慧路灯、井盖监测、消防火灾等）和数据体量的不断增加，后续还将会有海量传感器的接入，该类传感器大多属于静止不动，但存在着规模大、连接广泛的特性，因此需要一种与之相适应的通信方式。随着数据中心接入企业的数量不断增加，进一步整合具备需求响应的企业用户，数据中心作为负荷聚合商实时参与需求侧响应，以快速响应电力市场需求，实现灵活控制、快速负荷调整，改善需求侧资源的结构，需要一种低时延、高可靠性、高数据安全性的通信方式。

3.1.3 典型场景应用落地方式

以上痛点，可通过部署 5G CPE，应用 5G 软切片技术，以支持更多设备大规模广泛可靠链接，同时利用无线侧动态规律性上行数据流的方式，降低通信费用。

针对偏远地区信号未覆盖、采集数据无法稳定上传的问题。根据实际需求，可采用 700MHz 频率 5G 覆盖，解决条件恶劣且无公网信号或信号弱的偏远地

区的电力设施物联网、小水电站等数据通信问题。

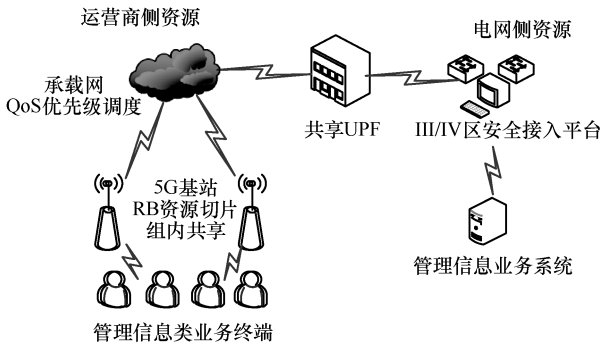


图 2　能源数据中心 5G 应用系统

针对负荷聚合商快速参与需求侧响应的痛点，计划合理布局 5G 通信基站，利用 5G 边缘计算的特点，部署电力局域 5G 业务，对任务关键性物联网进行海量数据的重组、高速、准确上传和实时数据交互。

针对用户需求变化快，包括视频的多元数据传输的痛点，利用 5G eMBB 大带宽场景，将数据处理需求交由本地边缘计算层完成，提升处理效率，减轻云端的负荷，解决多元数据高容量、高带宽、视频存储的问题。

3.2　智慧供应链 5G 通信

3.2.1　典型场景背景及应用需求

国网公司大力推进智慧供应链建设，引入自动导引运输车（automated guided vehicle，AGV）、自动龙门吊等移动搬运设备，提升仓储自动化智能化水平。同时，随着管理不断提升，远程管控要求也在提高，例如远程安防干预，对设备响应速度提出更高的要求。以国网温州供电公司物资专业为例。目前温州地区包括滨海仓库以及各县公司仓库，AGV 存量 10 台，自动龙门吊 2 台，监控摄像机约 50 台。温州滨海仓库引入 AGV，主要解决 3 个方面的功能应用：一是 AGV 自动叉取及搬运，与 AGV 调度系统衔接，听从系统指令，自动将物资移动到指定位置；二是 AGV 及龙门吊车的自动装卸载，将特定设备从车板自动卸载到指定货位，需要高精度定位，智能调整吊装进叉位置；三是自动设备的安防预警，仓库通过数字孪生技术形成电子沙盘，在电子沙盘设置安防警戒线，叉车等自动设备进入防区，自动停止运转；四是仓库引入部分远控设备，操作人员在调度室或在市公司运营中心，通过远程控制，就可以精密操控设备进行搬运，这是基于某自动设备原程序设定无法满足拣配装卸需要，零时控制进行作业的需求。目前叉车主要由人工现场控制，急需配置远程接入设备，满足远程控制需求。

3.2.2　典型场景业务痛点与难点

到目前为止，自动导引运输车已经经历了 3 代，其主要基于 Wi-Fi 网络方案，实现 AGV、附属设备（拣货站、扫描枪、电子标签等）与服务器之间的相互通信。而物资工单主要由部署在“浙电云”的华云 EWMS 产生，该系统和现场设备调度服务器之间的互通也是亟须解决的问题。

目前，AGV 系统主要面临以下问题。一是 Wi-Fi 网络自身问题。由于 Wi-Fi 使用的是非授权频段，非常容易受干扰，再加上仓库或质检中心中有大量的金属货架，导致信号衰减严重，降低现场无线网络的可靠性，造成延时大，丢包率高甚至 AGV 掉线。二是室内定位技术融合问题。由于室内环境限制了卫星信号，目前的室内定位主要依靠无线蜂窝、蓝牙、UWB、Wi-Fi 等定位技术。多种定位技术间缺乏有机的和深层次的融合，无法同时满足大范围和高精度两方面的需求。三是算力制约 AGV 进一步智能化。在视觉或激光导航场景下，为了提高安全性，需要 360°激光雷达以及多个摄像机，对 AGV 本体的算力提出很大挑战。尤其是面对 AGV 智能化和小型化的发展趋势，在 AGV 设备自身有限空间内提升算力比较困难，已经成为制约 AMR 智能化的瓶颈。

3.2.3　典型场景应用落地方式

相比较于 Wi-Fi 的技术限制，5G 的高速率、大带宽和低时延特性，能够带来更宽广的网络覆盖、更稳定的网络连接和更高效的数据传送。再结合边缘计算 MEC、云计算、大数据和人工智能等技术，会进一步提高 AGV 的智能化程度，使其能够胜任更多的应用场景。

在仓库空间内，AGV、拣货站、电子标签等终端设备通过 5G 切片网络实现稳定连接，再经由边缘计算网关（MEC）连接控制服务器，实现网络数据转发。当需求订单信息通过公司内网传递到控制服务器后，服务器根据订单信息生成调度指令，通过 MEC 和 5G 网络下发给仓库中的 AGV 小车，完成库内的物料调度。

在 AGV 路径导航方面，依托 5G 的大带宽传输性能，AGV 可以搭配激光导航和视觉导航模块，并通过 5G 网络将传感数据上传到 MEC，实现云化的 AGV。例如，在 AGV 前端增加若干传感器（激光雷达或摄

像机），传感数据通过 5G 上传到 MEC，利用 MEC 的视频加速处理模块以及神经网络加速模块，完成目标识别、导航、路径规划等功能。

在室内定位方面，通过规模化部署的 5G 室内小基站使 5G 室内网络与多种室内定位技术融合，提供面向 5G 网络的多层次融合定位解决方案，可在定位精度以及覆盖范围实现定位性能的整体提升。将蓝牙 AOA、UWB 等室内定位基站与 5G 分布式皮基站结合共同部署；定位基站复用 5G 皮基站的站址资源、供电资源和传输资源；同时结合边缘计算、大数据等技术，提供亚米级定位精度，满足仓储定位业务需求。

3.3 输电线路 5G 巡视巡检

3.3.1 典型场景背景及应用需求

以温州供电公司输电专业为例。为尽快落实国网公司提出的智慧线路建设工作，温州输电运检中心通过建设全景智慧监控中心、全面升级巡检装备配置、优化人机协同策略，利用三维数字化技术，构建全方位、高精度的数字孪生电网模型，推动可视化设备、人机协同巡检等方式的“空-天-地”立体化巡检，打造自主巡检“常态化”、巡检流程“数字化”、影像识别“智能化”的立体巡检作业体系。

目前配置有中、小型无人机 8 款共计 100 余架，且无人机管控平台已上线运行。其中，轻小型无人机 60 余架，主要为精灵 4 系列及御 2 系列；中型无人机 40 余架，主要为大疆经纬系列。无人机均具备数据回传功能。

无人机需要通过 5G 网络进行高清数据回传，无人机管控平台接收回传数据需要借助公网，存在数据安全隐患。

3.3.2 典型场景业务痛点与难点

当前，无人机管控平台在局域网内运行，与管理信息大区存在着数据壁垒，且无法实时获取无人机图传数据，无法实现任务实时推送、远程控制、成果数据实时回传、在线研判等功能，限制了无人机的应用成效。

而人与人之间进行信息交流，100ms 的时延是可以接受的，但是如果这个时延用于无人机自动化驾驶就很难满足要求。如无人机自主巡检时，极小的偏差就会导致碰撞杆塔或线路金具，这就需求在极小的时延，把信息传递给飞行中的无人机，对飞机做到精细化控制，对传输时延提出极高的要求。立体巡检体系中所需的一项重要技术支持是实现视频实时传输。网络速度容量低意味着视频传输出现时延、卡顿，而为了保证视频传输实时流畅，只能选择降低视频传输质量，导致回传的视频清晰度差，无法看清线路金具细节情况，极大地影响了立体巡检的质量。无人机在遥控模式下，行为与指令之间存在一定的时延，为操作带来不便。

3.3.3 典型场景应用落地方式

而现有的 5G 通信技术相较 4G 通信技术而言，具备低时延（延时低至 1ms）、高性能（峰值速率可达几十 Gbit/s）、高容量、安全性高等优点，通过 5G 网络将巡检高清数据回传能够满足构建立体巡检体系所需的要求。利用 5G 软切片技术，将无人机管控平台和可能在任何范围接入的无人机通过安全隔离的通信通道连通，保障传输稳定性和信息安全性。

采用 5G 通信模组及 4K 高清摄像机，在日常巡线过程中将巡线视频实时传送到监控主站，监控主站通过分析视频内容,及时发现线路故障点，落实故障处理措施，采用 5G 软切片技术实现输电线路智能巡检应用，解决现有 Wi-Fi+人工巡检方式，存在巡视盲区及巡视结果滞后性的问题。输电线路 5G 应用系统如图 3 所示。

利用 5G uRLLC 场景带来的超低时延和超高可靠让远程飞行控制和地面站控制有几乎相同的体验，保证无人机远程控制的安全性。

4 结束语

5G 软切片试点是一项解决电网实际困难且利国利民的创新型工作。5G 公网电力应用是能源领域“新基建”的主要内容之一，将随“能源互联网”的概念外延而不断拓展应用内容，赋予更广、更深的内涵，需适度超前规划，变业务驱动为业务引领。本文为多元融合高弹性电网可调资源接入提供安全稳定的设备及环境支撑，确保多元融合的高弹性电网顺利建设，同时探索 5G 网络切片技术在智能电网场景下的应用方式，满足智能电网环境下的业务独立性和安全性。

参考文献：

[1] 5G 确定性网络产业联盟.5G 确定性网络@电力系列白皮书 I：需求、技术及实践[R]. 2021.

[2] 5G 确定性网络产业联盟.5G 确定性网络@电力系列白皮书 II：5G 电力虚拟专网建网模式[R]。2021.

[3] 3GPP. Network slice selection service: TS 29.531 [S].2018.

[4] 浙江省电力有限公司.5G 公网电力应用总体技术方案[R].2021.

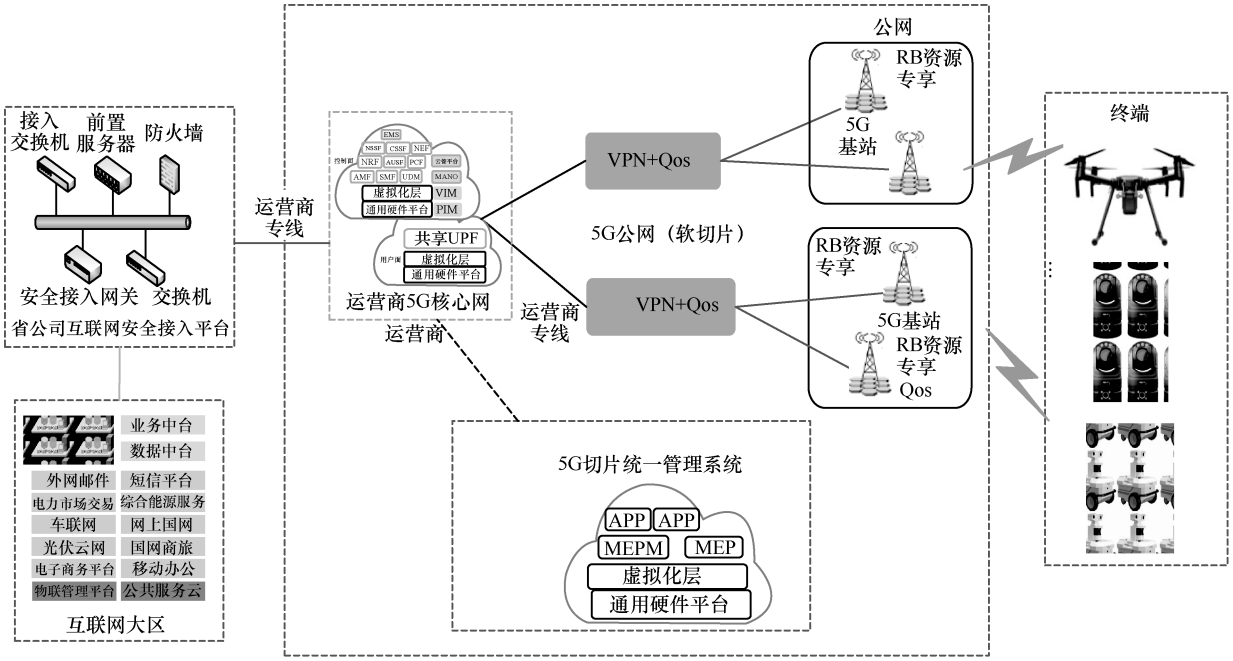


图 3　输电线路 5G 应用系统

[5] 朱渊婧,阳书拥.5G 移动通信技术在电力通信系统的应用研究[J].数字通信世界,2020(8): 235-236 .

[6] 熊波.5G 移动通信技术在电力通信系统的应用研究[J].通信电源技术,2020(4):178-179.

[7] 汪俊芳,曾军,原建森,等.5G 承载网网络切片技术浅析[J].第十六届中国标准化论坛论文集,2019(10):680-683.

[8] 王毅,陈启鑫,张宁,等.5G 通信与泛在电力物联网的融合:应用分析与研究展望[J].电网技术 2019(5)1575-1585.

[9] 陈邵.5G 承载网的关键技术及其组网方案分析[J].科技创新与应用,2021(6):147-149.

基于 HANA 与 HADOOP 的核电备件大数据平台的研究与实现

石子念[1]、王春霖[1]、张福全[1]、张峥[1]、袁凯[2]、邵家安[2]
（1 中国广核集团有限公司信息技术中心，广东 深圳 518124；2 中广核核电运营有限公司，广东 深圳 518124）

摘　要：本文首先介绍了核电备件管理的困难现状和用户的迫切业务需求，在学习 HANA 和 HADOOP 等核心大数据应用技术基础上，研究设计一套基于 HANA 与 HADOOP 的核电备件大数据平台集成架构模型，采用工具化、组件化、松耦合方式完成业务系统数据的联动集成，通过对核电备件数据的抽取、清洗加工、分析应用，实现备件业务的全流程监控与智能化分析，在满足现场业务需要的同时为集团节约大量成本，为后续大数据应用项目实施奠定基础。

关键词：HANA；HADOOP；大数据；全流程

1　引言

某核电集团 SAP(System Applications and Products)系统自 2011 年以来，通过标准化方案推广陆续在各基地完成上线，至今已稳定运行 10 年，业务流程和系统运作平稳，但是存在以下问题：①、属于电站重要核心系统，覆盖了电站运行、维修、辐射防护、采购、备件、培训、财务、人资等核心业务，系统相对稳定，但是系统相对独立且界面友好性非常差。②、报表统计速度慢，用户普遍反馈当前 SAP 企业核心组件(ERP Central Components,ECC)报表速度慢，不能满足用户要求。很多报表运行时间超过 30 分钟而查询不出结果，严重影响用户使用；③、数据分析应用效果差，SAP ECC 存储了大量业务数据，如供应链十几个环节经常需要对备件数据进行多个环节不同维度的统计分析，当前 SAP 系统大批量数据统计分析的便利性及时性准确性远不能满足业务要求。④、备件部门负责统筹整个集团备件业务后，对库存结构分析监控诊断预测的要求越来越高。⑤、备件相关的数据分散在 10 多个不同的系统里面，数据关联分析存在困难。⑥、库存控制压力大，与集团管理要求差距大；库存结构不合理；群厂库存策略覆盖备件偏低；备件到货后的领用率偏低等，基于报表统计和数据分析的应用等突出问题。

拟建设核电备件大数据平台，对备件全流程数据与库存结构分析监控，强化数据分析建模和应用，为方便管理者和用户使用、持续优化多基地库存提供工具和方法，通过技术手段的改进产生效益，最终实现集团降本增效的目标。

2　核电备件大数据平台的研究与实现

2.1　关键技术

2.1.1　HANA[1]

SAP HANA（High-Performance Analytic Appliance）是 SAP 公司于 2011 年 6 月推出的基于内存计算技术的高性能数据计算平台，“全内存，没有 I/O 瓶颈，性能优异”，它简化了复杂和昂贵的 IT 体系结构，且不仅仅具备数据库功能。其核心技术原理如下：

列式存储：列式存储结构在处理大数据量 OLAP(Online Analytical Processing)场景下，只需要访问必需的列，极大减少不必要的数据访问。列存储带来的另一个附加好处是数据高度压缩。

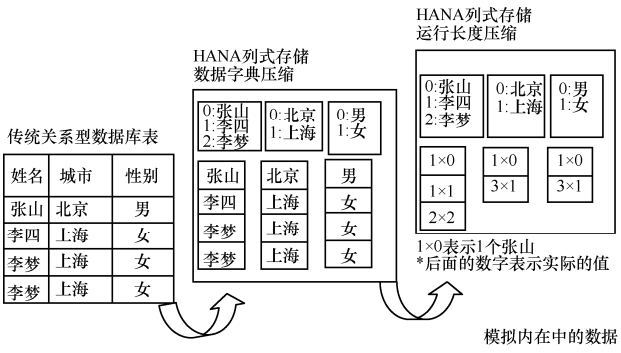


图 1　HANA 列式存储

内存存储：传统的数据库以磁盘为主要存储（Primary Storage）,内存为缓存，起到加速的作用。HANA 反其道而行之，数据总是直接写进内存，更新内存数据的同时写入日志，数据定期写入磁盘并创建保存点，数据恢复时从磁盘和日志区读取记录，由于所有数据都在内存中，HANA 在数据的查询过程中可以做到零 I/O，内存的速度比起磁盘快若干数量级。

并行计算： HANA 支持大规模并行处理(Massively Parallel Processing,MPP)。MPP 通过把数据拆分到不同节点、分而治之，实现系统的扩展、性能的提升。不同列的数据，可以交给不同的 CPU core 并行处理；同一列的数据，也可以横向拆解给多个 CPU Core 并行处理。传统的数据库往往是大量的 CPU 资源闲置着等待 I/O，而 HANA 却可以把一体机的 CPU 100%地利用。

2.1.2 HADOOP[2]

Hadoop 是 Apache 开源组织的一个分布式计算开源框架，由 Doug Cutting（道格·卡廷）在 2004 年开始开发并于 2005 年秋天作为 Nutch 的一部分被正式引入到 Apache。基于 Hadoop 可以轻松地编写可处理海量数据的分布式并行程序，并将其运行于由成百上千个结点组成的大规模计算机集群上。当前云计算已经被看作 IT 业的新趋势，Hadoop 作为构建云计算平台的关键技术之一而被广为关注，且已经在很多项目中用作海量数据存储、数据检索和统计分析技术。Hadoop 由 HDFS、MapReduce、HBase、Hive 和 ZooKeeper 等成员组成，其中 HDFS 和 MapReduce 是两个最基础最核心的成员。

Hadoop 的优点：1）可扩展：不论是存储的可扩展还是计算的可扩展都是 Hadoop 的设计根本；2）经济：框架可以运行在任何普通的 PC 上；3）可靠：分布式文件系统的备份恢复机制以及 MapReduce 的任务监控保证了分布式处理的可靠性；4）高效：分布式文件系统的高效数据交互实现以及 MapReduce 结合 Local Data 处理的模式，为高效处理海量的信息作了基础准备。目前公司已引入星环 Hadoop 平台产品，本项目 Hadoop 基于该产品基础上实施。

2.2 核电备件大数据业务介绍

核电备件大数据业务总体包括备件业务全流程可视化、工程师工作任务全流程可视化、备件全流程业务数据统计分析。总体目标分为两部分：一部分为 SAP 数据同步至集团数据中心，该部分在集团数据中心（HANA+Hadoop）处理； 另一部分为利用数据中心的数据进行数据建模、分析和在前端可视化平台展示。

2.2.1 备件业务全流程可视化

主要包括备件业务量全流程可视化、备件业务进展全流程可视化。备件业务量全流程可视化可以按不同维度（工厂、专业组、系统、备件部门、备件包、

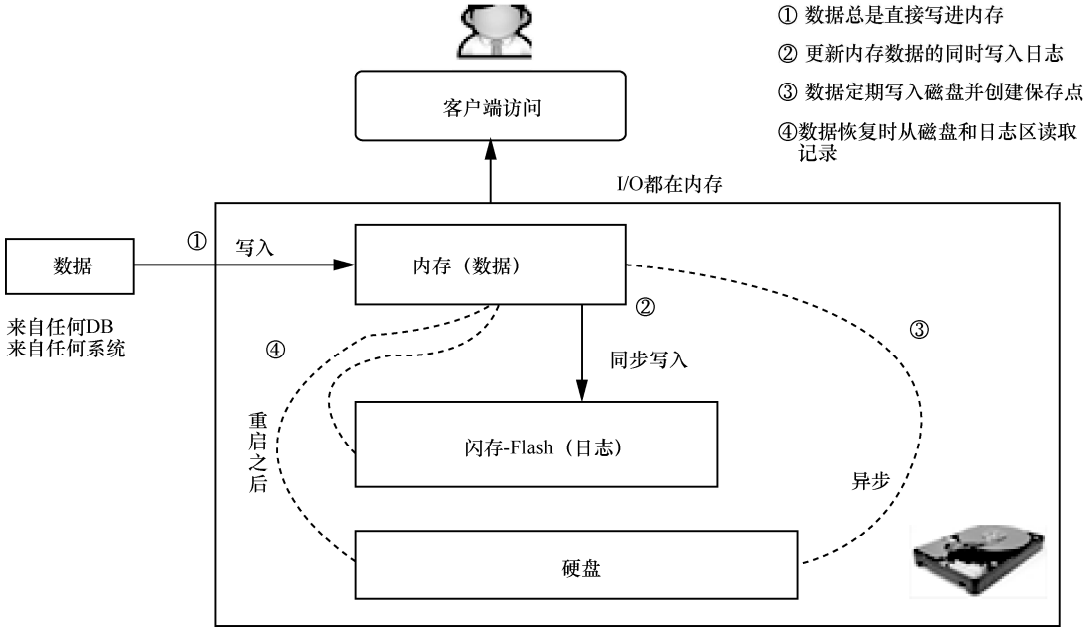


图 2 HANA 内存存储

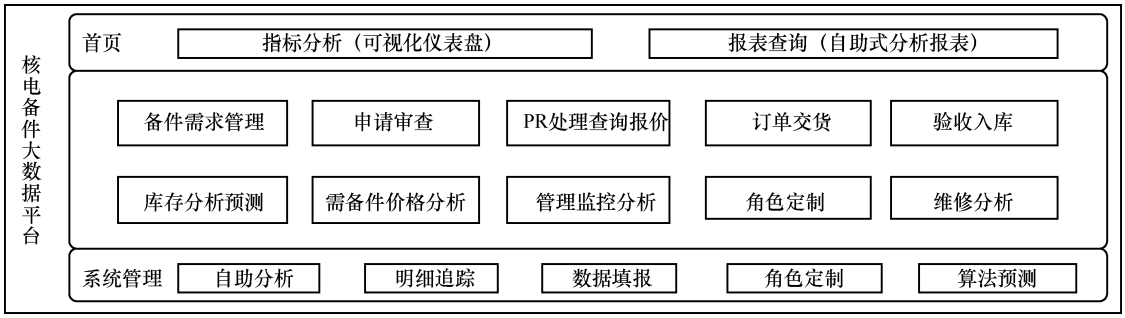


图 3　核电备件大数据业务总体功能架构

大修、等备件、CCM 等）进行筛选统计。备件业务进展全流程可视化可通过工单号、物料号、申请单号、订单号等关键字段，查询备件库存预留情况，显示备件业务所在节点，可显示具体负责人及当前进展信息，查询结果展示主要流程环节的信息，对于子流程如 PR 审查过程、澄清进展等信息，可通过悬浮方式查看详细进展，备件全流程业务明细展示。

2.2.2　工程师工作任务全流程可视化

主要包括备件工程师可视化、计划工程师可视化、采购工程师可视化。

（1）备件工程师可视化

1）工程师任务跟踪：根据员工号查询名下所有备件相关任务，分类显示，可实现批量查询，按专业显示具体负责人的任务；

2）维修备件信息查询：根据系统、专业、点检模块（预留字段）等信息查询、展示维修备件库存、预留、采购进展、库存存储期限、备件澄清、备件差异等信息，使维修人员能够便捷、迅速地查看维修项目管理的备件数据；

3）缺货备件提醒：未来某段时间库存不满足工单预留的备件提醒；备件到货日期不满足需求时间的采购订单提醒，可实现分专业分类查询；

4）维修备件预留信息：分别显示大修及日常预留准确率，可对备件预留变更信息进行记录，方便备件工程师查看历史预留信息、已删除的备件预留申请等；

5）维修备件物项替代信息：与新的物项替代系统接口，显示库存不满足使用的替代项目，物项替代后可以查询替代后首次使用工单、备件不满足的需求的工单及标准包信息；

6）异常库监控：按照异常库备件类型，分类显示各专业异常库备件项数、状态和金额；

7）备件质量事件：备件质量事件单、状态及负责人，可按专业统计；

8）等备件跟踪：查询维修平台等备件工单、任务跟踪人、未审批采购申请、等替代采购申请、待验收备件等；

9）CCM(Critical Component Management)备件状态监控：分专业/模块显示 CCM 备件库存（含异常库）、正订、预留、澄清、差异、库存保养以及是否有采购技术规范/验收标准等；

10）核监管备件：核监管备件库存、预留、正订、报备、待开箱、待验收、跨电站领用等信息。

（2）计划工程师可视化和采购工程师可视化

2.2.3　备件业务数据统计分析

主要包括库存分析与预测、备件价格分析。

（1）库存分析与预测：

分析预测群厂/某电厂/某备件包当年度/未来三年的库存金额。预测方法：预测库存金额=当前库存金额+当年计划到货备件金额*相应按时交货率系数-预计消耗金额（大修消耗与日常消耗的总金额）（根据历史领用数据测算），库存分析：分析备件月度的出入库情况，监控大修及日常领用情况，与历史数据进行对比。实时监控库存偏差。

（2）备件价格分析：

参数输入：输入电子商务平台（E-Commercial Platform,ECP)的项目号（可多值查询），自动获取 ECP 项目中每行的物料号和对应的报价及最终推荐价格作为输入的需要分析的物料、首次报价和最终报价；使用导入表格的方式输入带有物料号、首次报价和最终报价作为多值输入，作为分析的物料、首次报价和最终报价；取 SAP 的物料主数据中的物料码、备件品类、物料描述、备件的替代信息和物料码 BOM 功能位置来判断所分析的物料在数据库中存在的可参考备件的类型；从 SAP 系统的历史 PO 数据及市场参考价格数

据库中获取历史订单信息及市场价格。

结果输出：系统按照输入及支撑数据自行对各行物料的价格进行分析计算并按照清单格式输出清单。

2.3 备件大数据平台的架构设计与实现

结合上述业务场景，本项目采用大数据产品：HANA+Hadoop+可视化平台工具相结合方式实现该需求。该平台应用技术架构如下图所示，星环 Hadoop 做为非结构化数据仓库[3]，定位历史海量数据存储、批量数据分析应用支撑；SAP SLT(SAP Landscape Transformation)做为实时数据 ETL(Extract Transform Load)工具，仅支持 SAP ECC 与 SAP HANA 间 ETL 专用；SAP Data Services 做为批量数据 ETL 工具，支持各类型源系统与 SAP HANA、Hadoop 间 ETL。

技术架构共分四层：数据源系统层、数据传输层、大数据处理层、大数据应用层。

2.3.1 数据源系统层

主要包括 SAP、电子商务平台（ECP）、统一工作流管理系统（Universal Process Management system,UPM）、核电备件共享管理系统（Nuclear spare parts Sharing Management system,NSM）、群厂备件照片与文件管理系统（Photo and Document Management System,PDMS）、多基地物项管理系统（CGNPC item Substitution Management Platform,CSMP）、永洪可视化填报系统（Yong Hong Business Intelligent system,YHBI）等 7 个备件相关的外围业务系统，涉及的数据库系统类型包括 DB2、Oracle、SQLSERVER 等三种类型。UPM 系统大量数据为非结构化表单格式，需要通过固定方法进行 XML 解析处理之后再接入。通过在星环 Hadoop 平台添加源系统的 JDBC 连接配置，在此之前需要向各外围系统申请取得对应系统的查询账号权限，可以通过全库只读授权账号或通过创建视图授权账号方式进行链接，实现数据源系统层与数据传输层的连通，本平台 SAP 系统数据通过 HANA 平台账号配置连接，数据传输层的数据分两类：

（1）SAP 数据主要采用 SAP Data Service 或 SAP SLT 方式配置工具来抽取数据，并同步到 HANA 系统

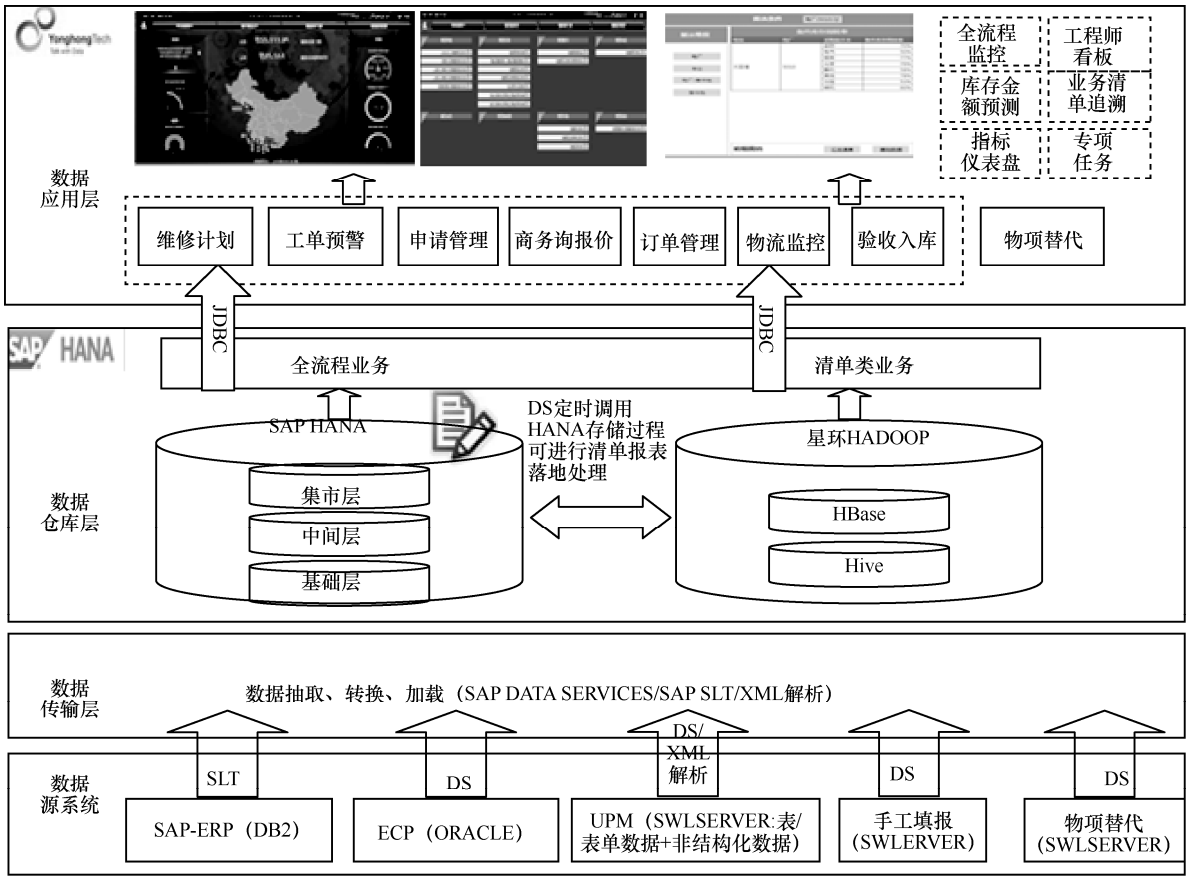


图 4 备件大数据平台技术架构设计

中，本项目主要通过 SLT 高级复制方式，从 SAP 同步数据至 HANA，由于集团 SAP 数据量非常大，逻辑关联数据底表多，并涉及 CDPOS[4]（10 亿+级）,MSEG（千万级）,MKPF（千万级）等海量数据表，且需要全量关联运算，同步时需在 SAP 表增加时间戳字段，目的是为了在 TDH 中能通过 TDT 方式依据时间戳增量从 HANA 同步数据至集团 TDH 大数据平台，降低 Hadoop 平台的资源消耗，提升性能。

（2）非 SAP 数据通过星环 TDH 平台的 Transporter（TDT）和 Workflow 来完成数据抽取。Transpoter 是设计和创建 ETL 任务的可视化工具，支持从关系型数据库管理系统到 TDH 的近实时数据同步，提供数据整合功能，支持丰富的数据源以及多种数据转换操作。Workflow 是图形化的工作流设计、调试、调度和分析的服务平台，支持 Shell、SQL、JDBC、HTTP 等任务类型，支持自定义 Java 任务，提供分析展现形式协助诊断工作流的执行状况。

TDT 数据加载机制设计：类型包括全量、增量，在 Dataflow 和 Workflow 中实现。主要是对数据量少的表数据抽取时清空后再全量加载，对数据量大的表基于时间戳做增量抽取。

2.3.2 大数据处理层

该层主要负责大数据的处理，包含 HANA 和 Hadoop 两部分，HANA 中 SAP 的数据通过增量的方式同步到 Hadoop。Hadoop 中主要分三层结构设计：ODS 层、DWD/DWS 层、ADS 层[5]。

（1）ODS（Operation Data Store）：为各源系统的数据导入到 TDH 贴源层提供接口，即贴源层的外部数据表定义在此层，主要负责源数据的加载，存放原始数据，直接加载原始日志、数据，数据保持原貌不作处理。本项目源系统数据来源 7 个业务系统涉及到 325 张表或试图，其中 HANA 底表 253 个；ECP 系统 24 个；YHBI 系统 21 个；CSMP 系统 14 个；NSM 系统 6 个；UPM 系统 4 个；PDMS 系统 3 个。

（2）DWD/DWS 层（Data Warehouse Detail）：DWD 层数据来源为 ODS 层，该层主要负责数据的解析，是面向主题和面向分析的基础层，它根据分析型业务主题建立数据模型，构建企业级的单一数据视图，模型扩展性强且具有业务中立性，用于支持各类整合型的分析型应用。通过对 DWD 层各源系统的数据进行梳理，按照业务分析角度进行主题划分和整合归类。主要工作包括数据的明细详情，去除空值、脏数据、超过极限范围的明细数据解析，行式存储改为列式存储，改压缩格式，该层也可以通过宽表方式对数据进行轻度聚合，通过自定义 UDF 函数解析公共字段，在 HDFS 上保存数据。备件大数据平台主题模块划分如下：

（3）ADS 层（Application Data Store）：也叫数据集市层，主要进行复杂的统计分析，按照具体应用需求进行模型设计，面向应用按需定制，可以有多个应用集市区，本平台暂不涉及该层。

大数据处理层的主要工作是维度建模设计、转换加载模型调度设计和数据质量监控,使用 TDH 平台的 workflow 服务进行可视化设计调度，维度建模设计如下（样例）：

本平台对于数据质量的监控主要涉及到如下几方面：

① HANA 业务源系统数与 inceptor 目标表数据每日对比：主要的数据来源为 SAP 系统，为了有效的监控和查看原业务系统数据与目标表的差异，每日数据抽取完成后对源系统表数据量与目标表数据量进行对

表 1 ODS 层表设计

源系统	表技术名称	技术类型	业务描述
SAP-HANA	MARDH	表	物料主储存位置段：历史
CSMP	SRMS_ARGU_MATERIAL	表	
UPM	UPM_DEV.PLATFORM.PROCESSINFO	表	
ECP	TDH_ECP_REP_V_CONTRACT_ITEM	视图	
NSM	nsm_material_transfers	表	
PDMS	db_owner.Document	表	
YHBI	Z_SWRY_CONFTAB_SAM	表	
…	…	…	…

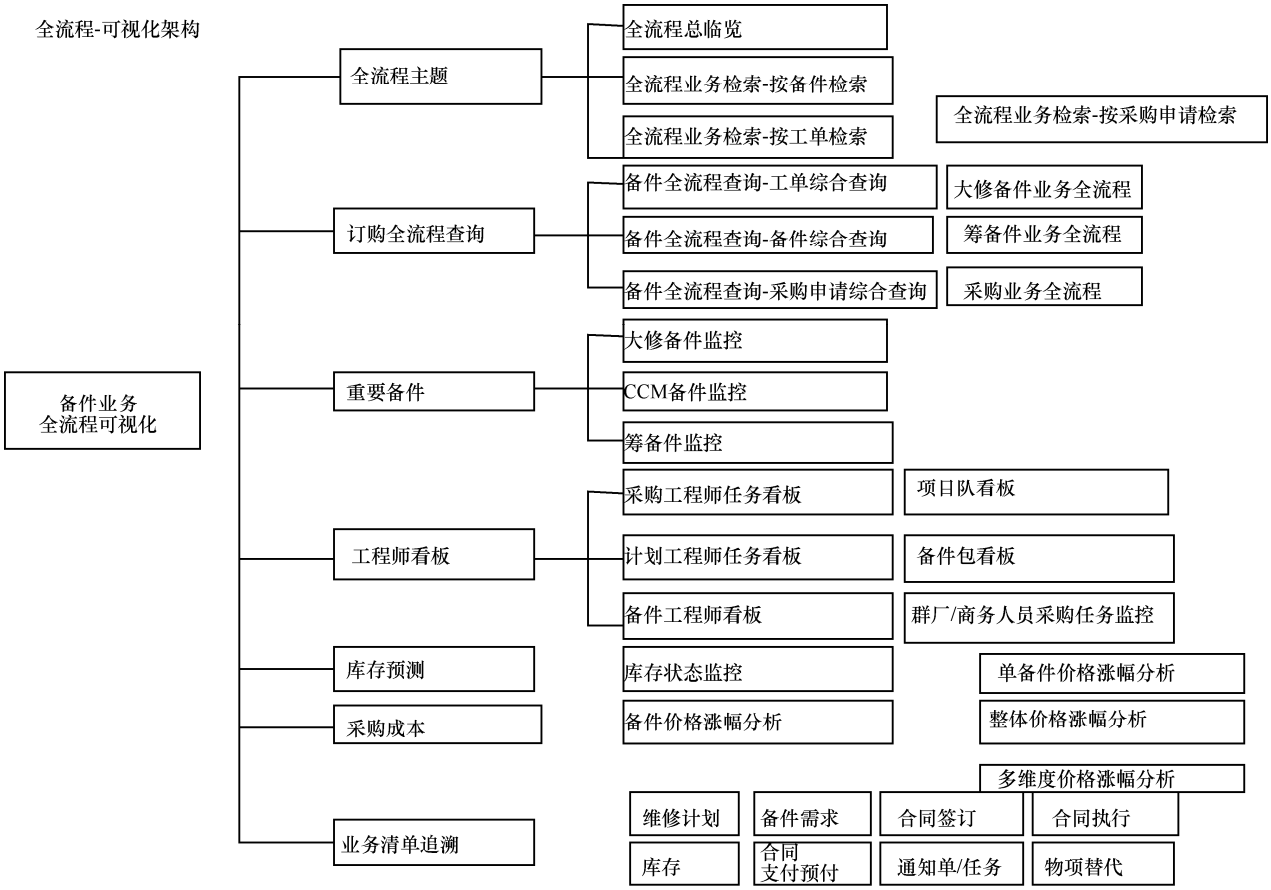


图 5　备件可视化业务主题模块划分

表 2　　ADS 维度建模设计

主题页面	业务节点	维度/业务指标	字段名称	字段类型
备件业务全流程总览	维度字段	工厂 id(该字段数据行权限控制)	WERKS	string
		采购负责单位	Z_FZDW	string
		备件包	Z_BJB	string
	维修工单	OPEN 维修工单	Z_OWXGD	int
		超期维修工单	Z_CQWXGD	int
		本周新增维修工单	Z_BZXZWXGD	int
		…	…	…

比，可能出现误差的情况：a)　HANA 为实时数据，大数据应用系统为非实时数据抽取，可能出现延时导致误差，导致 inceptor 目标表比源系统表数据记录略少；b)部分表存在物理删除，并且没法追溯是否已经删除记录，增量抽取时没法识别物理删除，导致 inceptor 目标表比源系统表数据记录略多。

② 每日增量数据抽取表每日数据跟踪：对需要增量数据抽取的表，在目标 inceptor 相关表新增字段 insert_time，记录数据进入目标表的时间。

③ 存储过程每日转换加载数据量：存储过程对表数据转换加载进每日监控日志表进行记录。

④ WF 调度平台可视化运行监控：WF 调度平台可视化可以查看到 workflow 每日调度情况，包括每日调度数，每日成功调度数据，每日失败调度数等。

1.3.3　大数据应用层

由于核电现场用户的业务管理会根据管理要求不

断变化调整，需要一种更轻量、便捷、满足用户自主自助性创新数据应用的前端开发工具平台，以满足集团各级职能或业务单元对应用可视化手段进行管理的信息化需求，支撑集团数字化转型，满足业务在线监控，支持数据挖掘、分析等大数据业务，提升集团数据治理水平，该层经研究评估选择基于永洪可视化平台来实现。该平台工具有以下特点：拖拉拽式敏捷开发、丰富炫酷展示组件、负载均衡高可用，支持海量数据计算、对接多种数据源、支持异构数据整合、PC/手机/大屏快速发布，API 接口定制。

3 备件大数据平台的应用效果

该平台实现了集团备件全流程业务监控、供应链精细化管理，为企业高效运作提供重要保障和技术支撑，提高各电厂用户满意度；技术上打通了从备件大数据业务需求到集团 HANA、Hadoop 及可视化平台应用技术路线，通过大数据建模将备件全流程业务数据进行高效整合，实现业务数据自动或自助式呈现，辅助企业进行维修计划、工单预留计划、采购申请、商务询报价、采购订单管理、物流监控、验收入库、物项替代等业务操作，提高了各业务环节协同性，为支撑供备件需平衡决策、提高供应保障效率和质量提供强有力数据支撑。

4 结束语

作为集团数据的大数据样板项目，利用大数据及可视化等先进技术，搭建了一套核电备件大数据平台架构，实现了备件业务全流程总览建设，宏观监控备件业务，为集团后续大数据项目奠定了基础。随着集团业务高速的发展，大数据应用业务场景还会不断涌现，在此过程中我们的技术架构也还需不断研究更新和完善优化，这是一个长期而复杂的过程，需要我们

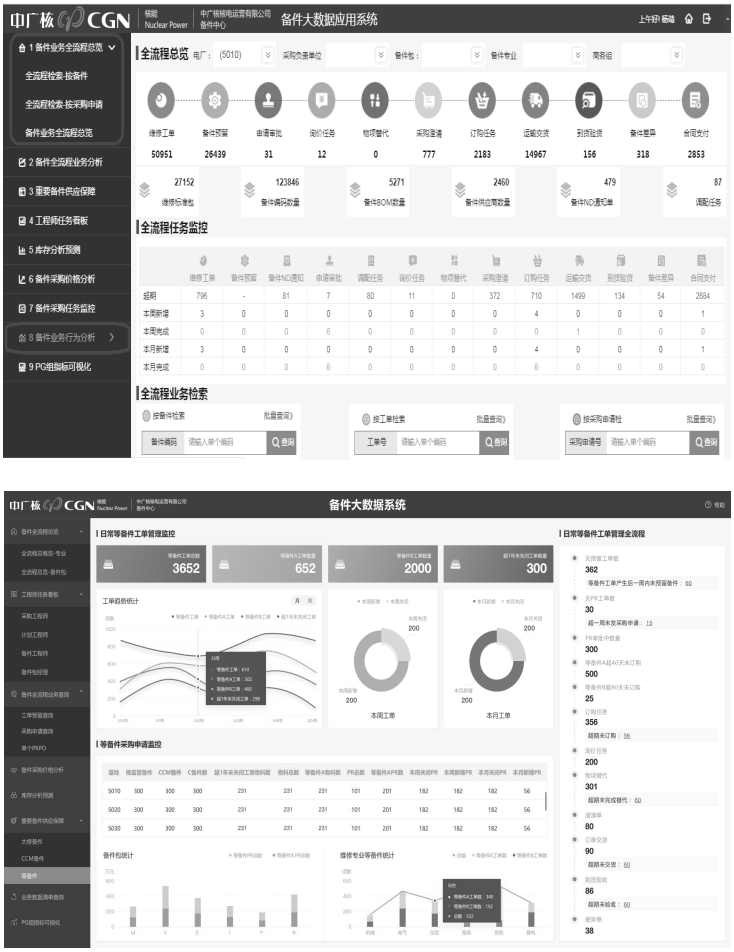


图 6 备件大数据平台的应用效果

投入较多的时间和精力深入发掘和思考。

参考文献：

[1] 陈良臣. 基于 SAP HANA 的电力大数据平台的研究与设计[J]. 数字技术与应用, 2016(11): 150.

[2] 崔杰, 李陶深, 兰红星. 基于 Hadoop 的海量数据存储平台设计与开发[J]. 计算机研究与发展, 2012, 49(S1): 12-18.

[3] 麦聪. 基于 Hadoop 大数据分析在电力信息系统的应用[J]. 通讯世界, 2015(20): 191-192.

[4] 岳阳, 张晓佳, 高一丹. 基于 Hadoop 的电力大数据技术体系研究[J]. 电力与能源, 2015, 36(1): 16-20.

[5] 曹皖诚, 汤少卿, 尤鋆. 大数据平台在电力系统中的应用研究[J]. 江苏科技信息, 2016(29): 53-56, 71.

[6] 李林, 蒋王锋, 张震宇. 基于电力大数据的 HANA 研究[J]. 电力安全技术, 2020, 22(9): 35-38.

[7] 王艳, 蒋义然, 刘永立. 基于 Hadoop 的大数据处理技术及发展[J]. 信息记录材料, 2020, 21(11): 146-147.

[8] 刘汪根, 孙元浩. 大数据 3.0: 后 Hadoop 时代大数据的核心技术[J]. 数据与计算发展前沿, 2019, 1(5): 94-104.

[9] 董楠楠, 单晓欢, 牟有静. 基于 Hadoop 和 MapReduce 的大数据处理系统设计与实现[J]. 信息通信, 2020, 33(6): 29-31.

[10] 林梓鹏. 基于 hadoop 的大数据技术在电信运营商的应用实践[J]. 信息通信, 2018, 31(11): 255-256.

[11] 张伟. 基于 Hadoop 的大数据分析管理平台架构设计[J]. 信息技术与网络安全, 2018, 37(11): 30-33, 57.

[12] 张华. 基于 Hadoop 的电信大数据平台应用探究[J]. 长春大学学报, 2018, 28(10): 37-40.

[13] 阳卓霈, 郭俞. 基于 Hadoop 的企业大数据中心设计与开发[J]. 企业管理, 2017(S2): 420-421.

[14] 郑文青. 基于 hadoop 的大数据分布式集群平台搭建的研究[J]. 计算机产品与流通, 2017(12): 143.

[15] 秦杰仪, 曾志, 孙蕾, 等. 基于 Hadoop 的大数据平台架设探讨[J]. 现代工业经济和信息化, 2018, 8(5): 47-49.

基于电力大数据的风电机组状态评估方法探究

万洪平，郑六玉，刘发炳，郭正红
（中广核新能源投资（深圳）有限公司云南分公司，云南 昆明 650200）

摘　要：为有效抑制风电机组随运行年限持续增长的故障率，提升机组可靠性，提出了一种基于电力大数据的风电机组状态评估方法。该方法利用风电机组监控与数据采集系统（SCADA）和状态监测系统（CMS）数据，提取多种故障信息特征参数集，并进行融合分析，实现机组的状态评估及故障预测。使用该方法对样本电场月度运行数据进行模拟分析，验证了基于电力大数据的风电机组状态评估方法的可行性。

关键词：电力大数据；风电机组；状态评估

1　引言

2013 年，中国电机工程学会电力信息化专业委员会发布了《中国电力大数据发展白皮书》，概括出了电力大数据 3“V”3“E”的特征。3“V”即体量大（volume）、类型多（variety）、速度快（velocity），3“E”即能量（energy）、数据即交互（exchange）、数据即共情（empathy）[1]。电力大数据贯穿发、输、变、配、用等电力生产及管理的各个环节[2]。将非结构数据与常规的电力数据及仿真数据相结合，进行数据挖掘与分析利用，以实现对电力可靠性的支撑[3]。

在全球实现碳中和目标的共识下，风电行业成为新能源主力军之一，在改善我国能源结构中发挥越来越重要的作用[4]。风力发电的快速发展给风电设备制造业、新能源发电企业也带来了巨大挑战。随着风电机组运行年限增加，现场运行维护工作暴露出一些共性的问题。

2　风电机组运维存在的问题

关键部件损坏率逐年增加。由于风力发电对风况的依赖性，多数选址区域气候条件恶劣，风电机组需长期在雨雪、雷电、冰冻等环境中运行，风速、风向又具有极大的不稳定性与不确定性，大多在交变载荷条件下工作，工况极为复杂。随着风电场投运年限增长，风电机组内部关键部件如齿轮箱、发电机、主轴等传动链设备故障率逐年增加，存在疲劳、磨损、断裂、胶合等问题，带来较大的安全隐患和经济损失[5]。

故障频发，可利用率下降。随着运行时长逐年增加，风电机组故障数增加，可利用率呈下降趋势，风电机日常缺陷不能及时消除，造成风机停机时间长，故障问题呈批量化、扩大化蔓延趋势，现场严重影响风电机组可利用率和发电量。

传统的状态评估方法面对海量增长的数据利用能力不足。传统的状态评估往往只进行预期状态评估，缺乏瞬时状态评估和自适应评估[6]。而随着风电机组单机容量增加、安全性要求提高、传感器技术的改进，产生了海量的实时和历史数据，对风电机组数据的分析利用能力提出挑战。同时对风电机组故障率、功率曲线、可利用率缺乏准确评估手段，设备长期停机风险不能得到有效控制。

设备检修工作依旧处于被动检修和经验检修阶段。设备运行情况评估大多依靠运维人员的经验知识来完成。这种模式难以提前发现设备运行问题，当风机出现缺陷或故障后，只能被动地检修，不能预判部件的生命周期，无法在早期阶段对设备的状态进行评估。

3　风电机组状态评估平台设计

3.1　设计思路

针对风电机组运行检修过程中存在的故障率升高、关键部件损坏数量增加、缺乏全面的评估方法等问题，经研究提出一种适用于风电行业的状态评估方法。通过利用风电机组电力大数据，结合缺陷前端表征，科学分析设备潜在隐患与故障概率，使运维人员

能够提前预判设备的健康状态和故障的发生，并作出相应的检修策略，从而提高风电机组各项效能，有效避免各类质量事故事件，降低生产成本，确保安全生产高端稳定。平台总体设计思路如图 1 所示。

通过挖掘不断增长的风力发电机组海量状态监测数据，进行设备运行状态评估和预警，提出有效的预防性检修策略，对关键故障部件进行状态监测和故障预警。如果在故障发生前做出预测，就能够提前制定检修计划，合理安排检修人员与物资，减少因风电机组突然停机造成的损失，降低发电成本，保证机组安全稳定运行，从而提高风电场的效益。

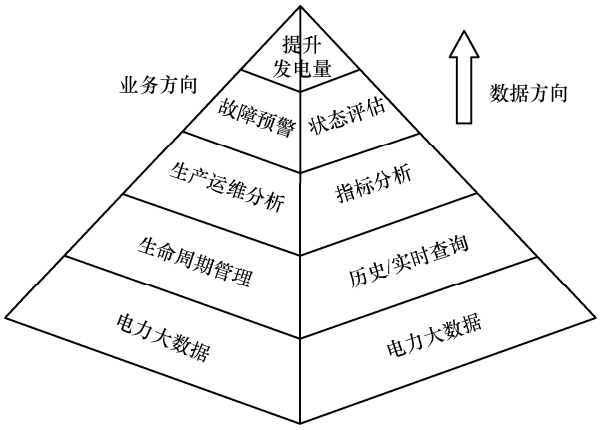


图 1　平台总体设计思路

3.2　平台搭建

风电机组价格昂贵，由数以万计复杂的零部件组成，一个部件的失效都会导致机组的故障停机。随着传感器监测技术和网络信息技术的不断发展，风电机组设备监测的智能化水平也逐步提升，通过硬件及软件的有机结合有助于获得更多的信息用于设备状态评估[7]。通过行业调研及自我需求结合，提出一套风电机组设备健康状态评估平台构架。

3.2.1　平台总体架构

风力发电中对数据处理与分析的要求比传统工业、传统互联网的要求更高[8]，主要体现在以下 3 个方面。

（1）数据海量性

风力发电数据节点的数据生成频率远高于互联网，并且持续性产生，其数量规模远大于互联网。

（2）数据传输率高。

一方面，海量性的设备数据必然要求骨干网汇聚更多的数据，那么就要求对数据的传输速率更高；另一方面，由于风力发电数据与风电机组设备直接关联，需要实时访问、控制相应的设备，因此需要高数据传输速率来支持相应的实时性。

（3）数据多样化。风力发电数据涉及从风机、测风塔、电网、运行环境，到气象预测、故障报警、安防监控等，其应用范畴广泛。在不同领域、不同行业，需要面对不同类型、不同格式的应用数据，因此数据多样性更为突出。

基于以上数据特点，展现故障诊断、故障预警、电力大数据分析统计、下发检修策略等方案的设备健康状态评估平台必须采用可靠的、分布式、多源融合的数据处理解决方案[9]。平台总统架构如图 2 所示。

集控中心是电力企业实现“无人值班、少人值守、区域运维合一”的有效途径，在电力企业中得到广泛建设运用[10]。为节约成本，合理利用现有资源，设备健康状态评估平台采用在风电区域集控中心基础上进行扩展延伸，最大化利用设备现有功能。风电数据接入方案如图 3 所示。

3.2.2　数据处理流程

平台需采集不同厂家、不同机型的数据，数据采集点、参数等参差不齐。同时，由于传感器、采集、传输、软件等原因也会导致集控端的数据缺失、错位、不一致，从而为后续的大数据分析、处理，算法的精准分析带来了很大的挑战。

设备健康状态评估平台采用行业成熟的数据质量管理系统以及多级自动化的控制与过滤技术，实现风电场站数据的质量控制，为后面的精准分析与预测提供了高质量数据来源。

数据处理流程如图 4 所示。数据接入前，首先会通过数据分类判断数据类型，再存储到数据库中。同时，部分数据可能需要人工输入，如备件更换台账、处理过程数据等，数据输入前需要对数据进行检查控制，从而保证数据库的数据质量。另外，存入数据库中的原始数据会定期或实时地通过规则进行过滤，以及通过数据规一化处理系统进行清洗处理，把原始数据清洗成统一的、完整的、一致的数据供后续大数据分析以及评估模型使用。进入评估模型的数据也会根据不同算法的特性，采取不同的清洗方式提供给算法使用。

采用数据质量监控系统是保证数据质量的重要途径，该系统可监控数据处理质量、发现数据处理过程中的问题、检查数据缺失情况以及数据处理状态等信

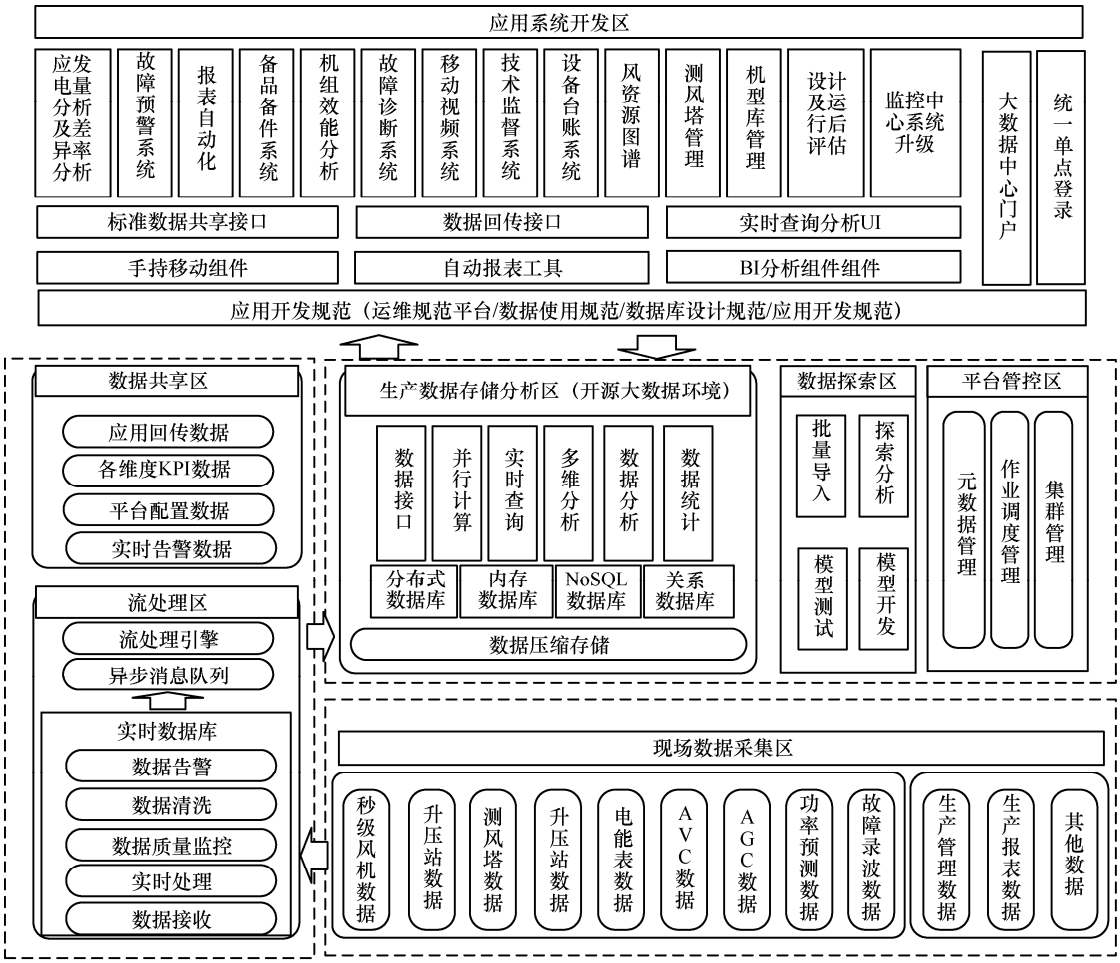


图 2　平台设计架构

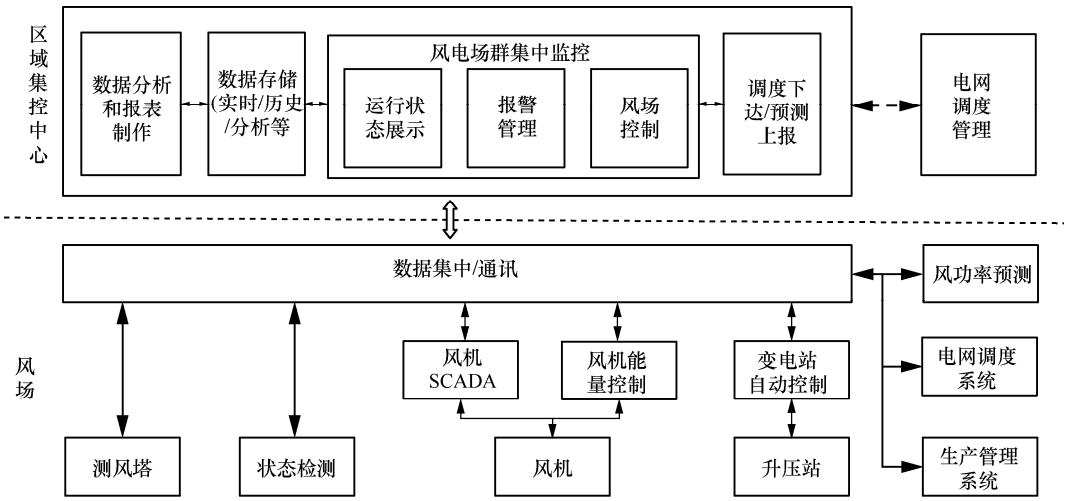


图 3　风电数据接入方案

息。同时，系统通过元数据的管理，与数据处理中的规则引擎、数据自动规一化处理引擎相结合，实现动态可配置的规则更新以及数据处理质量的优化。

4　基于电力大数据的状态评估方法

基于电力大数据的风电机组状态评估，以风电机

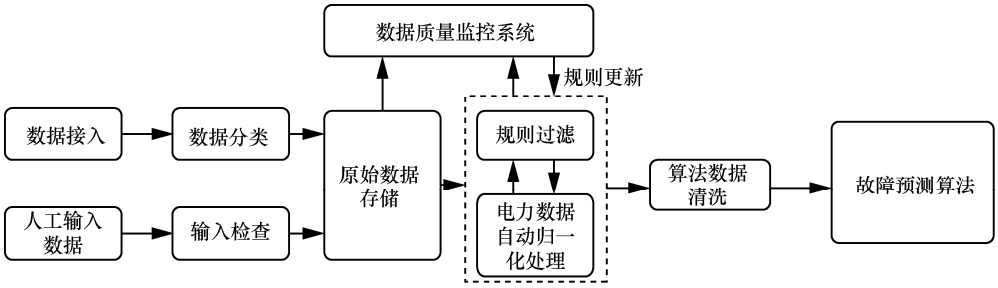


图 4　数据处理流程

组 SCADA 和 CMS 数据为基础，结合智能算法，实现健康状态评估、健康管理、故障预测等风电机组全生命周期维护解决方案。

设备状态评估可以提前预测重要部件的健康异常，提前进行维护，能够保证重要部件健康运行。多维度和不同周期的健康诊断，实现风机全方位的健康管理，极大地缩减风电场运维成本。基于 CMS 数据的故障预测，能够准确识别风机传动链的机械故障，若及时维护能够避免故障的发生或者进一步扩散，避免传动链大部件故障造成严重后果。基于 SCADA 数据的故障预测，能够有效预测风机非机械类故障，根据情况有计划的提前运维，能够减少故障停机时间，提升风电场发电能力。

4.1　设备状态评估

针对风电机组的状态评估是从两个维度进行考虑的，其一是从发电能力；其二是从部件的健康度中演化推算出的机组整体健康度。发电性能反映了机组的实际发电能力和理论能力之间的偏差，风电机组整机健康度是从机组的健康状态出发来考虑何种因素影响了机组的发电性能，这个指标更好地回答了第一个指标的所提的问题，因此这种模式采用了一问一答的方式来揭示机组的健康状态。部件状态评估兼顾了 CMS 系统、SCADA 系统采集的部件信息和工况信息，同时又考虑了部件的维护信息和运行记录，从多个维度来综合评价部件的健康状态。

状态评估的部件包括测风系统、偏航系统、发电系统、变桨系统、传动系统等几大部件，几乎涵盖了机组的所有大部件，采用权重平衡的方式来处理部件到整机的健康度转换，加权系数一方面来自可优化的运维系数，另一方面来自智能算法的评估结果，两者通过模糊系统进行融合，从而达到整机状态评估的目的。风电机组状态评价指标如图 5 所示。

本文将风电机组健康状态分为 3 类，即良好、合格、异常，对应不同的评估得分。系统按不同时间维度对各项指标进行测算评分，进而再按评分与等级对应关系得出风机评估状态。按风机评估状态不同，执行相应的措施。风电机组状态分级表见表 1。

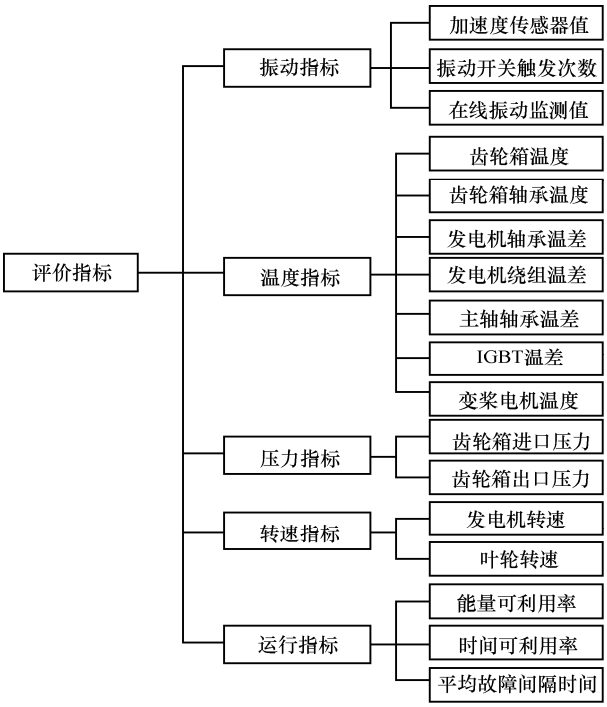


图 5　风电机组状态评价指标

4.2　设备故障预测

4.2.1　基于 SCADA 数据的故障预测

基于 SCADA 数据，采用深度学习、机器学习等算法进行离线建模，调用预测模型进行在线故障预测，能够实现提前几个小时甚至几天以上的有效预测。SCADA 数据涉及的部件更多，实时性更强，对非机械类故障进行预测，与振动监测预测结合，形成完善的故障预测体系。

系统能实现功率统计指标内，包含不同功率分段内的重要部件运行数据统计，如发电机 U 相绕组、发

表 1　风电机组状态分级表

评估状态	状态描述	评分（X）
良好	运行性能较好，为健康机组	$X\geqslant 85$
合格	运行性能一般，应结合月度/季度巡检工作列入重点巡检机组，制定措施针对性进行排查	$70\leqslant X<85$
异常	运行性能较差，应尽快安排人员（一周内）进行登塔检查，分析排查结果	$X<70$

电机 V 相绕组、发电机 W 相绕组、发电机冷却风扇、发电机轴承温度、齿轮箱轴承温度、齿轮箱油温、主轴温度等。通过更精细的数据集分割，进行最小网格化的故障预测，提高预测的准确度。数据集分割分析如图 6 所示。

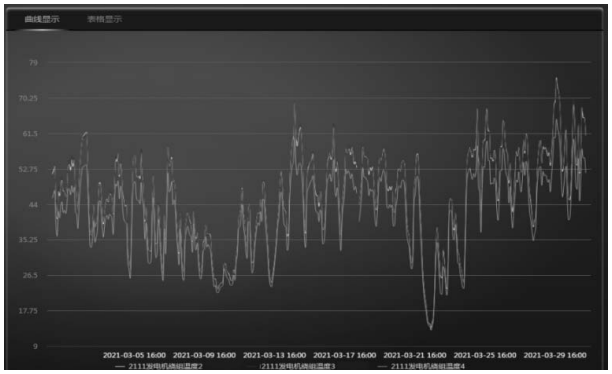


图 6　数据集分割分析

系统具备对风电机组重要运行分析指标的计算、分析、查询、展示功能，如功率曲线偏差、时间可利用率、能量可利用率、平均故障间隔时间等。风电机组有标准的功率曲线要求，若风电机组功率曲线长期不达标，或者偏差过大，将对机组发电能力产生直接影响，需进行分析、优化。功率曲线偏差分析如图 7 所示。

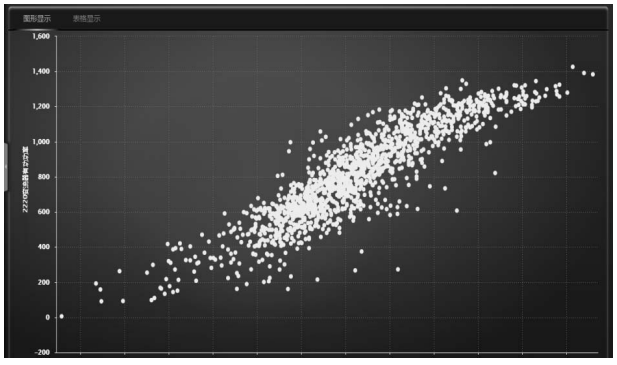


图 7　功率曲线偏差分析

4.2.2　基于 CMS 数据的大部件故障预测

风电机组的CMS系统数据相对SCADA系统数据而言，是一种更加优良的数据资产，对其进行数据挖掘，能更好地预测风电机组传动链的故障状态，鉴于传动链在风电机组中的重要性和高昂的维修成本，因此其更具有分析价值。设备或结构运动时会产生振动，振动信号中含有丰富的设备或结构运行状况信息，其物理含义清晰，信号特征与系统零部件的运行状态通常具有强相关性。振动监测是一种能够有效监控结构设备运行状态的方法，通过振动传感器收集结构设备关键零部件上的振动信号，借助数据分析技术对所采集的振动信号进行分析处理，提取相关故障特征信息，依据特征信息对设备运行状态进行科学诊断，辨别故障的具体类型、故障的发生的详细部位与故障的严重程度。

长期以来，CMS 系统及其分析功能模块出自第三方厂家，并没有和 SCADA 系统进行充分的融合，这也导致了 CMS 系统的运维模式只能是个案处理。健康状态评估平台改变了目前的这种模式，将 CMS 数据也吸纳接入，同时利用当下先进的技术对数据进行处理，一方面降低了传动链故障的漏报率，另一方面也提高了运维人员的故障分析能力。两种报警模式相结合，提升了机组的故障报警率。同时，针对传动链的故障模式和故障位置进行判断定位，以帮助现场更快的定位故障源，并提供相应的解决方案。

4.3　部件寿命预测

风电机组部件寿命预测一直以来都是风电行业共同的研究热点，设备健康状态评估平台从两个角度出发来研究部件寿命预测问题，对于大部件寿命预测采用可靠性分析中的寿命分析来开展工作，而对于轴承等小零部件采用近 10 年的运维数据和深度学习建模的方式来评估寿命。利用从风电场收集的部件故障数据，建立部件的寿命曲线，然后依据寿命曲线判断部件的不可靠度，从而得出部件的剩余寿命。

4.4　智能评估和人工评估结合

设备健康状态评估功能支持固定评估和人工选项评估手段相结合的方式进行评估，评估策略以友好的方式供集控人员进行灵活选择，固定评估手段包括对

子系统下各部件进行健康度评估，可用于故障定位。固有健康度只表征设备技术状态，结合算法配置中所配置的设备各非技术状态因素，可综合全面评估各设备的风险健康度，从而为设备的故障评估提供依据。包括故障率、维修维护停机时间、经济性等因素。

5 状态评估验证

本文的验证数据样本来自云南某风电场月度的风电机组 SCADA 系统和 CMS 系统，该风电场在运风电机组共 24 台，为单台 2WM 的双馈机型。本月该场站故障频次较多的机组为 1101、1106，已发现存在较大湍流导致整机振动异常的机组为 1104、1106、1107，齿轮箱内齿轮或轴承存在缺陷的机组为 1108、1215、1219、1221、1222，发电机轴承存在缺陷的机组为 1107、1215、1223。

5.1 传统方法评估结果

传统风电机组的月度运行评价指标主要有故障停机次数、故障停机时长、可利用率、可利用小时数等，使用这些指标能分析出设备已经发生的故障情况，特别是能对设备正常运行所产生的影响。如果风电机组部分设备发生异常但还未达到触发系统故障的阈值，使用传统的评价方法将很难发现问题。

由图 8～图 10 可知，通过对传统运行评价指标数据的分析，可以看出本月 1101、1106 机组故障频次较高，且故障集中在变桨系统，评估结果会指引运维人员更多地关注变桨系统的运维情况。但对于该场站机组潜在的齿轮箱内部缺陷、发电机轴承缺陷、机位湍流过大问题，却不能进行识别。如果这些设备缺陷持续发展成为设备故障时才被发现，可能会造成设备故障扩大，修复时间增长，投入成本增加而效益下降。

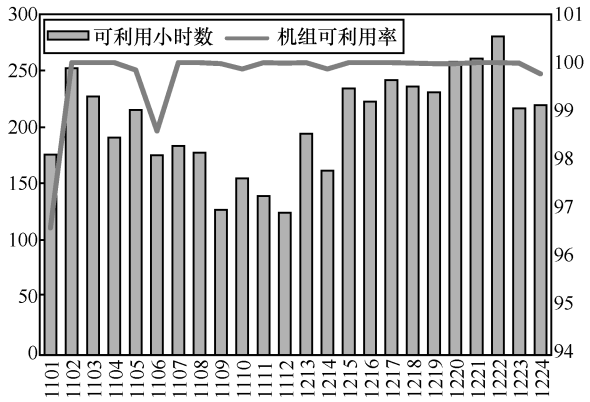


图 8 样本机组月度可利用率及可利用小时数

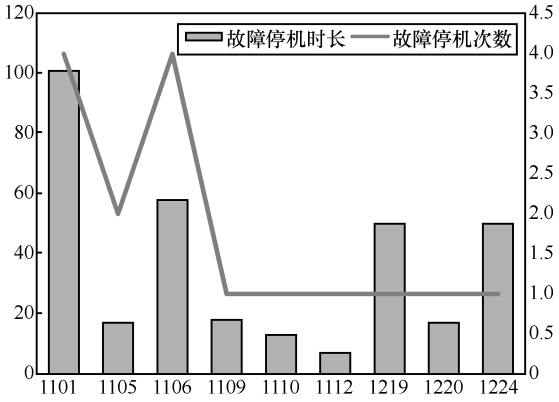


图 9 样本机组月度故障停机情况

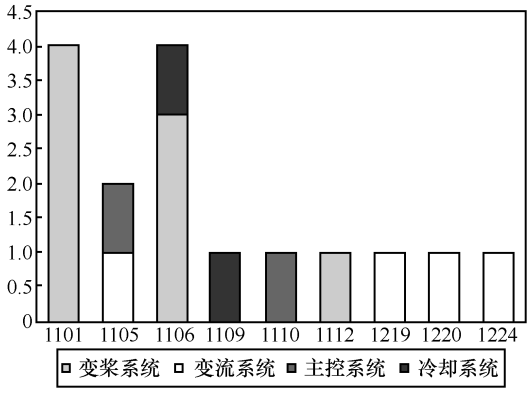


图 10 样本机组月度故障组成情况

5.2 基于电力大数据的状态评估结果

使用本文提出的状态评估方法对样本机组进行评估，对风电机组数据进行必要的清洗后，按照设计规则进行计算，并按照各项指标的权重比例算出总分。根据评估计算，当月风电机组评估结果为：良好 8 台，合格 10 台，异常 6 台。样本机组月度状态评估结果表见表 2。

状态评估得出月度异常机组为 1101、1106、1215、1219、1222、1223。重点对异常机组的评分构成进行查看，并对细化评分项进行关联性分析，给出现场登塔检查的指导建议。异常机组指标得分组成如图 11 所示，异常机组各指标得分分布如图 12 所示。

1101 机组运行指标得分较低，温度指标有扣分，但振动指标、压力指标良好，评估建议：进行现场检查并重点关注机组故障停机及检修情况。

1106 机组振动指标、运行指标得分较低，且振动指标扣分项主要为机舱加速度传感器值，评估建议：进行现场检查并重点关注整机振动情况及机组故障停机。

表 2　样本机组月度状态评估结果表

风机编号	评估得分	评价状态	风机编号	评估得分	评价状态
1101	69	异常	1213	93	良好
1102	81	合格	1214	92	良好
1103	84	合格	1215	58	异常
1104	76	合格	1216	89	良好
1105	84	合格	1217	86	良好
1106	66	异常	1218	79	合格
1107	71	合格	1219	63	异常
1108	88	良好	1220	88	良好
1109	76	合格	1221	90	良好
1110	84	合格	1222	66	异常
1111	86	良好	1223	68	异常
1112	74	合格	1224	82	合格

1215 机组振动指标、温度指标、压力指标得分较低，且在线振动监测、齿轮箱温度、发电机温度存在较大扣分。评估建议：进行现场检查并重点关注齿轮箱、发电机情况。

1219 机组振动指标、温度指标、压力指标得分较低，且在线振动监测、齿轮箱温度存在较大扣分。评估建议：进行现场检查并重点关注齿轮箱及散热过滤情况。

1222 机组振动指标、温度指标、压力指标得分较低，且在线振动监测、齿轮箱温度存在较大扣分。评估建议：进行现场检查并重点关注齿轮箱及其散热过滤情况。

1223 机组振动指标、温度指标得分较低，且在线振动监测、发电机温度存在较大扣分。评估建议：进行现场检查并重点关注发电机及其散热润滑情况。

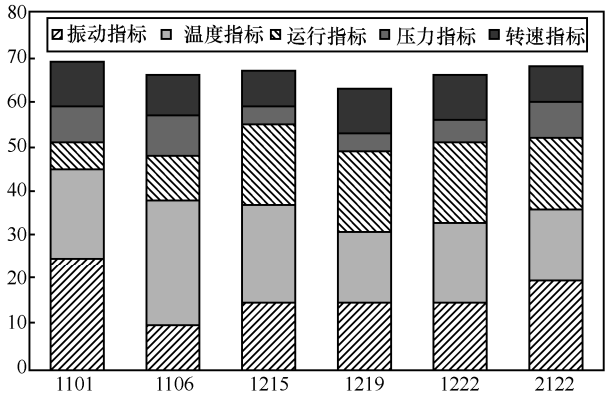


图 11　异常机组指标得分组成

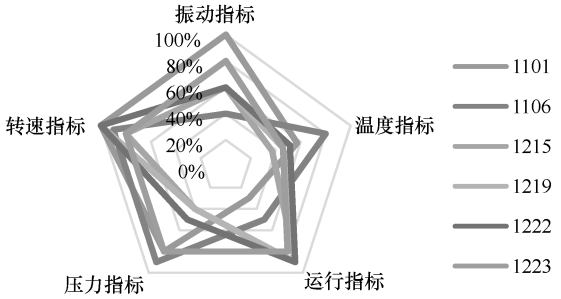


图 12　异常机组各指标得分分布

通过与该场站已知的异常机组进行对比可知，本文所用的状态评估方法正确识别出了 60%的异常机组，对异常部位的定位基本与实际吻合。状态评估结果有效反映出了风电机组整体的运行情况及关键部件隐含的缺陷，验证了基于电力大数据的风电机组状态评估的可用性。

6　结束语

本文提出的风电机组状态评估其特征在于设备运行评估落实最小网格化原则，依据设备关键部位运行状态优化评分标准，逐月逐台评估下发检修策略。最大化利用设备现有功能充分发挥最大效能。利用“数据分析+缺陷表征”分析模式，形成“缺陷预防检修+故障预判检修”策略，精准定位设备缺陷。状态评估多维化、深入化、精准化，涵盖机组运行全过程，有力支撑巡检、定检工作。对于不同部件状态数据采用不同特征提取方法，获得不同特征参数，得到重点监测部件的特征参数集。针对提取的多种故障信息特征参数集，进行有机结合，构建智慧识别模型，提升设备状态评估的精准性和前瞻性，实现对风电机组整体健康状态的有效评估。

参考文献：

[1] 中国电机工程学会信息化专业委员会.中国电力大数据发展白皮书[M]. 北京:中国电力出版社, 1998.

[2] 颜楠楠, 俞国勤, 雷兴, 等. 电力大数据解读及其在检修中的应用[J]. 电力与能源, 2017, 38(4): 375-378.

[3] 薛禹胜, 赖业宁. 大能源思维与大数据思维的融合(一)大数据与电力大数据[J]. 电力系统自动化, 2016, 40(1): 1-8.

[4] 潘旭东, 黄豫, 唐金锐, 等. 新能源发电发展的影响因素分析及前景展望[J]. 智慧电力, 2019, 47(11): 41-47.

[5] 李辉, 胡姚刚, 李洋, 等. 大功率并网风电机组状态监测与故障诊断研究综述[J]. 电力自动化设备, 2016, 36(1): 6-16.

[6] 李刚, 张博, 赵文清, 等. 电力设备状态评估中的数据科学问题: 挑战与展望[J]. 电力系统自动化, 2018, 42(21): 10-20, 177.

[7] 史兴领, 夏力伟, 李剑, 等. 电厂设备在线监测与故障预警系统的设计与实现[J]. 电力信息与通信技术, 2017, 15(11): 55-60.

[8] 肖凯, 刘鹏, 车建峰, 等. 基于电力大数据平台的海量风电数据处理架构与应用研究[J]. 电力信息与通信技术, 2017, 15(7): 13-19.

[9] 王飞, 颜波, 禹晋云. 基于大数据的电力多维度分析系统设计与实现[J]. 电力信息与通信技术, 2017, 15(4): 30-35.

[10] 郭天斌. 新能源电站生产运营集中管控分析[J]. 河北电力技术, 2018, 37(2): 8-10.

基于集群特性分析的分布式光伏异常识别方法研究及应用

张静[1]，陈雁[1]，万泉[1]，袁葆[1]，张文[1]，王翰林[2]，张明珠[1]，欧阳红[1]，周春[1]
（1. 北京中电普华信息技术有限公司，北京 100192；2. 国网宁夏电力有限公司，宁夏 银川 750010）

摘　要：分布式光伏容量小、数量多、分布离散，管控难度大。将空间相近的很多个电站看成一个集群，统筹管控，聚合优化，形成一个小的虚拟电厂，可以显著提高能源利用效率，提升电网的安全性和稳定性。首先，研究分布式光伏集群的出力特性，通过 Moran 指数量化群体的空间依赖关系，分析晴天出力曲线归一化后的相似性，研究日出日落时间与出力时间段的对应关系；其次，基于群体特性，提出了时间维度与空间维度相结合的异常数据识别方法，可应用于功率预测与故障实时识别；最后，仿真实验中，对异常值处理后进行功率预测，比较预测结果，表明了异常值处理方法的可行性。

关键词：光伏集群；空间相关性；异常值识别；Moran 指数

1　引言

光伏发电随机性、间歇性、波动性等特点显著，光伏电源并入电网，对电网安全性和稳定性冲击明显，尤其是分布式电源规模小、数量多、分布离散，管理控制难度大。通过虚拟电厂的形式可将大量零散分布、不可控的小容量分布式电源聚合优化，协调控制，提高电网稳定性。虚拟电厂控制中心应具有发电功率预测、故障诊断等功能，从整体层面优化能源利用[1-2]。单个电站的发电功率预测技术研究已有很多[3]，包括采用马尔科夫链[4]、灰色神经网络[5]、最小二乘支持向量机[6]、集合经验模态分解与支持向量机组合预测[7]等功率预测模型，这些方法通过各种大数据算法挖掘历史功率信息，预测未来短期功率。单个电站的故障诊断文献也有很多，如通过电量损失特征识别故障[8]，基于传感器配置优化的故障诊断方法[9]。单个电站只能进行时间分析，从历史数据中挖掘发电特性，对数据质量要求高，信息维度只有一维，不够全面。分布式光伏电站容量小、分布散，存在数据收集困难、实时监测数据匮乏、获取成本较高等问题，将空间相近的很多个电站看成一个集群统筹管理，可显著提高能源利用效率，提升电网安全性和稳定性[10-12]。空间分析是指根据不同光伏电站的空间分布，挖掘电站间的发电功率、发电量或其他电能指标的变化规律，能有效展示集群内光伏出力的内在特性。空间分析在风电集群的管理中被证明有效[13-14]。文献[15]提出一种考虑时空相关性的光伏出力序列生成算法，利用向量自回归模型生成光伏出力序列，较好地表征了多个电站之间的空间相关性。文献[16]提出一种考虑多电站地理位置及天气类型相关性的光伏发电时间序列建模方法，适用于电力系统中长期规划及电网运行方式安排。本文在多电站时空相关性研究的基础上继续深入，从能源聚合的角度，挖掘分布式电源集群出力特性，对空间分布存在相关性的光伏集群，提出时间维度与空间维度结合的异常数据处理方法，通过算例分析验证可有效提升集群整体的发电功率预测精度以及故障诊断水平。

2　集群特征分析

实验数据来自国内某县 33 个分布式光伏电站，该县总面积大约 1500 平方千米，电站位置分散，地理分布如图 1 所示，电站编号根据经纬度从左到右排序。将这些光伏电站看作一个集群，收集每个光伏电站台账信息、96 点有功功率（两点间隔为 15min）、日发电量、当地的历史气象数据。光伏电站集群地理分布如图 1 所示。

2.1　空间自相关性

在地理学中，事物的属性在空间上具有相关性，一般距离越近，相关性越强，数学概念里的空间自相关度量描述了空间事物的关联程度。全局空间自相关

性反映整个光伏集群电站之间的关联程度，衡量电站之间是否存在显著的空间分布模式。Moran 指数[17]是量化空间自相关性的全局指标之一，它表示空间相邻对象属性值的相似程度，下面将给出针对光伏电站集群的对应概念。

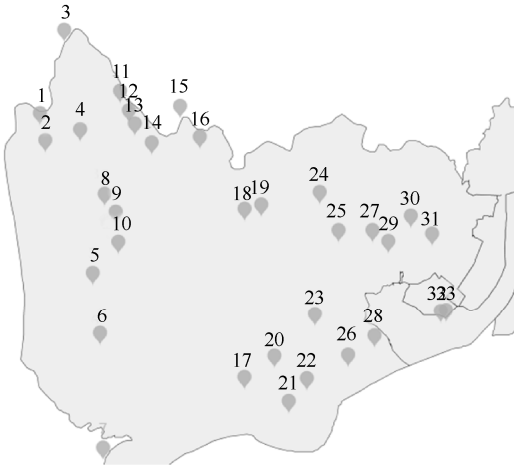


图 1　光伏电站集群地理分布

首先定义空间权重矩阵 W，表示 n 个对象的空间相近关系，如下：

$$W=\begin{bmatrix} w_{11} & \cdots & w_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{n1} & \cdots & w_{nn} \end{bmatrix} \tag{1}$$

其中，$w_{ij}=\begin{cases}1,\&i与j距离小于d\\0,\&其他\end{cases}$，$d$ 为设定的距离阈值。

光伏电站集群发电功率 Moran 指数的定义如下：

$$Mor=\frac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}w_{ij}\left(p_i-\overline{p}\right)\left(p_j-\overline{p}\right)}{S^2\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}w_{ij}} \tag{2}$$

其中，$S^2=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(p_i-\overline{p})^2$，$\overline{p}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}p_i$，$n$ 为电站数量，p_i 为光伏电站 i 的属性值，w_{ij} 为空间权重矩阵元素。

从定义可以看出，Moran 指数的取值范围为[-1,1]，当 $Mor>0$，表明该属性的空间分布正相关，数值越大相关性越大；当 $Mor<0$，表明该属性的空间分布负相关，数值越小负的相关性越大；当 $Mor=0$，表明不存在相关性，空间分布表现出随机性。

计算集群中 33 个光伏电站多种天气类型下发电功率的 Moran 指数，可以看到，不同天气类型下，大部分时刻，空间分布存在正的自相关，空间依赖分布显著。雨天发电功率值普遍较小，相关性最强；晴天发电功率值最大，相关性较强；多云发电功率波动很大，相关性较小。不同天气下的 Moran 指数曲线如图 2 所示。

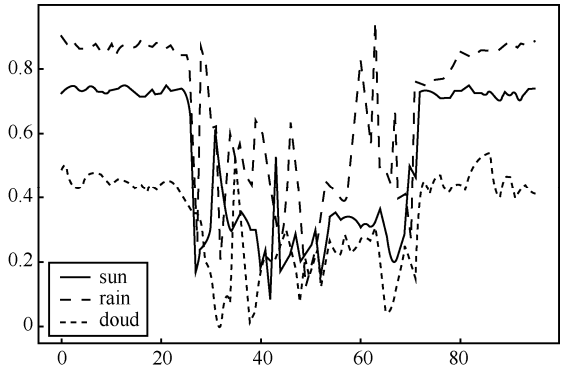


图 2　不同天气下的 Moran 指数曲线

2.2　出力曲线特性

进一步，挖掘同种天气类型下发电功率曲线簇的群体特性，选取晴天典型日的出力曲线簇进行分析：晴天曲线簇形状类似，从早上开始发电到晚上结束发电，表现为二次抛物线形状，如图 3 所示。对每条曲线进行最大值最小值归一化处理后，发现曲线簇几乎重合在一起，如图 4 所示。

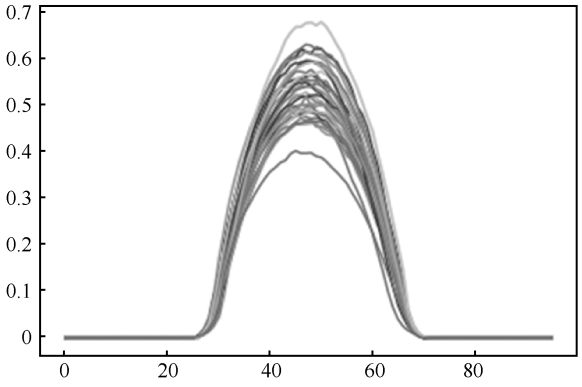


图 3　晴天出力曲线族

由于晴天时，光伏电站发电曲线形状相似，归一化后，发电异常的电站曲线形状与正常电站区分明显，如图 5、6 所示。归一化前，虽然曲线的形状类似，但每条曲线的最大值不同，异常曲线向下波动部分与正常发电功率较低的曲线揉在一起，难以区别。归一化后，曲线的最大值统一，形状相似，异常曲线向下波动部分明显被区分。

2.3 出力时间跨度

从图 3 中的晴天曲线簇发现出力开始和出力结束时间点重合，因此出力时间跨度非单个电站内部特性。已知光伏发电原理为光生伏特效应，显然日出日落时间决定了出力开始和结束，针对采集的数据集分析二者的关系，以日出时间为例，日落时间情况推理类似。设 x_n 表示一年中晴天的日出时间序列，y_n 表示同年晴天的出力开始时刻序列，图 7 是针对光伏电站集群体现二者关系的折线图。

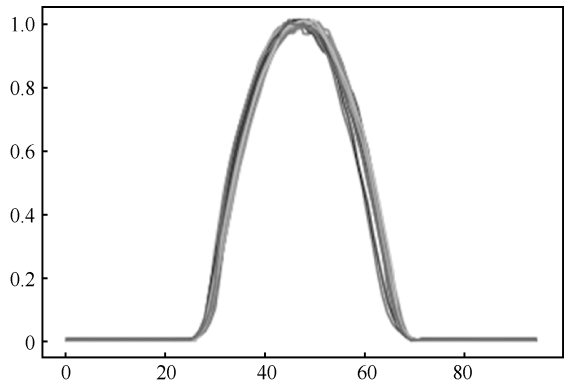


图 4 晴天出力曲线族归一化

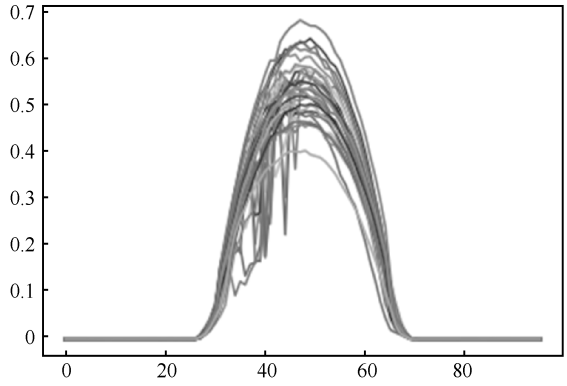


图 5 混有异常值的晴天出力曲线族

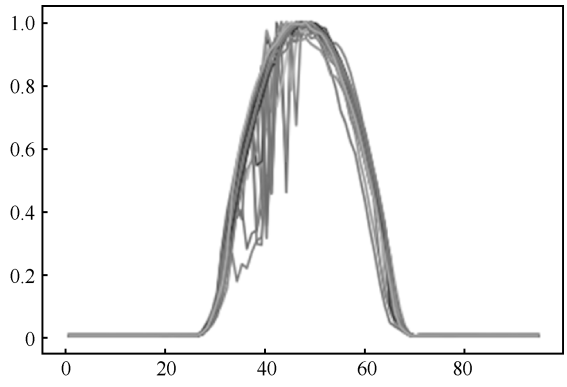


图 6 混有异常值的晴天出力曲线族归一化

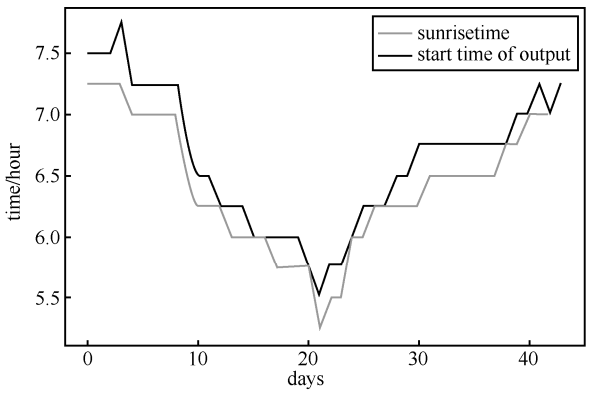


图 7 日出时间与开始出力时间对比

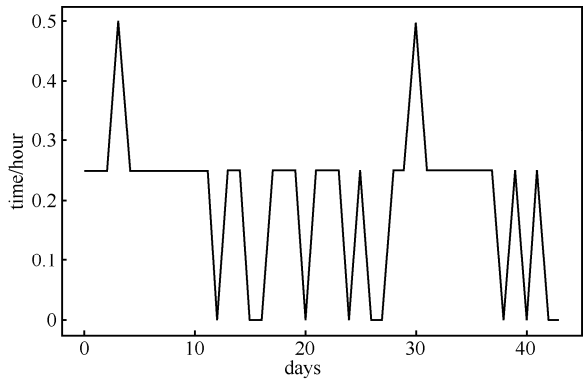


图 8 日出时间与开始出力时间间隔

采样间隔是 15 min，从图 8 中可看出，y_n 大部分比 x_n 晚一个采样间隔，$y_n - x_n \in \{0,15\,\text{min},30\,\text{min}\}$，经过统计分析，众数是 15 min，因此可设定 $y_n = x_n + 15\,\text{min}$。类似分析方法可得光伏出力结束时刻比日落时间早一个采样间隔。因此，根据日出日落时间可确定光伏集群的出力时间跨度，应用到集群功率预测。

3 异常数据识别

光伏发电装置受内部组件和外部环境影响，会发生光伏组件异常老化、发电面板损坏、逆变器损坏、落叶覆盖、灰尘覆盖、阴影遮挡等发电异常现象，再加上一些人为操作出错，网络传输错误、接线不当等问题，实际采集的数据中会有少量异常值。另外停电检修也会造成数据异常，如果没有标记历史数据中停电检修的时间段，该段时间采集数据也是异常值。光伏发电功率预测或故障检测中，数据中的异常值会严重干扰预测或诊断精度，因此有必要识别并处理异常点。

3.1 异常数据特点

不同天气下，出力值相差很大，根据出力值和出

力曲线形状，对天气类型进行分类，分成晴天型、阴天型、雨天型、雪天型。同种天气群内，出力曲线距离相近，在出力值较大的时间段 10:00~16:00 内的各个采样时刻，正常出力值分布近似呈现正态分布特点，异常出力值会偏离正常点，图 9 为某电站一年内晴天类型下正午时刻出力值分布直方图，可明显区分出异常部分，所以对单个电站，从时间维度能检测一部分异常值。

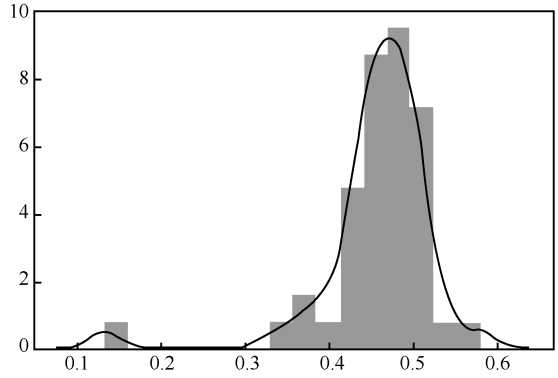


图 9　某电站晴天时正午时刻出力值分布

3.2　异常值识别方法

识别方法：时间维度与空间维度相结合。

时间维度：同种天气类型下所有出力数据的纵向对比。对于任意测量点，所有历史数据中同一时刻的出力其变化范围维持在一定的限度内，如果超出这个范围,则可以认为该数据存在异常。使用六西格玛理论确定异常范围，如果 $|y(i,t)-\bar{y}(t)|>3\sigma(t)$ 则 $y(i,t)$ 为异常值，其中, $\bar{y}(t)$ 为所有 t 时刻的出力平均值，$y(i,t)$ 为第 i 天第 t 时刻的出力，$\sigma(t)$ 为标准差。异常值通过如下方式处理：

$$y(i,t)=\begin{cases}\bar{y}(t)+3\sigma(t) & y(i,t)>\bar{y}(t)+3\sigma(t)\\ \bar{y}(t)-3\sigma(t) & y(i,t)<\bar{y}(t)-3\sigma(t)\end{cases} \tag{3}$$

空间维度：同一日期所有电站出力数据归一化后的横向对比。对于任意时刻，所有电站出力数据归一化后的出力变化范围维持在一定的限度内，如果超出这个范围,则可以认为该数据存在异常（参见 1.3）。仍然使用六西格玛理论确定异常范围，如果 $|y(j,t)-\bar{y}(t)|>3\sigma(j)$,则 $y(j,t)$ 为异常值，其中 $\bar{y}(t)$ 为某 t 时刻的出力平均值，$y(j,t)$ 为第 j 个电站在 t 时刻的归一化出力值，$\sigma(j)$ 为标准差。异常值处理方法与时间维度相似，异常值处理后再反归一化。

3.3　故障实时识别

数据异常的检测方法亦可用于实时故障识别。实时监控光伏集群内 96 点出力归一化曲线，当某电站的曲线波动偏离群体明显时，需加强观察，聚类分析识别异常，可结合该电站的预测出力曲线与实际出力曲线，诊断电站异常情况。显然，将异常值识别的空间维度加入故障识别中，可增加信息量，提高识别准确率。

正常发电情况下，光伏集群的出力曲线形状类似，当某个电站数据异常时，其出力曲线会偏离群体，因此可进行聚类分析，筛选发电异常的电站。用欧式距离计算曲线相似度，定义如下：

$$S_{xy}=\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i-y_i)^2} \tag{5}$$

其中, $(x_i)_{i=1}^{n}$ 、 $(y_i)_{i=1}^{n}$ 分别为两条曲线的坐标。当距离值小时，说明曲线相似程度高。

计算同种天气类型下，不同日期的光伏集群的出力曲线的欧式距离，当距离较大时，说明当天出力曲线异常，需进一步聚类分析。例如 11 月 9 号这天的曲线欧式距离较大，对出力曲线进行 *K*-means 聚类，聚为以下 3 类。

第一类与第二类偏离正常发电时的曲线形状，初步判定为异常曲线，曲线类内异常特征相似，将信息推送给运维人员，进一步核查异常情况。3 类的电站编号见表 1，结合图 1 地理分布可以看出，异常发电电站在空间分布上距离相近，符合实际情况。

4　集群发电状态智能监控

基于集群特性分析和异常数据识别，构建光伏电站集群发电状态的智能监控方法，进行发电功率预测、和实时故障识别。发电功率预测采用常用的基于天气聚类和小波-svm 算法的光伏出力预测模型，该模型预测效果较好[6-7]。流程如下：

- 计算功率的 Moran 指数，确定具备空间相关性，否则缩小集群面积直到具备相关性。
- 通过集群数据进行全局的异常值识别及处理。
- 异常值处理后，建立功率曲线模型，进行发电功率预测。
- 实时比较功率预测值和真实值，出现异常情况后，先标记，持续一段时间异常后，将功率曲线归一化后进行比对，当脱离群体平均曲线显

著时，确定为异常。

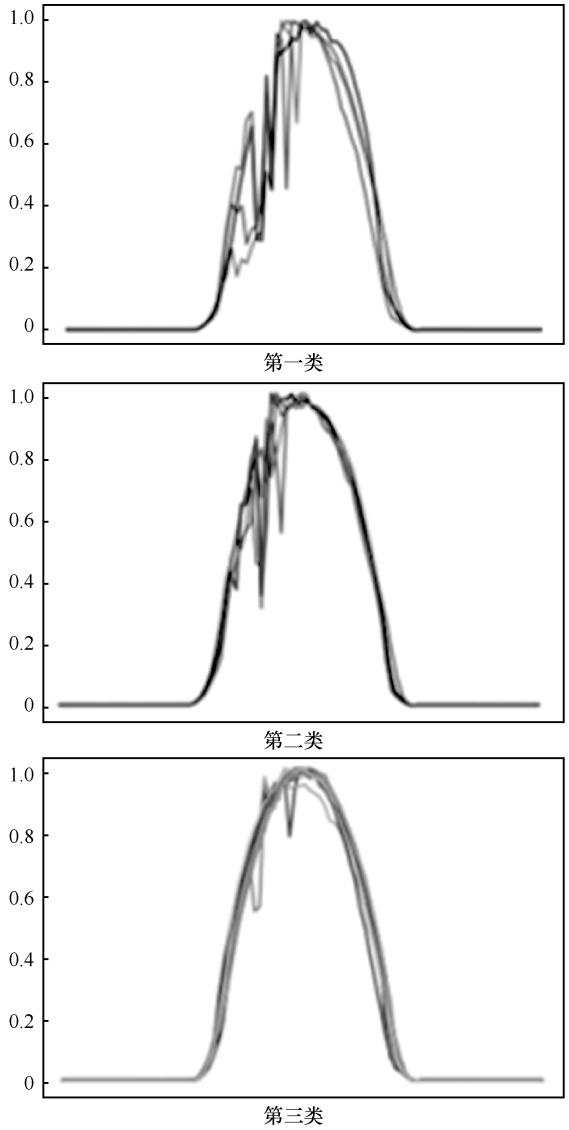


图 10　出力曲线聚类结果

表 1　聚类结果

类别	电站编号
第一类	1,2,5,6
第二类	9,10,11,13,15
第三类	其他 24 个电站编号

5　算例分析

通过功率预测模型准确度的提升评价异常数据处理方法的优劣，对比加入空间维度的异常数据处理方法与未考虑空间维度的处理方法。

评价指标：选用平均相对误差（mean relative error，MRE）作为功率曲线建模预测有效的评估指标，其表达式如下:

$$MRE = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\frac{|y_i - \hat{y}_i|}{P_{wp}} \qquad (6)$$

其中，y_i 为第 i 次预测的实际值；$\hat{y}_i$ 为第 i 次预测的预测值；P_{wp} 光伏电板的峰值功率；N 为预测时间点的个数。MRE 越小说明光伏出力预测值与实际值越接近，模型的预测准确度越高。

仿真实验表明，33 个电站组成的光伏集群经过加入空间维度的异常数据处理后，整体误差从 5.16%降低到 5.01%，预测准确度得到显著提高。

6　结束语

光伏出力受天气影响明显，在 Moran 指数大于零的光伏电站集群，电站之间空间分布依赖性显著，从集群特性出发，将时间维度和空间维度结合，进行异常值识别和处理，有效提高发电功率预测精度，并对能有效检测电站故障，实例分析表明异常值识别处理方法的有效性。Moran 指数大小与光伏集群出力预测模型的构建和预测精度的提升之间的关系有待进一步研究。

参考文献：

[1] 卫志农, 余爽, 孙国强,等. 虚拟电厂的概念与发展[J]. 电力系统自动化, 2013(13):7-15.

[2] KUMAGAI J．Virtual power plants, real power[J]．IEEE Spectrum，2012，49(3)：13-14．

[3] 赖昌伟,黎静华,陈博,等.光伏发电出力预测技术研究综述[J]. 电工技术学报,2019,34(6):1201-1217.

[4] 丁明, 徐宁舟. 基于马尔可夫链的光伏发电系统输出功率短期预测方法[J]. 电网技术, 2011, 35(1): 152-157.

[5] 王守相,张娜.基于灰色神经网络组合模型的光伏短期出力预测[J]. 电力系统自动化,2012,36(19):37-41.

[6] 朱永强, 田军. 最小二乘支持向量机在光伏功率预测中的应用[J]. 电网技术, 2011, 35(7): 54-59.

[7] 茆美琴, 龚文剑, 张榴晨,等. 基于 EEMD-SVM 方法的光伏电站短期出力预测[J]. 中国电机工程学报, 2013,33(34):17-24.

[8] CHOUDER A，SILVESTRE S． Automatic supervisionand fault detection of PV systems based on powerlosses analysis［J]．Energy Conversion andManagement，2010(51):1929-1937．

[9] 胡义华,陈昊,徐瑞东, 等.基于最优传感器配置的光伏阵列故障诊断[J].中国电机工程学报,2011,31(33):19-30.

[10] 胡迪，丁明，毕锐，等．光伏和风电互补性对高渗透率可再生能源集群接入规划影响分析[J]．中国电机工程学报，2020，40(3)：821-836．

[11] 丁明，刘先放，毕锐等．采用综合性能指标的高渗透率分布式电

源集群划分方法[J]．电力系统自动化，2018， 42(15)：47-52．
[12] 崔杨,陈正洪,许沛华.基于机器学习的集群式风光一体短期功率预测技术[J]. 中国电力,2020,53(3):1-7.
[13] 赵振宇，苑曙光，胡明辉. 基于空间聚类统计模型的风电消纳潜力区域分析[J].电网技术,2019,43(10):3641-3647.
[14] 李湃，刘纯，黄越辉，等．基于隐马尔科夫模型的多风电场相关性出力时间序列建模方法[J]．中国电机工程学报，2019，39(19)：5683-5691．
[15] 夏泠风，黎嘉明，赵亮，等．考虑光伏电站时空相关性的光伏出力序列生成方法[J]．中国电机工程学报，2017，37(7)：1982-1993．
[16] 王晶,黄越辉,李驰,等.考虑空间相关性和天气类型划分的多光伏电站时间序列建模方法[J].电网技术,2020,44(4):1376-1384.
[17] 陈彦光. 基于 Moran 统计量的空间自相关理论发展和方法改进[J]. 地理研究,2009,28(06): 1449-1463.

基于区块链技术的分布式电源交易结算研究与应用

詹伟[1]，李瑞雪[2]，查志勇[1]
（1. 国网湖北省电力有限公司信息通信公司，湖北 武汉 430077;
2. 中国电力企业联合会电力评价咨询院，北京 100055）

摘 要：实现乡村振兴的重要途径之一就是发展光伏发电。光伏发电在实际开展过程中仍存在一些困难，尤其是在分布式电源结算方面，由于结算对象数量多、结算环节繁杂、结算任务量重等原因，导致分布式电源结算效率有待提升，结算安全程度需要加强。通过分析区块链技术的架构和原理，设计了基于区块链技术构建的分布式电源结算体系，提出了适用于电网企业的智能合约和电费结算方式，解决电费结算和光伏补贴不能及时发放的问题，助力国网湖北省电力有限公司提升结算安全水平。

关键词：区块链；分布式电源；可再生能源；交易结算；智能合约

1 引言

2021 年国网湖北省电力有限公司（以下简称“湖北公司”）要求有序推进光伏扶贫工作转向高效运维、有效利用，构建“光伏+乡村振兴”创新模式，践行“大国重器”“顶梁柱”的使命责任。

光伏扶贫工作在实际开展过程中仍存在一些困难，尤其在分布式电源结算方面，由于结算对象数量多、结算环节繁杂、结算任务量重等原因，导致分布式电源结算效率有待提升，结算安全程度需要加强。针对提升分布式电源结算效率和结算安全，构建基于区块链技术构建分布式电源结算体系，帮助分布式电源发电户及时获得电费结算和光伏补贴，解决电费结算和光伏补贴不及时发放的问题，建立符合湖北地域与电网特色的新型光伏扶贫结算体系，助力光伏扶贫政策的有效落实，助力湖北公司提升结算安全[1]。

2 分布式电源结算效率与安全问题

（1）分布式电源结算效率问题

分布式电源结算效率问题主要体现在 3 个方面：日常结算量大、纸质发票流转效率低、结算周期长[2-3]。

（2）日常结算量大

随着分布式光伏数量不断增加，客户指定的收款银行开户行也越来越多，即使现在能够实现电费结算跨行批量支付，但是由于光伏发电户不断增加，电网公司对于分布式发电户结算效率仍然不高，影响扶贫资金发放。

（3）纸质发票流转效率低

发票的开具、流转、报销需经过多个主体和部门，环节众多，流程复杂，导致纸质发票流转效率低，影响分布式电源结算兑付效率。

（4）结算周期长

分布式电源结算需经过营销、财务等多个部门，部门间相互确认需经过较长时间，结算需分批次、分类型、分时段、分地区及分扶贫标识进行，结算条件较为复杂，导致结算周期较长。

（5）分布式电源结算安全问题

分布式电源结算安全问题主要在上网电费及补贴拨付过程中，涉及多个主体间的信息传递，例如结算电量在财务部与营销部之间、结算支付信息由财务部向营销部、下级公司向省公司申请资金和省公司向下级公司的资金拨付等信息传递仅依赖现有信息系统会增加数据泄露的风险。

3 区块链技术在分布式电源结算应用中的可行性分析

3.1 区块链技术简介

区块链在联接、仲裁、共享等方面具有明显的优势。在联接方面，区块链去中心化特征一方面能够打破组织间的信息孤岛，形成规模化的协同效应；另一

方面能够实现所有交互数字化及工作线上化，消除手工、实物交换等环节，降低成本与风险。在仲裁方面，区块链的加密技术及加密机制保证交易不可篡改、伪造，分布式账本技术能够有效降低纠纷的可能性。在共享方面，区块链的分布式账本技术能够实现在多方实现共享，大幅优化流程[4]。

3.2 区块链技术框架

区块链经过多年的发展演变，已经从 1.0 架构逐渐发展到 3.0 架构。区块链 1.0 架构由存储层、网络层和共识层三部分组成，存储层包括数据记录、区块和区块链 3 个基本要素；网络层包括节点、网络两个基本要素；共识层包括共识算法、分布式机制、奖励机制 3 个基本要素。区块链 2.0 架构在 1.0 架构基础上进行拓展，以智能合约为代表，可以在此基础上扩展合约层。区块链 3.0 架构在 2.0 架构基础上进行拓展，拓展主要内容是可编程社会[5-8]。区块链整体架构如图 1 所示。

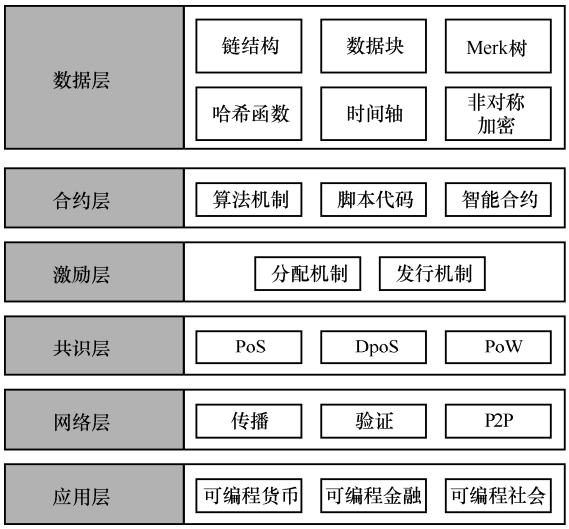


图 1 区块链整体架构

3.3 区块链技术在分布式电源结算应用中的可行性

（1）分布式账本技术能够满足分布式电源结算封闭式系统的需要

湖北公司是分布式电源结算的核心交易节点，是分布式电源主体的统一交易对象。在分布式发电户交易结算中，湖北公司需要考虑结算数据安全性，就将这个结算系统设计为封闭式管理系统。在分布式账本技术中，节点以点对点方式直接互连，共享数据库管理责任，并实现数据验证[9]。

（2）智能合约技术提升分布式电源结算的效率和安全性

在智能合约技术中，区块链上保存以程序的形式存在的结算数据,自动执行,简化结算过程。不对称加密、分布式的账本能保证交易记录不可篡改，提高交易的透明度和安全性。

（3）非对称加密技术增强分布式电源结算的安全性

对分布式电源结算系统而言，安全性至关重要。身份验证和数据加密功能可通过区块链的非对称加密技术实现。在电费结算过程中，以公钥为基础实现交易验证。加密技术对账本信息进行加密，仅让目标参与者获得交易中具体信息[10]。

4 基于区块链技术的分布式电源结算兑付设计

4.1 总体思路与架构

分布式电源结算的流程涉及多个部门确认，结算时间主要耗费在部门之间信息确认环节，本论文基于区块链技术建设分布式电源结算兑付体系，减少结算环节确认时间，在结算安全可靠的前提下提升结算效率，缩短结算周期。

总体架构涉及监管单位、湖北公司、用户侧 3 个层面，监管单位是分布式电源结算的监管方，对分布式电源日常运作情况进行监管,包括能源局和税务局。用户侧主要是分布式电源发电户，负责电费在线申报和在线签约,根据自身所在区域及该区域对应的条件，线上完成审核与签约。湖北公司内部涉及营销部和财务部，营销部负责电量采集、数据审核及电费结算。电量采集主要确定并网电量，定期进行智能抄表，审核抄表数据，数据上链后不能修改，因此这一环节是最为关键的一环，数据上链后在区块链上进行电费结算，确定应该支付多少电费给分布式发电户。财务部负责购电确认和资金兑付[11-13]。

4.2 分布式电源结算私有链与联盟链设计

集中式网络平台和分布式网络构成分布式电源结算私有链与联盟链设计的基础。集中式网络平台存储分布式电源结算智能合约模板，该模板由有湖北公司特色的电费结算规则设计。

（1）分布式电源结算私有链设计

在湖北公司内部构建分布式电源结算私有链，私有链主要涵盖营销部和财务部，以智能合约方式实现营销部抄表、结算、审核、核算、发票、电价等环节的衔接与执行，以及财务部结算、预测、清分、计划、

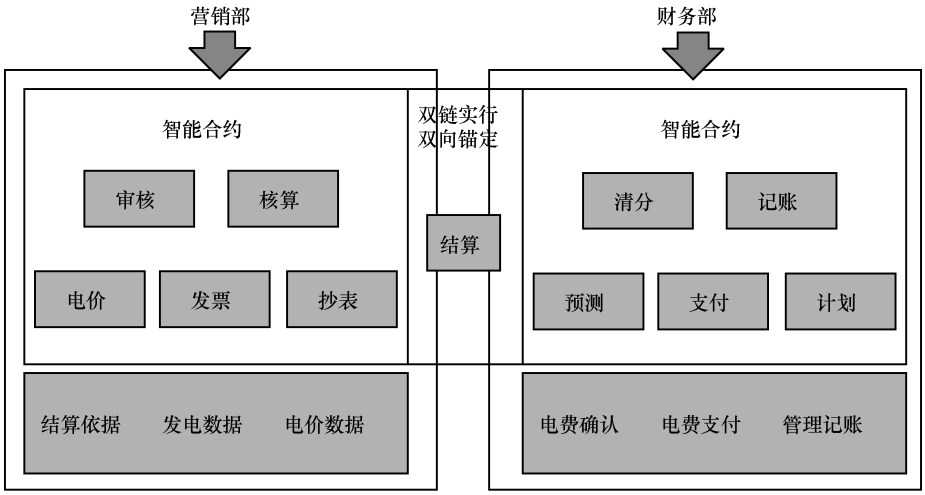


图 2　电网结算体系私有链设计

支付、记账等环节的衔接与执行。利用私有链技术双向锚定营销部和财务部结算环节，锚定节点设置在结算环节，通过私有链技术实现营销部与财务部数据共享、财务对账及自动结算支付。

利用异常行为特征检测和电量正常波动阀值比较，该系统的智能合约具备节点层电量异常稽查功能，能检测出电量是否异常，以供进一步核实。分布式电源结算私有链设计如图 2 所示。

（2）分布式电源结算联盟链设计

将分布式发电户连接起来纳入区块链体系中形成电源结算联盟链，连接方式具备分布式、对等网、点对点的特征；区块链平台写入结算清算规则，发电方和购电方在此基础上可以自行定义智能合约。发电信息和电费结算信息存储在相应计算节点上，基于电量数据交叉校核的电费结算机制实现智能合约的执行。分布式电源结算联盟链设计如图 3 所示。

（3）分布式电源结算智能合约设计

分布式网络和集中式网络平台构成了分布式电源结算智能合约。其中智能合约体系的两端分别是分布式网络和集中式网络平台。集中式网络平台是集合分布式电源结算体系中的静态环节管理，包括合同管理、档案管理、计量管理、电价管理等功能；分布式网络包括多个分布式节点，包括抄表作业、核算作业、退补作业、营财作业等功能。分布式电源结算兑付应用智能合约架构如图 4 所示。

4.3　结算兑付

分布式发电过程中，分布式发电户和电力用户具有较强的不确定性，结算时发用电双方很可能出现未按照合同规定发用电的情形。当完成一个交易周期时，需要通过智能合约从区块链中拉取购电合同，按照合同采集交易双方智能电表信息，核算合约执行情况。

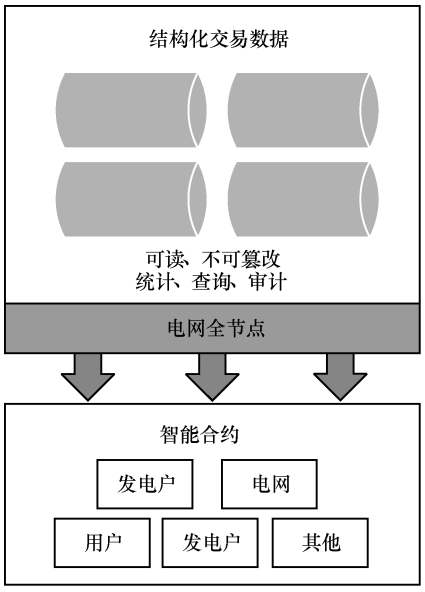


图 3　电网交易体系联盟链设计

通过具有湖北公司特色的智能合约和电费结算方式，交易双方通过该系统自由博弈，获得比传统方式更高的收益，激励用户参与。

5　基于区块链技术的分布式电源结算数据安全研究

5.1　分布式电源结算数据安全应用总体架构

湖北公司采用联盟链进行数据安全存储，联盟链能够同时满足数据安全和数据效率。根据数据安全存

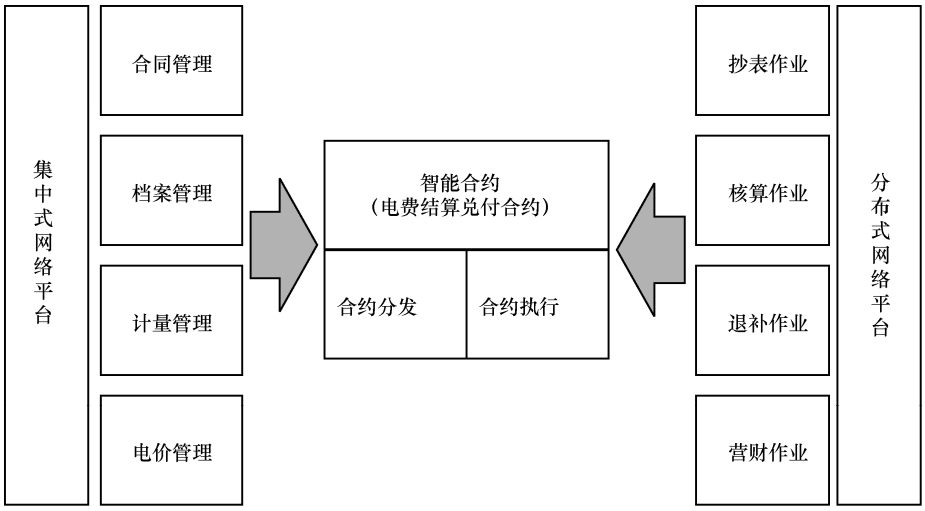


图 4　分布式电源结算兑付应用智能合约架构

储方案的设计目标，对方案总体框架进行设计，设计的分布式电源结算数据安全存储总体架构主要由电网企业、联盟链系统、联盟区块链、监控平台、存储节点及 Ceph 分布式集群组成，如图 5 所示。

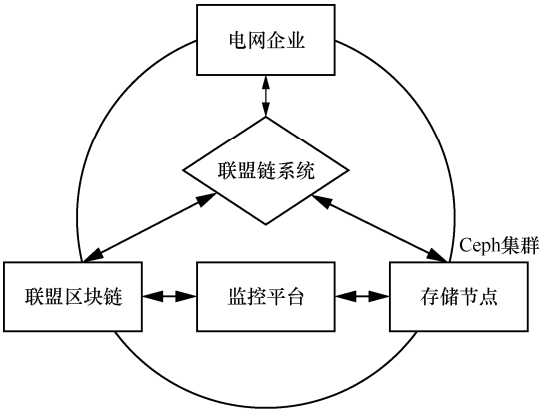


图 5　基于联盟链的数据安全存储总体架构

5.2　分布式电源结算数据类型

按照交易主体不同，分布式发电户会产生发电数据、账户数据、发电户信息数据等，营销部会产生核算数据、结算数据、电价数据等，财务部会产生核算数据、结算数据、电价数据等，其他单位（税务机关等）会产生交易数据、信贷数据、发票数据等。

5.3　分布式电源结算数据安全存储

（1）数据初始化

分布式电源结算数据安全存储首先要将数据进行初始化处理，将数据标准化、程序化、统一化。分布式电源交易结算的核心是湖北公司，湖北公司是所有交易的核心节点，因此湖北公司通过区块链执行区块链初始化脚本文件启动节点，生成创世块，等待其他节点接入后，启动监控平台、基础服务平台程序和 Ceph 集群。发电方通过启动节点以接入联盟链，经过联盟链网络身份验证的节点才能纳入联盟链。

（2）数据上链与存储

湖北公司自主管理对称加密密钥，在本地将数据加密，将密文传递至联盟链系统。联盟链系统根据传递过来的密文计算数据摘要值并生成文件，然后将文件存储至 Ceph 集群，获得文件地址。接下来联盟链系统调用智能合约以发起交易，将以上生成的文件地址等信息以元数据的形式存储在区块链网络中，以实现全网对交易达成一致，数据即可安全性存储。

5.4 分布式电源结算数据安全共享

（1）数据共享访问

湖北公司访问联盟链系统过程中，湖北公司如想发起数据访问，需使用私钥对交易签名，区块链上其他节点通过交易的签名可以验证发起者的真实身份，把交易打包并向全网广播，最终对交易达成共识。

（2）数据共享确权

设计的分布式电源交易结算体系是以湖北公司为核心的封闭式系统，在数据共享权力设定方面需要根据不同层级进行划分。数据共享确权基于带有数据指纹的标签记录实现确权登记，数据安全系统会根据当前实时的数据状态做有效的管控，以实现数据的确权。根据这个思路湖北公司在联盟链系统中设计具有数据共享最高层级，可以决定不同层级的数据共享权限，分布式发电户在联盟链系统中拥有较低数据共享权限，税务机关拥有中层级别数据共享权限。分布式电

源结算数据共享确权如图 6 所示。

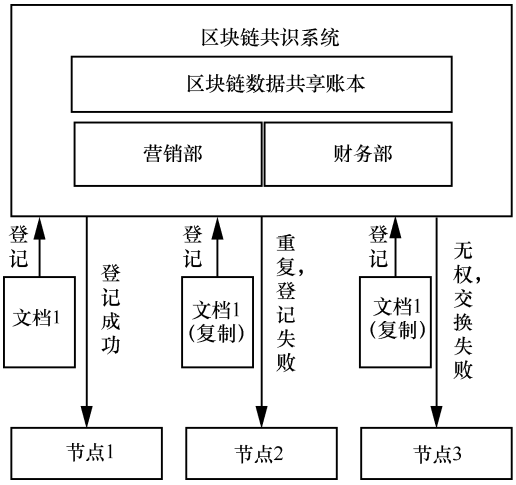


图 6　分布式电源结算数据共享确权

（3）数据共享记录溯源

湖北公司区块链节点数据共享记录溯源发起访问记录溯源交易，用私钥对交易签名，将交易请求直接发送到全网，通过区块链节点验证交易签名后将交易打包并广播到全网，最后对交易达成共识。

6　应用成效分析

以湖北公司分布式电源结算问题为出发点，研究利用区块链技术如何解决分布式电源结算问题，包括分布式电源结算效率低、结算环节多、垫资问题及结算安全等问题，这些问题已经成为制约湖北公司分布式电源优化结算体系特别是光伏扶贫资金结算优化的主要因素。

通过对某县含有 2476 个节点构成的网络执行电费结算及系统智能合约交易，结果见表 1。从系统智能合约交易执行情况结果可以看出，在试验期内共有 4095 个智能合约成功签署，合约成功执行率为 98.58%。合约中每笔交易的平均确认时间为 12s，较常规时间缩短了 96%以上，有效提升了分布式电源电费结算效率。

基于区块链技术对分布式电源交易结算体系进行优化，能够有效实现数据安全存储与数据安全共享，同时促使交易流程更加公开透明，提升市场参与主体的交易积极性。

7　结束语

本文基于区块链技术，构建联盟链结算体系和安全体系，利用分布式账本和智能合约解决分布式电源结算效率低难题，利用区块链电子发票技术解决纸质发票流转慢的问题，利用区块链安全技术解决分布式电源结算安全问题。分别详细阐述了区块链技术在分布式电源结算体系优化、电子发票生成与流转、结算安全体系的详细应用模式。

表 1　智能合约交易情况表

交易日	签署智能合约数量/个	执行智能合约数量/个
1	1256	1238
2	1104	1081
3	1087	1076
4	648	642
合计	4095	4037

区块链技术正在改变社会各行各业，传统行业纷纷拥抱区块链，积极寻求新的行业经济增长点。湖北公司下一步计划将区块链技术应用到整个业务营销系统，构建湖北公司区块链业务、区块链结算、区块链安全全局体系。在保证湖北公司安全体系的前提下，优化湖北公司业务效率，提升业务效率，培养核心竞争力。

参考文献：

[1] 李彬, 覃秋悦, 祁兵, 等. 基于区块链的分布式能源交易方案设计综述[J]. 电网技术, 2019, 43(3): 961-972.

[2] 王程斯, 赵少东, 麦竣朗, 等基于区块链技术的用户电量结算技术研究[J]. 微型电脑应用, 2019, 35(2): 63-66.

[3] 叶明, 王刚, 周振, 杨芳. 区块链技术在分布式电源电费结算中的应用研究[J]. 中国电力, 2019, 52(6): 140-146.

[4] 荣琪. 探讨区块链技术在支付结算领域的应用与风险[J]. 金融科技时代, 2019(9): 45-47.

[5] 王冰钰, 颜拥, 文福拴, 等. 基于区块链的分布式电力交易机制[J]. 电力建设, 2019, 40(12): 3-10.

[6] 鲁静, 宋斌, 向万红, 周志明. 基于区块链的电力市场交易结算智能合约[J]. 计算机系统应用, 2017, 26(12): 43-50.

[7] 马理, 朱硕. 区块链技术在支付结算领域的应用与风险[J]. 金融评论, 2018, 10(4): 83-94, 121.

[8] 陈爱林, 田伟, 耿建, 杨争林, 冯树海. 跨国电力交易的区块链存证技术[J]. 全球能源互联网, 2020, 3(1): 79-85.

[9] 王思轩. 区块链技术对支付结算的挑战与对策——以“技术治理”为视角[J]. 现代经济探讨, 2020(1): 93-100.

[10] 聂晓涛, 杨光宇, 陈丹. 基于区块链技术的智能合约及电费结算机

制研究[J]. 科技通报, 2020, 36(5): 116-120.

[11] 徐有蕊, 范越, 董凌, 万威. 区块链在电力交易中的应用[J]. 电力信息与通信技术, 2020, 18(6): 42-48.

[12] 袁晓鹏, 申少辉, 张光明, 王海宁, 汪涛. 区块链技术在电力零售市场管理中的应用研究[J]. 电力信息与通信技术, 2020, 18(6): 54-61.

[13] 张显, 谢开, 张圣楠, 庞博, 汤洪海. 基于区块链的可再生能源超额消纳量交易体系[J]. 中国电力, 2020, 53(9): 60-70.

基于区块链技术的核电工程电子文件数据交换创新与应用研究

张振雄，许建兵，刘鹤敏
（深圳中广核工程设计有限公司，广东 深圳 518000）

摘　要：基于区块链技术的核电工程电子文件数据交换模式，通过对核电工程电子文件数据及其业务交换逻辑、交换需求整理分析，以及对区块链技术的深入研究及其应用场景的深度挖掘，建立基于以核电工程电子文件为主线，构建的区块链技术联盟链交换平台，保障电子文件交换数据的真实性、完整性、安全性，并实现核电工程电子文件全生命周期和智能化管理，从整体上提升核电工程电子文件数据管理质量。

关键词：区块链技术；联盟链；全生命周期；智能化；管理质量

1　引言

核电建设是一个周期长、进度紧、安全和质量要求高的项目，由于核电工程建设的复杂性和特殊性，存在众多工程建设参与单位，同时各参与单位之间需要快速、准确、高频地进行数据交换，以便高效协同完成工程建设任务。

中广核工程有限公司（以下简称“工程公司”）作为中国广核集团的主要成员企业，是中国第一家核电AE（architect engineering）公司，有着上千家合作单位，针对设计（engineer）、设备采购与成套（procure）、施工（construct）、调试（startup）四大业务板块所产生的数据。目前各合作单位主要通过各自系统平台（含电子邮件系统）进行数据逐层交换，交换渠道繁杂，该方式易形成数据孤岛，无法形成高效、准确、透明、闭环的数据链，导致协同合作效率较低。尤其是在数量庞大、类型复杂的核电工程电子文件交换重要信息时，对数据的真实性、完整性、安全性无法提供有效保障。

区块链技术作为分布式数据存储、共识机制、点对点传输以及非对称加密算法等技术的集成应用模式[1]，具备变革公共部门业务流程，以及可广泛应用于各个场景的潜力，被大家所关注。因其具备去中心化、不可篡改性、可追溯性、安全性等特性，将区块链技术应用于核电工程电子文件数据交换管理中，有利于保障数据交换的真实性、完整性、安全性，实现核电工程电子文件全生命周期和智能化管理，并从整体上提升核电工程电子文件数据管理质量，将对核电工程建设的安全、质量、进度等各指标有质的提升。

本文通过对核电工程电子文件数据交换现状进行调研，基于对区块链技术的深入研究以及技术方案选型，搭建核电工程电子文件数据交换联盟链平台，为核电工程电子文件数据交换奠定基石，提供更安全的交换方式，保障核电工程电子文件数据交换的真实性、完整性、安全性。

2　核电工程电子文件数据交换现状调研

2.1　核电工程电子文件类别

核电工程建设和生产活动中会形成大量的文档材料，如图纸、说明书、合同、函件、程序、档案等。根据这些文档材料的特点，可分为文件、档案、图书资料及标准三大类，其中文件主要包括工程文件、公文和其他文件。本文涉及的核电工程电子文件主要指其中的工程文件，其中工程文件主要指工程函件和工程技术文件两部分，工程文件主要类别如图 1 所示。

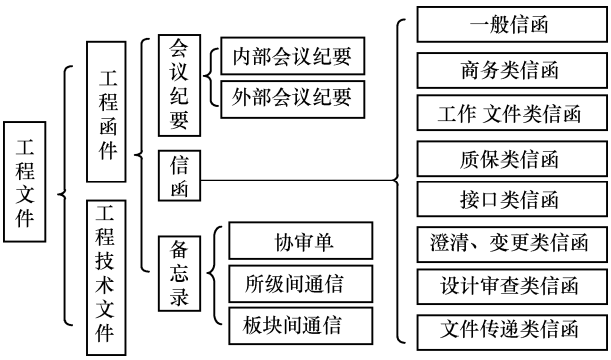


图 1　工程文件的主要类别

工程文件：指直接涉及工程活动内容的文件，包括工程函件、工程技术文件、商务文件等。

工程函件：指涉及工程建设及公司经营管理相关的一般性事宜的文件，主要有公司收发文所用的信函、传真和公司内部发文所用的备忘录、会议纪要等。

工程技术文件：指与工程设计、制造、施工、监理、调试等相关的说明书、规范、图纸、进度计划、报告、作业程序等。在设计板块，工程技术文件一般指设计文件。

2.2 核电工程电子文件数据交换流程分析

核电工程电子文件数据交换模式目前主要 7 类数据交换流程：设计院与设计分包院之间、设计院与设备供应商之间、设备供应商与施工单位之间、设计院与施工单位之间、施工单位与承包商之间、设计院与承包商之间、设计院与业主公司之间。各参建单位在核电建设中担任的业务角色不同，各参建单位之间的交换业务逻辑和数据也不一样，核电工程文件交换流程如图 2 所示。

其中，各参建单位之间数据交换类型主要包括文件交付、文件审查、文件宣布工作就绪（以下简称 WR）、文件宣布预制可用（以下简称 FU）、设计变更或设计澄清。数据交换包括单方向、双方向、多方向等维度，也存在单次或多次往复交互。具体应用场景见表 1。

2.3 核电工程文件数据交换管理现状及需求分析

随着国内数字化管理方向的发展，目前核电建设中产生的文件管理模式也逐步从双规制管理模式往单轨制管理模式发展，单轨制管理模式逐步占据主流。在核电工程文件管理模式中，纸质文件具有相对稳定性，不易修改和伪造，同时在避免天灾人祸、遵守管理和保护要求上可实现长期保持，所以纸质文件在安

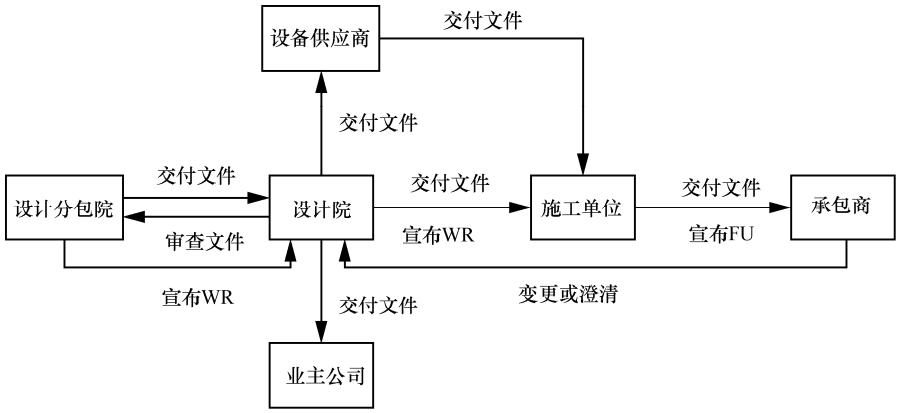


图 2　核电工程文件交换流程

表 1　核电项目数据交换的主要类型

序号	工程文件交换单位	详情描述	应用场景
1	设计院—设计分包院	1、设计分包院提交文件给设计院	1、文件交付
		2、设计院审查分包院文件	2、—设计审查
		3、分包院对审查通过的文件宣布“文件工作就绪”	3、文件宣布 WR
2	设计院—设备供应商	1、设计院将设备制造文件提交给设备供应商	1、文件交付
3	设备供应商—施工单位	1、设备供应商将施工文件提交给施工单位	1、文件交付
4	设计院—施工单位	1、设计院将施工文件提交给施工单位	1、文件交付
		2、设计院对施工文件宣布“文件工作就绪”	2、文件宣布 WR
5	施工单位—承包商	1、施工单位将施工文件提交给有资质的承包商	1、文件交付
		1、施工单位对施工文件向承包商宣布“预制可用”	2、文件宣布 FU
6	设计院—承包商	1、承包商对设计文件有疑问，向设计院提交澄清要求或技术变更，设计院进行回复	1、设计澄清或技术变更
7	设计院—业主	1、设计院将文件提交给业主	1、文件交付

全性方面具有一定优势。但电子文件具有纸质文件所不具有的可分享性、可重复使用、不易失真、经济环保性等多样特性，以及纸质文件在信息挖掘深度和作用范围远不及电子文件[2]，同时单轨制管理模式极大降低了管理人员工作量和管理成本，进一步促进了电子文件的极大发展，使得单轨制管理模式成为目前推广的主流趋势，电子文件管理模式逐渐发展，纸质文件管理模式逐渐弱化。

目前电子文件的保存，需借助于设备和技术，它离不开存储载体，保存要求较高，但目前网络安全事故频发，要安全存储电子文件，保障电子文件数据交换的真实性、完整性、安全性，需不断得更新技术和措施，打破限制电子文件未来发展的这一技术瓶颈，才能实现电子文件管理模式的长久发展。

2.4 区块链技术在核电工程电子文件的应用前景分析

核电建设中产生的庞大数量的工程文件，需要快速、准确、高频地进行数据交换，但各参建单位在逐层数据交换时采用的交换方式多样，导致数据信息断层以及获取信息成本骤增，也给数据的真实性、完整性、安全性带来隐患，而区块链所具有的去中心化、不可篡改性、可追溯性、可编程性等基础特征可保证数据的真实性、完整性、安全性[3]，同时也可实现数据全生命周期[4]和智能化管理，这与核电工程电子文件交换需求十分吻合[5]。

3 基于区块链技术的核电工程电子文件数据交换原理及技术方案选型分析

通过对核电项目文件业务逻辑以及交换需求整理分析，以及对区块链技术的深入研究及其应用场景的深度挖掘，建立基于以核电工程电子文件为主线，构建区块链技术联盟链交换平台。

3.1 区块链技术原理分析

3.1.1 区块链的应用背景

区块链起源于比特币，它作为比特币的底层技术，被大家熟知，主要有 3 种应用模式：公有链、私有链、联盟链[6],由于公有链的完全去中心化与现有法律以及社会规则存有冲突，以及其自身存在的技术缺陷，区块链技术未来将基本围绕联盟链、私有链或二者形成的混合链展开[7]。区块链最初的应用场景主要以金融行业为主，后期逐渐向其他实体行业辐射，随着关注度持续增加，会有越来越多切合实际的应用场景落地，行业从“1 到 N”进一步发展，使得区块链运用范围更加广泛。

3.1.2 区块链技术特点确认

区块链基础构架一般由数据层、网络层、共识层、激励层、共识层、激励层、合约层和应用层组成[8]，如图 3 所示，每个不同的层别封装着不同的技术以及应用模式，其中包含分布式账本、密码学技术、共识机制、智能合约等技术。数据层是一个分布式账本，交易记录分布在不同的节点上，并且每个节点都保持一份完整的账本，同时拥有着非对称加密算法、哈希算法等技术，从而保证区块链上节点的数据安全；共识层拥有共识机制，满足共识机制方可上链，实现区块链智能管理功能；合约层封装着智能合约，可灵活编程[9]，智能合约的存在可实现在无可信第三方情况下能确保合同的正确履行等等。各层别封装的不同技术，使得区块链具有去中心化、不可篡改性、可追溯性、安全性、匿名信、可编程性等基础特征。在区块链基础架构模型中，基于时间戳的链式区块结构、分布式节点的共识机制、基于共识算力的经济激励和灵活可编程的智能合约是区块链技术最具代表性的创新点[10,11]。

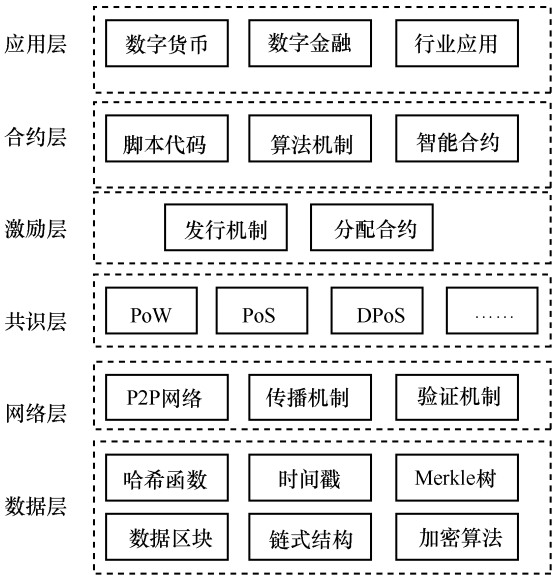


图 3 区块链系统架构

分布式账本，指的是交易记账分布在不同的节点上，且每个节点都保存一份完整的账本。区块链是一个分布式存储的共享网络账本，任意节点之间可经过多条路径实现通信，无需中央存储数据库，实现直接通信。通信数据存储在网络中分散的各个节点，而不是存储在以往的中央数据库中，也就是常说的去中心

化，区块链最吸引人的就是其分布式存储机制，即去中心化的思想。

密码学技术，在保证区块链中数据的安全性起着非常重要的角色，利用密码学技术对数据进行哈希计算、椭圆曲线等多种算法转化，实现加密数据。其中密码学中非对称加密算法是保障区块链中数据和信息安全性的重要技术，非对称加密需要两个密钥：公开密钥和私有密钥，这两个密钥是一一对应的，用公钥对数据加密，只能用对应的私钥才能解密；用私钥对数据加密，只能用对应公钥的才能解密[12]，并且公钥的生成是不可逆的，无法通过公钥来破解出私钥。私钥是由自己进行保管的，一旦私钥丢失，资产也就不复存在了。两种密钥是经过哈希算法、椭圆曲线算法等多种算法混合机制转化来的，可保障节点上数据的安全性。所以使用密码学技术，可实现真正意义上的确保链上数据和资产安全性，非对称加解密流程如图 4 所示。

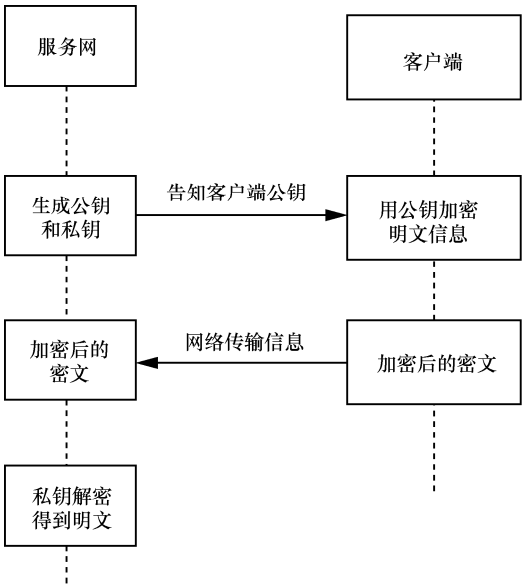


图 4　非对称加解密流程

共识机制，是区块链的核心，其本质就是如何在记账节点间达成共识，是区块链节点就区块信息达成全网一致共识的机制，可以保证最新区块能够准确的添加至区块链中以及确保区块链信息一致不分叉，并能抵御恶意攻击。所有的节点都可对数据进行验证，当所有节点验证通过方可将数据上链，即全网达成一致完成上链，整个特定操作中每一轮可为：选主、造块、验证、上链[13]，区块链共识过程的基础模型如图 5 所示。

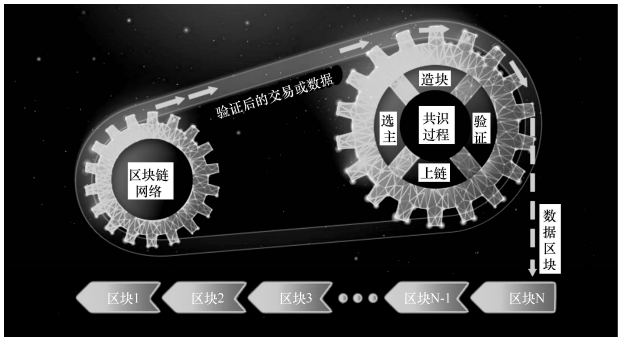


图 5　区块链共识过程的基础模型

智能合约，1995 年由跨领域法律学者 Nick Szabo 提出，是一种旨在以信息化方式传播、验证或执行合同的计算机协议，合约通过 P2P 网络传播并存储在区块链中，自动运行区块链智能合约[14]。规则公开透明，合约内规则以及数据对外部可见，所有交易公开可见，不会存在任何虚假交易，使得区块链具有公开透明、不可篡改的特点。传统的契约行为是由人来制定规则，由人来执行的，智能合约是开发者制定的一套规则、一种计算机协议，通过人与智能合约进行交互，由机器去完成业务部分。人有时会因为种种原因造假或者作恶，但代码不会，由此就可规避人为的作弊行为[15]。

4　基于区块链技术的数据交换技术方案选型

区块链主要可以分成公有链、私有链、联盟链 3 类。公有链是指任何人都能参与的区块链。公有链是去中心化程度最高的区块链，不受机构控制，整个账本对所有人公开透明。任何人都能在公有链上查询交易、发送交易、参与记账。加入公有链不需要任何人授权，可以自由加入或者离开，所以公有链又称为非许可链。私有链是指区块链记账权限仅在一个人或者一个机构手里，并且参与记账的权限由机构内部制定，读取权限可以对对方开放也可以任意程度地限制。联盟链账本的公开程度，介于公有链和私有链之间。联盟链是指多个机构共同管理维护的区块链，参与区块链的节点是事先选定的。联盟链也只对联盟内部成员开放全部或部分功能，链上信息的读取、写入以及记账规则都按照联盟共识来设定。

本文结合设计院业务现状，并综合考虑经济因素、操作便捷性等因素，进行技术方案选型，对区块链的三种链进行了对比：

方案一：基于区块链技术的公有链技术进行核电工程电子文件数据交换模式。公有链技术完全去中心

化，可在整个行业内使用。参与记账的人不受任何机构控制，任何人都能参与读取、写入，同时没有任何个人或者机构可以控制或篡改其中数据的读写点。

方案二：基于区块链技术的私有链技术进行核电工程电子文件数据交换模式。记账权由设计院掌握。以设计院为记账中心，参与记账的人为设计院项目管理部门和文档管理部门，读取权限可以根据公司需要，选择链上全员或部分员工具备。

方案三：基于区块链技术的联盟技术进行核电工程电子文件数据交换模式。由联盟成员（设计分包院、设计院、施工单位、承包商、设备供应商、业主公司等）共同管理维护该区块链，参与区块链的节点是事先选定的，也只对联盟内部成员开放全部或部分功能，链上信息的读取、写入以及记账规则都按照联盟共识来设定。

这 3 种方案各有利弊，方案一公有链节点加入无门槛，人人都能参与记账，是在陌生的、缺乏信任的竞争环境下记账的，所以公有链需要有一套共识机制来选出记账节点，也就是人们平常说的通过“挖矿”竞争记账权。因为需要挖矿，所以公有链记账具有延时高，成本高、效率低的缺点。方案二私有链由于参与记账节点少，所以记账速度快，记账成本低，隐私性高。但私有链的“弱中心化”，导致管理权限和使用权限受限于组织，具有一定封闭性，节点不具备平等性，该方式更适用于金融机构等涉及隐私较多的机构。方案三联盟链有记账效率高、共识时间短、记账成本低还能兼顾隐私的特点，集合了私有链和公链的部分特征，更适用于实体企业管理[16]。

综上，根据核电工程电子文件管理现状和当前技术水平，本文选择方案三作为此次在系统功能建设方面的技术研究方案。

5 核电工程电子文件数据交换联盟链平台搭建研究

本文以核电工程电子文件数据交换过程为切入点，结合业务逻辑，分析工程文件从产生到交付、竣工、采购施工等环节中的交换场景，整理出与核电工程电子文件相关数据交换的全部环节及需求，进而搭建基于区块链技术的核电工程电子文件数据联盟链交换平台，确保数据交换的真实性、完整性、安全性，打通合作单位和公司的沟通壁垒，为数据分发方式带来革命性的改变。

研究方案中，平台搭建系统以 windows 应用程序的方式发布，使用本系统的用户需先下载应用程序，然后联系链管理单位申请开通访问账号进行功能建设。系统具备登录、消息中心、交付处理、状态变更处理、通知处理、外发、文件库、函件查看、文件查看、系统设置、单位信息维护、链上成员信息查看、链上成员维护等基本功能。每个用户在使用系统的时候，都可以根据自己的需要进行个性化设置，基于区块链技术的文件交换平台如图 6 所示。



图 6　基于区块链技术的文件交换平台

系统中数据分为两类，完全公开和仅供指定用户访问，附件及其它敏感数据在发送过程中发送方可以选择加密传输。

存储策略分为中心节点和非中心节点两类。其中，中心节点会下载和保存区块链上的所有数据。整个链上至少要有 3 家中心节点，区块链的主要管理方必须是中心节点。非中心节点仅下载与自己相关的文件和数据。

加密策略分为仅附件加密和附件和数据均加密两个选项。文件和数据加密均使用接收方的公钥加密，只有接收方才可以使用自己的私钥解密查看。附件和

数据均加密中的数据指的是文件属性、关系数据等信息，该类信息各用户可以选择全链公开，也可以选择加密不公开。

在完成技术开发之后，对部分核电工程电子文件数据在区块链平台交换系统中进行测试，以测试系统数据交换的实用性。通过测试，采用区块链数据交换系统后，可大幅降低参与单位文件交换的成本，提高交换效率，并保证了数据交换的真实性、完整性、安全性。以某核电工程项目为例，一份工程文件从设计分包院、设计院、施工单位、承包商、设备供应商、业主公司进行传递，常规平均需要 27 个工作日完成全部交换，采用区块链文件交换系统后，在保障了数据交换的真实性、完整性、安全性下，全部完成交换平均仅需要 5 个工作日。

同时，通过系统功能的实现，可颠覆性改变目前各参与单位通过函件方式进行的文件交付、文件审查、文件 WR、文件作废、文件变更等管理模式，可逐步取消通过函件管理的模式，大量节约项目管理、文档管理、系统维护的成本。

6 区块链技术在核电工程电子文件数据交换的应用效果

（1）为核电等行业提供区块链技术应用的参考价值和管理方案

首次应用区块链技术于核电工程电子文件交换中，开创了全新的数据交换模式和技术方案，解决了电子文件数据交换难题，为核电等行业提供区块链技术应用的参考价值和管理方案。

（2）保障核电工程电子文件数据交换的真实性、完整性、安全性

区块链所具备的去中心化、不可篡改性、可追溯性、安全性等基础特征，可有效保障核电工程电子文件数据交换的真实性、完整性、安全性。

（3）实现核电工程电子文件全生命周期管理

基于区块链技术的文件交换系统，在保障数据交换的真实性、完整性、安全性下，将需交换的核电工程电子文件数据均上链至区块链中，其中包含文件从出版、升版、变更、工作就绪至采购、施工、调试执行等情况数据，这些数据均在区块链文件交换系统中分布式存储、不可篡改、可追溯，形成一条完整的数据链，实现了核电工程电子文件全生命周期管理，如图 7 所示。

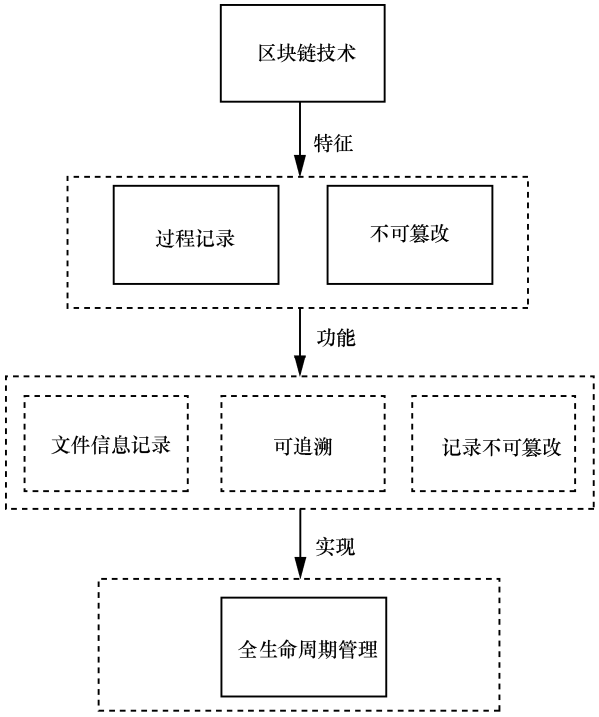


图 7 区块链全生命周期管理示意图

（4）实现核电工程电子文件智能化管理

利用区块链底层技术，将智能合约写入链中，当满足合约条件时，可实现文件智能交换、智能宣布 WR、智能宣布 FU 等功能，实现核电工程电子文件智能化管理。

（5）降低管理成本，提高经济效益

应用区块链平台，可极大缩减核电工程电子文件数据交换时间，并大量节约项目管理、文档管理、系统维护的成本，可实现较大程度上的经济效益，为企业节能提供助力。

7 结束语

由于核电建设具有的复杂性和特殊性，注定着对核电项目管理有着较高的要求，在高频的数据交换下，保障核电工程电子文件传递的真实性、完整性、安全性极其重要。随着区块链技术的发展，其所具有的技术特征，给核电工程电子文件数据交换方式带来了革命性的改变，充分保障在高频数据交换下数据的真实性、完整性、安全性，并实现文件的全生命周期和智能化管理，从整体上提升核电工程电子文件数据管理质量，为整个核电建设进一步提供质的提升。

参考文献：

[1] 中国区块链技术和产业发展论坛.中国区块链技术和应用发展白皮

书（2016）[R].北京,2016.
[2] 屈红宇.基于区块链技术的电子文件单轨制管理探索[R].北京:重庆西信天元数据资讯有限公司北京分公司.2019.
[3] 刘庆悦. 基于区块链技术的电子档案管理模型探析[J]. 浙江档案, 2018(10): 22-24.
[4] 王子鹏, 李璐璐. 基于区块链技术的电子文件管理模式研究[J]. 浙江档案, 2018(2): 18-20.
[5] 何晓东, 黄新荣. 浅析区块链技术在电子文件管理中的应用[J]. 档案与建设, 2018(2): 4-8.
[6] 宋新红, 魏婷, 李冰清. 新金融工具会计准则修订对防范化解金融风险的影响研究[J]. 金融理论与实践, 2019(3): 54-62.
[7] 李董, 魏进武. 区块链技术原理、应用领域及挑战[J]. 电信科学, 2016, 32(12): 20-25.
[8] 袁勇, 王飞跃. 区块链技术发展现状与展望[J]. 自动化学报, 2016, 42(4): 481-494.
[9] 孙建中,田文秀,张琦.基于区块链技术的过程安全管理重点环节的管理及应用[C]//Ccps 中国过程安全会议. 2018.
[10] 丁未. 基于区块链技术的仪器数据管理创新系统[J]. 中国仪器仪表, 2015(10): 15-17.
[11] 赵赫, 李晓风, 占礼葵,等. 基于区块链技术的采样机器人数据保护方法[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2015, 43(S1): 216-219.
[12] 张怀印. 区块链技术与数字环境下的商业秘密保护[J]. 电子知识产权, 2019(3): 71-78.
[13] 那琼澜,杨艺西,苏丹,等.区块链技术在泛在电力物联网建设中的应用研究[C]//全国第四届“智能电网”会议论文集. 2019.
[14] 侯文捷, 武鸿鹏, 高峰亭, 等. 基于区块链智能合约的电力供应链利益分配研究[J]. 信阳师范学院学报(自然科学版), 2020, 33(1): 144-148.
[15] 韩妍妍, 张齐, 闫晓璇, 等. 基于区块链的电子文件流转设计与实现[J]. 计算机应用, 2020, 40(11): 3357-3365.
[16] 宫延新, 宣奇, 陈志明. 区块链联盟链在贸易金融领域的应用[J]. 信息技术与网络安全, 2020, 39(8): 6-8, 14.

基于人工智能面部识别技术的交易信用管理体系研究

梁晓赫
（辽宁电力交易中心有限公司，辽宁 凌海 121200）

摘　要：以实现信用风险可控下的电力交易价值最优为目标，通过多源数据的整合，基于面部识别技术，实现交易过程及时信用控制。在技术手段运用方面，充分利用人工智能面部识别技术的优势，迅速定位与获取该人员及其市场主体的信用画像，融合 CA 认证与市场主体信用信息实现双重身份识别。通过交易信用管理方法与技术手段的运用，合理规避电力市场风险，为维护电力市场参与者权益和电力市场的规范化运作和良好发展起到积极作用。

关键词：面部识别；电力交易；信用风险；信用画像

1　引言

2015 年 3 月中共中央国务院发布《关于进一步深化电力体制改革的若干意见》[1]，开启新一轮电力体制改革。新一轮电改延续管住中间、放开两头的体制架构，按照“三放开、一独立、三加强”的总体思路平稳、深入推进，通过创新交易品种、优化交易模式，助推能源要素合理流动，持续释放改革红利。在国家电力体制改革的浪潮下，辽宁省近年来积极开展电力市场化交易工作，电力市场化规模持续扩大， 2020 年全省电力市场化规模预计 870 亿千瓦时，其中跨省交易规模为 235 亿千瓦时[2]。电力市场交易中，信用管理体系的构建是其重要的组成部分，《关于进一步深化电力体制改革的若干意见》中要求建立健全市场主体信用体系，加强市场主体诚信建设，规范市场秩序，加大监管力度。辽宁省在 2017 年第一批售电公司准入过程中，开启了售电公司现场核验和信用评价基础档案建立工作[3]。在关于明确 2019 年全省电力市场化交易有关事项的通知中，进一步明确要求开展售电公司信用等级评价工作，评价结果与售电公司银行履约保函制度挂钩，减轻售电公司的运营成本[4]。随着电力市场交易的发展和技术手段的进步，辽宁电力交易中心信用评价体系同步不断完善，本文在原信用评价体系的基础上，研究基于人工智能面部识别技术的交易信用管理体系构建。

2　电力市场交易的信用管理实践

国外电力市场通常引入第三方评级机构的信用评级，采取风险量化评估、信用额度管理等手段以达到风险控制的目的[5]。国内各省电力交易中心均提出建立电力市场信用评价体系，其中云南电力市场昆明电力交易中心和广东电力市场广东电力交易中心是电力市场交易信用风险管理方面的典型代表。

昆明电力交易中心在 2017 年二季度开始，在全国率先试行售电公司交易行为信用评价，明确规定售电公司的交易信用保证金额度，要与交易行为信用评价等级挂钩。云南电力市场交易信用管理办法侧重建立基于交易行为的评价体系，充分体现市场主体参与电力市场过程中的守信履约情况和能力；落实上级相关要求、机制构建管理办法，并将合作备忘录的联合惩戒机制和要求落实到应用场景中；评价机制中的应用场景涵盖了事前风险预警、事中交易权限管控、事后评估和调整；评价结果与信用保证额度挂钩，可采用银行履约保函、集团履约保函和缴纳信用保证金 3 种方式[6]。云南电力市场交易信用保证机制的引入，有效引导和激励市场主体积极、主动地维护电力市场秩序，促进市场主体对合约精神的认同和落实，有效防范了电力市场运行过程中的信用风险。

2018 年 8 月，南方能源监管局会同广东省经济和信息化委、广东省发展改革委联合公布《南方（以广东起步）电力市场运营规则体系（征求意见稿）》，形成广东电力现货市场体系。广东电力现货市场信用体系从两个方面突破了国内传统信用体系的局限，一是以衡量市场主体履约能力为目的，考虑财务指标进行信用评级，并把信用评级与控制信用风险的手段即信

用额度相结合； 二是量化了市场成员的信用风险敞口，对电力批发交易和电力零售交易两侧市场的信用风险进行净额量化，减轻了市场成员的经济负担[7]。信用额度分为担保信用额度和无担保信用额度两类，广东电力现货市场的信用风险管理体系中，信用评价直接用于确定无担保信用额度，为了信用评价能合理反映信用管理对象的违约可能性，信用评价体系加入了财务类指标，对企业的经营能力、盈利能力、成长能力、短期偿债能力和长期偿债能力进行考量。

通过对我国云南和广东电力交易中心的信用管理体系的案例研究，可以看出信用评价结果都实现了与履约保函额度挂钩，开展了信用联合惩戒，并开始实现发电企业、售电公司、电力用户三类市场主体的全量信用评价。但同时可以发现，当前的电力市场交易信用管理体系更多地着力于信用等级评价管理，缺乏对电力交易过程信用风险的有效预警和风险控制，同时缺乏对信用大数据的有效收集和利用[8]，因此亟须重点针对电力交易过程信用风险的及时控制开展研究。

3 电力交易信用管理创新思路

电力交易中心需要通过交易信用管理体系的建立，形成多维度、全市场主体的信用画像，基于面部识别技术关联信用画像，对市场交易主体的信用风险与电力交易价值进行精细化管理，实现信用风险可控下的电力交易价值最优[9]。

交易信用管理体系是平衡信用风险和价值的核心手段，随着市场主体信用风险的增加，市场交易的价值将降低，通过交易信用管理方法与措施的运用，寻找信用风险与价值之间的最大相交点，合理规避电力市场风险，为维护电力市场参与者权益和电力市场规范化运作和良好发展起到积极作用[10]。

3.1 创新要点

交易信用管理体系以信用画像的构建为核心，信用画像即参与交易的市场主体及其代表人员在信用维度的表现。信用画像按照市场主体的不同分为发电企业信用画像、售电公司信用画像和电力用户信用画像，每个市场主体又分为企业信用画像和交易代表人员信用画像。以售电公司为例，其企业信用画像信息包括企业基本信息、企业人力资源状况、企业基础管理状况、交易管理信息、市场行为信息、企业财务状况、企业信用记录、法定代表人信用记录、银行融资履约信息等详细信息，同时也包括该售电公司的信用等级和特殊标签信息。

交易信用管理体系信用识别工具选用面部识别技术，目前在互联网、行政机构、银行、金融、保险等领域面部识别技术于信用管理领域的应用已十分成熟，为企业提供了信用风险控制的有力手段，辅助企业降低业务风险，为个人提供了便捷的基于信用的高效服务[11]。在电力交易过程中，以面部识别技术为抓手关联交易市场主体信用信息，在交易过程中快速识别用户、定位获取用户信用信息并按信用等级授予信用权限，在信用风险出现时及时采取对应措施，有效弥补长期以来电力交易过程信用管控不足的问题。

3.2 创新框架

充分运用大数据、面部识别、信用画像等技术为交易信用体系的构建和运转提供技术支持，交易信用管理体系的构建从数据整合入手，然后基于大数据画像，并借助面部识别技术关联画像，最后将画像应用于市场交易入口和交易过程实现信用控制。整体框架包括四层，包括整合为基础、数据为支撑、过程全覆盖、入口即控制。

（1）整合为基础，以信用为核心整合各类系统数据。从“涉及信用管理的业务”和“各项业务中的信用数据”两个维度入手，全面整合内外部相关数据，做好两个维度的匹配[12]。

（2）数据为支撑，建立面部识别和信用管理数据库。以整合的数据为基础，通过信用评价和标签划分，形成个人信用画像库和企业信用画像库。通过市场主体必要人员面部信息的收集，形成面部识别库。

（3）过程全覆盖，交易信用管理面部识别技术应用。依据信用风险管理的基本原理和管理过程，融合业务线和信用线，着眼交易关键环节，构建基于面部识别技术的信用信息与交易过程融合交互控制的信用管理体系。

（4）入口即控制，市场主体交互入口面部识别控制。综合考虑基于相关信息系统的线上交易环节和实地集中的线下交易环节，增设面部识别设备，从交互入口处获取信用信息，指导交易过程风险控制。

4 电力交易信用管理创新措施

4.1 以信用为核心整合各类系统数据

基于辽宁电力交易系统，关联外部系统数据、电网业务系统数据，以电力市场参与主体为对象整合内外部信息数据，建立市场参与主体的信用管理信息数

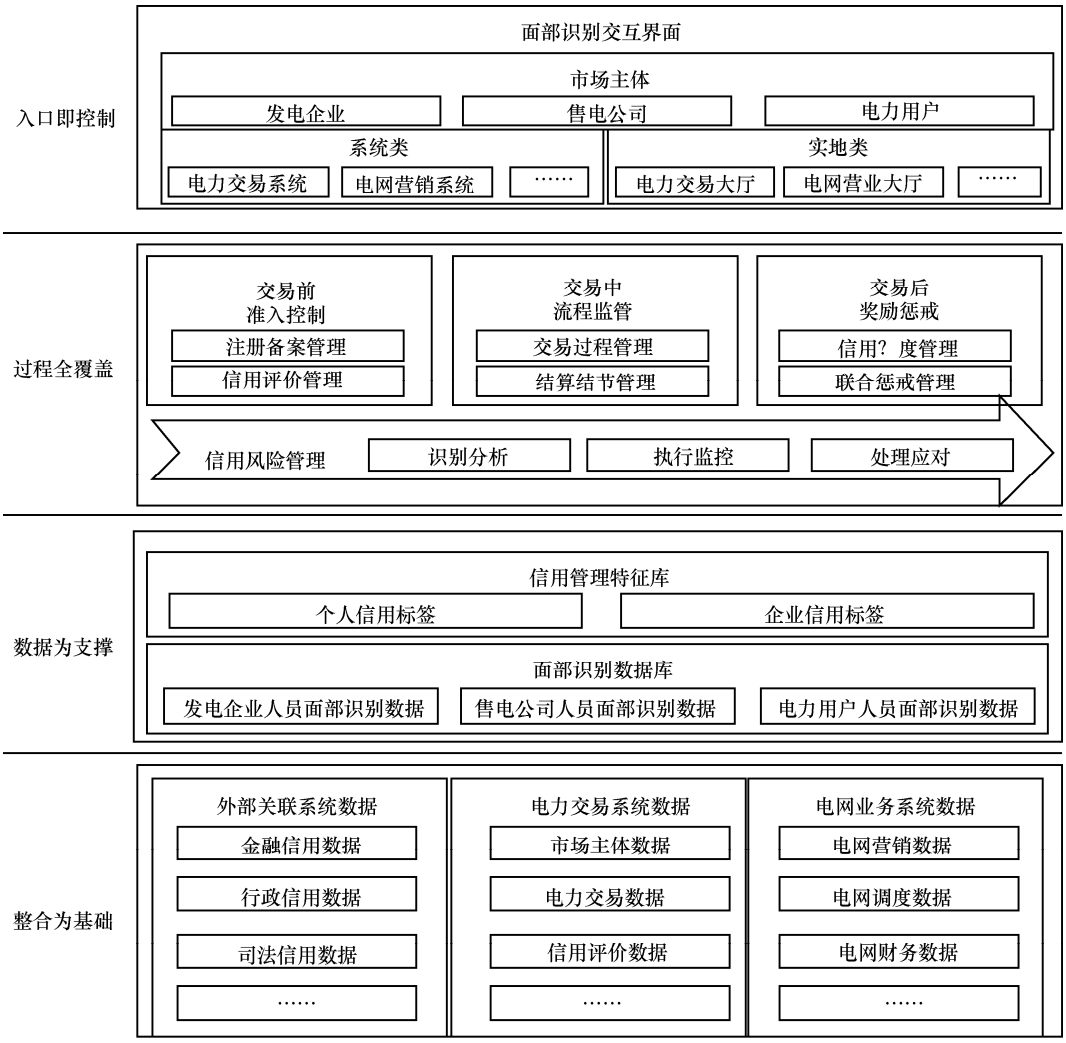


图 1　电力交易信用管理创新框架

据库，为电力市场交易信用管理提供大数据基础，提升信用信息的全面性、信用评价的准确性和信用反馈至交易流程的及时性。信用管理数据库整合示意图如图 2 所示，外部各大系统和网站、业务系统等为信用管理提供各类数据，同时电力交易信用数据也共享至外部和业务系统，实现数据的双向交流。

4.2　以信用数据为支撑构建数据库

信用画像库由个人信用画像信息和企业信用画像信息构成，信用画像库的构建，将人脸信息与个人及其所在企业信用信息进行关联，在各交易环节入口进行面部识别及身份认证，并将信用信息反馈到业务办理的关键控制环节，为信用管理提供参考依据，支撑对交易全过程的信用管控。

面部识别库构建于市场准入环节，利用面部识别摄像头采集发电企业、售电公司、电力用户各市场参与主体相关人员的面部信息，包括法定代表人、市场交易参与人、备用人的面部信息。面部识别库是实现基于面部识别技术的交易信用管理体系的基础数据库，为面部识别提供人员信息素材，是交易管理的控制技术手段的数据支撑。

4.3　以信用画像为主题构建评价体系

首先在原有售电公司信用评价体系的基础上，完善发电企业和电力用户的信用风险评价体系。发电企业与电力用户信用风险管理体系构建主要包括信用风险识别、构建信用风险评价指标体系、构建信用风险评价模型、建立信用风险控制机制[13]。

初步分析电力用户信用风险共 6 个维度，即基本情况、企业市场风险、企业财务风险、企业信用风险、企业运营风险以及结算管理风险。在以上 5 类风险下建立评价指标体系，每个维度的指标均有一定的含义。

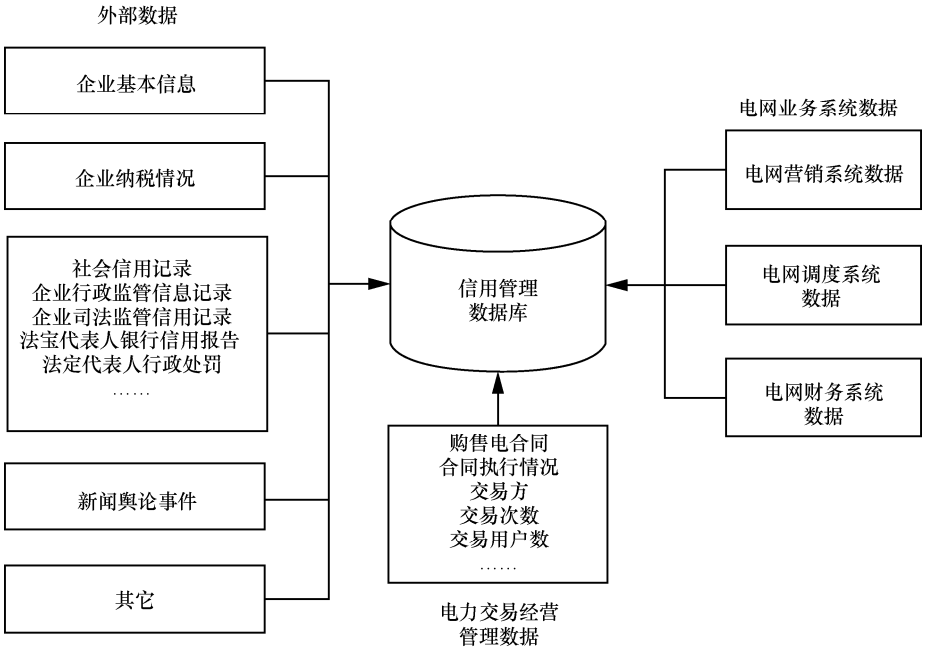


图 2　系统数据整合示意图

基本情况包括企业注册信息、信息公示及报送情况等；企业市场风险包括市场行为等；企业财务风险包括电力用户的盈利能力以及偿债能力等；企业信用风险包括企业信用记录、企业高管信用记录等；企业运营风险包括合同计划电量执行情况、合作方满意度、过往事故情况；结算管理风险包括企业的电费缴纳情况、违约金缴纳情况等。

发电企业信用风险评价指标体系与电力用户信用风险评价指标体系类似。基本情况包括企业注册信息、信息公示及报送情况等；企业供电能力包括安全生产能力等；企业财务风险包括发电企业的盈利能力以及偿债能力等；企业信用风险包括企业信用记录、企业高管信用记录等；企业运营风险包括合同计划电量供应情况、合作方满意度、过往事故情况等。

4.4　电力交易过程面部识别控制

（1）交易前准入管控

在交易前选择合适空点实现信用控制。首先，结合现有的注册准入动态备案评价和信用等级评价管理机制，加入面部识别关联信用特征标签，快速识别用户，迅速定位与获取用户的信用信息，准入资格审核由单纯的资料审核变为结合信用画像的全方位审核，实现对交易主体进入市场交易前的严格把控，降低可能存在的信用风险；其次，履约保函额度应与售电公司当年售电规模相匹配，同时也参考信用评价等级进行适当调整；再次，申请注册企业管理员，获取在交易系统操作的相关权限，此时的权限是与信用等级匹配的权限，不同信用等级其交易权限大小不同，具体权限体现在交易中。

（2）交易中流程监管

电力交易系统的准入身份验证可由电子钥匙变为“电子钥匙+基于面部识别的信用画像”，实地交易的准入身份证明为基于面部识别的信用画像。

权限与信用等级匹配，对应不同的信用等级的市场主体，在系统操作、线上交易、线下交易等不同场景下被赋予不同的细分权限，并将信用权限与面部识别挂钩。

在不同的交易环节，灵活匹配不同的控制方式，根据企业实时信息动态控制交易过程权限。在交易代表人登录系统时，进行信用风险识别并控制其交易权限；在交易过程中，如果存在交易违规行为则禁止继续参加下一轮报价，如不存在违规交易则可继续进行交易；如果数据渠道显示其信用风险较大但达不到限制市场交易程度的，则需要在电力交易系统中实现相关信息的自动预警，将预警信息传至本次交易的利益相关方和市场交易中心，再由人决定是否采取控制措施[14]。

（3）交易后奖惩管理

每次交易完成后，自动更新信用画像。针对信用

状况优良的市场参与主体，在下次参与市场交易时，可相应减免担保信用的额度；根据最新信用画像数据自动匹配奖励与惩戒措施，并自动进入审核流程，审核通过后自动在交易系统更新相应系统操作权限。针对信用状况不好的市场参与主体，开展社会联合惩戒。

4.5 市场交互入口面部识别控制

市场交互入口包括电力交易系统、电网营销系统、线下固定场地、电网营业大厅。线上交易所有操作经过电力交易系统，在入口处即识别了信用信息、分配了系统操作的权限，并将权限应用到所有交易系统环节当中，实时对其过程进行控制[15]；将整合的内外部系统数据形成的人脸数据库和信用画像库提供给电网企业营销服务类系统，基于对应主体的信用状况，支撑系统结算操作；针对固定场地集中线下交易的情况，在交易场所入口处安装高清摄像头，对每次进入场所参与交易谈判的人员进行拍照识别，验证参与人的身份，同时获取参与人及所在企业当前的信用信息，从而判断该参与人是否可以进入交易；电力交易信用信息与电网客户信用可以实现信息的共享，电力交易市场主体代表人员，尤其是电力客户方人员，会出入电网营业大厅办理业务，因此将其电力交易信用数据与营业大厅共享，为电力客户信用大数据提供新的数据支撑，反向辅助电网业务开展。

5 价值成效

面向电力交易过程中的信用管理工作，基于交易中心内外部业务数据和信用数据的全面整合，基于人工智能面部识别技术，通过将“身份”与“信用”的匹配，全面实现“入口即控制”。覆盖交易信用管理过程与市场主体各类交互点，在市场主体登录电力交易平台系统或实地交易过程中，与“业务”相融合，对市场主体关键业务操作环节加以控制，根据信用等级授予区别化的信用权限控制交易活动。对内支持在电力交易过程各交互环节中对信用风险的识别、分析、预防、控制及处置，对外为电网公司、工商行政司法等管理部门提供信用风险联防联控的基础。总体上，能够对存在风险隐患的情况进行有效防控，对隐性风险已有验证防控手段进行有效强化，促进各类相关方信用管理效率和效益的提升。

6 结束语

电力交易信用管理体系的创新，主要立足于当前阶段的电力市场环境，基于人工智能面部识别技术初步提出对交易信用管理体系的完善提升内容，既注重管理创新项目研究的适度超前，又注重结合辽宁电力交易中心信用管理的发展现状。通过丰富市场主体信用数据，完善以信用画像为主题的信用评价体系，实施交易过程的实时信用控制，探讨面部识别技术在多交互入口处的不同应用场景，形成以人工智能面部识别技术连接电力交易与市场主体信用管理的完整闭环体系，为电力交易机构推进信用规范化管理和业务创新优化提供基础。

在本项目实施过程中，电力体制改革将持续深化，电力交易品种将持续丰富，电力交易规则将持续演化，

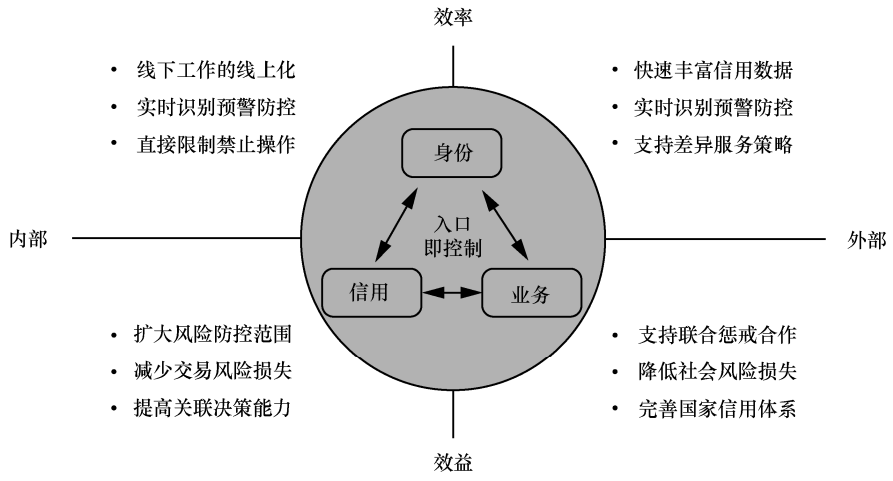


图 3 电力交易信用管理价值成效

电力交易系统也将持续完善，可能对研究成果的实施应用带来各种不确定因素，但技术发展和管理进步的趋势不可阻挡，在电力交易信用管理中应用新兴技术手段提升管理的目标始终明确。在后续阶段，一方面要对现有研究成果适时开展具体实践操作，在实践过程中完善研究成果，另一方面要积极跟踪电力市场交易参与相关方需求，以及新兴技术发展趋势，以此为基础不断完善电力市场交易信用管理体系。

参考文献：

[1] 《中共中央 国务院关于进一步深化电力体制改革的若干意见》节录[J]. 大众用电, 2016, 31(2): 6-7.

[2] 辽宁省工业和信息化厅,国家能源局东北监管局.关于印发辽宁省2020年电力市场化交易工作方案的通知[S].2020.

[3] 辽宁省工业和信息化委,省发展和改革委,国家能源局东北监管局.辽宁电力市场售电公司履约保函管理办法（试行）[S].2017.

[4] 辽宁省工业和信息化厅,国家能源局东北监管局.关于开展2019年售电公司动态信用评价工作的通知[S].2019.

[5] 刘军, 张佳妮, 李文萱. 国际成熟电力市场信用体系建设的经验比较与启示[J]. 价格理论与实践, 2018(2): 71-74.

[6] 严明辉, 周崇东, 杨怡静, 等. 云南电力市场信用风险管理研究[C]//第三届智能电网会议论文集. 北京, 2018:474-480.

[7] 田琳, 甘倍瑜, 孙谦, 等. 广东电力现货市场信用风险管理[J]. 南方电网技术, 2019, 13(6): 50-56.

[8] 王玉萍, 刘磊, 朱明, 等. 电力市场化交易主体信用管理的研究与实践[J]. 电力大数据, 2019, 22(5): 1-5.

[9] 邸铮, 詹龙. 基于人脸识别技术的电力服务客户身份自动识别系统设计与应用[J]. 信息通信, 2019, 32(10): 93-94.

[10] 金耀, 夏泽举, 王海鸿, 等. 电力市场化交易主体信用管理的思考[J]. 企业科技与发展, 2020(5): 245-246.

[11] 左腾. 人脸识别技术综述[J]. 软件导刊, 2017, 16(2): 182-185.

[12] 吴奭登. 基于大数据分析的电力企业供应商信用风险管理研究[J]. 现代信息科技, 2019, 3(2): 191-193.

[13] 王玉萍, 刘磊, 朱明, 等. 贵州电力交易市场主体信用评级模型研究[J]. 电力需求侧管理, 2018, 20(5): 52-55, 59.

[14] 史述红, 刘敦楠, 胡会文, 等. 市场开放下电力交易全过程违规行为识别探究[J]. 价格理论与实践, 2018(8): 51-54.

[15] 高春成, 王蕾, 吕经纬, 等. 电力市场交易平台移动客户端用户信息安全研究: 基于模糊 Petri 网理论的等级划分方法分析[J]. 价格理论与实践, 2019(8): 132-136.

基于深度监督哈希算法的海量电网图片检索

陈智雨，蒋慧超，闫龙川，刘娇丽，邢海瑞，史睿，刘迎迎，王丽君
（国家电网有限公司信息通信分公司，北京 100761）

摘　要：随着多媒体技术飞速发展,图像数据在宣传工作中的重要性越来越突出。哈希算法在储存和计算方面具有明显的优势，在海量图像检索领域中对其开展了广泛的研究。当前，融合深度神经网络和哈希编码学习的深度哈希算法取得了很好的性能。为进一步提升电网目标图片的检索性能，本文提出利用深度监督哈希算法提升图片检索的实际性能。实验结果表明，提出方法取得了较好的性能。

关键词：图像检索，哈希算法，损失函数，二进制码

1　引言

随着重点工作、企业文化、党团建设等宣传工作不断被重视，电力企业在系统内外的宣传交流工作不断强化，图像作为媒体宣传最直观的映像元素，其管理和把控有着很高的要求[1-2]。公司系统内各公司内外网站的图片由依托单位管理和提供，形成了大量的图像数据库，但是各单位提供的图像标准不一样，且依赖人工管理，制约了宣传图像选择的效率。同时，对于突发情况的出现，尚未有有效的技术手段实现图像的快速检索，不利于电力企业开展宣传工作的把控。同时，电力企业图片提供单位众多，尚未形成公司层面统一的电网图片智能系统，不利于新闻宣传业务的垂直管理及指标考核。

图像对信息的表达更为直观且包含更多更丰富的意义，是人们获取信息不可或缺的重要来源。当前，电网图像上报及图像分类主要依赖于人工，对于管理及审核需要大量的人力成本，制约了网站宣传业务的效率提升。图片只是作为电子数据存储，在媒体建设数字化过程中，对于电网图片的应用价值还有很大的提升空间，对图片本身的理解也尚未实现智能化。人工智能技术以其强大的分析处理能力受到各行业关注[3-5]。针对人工管理海量电网图像面临的数据大、耗时长、分类复杂等不足，运用人工智能技术对图像进行智能理解，研究以图搜图技术提升图像检索的用户体验度，满足宣传业务的快速图像搜索，支撑网站宣传业务的数字化建设。

近些年，深度哈希提出利用卷积神经网络实现端到端的特征表示和哈希编码的学习。这些方法都显现出比传统哈希算法更为优越的性能[6-9]。其中，如何减小量化误差和网络学习等是关键步骤。卷积神经网络哈希（CNNH）是最早的深度哈希方法之一，但由于CNN 特征学习和二进制编码的分离，所以只能得到次优的二进制码。HashNet 解决了从不平衡数据中学习二进制码的问题。深度哈希网络（DHN）、深度监督离散哈希网络（DSDH）和深度成对监督哈希（DPSH）利用两两相似度同时学习 CNN 特征，实现了基于公共图片数据集上的图像快速检索，取得了优异的性能。考虑到现存基于哈希算法的图像检索技术对于图片的特征表示存在很大的依赖性。这些特征表示是在无监督的情况下提取的，因此更适合于视觉相似性的检索而不是语义相似性的检索。

本文形成的研究成果可满足电力企业对新闻图片、宣传图片、存档图片等内容的智能管理，减轻数据管理人员的劳动强度，提升宣传业务在图像应用上的效率，可有效支撑电力企业在图像数据管理方面的智能化建设。同时，根据我国对融媒体建设的要求，构建符合电力企业文化的新闻图片智能理解及分析技术十分有必要，实现新闻图片发布的标准化、规范化、合规化，为全面提升电力企业品牌价值和社会效益提供技术支撑。

2　先验知识回顾

哈希算法的提出是用于解决近似检索中效率不高和空间复杂度高的问题[10]。哈希算法最初是为数据独

基金项目：国家电网有限公司信息通信分公司科技项目 (信通科技 2021-2-14)

立（data-independent）的方法，比如局部敏感哈希（Locality Sensitive Hashing，LSH）。随着二进制代码长度的增加，两个代码间的汉明距离逐渐接近他们在特征空间上的距离，但是 LSH 通常需要长代码才能达到较为满意的效果，使得实际应用需要消耗大量的存储空间。为了产生更简单的二进制代码，基于数据依赖（Data Dependent）的哈希算法被提出。该方法试图从训练集中学习到保留相似性的哈希函数。例如 ITQ（Iterative Quantization），尝试通过最小化量化误差，来减小真实特征空间和二进制汉明空间的差异。其中，数据独立是指人工指定哈希函数，数据依赖是指依赖原始数据学习哈希函数。

数据独立方法是利用随机的线性投影学习二进制码，不需要使用训练数据学习，其中代表算法有局部敏感哈希（LSH）等，而数据依赖方法则是从训练数据中学习自适应的哈希函数，使得搜索结果在汉明空间尽可能的接近最近领的搜索结果。根据是否使用了语义标签，又可以进一步将哈希方法分为两类：监督方法和非监督方法[11-12]。无监督哈希可以在没有语义新消息的情况下进行训练，代表算法有迭代量化（ITQ）、锚图哈希（AGH）和离散图哈希（DGH）等。与无监督方法相比，监督哈希则是利用图像标签来减小语义差距，具有更好的语义相似性度量和检索能力，代表方法有核监督哈希（KSH）、快速检索哈希（FastH）和监督离散哈希（SDH）。然而这些传统的哈希学习方法采用手工特征进行哈希学习，鲁棒性差，这个缺点限制了它们在大规模图像数据集的应用。

上述方法都存在利用人工标注的特征，不能很好捕捉真实世界变化多样的语义特征，因此限制了检索精度。为了解决这个问题，最近，几种基于 CNN 的哈希方法被提出来使用 CNN 学习图像表示和二进制编码[13-15]。这些方法将图像特征提取与二进制编码学习相结合，大大提高了检索精度。然而，这些方法在训练目标上仍然存在一些缺陷，这限制了它们的实际检索性能。此外，近似量化步骤的非线性激活被引入，避免以减慢网络训练为代价的操作。

3 基于 CNN 模型的哈希算法

为了解决更加复杂的语义相似性的图片，监督的哈希算法利用标签信息等。例如 CCA-ITQ，ITQ 的改进模型利用标签信息寻找更好的图片描述符。但是这种方法使用线型投影当做哈希函数，他们很难解决线型不可分的问题。为了解决线型不可分的问题，Deep Hashing (DH)提出一种非线型深度网络来生成二进制代码。然而不能证明最优的真实值特征值量化以后还是最优的。为此，Discrete Graph Hashing (DGH) 和 Supervised Discrete Hashing (SDH)提出优化二进制码来克服这个问题，提高检索表现。

CNN 在很多任务上面都表现出强大的学习功能，意味着尽管图像目标外观变化很大，CNN 仍能够较好的捕捉图像底层的语义信息。受 CNN 功能鲁棒性的启发，一种基于 CNN 结构形成的二进制代码学习框架深度监督哈希（DSH）被提出[14]。如图 1 所示，该方法将带有标签（标签用于标记图像对之间是否相似）的图像对作为 CNN 模型的输入并生成二进制代码作为输出[16]。损失函数旨在将相似图像的网络输出拉到一起，并将相异图像的网络输出推开很远，以便学习的汉明空间可以很好地近似图像的语义结构。为了避免在汉明空间中优化不可微损失函数，将网络输出设置为实际值，同时增加了一个调节器促使实际值输出

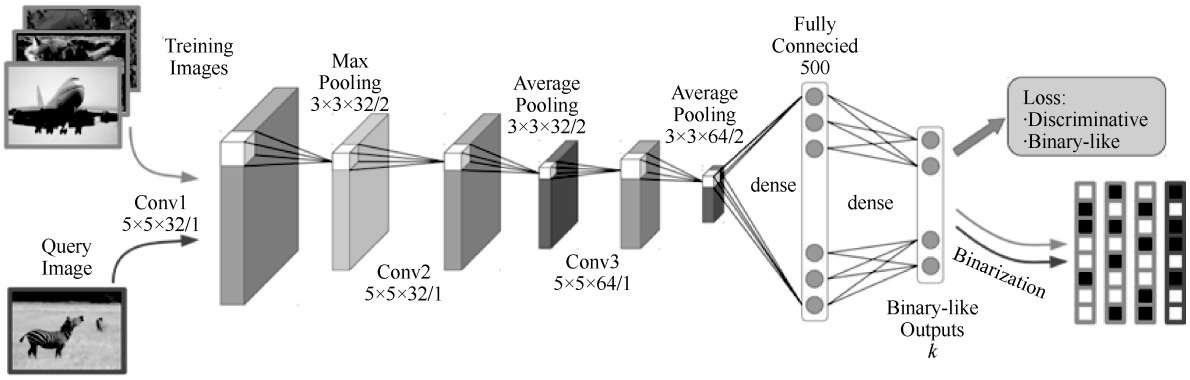


图 1　深度监督哈希算法架构

接近所需的离散值。在这种框架下，图像可以通过网络传播，然后将网络输出量化为二进制代码表示，从而实现轻松编码。

DSH 算法的具体细节描述在参考文献[14]。值得关注的是，算法目标是学习图像凝练的二进制码，相似图片（同类）的二进制码尽可能接近，不相似图片的二进制码尽可能地远离。计算公式为

$$L(b_1,b_2,\mathrm{y})=\frac{1}{2}(1-y)D_h(b_1,b_2)+$$
$$\frac{1}{2}y\max\max\left(m-D_h(b_1,b_2),0\right)s.t.b_j\in\{+1,-1\}^k,j\in\{1,2\}$$

其中，b_1 和 b_2 为输入图像的二进制码。y=0 表示相似。y=1 代表不相似，Dh(·)是二进制码之间的汉明距离。m 为一个边界阈值。为了避免坍缩，我们需要对在一定半径内，且对损失函数有影响的不相似图片进行距离计算。其计算表达式为

$$\mathcal{L}=\sum_{i=1}^{N}L\left(b_{i,1},b_{i,2},y_i\right)$$
$$\mathrm{s.t.}b_{i,j}\in\{+1,-1\}^k,i\in\{1,\cdots,N\},j\in\{1,2\}$$

从 N 个训练图片中进行选择随机选择，最终目的是最小化损失函数。如果不考虑二进制码的结构，欧氏空间和汉明空间的差异将形成次优的二进制码。综合以上考虑，在真值输出的时候添加一个正则化式子，使其接近想要的离散二进制码（+1，-1）。其表达式为

$$L_r\left(b_1,b_2,\mathrm{y}\right)=\frac{1}{2}(1-y)b_1-b_{22}^2+$$
$$\frac{1}{2}y\max\max\left(m-b_1-b_{22}^2,0\right)+\alpha(|b_1|-1_1+|b_2|-1_1)$$

α 是正则化式子的权重。$\mathcal{L}$的表达式重新定义为

$$\mathcal{L}=\sum_{i=1}^{N}\frac{1}{2}(1-y_i)b_{i,1}-b_{i,22}^2+$$
$$\frac{1}{2}y_i\max\left(m-b_{i,1}-b_{i,22}^2,0\right)+\alpha(|b_{i,1}|-1_1+|b_{i,2}|-1_1)$$

4 实验结果

根据 DSH 算法提出者的参数推荐，我们在实验环境下搭建了深度学习 Pytorch 框架，并在自建的电网数据集上进行了测试。在本次实验中，相似标签是由语义标签定义，相同类别的图片被定义为语义相似，反之亦然。训练期间，初始学习率设置为 103，每 20000 次迭代（共 150,000 次迭代）后降低 40%。权重层用 Xavier 初始化的方法进行初始化。在学习不同地二进制长度时，如果都从头训练则太繁琐浪费，因此前面的 layers 可以相互共享。此外，随着二进制码地长度增加，输出层将会有更多地参数，可能会导致过拟合地现象。为了解决这些问题，先训练一个输出层节点较少地网络，然后在对其进行微调，最后达到预想的二进制码长。图 2 和图 3 展示了输入电力铁塔和客服人员图片后，基于 DSH 算法分别检索出的前 10 张图。检索出的图像与输入图像的相关程度按照从左到右排列。

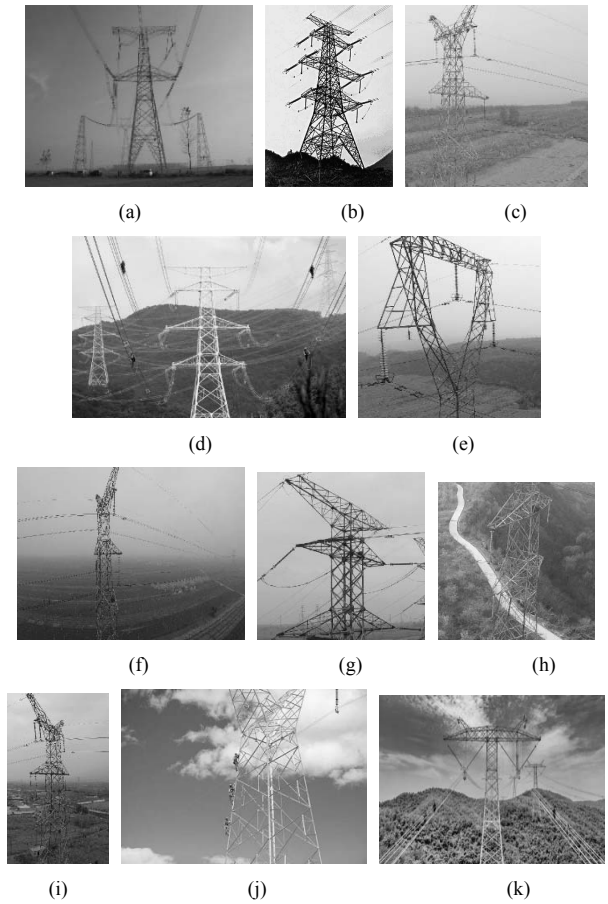
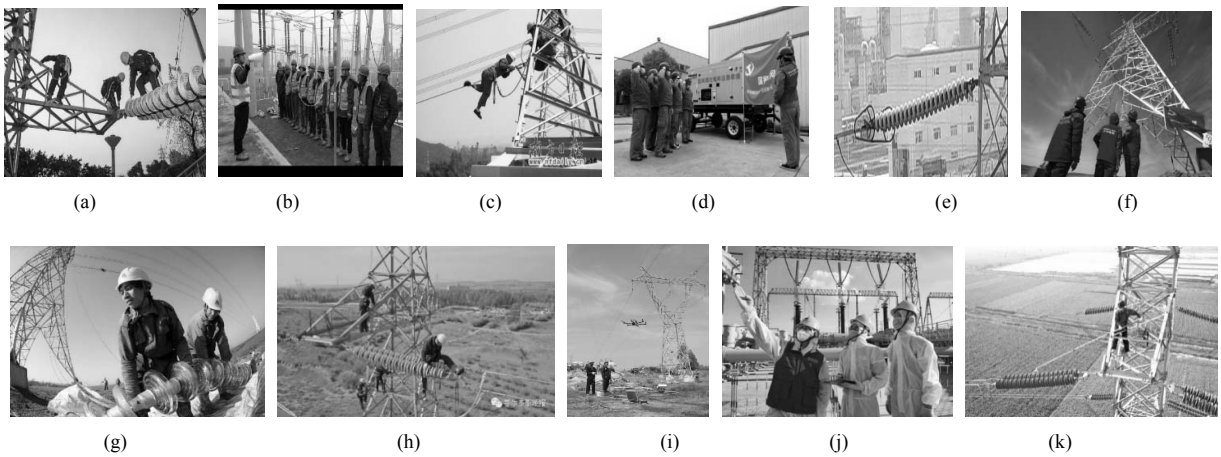


图 2 实验结果（a 为输入图像）

5 结论

本文首先回顾了 DSH 算法的原理，并将算法在海量电网图片场景中进行应用。实验表明，该方法在自建数据集上也能取得不错的性能。然而，对于含有小目标的电网图片，DSH 算法在检索精度上稍显不足，存在弱匹配、非目标图片、匹配偏移等情况。下一步，



(a) (b) (c) (d) (e) (f)

(g) (h) (i) (j) (k)

图 3　实验结果（a 为输入图像）

我们将聚焦以电网小物件为判定目标的快速图片检索技术研究，以提升各类复杂场景的海量电网图片检索技术的适应能力。

参考文献：

[1] 周晓梅, 朱金付, 段洪秀. LeanCloud 在图片管理系统中的应用研究[J]. 计算机技术与发展, 2016, 26(7): 138-141.

[2] 袁晓芳, 周垚, 翟彬宇. 微博信息流广告组合与布局方式眼动评估研究[J]. 包装工程, 2021, 42(8): 205-211.

[3] 余洋, 朱少敏, 卞超轶. 基于知识图谱的泛在电力物联网安全可视化技术[J]. 电信科学, 2019, 35(11): 132-139.

[4] 许昊, 张凯, 田英杰, 等. 深度神经网络图像描述综述[J]. 计算机工程与应用, 2021, 57(9): 9-22.

[5] 武阿明, 姜品, 韩亚洪. 基于视觉和语言的跨媒体问答与推理研究综述[J]. 计算机科学, 2021, 48(3): 71-78.

[6] 王华秋, 郎帅. 深度哈希卷积网络在图像检索中的应用[J]. 重庆理工大学学报(自然科学), 2019, 33(3): 98-106.

[7] 刘颖, 程美, 王富平, 等. 深度哈希图像检索方法综述[J]. 中国图象图形学报, 2020, 25(7): 1296-1317.

[8] 陈昌红, 彭腾飞, 干宗良. 基于深度哈希算法的极光图像分类与检索方法[J]. 电子与信息学报, 2020, 42(12): 3029-3036.

[9] 李雪, 于炯, 李梓杨, 等. 基于成对标签的深度哈希图像检索方法[J]. 计算机工程与设计, 2021, 42(7): 1981-1988.

[10] 刘帆, 王颖, 闫国玉, 等. 基于差分的图像感知哈希算法[J]. 计算机工程与设计, 2021, 42(3): 782-789.

[11] 施鸿源, 宋井宽, 全成斌, 等. 适用于图像检索的强化对抗生成哈希方法[J]. 小型微型计算机系统, 2021, 42(5): 1039-1043.

[12] 李长升, 闵齐星, 成雨蓉, 等. 捕获局部语义结构和实例辨别的无监督哈希[J]. 软件学报, 2021, 32(3): 742-752.

[13] 王妙, 景军锋. 基于哈希编码和卷积神经网络的图像检索方法[J]. 计算机工程与应用, 2019, 55(23): 194-199.

[14] LIU H M, WANG R P, SHAN S G, et al. Deep supervised hashing for fast image retrieval[J]. International Journal of Computer Vision, 2019, 127(9): 1217-1234.

[15] 杨粟, 欧阳智, 杜逆索. 基于相关度距离的无监督并行哈希图像检索[J]. 计算机应用, 2021, 41(7): 1902-1907.

[16] 朱茂然, 朱艳鹏, 高松, 等. 基于深度哈希的相似图片推荐系统: 以 Airbnb 为例[J]. 管理科学, 2020, 33(5): 17-28.

基于深度学习的混合预测模型及其微电网应用

熊根鑫，朱新坡，林凡，王宇坤，屈昭阳
（国网信息通信产业集团有限公司，北京 100192）

摘　要：随着电力系统发展为集中式发电、远距离输电的复杂网络系统，电网传输运营成本高、运行难度大、调节能力弱等问题日益凸显。为应对上述问题，实现能源可持续发展，绿色发电、高效输电、灵活用电的微电网逐渐进入大众的视野。而微电网中分布式电源发电功率随机性、蓄电池荷电状态滞后性以及系统负荷供求关系不确定性，导致微电网迟迟难以落地。通过对微电网的优化，分析比较微电网中不可控电源输出功率、蓄电池荷电状态（SOC）以及系统负荷等变量，结合现有预测方法的特点，给出各变量基于深度学习的混合预测模型方案。

关键词：微电网；蓄电池；荷电状态；深度学习

1　引言

近年来，电力系统已发展成为集中式发电、远距离输电[1]的复杂网络系统。随着电力系统用电负荷不断增加，电网传输运营成本高、运行难度大、调节能力弱等问题日益凸显[2]。从 2008 年我国南方雪灾停电事件、2015 年“彩虹”停电事件、2018 年“山竹”停电事件等因气候原因大规模停电事件，反映出传统大规模电网的脆弱性。另外，全球能源危机、环境污染等问题已经愈演愈烈，人们逐步开始研究如何使用清洁能源发电来弥补传统高耗能发电方式的不足。自此绿色发电、高效输电、灵活用电的微电网逐步进入大众的视野。

微电网是由各种分布式电源、储能单元、负荷以及监控和保护装置组成的集合[3]；具有灵活的运行方式和可调度性，能在并网运行和孤岛（自主）运行两种模式间切换[4]。微电网中分布式电源数量和渗透率的增加，对配电系统的电压、网损和短路容量等产生很大的影响[5]，由于分布式电源的不确定性和一些风电、光伏发电的不连续性[5]，微电网电力系统优化的数据预测变得极为重要。

微电网在系统优化、制定发行电力方案、收购市场电力方案等行为时，微电网系统的不可控电源功率、蓄电池荷电状态、系统负荷等预测数据都将具有重要意义。目前针对微电网中各变量预测的研究成果相对较少，且预测准确度较低、复杂度较高。针对微电网系统各模块数据差异性，如果采用单一预测数据模型，得出的方案将很难得到准确的预测结果。因此，需要对各个板块模型中的不确定因素进行多模型设计，针对不同的需求制定相关的微电网预测板块模型。由于预测中存在许多不确定因素，故对微电网系统采取短期（0～24h）预测。而深度学习的预测精确度较高，在应对高维度数据集的特征提取和数据预测时，凸显出独特的优势与潜力，并逐步应用在复杂电力系统。

卷积神经网络（convolutional neural networks，CNN）与长短期记忆网络[6]（long short-term memory，LSTM）是深度学习的主流算法[7]，CNN 更适合挖掘多维数据的相互关联，提取数据局部特征，并将其重新组合抽象成高层特征。而 LSTM 更适合进行时间扩展，具有长期记忆功能，更适合处理时间序列。针对 24h 内的短期预测，CNN 卷积层可以有效地提取子序列特征，去除干扰信息后构造出 LSTM 输入数据，保留更长的有效记忆信息以解决梯度弥散问题。

2　微电网的预测技术

2.1　不可控分布式电源功率

微电网系统中分布式电源主要以太阳能光伏发电和风力发电为主，其受到复杂的计算公式和环境制约，致使微电网发电能力难以预测。因此，对风光发电的应用产生了极大的影响。目前风光预测技术有基于数值天气预报（numerical weather prediction，NWP）的预测法、基于时间序列的预测法和基于人工神经网络

的预测法。

李洪涛[8]等在河北某风电场将基于数值天气预报的风速和风向预测数据作为输入数据，结合神经网络预测出未来 48h 内风电机组发电功率，取得较为满意的工程应用效果。

张俊[9]等在浙江宁波地区 4 个光伏场站，综合日前数值天气预报和季节循环以及日循环的统计预测模型，实现适应不同季节的光伏短期功率预测。刘金裕[10]等利用 6 种 VAR-LASSO 压缩参数空间，结合时间序列预测出光伏发电功率短期，提高了预测性能。

田波[11]等通过对内蒙古赤峰市孙家营子地区风力发电功率数据的实例分析和预测，表明时间序列的预测方法适用于波动性大的具有季节性的风功率数据分析预测。范高锋[12]等基于吉林电网数据和人工神经网络建立了风电场输出功率预测系统，预测结果的均方根误差在 15%左右。

2.2 蓄电池荷电状态

微电网系统常采用蓄电池储能，只需配置一定大小的储能设备，就可以保持配电系统的内部负荷平衡。由于锂电池组的电荷容量一般不能直接测量得出，而且受充放电的次数、历史充放电速率、电池的老化程度、电池的内阻等诸多因素的影响，使其精确快速的测量具有一定难度。锂电池的荷电状态估算是非线性的，目前对于预测蓄电池荷电状态常用的方法可以分为 3 类：安时积分法、卡尔曼滤波法以及人工神经网络法。

鲍慧[13]等提出用安时积分法与开路电压法相结合，并分别对安时积分公式中各相关参数修正和优化的方法，通过对磷酸铁锂动力电池进行实验，完成了各参数的修正，初步解决了电流差异对库仑效率的影响问题。

李司光[14]等提出自适应无迹卡尔曼滤波（AUKF）算法预测电池的电池荷电状态（state of charge，SOC），将库仑效率计算方法与 UKF 算法相结合，不断调整库仑效率、系统噪声协方差以及量测噪声协方差，达到更好的预测效果。

杨学平[15]等选取某车型三元锂离子动力电池组为研究对象，在指定温度下利用专用动力电池数据采集仪器采集动力电池数据，然后将数据植入到 3 层 BP 神经网络模型中学习训练与验证，证明基于 BP 神经网络法计算电池荷电的误差基本能控制在 6%以内。耿攀[16]等提出基于LSTM循环神经网络的锂离子电池 SOC 预测方法，使用 2 个 LSTM 细胞核，预测模型最大绝对误差小于 2%，获得良好的预测效果。

2.3 微电网系统负荷

微电网系统拥有着许多不同类型的负荷，常会出现负荷功率和发配电系统的电功率不相合、系统不稳定等负面影响。通过预测发配电系统负荷，可以制定相关微电网发电计划，同时采用分布式电源发电量可完善配电策略、优化系统等措施是保持微电网系统内负荷平衡的重要手段。因此，预测精确、高效的微电网负荷规律，在实际发配电系统中具有十分重要的实际意义。目前，对于预测短期用电负荷常用的方法可以分为 3 类：时间序列法、人工神经网络法以及支持向量机法。

陆玉玲[17]等分析了各天气因素中最高温度对日最高负荷、日最低负荷、日平均负荷的影响程度最大；基于多元回归和时间序列预测模型对电力负荷进行预测，预测值与实际值相对误差率均在 15%以内。

李龙[18]等提出以静态 ZIP 负荷模型为基础，基于 BP 人工神经网络法，对最大、最小负荷时刻的负荷模型参数进行预测。以湖南省某变电站 2012 年 8 月负荷数据为例，通过对神经网络的训练待测日的负荷模型参数误差在 4%以内。

万强[19]等基于支持向量机负荷预测算法，对某地区 35 座变电站未来 1 天内的短期电力负荷进行预测，大部分相对误差率不超过 10%，预测结果的精度有望进一步提高。

3 深度学习

3.1 卷积神经网络（CNN）

典型的 CNN 结构由输入层、卷积层、池化层、全连接层和输出层组成[20]，如图 1 所示。CNN 可通过卷积层的滤波器提取输入数据之间的相互关系。CNN 使用少量参数捕捉输入数据的空间特征，并将其重新组合形成高级数据特征。最终将这些高级数据特征输入全连接进行进一步的回归预测或分类预测。

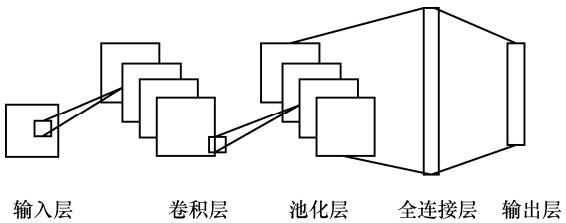


图 1 卷积神经网络结构

二维卷积层的空间结构图如图 2 所示。卷积层（convolution layer）对输入进行卷积操作和局部特征提取，得到特征图谱（feature map）。每层神经元都局部连接至上一层，并且所有神经元共享卷积核的权值。池化层（pooling layer）主要是对特征矩阵进行下采样，去除特征矩阵中次要的样本，得到若干个更小的特征图谱。最后是全连接层，通过和特征图谱中的神经元相连，得到了网络整体的输出，最后一个全连接层即输出层。一个卷积层通常包含多个维度相同的滤波器进行卷积操作，用来提取输入数据之间的关系。卷积操作可以理解为一个以设定步长、沿着输入数据移动的窗口，窗口每停留一次，便会将对应部分的输入数据进行卷积运算，并将运算结果作为输出数据的特征元素的过程。卷积层的运算过程如式（1）所示：

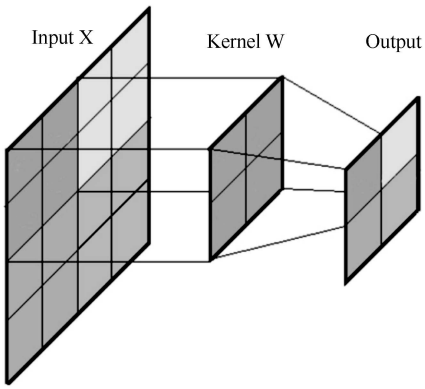


图 2　二维卷积层的空间结构图

$$M_j^N = f(\sum M_i^{N-1} C_j^N + b_j^N) \tag{1}$$

其中，M_j^N 为第 N 个卷积层中第 j 个特征图，$f(x)$为激活函数，C_j^N 为第 N 个卷积层中第 j 个卷积核，；b_j^N 为加性偏置。

3.2　循环神经网络（RNN）

循环神经网络（recurrent neural new work，RNN）即在前馈神经网络中增加了反馈连接，如图 3 所示。传统模型在分析数据时无法有效利用过去时刻的依赖关系，而 RNN 由于在隐藏层增加了反馈连接，当前时刻隐藏层的输入是由当前时刻的输入和前一时刻隐藏层输出共同决定的，故可产生对过去数据的记忆状态，并建立不同时段数据之间的依赖关系，从而可以很好地处理时间序列。但它的不足之处在于：若序列的展开时间过长，则由于梯度消失或梯度爆炸问题的存在，无法实现准确预测。

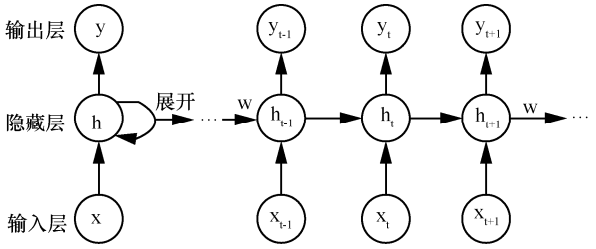


图 3　循环神经网络结构

$$h_t = f(Ux_t + Wh_{t-1}) \tag{2}$$

$$y_t = g(Vh_t) \tag{3}$$

其中，x_t 和 y_t 分别表示为第 t 步的输入和输出，h_t 和 h_{t-1} 分别表示为第 $t-1$ 步和第 t 步隐藏层的输出，f 和 g 分别为藏层和输出层的激活函数。U 和 V 分别为藏层和输出层的权值矩阵。

3.3　长短期记忆网络（LSTM）

LSTM 神经网络最早由 Hochreiter 和 Schmidhuber（1997）[21]提出。LSTM 属于 RNN 的一种，其特殊之处在于 RNN 仅具有记忆暂存的功能[22]，LSTM 兼具长、短期记忆功能，LSTM 解决了 RNN 的长期依赖问题，其特点是在 RNN 各层结构单元中添加了输入门、遗忘门和输出门等闸门，LSTM 记忆单元结构如图 4 所示。通过“门”控制，记住需要长时间记忆的，忘记不重要的信息，解决了 RNN 神经网络只有短期记忆没有长期记忆的问题。

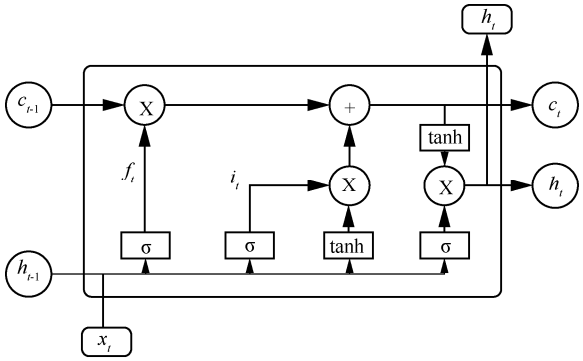


图 4　LSTM 记忆单元结构

图 4 中 LSTM 在 t 时刻的输入为 x_t，输出为 h_t，神经元记忆状态为 c_t，其输入门 i_t、遗忘门 f_t、输出门 o_t 表达式如下：

$$i_t = \sigma(W_i[h_{t-1}, x_t] + b_i) \tag{4}$$

$$f_t = \sigma(W_f[h_{t-1}, x_t] + b_f) \tag{5}$$

$$o_t = s(W_o[h_{t-1}, x_t] + b_o) \quad (6)$$

其中，W_i、W_f、W_o分别代表 t 时刻输入门、遗忘门、输出门的权重矩阵，b_i、b_f、b_o分别是输入门、遗忘门、输出门的偏移量。

$\hat{s}$ 由 t 时刻的输入 x_t，和 $t-1$ 时刻隐层输出 h_{t-1} 共同决定，记忆单元 t 时刻的候选状态 $\hat{s}_t$ 计算公式为：

$$\hat{s}_t = \tanh(W_s[h_{t-1}, x_t] + b_s) \quad (7)$$

其中，W_s是 t 时刻候选状态的权重矩阵，b_s为偏移量。输入门 h_t以及遗忘门 $\hat{s}_t$ 通过权重系数确定 $t-1$ 时刻的状态值和 t 时刻的候选状态 $\hat{s}$ 分别在新的状态 s_t 中所占的比例，s_t表达式为：

$$s_t = f_t s_{t-1} + i_t \hat{s}_t \quad (8)$$

则 t 时刻的输出 h_t为：

$$h_t = o_t \tanh(s_t) \quad (9)$$

4 微电网变量影响因素

4.1 不可控电源功率影响因素

风力大小和光能强弱以及温度等因素，将是预测电源功率的重要组成部分。风力机捕获的风功率可以用式（10）来表示：

$$p = C_p A \rho v^3 / 2 \quad (10)$$

其中，P 为风轮输出功率，单位为 kW；C_p 为风轮的功率系数；ρ 为空气密度，单位为 kw/m^3；A 为风轮扫掠面积，单位为 m^2；v 为风速，单位为 m/s。由式（10）可知大气数据中风速、空气密度是影响风电场输出功率的重要参量，除此之外，风向、温度、湿度等都对风电场输出功率有一定的影响，其中空气密度以用式（11）来表示：

$$\rho = 1.293 * p \times 273.15/(C + 273.15) \quad (11)$$

其中，p 为压强，单位为 Pa；C 为摄氏温度，单位为℃。综上，预测风力发电功率的影响因素如表 1 所示。

表 1 风力发电功率影响因素

	影响因素	特征
风力发电	气象因素	气温
		湿度
		风速
		风向
		气压

单位面积的光伏电源输出功率为：

$$P_s = \eta S I[1 - 0.005(t_0 + 25)] \quad (12)$$

其中，η 为光伏电源转换效率；S 为光伏电源的面积，单位为 m^2；I 为光照强度，单位为 kw/m^2 ；t_0 为环境温度，单位为℃。实际运行中风向、风速和湿度以及云层移动等都会对其他气象因素带来影响。

综上，预测光伏发电功率的输入变量如表 2 所示。

表 2 光伏发电功率影响因素

	影响因素	特征
光伏发电	气象因素	气温
		湿度
		光照强度
		辐照度
		风速
		风向

4.2 蓄电池荷电状态影响因素

蓄电池的荷电状态具有物理和化学高度复杂的特性，优化电压、电流和温度之间的特性，可以进一步提升电池的使用寿命和转换效率。研究出合理科学的荷电存储状态，不仅要考虑蓄电池的容量大小、放电情况、硬件退化等自身因素，还得考虑系统状态、环境天气等外在因素的影响，如表 1 所示。从电量的角度出发，蓄电池的荷电状态定义为：

$$SOC = Q_C / C_1 = Q_m - \frac{Q(I_n)}{Q_m} \quad (13)$$

$$Q(I_n) = t\int I_n dt \quad (14)$$

其中，Q_c 为蓄电池剩余容量；C_1 为蓄电池以恒定电流放电时具有的容量；Q_m 为电池按照恒定的电流 I 进行放电时的最大放电容量；$Q(I_n)$为在 t 时间里，标准的放电电流 I 下电池所释放的电量。内阻是影响蓄电池功率性能和放电效率的重要因素，而蓄电池内阻通常受温度、老化程度和负载情况等影响。

表 3 SOC 影响因素

	影响因素	特征
荷电状态	运行因素	充放电流
		充放电压
		充放循环次数
	温度因素	环境温度
		电解液温度
	内部因素	内阻变化率

4.3 微电网系统负荷影响因素

从需求侧分析，目前电网负荷主要分为工业负荷、商业负荷、农业负荷和居民负荷。负荷曲线的形态取决于具有随机性的用户用电行为，而影响用户用电行为的因素多种多样，其中天气、季节、电价、节假日因素对其影响突出，如表 4 所示。

表 4 负荷影响因素

	影响因素	特征
系统负荷	日期因素	工作日
		节假日
	气象因素	气温
		湿度
		降雨量
	电价因素	分时电价

5 混合预测模型设计

通过上一章对微电网变量影响因素分析，提出微电网中预测特点以及对应的预测技术如表 5 所示。分布式电源功率预测受天气影响大，提出基于数值天气预报和卷积神经网络以及长短期记忆网络（NWP-CNN-LSTM）的混合模型。蓄电池荷电状态预测精确度要求高，提出基于卷积神经网络和长短期记忆网络以及卡尔曼滤波法（CNN-LSTM-KF）的混合模型。影响系统负荷预测的因素较多，提出基于卷积神经网络和长短期记忆网络以及注意力机制（CNN-LSTM-ATT）的混合模型。

表 5 针对微电网预测变量的模型分析

预测变量	分布式电源功率	蓄电池荷电状态	系统负荷
预测特点	受天气影响大	精确度不高	影响因素多
预测技术	数值天气预测	卡尔曼滤波法	注意力机制
	卷积神经网络和长短期记忆网络混合模型		

5.1 不可控电源功率预测模型设计

针对微电网中不可控电源功率受到天气等因素强影响的性质，可采用基于 NWP-CNN-LSTM 组合预测模型来实现对风、光发电功率的预测。模型结构如图 5 所示，根据历史数值天气预报数据和历史实测数据作为 CNN 特征提取数据集，对 LSTM 进行训练和测试，得到合适的预测模型；采集预测日各个时段的数值天气预报数据；将采集得到的数据进行修正以满足输入要求，将相应数据作为预测模型的输入，得到风、光发电功率的预测值。

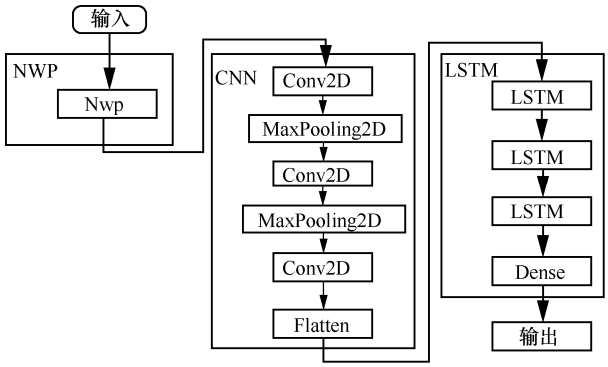


图 5 NWP-CNN-LSTM 模型结构

5.2 荷电状态预测模型设计

针对 SOC 预测的精确度与稳定性问题，以及深层神经网络的梯度消失问题，提出一种基于 CNN-LSTM-KF 结合的电池 SOC 预测方法。卷积层根据蓄电池历史荷电状态数据和实测数据（包括蓄电池电流、电压、温度和内阻等）提取出高级数据特征；其次，使用 3 层 LSTM 层保存历史输入信息，有效地预防重要信息的丢失；最后，用卡尔曼滤波法对 LSTM 输出结果进行校正，得到二次估计结果，即最终预测值。使用电池的多次循环充放电实验数据训练提出的模型，分析对比不同超参数设置下 CNN-LSTM-KF 模型的预测效果，并通过训练模型来调节模型的权重系数和偏置参数，确定最优的模型设置，如图 6 所示。

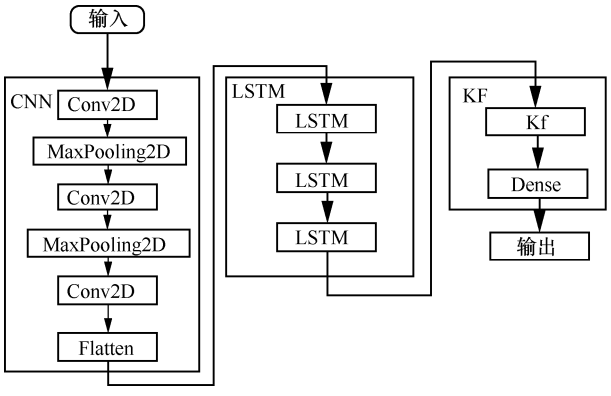


图 6 CNN-LST-KF 模型结构

5.3 系统负荷预测模型设计

微电网中电力负荷参数受多维因素影响，在一定尺度下属于一种时间序列，为充分挖掘电力负荷数据中的时序特征，提升电力负荷预测精度，提出了一种

基于 CNN-LSTM-ATT 混合模型的短期电力负荷预测方法，CNN-LSTM-ATT 模型结构如图 7 所示。

CNN 负责负荷数据的特征提取，LSTM 网络对提取的特征建模，结合 attention 层计算不同时刻 LSTM 隐层状态的注意力权重进行负荷预测，使用全连接层输出负荷预测结果。最后利用实际算例将该方法与利用自动化模型构建工具构建的梯度增强基线模型及常用预测模型相比，提升组合模型多维电力负荷数据的短期预测精度。

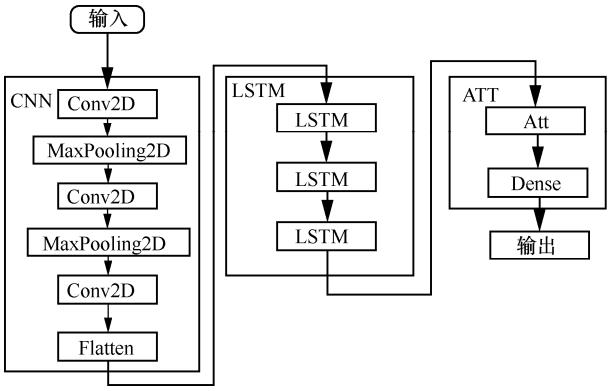


图 7　CNN-LSTM-ATT 模型结构

6　结束语

从全球来看，微电网主要处于实验和示范阶段，但是微电网的技术推广已经度过幼稚期，市场规模稳步成长。随着微电网重要指标等技术细则的规范逐步出台。也随着全球对能源绿色化、清洁化的、节约化的需求日益增长，智能微电网系统必将以后的应用中产生良好的经济效益。未来 5～10 年，微电网的市场规模、地区分布和应用场所分布都将会发生显著变化。

综上，微电网作为影响电力发展的技术手段之一，发展至今已形成了内部结构复杂与外界环境要求等因素共同交织影响的局面。对微电网能源流、信息流与金融流的控制与优化的要求越来越高。通过适当的预测技术可更好地实现以上诉求。

参考文献：

[1] 王新建, 杨军, 王峰. 微型电网的控制策略研究综述[J]. 电气开关, 2011, 49(6): 19-22, 30.

[2] 孟明, 陈世超, 赵树军, 等. 新能源微电网研究综述[J]. 现代电力, 2017, 34(1): 1-7.

[3] 崔晓.微电网技术发展分析与研究[J].城市建设理论研究(电子版),2015,(17):8012-8013.

[4] 虞文惠, 苏建徽, 施永, 等. 基于分层控制的微网能量管理和监控系统设计[J]. 电测与仪表, 2016, 53(10): 109-114, 121.

[5] 苏玲, 张建华, 王利, 等. 微电网相关问题及技术研究[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(19): 235-239.

[6] GREFF K, SRIVASTAVA R K, KOUTNIK J, et al. LSTM: a search space odyssey[J]. IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, 2017, 28(10): 2222-2232.

[7] 张鹏, 杨涛, 刘亚楠, 等. 基于 CNN-LSTM 的 QAR 数据特征提取与预测[J]. 计算机应用研究, 2019, 36(10): 2958-2961.

[8] 李洪涛, 马志勇, 芮晓明. 基于数值天气预报的风能预测系统[J]. 中国电力, 2012, 45(2): 64-68.

[9] 张俊, 贺旭, 陆春良, 等. 基于数值天气预报的光伏功率短期预测分类组合算法[J]. 广东电力, 2019, 32(6): 55-60.

[10] 刘金裕, 赵磊, 朱道立. 基于 LASSO 的光伏发电功率短期时间序列预测[J]. 电力科学与工程, 2019, 35(7): 13-22.

[11] 田波, 朴在林, 王慧. 基于时间序列建模在风力发电功率短期预测中的研究[J]. 电网与清洁能源, 2016, 32(3): 115-119, 126.

[12] 范高锋, 王伟胜, 刘纯. 基于人工神经网络的风电功率短期预测系统[J]. 电网技术, 2008, 32(22): 72-76.

[13] 鲍慧, 于洋. 基于安时积分法的电池 SOC 估算误差校正[J]. 计算机仿真, 2013, 30(11): 148-151, 159.

[14] 李司光, 张承宁. 锂离子电池荷电状态预测方法研究[J]. 北京理工大学学报, 2012, 32(2): 125-129, 145.

[15] 杨学平, 王正江, 蒋超宇, 等. 基于BP神经网络法研究锂电池荷电状态[J]. 材料导报, 2019, 33(S2): 53-55. YANG X P, WANG Z J, JIANG C Y, et al. State of charge of lithium-ion battery based on BP neural network[J]. Materials Reports, 2019, 33(S2): 53-55.

[16] 耿攀, 许梦华, 薛士龙. 基于LSTM循环神经网络的电池SOC预测方法[J]. 上海海事大学学报, 2019, 40(3): 120-126. GENG P, XU M H, XUE S L. Battery SOC estimation method based on LSTM recurrent neural network[J]. Journal of Shanghai Maritime University, 2019, 40(3): 120-126.

[17] 陆玉玲, 谢钱姣, 朱家明, 等. 基于时间序列对电力系统短期负荷的预测[J]. 西昌学院学报(自然科学版), 2017, 31(1): 24-27.

[18] 李龙, 魏靖, 黎灿兵, 等. 基于人工神经网络的负荷模型预测[J]. 电工技术学报, 2015, 30(8): 225-230.

[19] 万强, 王清亮, 王睿豪, 等. 基于支持向量机的某地区电网短期电力负荷预测[J]. 电网与清洁能源, 2016, 32(12): 14-20.

[20] 王勇, 周慧怡, 俸皓, 等. 基于深度卷积神经网络的网络流量分类方法[J]. 通信学报, 2018, 39(1): 14-23.

[21] HOCHREITER S, SCHMIDHUBER J. Long short-term memory[J]. Neural Computation, 1997, 9(8): 1735-1780.

[22] 史静, 李琥, 李冰洁, 等. 基于长短期记忆神经网络的配电网负荷预测方法研究[J]. 供用电, 2019, 36(7): 71-77, 90.

依托数据中台的用采档案数据异动监测方法及其应用

姚渭箐[1]，饶强[1]，袁嘉骏[2]，刘德一[3]
（1. 国网湖北省电力有限公司信息通信公司，湖北 武汉 430077;
2. 湖北华中电力科技开发有限责任公司，湖北 武汉 430077;
3. 江苏瑞中数据股份有限公司，江苏 南京 211100）

摘 要：为推进新基建融合、数字化转型、智能化发展，国网公司依托数据中台加快“网上电网”建设。依托数据中台，设计了一种适用于“网上电网”的用采档案数据异动监测方法。灵活运用数据中台 Dataworks 和 Quick BI 组件功能，通过将异动数据拆分成增删数据和变化数据两部分进行监测的方式，识别源端系统数据变更记录，实现异常问题精准化定位及针对性数据治理，从而提升配电变压器运行数据“最后一公里”完整率。

关键词：数据中台；Dataworks；Quick BI；档案数据；异动监测；网上电网

1 引言

为响应国家新基建融合、数字化转型、智能化发展号召，国网公司加快数据中台[1-4]建设，通过数据接入、数据治理等手段，力图实现数据来源真实统一，有效支撑公司网上电网（PIS）、同期线损、新能源云等重点系统数据共享应用和电力大数据分析工作的开展。其中，“网上电网”着眼公司和电网全局，立足发展业务需要，依托数据中台开展系统集成和数据接入，打通“营-配-调-规”各环节，开展“项目-设备-运行信息”关联匹配，形成覆盖源网荷要素、上下游信息、内外部数据的发展业务大数据[5-6]。

随着“网上电网”建设深入，配电变压器采集设备变更、信息不准确、运行数据接入质量差等问题日益突出，严重影响区域容载比和设备负载率等电网关键指标计算。急需构建数据模型匹配规则，优化数据接入质量，建立数据监测常态维护机制，支撑“网上电网”跨业务协同的业务场景构建和数据应用，促进跨业务部门间数据共享和数据应用，充分释放公司数据资产价值。

针对因源端数据异动影响数据接入完整率的问题，依托数据中台设计了一种适用于“网上电网”的用采档案数据异动监测方法，实现异常错误精准化定位。实际应用证明，通过该方法对用采档案数据异动监测并及时治理后，数据接入完整率平均每月提高了1.93%且负载率指标良好率平均每月提高了 1.64%，有效提升档案类、量测类、项目类等的基础数据质量。

2 依托数据中台的“网上电网”数据接入

2.1 数据中台简介

数据中台是企业级数据能力共享平台[7-8]，是企业级数字基础平台的“数据底座”。通过对数据汇聚、存储、计算、分析，不断沉淀公共的数据能力[9-12]，支撑业务中台及业务应用即时调用。同时业务中台和业务应用产生的新数据又存储至数据中台形成闭环，共同支撑前端应用快速灵活搭建，支撑业务快速发展、敏捷迭代、按需调整[13-16]。

根据业务需求，公司数据中台功能重点包含数据接入整合、数据存储计算、数据资产管理、数据共享分析 4 个方面，按照贴源层、共享层、分析层、数据资产管理、安全管理、统一数据服务六大模块，打造多源异构数据的采集、清洗、转换、整合能力，结构化、非结构化、量测类数据[17]的存储计算能力，数据治理模型管理和数据分析、共享能力。数据中台架构如图 1 所示。

贴源层：贴源层用于支撑数据汇聚和数据分类分级应用。数据汇聚包括内部多类型数据汇聚和外部数据接入。其中，内部多类型数据包括营销、计量、GIS、

基金项目：国网湖北省电力有限公司 2020 年科技项目（No.52153320002J）

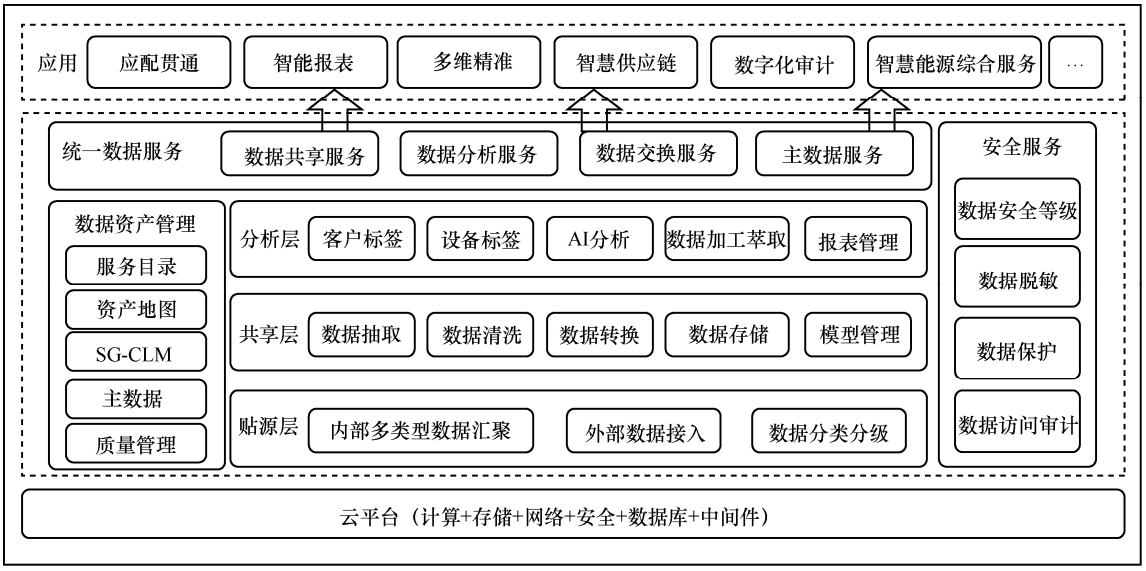


图 1　数据中台总体架构

PMS 系统中的结构化数据、非结构化数据、量测类数据和消息类数据，数据汇聚方式包括批量、实时、准实时 3 种接入模式。

共享层：共享层用于支撑数据治理、数据存储以及模型管理等应用。基于 SG-CIM 模型，通过对贴源层数据进行抽取、清洗、转换操作后，实现业务明细数据的统一归集，形成公共数据服务，如客户域、资产域等，用于支撑分析层的各类数据应用。

分析层：以业务需求为导向，通过报表组件、AI 组件、标签工具等对共享层数据进行加工、分析，构建分析主题，支撑前端业务调用。

数据资产管理：通过数据服务目录、数据资产地图、数据模型标准、主数据管理、SG-CIM、数据质量管理等系列应用，实现对贴源层、共享层、分析层的数据产的统一管理，确保数据在共享和使用过程中的全面性、准确性、一致性。

安全管理：提供数据安全等级分类、数据保护、数据脱敏、数据访问审计等应用，对电网规划、客户详情、电能计量等敏感数据设置安全访问规则，确保数据在共享过程中只能在正确的时间被正确的用户访问。

统一数据服务：数据中台提供统一的对外服务平台，通过中台产生的结构性数据可以以 API 接口、Webservice 等形式在对外服务平台上注册、发布，第三方应用以订阅的方式对服务进行访问。统一对外提供数据服务，服务类型包括数据共享、数据分析、数据交换等。统一数据服务还包含数据封装、链路监测、任务调度和访问监控等能力。

2.2　依托数据中台的“网上电网”数据接入流程

依托数据中台，“网上电网”数据接入主要包括简单描述档案数据接入、量测数据接入和指标离线计算，其流程框图如图 2 所示。

（1）源端档案类数据接入

省公司侧阿里数据中台（下面简称为“省侧中台”）[18]将各源端系统（CIS、PMS、OMS、EMS）档案类数据、项目类数据接入中台贴源层、共享层。

使用 DataWorks 在 MaxCompute 中完成清单中所有档案表的创建。全量数据采用 DataWorks DI/ETL 方式进行全量接入，实时增量数据采用 OGG+DataHub 的方式接入。针对数据量较小（＜50M）和变化不频繁的表，全量数据抽取对源端系统影响较小，采用 Dataworks DI 定时从源端生产库全量抽取至贴源层 MaxCompute，其它表根据各源端系统的业务特性和使用规律分别配置增量抽取的频率。

省侧中台按天将档案类增量数据，提取到省侧中台的交换区，交换区数据通过 UEP 上传到总部中台的交换区。总部中台负责将交换区的增量数据同步到对应表中，同时总部中台将数据同步更新到 RDS/DRDS 对应表中，基于 RDS/DRDS 表封装数据查询服务，供“网上电网”系统访问。

（2）源端量测数据接入

通过 DataWorks/ETL 工具完成量测采集类数据的

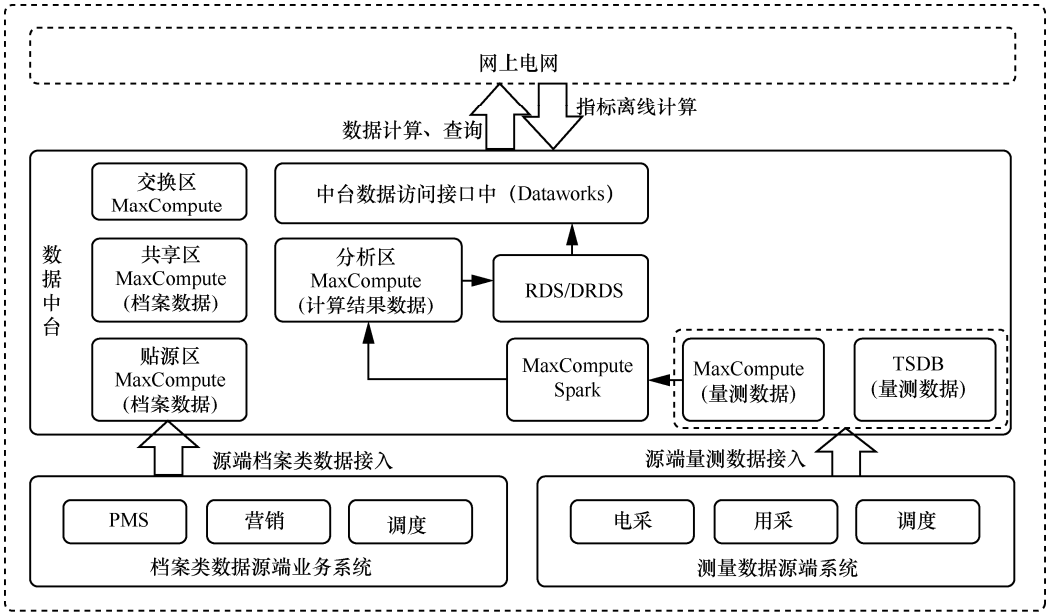


图 2 “网上电网”数据接入流程框图

全量接入，将用电采集、电能量采集的设备功率、电流、电压数据接入中台贴源层，经统一建模后接入共享层。

省公司侧阿里数据中台使用 OGG+ DataHub+ Blink 方式将用电采系统、能量采集系统系统存储的采集增量量测类数据（设备功率、电流、电压）接入 MaxCompute 和 TSDB 库。TSDB 库需要存储最近 3 年的热数据。

使用 DataWorks 在 MaxCompute 中完成主变、配变、输电线路、配电线路采集量测类数据分区表的创建。

用采量测数据通过用采系统部署的 OGG 客户端将数据表数据变化日志传输至 OGG 目标端服务器，OGG 目标端上部署 DataHub 插件，通过插件解析将数据实时写入 DataHub 量测采集类数据主题表，再通过 Blink 从 DataHub 接收数据并按照 MaxCompute 和 TSDB 量测存储模型进行封装，最后将数据分别写入 MaxCompute（按照地市+数据采集日期进行分区）和 TSDB 中。

能量采集系统、调度量测数据由源端每天推送 E 文件到数据中台，中台通过自研解析工具 Eparse 解析 E 文件方式进行接入，利用采集量测组件 ETL 将原始 E 文件转换为标准 E 文件，自研解析工具 Eparse 解析标准 E 文件后发送数据至 DataHub，通过 Blink 组件将 DataHub 中数据双发至 MaxCompute 和 TSDB。

“网上电网”大数据计算程序使用量测数据开展指标计算，日数据更新写入完毕后，即可开展指标的计算。各省需根据数据中台量测数据的按天实际写入时间，确定大数据计算的定时调度策略，在数据中台中进行配置。

省侧数据中台在 TSDB 中存储最近 3 年的热点量测数据，省侧“网上电网”的电气计算和穿透查询服务通过 TSDB 接口（基于 Http 协议的 RPC 接口）查询量测数据。

（3）指标离线计算

使用阿里数据中台 MaxCompute-Spark 组件实现数据核查修正、负载率、容载比等指标数据的内存计算，从阿里数据中台的 MaxCompute 中加载量测数据，计算结果数据存储到中台分析层 MaxCompute 中，按中台要求增加扩展字段，标识数据写入时间，省侧中台基于扩展字段提取增量数据，将增量数据放到省侧中台交换区，通过 UEP 同步到总部数据中台的交换区，总部数据中台负责将交换区中的增量数据同步到相应表中，同时总部数据中台将数据同步更新到 RDS/DRDS 表中，基于 RDS/DRDS 封装数据查询服务，供总部“网上电网”系统访问。

计算结果数据，由省侧数据中台同步到 RDS/DRDS，在省侧数据中台封装数据服务，提供给“网上电网”省侧查询。

2.3 用采档案数据异动问题

“网上电网”公用配电变压器档案数据来源于

PMS 系统，运行数据来源于用电信息采集系统，在“网上电网”中，将设备 id 与用采系统的表计 id（meter_id）关联，用于读取配电变压器的功率、电流、电压运行数据。

目前湖北省各供电公司正在大力开展台区 HPLC 模块改造工作。大量老旧表计处于更换阶段，换表后表计 id 发生变化，“网上电网”中配电变压器所关联的测点需同步变更，若测点更新不及时，将对运行数据完整率产生较大影响。湖北公司公用配电变压器总数约 30 万余台，每月更换表计约 6000 台，每月影响指标占比约 2%。因源端用采系统中仅记录当前使用的表计 id，无法精确获取表计更换时间；根据每月运行数据完整率计算结果进行人工核查匹配，工作量较大且易错漏，人工核查不及时会造成运行数据完整率降低，影响考核指标和业务应用。

3 用采档案数据异动监测方法

基于营配贯通现有成果，从营销业务应用系统变压器表（G_TRAN）、台区表（G_TG）中获取营销台区编码（tg_no）与 PMS 配变 id（pms_equip_id）的对应关系，从用采系统档案表（ECMS_R_ MET_ AS_PARA、ECMS_R_TMNL_ PARA）中获取营销台区编码（tg_no）与用采表计 id（meter_id）的对应关系，结合“网上电网”设备档案表中的设备 id 与 PMS 配变 id（pms_equip_id）的对应关系，可实现“网上电网”配变档案与用采表计 id 自动关联。

通过阿里云 DataWorks 进行 sql 开发，MaxCompute 进行数据计算，Quick BI（智能 BI 服务平台）进行数据展示。将异动数据拆分成两部分进行监测，一部分为增删数据，一部分为变化数据；增删数据的发生是由当天数据跟全量历史数据进行比较，如果历史数据没有而当天数据有的这部分数据为新增数据；反之当天数据没有而历史数据有的这部分数据则为删除数据；变化数据则是由映射关系的变化所产生的，营销数据和用采数据的关联关系发生了变更则这部分数据为变化数据。

如图 3 所示，用采档案数据异动监测方法原理如下：

① 数据准备：用采终端设备两张表通过主键关联，并且去重，得出用采终端设备底表；将营销变压器表和台区表通过主键关联，得出营销的底表；

② 监测 $T-1$ 和 $T-2$ 比较产生的异动数据；

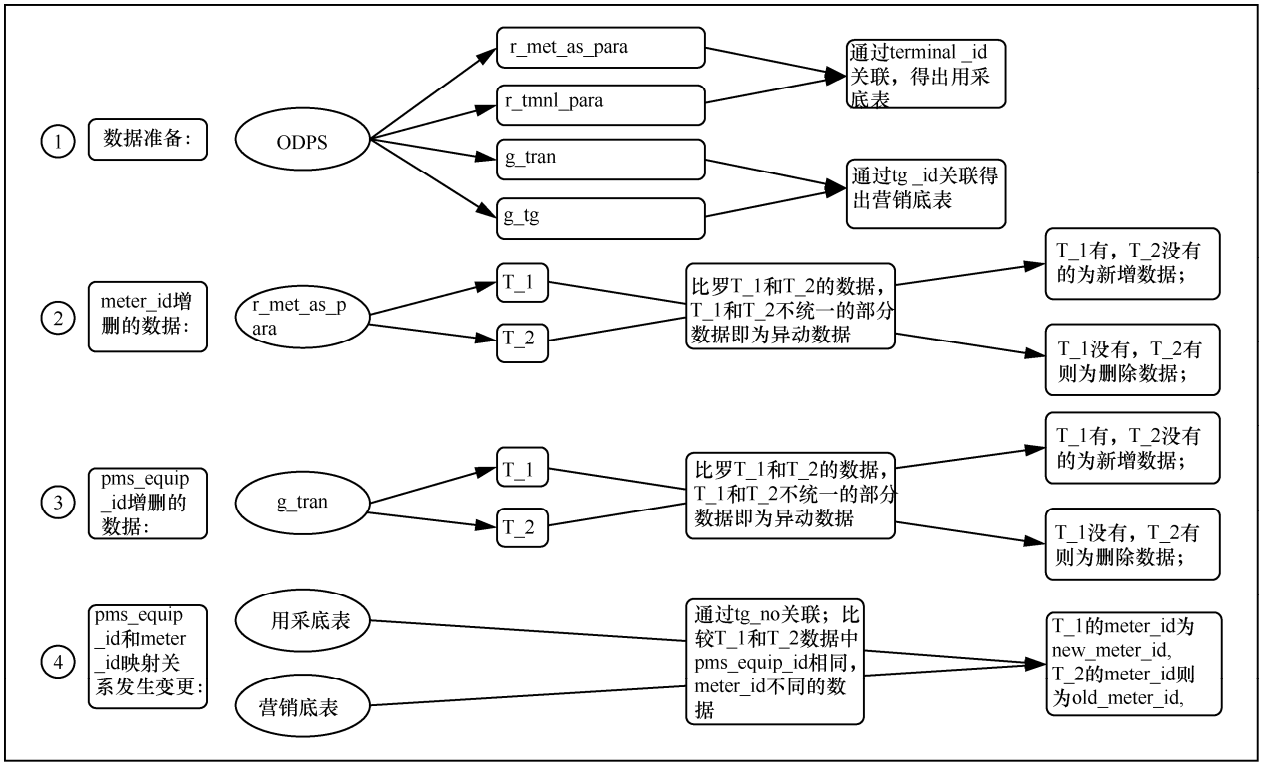


图 3 用采档案数据异动监测方法原理图

③meter_id 发生增删的数据：比较终端电能表 *T*−1 和 *T*−2 的数据，*T*−1 和 *T*−2 不统一的部分数据即为异动数据；*T*−1 有，*T*−2 没有的为新增数据；*T*−1 没有，*T*−2 有的则为删除数据；

④pms_equip_id 发生增删的数据：比较变压器表 *T*−1 和 *T*−2 的数据，*T*−1 和 *T*−2 不统一的部分数据即为异动数据；*T*−1 有，*T*−2 没有的为新增数据；*T*−1 没有，*T*−2 有的则为删除数据；

⑤同一个 pms_equip_id 所关联的 meter_id 发生变更：用采的底表和营销的底表通过 tg_no 关联，比较 *T*−1 和 *T*−2 数据中 pms_equip_id 相同，meter_id 不同的数据，*T*−1 的 meter_id 为 new_meter_id，*T*−2 的 meter_id 则为 old_meter_id。

4 应用结果及分析比较

基于 Quick BI 进行数据展示，直观展示异动发生前后的 meter_id 以及异动发生时间，数据界面如图 4 所示。

每天根据配电变压器测点异动监测工具监测结果更新网上电网测点关联关系。通过查询测点异动界面中 pms_equip_id，掌握该配电变压器在 PMS 系统中的档案 id 信息，准确定位该设备档案位置；通过异动前 meter_id 和异动后 meter_id，掌握该设备更换计量表后的测点变动信息，根据变动情况，判定该设备测点变更数据是否准确；通过异动状态信息，了解该设备数据 *T*−1 和 *T*−2 日的变化关系，该设备测点的新增、修改、删除情况；通过异动前终端设备名称和异动后终端设备名称，了解该设备与原有设备关系，避免数据校对错误；通过 tg_no 和 tg_id 字段，能准确掌握该设备的台区编码和台区 id 信息，准确掌握该设备位置信息，避免无效变动；通过 Data_date 字段，准备了解该设备变动的时间信息，为数据更新提供依据。每天根据测点异动监测反馈数据异动信息，及时核查配电变压器设备名称、台区编码等字段，核实结果无误后，将变更后的 meter_id 更新到网上电网数据库测点表中，并将老测点截止时间更新为监测到的异动时间 data_date，从而实现配电变压器运行数据的整体提升。

如图 5 所示，通过新方法对用采档案数据异动监测并治理，2021 年 3 月至 7 月数据接入完整率平均提高了 1.62%～2.22%，平均每月提高了 1.93%，极大减少了人工工作量，有效提升系统数据接入指标，为网上电网深化应用奠定基础。

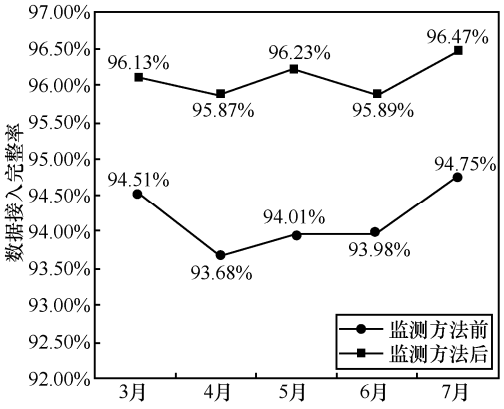
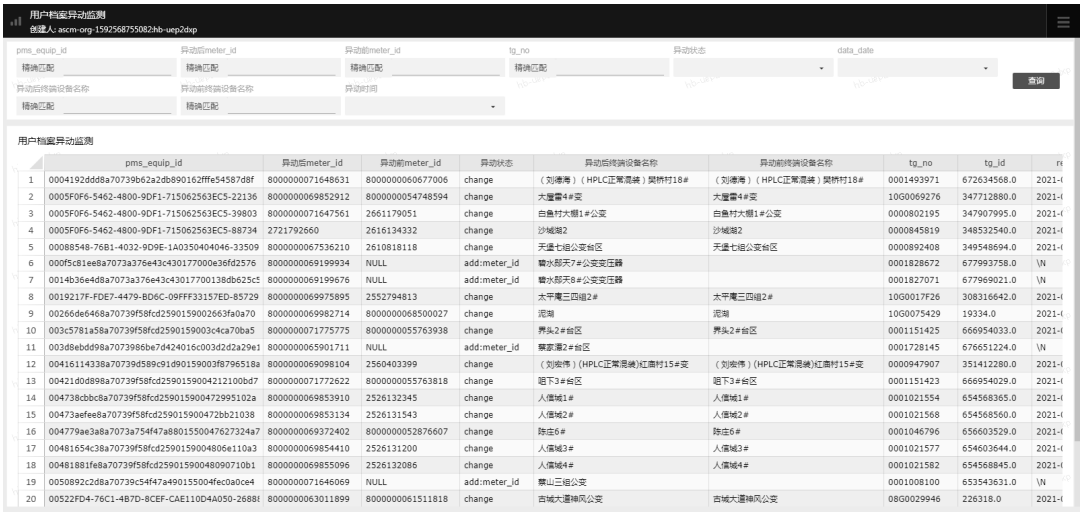


图 5 数据完整率比对图



	pms_equip_id	异动后meter_id	异动前meter_id	异动状态	异动后终端设备名称	异动前终端设备名称	tg_no	tg_id	r
1	0004192ddd8a70739b62a2db890162fffe54587d8f	8000000071648631	8000000060677006	change	（刘德海）（HPLC正常混装）樊桥村18#	（刘德海）（HPLC正常混装）樊桥村18#	0001493971	672634568.0	2021-(
2	0005F0F6-5462-4800-9DF1-715062563EC5-22136	8000000069852912	8000000054748594	change	大屋雷4#变	大屋雷4#变	10G0069276	347712880.0	2021-(
3	0005F0F6-5462-4800-9DF1-715062563EC5-39803	8000000071647561	2661179051	change	白鱼村大棚1#公变	白鱼村大棚1#公变	0000802195	347907995.0	2021-(
4	0005F0F6-5462-4800-9DF1-715062563EC5-88734	2721792660	2616134332	change	沙城湖2	沙城湖2	0000845819	348532540.0	2021-(
5	00088548-76B1-4032-9D9E-1A0350404046-33509	8000000067536210	2610818118	change	天堡七组公变台区	天堡七组公变台区	0000892408	349548694.0	2021-(
6	000f5c81ee8a7073a376e43c430177000e36fd2576	8000000069199934	NULL	add:meter_id	曹水部天7#公变变压器		0001828672	677993758.0	\N
7	0014b36e4d8a7073a376e43c43017700138db625c5	8000000069199676	NULL	add:meter_id	曹水部天8#公变变压器		0001827071	677969021.0	\N
8	0019217F-FDE7-4479-BD6C-09FFF33157ED-85729	8000000069975895	2552794813	change	太平庵三四组2#	太平庵三四组2#	10G0017F26	308316642.0	2021-(
9	00266de6468a70739f58fcd2590159002663fa0a70	8000000069982714	8000000068500027	change	泥湖	泥湖	10G0075429	19334.0	2021-(
10	003c5781a58a70739f58fcd2590159003c4ca70ba5	8000000071775775	8000000055763938	change	界头2#台区	界头2#台区	0001151425	666954033.0	2021-(
11	003d8ebdd98a7073986be7d424016c003d2d2a29e1	8000000065901711	NULL	add:meter_id	蔡家潭2#台区		0001728145	676651224.0	\N
12	00416114338a70739d589c91d90159003f8796518a	8000000069098104	2560403399	change	（刘俊伟）(HPLC正常混装)红庙村15#变	（刘俊伟）(HPLC正常混装)红庙村15#变	0000947907	351412280.0	2021-(
13	00421d0d898a70739f58fcd2590159004212100bd7	8000000071772622	8000000055763818	change	咀下3#台区	咀下3#台区	0001151423	666954029.0	2021-(
14	004738cbbc8a70739f58fcd2590159004729951 02a	8000000069853910	2526132345	change	人偏城1#	人偏城1#	0001021554	654568365.0	2021-(
15	00473aefee8a70739f58fcd2590159004 72bb21038	8000000069853134	2526131543	change	人偏城2#	人偏城2#	0001021568	654568560.0	2021-(
16	004779ae3a8a7073a754f47a8801550047627324a7	8000000069372402	8000000052876607	change	陈庄6#	陈庄6#	0001046796	656603529.0	2021-(
17	00481654c38a70739f58fcd2590159004806e110a3	8000000069854410	2526131200	change	人偏城3#	人偏城3#	0001021577	654603644.0	2021-(
18	00481881fe8a70739f58fcd2590159004809071 0b1	8000000069855096	2526132086	change	人偏城4#	人偏城4#	0001021582	654568845.0	2021-(
19	0050892c2d8a70739c54f47a490155004fec0a0ce4	8000000071646069	NULL	add:meter_id	禁山三组公变		0001008100	653543631.0	\N
20	00522FD4-76C1-4B7D-8CEF-CAE110D4A050-2688(	8000000063011899	8000000061511818	change	吉城大道神风公变	吉城大道神风公变	08G0029946	226318.0	2021-(

图 4 基于 Quick BI 数据展示

负载率是分析设备运行时负荷承载情况的关键指标之一，其良好标准为：最大负载率（%）、平均负载率（%）指标非空且>1%；设备最大负载率低于 150%；平均负载率低于 60%；平均负载率小于最大负载率。其中，负载率指标良好率=配电变压器公用设备负载率良好的数量/配电变压器公用设备计算指标的总数量×100%。如图 6 所示，通过新方法对用采档案数据异动监测并治理，3 月～7 月负载率指标良好率提高了 1.62%～2.13%，平均每月提高了 1.64%。

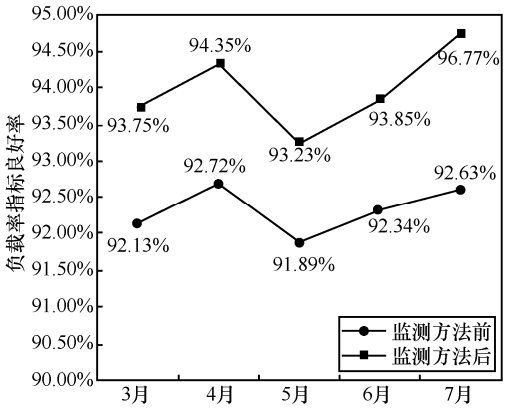


图 6　负载率指标良好率比对图

5　结束语

通过用采测点档案数据监测，全面梳理运行数据传输链路，构建数据质量在线监控体系，形成数据质量管理的长效机制。灵活运用数据中台 DataWorks 和 Quick BI 组件功能，积极探索新思路，快速处理业务数据需求，持续强化数据中台业务支撑能力和数据保障。通过数据中台“流批一体”实时数据处理能力，以及一系列智能分析算法识别源端系统数据变更记录，当源端表计 id 发生变动后，“网上电网”根据异动表计 id，及时完成配变档案所关联的测点更新，实现了配电变压器运行数据完整率“最后一公里”的提升，从而及时掌握配电变压器测点档案异动情况，补齐负载率指标良率短板，为电网规划科学决策提供支撑和保障。

参考文献：

[1] GUO Y J, YANG Z L, FENG S Z, et al. Complex power system status monitoring and evaluation using big data platform and machine learning algorithms: a review and a case study[J]. Complexity, 2018, 2018: 1-21.

[2] HU W, ZHENG L, LIU X Z, et al. Power grid's Intelligent Stability Analysis based on big data technology[C]//Proceedings of 2016 IEEE PES Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC). Piscataway: IEEE Press, 2016: 623-627.

[3] HAN X, WANG X Y, FAN H. Requirements analysis and application research of big data in power network dispatching and planning[C]//Proceedings of 2017 IEEE 3rd Information Technology and Mechatronics Engineering Conference (ITOEC). Piscataway: IEEE Press, 2017: 663-668.

[4] DAI Q Y. Study on solving on-line decision making system of power system based on big data[C]//Proceedings of Proceedings of the International Conference on Computer Networks and Communication Technology (CNCT 2016). Paris, France: Atlantis Press, 2017.

[5] 周海波, 吴松宝, 房虎, 等. 高弹性电网环境下“网上电网”智能规划探索[J]. 中国电力企业管理, 2020(36): 47-49.

[6] 崔静. “网上电网”构建电网数字世界[J]. 华北电业, 2020(9): 78-80.

[7] 李炳森, 胡全贵, 陈小峰, 等. 电网企业数据中台的研究与设计[J]. 电力信息与通信技术, 2019, 17(7): 29-34.

[8] 李信鹏, 刘威, 杨智萍, 等. 电网企业数据中台方案研究[J]. 电力信息与通信技术, 2020, 18(2): 1-8.

[9] CHEN N, WANG C Y, HAN P, et al. Research about solutions to the bottleneck of big data processing in power system[M]//Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering. Cham: Springer International Publishing, 2016: 44-51.

[10] SAGIROGLU S, TERZI R, CANBAY Y, et al. Big data issues in smart grid systems[C]//Proceedings of 2016 IEEE International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA). Piscataway: IEEE Press, 2016: 1007-1012.

[11] YE K, CAO Y, XIAO F, et al. Research on unified information model for big data analysis of power grid equipment monitoring[C]// Proceedings of 2017 3rd IEEE International Conference on Computer and Communications (ICCC). Piscataway: IEEE Press, 2017: 2334-2337.

[12] DI C Y. Fault feature analysis of power network based on big data[M]. 2019.

[13] WANG C L, SUN H, YANG Y B. Research on demand response model of electric power interruptible load based on big data analysis[M]//Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering. Cham: Springer International Publishing, 2019: 336-345.

[14] 杨冬菊, 徐晨阳. 大数据环境下基于元模型控制的数据质量保障技术研究[J]. 计算机工程与科学, 2019, 41(2): 197-206.

[15] 万齐鸣, 王思宁, 何鑫. 数据中台 SG-CIM 模型应用方法[J]. 电信科学, 2020, 36(3): 136-143.

[16] 刘鸿宁, 孔晓昀, 黄文思, 等. 基于 SG-CIM 的企业数据库模型设计与应用[J]. 信息技术, 2018, 42(4): 141-145, 150.

[17] WAN Q Z, YU Y, WU K C, et al. Statistics and analysis of power consumption data based on big data[C]//Proceedings of 2019 22nd International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS). Piscataway: IEEE Press, 2019: 1-5.

[18] 钟华. 企业 IT 架构转型之道：阿里巴巴中台战略思想与架构实战[M]. 北京: 机械工业出版社, 2017.

基于物联网架构的生产大数据快速应用

王翔，刘春晓
（1. 南京南瑞继保电气有限公司，江苏 南京 211102；2. 南京南瑞继保电气有限公司，江苏 南京 211102）

摘　要：电力装备制造企业是实现能源安全稳定供给和国民经济持续健康发展的重要基础，随着经济的发展，对电力装备的质量和可靠性提出了更高要求，但目前制造企业普遍面临着生产设备种类多，设备数据采集难；设备、物料、质量等管控要素多、数据量大；生产过程与质量控制大量依赖于人力，产品质量不稳定等问题。为了解决这些问题，提出了一种基于物联网等技术的 3 层架构，可快速部署应用，并通过在企业中的实践应用验证了可行性。

关键词：大数据；物联网；3 层架构；快速应用

1　引言

在目前大多数的电力保护设备制造企业中，已经实施了企业资源计划（enterprise resource planning，ERP）、制造执行系统（manufacturing execution system，MES）、仓库管理系统（warehouse management system，WMS）等系统，采集了生产过程中的部分数据，但随着数字化、信息化不断深入，这些数据已经远远无法满足生产管理的要求，尤其是产品质量提升的要求。总体而言，大多数企业普遍面临着以下问题。

（1）车间现场人、机、料、法、环等资源随时都在产生大量的数据，需要对这些数据进行采集并管理，如通过采集波峰焊的温度曲线数据对产品质量进行控制，但这些数据分布在不同的设备或系统中，如在表面贴装技术（surface mounted technology，SMT）产线中，有贴片机、回流焊、波峰焊等设备，这些设备种类多、不规则协议多，数据采集难度大。

（2）设备、物料等现场数据被采集后，由于这些数据结构复杂，形式多样，需要通过大数据等技术对这些数据进行多样化、规范化管理，满足对异构数据和超大规模、高并发数据的处理能力，能够有效地存储、利用生产大数据，同时有效地降低数据存储成本。

（3）传统软件架构是将所有的模块全都耦合在一块，代码量大，维护困难，无法满足生产数据快速分析、快速应用的要求，需要导入微服务、容器云等先进的软件技术，实现对生产现场数据服务的解耦，使得生产数据可以被快速分析、快速见效。

（4）生产数据需要发挥更大的价值，以满足不断增长的数据深度分析需求，如实现从生产指标数据的统计分析，到生产异常、质量异常等问题与原因的快速诊断，通过数据实现生产资源调度的实时分析与优化，让这些资源的管控不再依赖于手工。

因此，为了解决这些问题，需要引入大数据（流式计算、分布式计算等技术）、物联网（设备联网、微服务、容器云等技术）、云计算等先进技术，架构适合于生产业务的大数据系统，实现满足底层多样化数据采集要求（连接现场多样化设备与资源），提供针对复杂大量数据的数据处理和运算能力，适应数据快速建模和分析的需求，降低数据存储成本等多方面的目标。

2　基于物联网架构的生产大数据系统设计

2.1　系统架构设计

根据以上现状与核心需求，参考国际工业物联网系统参考架构（industrial internet reference architecture，IIRA）（v1.8），以及国际商业机器公司（International Business Machines Corporation，IBM）的沃森物联网平台 Watson IoT Platform 等国际物联网系统的 3 层架构，开发出适合于电力装备制造企业的基于物联网架构的生产大数据系统，其系统架构设计如图 1 所示。

2.1.1　边缘层

解决与设备的直接连接和通信、控制等要求，从设备中抓取相关数据，对数据进行初步运算，然后对

数据进行规范化管理，包含设备连接、协议转换、数据上云、执行控制 4 部分。

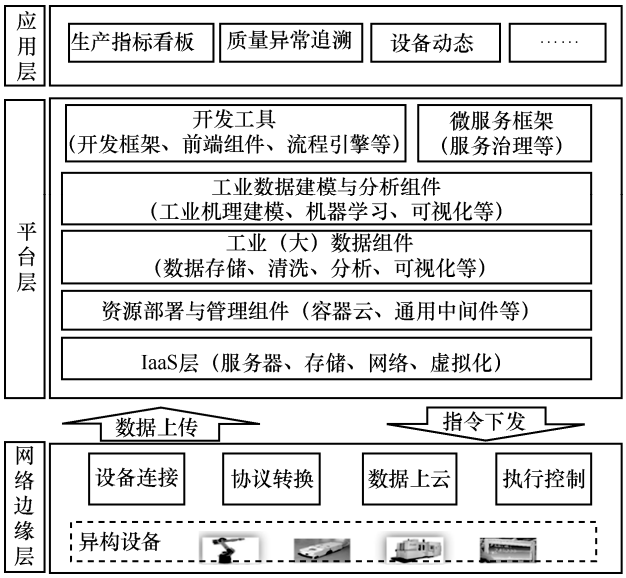


图 1　生产大数据系统 3 层架构

设备连接：系统可实现与设备的直接连接，能够连接所有的设备资源，包括自动化加工设备、物流设备（立库与自动导引运输车（automated guided vehicle，AGV）等）、质检设备等，打通与自动化设备之间的通路，通过数据采集设备状态、设备核心工艺参数、质量检验、设备故障信息等数据。确保与设备的双向通信通路畅通，其重点一方面是设备物理连接（接口），另一方面是数据的规范解析。

协议转换：系统能够支持目前市场上绝大多数的设备协议转换，支持如 Modbus 通讯协议、程序总线网络（process field bus，profibus）等国际主流协议，能够与国际主流控制器实现集成，如西门子、发那科等，并且能够将采集的异构协议数据转换为统一的国际标准对象链接与嵌入的过程控制统一架构（object linking and embedding for process control unified architecture，OPC UA）或数控设备互联通讯协议 MTConnet 协议数据，供系统进行后续的数据处理。

数据上云：通过标准的消息队列遥测传输（message queuing telemetry transport，MQTT）协议，将采集数据传递至云端，利用公有云低成本、易部署、易扩展、易应用的特点，实现对采集数据的低成本存储和方便应用。

执行控制：通过加装主控可编程逻辑控制器（programmable logic controller，PLC）、与设备 PLC 集成等方式实现对设备的反向驱动，能够保证通过系统下达给设备的指令被执行，实现对设备的无人化驱动和控制。

2.1.2　平台层

平台层需要具备轻量级开发平台、工业大数据、微服务管理、数据建模等功能，基于平台层可以进行海量采集数据的管理和分析服务，满足对生产数据的快速清洗、存储、应用、分析等方面的要求。

资源部署与管理组件：包括容器组件、消息中间件、权限管理组件等通用业务组件，满足用户管理与安全、应用与服务部署与管理、服务目录、日志服务、运行监控与告警服务、平台管理等功能。

工业大数据组件：提供海量数据的存储及处理能力，主要负责数据的存储、清洗、分析以及可视化等，支持流计算、复杂事件处理、分析处理、交互式分析的数据分析框架；支持工业模型存储、工业时序数据存储、工业数据存储、分数索引与检索等多样化存储方式。

数据建模与分析组件：包含可视化的数据建模工具、数据挖掘工具、分布式计算引擎等，能够基于机器算法库与统计算法库对数据（支持主流的数据算法，包括聚类算法、线性回归算法、决策树算法等）进行建模分析，对数据进行探索式发现，并能够对数据或指标进行预测式分析（对模型进行不断自我训练与修正）。

微服务框架：支持微服务应用的快速开发、部署、管理和编排等功能，使系统未来开发的数据应用等功能能够满足松耦合的要求，功能拓展更加方便灵活，复用率更高，不同组件在不同独立的进程中运行。

2.1.3　应用层

是直接面向企业用户的端口，以云化软件或工业 App 等形式为用户提供多样化的界面交互、展示等功能，后台封装了可视化组件，满足生产大数据分析展示、增值应用等要求。

此系统设计的 3 层架构各司其职，依照数据采集-数据建模与分析-数据展示的逻辑展开。边缘层负责与生产现场人、机、料、法、环等资源进行连接、实时数据采集与规范化、数据上云等功能，实现多样化数据采集技术的封装和管理。平台层负责生产过程中海量数据的处理，包括多样化数据存储、分布式计算、数据建模与分析、数据应用服务开发等共性应用的管理。应用层负责与用户的交互和对接。系统具备的优

势包括以下几个方面。

（1）应用了大数据技术，一方面可以满足电力装备企业对生产现场多样化异构数据的处理要求，另一方面满足海量数据的快速处理要求，利用大数据中的流式计算、内存式计算等技术，实现对数据的快速运算和快速分析。

（2）可以快速接入硬件设备，通过标准化的设备连接和协议转换，以及自定义协议开发功能，实现对硬件设备数据的快速采集，使系统不受底层硬件设备种类、规格、型号的限制。

（3）实现低成本的数据存储和灵活的数据应用要求，通过数据上云将生产数据传递至公有云平台，实现数据存储空间的弹性扩展，降低数据存储成本，并能够方便地应用数据。

（4）快速的数据建模、数据应用开发和部署，利用系统标准建模功能，如内置的聚类算法、回归算法等，实现对数据的快速建模，并通过系统的公共微服务组件，将部分共用微服务封装到系统平台中，其他应用可以快速调用，减少系统开发时间，实现数据应用的快速开发与部署。

（5）通过系统可以快速地接入生产设备或生产现场数据，然后利用标准功能对数据进行快速建模和分析，并输出结果。

2.2 系统实现

边缘层因为涉及到众多设备协议的解析，短时间开发难度大，因此基于成熟系统构建，本系统中采用了南京某公司的制造数据采集系统（manufacturedatacollection，MDC）系统构成。

平台层采用以开源软件为基础加软件开发的方式实现，如基础组件选择了 Docker 8.0 容器云、Istio 微服务架构；在数据存储上，数据库选择了 MySQL 关系型数据库、MongoDB 非关系型数据库、Influx DB 时序数据库、Redis 缓存数据库等；大数据选择了开源 Hadoop 技术框架，包含数据传递工具 Sqoop、日志采集和传输工具 Flume、大规模数据处理工具 Spark 等组件；算法组件内置了聚类算法、线性回归算法等常用算法。

应用层前端基于渐进式框架 Vue.js，后端基于反向代理 Web 服务器 NginX1.8、搭建开发应用框架 Springboot2、关系型数据库 MySQL5.6 等构成。

系统将这些开源软件进行封装并根据数据处理要求进行开发，然后将这些组件作为服务提供给用户，用户可以基于这些组件灵活地部署应用。

3 基于大数据系统的某产品质量数据分析快速应用实践

为了验证系统的实用性、稳定性、快速应用性等，特意选择了某型号电路板在生产过程中与质量有关的设备参数为样本，利用大数据系统快速构建质量数据采集、质量数据建模与分析、质量数据展示的 3 层架构功能，并对系统 3 层架构的功能、快速应用等进行全面验证。

3.1 质量数据分析目标

从 MDC 等系统中采集某型号电路板产品在制造过程中所有和质量相关的数据，并从 MES 系统中抽取出检验质量好坏的边界数据，然后对各个质量参数进行边界判断和趋势分析，通过统计过程控制（statistical process control，SPC）计算，对产品质量建立客观和相对公平的评价，并对将要发生质量问题的质量参数进行提前预警，从而实现产品质量的提升。

为了满足快速应用的要求，将利用大数据系统在一周内完成此任务。

3.2 质量数据采集

本样例中涉及到了两种核心的数据采集技术，包括非关系型数据采集、关系型数据采集，利用系统的边缘层标准功能加适量开发即可快速满足要求。其中非关系型数据（MDC 使用 MongoDB 数据库）采集采用了开源流处理 Kafka 作为数据管道，通过标准的应用程序接口（application programming interface，API）接口，实时采集了该型号电路板的印刷机的刮刀压力、钢网使用频次、锡膏检测设备（solder paste inspection，SPI）的高度、体积、桥接、回流炉的各个加热区和冷却区温度等数据，关系型数据采集主要是采集 MES 系统的相关数据（利用 Sqoop 技术实现）和其他利用关系型数据库的软件，例如，用来监控生产现场温湿度和现场作业人员所带静电的电压值的环境监测系统，将 MES 系统的生产数据、质检数据以及其他系统和产品质量相关的数据集成到大数据系统中。

此项任务耗时两天，对系统的边缘层设备接入、数据解析等功能进行了验证，结果证明系统稳定、可行。

采集某块电路板的数据样表如图 2 所示。

序号	创建时间	轴编号	焊盘编号	判定结果	体积	面积	高度	突起	掠过	X错位	Y错位
1	2021-08-26 16:51:57	0	0	OK	142.5	102.1	183.0	1.1	101.0	78.0	39.2
2	2021-08-26 16:51:57	1	1	OK	141.1	102.7	180.4	0.1	101.4	55.4	47.6
3	2021-08-26 16:51:57	2	2	OK	143.3	102.8	183.9	2.6	100.9	63.8	32.3
4	2021-08-26 16:51:57	3	3	OK	132.7	100.5	174.8	0.8	98.2	41.6	39.3
5	2021-08-26 16:51:57	4	4	OK	141.2	100.6	184.2	1.6	99.4	59.4	42.8
6	2021-08-26 16:51:57	5	5	OK	143.2	99.8	187.9	0.2	98.8	45.1	45.5
7	2021-08-26 16:51:57	6	6	OK	137.7	99.8	181.2	0.0	98.5	40.9	38.4
8	2021-08-26 16:51:57	7	7	OK	141.8	100.6	185.9	2.1	98.7	49.1	18.5
9	2021-08-26 16:51:57	8	8	OK	135.6	99.5	179.6	1.3	97.8	43.3	32.6
10	2021-08-26 16:51:57	9	9	OK	144.9	102.4	185.6	1.5	101.3	54.0	32.7
11	2021-08-26 16:51:57	10	10	OK	147.8	103.6	188.1	2.1	101.7	67.8	12.1
12	2021-08-26 16:51:57	11	11	OK	135.9	97.5	182.7	1.7	96.5	53.2	47.7

图 2　质量数据集成

3.3　质量数据建模与分析

3.3.1　不良率统计

目前产线质量问题不良率分析依据传统统计分类方法，一块电路板只要有一个不符合要求的指标，即缺点，就算做不良，但是由于产品的复杂度和发生缺点的概率有直接联系，产品的工艺越复杂、复杂度越高，发生缺点的可能性越高，并且不良品可能有多个缺点，只依据产品不良品的个数占产品总数量的百分品来评判产品品质的好坏显得片面，为了解决这个问题，引入了 SPC 里两个指标：单位缺点数（defectsperunit，PDU）和百万机会缺点数（defects per million opportunities，DPMO），根据产品的复杂程度对产品质量进行综合评判。

DPU 代表每块电路板平均有几个缺点，而 DPMO 表示每检查一百万个机会点平均有几个缺点，一个机会点代表电路板上的一个电子元器件。两个指标的计算公式如下：

$$\mathrm{DPU}=\frac{Defects}{Units} \tag{1}$$

$$\mathrm{DPMO}=\frac{\mathrm{D}efects*Unit}{Opportunities*Units}*106 \tag{2}$$

在经过系统数据建模运算后，发现虽然不良评率的数字比较高，但是由于产品工艺复杂，DPMO 并不高，试验另一种型号的电路板时，发现虽然这块电路板的不良率很低，但是由于制造工艺，一个缺点会引发多个关联元器件缺点，DPMO 的值反而比预想要高。

3.3.2　制程能力指数判定

在生产过程中，从人、机、料、法、环的角度看，产品质量和很多因素有关，导致某一产品出现特性问题的因素是多样和多变的，可能是多样因素共同导致的，也可能是单个因素导致的，所以可能出现某个质量参数虽然数值正常，但影响该参数的部分子因素存在数值异常的情况，那么传统的根据每个参数的合格范围分别判定的办法是具有局限性的。但是目前由于缺乏对影响该参数的子因素的认知，导致不能定位到真正影响产品质量的因素，为了解决或部分缓解这样的业务痛点，绘制质量参数的 Xbar-R 图，根据数据的变化趋势抓取特征，并和产品质量挂钩，同时，根据数据展现结果反向验证和优化工艺参数的制定，结果示例如图 3 所示。

制程能力指数（capability of accuracy，Ca）表示支撑特性中心位置的偏移程度，值越小表示偏移越小，产品质量越佳，值为零表示不偏移，制程能力指数的计算公式为：

$$\mathrm{Ca}=2*\frac{Xbar-\mu}{T} \tag{3}$$

其中，Xbar 表示实际平均值，μ 表示参数中心值，T 表示规格公差，即参数规格上限和参数规格下限的差。

测试阶段暂时设定 Ca 大于 20%就报警处理，当某项质量参数的 Ca 值超过警戒值时，前台展示界面通过字体加粗变红和音频播放的方式通知生产现场的工作人员对该问题及时处理，如果超出一定时间没有解决，则系统根据超出时间和对应的质量参数相关程度采取是否调用 API 给管理人员发送短信。

此项任务耗时 5 天，对系统平台层的大数据处理、大数据建模与分析等功能进行了验证，满足对各类数据的快速处理、建模等要求。

3.3.3 质量原因因素分析方案

下一步的计划是通过建立统计模型和算法模型，挖掘分类与每类质量问题相关的影响因素，找出采集

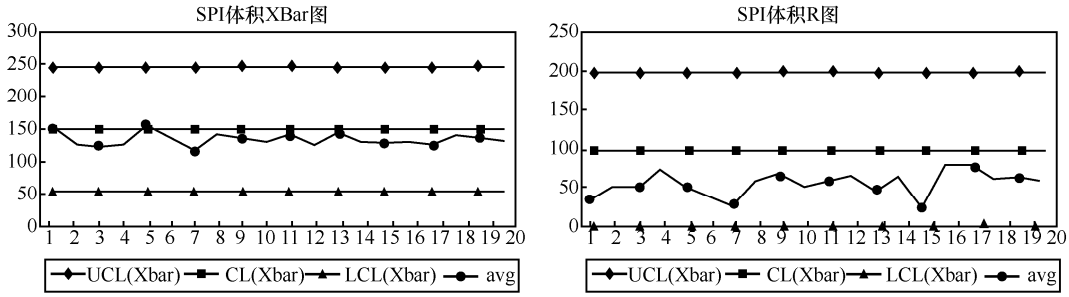


图 3　SPI 体积参数 XBar-R 图结果示例

数据中各要素的内在工作方式以及诸要素在一定环境条件下相互联系、相互作用的运行规则和原理，从而找到导致某种质量问题的影响因素。

本例中应用了系统建模组件中的关联分析算法建立模型，算法公式如式（4）和式（5）所示。

$$s(X \to Y) = \frac{\sigma(X \cup Y)}{N} \tag{4}$$

$$c(X \to Y) = \frac{\sigma(X \cup Y)}{\sigma(X)} \tag{5}$$

其中，s 为支持度，表示记录里 X、Y 因素同时出现的比例；c 为置信度，表示 X 因素产生影响时，Y 因素产生影响的比例，这两个公式可以表达两个因素的关联关系。

通过算法，计划将电路板维修过程中记录的措施和对应的不合格类别为模型数据输入，结合该电路板的所有质量参数，挖掘出支持每类问题最大影响因素项集，并将这种匹配关系作为规则输出。此项任务是下一步计划，不计入该项目时长。

3.4　数据展示

根据业务人员的要求，设计并展示出质量相关报表，如实时展示当日生产现场环境状况、人员离线情况、测试线加工电路板的数量和质量情况、各质量指标的汇总数据等，并根据质量问题逐步建立起针对产品质量检验的知识库，如图 4 所示。

本项任务耗时 3 天，用系统内置的可视化组件进行展示界面的开发。经过此样例的验证，证明了利用此系统可以快速地对生产数据进行采集、建模与分析，

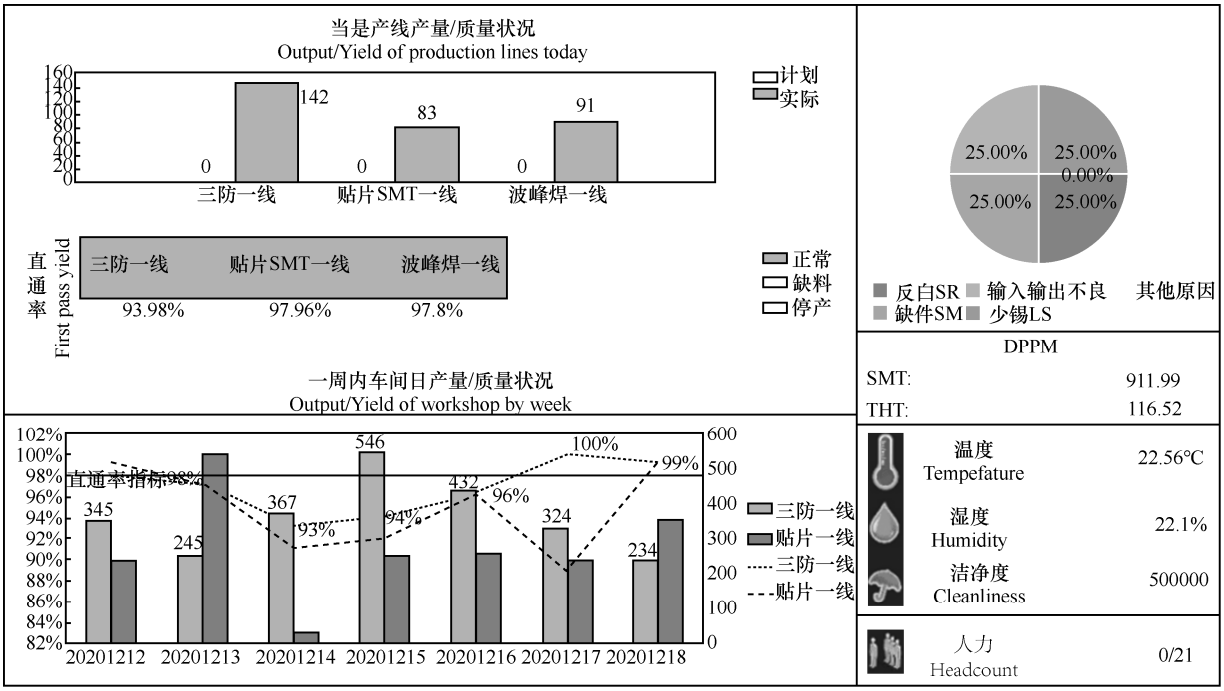


图 4　结果展示示例

让生产数据价值得以快速实现。

4 结束语

基于生产现场大量异构数据需要采集并管理，对数据进行快速建模与关联分析，以满足生产领导者对生产数据快速、闭环的分析要求。研究了物联网（各类设备快速接入）、大数据（海量数据分析）、微服务（应用组件复用）等先进技术，将这些技术融合后设计了符合生产大数据采集、处理、建模、分析的 3 层系统架构体系，并基于开源组件进行了系统开发，完成了生产大数据系统的搭建，然后选择了质量数据分析进行了实践应用，并通过实践证明了此系统可以满足生产大数据的快速应用。

未来随着生产大数据系统的逐步拓展，将会纳入更多的数据进行验证和管理，包括设备 OEE 与设备预测性维修维护、工艺参数控制与优化、人员产能与排班优化、生产异常诊断等应用，并在此过程中对生产大数据系统不断完善和升级。

通过生产大数据系统的应用，可以实现：

（1）生产各项指标的执行与异常情况；

（2）生产各资源要素之间的关联关系；

（3）生产资源如何更好地调度优化；

（4）生产现场的知识和经验透明化；

（5）利用数据进行生产快速决策等。在数据深化应用的基础上逐步推动生产业务向精益化、协同化、预测化等方向发展，实现生产业务模式的数字化转型。

参考文献：

[1] EVANS P C, ANNUNZIATA M. Industrial internet: pushing the boundaries of minds and machines[J].2012.

[2] PEDONE G, MEZGÁR I. Model similarity evidence and interoperability affinity in cloud-ready Industry 4.0 technologies[J]. Computers in Industry, 2018, 100: 278-286.

[3] MOGHADDAM M, CADAVID M N, KENLEY C R, et al. Reference architectures for smart manufacturing: a critical review[J]. Journal of Manufacturing Systems, 2018, 49: 215-225.

[4] 赵敏. 工业互联网平台的六个支撑要素: 解读《工业互联网平台白皮书》[J]. 中国机械工程, 2018, 29(8): 1000-1007.

[5] 李文娟, 杨生婧, 韩宝卿, 等. 大数据技术在电力生产管理中的应用前景分析[J]. 通信电源技术, 2021, 38(4): 158-160.

[6] 李春阳, 刘迪, 崔蔚, 等. 基于微服务架构的统一应用开发平台[J]. 计算机系统应用, 2017, 26(4): 43-48.

[7] 唐常青. 大数据技术在电力系统中的应用[J]. 电力系统装备, 2021(2): 42-43.

[8] 吕峰. 智能电网环境下电力系统继电保护[J]. 商品与质量, 2017(35): 26.

[9] DRAGONI N, GIALLORENZO S, LAFUENTE A L, et al. Microservices: yesterday, today, and tomorrow[EB]. 2016.

[10] 窦昊翔, 何金陵, 陈凯, 等. 国家电网公司微应用项目管理体系研究[C]//电子技术应用智能电网会议. Beijing, China. 中国电力科学研究院有限公司、国网电投(北京)科技中心、《电子技术应用》杂志社, 2017: 286-290.

[11] 赖伟良. 大数据环境下计算机应用技术的分析及探讨[J]. 技术与市场, 2020, 27(6): 100-101.

[12] 郭栋, 王伟, 曾国荪. 一种基于微服务架构的新型云件 PaaS 平台[J]. 信息网络安全, 2015(11): 15-20.

[13] 郭献彬, 林志达, 曹小明, 等. Docker 容器技术的应用部署平台设计与研究[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2021, 21(6): 11-14, 19.

[14] 杜以团, 赵林, 杨小娟. 一种基于敏捷开发模式的软件测试模型: 阶梯模型研究[J]. 测试技术学报, 2021, 35(4): 305-309.

[15] 宋灵城. Flink 和 Spark Streaming 流式计算模型比较分析[J]. 通信技术, 2020, 53(1): 59-62.

[16] TEODORO A A M, GOMES O S M, SAADI M, et al. An FPGA-based performance evaluation of artificial neural network architecture algorithm for IoT[J]. Wireless Personal Communications, : 1-32.

[17] H S, V N. A review on fog computing: architecture, fog with IoT, algorithms and research challenges[J]. ICT Express, 2021, 7(2): 162-176.

[18] KAUSAR M A, NASAR M. Suitability of influxdb database for iot applications[J]. International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering, 2019, 8(10): 1850-1857.

基于消息中间件的企业移动审批中心设计与应用

胡竹青[1]，张志鹏[1]，林峰[1]，唐立合[2]，刘宁[2]
（国网电力科学研究院有限公司 江苏 南京 211000；2. 国电南瑞科技股份有限公司 江苏 南京 211000）

摘　要：随着移动互联网技术及智能手机的飞速发展，需要将现有行政办公、ERP、采购管理等信息化系统中的PC 端众多流程审批类应用向移动端迁移重构，但由于分条线建设和系统异构等原因，迁移 APP 过程中存在类似功能重复开发、不同来源审批任务获取速度“木桶效应”、审批界面及操作方式各异等问题，用户体验不佳。本文结合企业实际情况，介绍了企业移动审批中心的建设思路和功能框架，采用基于消息中间件技术实现与业务系统集成的解耦，实现业务流程审批的快速接入和用户一致性体验服务。

关键词：消息中间件；移动审批中心；统一待办

1　引言

随着企业信息化水平的日益提高，业务系统功能不断完善，各类审批业务需求在持续增加，手机端接入各业务系统的审批，面临繁重的开发工作。为提高接入效率，减轻系统集成工作量，通过定义审批任务的接入规范，基于消息中间件技术实现审批业务的快速集成。通过企业移动审批中心建设，降低 APP 接入审批任务的开发成本，提升接入效率，满足企业移动审批的办公需求。

随着移动互联网技术的飞速发展，越来越多的单位及员工提出需要将流程审批类业务迁移至手机端。面对剧增的审批需求，需要投入大量的人员进行需求梳理、功能开发，从而造成需求响应不及时，无法及时满足用户提出的需求，移动端审批主要存在以下几点问题：

（1）前期由于审批功能较少，采用的是针对具体业务的定制化开发，系统间集成工作量较大、开发周期较长，无法实现应用的快速上线。

（2）审批业务与业务系统耦合性太强，审批数据分别从各业务系统读取，一旦数据量较大，一个系统的升级或故障，可能导致 APP 其他审批业务访问缓慢，影响 APP 功能使用。

（3）各类审批业务分散在各个独立的业务功能模块，用户需要在各个功能之间进行频繁切换，给用户使用带来很大不便。

2　企业移动审批中心设计与实现

企业移动审批中心（以下简称：审批中心）借助消息中间件、移动应用技术手段构建企业级一站式移动审批中心，提升移动端办公业务的审批效率，提高审批的安全性，实现掌上简易审批。

2.1　总体架构

企业移动审批中心可基于已建成的移动应用平台进行功能拓展和融合应用。审批中心采用主流的开源微服务架构方式进行设计开发。采用前后端分离模式，移动端采用原生和 H5 技术混合开发方式，支持 Android 和 iOS 等主流终端操作系统。服务端采用微服务架构分层技术，通过主流的消息中间件 Kafka 实现与业务系统的信息集成。总体架构如图 1 所示。

终端层：手机端支持主流的 Android 和 iOS 操作系统的手机设备。

网关：微服务网关采用 SpringCloud Gateway 进行统一请求分发处理及用户认证。

应用层：审批中心统一待办任务的入口，将不同的业务以统一的视角界面展示，屏蔽系统的界限，方便快速完成不同业务的审批。

共享服务层：通用审批平台提供针对 APP 与业务系统的待办查询、处理及详情查看等具体服务接口，实现 APP 与业务系统的解耦。

基础组件：针对移动端提供基于手势、指纹及人脸识别的身份验证组件，提供消息推送及短信发送等

基础的功能。

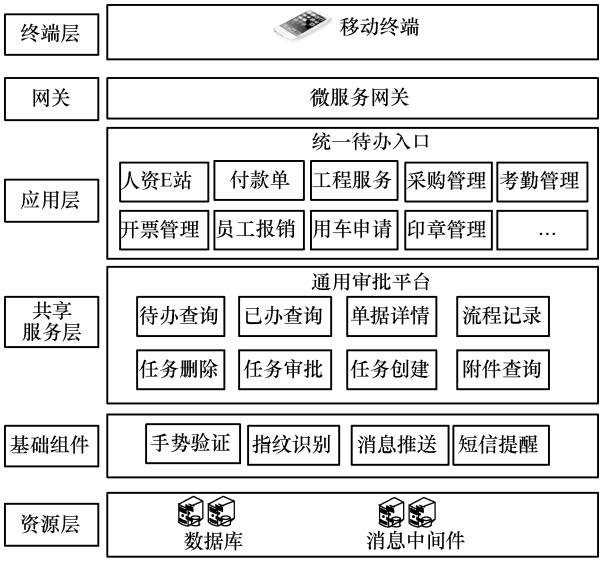


图 1　审批中心总体架构图

资源层：审批中心的待审批单据数据存储在关系型数据库中。通过消息中间件实现系统间的业务解耦。

2.2　功能视图

审批中心功能覆盖各项重要审批业务，移动端以统一的入口显示需用户审批的待办任务，用户集中进行各类业务审批，避免在不同业务间不断切换，提高审批的效率。审批中心在功能上包括基础组件功能及业务审批功能。功能如图 2 所示。

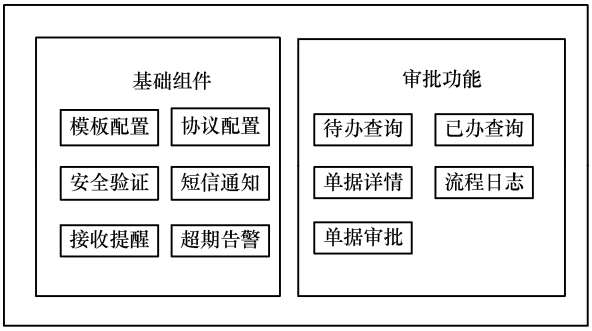


图 2　审批中心功能视图

2.2.1　模板配置开发

审批中心为移动终端提供简化的模板配置功能，业务系统根据模板填充数据，推送至通用审批平台，手机端即可实时查看显示效果。支持以下三种方式的模板。

（1）业务系统按界面设计规范开发自定义的 H5 页面模板，并通过创建待办任务接口推送待审批单据详情至审批中心。

（2）业务系统提供模板数据的查询服务，手机端采用 H5 技术进行页面开发，并嵌入原生审批模块。

（3）对于少量复杂界面的功能，由 Android 和 iOS 手机客户端进行定制开发。

2.2.2　协议支持

电力企业业务系统存在多种架构模式，包括 ERP 系统、采用 SG-UAP 等开发平台的系统及采用微服务架构开发的系统。审批中心以公共微服务方式运行，其他微服务通过 POM 文件引入审批中心微服务及对应 API 完成审批任务协同处理。针对其他异构系统，审批中心基于消息中间件技术提供主流的 RESTful 风格的 WebService 和 SOAP WebService，核心业务接口为统一待办任务创建、任务审批。待办接口协议请求参数如下：

TaskNo 任务单号,业务系统任务唯一编码（必须）

taskType 任务类型，由平台定义，每个类型按系统+任务类型定义（必须）

taskTitle 任务标题，关于 XXX 提供的 XXX 单据（必须）

taskDetail 任务详情，<HTML>该任务业务表单</HTML>，业务系统组装（必须）

relaUsers 人员关联（必须）

acceptTime 接收时间，yyyy-mm-dd hh24:mi:ss（必须）

businessExt 业务扩展字段（非必须）

taskFiles 附件列表（非必须）

fileName 附件名称,***付款申请(有附件则必须)

fileSize 附件大小,xx KB（有附件则必须）

fileUrl 公网能够访问的图片 URL（有附件则必须）

fileType 附件类型，共 pdf、word、excel 和 image 四种

fileId 业务系统附件序列标识（如果有附件则必须）

selectablePerson 可选人员

任务审批接口协议请求参数如下：

taskNo：任务单号，业务系统任务唯一编码, 必填

taskType：任务类型，根据业务系统和任务情况配置。 必填

dealResult：处理结果, 0：驳回 1：通过, 必填

dealUserId：处理人工号, 必填

dealTime：处理时间，必填

dealRemark：处理意见，必填

deleteUsers：需要删除的待办人员集合,可空

2.2.3 安全认证

涉密信息审批可根据业务需求增加审批时的安全校验，提供指纹识别、手势密码、人脸识别多种认证机制，保证审批安全。

手势密码：用户可自己设置手势密码，开启手势密码后，在进行业务功能审批时，进行密码验证，保证数据安全。

指纹识别：基于手机终端提供的指纹识别功能，进行单据审批的安全校验。

人脸识别：属于生物特征识别技术，是对生物体本身的生物特征来区分生物个体。移动端通过首次采集用户人脸特征，在审批时进行活体检测并识别人脸特征，进行用户身份验证。

2.2.4 任务提醒

为用户提供待审批单据到达是的及时提醒，通过基础组件的消息推送功能，用户在不启动 APP 的情况下也能收到提醒，动动手指即可完成任务审批。同时支持用户自定义超期任务的再次提醒。

2.2.5 业务功能

审批中心为移动终端提供待办查询、已办查询、任务审批、审批流程查看等功能；为业务系统集成待办任务创建、审批任务同步、审批日志记录等功能，支撑业务系统审批任务处理。

2.3 系统集成

审批中心通过消息中间件技术实现了与业务系统的解耦，手机端待办任务的查询和处理不再强依赖业务系统。典型集成架构如图 3 所示。

内置审批中心的 APP 待审批单据查询不与业务系统进行直接交互，而是从审批中心进行查询。业务系统通过调用审批中心的待办任务创建接口生成待审批单据。审批中心与业务系统集成服务接口清单详见表 1。

2.3.1 消息中间件技术

消息中间件（MOM Message-Oriented Middleware）是基于队列与消息传递技术，已经逐步成为企业 IT 系统内部通信的核心手段。审批中心采用开源的 Apache Kafka 作为消息中间件，

审批中心引入消息中间件有如下作用：

（1）解耦。降低各系统间的耦合，系统边界更加清晰，系统直接可独立开发、部署及测试。研发人员仅需专注自己的业务模块，系统更容易扩展。

（2）流量削峰。对高并发请求可通过消息中间件进行请求缓冲，降低系统压力，使得下游系统能够根据自身能力对请求进行处理。

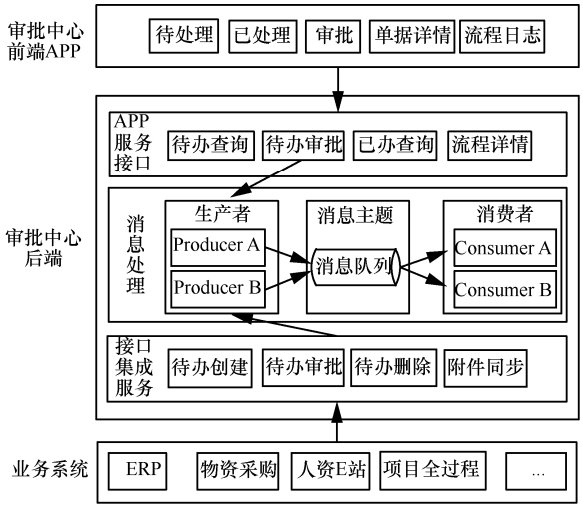


图 3 审批中心与业务系统集成架构示意图

表 1 审批中心与业务系统集成服务接口清单

服务名称	服务描述
生成待审批任务	创建待审批的任务至审批中心
任务审批	处理审批中心的待审批任务
任务删除	删除审批中心的待审批任务
任务审批结果反馈	由各业务系统按格式提供

2.3.2 审批中心系统集成交互流程

审批中心为移动终端提供待办查询、已办查询、任务审批、审批流程查看等功能；为业务系统集成待办任务创建、审批任务同步、审批日志记录等功能，支撑业务系统审批任务处理。APP 与业务系统及审批中心后台交互流程如图 4 所示。

待审批单据查询：待审批单据的查询，通过通用审批平台提供的待办查询接口进行查询展示。

单据创建：用户在业务系统提交单据审批，业务系统调用审批中心后台的接口进行待办任务创建。审批中心接收消息后，将信息发送至消息中间件，立即返回业务系统响应结果。消费者监听到消息后进行待审批单据的创建。

单据审批：用户通过手机终端进行单据审批，调用审批中心后台的审批接口，单据会被设置为审批中，并返回用户端单据处于审批中，当前单据不可再进行

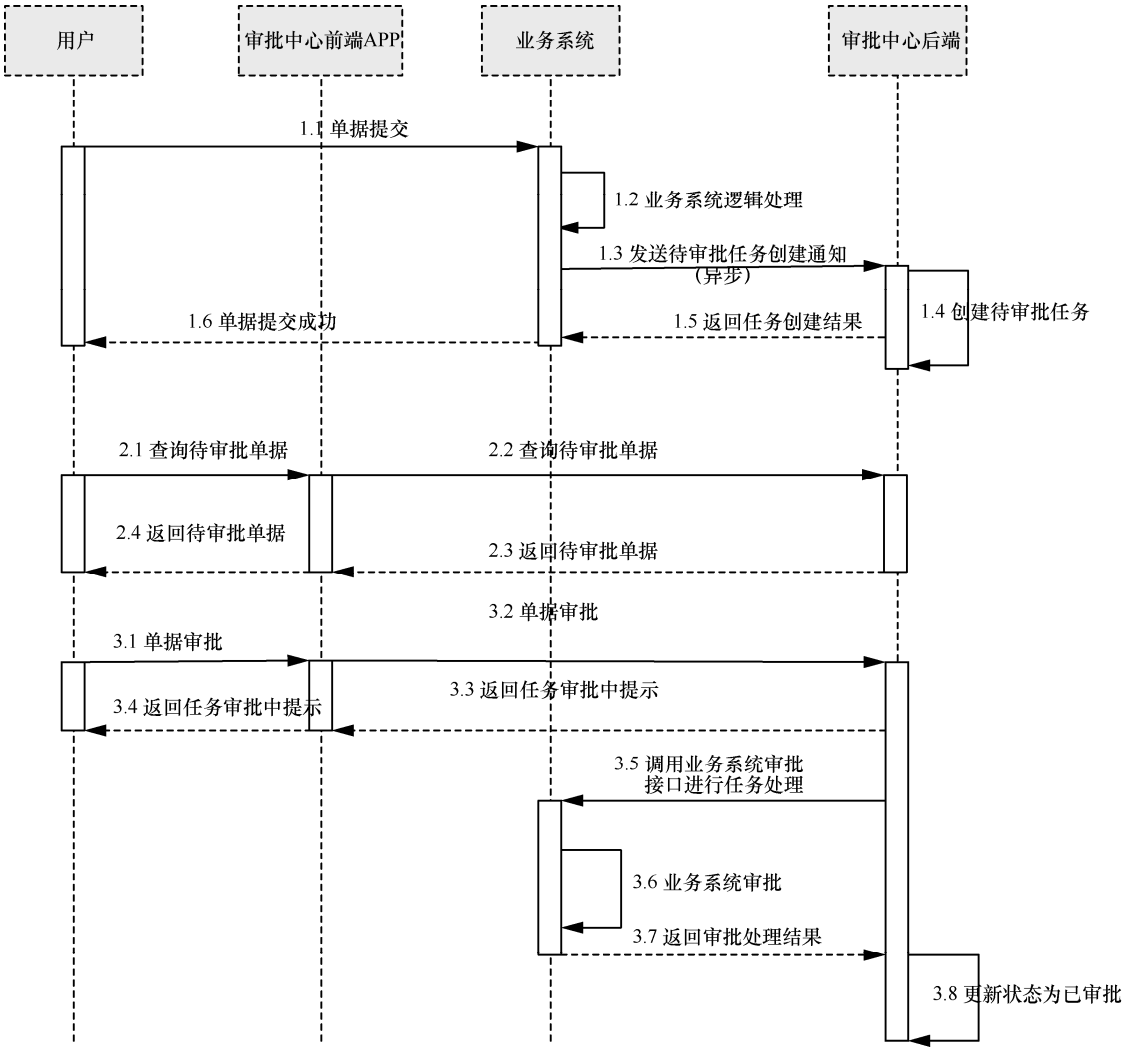


图 4　审批中心系统集成交互流程图

操作。然后审批中心后台调用业务系统接口进行任务的审批处理，审批成功后通知用户审批完成，如审批失败，则进行重试。连续 3 次失败后将发送告警短信至系统管理员进行处理。

2.3.3　消息发送及处理

在使用消息中间件过程中无法避免会出现消息发送失败造成业务系统数据不一致的问题。系统通过在审批平台对生产者和消费者进行失败记录，通过失败重试及人工干预方式实现数据的最终一致性。为保证消息的成功发送及正常消费，设计了一张通用的消息表如表 2 所示，用于记录消息发送及消费状态。

消息发送：业务系统发送的信息内容会直接记录消息表中，然后采用 Kafka 的带回调功能的方法进行消息的发送，并根据发送的结果更新消息表的发送状态。为防止消息重复发送，业务系统调用接口时需传入业务系统当前单据唯一标识及当前请求的唯一标识。如发现重复请求则不进行消息发送。如果向 Kafka 消息发送失败，则后续进行重试。消息发送流程如 4 所示。

消息处理：消息队列监听到消息后，从消息表查询未处理状态的消息内容进行处理。如果有需要调用业务系统接口进行消费处理的情况，根据业务系统接口返回状态设置消费状态为成功或失败。如果消费失败，则需要进行记录，并后续启动独立的任务进行重试处理。如果任务重试的失败次数超过 5 次，则不再进行自动重试，通过发送短信告警，进行人工干预处理。

通过以上对消息发送端和消费端进行异常情况处理，保证了业务系统与审批中心的数据最终一致。

表 2　审批中心消息表结构

字段名	类型	注释
MSG_ID	VARCHAR(42)	消息标识
TASK_NO	VARCHAR(200)	任务单号
TASK_TYPE	VARCHAR(200)	任务类型
BUSINESS_ID	VARCHAR(42)	业务单据唯一标识
REQUEST_ID	VARCHAR(42)	请求唯一标识
TOPIC	VARCHAR(20)	主题
MSG_TYPE	CLOB	消息类型
MSG_CONTENT	VARCHAR(20)	消息内容
NETWORK	VARCHAR(50)	生产者网络环境
SEND_STATUS	VARCHAR(2)	发送状态
SEND_TIME	VARCHAR(20)	发送时间
SEND_ERRORS	INTEGER	发送失败次数
CONSUMER_FLAG	VARCHAR(20)	消费方式
CONSUMER_STATUS	VARCHAR(50)	消费状态
CONSUMER_TIME	VARCHAR(200)	消费时间
CONSUMER_ERRORS	INTEGER	消费失败次数
CONSUMER_REMARK	VARCHAR(50)	消费处理备注

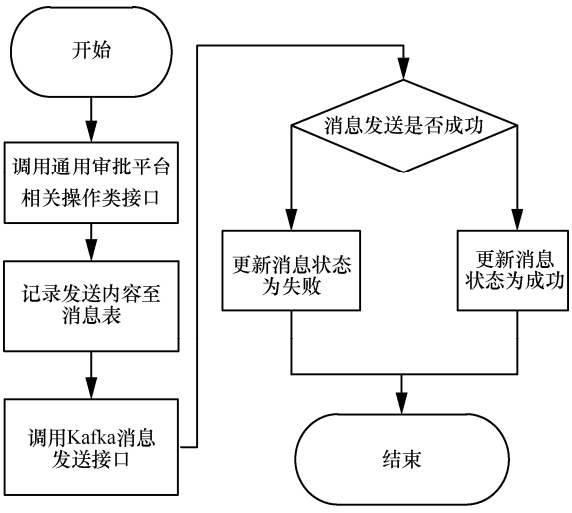


图 4　审批中心消息发送流程图

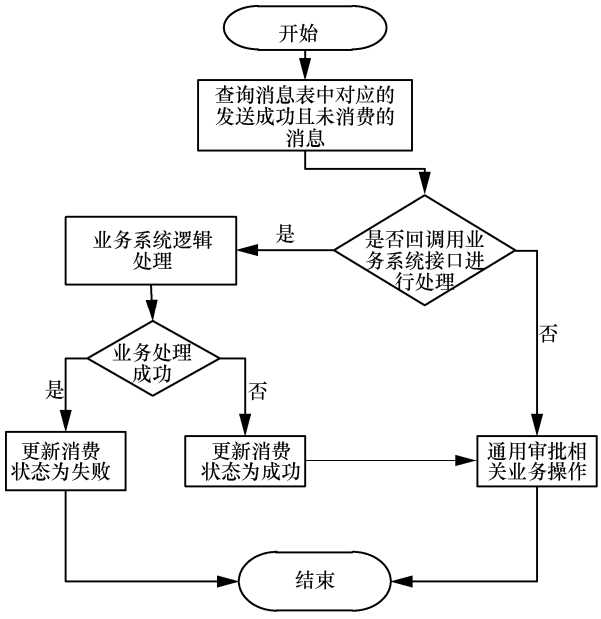


图 5　审批中心消息处理流程图

3　企业移动审批中心业务接入与应用

3.1　审批中心业务接入

审批中心具有工作量大、时间紧、对接面广、事务杂等客观特点。为实现有效的沟通和高效的协同，制定了统一的接入规范，包括《XX 单位移动审批中心需求接入模板》、《XX 单位移动审批中心接口协议》。通过以下措施保证审批中心的推广工作有序开展。

（1）制定审批中心业务需求模板，简化接入需求及流程。通过问卷、用户调研、需求管理平台等多种渠道进行审批需求的收集。

（2）制定审批中心开发接入技术规范，统一培训，

达成共识，减少开发沟通成本。

（3）丰富各类业务审批的 HTML 模板，新功能无需再重复开发。

（4）对于已存在且尚未接入审批中心的各类审批单据，将充分利用现有资源，制定详细改造计划，确保按进度准时完成。

3.2 审批中心应用情况

审批中心在 XX 集团 2018 年 11 月上线以来，已接入审批功能模块 48 个，共涉及 128 项审批业务。每年的单据审批数量成逐年递增趋势，2021 年 1-8 月累计审批的单据次数已达到 106.34 万次。审批单据次数超 297.35 万次，审批业务单据达 150.6 万条。审批中心年度单据审批情况统计如图 6 所示。

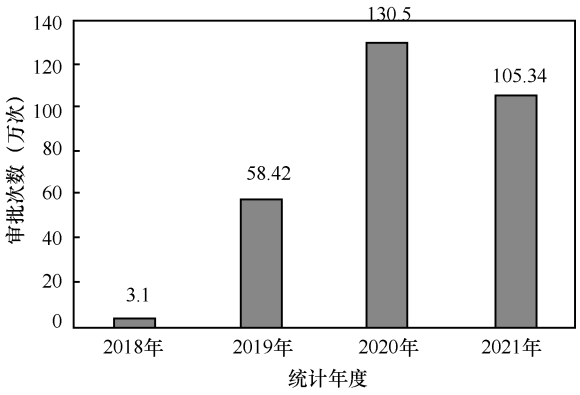


图 6　审批中心年度单据审批情况统计

审批中心不颠覆原有审批操作方式，在开发效率及用户使用上相比原有模式均有一定程度的提升。总结已接入 128 项审批业务情况，审批中心平均接入一项审批流程与原有模式的各项指标差异如表 3 所示：

通过对原有接入方式和采用审批中心方式接入审批业务进行人力成本估算，预估 3 年来共节约人工成本费用约 150 万元左右。审批中心的建设，减少了企业研发成本，提升了系统访问效率，为用户移动端审批提供了极大的便利，上线后审批中心各项功能运行稳定，性能良好，具备全面推广条件。

4　结束语

企业信息化系统正逐步向移动互联网化方向发展。企业移动审批中心旨在优化整体移动办公策略，整合业务部门及各个业务系统信息资源，简化跨系统审批操作，加速业务审批速度，提升整体办公效率。移动审批中心的建设为企业更轻松的应对大量审批需求，以更高效的协同方式快速接入审批业务提供了新的思路。

参考文献：

[1] 张向祺. 基于微服务的企业移动办公平台规划设计[J]. 信息技术与标准化, 2016(3): 71-74.

[2] 段瑞霞. 基于智能终端的移动审批应用研究[J]. 数字技术与应用, 2016(11): 109-110.

[3] 李强. 消息中间件的生产端一致性设计与实战[J]. 电脑编程技巧与维护, 2021(7): 67-71.

[4] 陈勇, 车永辉, 兰卫华. 企业移动办公自动平台设计研究[J]. 信息系统工程, 2019(4): 129, 131.

[5] 张宁. HTML5 在移动互联网开发中的应用探究[J]. 信息与电脑(理论版), 2019(2): 185-186.

[6] 王丽, 赵倩, 滑天琦. 服务集成 信息共享 智能审批 实现政务服务“一次不用跑”[J]. 中国建设信息化, 2021(5): 26-29.

[7] 赵庆涛, 孙上海, 张孝虎. 微服务架构在信息化系统开发平台中的应用[J]. 冶金自动化, 2021, 45(S1): 19-23.

[8] 金志中. 分布式异构系统消息中间件设计与实现[J]. 电子技术与软件工程, 2016(21): 67.

[9] 齐慧. 基于 HTML5 技术的移动 Web 前端研究与实现[D]. 济南: 齐鲁工业大学, 2020.

[10] 牛昆亮. 基于微服务的移动办公平台的设计与实现[D]. 石家庄: 河北科技大学, 2020.

[11] 孙龙龙. 面向 Kafka 消息中间件的监控管理系统设计与实现[D]. 武汉: 华中科技大学, 2019.

[12] 刘猛, 葛建超, 潘仁前. 分布式消息服务应用研究[C]//第九届中国指挥控制大会论文集. 北京, 2021: 112-117.

[13] 吴为. 基于消息中间件的微服务系统设计与应用实现[D]. 成都: 电子科技大学, 2019.

表 3 审批中心较原有模式的指标差异

指标项	原有模式	审批中心	改进点
开发效率	5 人天	2 人天	开发速度更快，投入人力更少
查询效率	≤10 秒	≤3 秒	查询效率明显提升
用户操作点击次数	5 次	3 次	操作更便捷，无需频繁切换
单据流转时长	1 天	1 小时	消息及时到达，流程审批加速
审批方式占比	100%->20%	0->80%	用户使用习惯逐步向 APP 转移

[14] 于丽春. 并联审批促进政府部门间合作研究 : 基于目标和行动的维度[D]. 长春: 吉林大学, 2020.

[15]胡聪, 刘翠玲, 张翠翠, 等. 基于 Kafka 分布式发布订阅消息系统的电网全业务统一数据中心-数据实时接入方法设计研究[C]//中国电力科学研究院有限公司、国网电投(北京)科技中心、《计算机工程与应用》杂志社.第三届智能电网会议论文集——智能用电. 中国电力科学研究院有限公司、国网电投(北京)科技中心、《计算机工程与应用》杂志社: 国网电投(北京)科技中心, 2019: 4.

基于优化 BP 神经网络的电力舆情风险评估模型

刘月灿，王怀宇，窦祎楠，孙建刚，董耀众
（国家电网有限公司信息通信分公司，北京 100761）

摘　要：随着互联网信息化技术的高速发展，热点问题网络舆论数据量庞大、发展趋势迅猛等特点日渐凸显，电力作为关系国计民生的行业，面临复杂的网络舆情管理形式，为了防止突发电力事件产生的不良舆论影响影响企业运行，亟需构建电力舆情风险评估体系。针对此问题，提出了一种基于优化 BP 神经网络的电力舆情风险评估模型，该模型利用遗传算法优化 BP 神经网络，同时将关键词影响度因子引入模型输入，提升风险评估准确率。实验证明，提出的电力舆情风险评估模型是有效可行的，可辅助工作人员制定电力舆情的控制决策。

关键词：BP 神经网络；舆情评估；遗传算法；关键词影响度

1　引言

我国正处于信息化技术飞速发展的时期，互联网在社会各阶层中逐渐普及，成为大众获取信息的主要手段。针对诸多突发事件和社会现象，网民表现出强烈的社会关怀，互联网信息传播的便捷性使其成为大众进行情绪宣泄、思想碰撞的主要渠道[1]。但网络舆情具有关联复杂、群体扩散和演变不确定等特点，往往会导致社会新闻的过度发酵，容易给单位及个人造成过度影响。传统舆情预测偏离往往导致舆情管理干预困难，难以实现舆情状态的有效洞察，因此亟需采用有效的数据分析处理技术，针对舆情实施严格监控，从而有效控制与引导电力企业相关事态的良性发展，做到未雨绸缪，将隐患控制在萌芽状态。

近年来，网络舆情引起社会各界的重视，并开展了该领域的相关研究。如文献[2]根据网络舆情的变化特点，将灰色模型与支持向量机模型相结合，进行网络舆情预测，并验证了灰色支持向量机的优越性；文献[3]根据网络舆情具有混沌性的特点，将 EM 算法和改进 PSO 算法相结合，并用来优化径向基函数网络，将改进后的算法用于舆情发展趋势的预测；文献[4]提出利用主成分分析算法将几个网络舆情指标结合成一个或者多个相互独立的综合指标，这样在保证准确率的基础上，能够快速进行预测。

上述研究均在其特定应用场景发挥其优势，然而针对电力企业的舆情预测应用目前基本上还停留在探索阶段，因此亟需有效的针对电力舆情的预测方法。本文针对电网企业的现状，通过遗传算法对 BP 神经网络连接权值和阈值的有效优化，同时加入关键词影响度因素，构建电力舆情风险评估模型，实现电力舆情风险评估。最后通过实验证明，提出的电力舆情预测模型是有效可行的，可辅助工作人员制定电力舆情的控制决策。

2　舆情预测算法的相关研究与分析

由于 BP 神经网络具有较高的容错能力，且具有自学习能力，能够快速的并行处理数据，重要的是它可以充分逼近任意复杂的非线性关系[5-6]，我们选择 BP 神经网络作为舆情预测模型。但是传统的 BP 神经网络是一种局部搜索的优化方法，它要解决的是一个复杂非线性问题，网络的权值是通过梯度下降调整的，这样会使得算法陷入局部极小值。

在网络舆情预测的研究中，基于 BP 神经网络进行预测的研究显示出了很高的应用价值。如文献[7]利用结合遗传算法和模拟退火算法的启发式搜索算法对 BP 神经网络进行优化，既能充分地拟合舆情信息的非线性关系，又解决了容易陷入局部最小值的缺陷。文献[8]通过改进的粒子群算法优化 BP 神经网络，从而提高算法的全局搜索能力。本文则是基于 BP 神经网络算法的优势，通过定义关键词处理中关键词影响度因子对算法进行优化，同时引入遗传算法对 BP 神经网络进行优化，避免陷入局部最小值，提升最终预测

模型的准确率。

3 相关算法介绍

3.1 BP 神经网络

BP 神经网络具有任意复杂的模式分类能力和优良的多维函数映射能力，从结构上讲，BP 网络具有输入层、隐藏层和输出层，如图 1 所示；从本质上讲，BP 算法就是以网络误差平方为目标函数、采用梯度下降法来计算目标函数的最小值[9-10]。

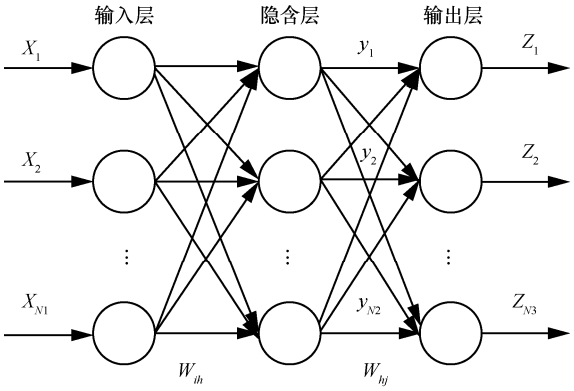


图 1 BP 神经网络结构示意图

通过每一次训练得到的结果，与预想结果进行误差分析，不断修改优化权值和阈值，逐渐得到能输出和预想结果一致的模型。常用的计算步骤如下[11]：

设输入向量为 $x_1, x_2, x_3, \cdots, x_{N1}$；对应的期望输出向量为 $Z_1, Z_2, Z_3, \cdots, Z_{N3}$；$w_{ih}$ 和 w_{hj} 分别为输入层至隐含层的连接权值和隐含层至输出层的连接权值；N_1 和 N_3 分别为输入节点数和输出节点数。

网络初始化。为连接权值 w_{ih}、w_{hj} 及阈值 a、b 赋予 $[-1,+1]$ 区间的随机值。

计算隐含层输出。根据输入向量以及输入层至隐含层的连接权值 w_{ih} 以及隐含层阈值 a，计算隐含层输出 y。

$$y_h = f(\sum_{i=1}^{N_1} w_{ih} x_i - a_h) \qquad h = 1,2,3,\cdots,N_2 \qquad (1)$$

其中，N_2 为隐含层节点数；f 为隐含层激励函数。

计算输出层输出。根据隐含层输出 y，连接权值 w_{hj} 和阈值 b，计算 BP 神经网络预测输出 H。

$$H_j = g(\sum_{h=1}^{N_2} w_{hj} y_h - b_j) \qquad j = 1,2,3,\cdots,N_3 \qquad (2)$$

其中，N_2 为隐含层节点数，g 为输出层传递函数。

1）计算误差。根据期望输出 Z 和网络预测输出 H，计算网络预测误差 e。

$$e_j = Z_j - H_j \qquad j = 1,2,3,\cdots,N_3 \qquad (3)$$

更新权值。根据网络误差 e 更新网络连接权值 w_{ih}，w_{hj}。

$$W_{ih} = w_{ih} + \eta y_h (1 - y_h) x_i \qquad (4)$$

$$W_{hj} = w_{hj} + \eta y_h e_j \qquad (5)$$

其中，W_{ih} 和 W_{hj} 为更新后的权值，η 为学习速率。

更新阈值。

$$a_h = a_h + \eta y_h (1 - y_h) \quad h = 1,2,3,\cdots,N_2 \qquad (6)$$

$$b_j = b_j + e_j \quad j = 1,2,3,\cdots,N_3 \qquad (7)$$

其中，a_h 和 b_j 分别为隐含层和输出层的阈值，η 为学习速率。

7）判断误差是否满足精度要求，若满足，则结束，不满足，则继续迭代计算。

采用 BP 神经网络算法仍具有一定的局限性，如收敛速度慢、容易陷入局部极小值等，因此本文考虑采用遗传算法优化 BP 神经网络权值和阈值计算。

3.2 遗传算法

遗传算法是一种通过模仿自然进化过程搜索最优解的方法，引入选择、交叉、变异和竞争等概念。再利用遗传算法求解问题时，要先将待求的问题进行编码，产生初始种群，接下来按照生物进化的理论，一代一代进化，产生出求解问题的近似解，随着代数不断增加，近似解越来越趋于最优解。在每一代的进化中，根据个体适应度值的大小选择个体，并在基因遗传的帮助下进行交叉和变异，产生出能够表示新的可行解集的种群。最终，将新产生的种群中的最优个体经过解码，得到近似最优解[12-13]。常用的求解步骤如下：

初始化参数。确定参与遗传算法的种群规模，交叉概率、变异概率和进化结束的条件；其次，选择待求问题的编码方式，给出一个有 N 个个体的初始种群 $h(gen), gen = 1$。

计算个体适应度。对种群中每一个个体计算它的适应度：

$$f_i = fitness(h_i(gen)) \qquad (8)$$

若满足结束条件，则停止计算；否则，计算

$$p_i = \frac{f_i}{\sum_{i=1}^{N} f_i}, i = 1,2,3,\cdots,N \quad (9)$$

1）以上述计算得到的概率 p_i 从 $h(gen)$ 中随机选择一批个体构成一个种群，通过交叉频率，得到有 N 个个体的交叉种群，通过设定的变异概率，使个体某些基因发生变异，得到新种群；返回第 2）步继续运行，直到结果满足要求。

遗传算法具有并行性、独立性、可扩展性等特点，适合与其他算法相结合，弥补求解最优解过程中的缺陷，达到良好的效果。

4 模型构建

4.1 网页信息提取模型

由于不同网页信息提取过程中不同类型关键词出现的次数代表该事件在该时段的不同影响以及影响程度。本文提供一种关键词影响度因子，能够评估不同时段关键词的影响程度，将网页关键词的影响度引入预测模型的输入，优化预测准确率。该关键词影响度与关键词在文本中的出现次数正相关，与出现该关键词的网页个数负相关，制定影响力计算公式如下：

$$E_i = p_i \times \log \frac{m}{M} \quad (10)$$

其中，E_i 为关键词 kw_i 对应的关键词影响度，p_i 表示该关键词在本次网页爬取中的出现频率，m 表示搜索网页总的文本数，M 表示包含该关键词文档的个数，$i \in (1,2,\cdots,n)$，n 为特征关键词总个数。

4.2 遗传算法优化 BP 神经网络预测模型

对于 BP 神经网络来说，输入层的神经元个数由输入信息决定，输出层神经元个数由输出信息决定，因此对 BP 神经网络进行优化主要是针对连接权值及阈值进行优化[14-15]。

针对电力舆情风险预测，利用遗传算法优化 BP 神经网络模型示意图如图 2 所示。

针对本文舆情预测场景，结合关键词影响度因子，模型训练主要步骤如下：

1）采用历史已知风险的舆情信息作为训练样本集；

2）根据关键词 kw_i 的影响度 E_i，计算带属性的输入信息 $a_i = kw_i \cdot E_i$，定义 $x = \{a_1, a_2, \cdots, a_m\}$ 为一个待分类项，$i \in (1,2,\cdots,m)$；确定舆情风险评估级别集合 C 作为目标输出，舆情风险严重程度与 C 取值成正比。

3）种群初始化。采用二进制编码的形式，则每个

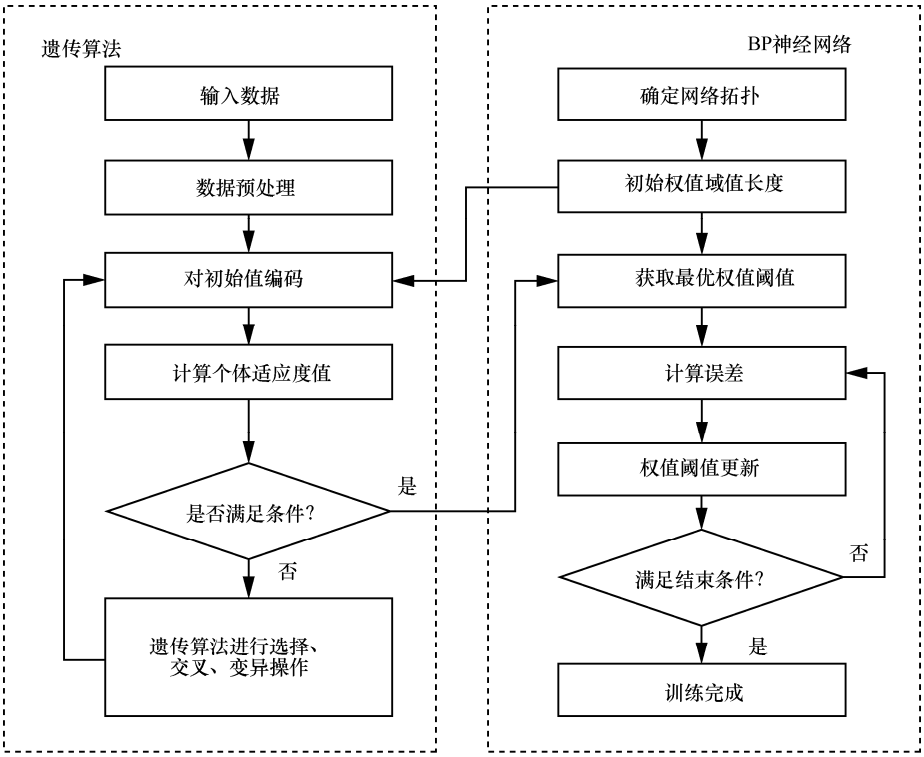


图 2　遗传算法优化 BP 神经网络示意图

个体均为一个二进制串，由输入层与隐含层连接权值、隐含层阈值、隐含层与输出层连接权值、输出层阈值四部分组成，每个权值和阈值采用 Q 位二进制编码。假设输入层有 K 个神经元，隐含层有 R 个神经元，输出层有 L 个神经元，则染色体长度 S 为：

$$S=(K+1)\cdot R+(R+1)\cdot L \tag{11}$$

4）适应度计算。将预测样本的期望输出值与预测值的之间的误差绝对值之和作为个体适应度值 F。

$$F=\varepsilon(\sum_{i=1}^{L}Abs(y_i-o_i)) \tag{12}$$

其中，ε 为系数，L 为输出节点数，y_i 为 BP 神经网络第 i 个节点的期望输出，o_i 为实际输出。

5）选择、交叉和变异。选择采用基于适应度比例的选择策略，交叉操作方法采用实数交叉法，变异采用随机方法选择发生变异的基因。

6）重复适应度计算和选择、交叉、变异步骤，将优化后的连接权值和阈值作为 BP 神经网络的初始权值和阈值。

7）将训练样本集数据传输至输入神经元，采用优化后的权值、阈值，开启 BP 神经网络训练。

5 实验评估

本文实验数据为国网某电力公司在 2021 年 2 月 5 日至 2021 年 7 月 31 日期间抓取的电力舆情监测数据 1260 例。以其中 80%的数据作为训练样本集，其余作为测试集。以 2021 年 7 月 16 日某市停电事件的数据样本作为具体样例进行说明。

实验内容：

（1）通过网页爬取共抓取某市停电网页共计 560 例，抓取信息示例表 1 所示：

表 1 新闻抓取示例

序号	新闻标题	新闻来源
1	**市大面积停电，来看你家几点恢复？	腾讯新闻
2	事关里子，**市“关键时刻停电”何时告别？	腾讯网
3	**市频繁停电根源何在？	搜狐网

（2）统计关键词影响度在停电事件发生后一周内的变化趋势，基于该次停电事件共计获取关键词 221 个，影响度变化如图 3 所示；

基于遗传算法优化的 BP 神经网络算法构建电力舆情风险评估模型，实现舆情风险评估，以舆情监测数据样本集 1008 例为训练样本集，252 例为测试样本集，以关键词和相应关键词影响度比例乘积为输入神经元数值，训练样本集所构建的训练样本即输入层神经元共计 920 个，输出神经元 $C=\{0,1,2,3\}$，代表舆情风险的 4 个严重程度，即：轻微，较重，严重，特别严重。隐层神经元初始 300 个，隐含层传递函数选择 S 型函数“tansig”，输出层传递函数选择”logsig”，学习率为 0.05，动量因子为 0.9，训练目标误差为 0.01。遗传算法种群大小为 60，最大遗传代数为 20，变量的二进制位数为 12，交叉率 0.7，变异率 0.01，代沟 0.95，权值变化范围 $[-1,+1]$ 。

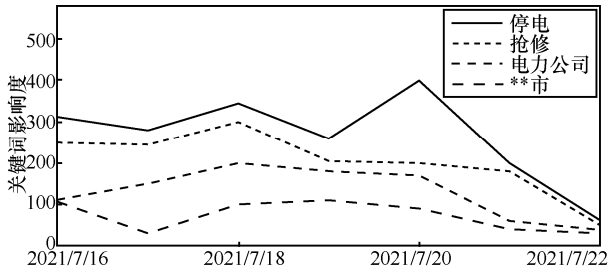


图 3 关键词影响度一周内的变化趋势

最终隐层神经元稳定为 72 个，输出神经元代表的 4 类输出结果，代表风险的不同级别，以 252 例测试样本集数据投入基于训练样本集构建的电力服务舆情风险评估模型，获取舆情风险评估测试结果如下所示：

表 2 舆情风险评估测试结果

预警正确率/%	91.44%
训练耗时/s	20583
测试耗时/s	24

6 结束语

在当下互联网信息化技术高速发展的时代，信息具有爆发态势，且舆情作为大众对社会热点问题的反馈，带有强烈的个人主观色彩，极易向不确定方向演变，严重情况下可对个人甚至企业造成不易挽回的危害，电力作为关系国计民生的行业，电力企业仍然面临较大的舆情风险。

针对以上问题，本论文提供了一种基于优化 BP 神经网络的电力舆情风险评估模型，首先，为提升模型预测准确性，优化输入神经元输入信息，针对网页提取的关键词，提出一种关键词影响度因子，并引入

模型输入；随后基于遗传算法优化 BP 神经网络预测方法，构建舆情风险评估模型，提升模型预测的准确性，有效实现电力舆情风险评估。最后通过实验证明，提出的电力舆情预测模型是有效可行的。

参考文献：

[1] 张吉荣. 基于危机管理的电力企业舆情风险控制[J]. 当代电力文化, 2016(4): 56-57.

[2] 曾振东. 基于灰色支持向量机的网络舆情预测模型[J]. 计算机应用与软件, 2014, 31(2): 300-302, 311.

[3] 魏德志, 陈福集, 郑小雪. 基于混沌理论和改进径向基函数神经网络的网络舆情预测方法[J]. 物理学报, 2015, 64(11): 110503.

[4] 王昌达, 王茜仪. 基于主成分分析的网络舆情快速预测方法[J]. 数据通信, 2016(5): 36-39, 47.

[5] LI H C, ZHOU K Q, MO L P, et al. Weighted fuzzy production rule extraction using modified harmony search algorithm and BP neural network framework[J]. IEEE Access, 2020, 8: 186620-186637.

[6] TANG S Y, YU F F. Construction and verification of retinal vessel segmentation algorithm for color fundus image under BP neural network model[J]. The Journal of Supercomputing, 2021, 77(4): 3870-3884.

[7] 张华. 基于优化 BP 神经网络的微博舆情预测模型研究[D]. 武汉: 华中师范大学, 2014. ZHANG H.

[8] 游丹丹, 陈福集. 基于改进粒子群和 BP 神经网络的网络舆情预测研究[J]. 情报杂志, 2016, 35(8): 156-161.

[9] SHAO B, NI C C, WANG J, et al. Research on venture capital based on information entropy, BP neural network and CVaR model of digital currency in Yangtze River Delta[J]. Procedia Computer Science, 2021, 187: 278-283.

[10] CHEN S J, JIANG Q, HE Y Q, et al. A BP neural network-based hierarchical investment risk evaluation method considering the uncertainty and coupling for the power grid[J]. IEEE Access, 2020, 8: 110279-110289.

[11] SU Y, XIE H Y. Prediction of AQI by BP neural network based on genetic algorithm[C]//Proceedings of 2020 5th International Conference on Automation, Control and Robotics Engineering (CACRE). Piscataway: IEEE Press, 2020: 625-629.

[12] NERI-MENDOZA V, LEDENEVA Y, GARCÍA-HERNÁNDEZ R A. Unsupervised extractive multi-document text summarization using a genetic algorithm[J]. Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, 2020, 39(2): 2397-2408.

[13] GHOURI M H, KHAN K B. Radiomic features extraction based on genetic algorithm[C]//Proceedings of 2020 IEEE 23rd International Multitopic Conference (INMIC). Piscataway: IEEE Press, 2020: 1-6.

[14] DING S F, SU C Y, YU J Z. An optimizing BP neural network algorithm based on genetic algorithm[J]. Artificial Intelligence Review, 2011, 36(2): 153-162.

[15] YU F, XU X Z. A short-term load forecasting model of natural gas based on optimized genetic algorithm and improved BP neural network[J]. Applied Energy, 2014, 134: 102-113.

[16] 孙玲芳, 周加波, 林伟健, 等. 基于BP神经网络和遗传算法的网络舆情危机预警研究[J]. 情报杂志, 2014, 33(11): 18-24.

基于云编排的物联 App 柔性开发平台研究与实现

黎亦凡，马琴琴，杨熙载，郭一鸣，蒋伟强，任晓龙
（国网陕西省电力公司信息通信公司，陕西 西安 710004）

摘　要：为了助力国家实现 2030 年“碳达峰”，2060 年“碳中和”的目标，提出了基于云编排的物联 App 柔性开发平台。首先，根据用户权限和提供服务的不同设计了柔性开发平台的系统架构，并介绍了两级平台的功能和作用。其次，阐述了柔性开发平台基于云端组件编排式的低代码 App 开发方法，实现了物联 App 开发的软硬件解耦、业务和技术解耦。最后，展示了物联 App 柔性开发平台的应用成效，实现了物联 App 的高效开发、云端运维、统一管理。

关键词：云编排；组件沉淀；软硬件解耦；跨平台适配性；全生命周期管理

1　引言

物联网[1-5]作为继互联网和移动通信之后的又一次信息通信产业浪潮，推开了万物互联时代的大门，展现了探索前所未有的智能化、系统化的生产模式的可能。物联网与大数据[6-7]、人工智能[8-9]、5G[10-11]等新一代信息通信技术深度融合，加速制造业升级，推动制造业向数字化、网络化、智能化演进，催生了大量新产业、新业态、新模式，以智赋能、以智增效，为制造业注入了新动能。将物联网技术应用于电网之中，为国家电网数字化转型赋能，符合能源互联网建设的需求。建设电力物联网，推动电网数字化转型，助力国家实现 2030 年“碳达峰”、2060 年“碳中和”的目标[12]，是电网企业贯彻新发展理念的具体表现。

目前，随着物联网与电网核心业务融合更深入，数字化转型任务也在稳步推进中。将云平台与物联网业务结合，寻找新的突破点，有利于电网数字化转型。电力物联网的业务运行需要通信网络、物联终端设备[13-14]以及物联 App 三者的协同作用。通信网络提供了道路，端设备提供了基础设施，物联 App 用于实现用户的业务需求。随着电力物联网的不断建设，越来越多的业务需求从传统的模式逐渐转移、深化，开始依托于物联终端设备和物联 App 实现业务需求。新一代的智慧物联体系[15]中物联 App 的数量和价值将会越来越大。

融合终端作为边缘物联设备，其应用价值和业务能力依赖运行其中的物联 App 实现。随着物联网建设的不断深入，所承载的业务类型越来越多，传统物联网的 App 开发技术无法适应用户提出新需求的速度，最终导致边缘侧的物联终端设备变成过时的电子垃圾，从而制约了电力物联网设备侧的建设推广。

传统的工业物联网大多采用业务功能相对固定的一体机，其上运行的 App 的开发维护需要硬件厂商深度参与。并且不同类型的物联终端之间硬件类型的差异，导致了物联 App 无法复用，需要针对不同类型的设备进行物联 App 的迁移适配，因此，传统物联 App 在终端设备上的应用效果受终端类型限制，跨硬件平台移植性较差。而在国网的智慧物联体系中，物联管理平台和边缘物联代理如果要实现数据一个源和业务一条线，物联 App 和边缘侧物联终端设备必须要解耦，必将出现某厂商的物联 App 在另一厂商边缘侧物联终端设备上运行的情况，在这一部分，传统的物联 App 领域还是空白。

传统物联 App 开发模式需要专业的开发人员对业务进行系统级代码开发和维护，开发者必须同时具掌握“底层硬件+C 语言+物联体系+业务需求”，开发门槛高，经常出现“产品和人员绑定”现象，限制了参与开发工作的人员数量。这种模式不利于公司由“单一技术驱动”向“技术业务双驱动”的专业能力转型需求。在目前的能源物联网场景下，物联终端设备根植现场工作环境，能够挖掘的业务场景数量大幅增长，而传统物联 App 开发周期以月为单位，简单功能修改

的周期也至少以周为单位。这样缓慢的开发速度，已经不能满足物联网“敏捷轻量、快速响应、迅速迭代”的基本要求，更不能发挥物联网的最大价值。

随着双碳目标提出，电网数字化转型的大势浩浩荡荡，配电物联网建设遍地开花，现有的物联 App 开发模式门槛高、效率低、通用性差、运维难，成为了制约物联网建设高速发展的瓶颈，因此需要寻求一种可以高效开发，快速更新，易于管理的物联 App 开发方法，以达到突破跨硬件平台的约束，增强物联 App 的可移植性，降低开发难度，缩短开发周期，简化运维管理的目的。因此，本文研究设计了基于云编排的物联 App 柔性开发平台。

2 平台框架介绍

App 柔性开发平台针对目前物联 App 应用开发构建难、规模化部署过程繁琐、运维复杂度高等问题，提出了一套通用的、简易的、实践证实的解决方案。

该平台基于云编排技术，具备组件开发、App 开发、引擎下载和运维等功能。用户使用 App 柔性开发平台，可通过拖拉拽组件的方式在云端编排业务逻辑，开发物联 App，并下发到边侧智能终端，实现快速构建物联终端应用 App；同时，该平台实现了多硬件类型运行引擎的适配功能，已完成智芯、华为、南瑞、瑞宝等厂商计算版的开发编译适配；目前，通过 App 柔性开发平台，已经开发了台区运行状态监测、分户漏电自适应管理、配电房安防联动、分支分段线损分析等 13 款物联 App，并部署在天河望江郡 1#配电室、审计局家属院、过街楼 4 组等台区的智能终端,实现台区物联网体系的快速搭建和云边协同。

App 柔性开发平台采用微服务架构开发，基于容器镜像打包，使用数据中心云平台的 CCE 云容器引擎服务完成自动化部署，对应微服务实例和运行虚机节点的关系由 Kubernetes 集群自动分配。

App 柔性开发平台共使用云平台服务器 10 台，如图 1 所示，其中，Kubernetes 集群容器节点服务器 8 台，NFS 服务器 2 台。Kubernetes 集群容器节点服务器中，包含一级 App 柔性一级开发平台容器节点服务器 4 台，二级 App 柔性开发平台容器节点服务器 4 台。

秉持“多点开发，统一审核”的原则，本产品采用一级平台+二级平台的架构，一级平台保留 App 开

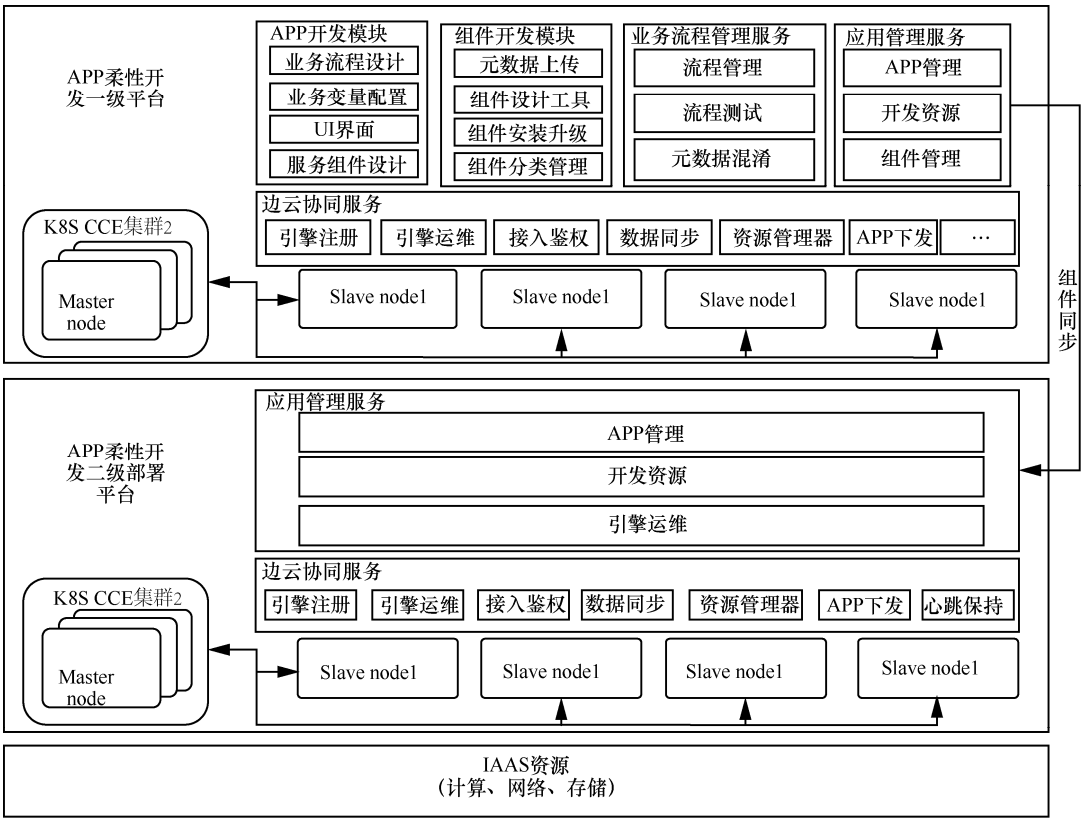


图 1　App 柔性开发平台功能设计

发及组件开发相关功能，二级平台保留 App 部署及 App 运维功能。各网省贡献一级平台的 App 及组件。避免重复开发的同时，在一级平台沉淀的大量 App 及组件，如图 2 所示。其中，一级平台负责物联 App 的审核、共享、更新，审核通过的物联 App 都会保存在资源管理网元中。同时一级平台具有物联 App 历史版本快照功能，每一次更新都会保存历史版本。如果新版本在运行中出现异常，随时可以回滚到稳定运行的老版本。二级平台负责物联 App 的开发、部署。二级平台开发的每一个物联 App 具有 ID 作为唯一标识，在一级平台中，“AppID+版本号”作为每个物联 App 不同版本的唯一标识。二级平台需要下发物联 App 时，可以在一级平台的资源管理网元中检索，选择符合自身需求的物联 App，用户可根据参数文档，结合现场实际情况，实现物联 App 的部署。

采用这样的设计，不仅满足了各网省二级平台间物联 App 复用共享的需求，并且通过参数档案的方式，给二级平台用户预留了一部分可自定义的发挥空间。在现有物联 App 和实际现场需求差异不大，可通过参数档案实现需求的情况下，减少用户更新物联 App 的操作。另一方面，二级平台开发物联 App 时，也要注意在适当的地方暴露可修改的参数，避免将参数写死在物联 App 中，提高通用性。

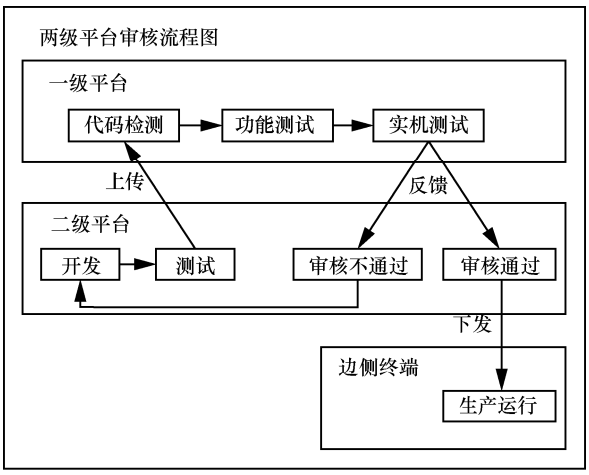


图 2　两级平台审核流程

App 柔性开发平台从网络层面分 3 个区（如图 3 所示）：云端设计开发 VPC，部署开发设计平台，平

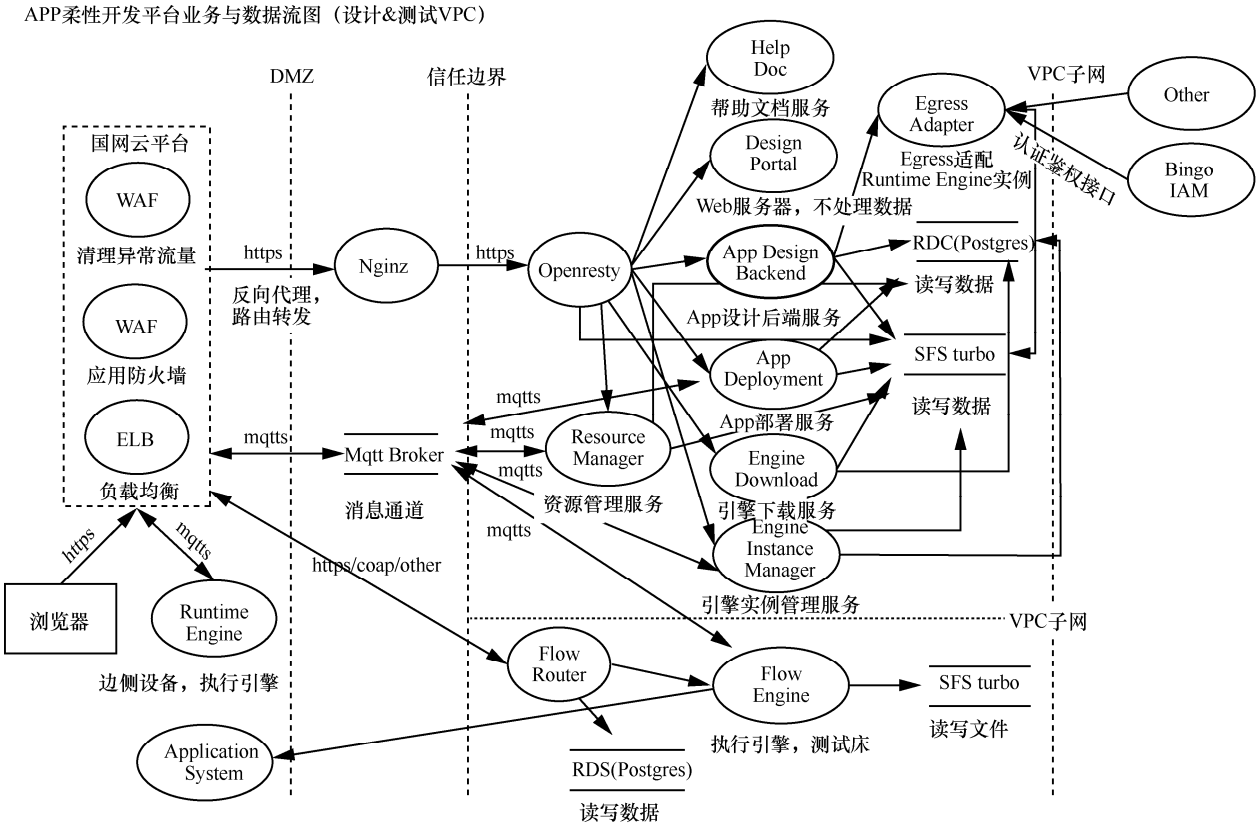


图 3　App 柔性开发平台业务与数据流

台所有的 App 开发设计依赖的功能都放在该区域：测试环境 VPC 内，部署 App 运行引擎，每个租户一个，实现不同的租户在平台上测试环境隔离；生产环境 VPC，大多数是边侧的融合终端，提前预置 App 运行引擎。

3 平台关键技术

本平台通过可视化、可拖拽的 App 应用低/无码化开发技术，并实现跨平台部署，将业务应用由软件功能 App 化演进到 App 生产平台化，使 App 开发从“雕版印刷”向“活字印刷”方向演进，实现物联 App 的可视编排、便捷运维、简易管控。

3.1 软硬件解耦

虽然目前不同厂商生产的物联终端设备种类繁多，但是这些终端底层所用的微处理器体系结构只有 arm、x86 等架构。为了解决不同智能终端硬件之间的差异，本平台开发了物联 App 专用的运行引擎，运行引擎是软件和硬件之间的适配层，该引擎部署在边侧物联终端上，本平台开发的物联 App，在下发到边侧前，会被封装为流程描述文件以及组件包。边侧运行引擎接收后，按照流程描述文件，将组件（代码片段）以搭积木的方式拼合，形成可运行的物联 App。

本平台通过利用运行引擎实现交叉编译的方式消除了不同硬件平台之间的壁垒，使同一个物联 App 可以在不同厂商的终端设备运行，实现了物联 App“一对多”的批量下发功能。目前该平台已经完成智芯、华为、南瑞、瑞宝等厂商计算板的开发编译适配。

基于云编排的物联 App 柔性开发平台通过运行引擎的设计实现了硬件和软件的解耦，如图 4 所示，统一了标准开发框架，实现了物联 App“一次开发，多处运行”的通用性需求。软硬件解耦降低了设备采购时对厂商的依赖程度，支撑了终端物联设备的规模化部署，推动了物联 App 向具有自学习、自调节、自主自治能力的智慧化方向演进，这也是电网数字化转型的必然趋势。

3.2 业务与技术解耦

本平台借鉴面向过程的思想，提出了“组件拖拽+流程编排”的物联 App 开发云编排新模式。组件，指能实现特定功能、可供调用的、封装完好并正确暴露接口的独立模块。将一些常用的代码片段，封装为可复用的组件，供用户编排使用。流程，指组件之间的数据流向与逻辑拓扑。用户通过编排通用组件之间的流程，以及少量特定功能的自定义代码片段，实现对数据的处理，从而形成针对某业务场景的 App 应用。一个典型的基于云编排的物联 App 开发流程如图 5 所示。

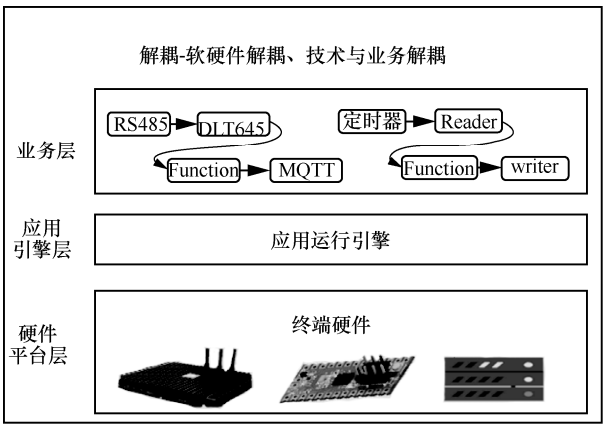


图 4 跨平台适配实现软硬件解耦

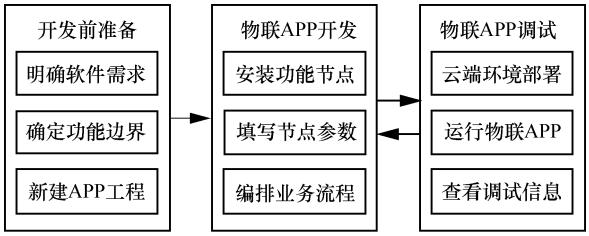


图 5 基于云编排的物联 App 开发流程

由于部分业务的相似性，不同二级平台开发的物联 App 彼此之间存在一定的复用价值。本平台通过专业组件沉淀完成业务模块的知识积累（如图 6 所示），实现了通用业务的组件复用。业务组件基于 Node.js 开发，采用类似 npm 包管理机制的形式，托管在公有组件库中。开发者可根据自身业务场景需求，自行开发、上传业务组件，经审核后将其沉淀到公有组件库，供其他开发者使用，从而实现组件在不同开发者以及不同物联 App 之间的复用。



图 6 基于云编排的物联 App 的组件沉淀

用户在开发物联 App 时，无须关注实现功能的技术代码，只需拖拽业务组件，关注自身业务逻辑的实现即可。通过将业务与技术解耦，更多的业务人员可参与物联 App 开发，降低了开发门槛。组件类型从通用的 switch 切换组件、mqtt 通信协议实现组件，到电力行业专用的 645、698 电表通信协议组件等。本平台通过使用业务组件，实现了用户在常见业务场景中所需的功能，包括电力行业标准通信协议解析组件、设备运行状态监测组件、常用文件类型内容解析组件、数据库 DML 操作组件等。该开发模式实现了业务与技术解耦，降低了开发门槛，加速业务需求响应，使开发效率提升了近 10 倍。

4 App 柔性开发平台功能

基于“软件与硬件解耦”和“业务与技术解耦”的双解耦关键技术，本文设计并开发了 App 柔性开发平台，主要包括 App 开发、App 管理、引擎管理、节点开发 4 个功能页面，如图 7 所示，实现了物联 App 从设计开发到实时运维的全生命周期管理。

4.1 App 开发

按照智慧物联体系架构的设计，物联 App 主要部署在感知层的边缘物联代理，能够汇集感知层数据并通过网络层向平台层转发。应用边缘计算技术开发物联 App 可以实现感知层数据就地处理、区域自治和云边协同分析等功能，促进边缘侧数据的智能化应用。App 开发是开发者及用户的使用界面，主要包括业务流程设计、服务组件设计、业务规则、业务变量配置、UI Block 等功能，如图 8 所示，使用户可以根据业务场景对业务组件和节点进行流程化编排、业务逻辑配置实现以及场景运行控制。本平台的物联 App 开发方式使用户专注于业务场景需求，不受本身对底层硬件和 C 语言熟悉程度的限制，简化了物联 App 开发的过程。

4.2 App 管理

App 管理主要用于在 App 开发完成后，实现对物联 App 的下发、删除等远程操作，主要包括 App 批量下发、操作日志、历史版本查询、App 删除、App 业务数据反馈等功能，完成对部署到融合终端设备的物联 App 全生命周期管理。物联 App 的批量下发可以实现物联 App 的规模化安装部署，避免物联 App 在工作现场融合终端的安装调试过程，大量节省人力和时间。操作日志可以迅速地发现物联 App 在融合终端设备的相应操作，直观明了。历史版本查询保留物联 App 所有的历史版本，随时可以查看并回退任一版本的物联 App，减少用户的工作量。App 业务数据反馈可以实时查看物联 App 在终端设备上的运行结果和实时的业务数据，以便于用户随时调试物联 App，实现远程运维。

4.3 引擎管理

运行引擎提供屏蔽硬件差异的 JS 引擎，安装在融合终端设备中，作为物联网应用的运行容器执行开发工具编排输出元数据的软件功能实体，负责物联 App 的运行及业务就地处理。引擎管理主要包括引擎操作、引擎搜索、物联 App、业务数据下发、运行引擎信息等功能。引擎操作可以实现终端设备上的引擎管理。运行引擎信息包括引擎的类型、状态、位置、运行时长、启动时间、设备名称及编号等详细信息，使用户对运行引擎的详细信息全面掌握，结合引擎搜索功能，可以迅速定位特定的运行引擎，实现对运行引擎的批量管理。

4.4 节点开发

节点开发主要包括元数据上传、原生代码、开源节点、节点设计工具、安装升级等功能，用于开发可复用的编排节点，降低开发难度，实现业务需求的快速响应。开源节点可以使用户在节点开发界面对节点的源代码进行下载，实现节点的共享。安装升级功能可以将节点保存在节点仓库中，并随时对物联 App 中的节点进行安装更新。节点开发可以使用户将特定功能封装在组件中，并正确暴露接口，供物联 App 开发用户调用，实现了业务和技术的双解耦，业务人员和技术人员分别专注于物联 App 开发和节点开发。

5 平台应用成效

世界进入工业 4.0 时代，物联网技术历经多年，已然开始走向推广的步伐。云编排技术助力物联 App 开发及运维，任何有物联 App 开发需求的场景，都具有体现云编排技术的潜力，产品前景广阔。基于云编排物联 App 应用开发方法，已经成功开发台区运行状态监测、配电房安防联动、停电事件告警、无线网络通信质量监测、分支分段线损分析、漏电流监测、通用交采数据采集等 13 套物联 App。目前，13 套物联 App 稳定运行于汉中、宝鸡试点台区，以及临潼、耀州数字化县建设试点应用，已取得以下成果。

（1）物联 App 高效开发运维，经济效益显著

目前，物联 App 柔性开发平台通过基于云编排的“组件拖拽+流程编排”开发方式，提高了开发人员的效率，减少开发的时间成本。以电能质量监测为例，传统物联 App 开发平均需要 23 人/天，通过云编排技术，仅需 2.5 人/天，即可完成开发，若以开发成本 2100 元/人天计算，仅此一个 App 开发节省人力资源 43050 元。目前基于该平台开发的物联 App 已经在试点台区运行的 13 套物联 App 共计节约投入 42.64 万元。

同时，云端运维的实现，减少了人员需要到现场运维的次数，一次现场运维的车船及人员时间的成本，若以 600 元/人次计算，一人一次运维 10 个台区，一个月运维一次，陕西全省九万多台区，若能全面应用，经济效益将以千万计。从经济效益上看物联 App 柔性开发平台极具推广价值。

（2）数据灵活获取，孵化数字化台区经理

高效的物联 App 开发方法，为海量数据的获取，以及上层应用的建设，都提供了有力支撑。本平台开发的物联 App 下发到边侧，完成边侧数据和事件上报，借助物联 App 采集的多源多类型的数据，孵化孕育的数字化台区微应用，集合数据集成了台区设备状态监测、用能数据采集、特殊事件上报等功能。可以将信息直观地显示到监测界面中。同时减少一线员工运维压力，节省人力。

（3）边缘计算，实现台区拓扑自动识别

通过本平台，实现拓扑自动识别算法，通过采集和分析台区所有智能开关的电气和通信数据，计算拓扑结果并自动成图展示，满足配电网高级应用的基础要求，提高“电网最后一公里”

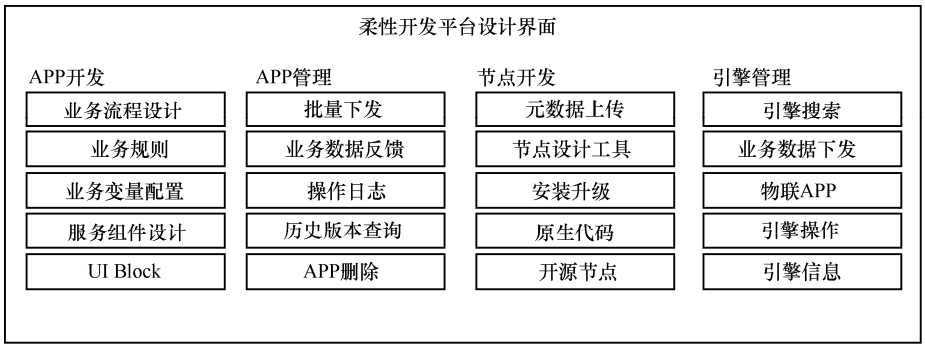


图 7　App 柔性开发平台功能结构

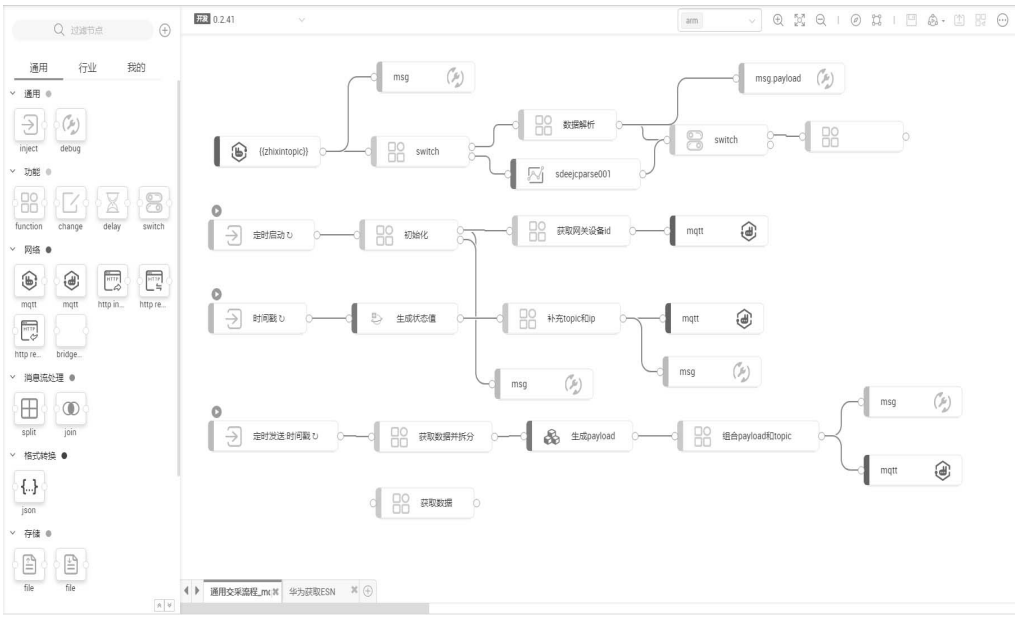


图 8　物联 App 开发界面

的供电服务能力，提升供电可靠性，结束配网拓扑依靠手工维护的时代，实现数据多跑路，人员少跑腿。

（4）精准定位，配网物联感知一张图

利用图数据结构与实际电网在结构上的一致性、表达上的自然性、展示上的直观性等特点，结合 PMS、GIS 等静态信息，以及物联 App 采集的动态信息，进行断线故障定位、供电区域影响、潮流计算、供电路径等数据融合算法开发，融入供电路径查询、停电范围精准分析等多种高级功能，实现配网物联感知一张图。

（5）全面感知，实现物联全景状态监测

针对智慧物联体系云管边端各个层级的资源、网络、服务及数据链路状态信息进行全景监测和诊断分析，目前已实现了对平台层以及感知层相关组件、网络、服务、日志的实时监控，补足了目前智慧物联体系实时感知与运维支撑的缺失项。

6 结束语

本文提出了一种基于云编排的物联 App 柔性开发平台，具备节点开发、App 开发、引擎下载和运维等功能。App 柔性开发平台可通过“组件拖拽+流程编排”的方式在云端编排业务逻辑，实现快速构建物联终端应用 App，具备敏捷开发、跨厂商终端自适配优势。通过将技术代码沉淀为业务组件，提供了各种典型业务应用模块，模块化开发提升了 App 应用的健壮性，同时缩短了 App 开发周期，实现 App 快速迭代开发。该平台借助“业务和技术解耦”和“硬件和软件解耦”的双解耦技术，实现物联 App 开发的多终端通用性和业务实现便捷性，降低开发门槛，加速业务需求响应。物联 App 开发平台可适配多种硬件类型的边侧运行引擎，支撑边缘物联设备的规模化部署，易于推广，试点地区 13 套物联 App 长时间的稳定运行，证明了该方法的有效性。

参考文献：

[1] 魏可情, 徐群, 林枫, 等. 基于电力物联网的配电系统智能技术分析[J]. 电子测试, 2021(12): 78-79.

[2] 沈梦雪. 泛在电力物联网关键技术及其应用前景研究[J]. 电工技术, 2021(10): 95-96, 99.

[3] LAUBHAN K, TALAAT K, RIEHL S, et al. A low-power IoT framework: from sensors to the cloud[C]//Proceedings of 2016 IEEE International Conference on Electro Information Technology (EIT). Piscataway: IEEE Press, 2016: 648-652.

[4] HEBLE S, KUMAR A, PRASAD K V V D, et al. A low power IoT network for smart agriculture[C]//Proceedings of 2018 IEEE 4th World Forum on Internet of Things (WF-IoT). Piscataway: IEEE Press, 2018: 609-614.

[5] SONG F, ZHU M Q, ZHOU Y T, et al. Smart collaborative tracking for ubiquitous power IoT in edge-cloud interplay domain[J]. IEEE Internet of Things Journal, 2020, 7(7): 6046-6055.

[6] 朱辉, 张玉朋, 崔克刚. 基于电力大数据技术的泛在电力物联网应用研究[J]. 电工技术, 2021(8): 55-58.

[7] ALBAR A, ASFOOR H, GOZ A, et al. Combining the power of IoT and big data to unleash the potential of digital oil field[C]/ Proceedings of International Petroleum Technology Conference. International Petroleum Technology Conference, 2019.

[8] 王爱玲, 许运华. 基于深度学习的泛在电力物联网应用场景分析[J]. 电工技术, 2021(4): 67-69.

[9] MAKKAR A, KUMAR N, GUIZANI M. The power of AI in IoT: cognitive IoT-based scheme for web Spam detection[C]//Proceedings of 2019 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI). Piscataway: IEEE Press, 2019: 3132-3138.

[10] 郑军荣, 李元九, 张宏坡, 等. 5G 通信与电力物联网的融合应用研究[J]. 通信电源技术, 2021, 38(4): 120-122, 125.

[11] 熊轲, 张锐晨, 王蕊, 等. 5G 助力电力物联网：网络架构与关键技术[J]. 中国电力, 2021, 54(3): 99-108.

[12] 胡鞍钢. 中国实现 2030 年前碳达峰目标及主要途径[J]. 北京工业大学学报(社会科学版), 2021, 21(3): 1-15.

[13] 方鹏, 高志勇. 配电智能融合终端安全防护技术研究[J]. 电工技术, 2021(9): 137-139.

[14] 刘浩,赵伟,温克欢.低压配电台区模组化智能融合终端构建方案与实现[J].电测与仪表，2021：1-9.

[15] 翟伟华, 范柏翔, 刘怡, 等. 基于电力智慧物联体系的业务场景体系构建及应用研究[J]. 电工技术, 2021(9): 135-136, 139.

基于云计算的平台应用双活、多活研究与设计

孙建刚，刘月灿，王怀宇，张靖雯，窦祎楠，韩淑宇
（国家电网有限公司信息通信分公司，北京 100761）

摘　要：云平台作为支撑公司数字化转型核心基础平台，公司搭建的阿里及华为专有云平台逐步承载公司核心业务系统，这对平台及应用的服务连续性提出更高要求。本文充分分析公司云平台一云多区域的部署架构，结合公司对业务系统灾备能力要求，进行平台同城容灾、异地备份研究设计和云上信息系统同城双活、异地双活及多活的应用设计，提高云平台可靠性及云端业务连续性。

关键词：专有云平台；信息系统；同城双活；异地双活多活

1　引言

数据中心是国家“新基建”的重要领域，按照公司“十四五”发展规划，要求加快公司数字化转型，不断助力公司推进能源互联网企业建设，其中明确要求建设以云平台、企业中台、物联平台等为核心的基础平台，打造能源互联网数字化创新服务支撑体系，建设两级数字化平台。

2020 年公司完成基于“全网一朵云”云平台和数据中台建设，初步实现了 IT 基础资源和数据资源在全公司范围的共享应用。随着公司数字化转型的不断深入，核心业务入云的步伐逐步加快。近些年，各大公有云平台每年均发生不同程度的影响业务的故障，对业务造成了较大影响。在公司现有专有云“一云多区域”架构下，一旦云平台全局管控组件出现故障，将影响全网云平台的使用，存在较大的安全风险。作为支撑公司安全生产和经营管理的新一代信息基础平台，云平台及其承载的业务应用的服务连续性日益重要。因此，基于云平台进行双活、多活技术架构的深化研究，优化云平台运行架构，提升云平台可靠性及云端业务连续性，对于提升公司信息系统在新平台下的数据保护能力与信息安全保障水平至关重要。

2　云计算分类

云计算按照服务的维度分为基础设施即服务（Iaas）、平台即服务（PaaS）及软件即服务（SaaS）。Iaas 主要指云服务厂商提供服务器、存储等硬件设备，Paas 主要是指云服务厂商由向用户提供硬件设备转为以中间件形式向用户提供服务，用户无需关心其使用的是何种类型硬件设备，可直接在提供的平台上进行自己需要的开发。Saas 主要是指用户不需要对提供的服务进行任何其他操作，可以直接进行使用，也不用关心下层的平台和基础设施问题。

云计算按照部署过方案的维度分为公有云、私有云和混合云。公有云通常是指大型云服务商向整个公共互联网提供的云服务，其使用对象是整个互联网的用户。私有云主要是单独企业所搭建的云服务，由于企业自身进行搭建，其数据也由企业自身掌管，安全性很高。混合云主要指针对公有云和私有云的混合，可以利用公有云资源价格低廉的优势，同时又具有私有云数据安全的特点[1]。

目前公司搭建的阿里和华为两家云厂商提供云平台，现基于阿里和华为专有云平台进行平台应用双活和多活的研究设计。

3　云平台部署架构

公司整体为一云多区域架构，其中三地数据中心和部分单位部署的是阿里专有云、部分单位部署的是华为专有云。三地数据中心内外网都部署专有云平台，中间通过隔离装置进行隔离，其他单位只有信息内网部署专有云平台。

3.1　阿里云部署架构

根据公司一朵云的建设要求，当前全网范围内阿里云平台采用一云多区域部署的架构，13 家公司阿里云单

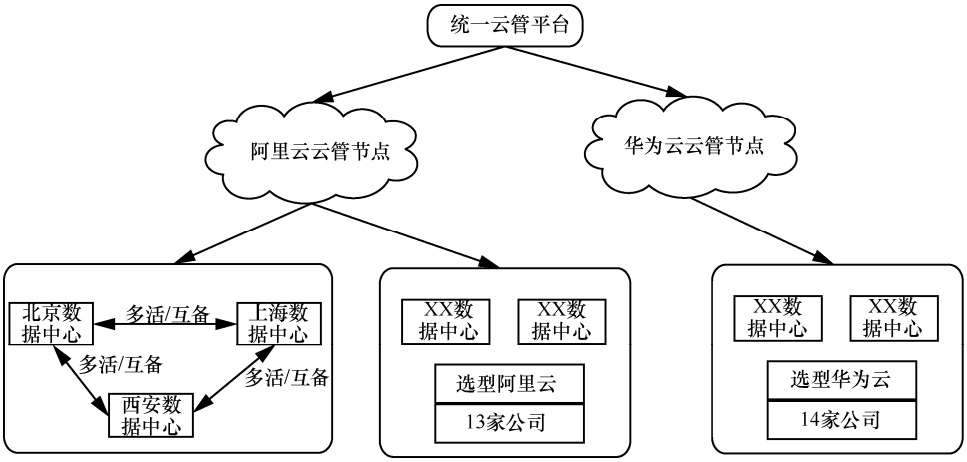


图 1　云平台部署架构图

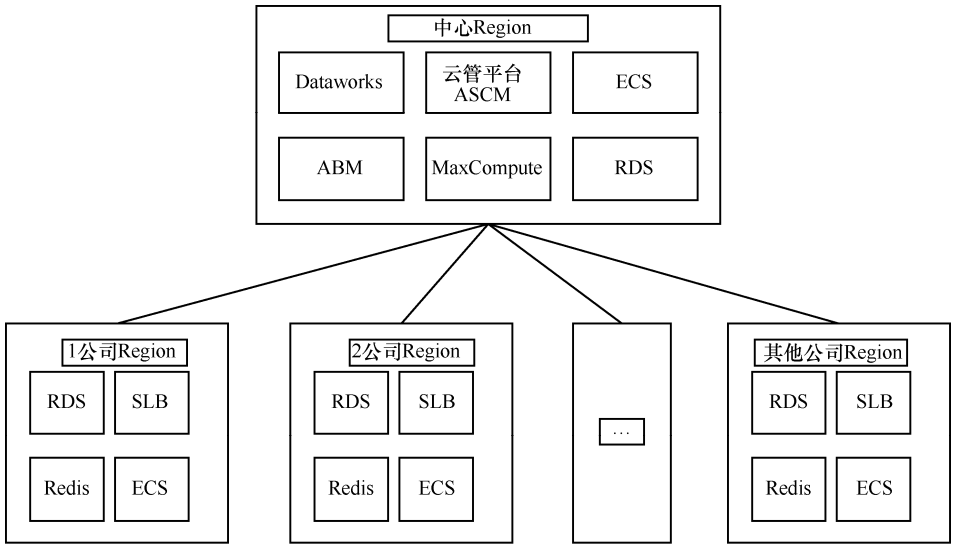


图 2　阿里云平台部署架构图

元区域统一接入公司总部中心区域，在总部侧统一部署云管平台，实现总部监管、本地运营的运作机制。

3.2　华为云部署架构

在云管控层面，根据公司一朵云的建设要求，14 家公司华为云平台统一接入国网总部 ManageOne 运营管理平台，公司仅部署本地运维管理平台，实现云管一级部署、组件本地运维的管理模式。

在云业务层方面，公司独立部署 IaaS 云底座和 PaaS 服务。其中，IaaS 云底座提供弹性云服务器、弹性伸缩、裸金属、镜像等计算服务，云硬盘、弹性文件、对象存储等存储服务，虚拟私有云、弹性负载均衡、EIP、虚拟防火墙、云专线等网络服务；PaaS 服务提供微服务引擎 CSE、云容器引擎 CCE、应用编排引擎 AOS、应用性能管理 APM、分布式消息服务 DMS、分布式缓存服务 DCS 及 API 网关服务 APIG 等。

4　公司业务系统容灾能力分级

4.1　国家相关标准规范

我国国信办在 2007 年出台了《信息安全技术信息系统灾难恢复规范》（GB/T 20988-2007），对灾难恢复业务的稳定发展起到重要的管理和指导作用。标准规定了信息系统灾难恢复应遵循的基本要求，适用于信息系统灾难恢复的规划、审批、实施和管理。

《信息系统灾难恢复规范》对 RTO/RPO 与灾难恢复能力等级的关系比例作了规范要求，各行业可根据行业特点和信息技术的应用情况制订相应的灾难恢复能力等级要求和指标体系。具体指标如下。

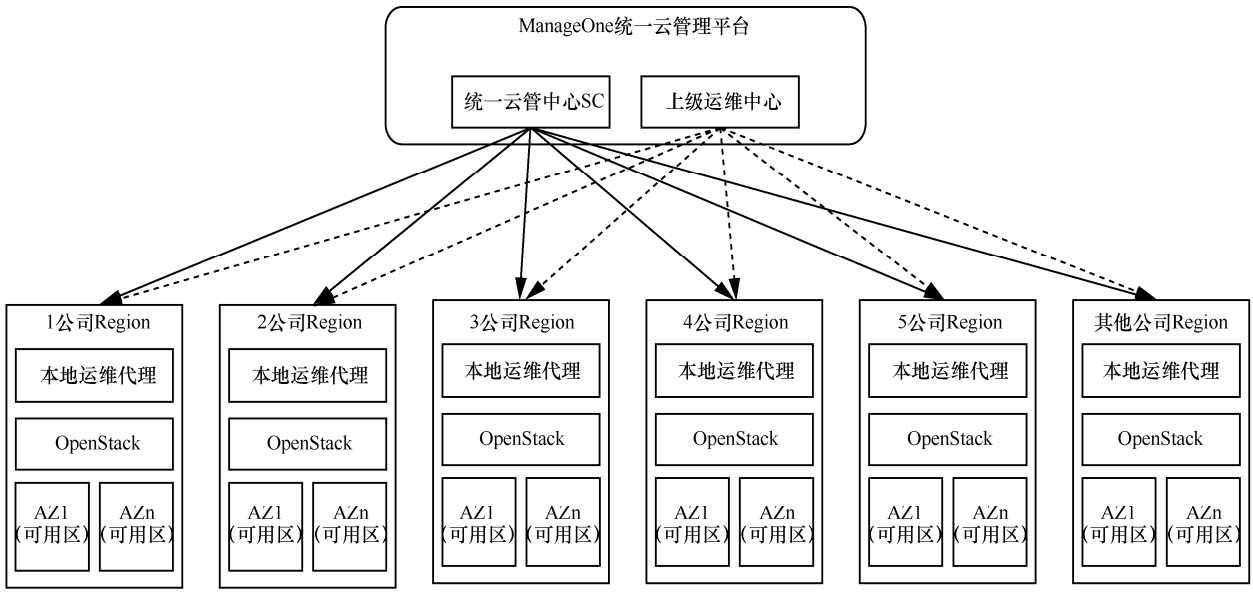


图 3　华为云平台部署架构图

表 1　灾难恢复能力等级要求和指标体系

灾难恢复能力等级	RTO	RPO
1	2 天以上	1 天至 7 天
2	24 小时以上	1 天至 7 天
3	12 小时以上	数小时至 1 天
4	数小时至 2 天	数小时至 1 天
5	数分钟至 2 天	0 至 30 分钟
6	数分钟	0

4.2　公司灾备能力分级与灾备模式

根据灾备顶层设计成果，结合金融行业标准成果，公司将业务系统灾备级别进行了细化，共划分为将信息系统灾备等级分为 6、5A、5B、5C、4、3、2、1 共 8 个等级，并匹配了各灾备级别的容灾模式。

5　云平台和数据中台管控层同城容灾设计

云平台和数据中台管控层同城容灾建设是保障云和数据中台管控的高可用，而云和数据中台其上所承载的业务，按照各业务系统的业务层容灾进行描述。

5.1　阿里云平台和数据中台管控同城容灾设计

阿里云在云平台管控层面支持同城容灾。可在同一个地域的两个机房部署两个可用区，相互独立且互为备份，当一个可用区出现异常时，通过阿里业务连续性管理工具（ASR）切换相关服务的 DNS 指向，将阿里云管控能力切换到备机房，实现阿里云管控平台的高可用。

5.2　华为云平台和数据中台管控同城容灾设计

华为云管平台支持同城容灾。可在同一个地域的

表 2　信息系统灾备等级及容灾模式

灾备级别	RTO	RPO	可用性	容灾模式
6 级	≈ 0	≈ 0	每年非计划服务中断时间不超过 5 分钟，系统可用性至少达到 99.999%。	同城双活
5A 级	<=5 分钟	<=5 分钟		同城双活
5B 级	<=20 分钟	<=5 分钟	每年非计划服务中断时间不超过 1 小时，系统可用性至少达到 99.99%。	同城双活、异地双活、异地多活
5C 级	<=2 小时	<=20 分钟		应用级灾备
4 级	<=4 小时	<=1 小时	每年非计划服务中断时间不超过 10 小时，系统可用性至少达到 99.9%。	应用级灾备
3 级	<=12 小时	<=4 小时	每年非计划服务中断时间不超过 4 天，系统可用性至少达到 99%。	数据级灾备
2 级	<=24 小时	<=24 小时	每年非计划服务中断时间不超过 7 天，系统可用性至少达到 95%。	数据级灾备
1 级	<=72 小时	<=48 小时		数据级灾备

两个机房部署两个可用区，相互独立且互为备份，每个可用区（Region）建设华为云管理平台（MamaneOne），两者之间为主备关系，实现同城容灾保护，当一个可用区出现异常时，通过容灾服务组件（BCManager），切换相关服务的 DNS 指向，将华为云管控能力切换到备机房，实现同城容灾。

6 业务系统同城双活设计

6.1 基于阿里云同城双活设计

在同城双活的场景中，两个中心的业务应用层同时对外提供服务。通过接入层多活组件，承接所有业务流量并按照标签进行路由，实现业务流量的双活管控。应用层面通过分布式服务总线（EDAS）进行双活能力构建，数据库层通过分布式数据库中间件（DRDS）实现 MySQL 数据库的数据同步，数据库层采用主备的模式，主数据库提供读写能力，备数据库提供只读的能力，实现单写双读的服务能力。阿里云平台通过接入层、应用层、数据库层的协同，为云上业务系统的双活部署提供支撑。架构如下：

在同城双活的场景中增加 MSFE 多活接入层，MSFE 的主要作用是：一是提供在线的流量切换控制台，二是可以在线基于应用、分流 ID（routerID）进行应用流量的路由，比如：正常情况下 APP1 的业务流量在中心 A，在特殊情况下可将 APP1 的部分业务流量切换至中心 B。三是中心 B 的应用处理该业务流量，数据同步写入中心 A 数据库。四是在流量切换控制台将中心 B 的业务流程切换至中心 A，中心 A 处理所有的业务流量。

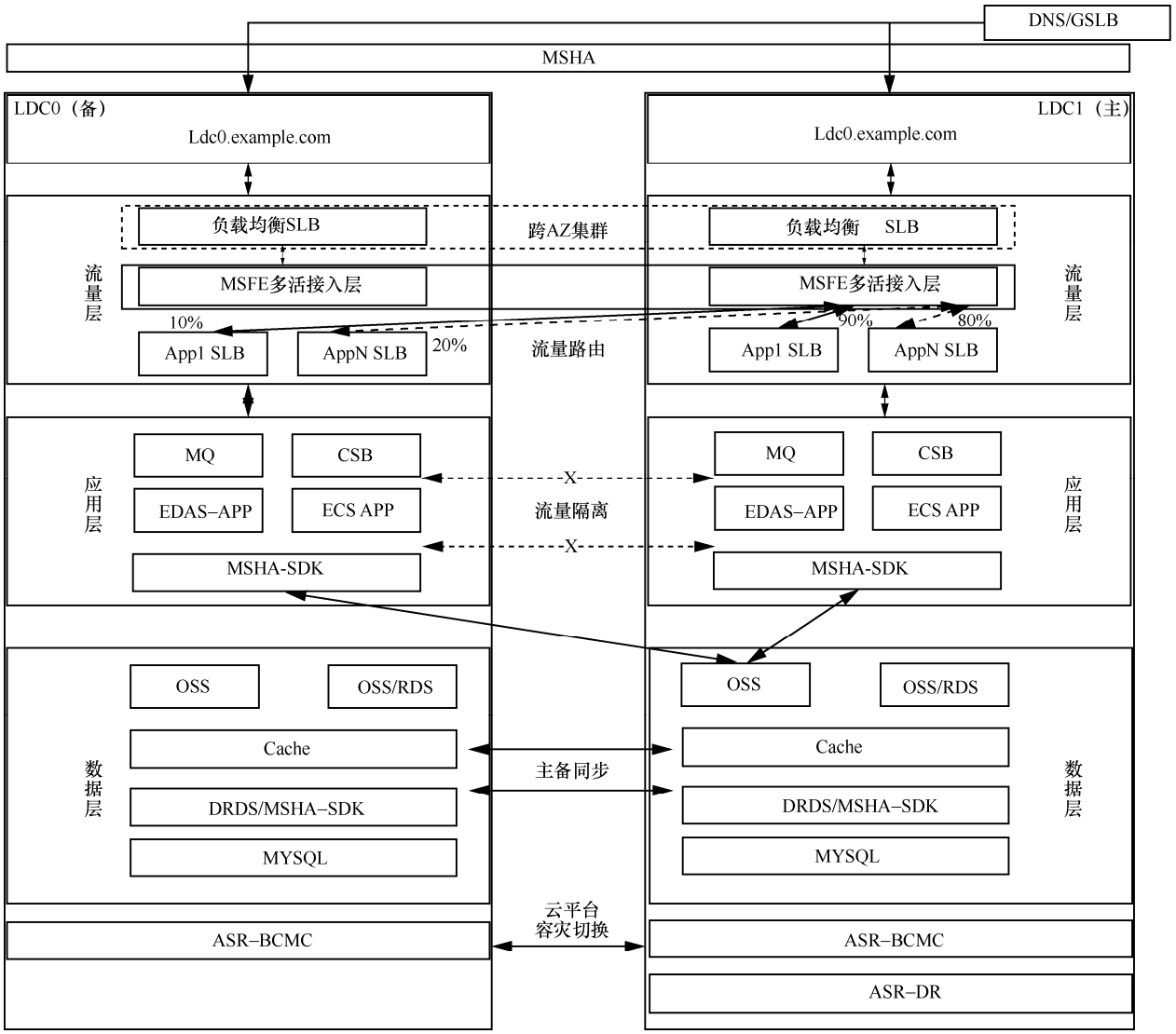


图 4 阿里云同城双活技术架构

基于阿里云同城双活关键技术主要包括多活管控组件和接入层多活组件 MSFE：

（1）多活管控组件

多活管控平台（MSHA）提供多活全程生命周期的管控，包括接入层、应用层、数据层的三层多活数据的管控配置，以及支持多活单元切流等核心容灾操作。接入层接入配置，具备单元分流能力，多层流量分发纠正到正确单元。切流操作，容灾场景及流量调整场景下，快速进行多活全程的流量变更。数据库同步设置，可视化向导式链路创建，多活数据同步的全程界面化展示。单元新增及类型新增操作，支持单元水平扩展和单元类型垂直拓展。元数据同步维护，给单元流量分发判断及数据操作提供基础底层数据。

（2）接入层

目前这层主要是一个基于 Tengine 的多活组件 MSFE。MSFE 需要多单元部署，它能承接所有的单元前端流量，并按照路由规则路由到正确单元的后端应用。多活控制台提供 MSFE 集群新建、扩容、缩容等常规运维能力。独立接入层 VPC，统一接管生产业务区所有前端入口流量，域名寻址，按照请求域名，将流量转到后端的不同 SLB 集群，路由纠错，按照路由参数，将流量引导到正确的单元。

6.2 基于华为云同城双活设计

华为云目前可通过数据库跨可用区高可用的模式，实现对业务同城双活的支撑，业务应用分别部署在两个可用区，可同时承载业务用户访问，跨可用区数据库支持两个数据中心同时访问，数据库层采用主备的模式，主数据库提供读写能力，备数据库提供只读的能力，实现单写双读的服务能力。但缓存、消息队列一致性需业务应用独立解决。架构如下：

业务系统同城双活设计是将同城的两个数据中心规划为一个 Region 的两个 AZ，各部署一套业务系统，通过 GSLB 实现业务访问的负载均衡和故障切换，两个 AZ 业务面三层互通。数据中心内，通过 ELB 实现应用集群的负载均衡和故障切换。数据库集群跨 AZ 部署，数据库节点间网络二层互通，数据库部署 HA 模式，数据库层可故障切换。通过数据库备份，防止数据库出现逻辑错误。

业务系统同城双活设计的约束限制是同城两个数据中心为一个 Region 下的两个 AZ，且 AZ 之间二层互通，距离<100 公里，时延 RTT<1ms。业务系统能将上层应用和后端数据库分离部署，业务系统通过域

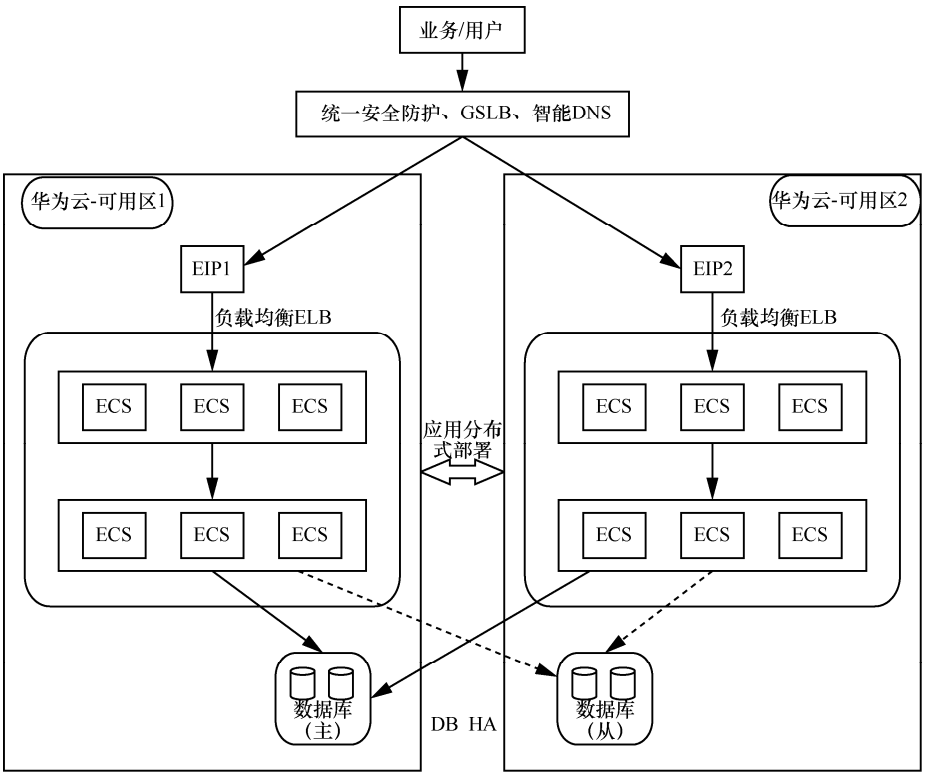


图 5 华为云同城双活技术架构

名访问，应用系统在同一数据中心实现业务闭环，除数据库以外，不支持跨数据库中心调用 PaaS 组件。数据库具备跨 AZ 部署能力，且数据实时同步，具有自动故障切换能力。管理面的故障切换依赖管理面高可用。

7 业务系统异地双活、多活设计

7.1 基于阿里云异地双活、多活建设

用户访问通过 DNS 随机访问到不同的数据中心的多活的接入层，多活接入层根据路由规则对流量进行校验，对不正确的流量进行纠错，重定向到正确到数据中心。应用层采用分布式服务总线（EDAS）根据用户设定，同步两个数据中心的应用服务，同时根据路由规则对不正常的服务调用进行纠错和写入保护。消息层面支持本单元的调用及跨数据中心的远程路由调用。数据库层面分布式数据库中间件（DRDS）根据路由规则进行写入保护，通过双向复制技术（DTS）对两边数据库进行数据的双向复制。整体技术架构如图 6 所示：

用户流量通过 DNS 随机 CName 到相应 LDC 的二级域名，流量进入 LDC 后，进入多活的接入层时，接入层根据路由规则对流量进行校验，对不正确的流量进行纠错，重定向到正确到 LDC，SkyWalker 根据用户设定，同步两边的 LDC 的 HSF 服务，流量打入到 HSF 层，正常服务本 LDC 封闭，同时 HSF 根据路由规则对不正常的服务调用进行纠错和写入保护，消息完成本单元的调用，同时可以配置跨 LDC 路由，DRDS 根据路由规则进行写入保护，DTS 对两边数据库进行数据的双向复制，DTS 根据数据的变更事件，对 Cache 进行失效。

基于阿里云异地双活、多活关键技术主要包括多

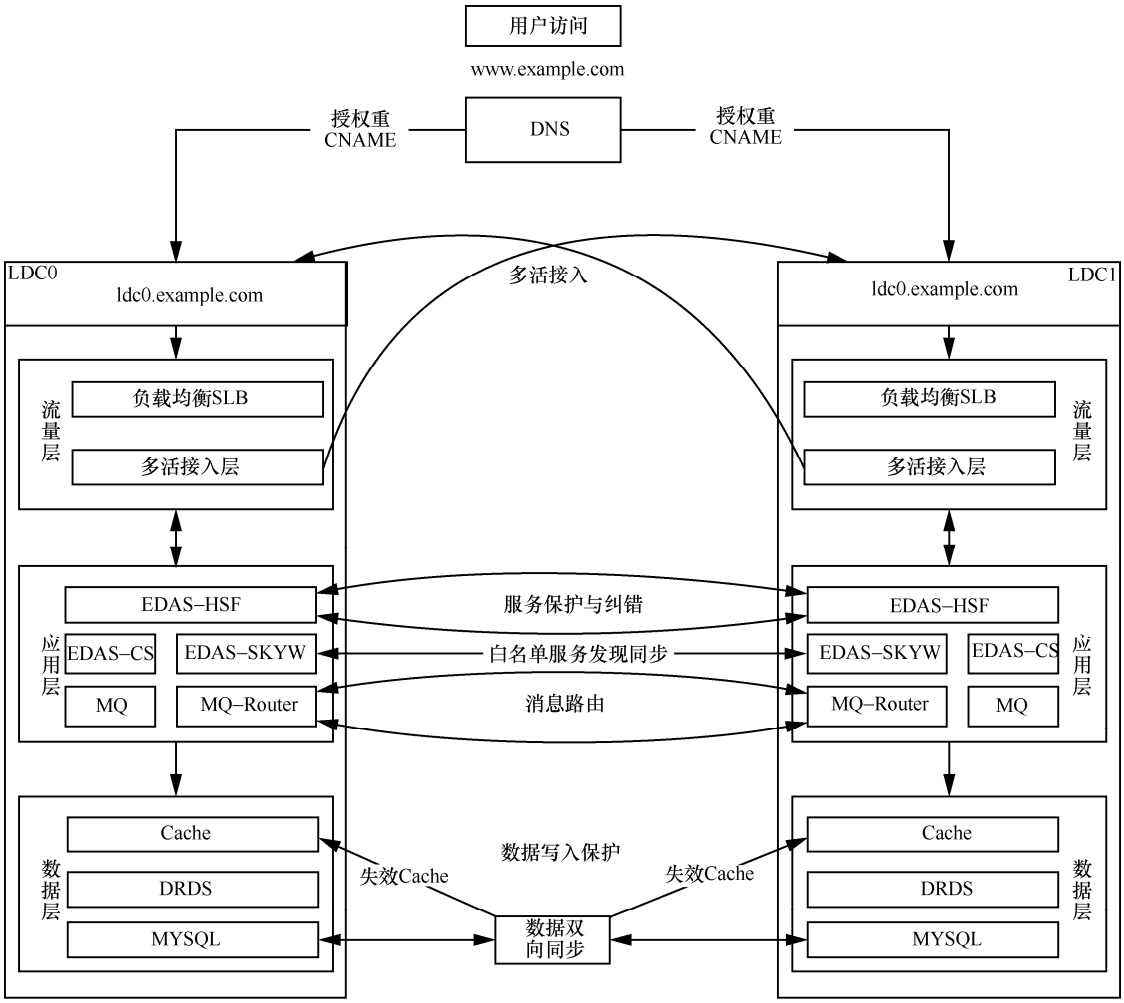


图 6 阿里云异地双活、多活技术架构

活管控组件、接入层多活组件 MSFE、应用层服务消息及数据层相关技术：

（1）多活管控组件

多活管控平台(MSHA)提供多活全程生命周期的管控，包括接入层、应用层、数据层的三层多活数据的管控配置，以及支持多活单元切流等核心容灾操作。接入层接入配置，具备单元分流能力，多层流量分发纠正到正确单元。切流操作，容灾场景及流量调整场景下，快速进行多活全程的流量变更。数据库同步设置，可视化向导式链路创建，多活数据同步的全程界面化展示。单元新增及类型新增操作，支持单元水平扩展和单元类型垂直拓展。元数据同步维护，给单元流量分发判断及数据操作提供基础底层数据。

（2）接入层

接入层主要是一个基于 Tengine 的多活组件 MSFE。MSFE 需要多单元部署，它能承接所有的单元前端流量，并按照路由规则路由到正确单元的后端应用。多活控制台提供 MSFE 集群新建、扩容、缩容等常规运维能力。独立接入层 VPC，统一接管生产业务区所有前端入口流量，域名寻址，按照请求域名，将流量转到后端的不同 SLB 集群，路由纠错，按照路由参数，将流量引导到正确的单元。

（3）应用层-服务

本层使用应用层多活插件，支持服务调用封闭在本单元，支持服务的容错，并确保服务调用的正确性。

（4）应用层-消息

多活场景下，用户按分流规则在单元内完成业务闭环，对消息的使用增加了以下场景：正常情况下，单元用户在单元内发送的消息在单元内消费；非单元化服务，可以在中心消费所有单元的消息；发生切流时，切流部分用户可以在新单元，继续消费在原单元堆积的消息。

技术方案为 TOPIC 增加单元化属性，单元化属性 TOPIC 消息实时双向同步，订阅 GROUP 增加单元化属性，按照单元化属性确定单元消费或是全量消费，单元化 GROUP 的消息位点双向实时同步，切流完成后进行消费位点重置，位点控制程序双边对等部署。

（5）数据层

数据层设计遵循 CAP 理论的保 AP 模型，可以简单概括为：C（consistency）为数据强一致，A（availability）为高可用性，P（partition tolerance）为分区可容忍性。

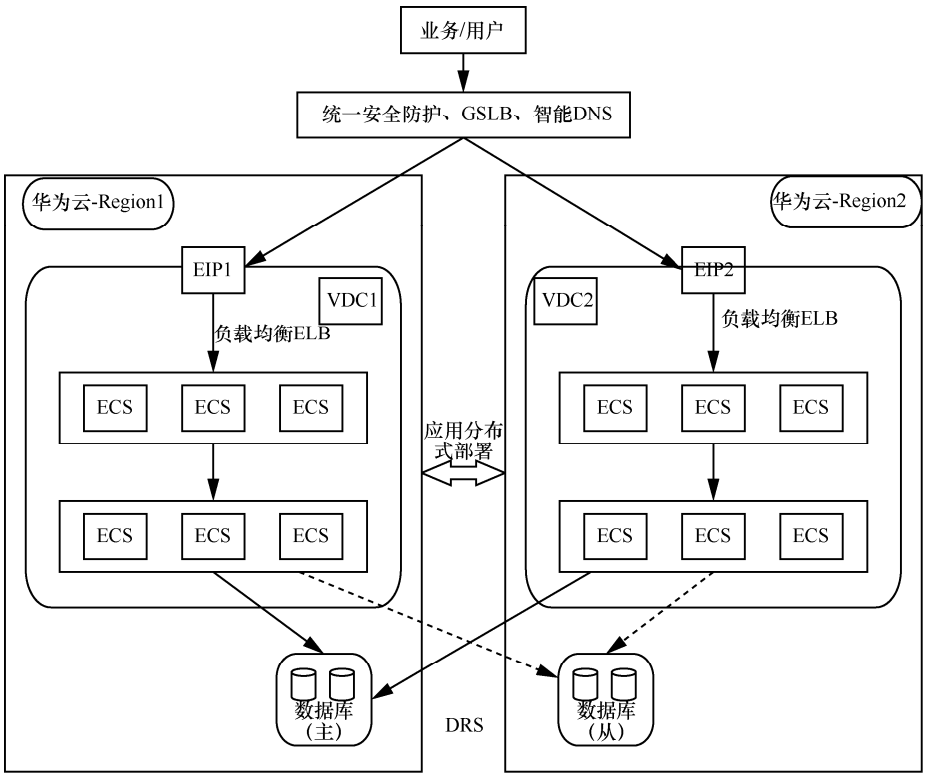


图 7　华为云异地双活、多活技术架构

基于当前业务特性，高可用对于业务来说是至关重要的，同时随着数据量的增长，分区也难以避免，因此对于强一致做了让步，允许数据最终一致性而放弃强一致性。在多活场景中，各个多活单元按照指定的规则承担不同比例的流量写入和读取，同时中心会通过 dts 同步部分数据到各个单元，使得单元具备快速的业务恢复能力，当某个单元出现任何异常不可用场景时，业务流量随时可以切换到其余冗余当前单元数据的正常单元，保障了业务可持续性和稳定性。

数据同步涉及单元化数据（unit）和中心数据（copy），单元化数据（unit）：DRDS 下的 RDS 建立中心和单元双向同步，中心数据（copy）：DRDS 下的 RDS 建立中心到单元单向同步，通过 MSHA 来建立 DRDS 同步链路。

7.2 基于华为云异地双活、多活设计

华为云支持通过 RDS 数据库和数据复制服务（DRS）配合，实现跨数据中心的数据同步，支撑业务异地双活，业务应用分别部署在异地两个数据中心，通过智能 DNS、GSLB 等技术，实现用户按特定分组分别访问不同的数据中心，从而实现异地双活。目前缓存、消息队列跨数据中心同步还无法支持，其数据一致性需业务应用层面解决。

业务系统异地双活、多活设计是同城或异地两个数据中心规划为两个 Region 在各自的 AZ 内部署一套业务系统，通过 GSLB 实现业务访问的故障切换，业务应用需分组，归属不同组的用户请求按照分配原则定向到固定的数据中心，两个 AZ 业务面三层互通。数据中心内通过 ELB 实现应用集群的负载均衡和故障切换，数据库集群跨 Region 部署，数据库节点间三层通讯，数据通过 DRS 数据复制服务进行数据库的双向同步，数据库层可故障切换，通过数据库备份，防止数据库出现逻辑错误。

业务系统异地双活、多活设计约束条件是业务系统能将上层应用和后端数据库分离部署，业务系统通过域名访问，在接入层需要先做用户分组，不同的 region 支撑不同组的业务请求，数据库具备跨 region 部署能力，且数据实时同步，主数据库出现故障，需要手工切换重定向数据库访问，如果数据库集群需要仲裁，则要求两个 AZ 到第三方仲裁站点 IP 可达，时延 RTT<50ms。

8 结束语

面对企业数字化转型趋势，云计算环境在数字化转型中发挥着重要作用，本文充分分析公司阿里专有云和华为专有云的混合部署架构，为了保证平台的可靠性和云端业务的连续稳定性，从平台及应用进行考虑，结合行业内云平台和业务系统先进高可靠设计经验，提出云平台和数据中台管控层同城双活、业务系统同城双活及业务系统异地双活、多活的设计思路，最终实现云平台稳定运行，承载的核心业务系统高可靠，助力公司数字化转型。

参考文献：

[1] 周亮, 徐旭, 张岱, 等. 企业云平台算力开放和运营体系研究[J]. 长江技术经济, 2021, 5(S2): 190-193.

[2] 董亮, 阚新生, 胡伟雄, 等. 云平台安全技术架构研究[J]. 电信快报, 2021(6): 14-18.

[3] 廖崇良. 基于政务云平台的数据中心改造架构设计及关键技术[J]. 科技创新与应用, 2021, 11(14): 107-110.

[4] 陈刘忠, 展亚南, 张旭东. 云平台容灾技术研究与实现[J]. 网络安全技术与应用, 2021(5): 87-89.

[5] 周振. 基于边缘云计算的数据智能云平台技术研究[J]. 信息与电脑(理论版), 2021, 33(9): 25-27.

[6] 海继尚, 朱奕健, 庄彦宇. 主流云平台架构与混合云设计[J]. 电子技术与软件工程, 2021(1): 174-176.

[7] 张云, 何懋, 周帆帆. 基于混合云的医院容灾系统设计与实现[J]. 电子技术与软件工程, 2020(23): 189-190.

[8] 张蕾. 企业微服务分布式体系构建及高可用性探索[J]. 电子元器件与信息技术, 2020, 4(4): 43-50.

[9] 武亚光, 朱克, 吴佐平. 基于 95598 异地双活系统的多级数据复制算法[J]. 电子设计工程, 2019, 27(19): 33-37.

[10] 周原. 异地双活数据中心用户接入划分方法研究[D]. 天津: 中国民航大学, 2018.

[11] 李鹏飞. 云平台下数据备份与恢复系统的设计与实现[D]. 成都: 电子科技大学, 2018.

[12] 董丽昕. OpenStack 集群高可用方案设计与实现[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2017.

[13] 罗兵, 谯英, 符晓. OpenStack 云平台的高可用设计与实现[J]. 计算机科学, 2017, 44(S1): 563-566, 590.

[14] 吴莹. 两地三中心容灾备份系统建设及成效[J]. 金融科技时代, 2016, 24(5): 23-27.

[15] 侯超平, 李春锃. 云计算的高可用性实现技术探讨[J]. 山东工业技术, 2016(2): 269-270.

基于知识流的电力设备知识运营思路

张兴富，郭文钧，夏志鹏，杨勇
（北京中电普华信息技术有限公司，北京 100192）

摘　要：在国家电网有限公司推行数字化转型的关键期，对各式各样、大规模分布的电力设备知识管理就显得尤为重要，建立基于知识流的企业知识运营体系，探索电力设备知识的发现、获取、传递、储存、应用、消亡和再生的过程，形成电力设备知识管理的动态运营思路，促进企业隐性知识转化，完善设备知识运营管理体系，推动知识数字化、流动化，并强化知识赋能基层一线。

关键词：国家电网；知识流；电力设备；知识运营

1　引言

在数字化转型的背景下，随着我国电网规模的逐步扩大、智能电网的不断深入发展，电力系统中的知识量呈现爆炸式增长。传统电气专业与信息化、数字化的不断深入融合，快速形成了诸多跨领域交叉知识。

今年以来，国网公司逐步确立了“一体四翼”发展布局，进而突出主责主业，各部门各单位立足构建以新能源为主体的新型电力系统与服务碳达峰、碳中和目标的大局，推动电网的业务模式从“单一项目制”向“运营+服务模式”转变。面对新一轮科技革命和产业变革趋势，不仅需要针对既有业务痛点的数字化升级方案，更需要持续进行电力设备知识运营，保障推动技术、人才、资金等资源向企业业务数字化转型的发展需求。未来，“平台+数据+运营+生态”一体化发展将成为电网企业发展趋势。

2　国网公司知识运营所面临的问题

随着“十二五”“十三五”经济的快速发展，当前国网公司设备规模持续扩大，截至 2018 年年底，国网公司系统在运 110（66）千伏及以上变电容量 57.5 亿千伏安，比“十二五”末增长 20.6%；110（66）千伏及以上架空线路长度 99.3 万千米，比“十二五”末增长 21.3%，而基层人员增速仅有 5%。面对经济高速发展带来的设备增量，随之还带来了电力设备型号种类各异，新老设备质量参差不齐，部分关键主设备质量不过关，设备全寿命周期管理未有效落地，重实物轻价值的管理惯性依然存在等问题。

国家电网公司自 2010 年 4 月以来，一直高度重视知识管理工作，积极探索知识管理体系建设，通过前后三期建设，完成知识管理系统建设目标，建成了统一综合知识库，促进了知识的统一管理和共享利用。电力设备知识库中集合了大量的专业领域的知识资源，由专业领域专家进行审核和更新。但相关专家资源和精力有限，重点工作焦点集中于电力设备的生产作业层面，难以长期关注知识库的运营情况和广大用户的使用情况。

传统的知识管理信息化项目虽然解决了知识的存储和查找问题，但是没有持续性的解决知识流动和运营问题。以“项目制”为主导的知识管理方式缺乏持续运营优化的产品思维，知识内容主要由专家负责编制，未关注到使用用户的个性化需求。显然，一座座由专家不停审核更新的知识孤岛并不适应当前电网数字化发展的需要，亟须完善设备知识运营管理体系，推动知识数字化、流动化，并强化知识赋能基层一线。

3　知识流理论研究

知识流理论最早由 Teece 等在 20 世纪 80 年提出，他认为企业需要通过利用知识资源吸收、整合、学习和管理的方式，在动态且复杂的经济环境下持续保证竞争力。Hai 认为人与人之间的知识流动有着特定的关系和节点，不仅具有“传播和交换”特性，还具备“方向、内容和载体”等属性特点。董坤等认为知识流动是一个复杂的过程，知识不仅需要完成载体的转换，

还需要从内容上进行整合、增值和再创新。

虽然截至目前随着“知识流”“知识流动”作为知识管理的新兴研究思路，受到了各国学者的广泛研究，但仍然未有统一的概念支撑。知识流动涵盖各行各业，不仅仅在有所应用的专利领域，在传统知识领域，如电力等基础学科知识中仍可以研究应用。

在探索知识流一般的结构过程中，不仅要探索知识本身的属性，还需要对知识“源头-终点”进行解释和预测。第一，知识流具有特定的知识节点，这是知识传播必须的拓扑特征，包含知识的接收者和发送者，从而形成一条简单的知识流动。当知识节点以“点-线-面-立体”的方式流动后，知识的流量会逐步达到峰值，然后逐步回落，最终消失。第二，知识具有异变性，知识流动的方向，随着社会通讯手段的增加而展现出很强的爆发力，知识到了每一个节点都有可能因为知识接收者的自身知识结构而发生变化。在认识论中，个体的知识观是包含对知识来源、知识本体和知识载体的信念的，构建知识场具有情境性。由于这个特性，使知识流动在不同的情境下可能会触发不同的知识流动，知识更新变得更为频繁和富有变化。第三，知识流动的本质是“隐性知识-显性知识-隐形知识”的过程，在 SECI 模型中，显性知识与隐性知识通过社会化、外显化、融合化、内隐化 4 个阶段，支撑知识在不断循环的过程中得到创新和传播。第四，知识流具有时间性，在时间维度中，知识的发现、获取、传递、储存、应用、消亡和再生使得知识永远处在一个动态得过程中。第五，知识流具有客观性，所有知识都不是一尘不变的，不能单独考虑知识本身，还需要对知识流动过程中的客观因素加以考虑，其影响着知识的服务对象和应用载体，促进或阻碍知识的流动。

4 知识在企业中的流动

从互联网思维角度去看，各种人与人、人与物、物与物的交互都会形成一个庞大的信息网络，知识在不同的节点中展现出不同的特征，但最根本的是知识流动的通道变化。通过研究知识在企业中流动的方式方法，可以观测到知识的应用发展轨迹和阶段特征，使知识从企业内外部被发现，到企业内部的发现、获取、传递、储存、应用、消亡和再生有进一步的认识和思考。知识流动阶段特征如图 1 所示。

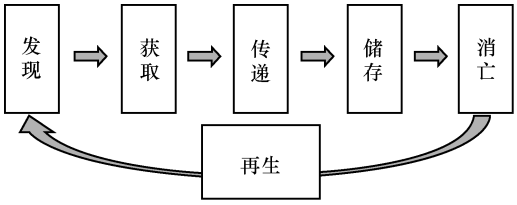


图 1　知识流动阶段特征

4.1　第一阶段的知识流

第一阶段的知识节点是以企业发现知识作为起始，知识属性具有支撑企业发展的特点。从企业外部看，企业从社会环境中广泛接收到的人类已发现的知识都属于外部可获取知识；从企业内部看，企业自身通过观察、研究、分析、实验、总结、存储等方法获得的组织过程资产都属于内部知识。

这两类知识获取的途径都产生了知识流动，形成一个虚拟的知识发送方，通过知识流将知识传递到了企业内部，其中包含各分支个体的知识流动全周期。企业内部获取知识的过程通常对于企业内部来说就是一种创新行为，无论知识发送方的知识结构、理论、语言是否具备直接应用的条件，都会给企业带来新的价值，这是知识可以推动企业发展的重要依据。

另外，外部招聘具有一定经验的新员工也是获取知识的方式之一。员工在一家公司的供职期间，个体与公司之间形成了相互环绕的知识流动周期，知识流动非常频繁。

4.2　第二阶段的知识流

第二阶段是知识流的储存节点。当企业在运营期间，所有在职员工的知识集合和企业内部的组织过程资产共同组成了企业内部知识流体系。所形成的文档、制度、价值观在企业员工中传递融合，并逐步变成企业“基因”长时间存在。

企业知识存量随着企业的体量增大而增大，知识在多年多次的反复传递过程中，往往会受到不同层级接收者的制约，理想状态下任何有益于企业的知识都应该被储存下来，但实际上却困难重重。知识流的客观性阻碍知识创新性的体现。

4.3　第三阶段的知识流

第三阶段是知识的应用节点，到达这一过程的知识已经具备价值属性，无论是员工将自身储备的知识应用到工作场景当中，企业制度标准在实际运营过程中的应用，还是企业价值观在企业内部形成的隐性知识，都是知识的应用。显然，知识应用的场景不能局

限于“知识创新”的部分，更加广义的知识应用，并在应用过程中将知识反复传递融合，才是知识流动中应用过程最重要的节点。

知识流动过程中，从第一阶段的发现、获取，到第二节但的传递、储存，再到第三阶段的应用过程，没有清晰的界限区分。知识流的节点包含时间性的属性。在一段知识流的周期当中，企业使用某一知识所生产研发出的产品或服务与广义下的客户进行互动，并重新启动知识流动，最终应用到某一产品或服务的过程，是知识流动反复叠加应用的过程。

4.4 第四阶段的知识流

在第四阶段，知识逐渐被“新”知识所替代，使知识流在企业中的结束一个完整的知识流生命周期，使知识到达一个传递的终点。

在不同的知识流动模型中，知识的终点受到了主体因素、客体因素和环境因素的影响。主体因素通常指知识来源的主要领域和方向，知识领域决定了知识的最终形态；客体因素使个体对知识的接收应用程度作为考量，从知识隐性-显性-隐性的过程中完成知识流动；环境因素是知识受到外界限制因素，包括政策制度、自然环境、经济科技文化等。

5 电力设备知识运营思路

电力系统是由发电、输电、变电、配电和用电等环节组成的电能生产与消费的系统，其中发电厂有发电机、升压变压器等设备;输电网有杆塔、架空导线、电力电缆等组成;变电部分有变压器、高压柜等设备组成；配电部分由低压柜、配电电缆、线路组成；客户用电由用电设备、家用电器等组成。

在庞大的电网中，基础设施占比达 80%以上，其设备信息、运行规范、故障检测、电力抢修等电力业务中涵盖大量的设备信息、知识内容、专业能力、电工技能，需要将多而繁的电力信息转化成易于传播的结构化显性知识，并通过系统化的学习培训把知识内化成员工的能力，从而有效避免知识延续传统的区域化、师徒化传承，使隐形知识更有效的转变为显性知识，再成为工作中使用的技能，回归到个人的隐形知识中去。能力与技能需要员工将知识内化后产生，知识管理的内容运营要以知识内容为中心，向后发展，到员工吸收为止。电力设备知识运营模式如图 2 所示。

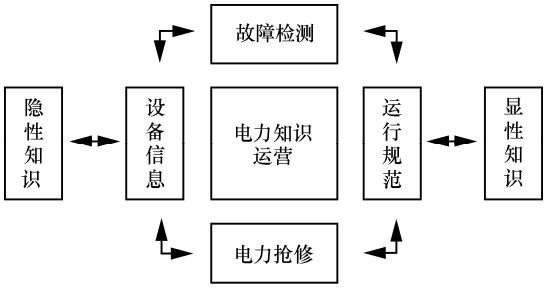


图 **2** 电力设备知识运营模式

运营是将有形的产品进行服务活动的行为，知识运营是将个人/企业知识转变成一种价值服务。知识在个人隐性知识阶段并不能用以运营活动，同样，在如国网公司这般知识密集型企业中，10%服务于电力科学研究的专家拥有超过 70%的电力专业技巧，基层员工则按照规章制度、工作票中的操作规范进行工作，在其内部形成无法进行更多知识传递的知识壁垒，导致组织僵化和知识生产能力下降。所以说知识流动程度是一个企业是否具备创新能力的重要依据。

做知识运营首先要明确面向的对象和运营目标，对知识的运营离不开平台作为载体，对知识内容和平台的整体运营保证了知识流的不断优化与更新。通过搭建企业自有的知识库，并配备知识运营团队加以维护，持续跟进知识在企业中的流动活力，使企业内部开始自发的进行知识传递，逐步建立良好的知识循环创新体系。知识运营思路如图 3 所示。

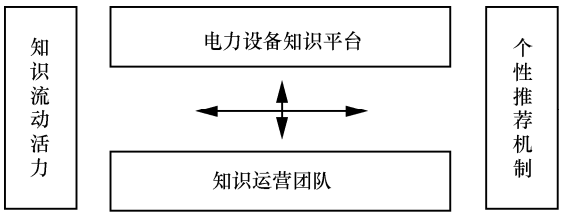


图 **3** 知识运营思路

第一，搭建电力设备知识平台。对电力设备进行梳理，按电压等级分类的特高压、直流、输电、变电、配电、用电；按设备分类分为一次设备和二次设备；按电力场所类型分为发电站、输电线路、变电站、换流站、开闭所、配电房、分支箱等。通过对电力设备的类型分类，匹配电力员工其岗位所在专业的业务类型，可以准确的建立映射关系，支撑电力设备知识库的基础知识和基础用户群体。

第二，组建知识运营团队。知识流在社会实践中会使大部分知识溢出、遗忘和泄露。在知识库的基础

上，拓展运营属性，组建知识运营团队，促进用户在个人知识管理上的节点作用。由于电力员工的专业划分细致清晰，每个员工都有自己做从事的岗位，而岗位所对应的知识互有重叠，因此“个人-岗位-知识”形成一个局部的动态知识运营模式。基于知识库中的基础知识数据，接收者会对已知的知识进行分析思考，融入到岗位工作当中去，将基础知识和个人知识创新传递给同岗位的其他同事，并逐步跨部门进行传递，形成有效的知识流动。

知识运营团队的作用是将每个知识流进行标签化管理，通过知识流的轨迹特征，进行针对知识及知识所涉及的岗位进行知识运营活动，例如生产特定知识话题，知识作者推荐策略，知识竞赛和奖罚措施。

第三，建立良好的知识流动活力。在知识运营过程中，除了对知识本体进行进行互动以外，还需要促进知识作者和知识浏览者之间进行互动。电力知识具有特定设备实体带动特定知识流动的特点，通过知识平台，电力员工个人的隐性知识通过知识平台输出为显性知识，通过良好的分享机制，使其他知识接收者能够更快速的获取特定知识，并使知识作者作为知识的生产者的同时，通过分享机制也成为一个知识的消费者，持续通过知识流动来优化知识质量，促进知识平台从原本的检索平台转变为知识分享平台。

第四，个性化推荐机制，知识存在热点和时效性，知识流动时会在一定时间刺激知识浏览者的知识获取欲望和知识作者的分享欲望。基于这一特点，众多同类知识、资讯平台都基于用户的日常习惯和关注标签进行用户画像的建设，并建立个性化推荐机制。但是在电力企业则略有不同，员工在搜索知识的过程中一般为被动的搜索，工作岗位带来的知识要求推动知识的流动。根据电力设备知识和用户业务特点，通过匹配知识岗位的知识推荐，并加强同岗位专家的知识分享解答，可以使知识平台的知识更具有权威性，这是“集体的”知识，能够广泛传播的重要特点。

6 结束语

知识流理论的发展，使知识不在使静止的“雕塑”，而是动态的“舞者”，每一次知识流动都伴随知识的重构和创新。在电力设备知识领域，静止不动的电力设备蕴含者海量的电力设备知识，这是企业数字化转型的重要推动和有效实践。充分认识到电力基层员工隐性知识的价值，通过知识平台进一步促进隐性知识流动，刺激知识价值输出，创新电力设备知识运营，实现电网公司知识管理生态体系。

当然，知识运营永远没有终点，基于知识流的电力设备知识运营的思考，仅仅提供一种企业中知识运营的模式思考，不同的平台会有不同的运营要素和特点。企业知识运营需要具备开阔的视野，避免由于企业自身的原因使知识管理变为知识枷锁，必要时可以借助外力，共同促进企业知识管理运营体系建设。

参考文献：

[1] 贺芳. 基于知识生态理论的知识服务运营模式研究——知识服务生态系统运营模式[J]. 北京印刷学院学报, 2019, 27(3): 19-22.

[2] 张勇, 徐恺英, 王猛. 基于知识服务的信息生态系统运行机理研究[J]. 学习与探索，2011(4) : 183-185.

[3] ZHUGE H, GUO W, LIX. The potential energy of knowledge flow. Concurrency and Computation: Practice and experience, 2007(19): 2067-2090.

[4] 董坤, 许海云, 崔斌. 知识流动研究述评[J]. 情报学报, 2020, 39(10): 1120-1132.

[5] 朱林, 朱萸, 何沙. 国内外知识流动研究热点对比分析[J]. 四川师范大学学报(社会科学版), 2016, 43(2): 23-30.

[6] TEECE D J. Technology transfer by multinational firms: Theresource cost of transferring technological know-how[J]. The Eco┐nomic Journal, 1977, 87(346): 242-261.

[7] 余以胜, 赵浚吟, 陈必坤, 等. 区域创新体系中创新主体的知识流动研究[J]. 情报理论与实践, 2014, 37(7): 59-63.

[8] 华连连, 张悟移 . 知识流动及相关概念辨析[J]. 情报杂志, 2010, 29(10): 112-117.

[9] 傅柱, 王曰芬, 关鹏. 概念设计知识管理中的知识流研究:以管理过程为视角[J]. 情报理论与实践, 2017, 40(3): 99-106.

[10] 李力, 刘德洪, 张灿影 . 基于知识流动理论的科技论文学术影响力评价研究[J]. 情报科学, 2016, 34(7): 113-119.

[11] 李桂华, 张晓林, 党跃武. 知识服务之运营方式探索[J]. 图书馆，2001(1) : 18-22.

[12] 伍虹儒. 我国区域创新系统知识流动研究[J]. 科技管理研究, 2013, 33(1): 169-173.

[13] 康宇航 . 基于融合创新视角的异质性知识流动网络探测研究[J]. 情报学报, 2016, 35(9): 963-970.

基于智能电网故障定位的终端数字化安全管控技术

庄莉，梁懿，王秋琳
（福建亿榕信息技术有限公司，福建 福州 350000）

摘　要：传统电网智能终端数字化安全管控技术忽略了对智能终端故障管控偏差的修正，导致数字化安全管控效果较差。为此，本文研究新的数字化终端安全管控技术，以期提升智能电网数据的传输速率和故障定位精度。采用北斗导航定位系统及姿态传感器与无线通信技术相结合，实现在智能电网相位比较和故障定位，采用分段线性拟合方法建立 BDS-2 伪距偏差修正模型，修正北斗导航定位系统中的伪距偏差。利用基于 SVM 的图像识别技术，实现终端采集图像的分类、识别，实现智能电网的数字化安全管控。实验结果表明：该技术可完全满足智能电网的数据传输要求，有效提升北斗卫星单频精密单点定位的精度及收敛速度，修正定位偏差，且具有较高的图像分类与识别准确度，数字化安全管控优势显著。

关键词：数字化；安全管控；智能终端；北斗定位；伪距偏差；图像处理

1　引言

大力发展智能电网是社会经济和科学技术相结合的发展趋势[1]，采用电网智能终端数字化安全管控技术可促进智能电网的改进，提高居民生活的满意度[2]。随着移动通信技术的发展和移动设备的普及，数字化安全管控智能终端中也广泛引入移动通信和无线网络技术[3]，目前，大量的电力在线监测、移动作业和运维管理设备均以各种形式的智能终端作为载体，这些电力智能终端以其灵活、便捷、高效及敏捷等特性大幅度提升了电力生产和现代信息化程度[4]。

为提升数字化安全管控智能终端的管控效果，孙卓等研究基于攻击树模型的数字化控制系统信息安全分析技术[5]；刘金周等人研究基于智慧建造的质量安全协同管理技术[6]；这两种技术虽具有一定应用优势，但却不能同时实现定位和图像识别。文献[7]提出了一种基于信任和信誉的灵活数据访问控制方案。引入云计算技术，利用该技术控制电网终端的访问。采用基于属性的加密和代理重加密，增强终端数字化安全管控效果。并将用户信任级别和信誉评估的概念集成到加密系统中，以支持各种控制方案和访问策略。文献[8]设计了基于"互联网+"的大数据输电巡检智能管控平台。选择合适的电网数据采集设备，设计智能巡检终端网络结构，构建输电巡检智能管控平台。利用互联网电子采集点位分布情况，实时监控输电数据的巡检行为，并连接智能串口服务器，实现输电巡检的智能管控。但是，这两种电网终端管控方案忽略了对智能终端故障管控偏差的修正，导致数字化安全管控效果较差。

基于北斗导航定位系统的时空信息综合服务已成为智能电网数字化安全管控智能终端的基础支撑，但是卫星导航系统中存在的缓变伪距偏差，会导致定位精度下降，通过建立伪距偏差模型[9]可有效提升定位精度，然后根据基于智能终端的数字图像识别方法实现对地面环境的自动识别，并转换为相应的文字信息，最终达成自动化信息的录入[10,11]，进一步提升智能电网的安全管控效果。

2　电网智能终端数字化安全管控技术

2.1　北斗导航定位

北斗导航定位系统是空间信息的重要基础设施，也是我国自主研发的全球卫星定位、通信系统，可为全球任意地区用户提供全天候实时服务，且北斗导航定位系统特有的短报文通信能力，可保证定位精度在 5 米以内。同时，北斗导航定位系统还具有双向信息通信功能，可有效保证电力系统应用的稳定，提高电网时间同步精度[12]。采用北斗导航定位系统及姿态传感器与数字化安全管控的无线通信技术相结合，能有

效提升数字化智能终端的时空信息服务效果[13]。

2.1.1 北斗导航定位原理

通常载波、测距码和数据码为北斗卫星发送的导航定位信号，北斗卫星的导航电文涵盖卫星的工作状态、星历、卫星钟运行状态、卫星的时间系统、大气折射和轨道摄动改正、C/A 码捕获 P 码信息的数据码。北斗卫星发射 C/A 和 P 两种伪随机测距码，导航电文是北斗卫星定位的数学基础，此为北斗卫星的定位原理[14]。

北斗卫星的定位原理本质上也是空间的三维后方交会，通过卫星星历计算出三颗卫星在某一时刻的空间三维坐标及接收机观测数据计算的坐标。因为接收机钟差在某一时刻为未知常数，因此需要最少同时观测 4 颗卫星，如图 1 所示：

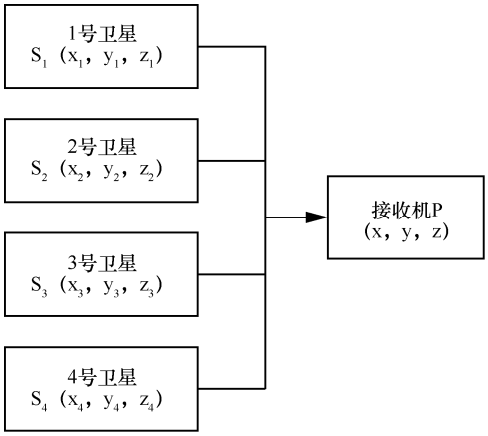


图 1 接收机原理

针对不复杂地势，采用北斗导航定位系统是最好技术手段。接收机转换卫星信号的公式如下：

$$\left.\begin{aligned} P_1^2 &= (x-x^1)^2+(y-y^1)^2+(z-z^1)^2 \\ P_2^2 &= (x-x^2)^2+(y-y^2)^2+(z-z^2)^2 \\ P_3^2 &= (x-x^3)^2+(y-y^3)^2+(z-z^3)^2 \\ P_4^2 &= (x-x^4)^2+(y-y^4)^2+(z-z^4)^2 \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

2.1.2 姿态传感器技术

姿态传感器的旋转坐标如图 2 所示:

姿态传感器坐标旋转公式为：

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_T = kR\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_S + \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{bmatrix} \quad (2)$$

其中，三轴空间内某一固定点的坐标值分别用$[xyz]_T$和$[xyz]_S$表示；传感器的特征参数为 k；坐标经过姿态变化的变化因子为$[\Delta x \Delta y \Delta z]$，坐标与姿态旋转的关系如式（3）所示：

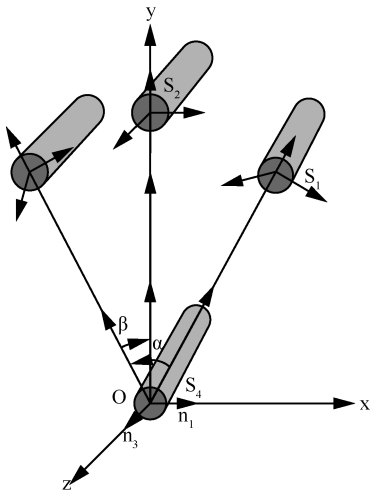


图 2 姿态传感器坐标旋转过程

$$R = \begin{bmatrix} \cos\alpha\cos\beta & \cos\alpha\sin\beta & -\sin\alpha \\ -\sin\beta & \cos\alpha & 0 \\ \sin\alpha\cos\beta & \sin\alpha\sin\beta & -\cos\alpha \end{bmatrix} \quad (3)$$

其中，α 和 β 分别表示坐标变换过程中横轴与纵轴的转动角度，角度变化特征根据传感器角度值的关系获取，转化公式如下所示：

$$\cos\alpha = (1-\cos^2\delta-\cos^2\varphi)^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

$$\sin\alpha = (1-\sin^2\delta-\sin^2\varphi)^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

$$\cos\beta = \frac{\sin\delta}{(\sin^2\delta+\sin^2\varphi)^{\frac{1}{2}}} \quad (6)$$

$$\sin\beta = \frac{\sin\varphi}{(\sin^2\delta+\sin^2\varphi)^{\frac{1}{2}}} \quad (7)$$

其中，δ 和 φ 分别表示某姿态的角度值。通过以上转化过程后，在传感器技术与北斗导航定位系统配合高速移动网络传输技术下，可以在北斗导航定位系统内进行相位比较及系统故障定位。

2.2 北斗伪距偏差修正处理技术

伪距偏差指北斗卫星伪距观测值中存在的一类与卫星相关的系统误差。由于接收机对同一颗卫星计算

的伪距偏差具有一致性，为了降低伪距偏差带来的不良影响，采用分段线性拟合方法建立了 BDS-2 伪距偏差修正模型，该模型可以有效提高北斗卫星单频精密单点定位的精度及收敛速度[15]。

设伪距偏差与角度符合二次多项式函数关系，如式（8）所示：

$$\hat{N}(x)=\alpha_0+\alpha_1 x+\alpha_2 x^2 \tag{8}$$

其中，$\hat{N}$ 表示伪距偏差，x 表示卫星高度角，α_0、α_1、α_2 表示多项式系数。

设观测卫星个数为 b，采样点的高度角个数为 s，同时解算除 GEO 卫星外所有的卫星多项式参数。

误差方程的矩阵形式为：

$$V=Ga-L \tag{9}$$

$$\left.\begin{aligned} G&=\begin{bmatrix}\dot{G}_1^T & \dot{G}_2^T & \cdots & \dot{G}_s^T\end{bmatrix}^T,\\ \dot{G}&=\mathrm{diag}\begin{bmatrix}\ddot{G}_u^T & \ddot{G}_u^T & \cdots & \ddot{G}_u^T\end{bmatrix},\\ \ddot{G}_u^1&=\ddot{G}_u^2=\cdots=\ddot{G}_u^b=\begin{bmatrix}1 & x_u & x_u^2\end{bmatrix},\\ a&=\begin{bmatrix}a_0^1 & a_1^1 & a_2^1 & \cdots & a_0^h & a_1^h & a_2^h\end{bmatrix}^T,\\ L&=\begin{bmatrix}\tilde{L}(x_1) & \tilde{L}(x_2) & \cdots & \tilde{L}(x_s)\end{bmatrix}^T,\\ \tilde{L}(x_u)&=\begin{bmatrix}l^1(x_u) & l^2(x_u) & \cdots l^h(x_u)\end{bmatrix} \end{aligned}\right\} \tag{10}$$

其中，$u=1,2,\cdots,s$；$h=1,2,\cdots,b$；$l^h(x_u)$ 表示第 h 颗卫星在 x_u 处对应的伪距偏差观测值，即 $l^h(x_u)=\hat{M}^h(x_u)$；a_0^h、a_1^h、a_2^h 表示第 h 颗卫星的伪距偏差模型系数。

卫星在 x_u 处的伪距偏差观测值的权阵如下所示：

$$\dot{P}(x_u)=\begin{bmatrix}\delta_1^2 & \delta_{12} & \cdots & \delta_{1b}\\ \delta_{21} & \delta_2^2 & \cdots & \delta_{2b}\\ \vdots & \vdots & & \vdots\\ \delta_{b1} & \delta_{b2} & \cdots & \delta_b^2\end{bmatrix} \tag{11}$$

其中，b 表示 $\dot{P}$ 的行数及列数.

r_{vq} 为第 v 颗与 q 颗卫星之间的相关性系数，计算公式如下所示：

$$r_{vq}=\frac{\sum_{u=1}^{s}\left(\hat{N}^v(x_u)-\bar{N}^v\right)\left(\hat{N}^q(x_u)-\bar{N}^q\right)}{\sqrt{\sum_{u=1}^{s}\left(\hat{N}^v(x_u)-\bar{N}^v\right)^2}\sqrt{\sum_{u=1}^{s}\left(\hat{N}^q(x_u)-\bar{N}^q\right)^2}} \tag{12}$$

其中，$\hat{N}^v(x_u)$ 表示第 v 颗卫星在 x_u 处的伪距偏差；$\bar{N}^v$ 和 $\bar{N}^q$ 表示序列 $\left\{\hat{N}^v(x_1),\hat{N}^v(x_2),\cdots,\hat{N}^v(x_s)\right\}$ 和 $\left\{\hat{N}^q(x_1),\hat{N}^q(x_2),\cdots,\hat{N}^q(x_s)\right\}$ 的平均值，误差方程的观测值权值为：

$$P=diag\begin{bmatrix}\dot{P}_1 & \dot{P}_2 & \cdots & \dot{P}_s\end{bmatrix} \tag{13}$$

其中，12,3,....,s 表示 P 的行数。

不一样的高度和角度范围内伪距偏差变化程度存在着一定的差异，利用分段拟合的方法，控制平差拟合结果在分段点处的二阶导数连续，可有效对卫星进行伪距偏差统一，提升测站的导航定位精度。

2.3 基于 SVM 的图像识别技术

数字图像处理与识别技术是目前国内外的热点研究对象，图像识别技术的应用平台包括个人计算机、移动终端设备与嵌入式终端设备等，图像识别结构如图 3 所示。

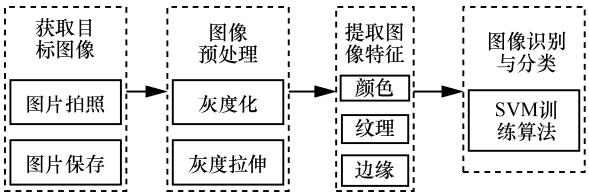


图 3　图像识别结构图

将获取的目标图像进行图像灰度化与灰度拉伸预处理，以此提升图像特征的提取能力，最后采用 SVM（支持向量机）训练算法实现图像的识别与分类。

SVM 训练算法是先通过内积函数定义的非线性变换将输入转换到一个高维空间，求最优分类面，如图 4 所示：

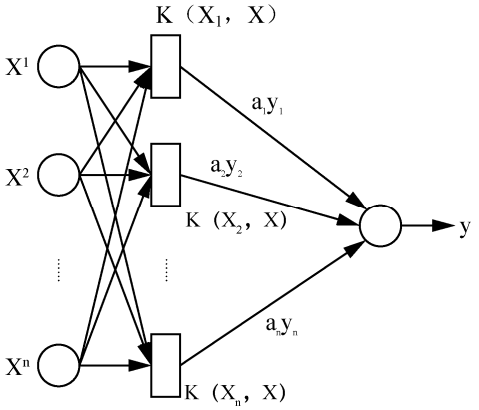


图 4　SVM 示意图

SVM 在向量映射到的高维空间中建立一个最大间隔超平面，在分开数据的超平面的两边建有相互平行的两个超平面，分隔超平面的作用是让平行的两个超平面距离最大化。

有约束的二次型规划问题是标准 SVM 训练算法的最终求解问题，假设样本学习集合为：

$$S=\left\{s_i\left|s_i=\left(x_i,y_i\right),x_i\in R^n,y_i\in R\right.\right\}_{i=1}^{l} \quad (14)$$

其中，y_i 表示 x_i 相对应的类别编号，最小值求解式为：

$$y\left(x\right)=\min\left(w.\varphi\left(x\right)+b\right) \quad (15)$$

其中，$\varphi\left(x\right)$ 表示特性映射，w 和 b 表示待求解的回归参数。

3 实验结果与分析

为验证本文研究的电网智能终端数字化安全管控技术的应用效果，将其应用于某地区智能电网中，从定位、偏差修正以及图像识别三个角度对本文技术进行测试。

3.1 北斗导航定位系统故障定位分析

为了验证本文技术的故障定位能力，对数字化安全管控终端的北斗模块进行测试，模块包括：天线接口，各种信号指示灯，观测精度：C/A 码：10cm，载波相位 0.5mm，初始时间小于 10 秒，大于 99%的初始可靠度，数据格式：NMEA-0183，时间精度为 20ns。

为了增强系统的稳定性，保证实验结果相对真实，设置发送端为通过通用的串口调试程序模拟发送数据包，接收端为北斗接收模块。依据实验设备参数对设备进行发送字节数的判定测试，通过传输速率 60-200 字节/次的传输测试，其结果如表 1 所示：

表 1 字节数发送情况比较

发送 字节数/byte	发送 次数/次	接收 次数/次	丢失 次数/次	误码 次数/次
60	10	10	0	0
80	10	10	0	0
100	10	10	0	0
120	10	9	1	0
140	10	6	4	1
160	10	4	6	2
180	10	2	8	0
200	10	2	8	0

经多次测试，在传输速率为 120 字节/次时，传输开始不太稳定，但是在传输速率小于等于 100 字节/次时，传输质量非常稳定，电网故障行波定位需要传输的仅为故障行波时间戳，根据实验结果，北斗定位完全满足电网对于相关数据的传输要求，故应用北斗导航定位技术的数字化安全管控智能终端在智能电网中具有相对较高的适用性。

3.2 伪距偏差修正模型对单频 PPP 影响分析

不组合观测值为单频 PPP 的一种计算方式，为了验证本文技术的单频 PPP 伪距偏差修正效果，将单频伪距和载波观测量作为观测值，列出观测方程。单频 PPP 对于定位精度要求较高，伪距偏差修正值的量级为 dm 级，采用不修正伪距偏差和修正伪距偏差两种方式分别解算北斗单系统单频 PPP。

利用能观测到较多北斗卫星的 kunl 和 chul 测站的观测数据进行分析，伪距偏差修正前和修正后的 B1 单频 PPP 的 U、N、E 三个方向结果对比如图 5 所示

由图 5 可知，E，N 方向在未修正前就已经具有良好的效果，U 方向的误差相对较大，经过本文技术修正伪距偏差后可有效改善 U 方向的北斗定位效果，表明本文技术可有效改善 U 方向的北斗定位效果，伪距偏差改善效果较好。

为了更精确地统计本文技术在不同测站情况下的伪距偏差修正效果，总共对 6 个测站伪距离偏差修正前和修正后单频 PPP 的 U 方向 RMSE 进行了统计，如图 6 所示：

由图 6 可知，本文技术应用后，所有测站 U 方向定位误差均有大幅度降低，证明了本文方法在伪距偏差修正方面效果较好，具有广泛的适用性。

3.3 智能终端上的图像识别性能分析

为验证本文技术的图像识别性能，分别采用文献[5]的攻击树模型技术、文献[6]的智慧建造技术为本文技术的对比技术，对图像进行识别与分类，三种技术分别处理输入的特征数组，并得出分类结果。由于同种技术处理不同特征的运算量存在差异，导致运行时间也存在差异，而采用不同性能技术，运算时间也会不一样，同时，识别准确性也会所区别。

采用 99 幅测试样本图像为待测数据，分别使用三种技术对颜色、纹理及边缘特征进行识别与分类，对不同样本图像的识别与分类准确性和平均时间，测试结果如表 2、表 3 所示。

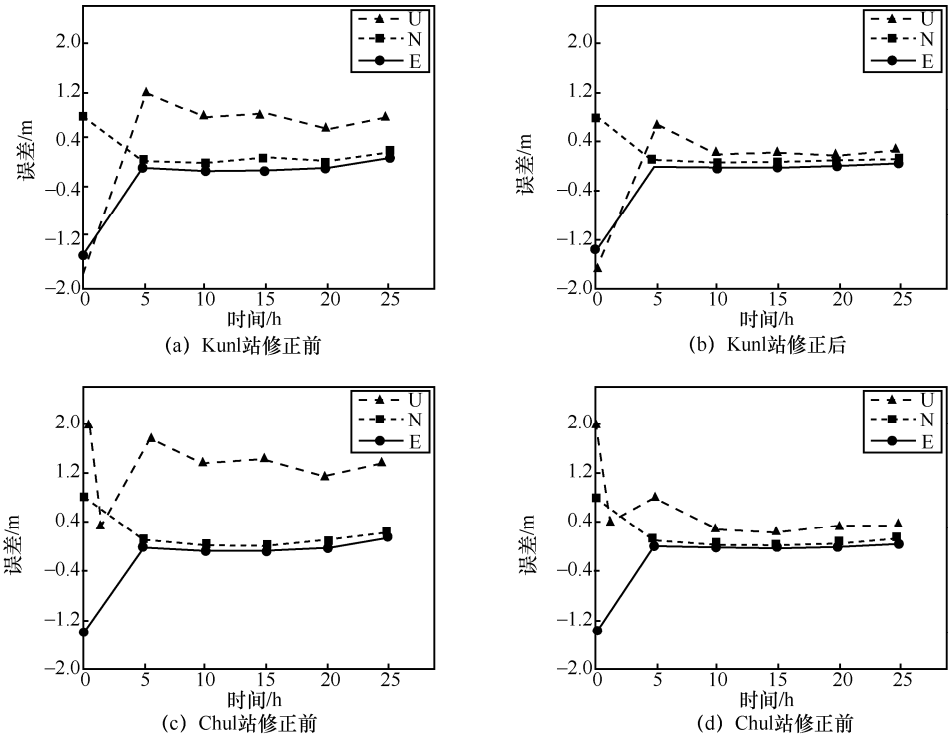


图 5　伪距偏差修正前后单频 PPP 结果

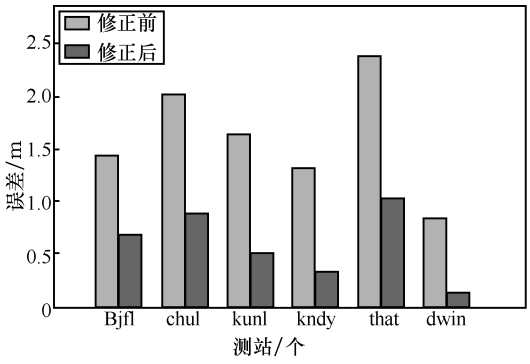


图 6　伪距偏差修正前后单频 PPP 在 U 方向误差对比

表 2　不同技术识别与分类准确性

提取特征	准确率（%）		
	文献[5]技术	文献[6]技术	本文技术
颜色	60	67	95
纹理	46	52	88
边缘	33	38	96

表 3　不同技术识别与分类时间

提取特征	平均运行时间（毫秒）		
	文献[5]技术	文献[6]技术	本文技术
颜色	611	988	688
纹理	98	101	97
边缘	492	1535	501

由表 2 和表 3 结果可知，所提技术的识别与分类准确度最高，此结果符合机器学习的性能优于人工智能网络的规律，因此，本次实验结果可验证本文技术具备较好的图像分类与识别精度。

4　结束语

本文研究了电网智能终端数字化安全管控技术，北斗导航系统作为智能终端重要基础组件，但是北斗卫星定位存在着与卫星高角度和信号频率相关的伪距偏差。为提高定位精度，采用 BDS-2 卫星进行伪距偏差修正，通过伪距偏差模型修正后可有效提升北斗卫星定位精度，并结合基于 SVM 的图像处理技术，扩展数字化安全管控智能终端在智能电网中的应用效果。经实验验证，本文技术具备显著优势，可有效提升数字化安全管控智能终端在智能电网中的应用效果。

参考文献：

[1] 贺建章, 王海波, 季知祥, 等. 面向智能电网的配电变压器重过载影响因素分析[J]. 电网技术, 2017, 41(1): 279-284.

[2] 许宗光, 文继锋, 李彦, 等. 一种基于数据冗余校验的数字化变电站继电保护装置防误方法[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(5): 166-170.

[3] 肖鹏, 周继翔, 刘宏春, 等. 纵深防御和多样性策略在安全级数字化控制系统研发中的应用[J]. 上海交通大学学报, 2018, 52(S1): 14-19.
[4] 赵国旗, 杨明, 王冰, 等. 基于智能终端的移动机器人室内外无缝定位方法[J]. 上海交通大学学报, 2018, 52(1): 13-19.
[5] 孙卓, 刘东, 肖安洪, 等. 基于攻击树模型的数字化控制系统信息安全分析[J]. 上海交通大学学报, 2019, 53(S1): 68-73.
[6] 刘金周, 肖游和朔, 郭彪, 等. 基于智慧建造的质量安全协同管理技术研究[J]. 施工技术, 2019, 48(1): 9-12.
[7] 王凌宇, 傅宏, 杨云. 电力终端基于信任和信誉的灵活数据访问控制[J]. 重庆大学学报, 2020, 43(8): 117-126.
[8] 伍鹏, 林力辉, 吴晓杰, 等. 基于"互联网+"大数据的输电巡检智能管控平台研发及应用[J]. 电网与清洁能源, 2020, 36(3): 59-63.
[9] 贺成艳, 郭际, 卢晓春, 等. 北斗卫星导航系统B1信号伪距偏差问题研究[J]. 电子与信息学报, 2018, 40(11): 2698-2704.
[10] 刘春, 许强, 施斌, 等. 岩石颗粒与孔隙系统数字图像识别方法及应用[J]. 岩土工程学报, 2018, 40(5): 925-931.
[11] 孔德明, 崔耀耀, 孔令富, 等. 数字图像识别在混合油类三维荧光光谱分析中的应用[J]. 光谱学与光谱分析, 2019, 39(11): 3407-3413.
[12] 赵立都, 张双成, 范丽红. 北斗卫星导航系统广播星历精度分析[J]. 测绘科学, 2017, 42(9): 158-162.
[13] 魏志方, 张卫平, 刘武, 等. 基于MEMS传感器的微飞行器姿态理论与实验研究[J]. 压电与声光, 2018, 40(4): 516-520.
[14] 谢军, 张建军, 王岗. 北斗卫星导航系统测量误差指标体系[J]. 宇航学报, 2018, 39(9): 977-985.
[15] 韦维, 郭承军. 一种改进的北斗导航卫星伪距码偏差建模方法[J]. 科学技术与工程, 2018, 18(14): 91-95.

基于智能调节优化的数据中心制冷算法研究

宋杰，贾涛，张林锋，李扬，欧阳述嘉，陈学真，刘超，冯睿，张亚雄
（国家电网有限公司信息通信分公司，北京 100761）

摘　要：伴随着社会对信息化需求的不断增加，数据中心已成为新基建中的数字化主体产业；但在“双碳”政策的倡导下，数据中心的节能降耗成为了信息化发展中的亟待解决的问题。针对数据中心运维过程中制冷系统高能耗的问题，本文提出一种智能优化调节方法，利用 XGBoost 回归和遗传算法组合形成的 AI 智能算法对数据机房制冷系统进行自动获取最佳的系统调节参数，智能调节到最优节能状态。其相对于传统算法具有持续调优和组合寻优的优势，应用和推广价值较高。

关键词：数据中心；制冷系统；智能调优；XGBoost 回归；遗传算法

1　引言

信息数字化已成为时代的特征，每个领域、每个行业甚至每个家庭都离不开数字化的变革，同时受新冠肺炎疫情的影响，远程教育、远程办公、在线娱乐、在线医疗等为代表的新兴数字化业态蓬勃发展[1]，线上数据处理、存储量急剧增长，而数据中心已成为支撑信息化产业的重要支柱。但据 ODCC 数据不完全统计，截至 2022 年数据中心机柜将超过 580 万架，按每个机架 5 千瓦负荷计算，数据中心负荷将达到 2800 万千瓦，年耗电量超 2400 亿千瓦时，数据中心能耗面临巨大压力[2-3]。尤其是在双碳政策的驱动下[4]，绿色节能数据中心是行业趋势，节能降耗已迫在眉睫。

根据相关研究报告显示[5]，数据中心能耗约占整个 TCO 支出的 50%。因此，国家部委、全国各省市相继出台各种相关政策及法律对数据中心能效指标提出严格要求[6-7]，北上广深等各省份在近几年也陆续发布地方政策，提出要严格把关新建数据中心、推进老旧数据中心升级、加强绿色数据中心改造和提高上架率等要求[8]。面对高能耗的数据中心，在基础设施（非 IT）能耗中，制冷系统能耗占比最大[9]，降低制冷能耗是数据中心节能关键措施。因此，本文主要针对数据中心制冷系统，基于智能化的算法进行参数调优，提高运行效率，达到数据中心节能运行的目的，落实国家绿色低碳环保的要求。

2　智能调优算法分析

数据中心运维过程中，制冷系统在非 IT 类设备能耗中约占比 70%[5]。因此，制冷系统的降耗显得尤为重要，利用深度学习的智能算法解决数据中心制冷效率提升过程中的瓶颈问题。以下主要分析制冷系统智能调优算法方式中的 XGBoost 回归和遗传算法。

2.1　XGBoost 回归

XGBoost 是基于决策树的集成机器学习算法，它以梯度提升（Gradient Boost）为框架，能较好地解决非结构数据（图像、文本等）的预测问题[10]。首先，XGBoost 是一种提升树模型，它将许多树模型集成在一起，形成一个很强的分类器，而所用到的树模型是 CART 回归树模型（梯度下降架构增强弱学习器的集成树方法）[11]，但 XGBoost 通过系统优化和算法增强改进了基础 GBM 框架。如下图 1 表示 XGBoost 如何优化标准 GBM 算法。

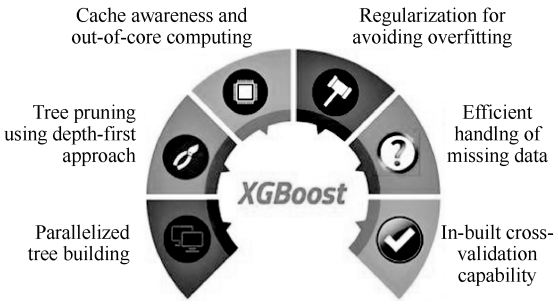


图 1　XGBoost 的标准化 GBM 算法示意图

XGBoost 用于监督学习问题（分类和回归），监督学习的常用目标函数如下，通常目标函数包含两部分：训练误差和正则化[12]，其中 CART 包括树的生成与剪枝，分别对应监督学习目标函数中的训练误差以及正则化。

$$\mathrm{obj}(\theta) = L(\theta) + \Omega(\theta) \tag{1}$$

式中：*obj(θ)*为监督学习的目标函数；*Ω(θ)*是正则化项，度量模型的复杂度，避免过拟合。*L(θ)*是预测函数损失函数，度量模型预测与真实值的误差。常用的损失函数为：

预测问题的平方损失函数：

$$L(\theta) = \sum_i (y_i - \hat{y}_i)^2 \tag{2}$$

Logistic 损失函数：

$$L(\theta) = \sum_i [y_i \ln(1 + e^{-\hat{y}_i}) + (1 - y_i)\ln(1 + e^{\hat{y}_i})] \tag{3}$$

XGBoost 对损失函数进行了二阶泰勒展开使得计算精度得以提高，同时不仅支持 CART 还支持线性分类器，灵活程度更强，其中的正则项可用于控制模型的复杂度；对于并行算法的支持 XGBoost 可大大减小计算量，同时也能针对样本缺失项做很好的处理等[13]。基于以上的优势，XGBoost 在工业界的应用越来越广泛，被更多人认可，且在数据发掘方面展示出强大的优势。

在数据中心制冷系统中，诸多复杂参数影响制冷系统的运行，利用 XGBoost 回归在机器学习中展现出的有效性以及在数据处理中的高效性，实现了数据价值最大化，为数据中心制冷系统调优提供强大算法。

2.2 遗传算法

遗传算法起源于对生物系统所进行的计算机模拟研究，是模仿自然界生物进化机制发展起来的随机全局搜索和优化方法[14]。本质上，遗传算法是一种高效、并行、全局搜索的方法，能在搜索过程中自动获取和积累有关搜索空间的知识，并自适应地控制搜索过程以求得最佳解[15]。在遗传算法中，通常以群体中的所有个体为对象，利用随机指导技术对被编码空间进行求解。其中，选择、交叉和变异是遗传算法的遗传操作；参数编码、初始群体的设定、适应度函数的设计、遗传操作设计、控制参数设定构成了遗传算法的核心内容。

类似于自然进化过程，遗传算法的实现过程如下图 2 所示。首先寻找一种对问题潜在解进行“数字化”编码的方案，随后对部分对象用随机数初始化一个种群，种群里面的个体就是这些数字化的编码，然后通过适当的解码过程之后，用适应性函数对每一个基因个体作一次适应度评估。过程中需要用选择函数按照某种规定择优选择，接下来根据策略判断个体的适应度，是否符合优化准则，若符合输出最佳个体及其最优解。否则依据适应度选择父母，适应度高的个体被选中的概率高，适应度低的个体被淘汰，然后用父母的染色体按照一定的方法进行交叉，对生成子代的染色体进行编译，最后在根据优化准则进行判断。以此重复，采用概率化的寻优方法自动获取和指导优化搜索空间[16]。

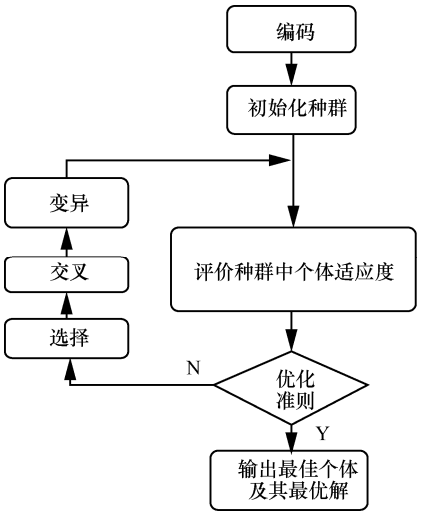


图 2　遗传算法计算流程图

在运用遗传算法计算过程中，其最大的优势在于不必刻意去了解和担心如何“找”最优解，而是通过不断淘汰不合标准的个体达到寻优的目的。在数据寻找最优解过程中，相对于爬山算法、退火算法等，遗传算法具有不可替代的优势。影响数据中心制冷系统运行的参数较多，其中包括冷机参数、末端参数、冷源参数、机房内参数等，利用遗传算法对各参数进行寻优，剔除不合理的数据，从而达到整个系统的最优配比。

3　基于调优算法的制冷方式

数据中心的制冷方式有多种，按照冷源大致可分为水冷型空调系统、风冷型空调系统、双冷源空调系统及其他新型冷源方式。由于冷冻水型空调系统具有

高能效、结构紧凑、可远距离输送冷量的特点，因此对于大型数据中心常用此方式进行制冷。图 3 为冷冻水型精密空调制冷方式示意图，以下主要以此制冷方式为例阐述调优算法的应用。

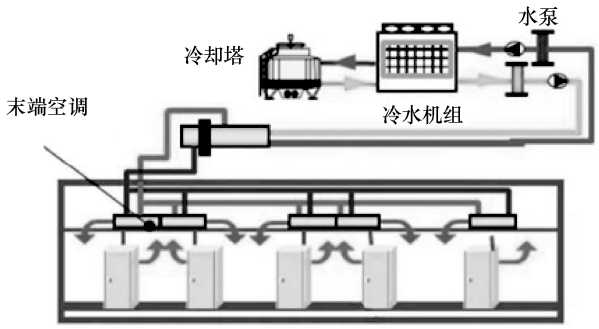


图 3　冷冻水型精密空调制冷方式

传统上，制冷系统的调优方式是通过影响 PUE 的几十种因素同 PUE 值的深度学习神经网络模型进行分析后下发策略[17]，但是这种方式的弊端是对数据质量要求较高，且无法对模型进行持续性优化。为此，通过XGBoost回归模型和遗传算法对数据中心制冷系统可持续进行智能优化模型计算和最佳参数组合寻优，最终计算出适合当前的最佳调节参数，其具体应用过程如下图 4。

为真实还原数据中心运行情况，需对整个制冷系统进行建模及数据采集，其中建模来源于制冷系统各部件参数及控制逻辑，数据来源于动环系统、电力监控等实时采集。由于数据中心是承载各业务系统运行的环境，模型的准确性很关键，随着数据机房内服务器设备的调整与变动，制冷系统运行状态也会变化，此外室外气候的变化对其影响更大。因此 XGBoost 回归模型在数据算法上的优势可对所建模型各参数进行持续调优，保证模型与实际运行相符，同时利用实时采集的数据，结合算法在数据训练上的优势可不断地训练模型，使得各参数的拟合度不断加强。通过 XGBoost 回归模式，可以使制冷系统中各参数间的关系模型更加准确，更符合实际运行工况。

利用 XGBoost 回归算法保证了模型的准确性，遗传算法可以在各参数间进行寻优计算。由于制冷系统中各参数相互耦合影响，当某个参数达到最优时整个制冷系统不一定是最优状态，因此利用遗传算法在寻优过程中的优势，可对整个系统运行中的最节能状态进行选择，排除不利状态点。最终根据当前的运行情况计算出最佳策略参数，依据参数进行手动调节或者利用自动化工具自动调节。在此过程中，遗传算法确保得到整个制冷系统的最优值，指导各模块调参。

相比较传统的制冷系统智能调节模式，XGBoost 回归和遗传算法相互结合的优势在于可以根据实际数据实时智能调节模型，充分体现气候变化、业务调整、设备增减等因素对数据中心制冷的动态变化要求；在计算最优参数过程中，以制冷系统整体最优为目标，利用各模块参数为对象进行调节，充分仿真制冷系统在运行过程中的最节能状态。而传统的制冷调节仅仅只是利用算法对历史数据、环境因素、温湿度设置进行业务综合分析，从数据中分析出影响制冷能耗的关键因素，将降低 PUE 业务为最总目标，利用权值寻优

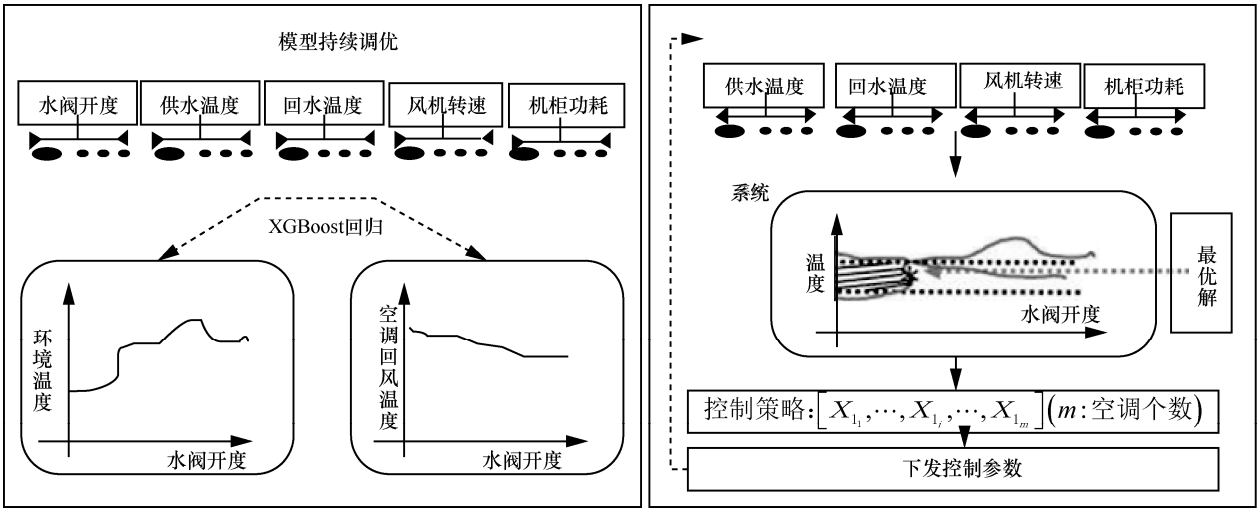


图 4　制冷系统的调优计算过程

算法得到权值最优配置参数组。

基于机房设备负荷及空调控制参数，通过上述 AI 算法自动获取最佳的系统调节参数，智能调节得到最优节能效果，与空调控制方式相比，空调能耗降低约 39%（来源于仿真数据）。

4 结束语

在“双碳”政策的驱动下，引导新型数据中心走高效、清洁、集约、循环的绿色低碳发展道路是行业的主流方向。根据统计显示国内已建成运行的超大型、大型数据中心数量约为 0.94 万个，平均 PUE 为 1.55[18]。但对于一些数据中心，面对业务稳定运行的背景及有限的条件下节能降降耗已到瓶颈状态，因此 AI 智能调节制冷系统成为研究数据中心降耗的主流方向。

基于对数据中心整个制冷系统的仿真模拟，通过 XGBoost 回归和遗传算法相互结合对制冷系统进行智能调优计算，根据实时采集的数据进行 AI 计算自动获取最佳的系统调节参数，通过下发控制策略智能或手动调节到最优节能效果。相对比传统模式具有较强大的模型持续优化算法及系统性的最佳参数寻优方式，在数据中心需求量不断增长的新形势下具有十分广泛的应用价值和前景。

参考文献：

[1] 梅雅鑫. “新基建”加持 5G 助力产业互联网驶入快车道[J]. 通信世界, 2020(13): 16.

[2] 郭佳哲, 刘钧. 数据中心建设和运营中的能效指标探讨[C]//2019 中国信息通信大会（CICC 2019）论文集. 成都, 2019: 354-357.

[3] 智研咨询集团. 2020-2026 年中国数据中心 IT 基础设施第三方服务行业市场竞争状况及投资风险预测报告[R]. 中国产业信息网, 2019, 5-30.

[4] 吴新艺, 於晨, 王海旭. 中国数据中心发展趋势洞察[J]. 数据中心建设, 2020.

[5] 韩玉. 数据中心节能制冷系统分析[J]. UPS 应用, 2017(1): 46-50.

[6] 钱声攀, 邱奔, 李哲, 等. 数据中心能效优化策略研究[J]. 信息通信技术与政策, 2021, 47(4): 19-26.

[7] 黄群骥, 卢进, 黄娜. 数据中心能效指标探讨[J]. 中国优秀数据中心, 2019(4): 11-13.

[8] . 加强绿色数据中心建设 实现持续健康发展[J]. 中国招标, 2019(9): 13-15.

[9] 钱声攀, 邱奔, 李哲, 等. 数据中心能效优化策略研究[J]. 信息通信技术与政策, 2021, 47(4): 19-26.

[10] 岳庆生. 基于不平衡数据的 XGBoost 性能优化研究[D]. 兰州: 兰州交通大学, 2019.

[11] 乔志杰, 田赤中. 基于大数据建模的井筒压力温度梯度预测[J]. 信息技术与信息化, 2021(1): 225-228, 231.

[12] 王宗伟, 赵郭燚, 金鹏, 等. 基于客户信用体系的电费风险识别模型的研究[J]. 机械设计与制造工程, 2019, 48(10): 99-104.

[13] 黄卿, 谢合亮. 机器学习方法在股指期货预测中的应用研究: 基于 BP 神经网络、SVM 和 XGBoost 的比较分析[J]. 数学的实践与认识, 2018, 48(8): 297-307.

[14] 王辉, 朱龙彪, 朱天成, 等. 基于粒子群遗传算法的泊车系统路径规划研究[J]. 工程设计学报, 2016, 23(2): 195-200.

[15] 王琦, 朴燕. 基于改进遗传算法的深度图像获取技术[J]. 激光与光电子学进展, 2018, 55(2): 021003.

[16] 曲志坚, 张先伟, 曹雁锋, 等. 基于自适应机制的遗传算法研究[J]. 计算机应用研究, 2015, 32(11): 3222-3225, 3229.

[17] 陈庆. 数字孪生在数据中心基础设施领域的应用探索[J]. 中国金融电脑, 2019(8): 67-71.

[18] 中国产业研究院. 2021-2025 年中国数据中心(IDC)行业发展态势与前景展望研究报告[M]. 中研普华集团, 2021.

计及用户用电和配电自动化信息接入的配电网调控技术支持系统架构及关键技术研究

于天蛟[1]，王泽一[1]，肖阶平[2]，曲绍杰[1]，史坤鹏[1]
（1. 国网吉林省电力有限公司 电力调度控制中心，吉林 长春 130022;
2. 国网延边供电公司 电力调度控制中心，吉林 延吉 133000）

摘　要：为服务“双碳”目标有效落地，应对配电网的快速发展和高比例分布式光伏接入，提升配电网观测水平和供电可靠性，设计了一种计及配电自动化信息、用户用电信息接入的配电网调控技术支持系统建设思路，并在此基础上研发了网络拓扑、动态着色、故障研判、三相不平衡分析等功能，实现了用电信息采集系统、营销基础数据平台、配电自动化系统与配电网调控技术支持系统的信息交互。新开发的配电网调控技术支持系统已在吉林电网 9 家地区调控机构上线运行，应用结果表明该系统可以提供准实时、准确的配电终端、故障指示器、配电变压器运行状态及分布式电源信息，设备有效感知率达到 90%以上，有效提高了配电网故障处置效率。

关键词：配电网；用户用电信息；配电自动化；调控技术；动态感知；故障处置

1　引言

随着“双碳”目标的提出、配电网的快速发展和分布式电源大量接入，配电网从“无源网”转变为“有源网”，拓扑结构和运行特性日趋复杂，对供电可靠性提出了更高要求。同时对配电网的可观可量已经成为城市配电网智能化领域不可或缺的有力抓手。配电网调控技术支持系统是保证供电可靠性、提高电能质量的重要支撑，有助于实现配电网的安全、稳定、经济运行。目前，国内配电网调控技术支持系统总体实用化平均水平还不高，虽已具备配电网拓扑生成、模型构建、数据关联等功能，但受投入成本、维护成本等因素影响，大部分省市该系统的数据采集量相对不足，只接入了 110kV（或 66kV）变压器低压侧的 10kV 线路断路器数据，无法采集配电变压器、用户及分布式电源、配电终端、故障指示器等信息量，对配电网运行状态可观测性水平较低，且缺乏配电网调控高级应用和系统分析，难以满足配电网调控精益化管理的需要。

大量研究学者对配电网调控技术支持系统功能完善进行了许多有益的研究和探索，文献[1-3]在智能配电网调控支持系统设计方案中提出了基于可视化技术的图模一体化功能，满足设备参数录入、运行状态表达、事故预案生成及反演等工作要求，针对配电网网络模型及拓扑频繁变化情况，文献[4]提出了一种考虑地理信息系统(GIS)的配电网模型动态变化处理机制。但上述文献对相关系统信息接入情况考虑不足，配电网作为电网末端直接与电力用户相连，感知用户用电需求、提高供电可靠性至关重要。用电信息采集系统（以下简称“用采系统”）是对电力用户的用电信息进行采集、处理和实时监控的营销智能用电管理系统，能够及时、准确地测量台区配电变压器数据和用户信息、挖掘用电大数据价值[5-7]。配电自动化系统是以配电网一次网架和设备为基础，综合利用计算机、信息和通信等技术，通过与相关应用系统的信息集成，实现对配电网的监测、控制和快速故障隔离，为配电管理系统提供实时数据支撑。文献[8]提出了基于用采系统的配电网电能质量判定技术，为多源数据系统融合研究提供了参考。文献[9-11]探讨了配网调控图模的建设和实用化场景等问题。文献[12-15]提出了智能电网框架下配电自动化的相关技术。基于对上述学者工作的研究，结合营配调数据贯通工作需求，本文设计了一种计及配电自动化信息、用户用电信息接入的配电网调控技术支持系统建设思路，基于配电网调控技术支持系统中的配电网拓扑结构，结合配电自动化和用采系统的准实时数据，实现了对配电网的远程监视，

并研发了网络拓扑、动态着色、故障研判、三相不平衡分析等高级应用功能模块，实现了对配电网运行数据的分析利用，旨在提高对配电网运行状态的动态感知、故障处置和分析预测能力。

2 配电网调控技术支持系统建设架构

2.1 系统建设目标

为提升配电网的可观测性，实现用采系统、营销基础数据平台和配电自动化系统与配电网调控技术支持系统的信息交互，将配电变压器台账信息（包括公用变压器台区、专用变压器用户、分布式电源用户的电源点）、配电变压器终端停复电事件、准实时量侧数据、历史量侧数据、故障指示器和配电终端等采集装置的台账和量测信息共 6 类数据接入到配电网调控技术支持系统中，结合完整的配电网调控图形模型和精确的异动管理，动态分析中压配电网开断设备及变压器的运行状态，保证图实一致，实现网络拓扑、动态着色、故障研判、新能源统计（分析统计）等功能，为配电网调控操作、配电网故障抢修指挥、运行管理提供技术支持。根据配电网调度业务需求，系统建设需要具备稳定性、安全性、时限性、全覆盖 4 个要求。

2.1.1 稳定性要求

建设时充分考虑现有配电网调控技术支持系统运行安全和设备负载能力要求，确保不因系统图模建设和功能异常影响现有业务系统稳定运行。

2.1.2 安全性要求

建设时满足信息系统安全等级保护及电力二次系统安全防护相关标准、规范的要求。

2.1.3 采集时限要求

终端停复电事件时限要求：每 1min 采集一次全网停复电事件（遥信值）。

准实时量测数据时限要求：每 15min 为一个采集点，上送上一采集时刻的有功功率、无功功率、三相电流、三相电压量侧值（遥测值）。

2.1.4 全覆盖要求

配电网实时运行状态要实现全面监视，汇集全网配电变压器设备（二次侧）、配电终端、故障指示器的实时运行数据，实现电网运行数据监测全覆盖，并能够提供历史数据查询功能。

2.2 系统总体架构

为适应配电网点多面广、实时运行数据量大特点和调度业务实时性需求，兼顾了各地区建设模式统一、数据接口少、部署周期、后期运行维护等建设要求，本文在充分保证网络与信息安全的前提下，依托成熟的数据系统和通用设计，提出了配电自动化信息、用户用电信息接入配电网调控技术支持系统的建设架构，包括数据层、转发层及应用层，如图 1 所示。

数据层：由营销侧的系统将 4 类数据和配电自动化侧的 2 类数据以 E 文件形式按所属地区分别上传至指定的文件服务器目录。

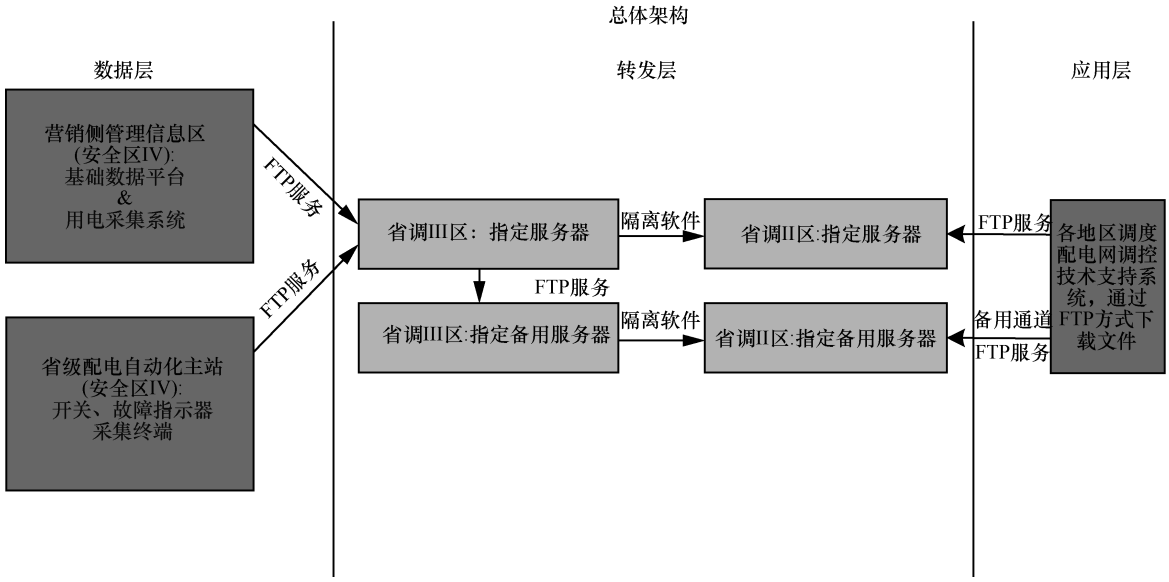


图 1 系统建设总体架构

转发层：文件发送到省调管理信息大区Ⅲ区后，通过反向隔离程序传输至生产控制区Ⅱ区。

应用层：各地区配电网调控技术支持系统连接省调服务器，下载对应的数据 E 文件并完成数据的解析、匹配和存储。考虑转发层的磁盘空间，E 文件会在Ⅲ区会保留 2 周左右后自动删除，避免文件堆积占用空间。

3 系统建设关键技术介绍

3.1 用采系统数据的解析与处理

用采系统推送的是电流互感器和电压互感器的二次侧量测值，需要根据营销基础数据平台提供的电压电流变比进行数据处理，转化为一次值，具体过程如下：

$$I_{\mathrm{t}} = I_{\mathrm{ea}} \times T_{\mathrm{ct}} \tag{1}$$

$$V_{\mathrm{t}} = V_{\mathrm{ea}} \times T_{\mathrm{pt}} \tag{2}$$

$$P_{\mathrm{t}} = P_{\mathrm{ea}} \times T_{\mathrm{ct}} \times T_{\mathrm{pt}} \tag{3}$$

$$Q_{\mathrm{t}} = Q_{\mathrm{ea}} \times T_{\mathrm{ct}} \times T_{\mathrm{pt}} \tag{4}$$

式中：I_{t}、V_{t}、P_{t}、Q_{t}分别为配电变压器的电流、电压、有功功率、无功功率；I_{ea}、V_{ea}、P_{ea}、Q_{ea}为用采系统侧的电流、电压、有功功率、无功功率；T_{ct}为电流互感器变比；T_{pt}为电压互感器变比。

3.1.1 准实时数据解析

用采系统通过 E 文件的形式每 15min 推送一次配电变压器的量测信息，E 文件中用采系统台区表计编码与配电网调控技术支持系统中变压器编码相匹配，将完全匹配的量测信息写入对应配电变压器信息中，从而将台区表计数据接入配电网调控系统，实现数据解析。

3.1.2 历史曲线调阅

用采系统数据接入配电网调控系统的同时，数据采样后能够对数据进行历史数据调阅查询（历史日每日 96 点查询，每 15min 一个采集点），监控得到每日的最大电流、最大电流时刻、最小电流、最小电流时刻。

3.2 配电自动化系统数据的解析与处理

配电自动化系统Ⅳ区主站将带有设备资产编码的故障指示器和配电终端模型的断面数据和变位信息生成 E 文件，再通过 FTP 文件传输至省调Ⅲ区文件服务器上，通过反向隔离装置传至Ⅱ区文件服务器上，各地调配网调度技术支持系统通过调度数据网定期获取数据，系统根据数据文件中的设备资产编码与本地模型进行关联，读取此编码设备的相应数据，实现数据解析。

3.3 高级应用功能的研发

3.3.1 拓扑着色分析

配电网调控技术支持系统中的连接设备都有节点号，节点号表示设备的首末端节点编码，系统根据主配电网设备节点号分析出设备之间的连接关系和设备本身的开合状态，从而由上至下分析出上下游线路带电关系。当线路设备与电源点拓扑连接时，下游设备延续电源点着色信息；当线路设备断开拓扑断开时，下游设备失去供电电源点，设备失去着色，呈现灰色，不同颜色的设备表示电源点不同，由拓扑着色分析可以直观地获取设备的带电状态。

3.3.2 故障研判

配电变压器停电事件以 E 文件形式推送到配电网调控技术支持系统。一旦有停电或者复电信息，就会产生告警，推送到告警窗。当同一条馈线下的失电配电变压器数目满足设定的数量值后，就会启动故障研判分析，系统自动弹出故障处理决策窗及故障区域图。由值班人员查看故障情况并选择处理。根据设置的配电变压器失电百分比，同一馈线下超过配置比例的配电变压器失电后，系统会自动启动故障研判程序，跳闸开关的搜索逻辑是利用现有配电变压器失电信号进行拓扑，寻找上游最近的一个可以涵盖所有配电变压器失电信号的开关认为其可能是跳闸开关，并弹出故障区域图。

3.3.3 配电变压器重过载和三相电流不平衡分析

计算出变压器的运行状态和线路的三相电流平衡度：

$$M = \frac{\mathrm{Max}(I_{\mathrm{A}},I_{\mathrm{B}},I_{\mathrm{C}}) - \mathrm{Min}(I_{\mathrm{A}},I_{\mathrm{B}},I_{\mathrm{C}})}{\mathrm{Max}(I_{A},I_{B},I_{C})} \times 100\% \tag{5}$$

$$N = \frac{\sqrt{P^2+Q^2}}{C_{\mathrm{AP}}} \times 100\% \approx \frac{P}{C_{\mathrm{AP}}} \times 100\% \tag{6}$$

式中：M 为电流不平衡度；N 为负载率；I_{A}、I_{B}、I_{C}为三相电流；P、Q 为有功、无功功率；C_{AP}为变压器容量。

定义电流不平衡度超过 20%的为电流三相不平衡

变压器；定义配电变压器负载率低于 35%为轻载，负载率超过 85%为重过载，并通过列表的形式展示出配电变压器的重过载和三相不平衡明细。

4 应用成效分析

目前，计及配电自动化和用电采集信息接入的配电网调控技术支持系统已在吉林省 8 家地区调控机构上线应用，另有 1 家正在部署建设、预计年底前上线运行。该系统已实现终端停复电事件、准实时量测数据、历史量测数据、故障指示器和配电终端等采集装置的台账和量测等信息在管理信息大区和生产控制区自动同步，完成台账匹配、网络拓扑、故障研判、动态着色、轻重载台区监视、三相电流/电压不平衡预警等功能部署，同时具备分区统计所属单位开关跳闸次数等报表统计业务功能。

以吉林省长春地区为例，通过该系统的建设与应用，辖区近 30 万个配电变压器设备的有效感知率达到 90%以上，实现了配电终端可观可测，基本实现了配电网设备潮流在线监视，初步解决了对配电网用户信息的“盲调”问题，给配电网调控员增加了一双“慧眼”，为推动配电网调控从被动响应到主动研判奠定了技术基础。

配电信息及故障研判功能展示如图 2 所示。以故障研判高级应用为例，对用户信息支撑配电网故障处置效果进行分析。

以往配电网调控员研判线路故障，信息来源一般分为两种：一是来自变电站运行值班人员的汇报信息（主要为保护动作信息），但大部分 10kV 配电网线路未配置距离保护，无法实现保护测距和故障定位要求；二是来自配电网抢修指挥人员的汇报信息，主要是停电信息工单（判断原则为：30min 内接到 3 张同一地址的停电工单）。无论哪种信息来源，均采用基层人员汇报模式，配电网调控员获取故障信息至少需要 10min，而且难以开展相对精准的故障研判。

应用该系统后，每 1min 采集一次全网停复电事件，配电网调控员根据拓扑着色分析在线获取台区配电变压器和配电终端故障信息，配电网故障研判由被动接收转换为主动感知，故障定位时间由原来的几十分钟变为现在的 2～3min，故障处置效率随之大幅提高，从而缩短了设备异常停电时间，进一步提高了配电网供电可靠性指标水平。

5 结束语

针对现有配电网调控技术支持系统接入数据量不足问题，本文充分考虑用电大数据价值挖掘，提出了一种计及用电采集信息和配电自动化数据接入的配电网调控技术支持系统功能架构，设计了网络拓扑、动态着色、故障研判、三相不平衡分析等高级应用功能，实现了调控机构对配电网运行状态的动态感知，进而大幅度减低了配电网故障研判、处置的时间，提高了

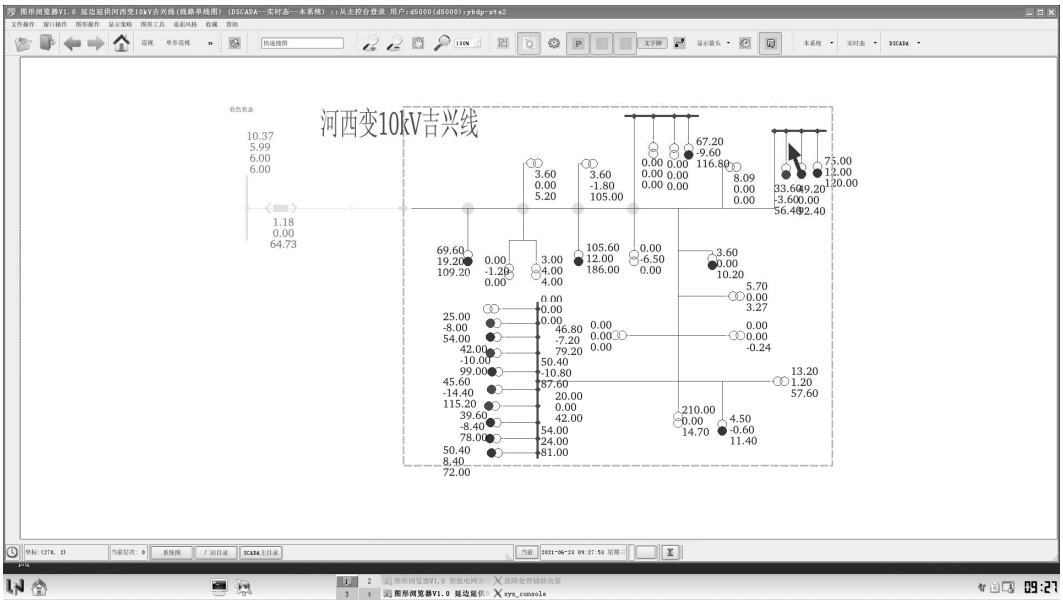


图 2 配电信息及故障研判功能展示

供电可靠性。

下一步，将利用人工智能算法进一步挖掘配电网调控大数据应用价值，在拓扑结构自动识别、配电网调控知识图谱构建、典型故障模拟及预案反演、配电网抢修指挥辅助决策等智能配电网调控领域开展积极探索。

参考文献:

[1] 许晓锋, 魏震波, 刘俊勇, 等. 智能配网调度支持系统设计与应用(一)[J]. 电力自动化设备, 2011, 31(8): 112-116.

[2] 许晓锋, 魏震波, 刘俊勇, 等. 智能配网调度支持系统设计与应用(一)[J]. 电力自动化设备, 2011, 31(8): 112-116.

[3] 李楠. 配网调度辅助支持系统的开发与研制[D]. 成都: 电子科技大学, 2011.

[4] 沈浩东, 赵京虎, 杜红卫, 等. 配电网自动化管理系统模型动态变化处理机制[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(6): 52-56.

[5] 胡江溢, 祝恩国, 杜新纲, 等. 用电信息采集系统应用现状及发展趋势[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(2): 131-135.

[6] 朱国富, 张晓东, 闫书芳, 等. 基于电力用户用电信息采集系统的智能售用电管理系统的应用及技术[J]. 电测与仪表, 2015, 52(S1): 13-16.

[7] 蔡晓燕. 基于智能用电大数据分析的台区线损管理初探[J]. 科技创新与应用, 2017(17): 181.

[8] 武文广, 杜峰, 李俊臣, 等. 依托用电信息采集系统的配电网电能质量判定技术研究[J]. 电网与清洁能源, 2017, 33(5): 69-73.

[9] 牛庆松, 陈静, 亓富军, 等. 配电网智能调控辅助决策应用研究[J]. 上海电力大学学报, 2021, 37(2): 169-175.

[10] 雷健新, 陈刚, 孙帅, 等. 配电网调控图模建设探索[J]. 农村电气化, 2020(10): 47-50.

[11] 刘东, 丁振华, 滕乐天. 配电自动化实用化关键技术及其进展[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(7): 16-19.

[12] 陈丽娟, 朱晓燕, 赵俊峰. 国内电网实时数据集成应用综述[J]. 电力自动化设备, 2010, 30(1): 139-144.

[13] 刘俊勇, 沈晓东, 田立峰, 等. 智能电网下可视化技术的展望[J]. 电力自动化设备, 2010, 30(1): 7-13.

[14] 沈浩东, 赵京虎, 杜红卫, 等. 配电网自动化管理系统模型动态变化处理机制[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(6): 52-56.

[15] 卢东明, 卢秀红, 冯雪涛, 等. 关于配电网自动化系统实施的建议[J]. 黑龙江电力, 2006, 28(2): 108-111.

浅谈计算机信息安全技术与防护措施

陈荣，伍泽军
（中国广核电力股份有限公司信息技术中心，宁德福鼎 355200）

摘　要：在信息时代的大背景下,网络技术和信息技术得到了迅速发展。计算机网络作为一种重要且普遍使用的信息系统,为人们提供了非常方便快捷而且安全可靠地办公、生活方式。但与此同时也产生着一些问题:由于黑客技术的发展与计算机病毒泛滥，信息泄露或攻击等等不良现象发生在所难免。本文通过信息安全三大类威胁因素进行简要分析，提出自己的一些观点和防护措施，望对于计算机网络信息安全维护有所帮助

关键词：防火墙：病毒防护：信息安全管理

1　引言

年来，在计算机网络和信息化发展的不断加快，信息技术已融入国家政治、人民生活以及社会经济发展的各个方面，人们无论是在日常生活还是工作中都已经离不开计算机网络。信息安全重要性日益凸显。目前随着计算机技术以及网络技术的迅速发展，导致研究计算机漏洞从而获得收益的黑客技术也得到了快速发展，网络黑客通过制造计算机病毒或利用系统漏洞入侵人们的计算机，对信息安全造成了巨大的隐患，对计算机网络信息安全构成极大威胁。因此信息安全防护也日益被人们重视，本文简单阐述个人信息安全观点，浅谈部分信息安全技术在实际工作中的具体应用和一些个人心得体会。

2　计算机信息安全面临的威胁

计算机技术的广泛应用已经覆盖我们日常工作、生活、娱乐等各个方面。人们对计算机依赖程度越高，面临着各种信息安全威胁也越发明显，比如信息泄露、数据篡改、隐私保护等。目前计算机信息安全设备范围包括电脑、手机、以及其他移动电子设备在内，都存在各种各样的信息安全威胁，比如高危系统漏洞、计算机病毒、手机病毒、以及其他流氓软件的恶意信息收集。将我们面临的计算机信息安全威胁按威胁的来源可分为内部威胁和外部威胁，内部威胁主要是内部恶意破坏、内部人员操作不当、内部安全管理、软硬件缺陷以及其他自然灾害造成的威胁等。外部威胁主要计算机病毒、黑客攻击、以及信息窃取等。计算机信息安全威胁着内外部的计算机信息安全威胁风险大致有以下 3 类风险因素：技术安全风险、人为恶意攻击、信息安全管理体系不健全。本文将针对信息安全威胁风险的 3 类风险因素展开说明，

3　计算机信息安全技术和防护措施

针对信息安全的三大类威胁因素，采取相应的防护措施的进行计算机信息安全防护，保障信息的机密、完整、可用。

3.1　技术安全风险

是由于信息安全基础设施建设投入不足，设计与建设不同步以及非自主研发的操作系统和硬件产品存在设计缺陷和后门，导致存在不确定的信息安全技术隐患。针对技术安全风险因素，企业如何做好计算机风险控制和防护，分为以下两种情况。

（1）信息基础设施建设初期，需要从整体上把控好信息安全架构规划，从信息基础设施建设设计阶段做好整体的网络安全规划，从信息设备选型和网络分区分域规划、以及配套网络安全设备部署（如防火墙、网闸、态势感知系统），做好同步设计和建设，操作系统和应用软件、数据库选型上做好评估和决策，从根本上减少技术安全风险，减少后期信息安全整改的难度以及阻力。

（2）信息基础设施建设完工后，网络架构和系统架构基本定型，相关防护措施只能在现有的基础上进行修补，整改代价和困难较大。需分阶段和制定计划

进行相关的设备替换和架构变更。通过专业信息安全公司，进行企业内部网络安全全面检查，然后针对性的根本信息系统的重要性制定相应的计划进行信息安全整改，进行相应的评估和决策，对重要系统进行重新的规划设计，制定长期和短期计划进行信息安全防护建设，避免技术风险。比如重要设备和系统的国产软硬件替代，对内部网络和应用系统可按测试环境和生产环境进行业务隔离，避免信息安全风险。在关键网络边界加强信息安全防护设备的隔离等措施。

3.2 人为恶意攻击的防护措施

人为恶意攻击是目前信息安全技术中最难防范的风险因素，通过各种方式有选择的破坏信息和不影响正常网络工作的前提下被动的获取监听网络数据。人为恶意攻击主要分为计算机病毒和黑客攻击，计算机病毒目前主要是通过利用系统的漏洞、钓鱼邮件、木马程序将病毒代码引入计算机后引起的一系统问题。我们可以通过以下几种方式对加强计算机信息安全防护。

（1）部署防火墙和网络隔离装置，减少来自不同网络间的攻击是信息安全有效的防护措施

通过防火墙的包过滤技术和设置包过滤规则，最大限度减少外部攻击源的攻击，控制网络流量，分析流量数据包，判断其危险与否，对其选择性放行和阻断。企业可以收集自身的业务流进行相关的防火墙最小化策略定制，做好内部信息安全防护。以某核电厂的生产控制大区与信息管理大区为例，除生产控制大区的Ⅰ区和Ⅱ区网络外，信息管理大区划分Ⅲ区和Ⅳ区网络。生产控制大区和信息管理大区通过防火墙策略和单向网闸进行纵向隔离，Ⅲ区实时获取控制大区的生产数据，Ⅳ区主要是查看读取数据，Ⅲ区和Ⅳ区网络之间通过防火墙策略限制业务流范围，以策略最小化原则建立业务流白名单，禁止一切非授权允许的业务流访问，最大限度减小外部攻击来源。通过增加单向隔离装置或者核电自主研发的物断单导设备进行数据流的传输限制，最大限度保障Ⅲ区网络不受外部来源的攻击。

（2）部署病毒入侵检测系统和态势感知系统是信息安全有效的防护措施。

企业可以在局域网中进行部署探针和态势感知系统进行网络安全检测，对实时分析检测局域网中的异常行为，发出警告提醒，高效迅速发现局域网中存在的攻击行为或潜在风险，再通过人为干预，缩小受影响范围，降低信息安全事件带来的后果。以某核电厂为例，通过部署 1 级和 2 级探针，在核心交换机上进行流量镜像，对核心业务流量进行全面监控，配合天眼系统对内部的异常业务访问或者弱口令爆破行为进行实时监控，及时识别风险和网络攻击行为,大大增强企业信息安全主动防护能力。

（3）计算机终端安全加固技术是信息安全有效的防护措施。如图，有以下六大加固方式进行终端安全加固，如图 1 所示。

- 计算机高危端口封堵。比如 445、3389 等高危端口。比如目前本地文件和打印机共享使用的 445 端口，就是永恒之蓝勒索病毒传播利用的高危端口。通过编写批处理或者在以管理员身份运行命令提示符，输入以下代码进行禁用。

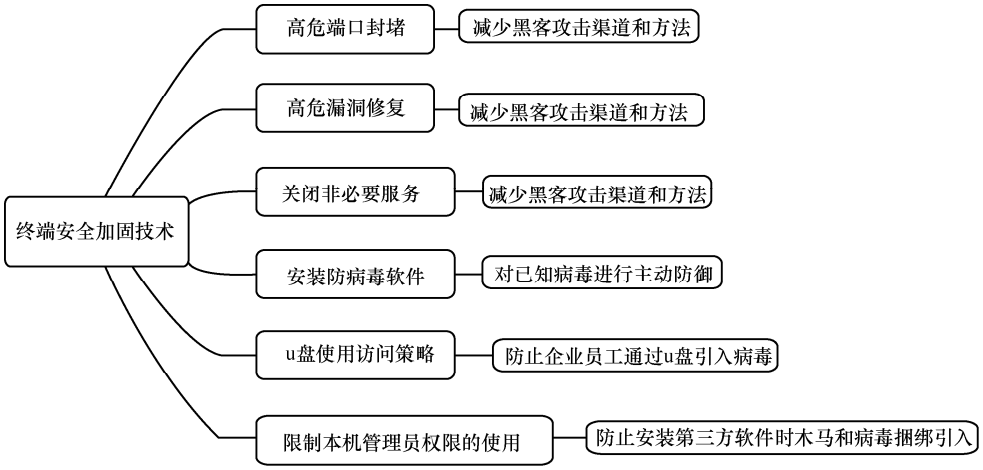


图 1　终端安全加固技术

例如禁用 445 端口，netshadvfirewall firewall add rule name = "Disable port 445 - TCP" dir = in action = block protocol = TCP localport = 445。3389 主要是用于远程桌面的服务端口，黑客经常利用该端口进行远程计算机操作，因此也可以通过批处理或者在命令提示符进行禁用。netshadvfirewall firewall add rule name = "Disable port 3389 - TCP" dir = in action = block protocol = TCP localport =3389。

- 计算机高危漏洞修复和补丁安装。计算机的高危漏洞是黑客攻击和利用的利器，因此做好计算机的漏洞定期扫描和修复是计算机病毒防护重要措施之一。通过专业的漏洞扫描系统进行计算机终端漏洞扫描分析，针对高危漏洞安装相应的 windows 或 linux 补丁。比如 win7 需安装 kb4012212 和 kb4012215 补丁进行勒索病毒补丁安装修复，防止勒索病毒攻击。企业还可以通过部署 wsus 补丁更新服务对局域网内的设备进行补丁批量推送更新。
- 计算机非必要服务的关闭是计算机病毒防护的重要措施。比如 Clipbook 用与局域网电脑来共享/粘贴/剪贴的内容，该服务容易让黑客和木马程序利用此服务攻击你的电脑。remote registry 远程注册表运行/修改，注册表是存储计算机系统和应用程序的设置信息，是病毒攻击的重要区域，黑客可以通过该服务随意篡改注册表信息。我们通过 sc config RemoteRegistry start= DISABLED 类似的命令，进行禁用，然后将所有的日常业务非必要的高危服务使用批处理命令进行批量禁用这样可以减少黑客攻击点。
- 安装防病毒软件，定期更新病毒库是计算机病毒防护的重要措施。通过安装防病毒软件进行定期的病毒库更新，保障主流的病毒不会对您的计算机造成攻击破坏。病毒的种类每日都在新增，因此病毒库的更新也要保持实时更新状态才能有效的防止病毒。开启防病毒软件的自动防护功能。
- U 盘访问限制策略，也是计算机病毒防护的重要措施。目前病毒在企业中的传播主要是通过 u 盘和外网访问病毒网站和邮箱点击钓鱼邮件感染传播。其中 u 盘的不规范使用导致计算机中毒的概率很高。制定 U 盘使用的白名单策略，防止未经杀毒或未经授权的 u 盘使用，可以有效的防止病毒通过 u 盘在企业局域网中传播，减小信息安全风险，防止病毒从内部进行横向传播。
- 限制本机管理员权限的使用，也是计算机病毒防护的有效手段。通过限制管理员权限的使用，可以减少因为个人计算机因安装流氓软件而引入木马病毒的风险。内部的权限管控可以减少一些需管理员权限运行的木马和病毒程序的自动安装运行，大大减少病毒传播的途径。

（4）身份认证技术是信息安全防护技术的一种非常有效的技术手段。常见的企业域网络账号密码认证体系已不能防范日益严峻的信息安全攻击。仍以某核电厂为例，采用 4A 认证体系和双因子认证（认证 Authentication、账号 Account、授权 Authorization、审计 Audit），对用户身份进行确认以及授权等操作，方可访问内部网络信息系统。单纯的账号密码登陆授权，容易通过社会工程学获取，通过双因子登陆认证方式，增加手机短信验证码访问，即使获取到密码后仍无法访问系统资源，大大提高企业的身份认证方面的安全性，大大降低因密码弱口令导致黑客轻易登陆系统获取相关数据以及进行破坏等风险。

4 信息安全管理体系不健全

信息安全管理是信息安全技术防护中的一个重要手段。信息安全体系不健全指的是政府、企业、事业单位等信息化应用程度日益发达，但相应的信息安全管理体系尚未建立，存在很多管理漏洞，缺乏管理经验，没有有效的内部审查机制和风险评估体系，仅依靠国家相关信息安全法规和标准进行制定相关信息安全实施细则，远远满足不了信息安全管理的实际的管理需求，达不到真正信息安全管理理念。目前信息安全管理在国内信息化管理中受重视程度不高，没有一个相对成熟的管理体系。企业内部信息安全管理混乱，仅依靠相关的法律法规和等级保护的要求制定相应的政策和管理制定，没有真正落实到实际工作执行中。因信息安全管理不到位，导致的信息安全事件层出不穷，因此制定有效可执行的信息安全管理体系，是信息安全有效防护手段。以某核电厂为例，通过信息安全公司组织架构的建立、以公司 CIO 为组织架构的第一责任人，至上而下以电厂职能部门为单位，各个部门信息安全协调员为主要执行成员，建立信息安全应急响应小组，以公司内部通讯群以及编制对应的信息安全应急响应流程，通过模拟各种

场景的信息安全预案编制、定期的信息安全模拟演习、以及公司级别的信息安全培训，制定日常信息化运维的信息安全管理标准等工作，需做到有计划、可执行、有记录、能追溯等，具体要落实到设备管理和人员行为管理中。只有将信息安全体系进一步完善和落实到实际管理中，才能有效应对突发的信息安全事件，保障信息化日常运维稳定、安全、可靠运作，避免或减少相应的信息安全事件，提高整体的信息安全管理水平，到达信息安全防护的目的。

5 结束语

计算机的信息安全成为计算机信息化基本建设的一个关键构成部分。计算机信息安全必须引起高度重视，对计算机信息安全给予最有效的安全防范措施。包含对计算机信息安全开展合理的管理方法及其有效的应用各种各样确保计算机信息安全的技术性，只有从网络拓扑规划、系统应用业务分区分域管理、工控网络系统的安全隔离、终端设备的安全加固、信息安全设备采购部署等等，将各种各样计算机信息安全防护措施综合性应用，促使计算机系统信息得到最有效的保护，进一步的确保计算机的信息安全，提升公司总体信息安全水平。

参考文献：

[1] 朱海波.信息安全与技术(第2版)[M]. 北京:清华大学出版社, 2019.

[2] 兰巨龙, 程东年, 刘文芬, 等. 《信息网络安全与防护技术》[J]. 计算机安全, 2014(9): 7.

[3] 刘惠芬. 计算机信息安全与防护技术研究[J]. 数码世界, 2017(11): 406.

[4] 王雁博. 浅析计算机信息安全与防护技术[J]. 农家参谋, 2017(16): 157, 21.

[5] 兰图. 网络信息安全的常见威胁与防护技术[J]. 网络安全技术与应用, 2019(2): 2-3.

[6] 徐联华. 计算机网络信息安全分析与防护技术研究[J]. 信息技术与信息化, 2019(10): 140-142.

[7] 朱钱祥. 工业关键基础设施信息安全动态防护技术研究[D].华中科技大学,2019.

[8] 盛宇. 网络入侵检测系统在信息安全防范上的技术分析[A]. Singapore Management and Sports Science Institute. Singapore, 2015:5.

[9] 刘师含. 计算机网络信息安全中数据加密技术的研究[A].《智能城市》杂志社、美中期刊学术交流协会, 2016.

[10] 徐毅凯. 防火墙与入侵检测技术在电力工控系统信息安全中的应用研究[D].南京师范大学,2018.

[11] 侯加兵. 厂级监控信息系统信息安全关键技术研究[D].南京理工大学,2011.

[12] 吕雪. 信息安全应急管理技术的研究与实现[D].广东工业大学,2013.

[13] 范迎,范永海. 浅析计算机信息安全技术现状与发展前景[A]. 中国航海学会通信导航专业委员会.2008-2009 年船舶通信导航论文集[C]//中国航海学会,2009:4.

[14] 王国鑫, 孟宪勇. 信息安全技术发展趋势分析[J]. 办公自动化, 2008, 13(6): 34-36.

[15] 文卉,胡剑波.信息安全技术简述[J].计算机与数字工程,2008(08):100-103.

面向电力调度与设备领域的智能知识搜索方法

王佳秋，孟令跃，胡学勇，王瑞杰
（北京中电信息技术有限公司，北京 100089）

摘　要：在电力调度制度、企业技术标准等电力业务文档中精准搜索专业知识，对辅助电力调度人员进行决策，提高工作效率具有重要意义。现有可解决电力搜索的方法主要集中在段落搜索中，很少有工作考虑将问题定位到精准答案上。面向电力调度与设备技术领域，提出了一种基于 Elasticsearch 与知识图谱相结合的智能搜索方法，提高了搜索企业技术标准文档的精度。该方法基于 ElasticSearch 预先筛选搜索的段落内容，大幅度减少搜索范围。进一步，在小范围的段落内容上，基于知识图谱中三元组与问题进行精细粒度匹配，从而实现对电力企业技术标准文档的智能精准搜索。实验中使用了真实世界数据集，结果验证了所提方法的有效性。最后构建了面向电网调度制度知识搜索的原型系统。

关键词：智能搜索；电网；Elasticsearch；知识图谱

1　引言

随着大数据时代的到来，具有资产庞杂、知识密集、消费特征的电力系统，已经在大数据时代的背景下引入了智能设备和可调度网络，一同构成了强大的智能电网。智能电网在运行中必然产生海量的电力业务数据，此时，通过传统人工方式对数据进行搜索是非常困难的。因此，需要快速、准确的方法从海量数据中搜索出目标数据，提高电力行业生产效率。

现阶段，电网调度工作主要由调度人员进行决策与操作。调度人员需对电网状态、参数变化情况进行分析，并结合经验采取措施。这种人为调度方式具有主观性[1]。随着电力系统的快速发展，电网结构和运行模式愈加复杂，电网处置难度不断提高。基于关键字搜索的传统文本搜索方法虽然能够得到段落搜索结果，但是搜索结果缺乏碎片化，甚至出现答非所问的情况，降低了工作效率。电力企业作为生产制造类企业，低效率的工作进度直接影响企业效益。目前现有方法大多数集中于对电力企业技术标准文档的段落搜索，很少能够对问题进行准确回答。

2　相关工作

2.1　基于 Elasticsearch 的搜索方法

目前，与其他搜索方法相比，基于 Lucene 开发的开源实时分布式搜索和分析引擎的 Elasticsearch 可以有效地对大规模数据进行全面、快速地浏览[2]。

例如，在电力企业中，杨强等[3]针对在海量数据中定位目标困难的问题，采用 Elasticsearch 搜索引擎与前后端分离的开发技术和微服务架构设计模式建立了具体的数据应用，结果显示该方法可以有效提高工作效率。杨丽萍等[4]采用 Elasticsearch 技术对电力企业大数据搜索引擎进行设计，实现了对电力大数据全文快速地搜索，对提高电力企业搜索应用的效率具有重要的意义。蒋鸿城等[5]结合国家电网浙江省电力公司的实际情况，提出了一种基于开源 Elasticsearch 和 Logstash 的统一日志分析系统。解决了传统日志审计系统难以应对超大规模海量日志的存储和分析问题。

在校园网领域中，Xue 等[6]将 Elasticsearch 全文搜索引擎和 Scrapy 框架相结合，提出了一种解决校园网中收录信息不及时、收录时滞的校园网搜索引擎。实验结果表明，所提出的方法与传统的通用搜索引擎相比，具有更好的搜索结果相关性和数量，能够更好地对校园网新信息进行收录。钦蒋承等[7]以校园网域内的数字资源无法精确定位和获取为研究问题，对搜索引擎的工作原理和 Elasticsearch 的运行机制进行深入研究，提供多文件类型的实时全文搜索服务平台，并对 ES 的中文索引缺陷进行了优化。实验表明，应用 Elasticsearch 搜索引擎在校园网中进行全文搜索，并且

对其进行优化可更快速、准确、全面地完成校内用户的搜索需求。

在其他领域中，Elasticsearch 搜索引擎也被广泛认可。Aleksei 等[8]提出了一个基于 Elasticsearch 搜索引擎和 MapReduce 模型的系统来解决用户验证问题。Prashant 等[9]将 Elasticsearch 搜索引擎应用到电子书门户搜索应用中，通过使用基于 Lucene 的 Elasticsearch 引擎对文档进行索引，Elasticsearch 返回一个字典并创建一个 tf-idf 矩阵，然后将处理后的查询与获得的字典进行比较，并使用 Tf-Idf 矩阵计算每个匹配的分数，最后给出最相关的结果。胡庆宝等[10]利用开源工具 flume 和 Elasticsearch 设计了分布式集群日志采集和分析平台，满足了集群海量日志的实时采集和快速分析需求，为日常服务检测，快速排查故障，维持系统正常运行提供了可行性工具。张建飞[11]基于中文分词技术、分布式技术和搜索引擎相关技术设计并实现了一个基于 Elasticsearch 的分布式音乐垂直搜索引擎。章天岳[12]针对传统的集中式搜索引擎无法解决物流行业呈指数级增长的信息量的问题，设计集成了 Nutch 和 Elasticsearch 的分布式物流垂直搜索引擎系统。该系统可以较快速地完成主题网页抓取，实现高质量的搜索，并对中文搜索具有较好的支持。

在智能电网搜索领域，要求搜索结果更精确。相比于相关工作，所提方法不是单独依靠 Elasticsearch 搜索，而是仅将 ES 方法用于预先筛选相关的段落内容。这种方式预期会提高搜索结果的精度。

2.2 基于知识图谱的搜索方法

知识图谱是一种基于图的数据结构，旨在描述真实世界中存在的各种实体或概念及其关系，构成一张巨大的语义网络图[13]。通过应用知识图谱，提供了一种更好地组织、管理和利用海量信息的方式。大量研究人员已经将知识图谱方法应用到智能语义搜索、深度问答系统等实际应用领域中。

在电力研究领域中，徐蕙等[14]以电力企业数据资源智能化分析与管理为研究问题，提出了基于知识图谱的语义搜索方法，该方法采用相似性策略实施语义搜索。王琼等[15]从知识图谱在智能电网企业中的意义、发展和应用等方面进行了介绍和分析，表明知识图谱在解决智能电网中的业务数据无法跨专业贯通、数据资源无法被智能分析与管理等问题中是有效的。刘津等[16]将人工智能、大数据分析和挖掘、知识图谱、自然语言处理等技术与领域专家的意见相结合，构建了电力领域的中文专业词典和知识图谱。实验结果表明基于多源、多结构数据构建的电力领域知识图谱有助于实现对全局电力数据资源的智能分析、索引及管理。周帆等[17]利用多源电力调度模型知识构建了电力调度模型领域知识图谱，并采用自然语言处理技术实现了自然语言语义理解及查询语句拼接问题，并基于智能推理实现了问题答案的生成和组织，实现了基于调控云的电力调度模型本体问题的精准回答。

除此以外，Wang 等[18]以知识图谱为研究基础，针对大多数学习到的哈希方法不能直接应用于知识图谱结构编码的问题，提出了一种端到端方式学习到的哈希框架，使用延拓方法对查询和知识图实体进行几何操作联合编码。实验结果表明该方法加快了搜索过程，并能够在信息不完全的情况下也能够得到良好的搜索结果。Xin[19]等基于关键字搜索依赖于多个关键字之间的链接，而不考虑所涉及的确切逻辑关系，将关键词搜索引入自然语言问答中，提出了 NLQSK 框架，解决查询意图不能完全被识别和映射到正确的 SPARQL 语句中这一问题。Kamdar[20]等将三元组映射到医学文本搜索中，在参考文本中查找匹配的句子。虽然知识图谱在知识搜索中被广泛应用，但是在电力领域的知识自动获取、多源知识的自动融合和面向知识的表示学习都对提高搜索精度提出了诸多挑战。

综上所述，本文提出了基于 Elasticsearch 与知识图谱相结合的智能搜索方法。该方法预先筛选搜索的段落内容，大幅度减少搜索范围。在小范围的段落内容上，可采用知识图谱中三元组与问题进行精细粒度地匹配，提高了对标准文档精准搜索的精度。

3 基于 Elasticsearch 与知识图谱相结合的智能搜索方法

整体来看，若要实现对电力企业技术标准文档的智能精准搜索，快速、准确地在电力企业标准文档中定位目标内容，首先，要构建电力企业技术标准文档的知识图谱。其次，对电力企业技术标准文档中的段落进行分词处理。再次，构建 Elasticsearch 倒排索引文件，实现基于 Elasticsearch 的段落内容搜索。最后，在上述搜索基础上完成基于知识图谱的精准搜索。该方法的步骤描述如下。

步骤一：构建知识图谱。以段落内容为单位，对企业技术标准文档进行拆分。对每个段落内容构建索引并解析成知识图谱表示。根据电力企业技术标准文

档相应内容，首先，采用 POS[21]分词算法、词性标注算法对各段落文本内容进行分词和标注处理。其次，采用正则式抽取方法对数字、单位等进行规则式抽取。最后应用依存句法分析方法对上下文关系的依存关系进行识别，实现对不同电网业务领域的数据进行分析提取，并将提取出的实体与关系建立电力企业数据知识图谱。

构建段落内容所对应知识图谱元素由三元组组成，其实例如表 1 所示。其中，每行表示为一个三元组，每个三元组由实体、关系和实体或属性值构成。三元组 id 为 2010000 的三元组为（范围，包含，不包括某些小型和特殊变压器）。

步骤二：段落分词。该过程采用电力领域分词器将各段文本内容转换为一系列单词。分词器由三个组件组成，即 Character Filter、Tokenizer 和 Token Filter。其中，Character Filter 组件去除每条三元组的 HTML 标记，Tokenizer 组件按照分词器规则进行分词，Token Filter 将切分的单词进行修改，统一成小写格式，删除停用词，增加同义词。经过三个组件处理后，段落内容被分成多个单词。例如，三元组中实体为“不包括某些小型和特殊变压器。”，如果实体包含 HTML 标记，Character Filter 组件去除它。Tokenizer 组件分词后的结果为：“不包括 某些 小型 和 特殊 变压器”。Token Filter 组件处理后的结果为“不包括 小型 特殊 变压器”。

步骤三：构建 Elasticsearch 倒排索引文件。倒排索引是通过单词查找文档 id 的关系[22]，即可通过搜索电力领域关键词查找企业技术标准文档中对应的段落内容。倒排索引计量企业技术标准文档的 4 种统计指标包含：文档 ID、单词频率 TF、位置 Position 以及偏移 Offset。例如，经段落分词处理后的句子为“不包括 小型 特殊 变压器”。其中单词“小型”的倒排索引统计指标如表 2 所示。

步骤四：基于 Elasticsearch 的段落内容搜索。在搜索服务中输入问题，经段落分词对问题进行分词。分词结果返回到检索服务中，在倒排索引文件中查找与之匹配的企业技术标准文档 id。根据词频/逆向文档频率（TD/IDF）[23]相似性度衡量方法计算问题中每个词汇的相关性得分，然后相加后得到整个问题的相关性得分。最后对所有企业技术标准文档按相关性由高到低排序。

步骤五：基于知识图谱的精准搜索。为更准确地搜索目标答案，在段落内容搜索的结果范围内，结合电力企业数据知识图谱进行精准搜索。对问题进行信息抽取、实体链接和知识融合后表示成问题三元组，将问题三元组与电力企业数据知识图谱进行精准匹配，实现目标答案的精准搜索。例如，问题“散热器的油道厚度不应小于多少？”段落内容为“散热器的油道厚度不应小于 9mm。自冷式的片间距离不应小于 45mm。”电力企业数据知识图谱表示为（油道厚度，小于，9mm)，（片间距离，小于，45mm)。根据知识图谱 Cypher 检索语句查询得到准确答案为 9mm。

4 实验

4.1 数据集

在实验中，采用真实世界中电力企业技术标准文

表 1 ES 搜索引擎三元组部分实例

三元组 id	实体	关系/属性	实体/属性值
2010000	范围	包含	不包括某些小型和特殊变压器
2010013	没有相应标准的变压器	内容	当某些类型的变压器(尤其是所有绕组电压均不高于 I 000 V 的工业用特种变压器）没有相应的标 准时，本部分可以整体或部分适用。本部分不涉及变压器安装在公共场所的要求。
2010097	自耦联结绕组 auto-connectedwindings	内容	自耦变压器中的串联绕组和公共绕组。

表 2 单词“小型“倒排索引组成实例

文档 id	文档内容	单词频率 TF	位置 Position	偏移 Offset
1	不包括 小型 特殊 变压器	1	1	<4,6>
2	包括 特殊 小型 变压器	1	2	<5,7>
3	小型 特殊 变压器	1	0	<0,2>

档数据集对所提方法进行验证。电力企业技术标准文档数据集由 200 篇电力行业国家标准、企业标准和规章制度文档组成。每篇电力企业技术标准文档包含若干段落内容，对每篇电力企业技术标准文档拆分后的数据样例如表 3 所示。表 3 中包含一篇文档的若干段落内容与对应拆分的倒排索引与知识图谱三元组。

4.2 实验设置与运行环境

实验设置。将全部数据集作为验证数据集，并将所提方法与其他对比方法运行在相同的数据集上。将所有方法的搜索结果与真实内容对比，计算所有方法在评价指标上的数值。其他对比方法包括传统的基于 ES 的关键词搜索方法与基于知识图谱的语义搜索（KGSS）方法[14]。

为了保证搜索结果的稳定性，同时避免结果的偶然性。我们对所有方法执行 10 折交叉验证[24]。取所有结果的平均值作为最终结果。首先，我们将提出的 1000 个电力企业调度问题分成 10 等份，每份数据中包含 100 个电力调度问题，取其中的一份作为验证搜索方法的数据集，其余 9 份数据作为训练搜索方法的数据集。其次，分别将每组中的每个调度问题输入到搜索引擎中进行分词处理。然后将获得的分词结果与倒排索引文档中的段落 id 和三元组进行相似度衡量，返回最终搜索结果。最后，将所提方法的搜索结果与标准问题的搜索结果进行对比，计算每组问题的平均准确率。

实验环境。编程环境为 Python 3.5.2 和 MongoDB v3.2.7。集成开发环境（IDE）是 Pycharm 2017。计算配置环境为 Intel Core (TM) i3-2100 CPU 3.10GHz，8GB 内存，500GB 硬盘空间，Windows 10 64 位操作系统。

4.3 评价指标

准确率和召回率是广泛用于信息检索和统计学分类的两个度量值，用来评价搜索方法的有效性。为了验证该方法能在电力企业技术标准文档数据集中准确地搜索问题的答案，采用准确率和召回率两个评价指标来衡量所提方法，并与其他对比方法的评价指标数值比较。

准确率是检索出问题对应的真实答案数量占所有检索到的段落内容数量的比例。

$$Precision = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{T_i}{R_i} \tag{1}$$

T_i 是检索出问题对应的真实答案数量，R_i 是所有检索到的段落内容数量，n 是所有问题数量。

召回率是检索出问题对应的真实答案数量占所有相关段落内容数量的比例。

$$Recall = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{T_i}{AN} \tag{2}$$

AN 是所有相关段落内容数量。

4.4 对比的方法

采用传统的基于 ES 的关键词搜索方法与基于知识图谱的语义搜索（KGSS）方法与本文所提出的方法进行比较分析。

（1）传统的基于 ES 的关键词搜索方法。关键词搜索分为精确搜索和模糊搜索。调度人员将问题输入到 Elasticsearch 搜索引擎中，搜索引擎将该问题拆分，然后将拆分后的词汇与企业技术标准文档中的段落匹配，最后将匹配结果返回调度人员，完成搜索。

（2）基于知识图谱的语义搜索（KGSS）方法。该方法通过语义标注方法对结构化、半结构化和非结

表 3 某篇文档的若干段落内容与对应拆分的倒排索引与知识图谱三元组

序号	段落内容	倒排索引	实体	关系/属性	实体/属性值
1	对于具有相关标准的变压器和电抗器，本部分只适用于被其产品标准明确提及可相互参考的内容范围。包含：1.3.1 电抗器（GB/T1094.6)；	编号：2010014 名称：1 GBT 1094.1-2013	具有相关标准的变压器和电抗器	包含	电抗器（GB/T1094.6)
2	同上	编号：2010015 名称 1 GBT 1094.1-2013	具有相关标准的变压器和电抗器	包含	干式变压器（GB1094.11)
3	采购方订货时规定的值。	编号：2010061 名称 1 GBT 1094.1-2013	规定值 specifiedvalue	内容	采购方订货时规定的值
4	有效匝数可以逐级改变的绕组。	编号：2010087 名称 1 GBT 1094.1-2013	分接绕组 tappedwinding	内容	有效匝数可以逐级改变的绕组

构化数据抽取实体，并捕获知识实体间关系，然后利用知识融合方法，构建知识图谱。搜索过程中采用相似性搜索和分类策略，将企业技术标准文档中的知识抽取出来。封装器（wrapper）将数据封装起来，再通过数据清洗、实体识别、实体清岐及实体关联操作获取知识，以形成知识图谱。最后，依据知识图谱，通过知识访问与知识管理，利用 Cypher 语法实施图模式匹配查询。

4.5 实验结果与分析

我们所提出的方法 SEK 与 ESKS、KGSS 相比较，在准确率和召回率评价指标上均具有较好的实验结果。实验结果如图 1 和图 2 所示，图 1 显示了 3 种方法分别在准确率（precision）评价指标上的比较结果，图 2 显示了三种方法分别在召回率（recall）评价指标上的比较结果。从图 1 和图 2 显示结果发现，所提出的方法在精确度和召回率中总体呈上升趋势。但是基于 ESKS 和 KGSS 两种方法的调度问题搜索是不稳定的。同时，二者在搜索的精确度与召回率中均呈下降趋势。这主要由于基于 ES 搜索与知识图谱搜索方法相结合，可预先筛选搜索的段落内容，大幅度减少搜索范围。在小范围的段落内容上，可采用知识图谱中三元组与问题进行精细粒度匹配，提高了对标准文档精准搜索的精度。因此，本文所提出的方法在电力企业技术标准文档数据集中搜索问题是有效的。

5 面向电网调度制度知识搜索的原型系统

系统的功能逻辑结构从下至上可分为 3 层，即文本解析层、数据存储层和应用层。在文本解析层，对电网企业的调度文档和技术文档进行分段，构建 ES 倒排索引和知识图谱，将这些数据输出到数据存储层。

在数据存储层，分别使用 Neo4j 图数据库和 MySQL 关系数据库存储知识图谱和 ES 倒排索引。当输入问题时，系统将查询数据库中的数据，并将相关

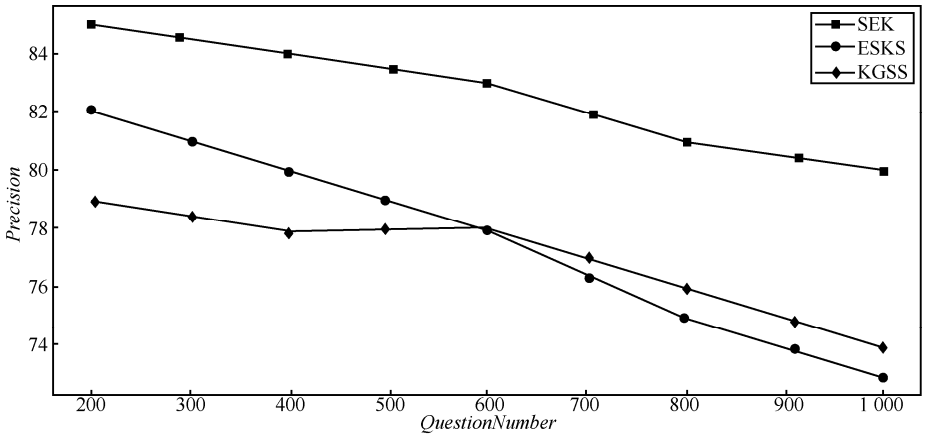


图 1 precision 比较结果

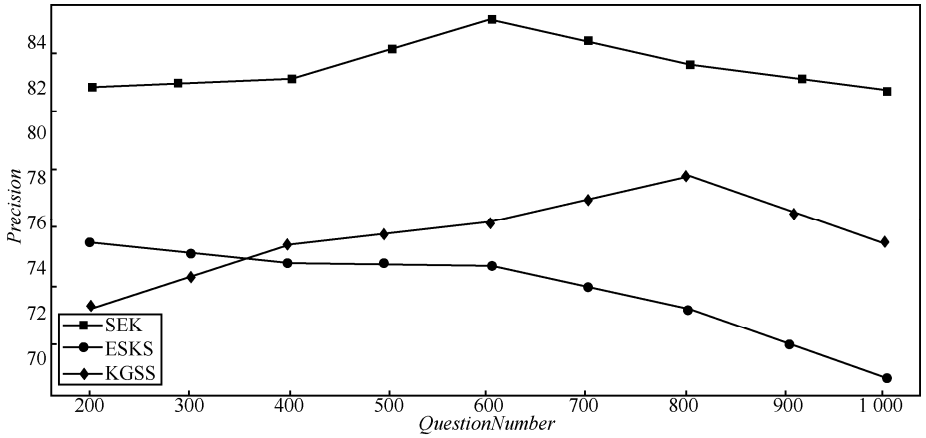


图 2 recall 比较结果

段落内容 ID 和知识图谱输出到存储的内容中。存储内容中的数据被输出到应用程序层以显示。应用层包括信息检索、知识图谱准确问答和专业推荐功能。系统的功能逻辑结构如图 3 所示。

应用层的信息检索功能用于返回用户搜索问题的相关文档。知识图谱精确问答功能在返回问题的相关文档范围内，能更精准地返回问题的答案。答案形式为具体的字符串和数字，而不是多个最相关的段落内容。专业推荐功能用于推荐与搜索问题相联系的文档。需要注意的是，推荐文档不是与信息检索返回的段落内容相同的文档，而是与段落内容在其他方面有联系的文档。面向电网调度制度知识搜索原型系统的系统主界面如图 4 所示。

图 4 中问题为散热器的游道厚度不应小于多少，信息检索返回了 3 个段落内容，知识图谱精准问答返回 9mm，知识图谱展示了散热器的图谱关系，专业推

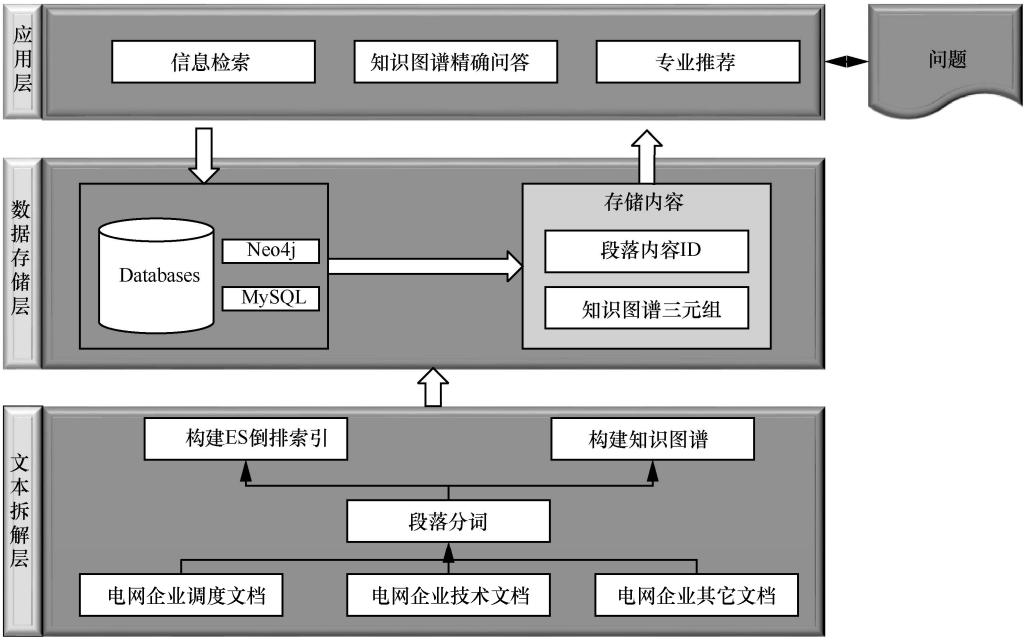


图 3　系统的功能逻辑结构



图 4　电网调度系统知识检索原型系统的主界面

荐功能推荐了相关的文档。

6 结束语

本文提出一种基于 Elasticsearch 与知识图谱相结合的智能搜索方法，构建了面向电网调度制度知识搜索的原型系统。实验中采用电力企业技术标准文档数据集进行验证，将所提方法与其他方法在评价指标上进行对比。实验结果显示，所提出的基于 ElasticSearch 和知识图相结合的智能搜索方法在准确率和召回率中具有更高的精度，说明采用 ElasticSearch 方法预先筛选搜索的段落内容，然后在小范围的段落内容上，采用知识图谱中三元组与问题进行精细粒度匹配可以得到更准确的答案，证明了该方法是有效的。

在未来工作中，针对所提方法未考虑的因素以及提高方法精度和效率方面，提出了 3 点工作方向。（1）构建电力专业领域分词词典。结合电力业务专家与现有专业词库，构建针对电网调度知识与企业技术标准的专业领域词典。可减少使用通用分词词典导致的电力专业名词分词错误，进而提高所提方法搜索的准确率。（2）改善推荐模型性能。将深度学习推荐算法应用到我们的系统中，提高推荐内容的准确性和多样性。（3）提高效率。我们提出的方法效率将进一步提高，以适应更多的电力调度知识文档与企业技术标准文档。

参考文献：

[1] 郭荣, 杨群, 刘少汉, 等. 电力系统故障处理知识图谱构建的研究与应用[J]. 电力系统技术, 2021, 45(06): 2092-2100.

[2] 全龙翔, 马行星. 浅谈一种面向大数据行业的智能搜索引擎技术[J]. 计算技术与自动化, 2020, 39(2): 170-176.

[3] 杨强. 田湾核电站基于 Elasticsearch 的创新型数据应用研究与实践[J]. 电力大数据, 2021, 24(2): 41-46.

[4] 杨丽萍, 张希翔, 孟椿智, 等. 基于 Elasticsearch 的大数据搜索引擎在电力企业的应用研究[J]. 数字技术与应用, 2017(12): 63, 65.

[5] 蒋鸿城, 陈可, 耿继朴, 等. 海量日志分析在浙江电力的应用与实践[J]. 浙江电力, 2017, 36(12): 27-32.

[6] TIAN X, ZHANG T C, ZHUANG X F, et al. Research and implementation of campus network search engine based on scrapy framework and elasticsearch[C]//Proceedings of 2020 Chinese Control and Decision Conference (CCDC). Piscataway: IEEE Press, 2020: 4193-4198.

[7] 钦蒋承, 沈宏良. 基于 Elasticsearch 的校内全文搜索平台的研究与实现[J]. 现代计算机(专业版), 2018(34): 96-100.

[8] VOIT A, STANKUS A, MAGOMEDOV S, et al. Big data processing for full-text search and visualization with elasticsearch[J]. International Journal of Advanced Computer Science and Applications, 2017, 8(12).

[9] KANADE P, SADASIVAN A, DHURI K, et al. Search engine for ebook portal[J]. International Journal of Scientific & Technology Research, 2015, 4(8): 77-81.

[10] 胡庆宝, 姜晓巍, 石京燕, 等. 基于 Elasticsearch 的实时集群日志采集和分析系统实现[J]. 科研信息化技术与应用, 2016, 7(3): 13-18.

[11] 张建飞. 基于 Elasticsearch 的分布式音乐垂直搜索引擎的设计与实现[D]. 长春: 吉林大学, 2019.

[12] 章天岳. 基于 ElasticSearch 的分布式物流垂直搜索引擎的设计与实现[D]. 扬州大学, 2018.

[13] 刘峤, 李杨, 段宏, 等. 知识图谱构建技术综述[J]. 计算机研究与发展, 2016, 53(3): 582-600.

[14] 徐蕙, 及洪泉, 姚晓明, 等. 智能电网中基于知识图谱的语义搜索算法[J]. 实验室研究与探索, 2021, 40(4): 71-74, 86.

[15] 王琼, 魏军, 闫润珍, 等. 知识图谱在智能电网的应用[J]. 电子元器件与信息技术, 2020, 4(1): 135-137, 147.

[16] 刘津, 杜宁, 徐菁, 等. 知识图谱在电力领域的应用与研究[J]. 电力信息与通信技术, 2020, 18(1): 60-66. LIU J, DU N, XU J, et al. Application and research of knowledge graph in electric power field[J]. Electric Power Information and Communication Technology, 2020, 18(1): 60-66.

[17] 周帆, 叶健辉, 肖林朋, 等. 基于知识图谱的电网模型本体智能问答系统研究[J]. 中国科技信息, 2019(16): 85-86.

[18] WANG M, CHEN W T, WANG S, et al. Efficient search over incomplete knowledge graphs in binarized embedding space[J]. Future Generation Computer Systems, 2021, 123: 24-34.

[19] HU X, DUAN J L, DANG D P. Natural language question answering over knowledge graph: the marriage of SPARQL query and keyword search[J]. Knowledge and Information Systems, 2021, 63(4): 819-844.

[20] KAMDAR M R, STANLEY C E, CARROLL M, et al. Text snippets to corroborate medical relations: an unsupervised approach using a knowledge graph and embeddings[J]. AMIA Joint Summits on Translational Science Proceedings AMIA Joint Summits on Translational Science, 2020, 2020: 288-297.

[21] 牟巧玲. 文本分类问题的深度迁移学习算法研究与应用[D]. 兰州: 西北师范大学, 2020. (MOU/MU) Q L. Research and application on deep transfer learning algorithm in text classification[D]. Lanzhou: Northwest Normal University, 2020.

[22] 屈志坚, 范明明, 周锐霖, 等. 海量配电网调度监测信息的非主行键倒排索引查询技术[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(23): 162-168.

[23] 傅廷妍. 语义关联在专利文本中的应用[D]. 镇江: 江苏科技大学, 2020. FU T Y. Application of semantic association in patent text[D]. Zhenjiang, China: Jiangsu University of Science and Technology, 2020.

[24] 梁子超, 李智炜, 赖铿, 等. 10 折交叉验证用于预测模型泛化能力评价及其 R 软件实现[J]. 中国医院统计, 2020, 27(4): 289-292.

面向电网信息化项目建设领域知识服务体系构建浅析

李斌，沈世豪，郭文钧，王瑞杰
（北京中电普华信息技术有限公司西安分公司，陕西 西安 710075）

摘　要：随着电网信息化发展，一些试点统推项目的短时间大规模铺开建设，企业人员建设能力难以支撑短时间内的项目规模，不同区域项目人员知识不能及时共享，影响企业项目建设的效率，增加了项目的周期以及成本，因此企业做好知识共享至关重要。将项目成果转化为知识，同时基于项目建设领域做好成果物分类，形成知识服务体系成为企业知识管理发展方向。本文参考国家应急管理办法经验，提出“一台三制”的知识服务体系建设思路，通过分析电网企业的现状以及项目管理领域模型，讨论如何建立建立知识成果分类体系对业务知识成果分类，赋能企业项目建设发展。

关键词：电网信息化，知识管理，知识服务，知识分类。

1　引言

约 4200 年多前，大禹进行“治水项目”，总结出秘诀：根据山脉地形，采用疏导的方法，开沟掘渠，使洪水从江河流入大海。约 2277 年前，都江堰水利工程总结出秘诀：三官殿墙上治水三字经，全文 60 字[1]。所谓秘诀其实就是知识的累积，人类正处于一个知识经济时代，知识蕴含于人力资本与科技中，取代物质资本处于核心地位，知识赋能生产建设成为企业发展的一个重要手段。如何通过知识管理提高企业生产效率，一直是企业在发展过程中十分关注的焦点。知识赋能生产建设是知识管理的目的之一，如何在电网信息化项目建设领域进行知识分类体系建设，对知识进行分类整理，赋能项目建设是本文的主要探讨问题。

“十三五”以来，国网公司信息化建设成果满足了公司规模性增长与集约化管理的需求，解决了数据获取从无到有、信息从分散向集中、业务从线下向线上等业务数据化问题，为能源互联网建设奠定了坚实的数字化发展基础。“十四五”期间，国网公司的数字化发展需要在与时俱进中提升新认知，创造新价值，探索新空间，开创新局面。到“十四五”末，目标基本建成覆盖能源互联网生产传输、消费交易、互通互济各环节全场景的信息支撑体系，融通能源流和信息流，共筑价值创造体系。公司数字化综合效益贡献率超过 40%，新兴产业年产值 3000 亿元，数字化发展指数基本达到国际领先水平。

随着国网公司对数字化发展要求的不断增强，对电网信息化项目的建设要求也在不断的增强，信息化建设需要主动融入电网业务、融入基层一线、融入产业生态，推进架构中台化、数据价值化、业务智能化，支撑公司战略目标落地实施。信息化建设的人员和团队也面临着信息化技术快速革新发展和业务融合发展的现状，需要快速学习适应企业数字化转型的要求。

随着电力行业信息化数字化发展，一些试点统推信息化项目的短时间大规模铺开建设，企业存在人员建设能力难以支撑短时间内的项目规模，不同区域项目人员知识不能及时共享，影响企业项目建设的效率，增加了项目的周期以及成本。

“细分”属于市场营销概念，不同学科知识的需求者构成不同知识的细分领域[2]。在面向电网信息化项目这一细分领域知识服务体系构建研究是本文重点。本论文主要对新形势电网项目管理建设进行分析，结合电力信息化领域知识体系运营经验，探索如何构建知识共享体系，同时通过对信息化项目管理领域模型分析，结合实际项目环境，讨论电力信息化项目生产管理知识分类体系，赋能企业项目生产建设，提高企业项目生产建设效率。

2　电网企业知识服务体系建设必要性及可行性

随着电网行业的信息化转型升级，“大物云智移”

的发展，对项目人员知识前沿性要求变高。电网信息化技术更新迭代迅速，对信息化项目建设人员的要求从原先的单一项目特定需求实现，向产品化的信息服务转变，项目团队不仅要有过硬的信息化技术能力，还需要快速学习掌握企业数字化转型过程中的业务需求，因此在项目建设过程中对相关领域知识的学习存在着迫切需求。

电网企业组织变动频繁，项目人员流动性大，大型项目往往是有国家电网公司业务人员、信息化建设产业单位、技术服务合作单位、甚至是科研院所共同承担，不同单位、不同岗位角色的人员能力不同，获取知识的途径不同，知识往往跟随人员流动，项目交付后企业知识难以形成沉淀，难以支撑国网公司后期运维和迭代。如何建立健全科学高效的智库体系，建立知识共享系统，推动信息化成果在企业内部的沉淀、学习、共享、应用和创新，是企业领导迫切关注的问题。

国家电网公司经过“三集五大”的全面信息化建设，公司信息化建设成果满足了公司规模性增长与集约化管理的需求，解决了数据获取从无到有、信息从分散向集中、业务从线下向线上等业务数据化问题，为能源互联网建设奠定了坚实的数字化发展基础。企业也积累了大量的信息系统建设、运维知识，国网公司对项目交付物成果材料管理相对完善，且前期信通公司已经牵头建设了知识管理平台，在一定的管理政策激励下，对基于领域模型对项目成果进行知识转化分类形成知识服务体系具备可行性条件。

3 面向电网信息化项目建设领域的知识服务体系建设目标及原则

知识服务由“知识”和“服务”两部分组成，知识是根本，服务是关键[3]。知识体系有 3 个特性：目标性、体系性以及抽象性，多使用逻辑树进行构建。目标是指方向聚焦，体系有重点。体系是指结构完整、层次分明，前 2 层分支的平衡性越好，归纳程度也越强。而抽象则是知识体系是知识从具体到抽象的表现，呈现了知识的特征或本质。再进一层，什么是好的知识体系呢？除了上述所描述的有目标、够全面、抽象程度高，还有一点则是知识体系应该是相互独立但非无限穷尽的。有的知识仅须停留在知道，有的则需要运用并且创新。电力企业的核心价值观是知识管理现代服务体系构建的前提。主要包括企业宗旨、企业精神、企业理念和奋斗方向。知识管理现代服务体系的建立要遵循企业的核心价值观[4-5]。

具体到电网信息化项目建设领域的知识服务体系建设，其目标是为了更好进行电网企业知识体系传承和人才培养，电网信息化项目知识服务体系建设应以员工和知识为核心，坚持全员参与、共建共享的原则，充分调动和发挥公司专家、项目人员等资源；同时知识体系离不开运营工作，运营提供知识管理和共享服务。

企业构建知识体系原则有如下 3 点。

（1）确定一个普适性的方法，企业内部组织结构复杂，不用岗位用户对知识的需求有所不同，通过一个具有共识的方式进行知识管理和服务可以最大程度的有效构建企业知识体系。

（2）明确体系建设方向和目标、确定所在领域的知识体系深度和广度。

（3）持续性收集知识，评估知识优先级，引入专家，建设运营好知识内容。

3 知识服务体系建设方法

电网信息化项目建设领域知识服务体系构建可按照“一台三制”的思路构建，“一台”指一个线上知识管理服务平台，平台提供知识信息共享交互功能。“三制”指完善的体制、法制、机制。

3.1 知识管理服务平台

知识管理是对企业内部的知识进行组织和管理，是通过知识共享，利用集体智慧提高应变能力和创新能力，是为企业实现显性知识和隐性知识共享提供的新途径。知识管理的实施在于建立激励员工参与知识共享的机制，培养企业创新能力和集体创造力。它包括两方面的内容: 一是对显性知识的管理。由于显性知识是信息的深加工产物，所以这一部分可看做信息管理的深化与发展; 另一方面是对隐性知识的开发与管理。由于隐性知识不是编码化的，而是作为认知的过程存在于人脑中，因而可以看做是对人的管理。知识管理是通过提高对知识的研知识管理服务平台是提供各项知识服务的载体，在知识服务过程中扮演着重要角色[6-8]。

知识管理服务平台可结合人工智能、大数据等新技术，建设智能化的应用平台，解决“检索难、查阅难、闭环难、整合难”的知识获取痛点。平台可通过社区形式鼓励隐性知识分享，将隐性知识转化成显性

知识。

如何实现快捷的知识资源导航，降低用户发现与获取成本。早在 1996 年 0ECD 就提出，要解决知识的创新问题，就要帮助用户快速发现和获取自己所需的知识。目前，已有的知识服务平台大多采用关键词作为标引手段并以此构建信息检索数据库，检索结果由于缺乏语义控制，最终导致将大量低相关或无关内容返回给用户。技术层面通过建立基于知识资源内容语义关联维度的导航功能来提高用户查询和获取所需知识的精确度与便捷性，帮助用户准确了解"我需要什么”和“我需要的在哪里"是一种有效做法[9-10]。

运用知识图谱技术，帮助用户解决知识理解难的问题。知识图谱是一张由知识点相互连接而成的语义网络，是关系最有效的表达方式，是人工智能技术的组成部分，也是大数据智能的前沿研究问题，其强大的语义处理和互联组织能力，为智能化信息应用提供了基础。知识图谱建立实体之间的属性与关系，将重构我们的思维方式，结合用户行为信息，更懂用户的意图，为用户提供更符合当前场景的结果，也有助于发现隐藏在数据连接背后的故事，进一步释放数据价值，提升数据资产管理能级。

3.2 知识服务团队

体制建设方面，可建立运营管理团队，产品研发团队，业务知识管理团队。

运营管理团队主要负责知识运营，提供知识平台基础运维，维护丰富知识内容，保障知识的共享传递，打通人与人之间知识的壁垒。电网企业知识服务体系运营区别于互联网运营，不以盈利为目的，主要目标为提高管理效益，从而间接提高经济效益，社会效益。

产品研发团队主要负责知识平台的功能研发和迭代升级，以及技术运维服务，满足管理和运营需求，打通人与平台之间知识交互的壁垒。

业务知识管理团队，主要由各部门知识管理专责、公司专家等人员组成，既是知识的生产者，也是知识的消费者，主要负责项目成果转化为知识，按照知识分类模型对知识进行分类，打通知识与业务之间的壁垒。

3.3 知识服务管理办法

法制建设方面，企业人力资源部门可跟进企业的实际情况建立考核奖惩办法。建议将激励主要偏向于知识的分享者，保证知识贡献者劳有所得。

3.4 知识运营流程构建

机制建设方面，建立和维护知识库，先期由业务部门知识管理专员梳理本部门知识目录及内容，并将知识内容在平台进行上传和分享,运营管理团队进行问题对接，维护相关知识内容并对各部门上传进行情况进行统计，评价结果上报人资部，评价考核各部门知识管理和应用水平。知识维护发布流程如图 1 所示。

3.5 领域模型分析

领域模型是对领域内的概念类或现实世界中对象的可视化表示。又称概念模型、领域对象模型、分析对象模型。它专注于分析问题领域本身，发掘重要的业务领域概念，并建立业务领域概念之间的关系[11]。

从项目管理角度项目管理主要有四大模型，分别是瀑布模型、迭代模型、增量模型、原型模型。

适合采用瀑布模型的项目类型，通常是对用户需求非常明确的项目。同时还要求项目预算充足，人员齐备[12]。

目前电力行业项目管理过程相对规范，在政策制度的约束下主要以瀑布模型为主，而瀑布模型属于文档驱动型，优点是每个阶段开发的质量都有保证，减少了返工；文档细致，降低了沟通成本，有利于及早

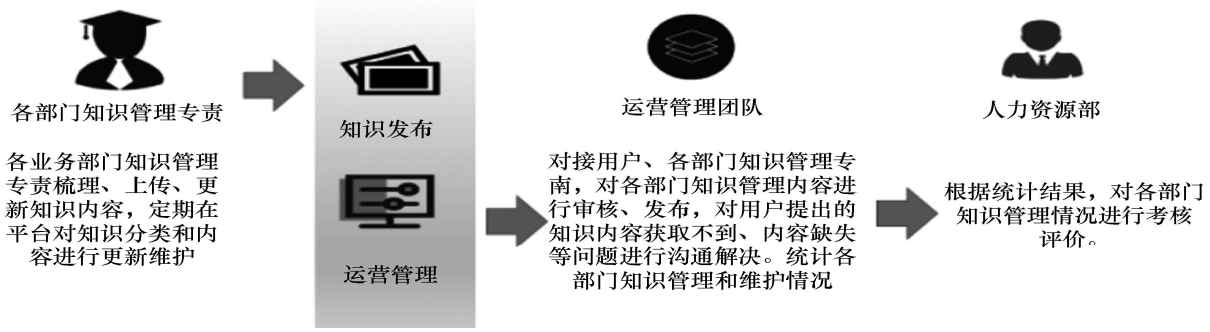


图 1　知识维护发布流程

发现问题。缺点是周期长，不易变更。

做好瀑布型项目成果物管理，将成果转化为知识，赋能项目建设，可以提供项目建设效率，减少项目投入投资成本。

3.6 知识分类体系

知识服务体系运营层面需要做好基于领域知识的分类，支撑技术的维度关联。以瀑布模型为参考，项目过程主要分为 3 个阶段，定义阶段、开发阶段、维护阶段；标准规范、业务设计成果物在定义阶段起着重要知识参考作用；系统研发、工程实施成果物在开发阶段起着重要的知识参考作用；运营运维成果物在维护阶段起着重要知识参考作用。成果物管理体系涉及成果物的管理全流程，因此将成果物按照标准规范、业务设计、系统研发、工程实施、运营运维五大阶段进行目录划分。

标准规范。为了减少信息化项目设计开发过程中的返工，标准规范在信息化项目中起着重要的作用，在项目业务设计前期应对标准规范进行分类收集。标准规范是指成果物的编制规范，包括设计规范、研发管理规范、代码规范三类。涉及成果物的技术要求和服务规范、系统建设规范、系统集成设计规范、系统数据模型设计规范、运营管理规范等。通过各类管理、设计、运营的标准规范为后续成果物的全流程提供指导和约束。

业务设计对应业务涉及阶段的成果物收集，业务设计是指总部/各省成果组在建设初期提出需求，并根据需求清单完成对各项成果物的设计阶段。包括业务蓝图、名词术语、用户需求、业务架构、业务模型、业务对象、产品原型等成果物的编制。该阶段需完成各类说明书编制，包括但不限于文档、对象、单元、规则、流程指标、报表因子、看板切片等内容。

系统研发是指总部/各省项目组根据业务设计完成的相关设计成果物，进行系统的研发。包括架构设计、概要设计、领域模型、数据模型、服务设计、集成规范、程序源码、系统脚本、测试方案等内容的研发。该阶段需完成各类系统相关的成果物，包括但不限于模型、编码、微服务、接口、规约、架构、代码、组件等内容。

工程实施是指总部/各省项目组根据系统研发阶段完成的相关研发成果物，进行工程实施，实现系统的落地。包括物理部署、安装配置、系统配置、数据迁移、操作手册、割接方案、培训方案等实施及落地内容。该阶段需完成产品的落地、操作手册的编制和培训任务。

运营运维是指总部/各省项目组完成产品落地后，根据相关运营运维管理规定，实现对整体产品的运营及运维。

4 结束语

本文针对电网信息化项目建设领域项目规模大，知识前沿性要求高，项目人员流动频繁等特点分析了知识体系建设的必要性，结合领域的管理特点分析了知识体系建设的可行性。通过电网信息化项目建设领域特性分析，结合体系构建经验，提出“一台三制”的建设思路，从平台构建、体制构建、法制构建、机制构建 4 个维度讨论领域知识体系构建的方法，同时对项目管理模型进行分析提出领域知识分类方法，从四方面讨论探索电网企业知识服务体系的建设，具备带电网信息化项目建设领域知识服务体系建设参考价值。

参考文献：

[1] 解读都江堰的治水秘诀[EB].2020.

[2] 周敏, 闫佳琦. 学术期刊知识服务转型的模式与内容思考[J]. 科技与出版, 2017(8): 97-102.

[3] 贺芳. 面向岗位的专业领域知识服务模式探索: 专业出版社知识服务转型思考[J]. 科技与出版, 2018(3): 94-98.

[4] 肖勇. 从信息管理透视七代企业管理[J]. 情报学报, 2001(2): 160-167.

[5] 马小勇, 牛东晓. 企业知识管理能力高标定位研究[J]. 科学学与科学技术管理, 2009, 30(8): 91-94,185.

[6] 马健. 隐性知识显性化与企业核心竞争力的丧失[J]. 现代情报, 2009, 29(11): 167-168,172.

[7] 向波. 加强企业知识管理的思考[J]. 石油化工管理干部学院学报, 2009, 11(2): 30-32.

[8] 褚峻. 知识管理的资源性分析: 基于企业微观层面[J]. 图书情报知识, 2000(2): 7-11.

[9] 瞿辉, 邱均平. 基于语义化共词分析的馆藏资源聚合研究[J]. 情报科学, 2016, 34(2): 15-20.

[10] 周敏, 闫佳琦. 学术期刊知识服务转型的模式与内容思考[J]. 科技与出版, 2017(8): 97-102.

[11] 领域模型和领域对象的概念_蓝叶菱的专栏[EB]. 2016.

[12] 程苏斌. 浅谈施工项目管理的四大要素[J]. 甘肃科技, 2013,29(18):102-105.

深度学习视觉原理及其在企业中的应用

刘文清[1]，陈小惠[1]，易衍孜[2]，姚程[3]，于超[1]
（1. 国网湖南省电力有限公司 信息通信分公司，湖南 长沙 410004
2. 国网湖南省电力有限公司 科技互联网部，湖南 长沙 410004; 3.长沙永程科技有限公司，湖南 长沙 410005）

摘　要：随着人工智能的发展，掌握深度学习计算机视觉技术的优势不言而喻。本文从感知机的构造为起点，简要分析了深度学习的视觉原理，利用当前流行的 AI 开放平台开发了一款提升机房监控安全水平的辅助小程序，给常规的信息系统注入了 AI 新元素，为加强企业现场管理提供了新的技术手段。基于深度学习的 AI 技术在企业中的深化应用前景广阔。

关键词：人工智能；人脸识别；深度学习；计算机视觉

1　引言

在经典的程序设计中，程序员只要在程序中嵌入足够多的明确规则，人们输入数据，系统就能得出正确的答案。事实上，这对于解决定义明确的逻辑问题可能适用，但对于难以给出明确规则，如:图像分类、语音识别等更加模糊、复杂的问题，实践的效果却不佳。直到 2012 年，随着 AlexNet 人工神经网络[1]诞生，一种新的方法-机器学习才在视觉、听觉等方面取得革命性的进展。深度学习作为一种复杂的机器学习算法，在语音和图像识别方面取得的效果，远远超过先前相关技术，具有划时代的意义。

2　深度学习计算机视觉的理论基础

2.1　感知机

作为神经网络的起源，了解感知机[2]的构造是通向神经网络和深度学习的一种途径。感知机是由美国学者弗兰克·罗森布拉特在 1957 年提出来的。它可以被视为一种简单形式的前馈式人工神经网络，是一种二元线性分类器。感知机是生物神经元的简单抽象。大脑的基本感知单元是神经元，神经元分为细胞体和突触两部分，如图 1 所示。细胞体具有联络和整合输入信息并传出信息的作用；突触是神经元之间在功能上发生联系的部位，也是信息传递的关键部位。突触有树突和轴突两种。

单个神经元细胞可被视为一种只有两种状态的机器--激动时为‘是’，而未激动时为‘否’。为了模拟神经元行为，与之对应的感知机基础概念被提出，如权重（突触）、偏置（阈值）及激活函数（细胞体）。感知机接收多个输入信号，输出一个信号。使用单层感知机可以实现与门、或门、与非门三种逻辑电路，然而单层感知机留有遗憾，其主要的缺陷是不能处理线性不可分问题，它做不了异或门。就象如下图 2 所示:在一个二维平面中，图左为或门输出，它的四个点可以用直线正确分隔开；而图右为异或门输出，它的四个点却不能用直线正确分隔开。

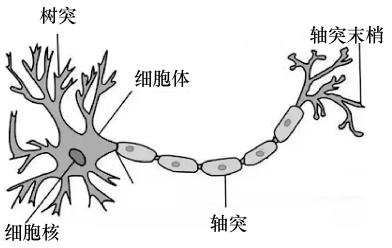


图 1　神经元结构

而神经元是一个多输入单输出的信息处理单元，它对信息的处理是非线性的。单层感知机的这一缺陷也直接或间接促使神经网络的研究于 20 世纪 70 年代后期陷入了停滞。

不过就算在神经网络研究的低谷期，也有科学家通过两层感知机组合叠加实现了异或门，如图 3 示。通过增加层，双层感知机可以表示单层感知机无法表示的东西；使用多层感知机可以实现更为复杂的电路。

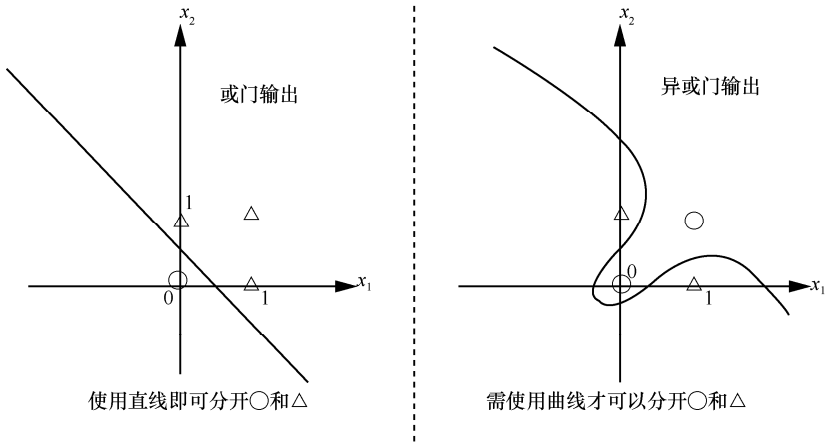


图 2　线性空间和非线性空间

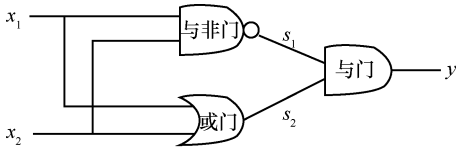


图 3　通过双层感知机叠加实现异或门

科学家们发现通过在多层感知器中进行非线性映射，可有效解决了非线性分类和学习的问题。非线性分类引发了神经网络的第二次研究热潮，虽然当时算力和数据都很有限，但人工神经网络总算正式发展起来了。

2.2　人工神经网络

人工神经网络，是 20 世纪 80 年代以来人工智能领域的研究热点。它是一种运算模型，由大量的节点（或称神经元）之间相互联接构成。每个节点代表一种特定的输出函数，称为激活函数。如果用图来简要表示它的话，一般可分为三个层：输入层、隐藏层、输出层。

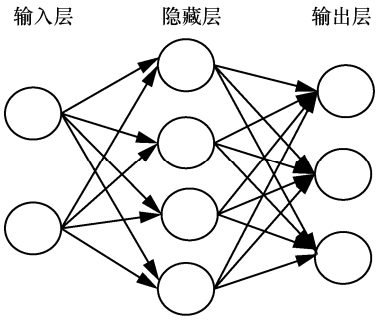


图 4　神经网络的例子

如图 4 所示，用○表示神经元，用箭头表示它们之间的连接。箭头上有“权重”，权重和对应的神经元的值分别相乘，其和作为下一个神经元的输入。为了充分拟合输出特性，通常会另外加上一个常数进行修正，称作“偏置”。一个全连接神经网络模型即搭建完成。

基于全连接层的变换可以通过矩阵乘积的方式进行表达，经过抽象整理，甚至可用一个简单的数学表达式进行描述，如公式(1)所示：

$$h = xW + b \tag{1}$$

这里，输入是 x，隐藏层的神经元是 h，权重是 W，偏置是 b，这些都是“矩阵”。

简单地说，神经网络就可以理解成为一个带矩阵运算的复杂函数。关键的问题在于如何训练其中各层间的连接权重 W。人工神经网络的一个重要特性是它可以自动地从训练数据中学习到合适的权重参数，从而使人工神经网络变得更加自动化、智能化。

神经网络能做到这点，关键在于神经网络采用的激活函数要是连续的、可导的。如图 5 所示，以 Sigmoid 函数为例，与阶跃函数不同，函数曲线平滑呈 S 型，取值范围为 0~1，函数的斜率不会为 0，其导数可以用其自身来表示：S’(x)=S(x)[1-S(x)]。正是得益于这些有趣性质，神经网络才可以采用反向传播算法，通过多层叠加来模拟各种复杂问题。

反向传播算法可以说是神经网络最基础也是最重要的知识点，在此不作赘述。我们只要知道神经网络都有一个损失函数。这个函数根据不同的任务有不同的定义方式，但定义这个损失函数的目的，就是计算出当前神经网络建模出来输出的数据和理想数据之间

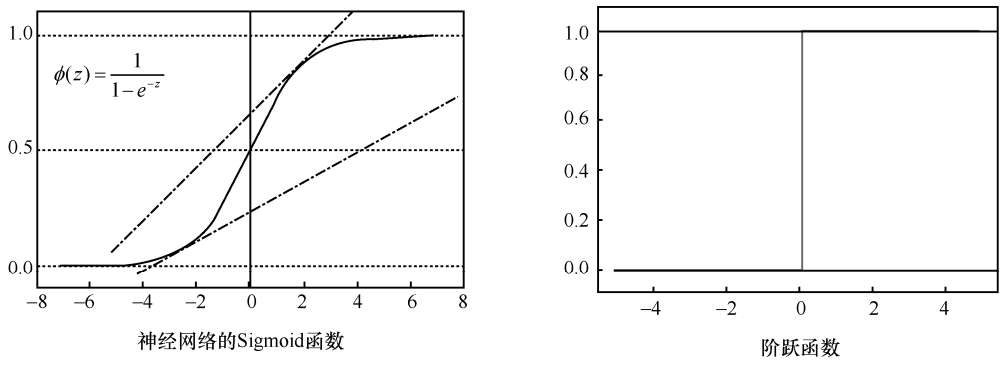


图 5　Sigmoid 函数和阶跃函数

的差值。差值大则表示预测值与真实值的误差大；差值小则会使损失渐进至局部最小值，从而使预测值逼近于真实值。为了找到使损失值尽可能小的地方，需要对网络参数求导，然后以这个导数为指引，迭代更新参数的值，直到损失值降至最小。计算出损失之后，根据反向传播算法就可以更新网络中的各种参数，以此使损失不断下降，即可使输出的数据更加理想。

神经网络的逻辑处理按“层”来组织，层又被映射成开发语言中的“类”，通过这种模块化，就可以像搭建积木一样构建神经网络。如图 6 所示，将样本数据作为输入，样本的标签作为真实值参考，这样，损失函数、优化算法和权重之间就形成了一个负反馈关系，通过多次迭代，网络的权重将趋向于收敛，网络模型得到构建。这就是人工神经网络“学习”的原理。

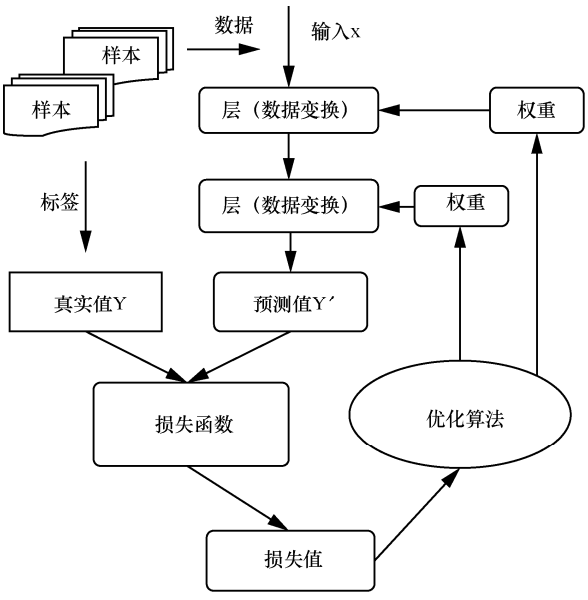


图 6　神经网络的损失函数和优化算法之间的关系

传统的 BP（反向传播）神经网络并不完美，很快又因为 SVM（支持向量机）等核方法的诞生而黯然失色。这是因为传统的 BP 神经网络有几个重大的缺陷。一是 BP 神经网络仍然是有监督的传统机器学习方法，它遵循的思路是：输入样本→特征提取→分类器分类→判断结果。提取的特征需要研究者们主动干预，并经过反复实验证明为有效，即使这样，仍然会在一定程度上丢失图像中的结构信息。为了学习到如偏移等微小的变化，需要有足够多的参数和足够多丰富的样本，即便如此，最终学习到的权重，很可能还不是最优解。二是全连接神经网络从 BP 算法提出开始，发展于 90 年代，那时候的计算机属于 CPU 时代，也根本就无法撑起海量参数的计算。不管是历史局限性也好，还是神经网络仍有种种不足，总之 80 年代后的 20 年间它仍不能一战成名。直到上个世纪 90 年代，一种用于手写体字符识别的 LeNet5 网络被提出，从而诞生了卷积神经网络。

2.3　卷积神经网络

卷积神经网络是人工神经网络基于视觉分层理论学习演进的代表算法之一，现已被广泛用于计算机视觉、自然语言处理等各种场合，有着无可比拟的独特优势。以图像识别为例：在数字图像处理中有一种最为基本的处理方法，即线性滤波。卷积神经网络的原理与此类似，它使用的滤波工具是另一个小型矩阵，专家们称之为卷积核。如果将待处理的图像看作一个大型矩阵，图像中的每个像素可以看作矩阵中的每个元素，使用卷积核对全图进行扫描，就好比使用某种局部特征图来对全图进行检测。如图 7 所示，深度学习出现之前，特征图曾经非常重要。但现代深度学习的理论成熟以后，大部分特征图都不需要人工来设定了，因为神经网络能够利用卷积的设计思想从原始的

数据中自动提取有用的特征图。卷积神经网络的优势：首先是学习原理上的改进，卷积神经网络不再是有监督学习；另一方面，卷积神经网络只与上一层的一个图像块相连，参数的个数有数量级上的降低。即能更好地学习，又能大大降低参数的数量，卷积神经网络当然可以成功！

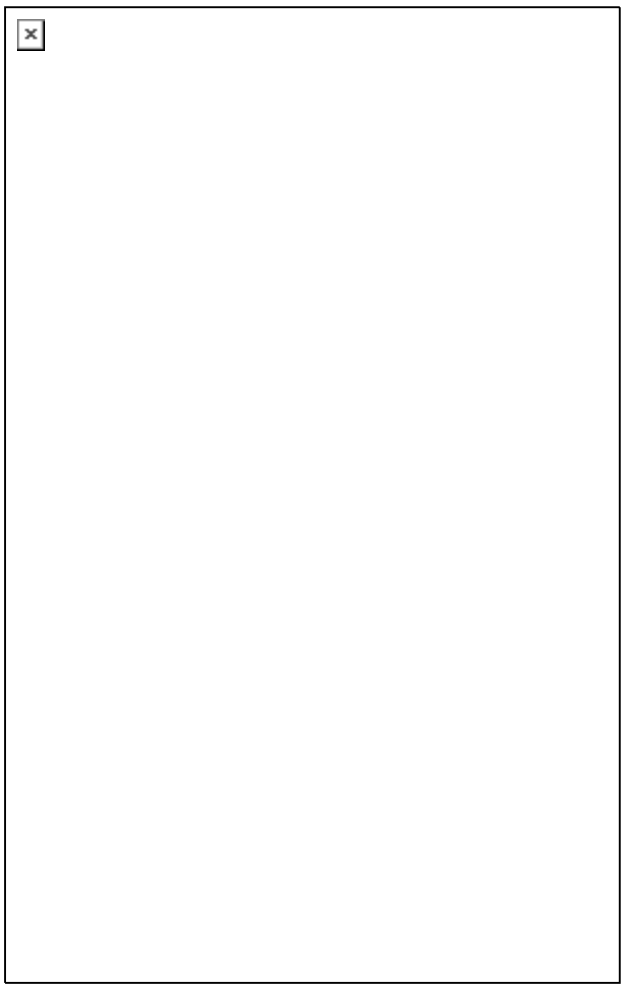


图 7　卷积核扫描获取特征图

2.4　计算机视觉

计算机视觉[4]是一门研究如何使机器“看”的科学，也就是指如何用摄影机和电脑代替人眼对目标进行识别、跟踪和测量等的机器视觉。具体来说，就是模拟动物神经细胞的神经元聚集起来形成网络，然后让这个网络去观察大量的图片，进行“自学习”。神经网络运用的数学理论其实非常简单，基本上是比较基础的数学知识。特别是利用具有多层结构的卷积神经网络，甚至可从图片和视频中识别出数字、猫、狗、脸孔、指纹、文字等。如果能将其与常规的业务应用系统集成，即可以提供一些具有计算机视觉增值功能（如车牌识别、人脸识别、语音识别等）的服务。

3　应用实践

计算机视觉需要使用数据集（样本库）进行训练。为方便学习研究，互联网上开源的数据集有很多，以辅助人脸识别研究的数据集为例，比较有代表的有：

1)YouTube Faces 人脸数据集，其下载地址为：http://www.cs.tau.ac.il/~wolf/ytfaces/index.html

2)IMDB WIKI 人脸数据集,其下载地址为：https://data.vision.ee.ethz.ch/cvl/rrothe/imdb-wiki/

感兴趣的读者可下载研究试用。

另一方面，计算视觉需要建立检测的模型库。目前，针对人脸检测的方法有很多，总体可以分为两大类。一类是基于传统的统计学习分类器方法，这是需要人为干预的有监督的学习方法；另一类是基于深度学习的检测方法，这甚至不需要人为干预。OpenCV 是一个非常强大的计算机视觉检测库，通常用于人脸检测的过程中。它自带了对图片人脸检测的方法--Haar 级联分类器[3] ，但检测精度不是很高；OpenCV 提供的 SSD 人脸检测方法效果比较好，但是检测速度比较慢，具体采用哪一种需要根据业务的需求来权衡。

如何做到人脸检测又快又好？这就要求我们训练的模型能够更有效地提取到人脸的高级特征。采用 Softmax 层作为输出来训练模型的话，在既定的人脸库中表现会很好，但随着待选人脸的增多，效果会一点点变差。当前比较好的方法是：采用 AM-Softmax Loss 损失函数法，这样更适合于我们的生产环境。针对其它类的目标检测，采用的方法类似。

Keras 是一个由 Python 编写的开源深度学习框架，可进行深度学习模型的设计、开发。AlexNet 作为一种经典的卷积神经网络，利用 Kears 实现起来很方便。我们可以将网络模型与损失函数法相结合，在经过模型搭建和图片预处理后，可以对模型进行训练。训练的过程中，通过函数回调的方式来记录每一个迭代训练好的模型。迭代的次数越多，优选出的模型效果会更好。基于深度学习的机器视觉，可以实现图像的分类、人脸的识别等，通过将训练好的模型发布成 WEB 服务，生产活动中其它应用程序就可以进行一些计算机视觉功能的 WEB 服务调用。

对于中小企业来说，完全依靠自己的力量搭建深度学习计算机视觉平台存在技术难度大、运维困难等

问题。而将企业中业务技术难度大、科技含量高或关系业务逻辑全局的部分提取出来，利用先进的互联网公司或大型企业搭建开放平台，基于 AI 开放平台进行系统开发，形成具备 AI 功能的增值系统，可为企业带来新的业务增涨点或更高质量的服务。

目前基于 AI 开放平台或从网络安全上考虑采用私有化部署产品，进行计算机视觉增值开发已变得越来越简单。市场上开放的 AI 平台已有很多，如:腾讯、阿里、百度、华为等公司都有，也均有相应的私有化部署产品发布。

以百度人脸识别私有化部署为例：需提前准备好鉴权物理机和 GPU 服务器，鉴权物理机用于安装百度提供的鉴权服务，为 Linux 系统实体机（暂不支持虚拟机及 Windows 系统），需要使用指纹提取工具提取好服务器指纹文件并上传百度智能云官网才能完成完整部署包的申请；GPU 服务器应用于视频图像处理、深度学习、科学计算等场景，推荐使用 NVIDIA Tesla P4、2080Ti 显卡，百度针对 NVIDIA Tesla P4、2080Ti 进行了针对性优化，提高了 GPU 的利用率。更多硬件配置及推荐可参考官网文档。

百度人脸识别私有化部署包成功部署后，可获得与公有云基本完全相同的接口，相关接口启动，即可开始调用。接口能力包括：人脸检测与属性分析、人脸比对、活体检测控制、人脸搜索、人脸库管理等。

笔者依据深度学习计算机视觉技术原理、利用 AI 开放平台或私有化部署模块、加上 Java、MySql、Tomcat 等技术，进行了开发和测试，通过升级一款提升机房监控水平的辅助小程序，实现了系统人脸识别登录、多人识别、用户拍照截图、人脸识别标识跟踪、人员到访记录查询等功能。该软件可应用于数据中心机房、变电站、通信站、数据仓等对多人身份鉴别监控的应用场景，AI 服务调用的响应速度也基本能满足业务应用的需要。通过基于人脸识别技术进行人员身份鉴别和安全事件追溯等功能的创新，可极大地提高了数据中心机房监控管理的效率，有效地改善安全生产运行环境，提升安全管理水平。

4 企业级规划

人工智能被誉为第四次工业革命的核心驱动力，国家电网公司作为一家特大型国有重点骨干企业，积极响应国家发展新一代人工智能的号召，落实中央关于加快新型基础设施建设的决策部署，将电力人工智能开放平台与典型应用作为公司级“数字新基建”十大重点建设任务。公司各专业、各单位积极探索人工智能技术应用，运用智能语音、图像识别、视频分析、知识图谱等人工智能技术，在安监、设备、营销、基建等领域开展典型应用试点建设，形成了一定的成果。但公司人工智能基础建设仍存在技术标准尚不统一、共享机制尚未建立、服务支撑能力尚不足够和应用价值有待提升等问题。

国家电网公司坚持以业务需求为驱动，以行业应用为导向，以共性平台和服务能力建设为抓手，构建企业级“两库一平台”，促进联合攻关，实现跨越发展，助力业务应用，激发基层创新。“两库一平台”涵盖公司级人工智能平台建设的全部环节，包括人工智能实验训练平台、样本库、模型库，实现算力、算法、模型共建共享，形成总部-省-市-边-端多级基础支撑能力及协同机制，满足各级单位、各业务领域智能应用需求，为公司业务应用提供坚强有力支撑。

依托人工智能“两库一平台”、电网资源业务中台、数据中台等，贯通“云-边-端”通信链路，可方便构建数据中心机房、变电站、通信站、数据仓智能巡视、无人机智能巡检、输电线路可视化监拍、现场作业违章监拍、智能移动应用等功能模块。将人工智能平台的建设和技术研发与实际业务场景相融合，可积极吸纳业界先进技术和经验，加快突破算法模型实用化瓶颈，打造内外协同发展的创新生态。坚持用数字化技术和数据要素为业务赋能、为基层减负，人工智能在电网安全生产和日常经营管理中的应用必将落地生根、枝繁叶茂。

5 结束语

基于深度学习的计算机视觉技术，是实现人工智能的核心内容，但想要正真意义上达成人机交互的现实效果，就必须要对计算机视觉的原理及其相关技术手段有所了解。本文通过对深度学习计算机视觉原理简要分析，并利用当前流行的 AI 开放平台或私有化部署产品进行了实际的开发和测试，给常规的信息系统注入了 AI 新元素，为加强企业现场管理提供了新的技术手段。国家电网公司打造“两库一平台”企业级应用，基于深度学习的 AI 技术在企业中的深化应用前景广阔。

参考文献：

[1] [日] 斋藤康毅. 深度学习入门-基于 Python 的理论与实现. 北京:

人民邮电出版社, 2018.
[2] [日] 涌井良幸, [日] 涌井贞美. 杨瑞龙[译]. 深度学习的数学[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2019.
[3] Python 人脸识别：从入门到工程实践[M]. 北京: 机械工业出版社, 2019.
[4] 张重生. 人工智能：人脸识别与搜索[M]. 北京: 电子工业出版社, 2020.
[5] 刘祥龙, 杨晴红, 胡晓光, 等. 飞桨 PaddlePaddle 深度学习实战[M]. 北京: 机械工业出版社, 2020: 132-138.
[6] 毕然, 孙高峰, 周湘阳, 等. 深度学习零基础实践[M]. 北京:清华大学出版社, 2020: 141-161.
[7] [美] Richard Szeliski. 艾海舟, 兴军亮, 等[译]. 计算机视觉-算法与应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2012.
[8] [美] 伊恩·古德费洛, [加] 约书亚·本吉奥, [加] 亚伦·库维尔, 等. 深度学习[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2017.
[9] 阿里巴巴. 阿里云视觉智能开放平台[EB].2020.
[10] 刘文清. 基于 AI 开放平台的机器视觉应用开发技术[J]. 湖南电力, 2019, 39(6): 13-15.
[11] 刘文清, 易衍孜, 陈小惠, 等. 基于云平台的人脸识别在机房监控中的应用[J]. 湖南电力, 2021, 41(1): 52-55.
[12] 谢健. 机房动环监控系统设计与实现[J]. 电脑知识与技术, 2017, 13(29): 20-22.
[13] 刘颖, 胡楠, 杨壮观, 等. 基于深度学习的电网监控视频中工作人员检测与识别[J]. 沈阳: 沈阳工业大学学报, 2019, 41(5): 544-548.
[14] 国家电网公司. 国家电网公司信息机房设计及建设规范 Q/GDW 10343-2018[S]. 国家电网公司, 2020, 3:15-16
[15] 国家电网公司. 国家电网公司信息机房评价规范 Q/GDW 10345-2018[S]. 国家电网公司, 2020, 3:12-13.

实时查询技术研究与验证

马吉科，李叶飞，尹飞，孙权，帅率
（江苏方天电力技术有限公司，江苏 南京，211100）

摘　要：当前，数字技术快速发展，电力企业需要借助数字化手段提升业务运转效率及管理水平。基于迫切需要实时查询需求的电费业务、电费回收情况统计、电量电费清单、电力销售情况简报等业务，本文分析设计了实时查询库的技术架构和数据流图，并从核心能力、典型场景两方面开展组件验证，分析了 ADB 和 Hologres 不同技术的特性，给出了优化建议与方向。

关键词：实时查询；技术设计；能力验证

1　引言

在电力营销中，提升企业经营和治理能力、改善用户体验、提高服务效率、降低经营成本[1]是企业持续追求的目标。随着综合能源互联网的建设，客户及客户需求的多样性也随之增加，因此营销业务在实时查询方面的要求，也需要在互联网的发展下通过新技术应用得以满足[2]。

数据仓库是当下企业比较常用的存储数据、获取信息的一种技术和手段，其中存储了大量且具有很大商业价值的企业数据，当下的大多数企业数据仓库的应用还是以呈现方式为主流，如财务报表，数据挖掘等。基于企业存储的大量数据，进行多维度、多角度聚合和汇总分析，处理整个过程大约需要几个小时或者几天，信息采集和获取的实时性极低，不能够为客户提供切合实际情况的数据采集和查询。目前，国内外专家学者对于实时检测数据库管理等相关研究已经取得了一定的研究成果[3-5]。湖州电力局基于营配衔接，在对停电情况进行信息实时查询等多个方面都进行了尝试；文献[6-8]中在基于电信行业提供的大量有效的数据基础之上，构建了一种可以进行实时查询的数据库管理方法，该方法可以更加高效地利用数据，发挥数据其本身具有的商业价值，快速有效地处理异常问题。根据以上研究，要制定出一种特别适合于进行实时查询和分析的大型数据仓储系统构建方案，其中最重要的就是我们需要尽快解决好这个实时查询的问题[9-11]。

本文在综合分析电费业务需求的基础上，聚焦实时查询库的实时指标统计分析能力、实时查询能力、实时数据写入能力等方面，针对性研究实时查询库技术在电力行业不同场景下的应用[12-15]。

2　技术设计

2.1　设计思路

为确保能够真正解决实时查询库的业务需求，使技术设计具备先进性、可实施性和合理性，实时查询库的技术实现验证思路如下。

第一步，梳理实时查询库的业务场景和需求，确定技术需求细节，根据需求确定整体的技术架构框架和数据流转方式，再结合云平台上不同组件的技术特点和适用场景确定可使用的备选云组件。

第二步，根据确定的技术架构，备选云组件清单，通过使用真实数据，在云平台测试环境中搭建核心场景的功能和性能测试验证。

第三步，完成核心场景测试验证后，选择真实完整的需求场景基于技术设计进行完整的开发实现，并对开发实现的成果进行标准的业务正确性验证，发布测试验证，预生产使用验证，确保开发实现和测试验证覆盖所有环节。

第四步，基于完整的场景开发测试验证情况，结合前期有关组件的研究、测试与验证，最终确定技术设计和组件选型。

2.2　技术架构

整体技术架构如图 1 所示，Oracle RAC 集群作为

业务事务处理中心，提供所有的增删改查，流程处理，缴费记账等事务操作，Maxcompute 作为离线数据仓库，作为所有数据的历史存储中心，进行离线的大数据批处理，多表统计分析，大数据分析计算，T+1 的报表统计等业务场景。根据初步的业务场景需求评估，ADB 和 Hologres 组件都可以满足实时查询需求，因此方案采用 ADB 和 Hologres 分别作为在线服务分析层的查询库进行技术验证，通过实时同步 Oracle 中的日志数据，实时写入到 ADB 或 Hologres 的查询库中，实现与 Oracle 数据库中的数据秒级同步更新，同时提供当月的在线分析查询统计服务。

2.3 数据流图

数据扭转链路分成两个部分，如图 2 所示，红色表示数据同步链路，蓝色表示数据服务链路。

在数据同步链路中，业务库中的数据表通过 Oracle 的 OGG 工具进行日志收集同步，然后通过使用 Datahub 的 OGG 插件实现将 OGG 的数据实时订阅到 Datahub 中，正常 Oracle 中的一张表对应了 Datahub 中一个独立的 topic。通过配置 Datahub 目标数据归档源，将所有 Datahub 中的数据归档到 Maxcompute 中进行全量存储和批量分析计算，Datahub 到 Maxcompute 的数据是一个非准实时过程，配置 5 分钟

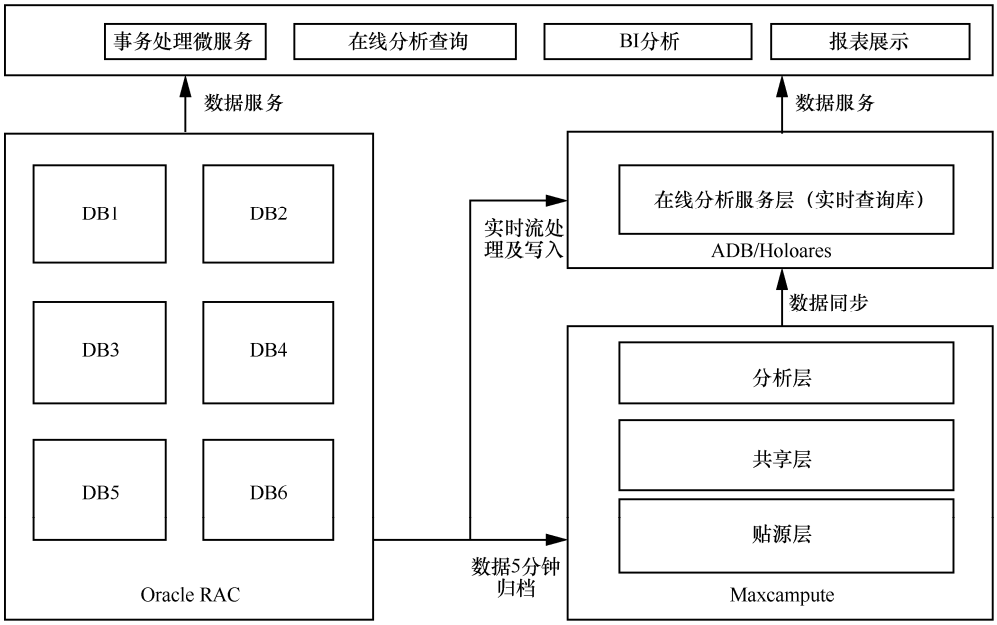


图 1　技术架构

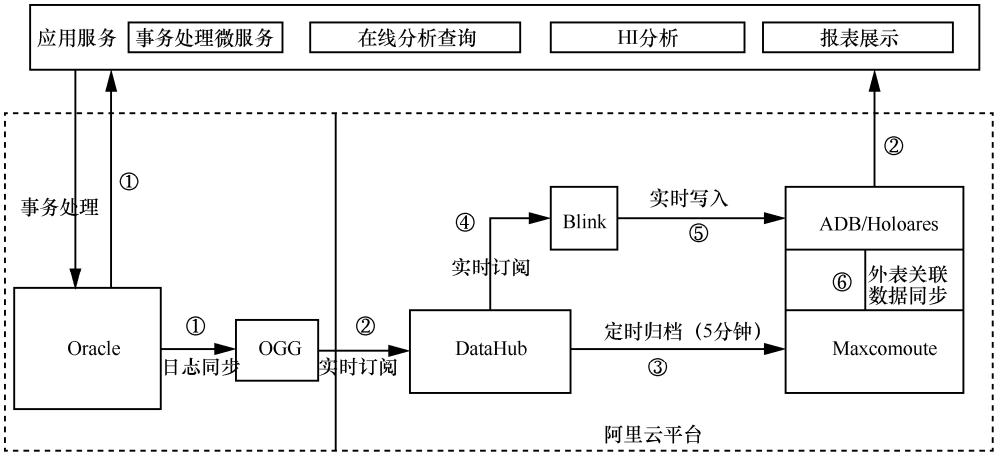


图 2　数据流图

归档一次存储到 Maxcompute 中，同时 Datahub 中也会缓存最近 7 天的数据。通过使用 Blink，实时订阅 Datahub 中的 Topic，实现 Datahub 中的数据实时订阅到 Blink 缓存中进行处理，用于最重实时写入查询库中，通过复用 Datahub 中已有归档 Topic，节约资源。通过 Blink 将订阅到的数据转换成目标查询库的 SQL 语句后，写入到目标查询库中，Blink 的写入操作需要依赖每条数据的业务主键，已实现快速按分区 insert，update，delete 等操作。对于历史中的数据，通过从 Maxcompute 中离线同步到查询库 ADB 或 Hologres 中，对于 ADB 使用 Dataworks 的 DI 工具进行同步，对于 Hologres 可以使用外表的方式直接访问 Maxcompute 中的数据表，直接使用 SQL 语句完成数据复制到 Hologres 的内部表中。

对于数据服务链路，业务库中应用服务直接服务 Oracle 数据库；查询库中应用服务或帆软等 BI 工具直接访问 ADB 或 Hologres。

3 组件验证

根据技术设计开展组件选型，分别对 ADB 和 Hologres 进行核心能力测试验证和真实典型场景验证。

3.1 核心能力验证

核心能力验证根据真实业务数据和查询计算场景，分别验证 ADB 和 Hologres 的分析计算查询时间和数据写入能力，其中分析计算查询使用真实业务的查询 SQL，写入能力选取系统中具有较大数据量用采数据表进行集中写入验证。

本次测试按照提供的业务查询 SQL 分别完成对 ADB 和 Hologres 的导入数据和查询测试。

3.1.1 计算查询能力测试

计算查询能力测试结果如表 1 所示，其中 ADB 测试资源为 64C / 512G/完全 SSD 磁盘，Hologres 测试资源味 134C / 536G/完全 SATA 磁盘。

表 1 计算查询能力测试结果

测试方案	查询 4 个月数据时间	查询 1 个月数据时间	同步 odps 数据时间
ADB	20s	3s	6h（依赖网络）
Hologres	38s	18s	3min（内部无缝同步）

3.1.2 数据写入能力测试

数据写入能力测试直接使用实际采集量较大的一张数据表进行正常写入验证（基于 Datahub 中的缓存写入该表的完整数据，数据量大概 1.4 亿）。实际验证结果为，ADB 写入速度约 28 万/s，测试资源为 64C / 512G/完全 SSD 磁盘；Hologres 写入速度约 75 万/s，测试资源为 134C / 536G/完全 SATA 磁盘。

3.2 真实典型场景验证

根据实际业务需求，对需要实时查询的两个电力营销业务场景电费回收情况统计和集团户电量电费清单查询进行了端到端的全链路完全解决方案验证，按照实际业务上生产的标准要求，从数据实时链路搭建，数据初始化，结果计算查询，数据服务接口对接，数据正确性验证等全方位进行验证。

3.2.1 场景一：电费回收情况统计

根据业务需求，需要能够进行实时查询统计到当日当前的电费回收情况，包括统计应收金额、欠费户数、欠费金额、回收率等情况，涉及应收台账表、实收台账表、用电客户表、组织单位表、安装点表。

根据架构设计，通过实时数据链路实时同步 Oracle 中的某 5 张表到业务查询库中，直接在查询库中进行实时计算统计得到统计结果，将统计结果写入到结果表中，通过已有的 BI 工具（帆软）进行实时查询。

技术实现如图 3 所示，通过抽取 Maxcompute 中当日之前的当月数据（或当日前数据）作为初始化数据，然后使用搭建好的实时链路，写入增量数据，并对目标表执行插入/更新/删除操作。在查询库中对相关表定时（如 30s）执行查询计算 SQL，将执行结果写入到结果中（ADB 中使用雾化视图功能），应用服务通过实时查询结果表（或雾化视图）提供查询分析服务。实时查询库中根据需求保存 1～3 个月数据。

基于 ADB 方案验证完成了从数据实时写入、实时查询、页面展示的全链路测试验证，功能正常。直接查询一个月数据，时长约为 23s；直接查询近 5 个月数据，时长约为 33s。

基于 Hologres 方案验证完成了从数据实时写入、实时查询到页面展示的全链路测试验证，功能正常。直接查询一个月数据，时长约为 12s；直接查询近 5 个月数据，时长约为 22s。

3.2.2 场景二：集团户电量电费清单查询

集团户电量电费清单查询场景下需统计集团户包含的所有用户的详细明细信息，如用户名称、用电地址、计量点个数、合同容量、本月示数、上月示数、电量、单价、应收金额等信息。根据业务需求，需要

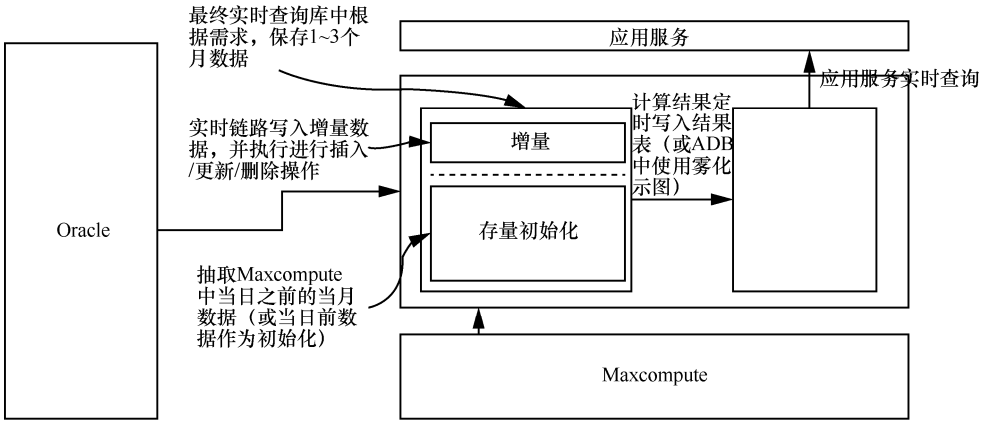


图 3　技术实现方法

能够提供实时导出功能，以便能够实时开展基于该明细记录的其他业务。该场景总共涉及到集团户关系表、抄表数据、电能表、安装点计费卡、合同账户、应收量费表、安装点使用量等 17 张表。

根据架构设计，通过实时数据链路实时同步 Oracle 中的该 17 张表到业务查询库中，直接在查询库中进行实时计算统计得到统计结果，通过数据服务直接访问查询库，然后统一对外服务导出接口。

基于 ADB 方案验证完成了从数据实时写入、实时查询到页面展示的全链路测试验证，功能正常。测试查询一个月数据 ，时长约为 32s。

基于 hologres 方案验证完成了从数据实时写入、实时查询到页面展示的全链路测试验证，功能正常。测试查询一个月数据 ，时长约为 40s。

3.2.3　场景验证总结

以上结果显示 ADB 和 Hologres 组件功能正常，两个典型场景中，执行计算 SQL 时间在 1 分钟以内（两个场景都超过 30s），整体的链路传输时延约为 1min，场景验证结果见表 2，当出现资源紧张数据量突增等情况时，时延可能会更高。

表 2　场景验证结果

场景	测试方案	查询一个月数据时长	查询近 5 个月数据时长
电费回收情况统计场景	ADB	23s	33s
	Hologres	12s	22s
集团户电量电费清单查询场景	ADB	32s	-
	Hologres	40s	-

按照实际业务上生产的标准要求，从数据实时链路搭建，数据初始化，实时查询，数据服务接口对接，数据正确性验证等全方位进行验证，结果显示 ADB 和 Hologres 组件功能正常，均能满足要求。仅根据本次的两个场景判断，采用 ADB 方案或 Hologres 方案均可满足端到端的实时业务查询需求。

但两种组件各有侧重：ADB 具备更好的易用性和稳定性，对人员的使用要求低，能够支持物化视图等能力，后期可以支持 DTS 的秒级实时数据复制链路。但对于大数据产品 Maxcompute，Blink 的协同性不好，验证通过 Blink 写入的性能较低，通过 Maxcompute 同步数据的速率较低。Hologres 具备与 Maxcompute 和 Blink 组件更好的协同性能，验证发现通过 Blink 写入的性能较好，可以与 Maxcompute 实现内外表关联，与 Maxcompute 中离线计算任务无缝协同，能够更好地满足离线与实时计算需求的场景。但对于使用人员要求较高，需要根据场景对建表和查询 SQL 进行优化设计。

实时报表查询需要按照实时查询的目标进行针对性地业务逻辑设计优化，大部分实时报表需要依赖“离线计算”与“实时计算”结合，如“电费回收统计”的场景，需要每日定时计算出欠费用户表，然后再与当日更新数据进行实时聚合计算满足实时查询需求，充分利用 Hologr 与 Maxcompute 离线实时计算的协同性。但考虑到当前 ADB 已经生产使用，部分只有按月计算，只有独立实时计算的场景才可以在 ADB 中实现。

综合开发需要考虑易用性、稳定性，想要实现快速上线，需要从当前的实际情况考虑，建议基于 ADB 实时查询库技术基础，考虑 ADB 可以实现 DTS 实时（秒级）从 Oracle 到 ADB 的数据同步，而 Hologres

在与离线数据平台协同性方面存在一些优势，建议同步开展离线在线协同场景的表报，在 Hologres 中开发验证。

4 结束语

本次方案分别验证了使用 ADB 和 Hologres 组件应用效果，结果显示 ADB 和 Hologres 组件功能正常，能够满足通用的查询分析需求，但验证发现 ADB 和 Hologres 在实际使用中具备不同的特性。下一步将从对 DTS 实时复制数据链路的验证方面着手，开展实时查询库技术应用研究的补充和完善。

参考文献：

[1] 庆克堂. 基于物联网环境的智能用电管理系统[J]. 农村电气化, 2017(2): 35-37.

[2] 倪志泉, 龚晓明, 沈勤卫. 浅谈基于营配贯通的停电信息实时查询[J]. 湖州师范学院学报, 2013, 35(S1): 159-161.

[3] 王锐, 陈丽. 适用于实时查询的电信行业海量数据仓库构建方法[J]. 电信科学, 2011, 27(10): 120-126.

[4] 沙梦钒, 徐兰梅, 滕庆勇, 等. 面向互联网应用的大规模数据实时查询优化方法研究[J]. 软件工程, 2020, 23(11): 17-20.

[5] 李磷. 基于关系数据库水印技术的数据库实时查询验证系统[J]. 农业网络信息, 2013(1): 31-33.

[6] 刘哲. 大型数据库需求信息实时查询优化仿真[J]. 计算机仿真, 2017, 34(1): 427-430.

[7] 焦凯琳, 于自强. 智慧物流分布式计算模型与创新服务研究[J]. 计算机技术与发展, 2019, 29(1): 206-210.

[8] LIU X L, XU P D, LIU M L, et al. Design and development of real-time query platform for big data based on hadoop[J]. High Technology Letters, 2015, 21(2): 231-238.

[9] 徐伟. 流式数据实时查询方法研究[D]. 济南: 山东大学, 2015.

[10] 齐方方. 海量数据存储和准实时查询系统设计与实现[D]. 程度: 西南石油大学, 2015.

[11] WANG S, MAIER D, OOI B C. Lightweight indexing of observational data in log-structured storage[J]. Proceedings of the VLDB Endowment, 2014, 7(7): 529-540.

[12] ERL T. Service-oriented architecture (SOA): concepts, technology, and design[M]. New Jersey: Prentice Hall, 2005.

[13] SHIN S, YEGNESWARAN V, PORRAS P, et al. AVANT-GUARD: scalable and vigilant switch flow management in software-defined networks[C]//Proceedings of the 2013 ACM SIGSAC conference on Computer & communications security - CCS '13. New York: ACM Press, 2013: 413-424.

[14] FERGUSON A D, GUHA A, LIANG C, et al. Participatory networking[J]. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 2013, 43(4): 327-338.

[15] PORRAS P, SHIN S, YEGNESWARAN V, et al. A security enforcement kernel for OpenFlow networks[C]//Proceedings of the first workshop on Hot topics in software defined networks - HotSDN '12. New York: ACM Press, 2012: 121-126.

视频会议系统的云网融合应用

高鹏
（中国广核电力股份有限公司广东深圳 518038）

摘　要：国内多数大型企业都部署有基于企业私有云的视频会议系统，受限于企业内网私有云部署架构，用户在企业内网未覆盖场所无法参加企业内部会议。本文旨在结合企业基于私有云部署的某国产视频会议系统项目案例，探讨一种通过与公有云视频会议系统资源融合，实现用户可在全球任何时间、任何地点接入企业内部视频会议的技术解决方案。

关键词：视频会议系统；私有云；公有云；融合

1　引言

视频会议相比较语音通信、即时消息通信可以提供图像、语音、数据的综合会议沟通体验，让用户的会议沟通效率更高，互动性更强。同时企业部署的专业视频会议系统也更适用于用户对会议正式、规范、严肃的要求。视频会议系统从上世纪 90 年代开始发展，截止目前为止跨越了标清时代、高清时代、智真融合视讯时代。同时，视频会议系统后台资源设备、管理设备也正在朝着私有云单一部署到私有云-公有云混合部署的方向发展。在企业用户端，更多的关注视频会议系统的稳定性、音视频质量、部署方式、使用管理端到端的使用体验。处理好上述因素，将能够促进视频会议系统更快、更好的发展。本文将从提升企业用户端体检出发，聚焦在大型企业用户在任何时间、任何地点方便快捷入会的使用需求，探讨一种云网融合的视频会议系统部署方案。

2　视频会议系统云平台

2.1　视频会议系统

视频会议系统可分为业务管理平台、媒体处理层、用户接入层 3 层架构。其中业务平台部署业务管理系统、注册和呼叫控制器服务器两种角色服务器。支持设备管理、用户管理、注册管理、会话管理、企业通讯录等功能，为用户提供会议预约、会议通知、会议控制、通讯录查询等功能。媒体处理层部署多点控制单元 MCU、录播服务器以及媒体网关 3 种角色服务器。支持多媒体会议的音频混音、视频的转发和适配、媒体代理、多画面合成，以及辅流（演示）的转发和适配功能。支持 SVC 多流转发、数据协作。支持多媒体会议的网络录制和直播，并能够通过媒体网关与其他媒体系统互通。用户接入层包括各类型硬件视频会议终端设备以及移动软终端，实现音视频互通、桌面共享。

2.1.1　业务管理系统

以某国产视频会议系统产品为例，业务管理系统 SMC 提供统一管理、集中控制的解决方案，灵活完备的第三方接口，丰富多样的会议调度方式。通过 SMC 提供的成熟的视频通信业务管理环境，企业 IT 决策者、系统管理员、用户都能进行高效的协作交流，从而提高企业内部沟通和决策的效率，有效降低企业运作成本，产品特点如下.

- 直观易用：Web 界面使操作简单方便，实现与用户友好交互。
- 智能管理：提供统一管理平台，并对应系统管理员、会议管理员、普通用户 3 种用户级别，实现设备管理、会议操作的分权管理。
- 智能调度：在大中型企业组网中，按服务区智能分配会议资源，实现会议即时调度。
- 企业通讯录：为视讯终端提供基于 LDAP 的企业通讯录的绑定、查询功能。
- 开放兼容：提供第三方接口实现业务集成，有效保护原有投资。支撑行业解决方案集成，实现远程医疗、可视应急、远程教育、远程法庭等业务。

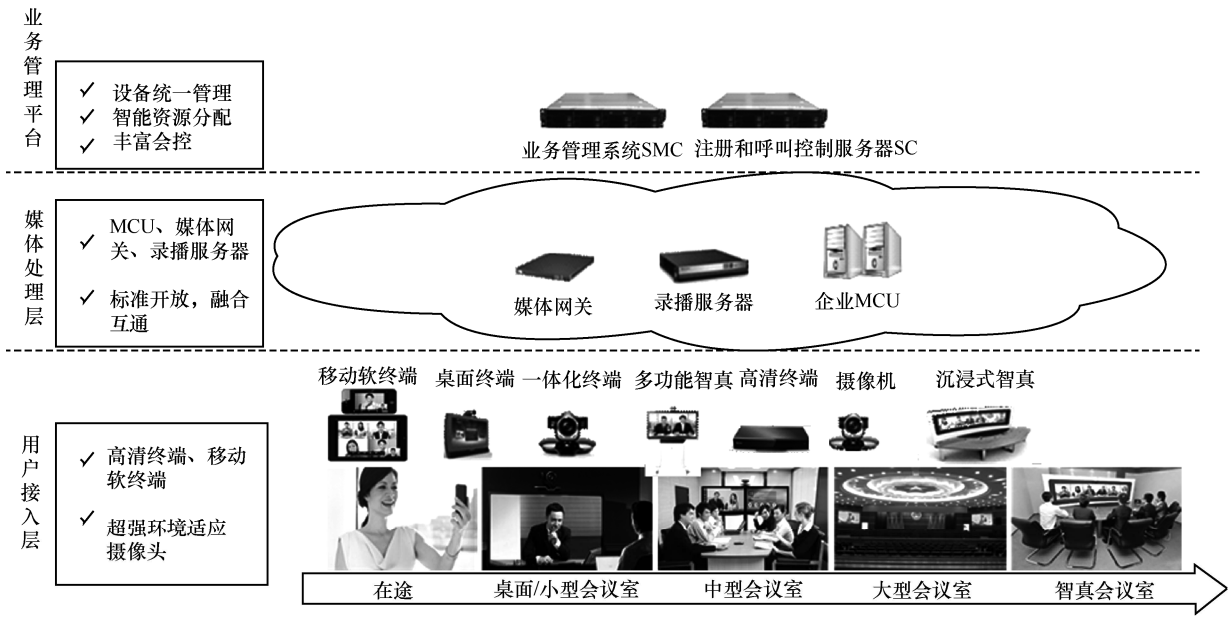


图 1　视频会议系统架构

2.1.2　注册和呼叫控制服务器

以某国产视频会议系统产品为例，注册和呼叫控制服务器 SC（Switch Center）是基于 H.323 和 SIP 标准的服务器，支持最大 10000 点注册和 600Mbit/s 穿越流量的超强性能，满足企业用户内部网络与外部网络、总部和分支机构以及跨企业之间的无缝视频沟通需求，产品特点如下。

- 支持 H.323/SIP 双协议。
- 注册管理，IP、号码、密码等多种认证方式。
- 呼叫控制，号码、URI（Uniform Resource Identifier）等多种呼叫方式，支持 DNS 解析和号码变换。
- 区域管理，可分区部署，对区域间带宽和路由做灵活控制，支持 SIP Trunk 方式呼叫。
- 网络安全，支持黑白名单管理、H.235/TLS/SRTP 加密协议，信令、媒体安全互通。
- 支持标准 H.460 和 ICE（Interactive Connectivity Establishment）穿越协议，满足客户不同网络间

表 1

功能	功能说明
统一媒体面	单网元即可实现语音、视频、数据会议媒体资源处理中心功能，即三种类型会场在同一会议中由同一网元实现媒体全融合。
数据/辅流互通	支持数据会议实现桌面共享、文件共享、屏幕控制、标注等复杂协作能力，同时也支持传统视频会议中辅流方式实现简单的会议材料共享。通过 CloudMCU 统一处理，还可以实现此两种分享模式融合互通，入会终端依照终端自身能力选择材料分享模式，通过 CloudMCU 实现二者之间转换互通。
SVC 多流转发模式	通过 SVC（Scalable Video Coding）协议，CloudMCU 支持转发来自单个会场的多个分辨率模式视频码流。终端接收多路流后自行组合多画面，无需 CloudMCU 额外编解码资源进行转码，此功能提升用户体验，提升 CloudMCU 接入能力，降低平台成本。
大容量语音会议	具备纯语音端口能力，不与任何视频资源捆绑，与视频端口按比例动态转换。
端口动态分配	支持语音、数据、视频端口，各端口可以根据会议运行需要进行动态转换分配，保证 CloudMCU 媒体计算能力充分高效利用。
资源池分布式部署	全平台内 CloudMCU 可分布式部署，并组成资源池，保证全平台的稳定运行。
AVC SVC 混合组网	同一个会议中支持多流 SVC 模式终端和 AVC 模式终端同时入会。
高性能，全适配	业界领先的 1080P60 全编全解，支持每端口多画面，终端可以自定义本端的多画面显示，自定义想看的画面以及画面布局，给每位与会者提供最佳体验。

沟通需求。

- 设备最大支持 600M 流量，节省用户投资。

2.1.3 多点控制单元

以某国产视频会议系统产品为例，多点控制单元是音频/视频/数据融合统一的融合媒体平台，支持专用硬件部署和云平台软件化部署，云平台部署产品特点如下。

2.1.4 录播服务器

以某国产视频会议系统产品为例，是该公司新一代录播平台，提供 1080P60 高清直播点播、移动观看等功能，可对接 NFS（network file system）和 IPSAN 存储扩展磁盘空间，为视讯会议提供简单易用、稳定可靠的全高清录播服务，产品特点如下。

- HTML5 移动 Web 播放，免安装插件，可随时使用笔记本电脑、智能手机浏览器观看点播和直播。支持高清/标清两种分辨率。
- 1080P 双流录播强大的编解码能力，提供视频会议单流、双流（视频图像+会议数据共享）最高 1080P60 的录播，内容更加清晰，细节完美呈现。
- 多重机制稳定可靠电源 1+1 热备份，出现故障时无缝切换到备用电源，确保录制持续可靠。硬盘 RAID1 或 RAID5，确保录制文件可靠保存。NFS 和 IPSAN 方式扩展存储空间，确保数据备份安全。

2.1.5 视讯软终端

以某国产视频会议系统产品为例，视讯软终端是一款为个人设计的视讯软件，支持 Windows、iOS、Andriod 多种平台，满足您随时随地视频沟通的需求，为您带来优质视频、音频和内容共享体验，是个人专用视频会议解决方案的理想选择。可安装在 Windows PC 电脑上，除了摄像头需要自备，不需要额外设备投资，即可通过以太网、Wi-Fi 接入视讯系统或加入视频会议，同时支持发起点对点和多点视音频呼叫，产品特点如下。

- 标准：SIP、TLS、SRTP。
- 视频：H.264 BP（Baseline Profile）/HP，HW CloudLink Desktop 支持最高 1080p 编解码；HW CloudLink Mobile 支持最高 720p 编/解码。
- 音频：PLC（Packet Loss Compensation）抗丢包、回声抵消、噪声抑制、自动增益控制。
- 辅流：BFCP，最大 1080p 的辅流（演示）。
- 授权：终端使用的帐号和密码由 SC 统一管理和下发，客户端软件免费下载。
- 其他：超强网络抗丢包，在线状态呈现。

2.2 视频会议系统云平台部署

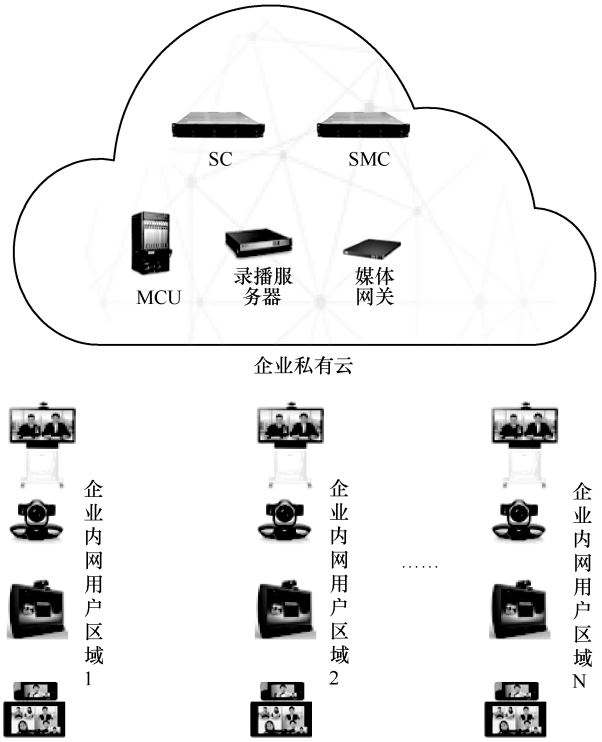


图 2 视频会议系统私有云部署

所谓视频会议系统云平台部署有两层含义，一是在驻地式的视频会议系统中需要企业采购系统设备及终端设备，并需要专人进行维护、运营系统的正常使用，这对大规模企业来说，部署多个驻地式的视频会议系统成本也是无法接受的。为了满足企业某些驻地轻资产的要求，将视频会议系统的核心设备部署在云端，向企业内所有用户提供云端服务，也即实现服务云化。二是，视频会议系统的部署采用虚拟化技术，方便快捷的实现公有云、私有云融合实现混合云部署，满足用户扩容，服务区域快速覆盖的需求，也就是实现云化部署。

视频会议系统云平台部署主要涉及业务管理平台和媒体处理层两部分[1]。企业在内网云平台搭建视频会议系统，供企业在国内各子公司企业内网已覆盖的区域共享视频会议系统资源，这对网络资源上需求较高，企业也为此需支付给运营商高昂的广域网链路租用费用[2]。

在大型的国际化企业中，在全球范围内均有业务

覆盖，在此应用场景下，紧靠某一企业私有云部署的视频会议系统进行视频会议业务覆盖，需要付出更高昂的国际专线链路租用费用，这个成本对绝大多数企业都是无法接受的，本文尝试探讨此痛点的一种解决方案。

3 视频会议系统云网融合

在云计算快速发展的大背景下，云网融合在云计算领域已然成为一个热门词汇，云环境是复杂的，要做到高效利用网络，促进各类新型业务发挥出其最大的业务价值是发展云计算最大的命题[3]。特别地，网络与云端的计算能力更加深入的融合，两者相互融合联动，充分发挥网络资源的使用效能，保障各类业务的延续性[4]。目前云网融合已经在疫情防控[5]、教育[6]、新能源汽车[7]、异地容灾[4]、车载网[8]、工业互联网[9]、数据采集[10]等领域发挥出巨大作用。伴随着云计算产业在快速发展，各类业务需求逐步增多且复杂性增强。业务不再是单一的对云计算本身的需求，更多的是需要网络和云计算平台协同满足某一项业务需求。为满足某一项业务需求，云计算平台需要网络带宽支撑，强大的网络能力构建也需要参照云计算的理念，因此就诞生了云网融合的业务需求。云网融合的目的是以应用为目的，通过各种软件与硬件资源按照一定的形式进行整合，让用户根据自己的需求灵活调整，实现低消耗、高效率的虚拟资源服务[11]。

3.1 云网融合架构

云网融合实现业务应用的基础是云专网，通过云专网提供的接入与连接，构建用户与云平台服务端的桥梁[12]。视频会议系统在云网融合架构的基础层是云专网服务，通过网络运营商提供的云专网服务，实现性价比高、稳定、便捷的网络接入与连接[13]。中间层是云网产品，依托各类云专网产品实现各区域业务应用系统互联互通。最上层是视频会议系统应用，通过云平台视频会议系统与云网络的深度融合给最终用户提供方便快捷、专业的视频会议服务。

3.2 视频会议系统云网融合典型应用场景

3.2.1 私有云

视频会议系统私有云部署是指业务管理平台和媒体处理层均部署在企业内部云平台上，企业内各区域视频会议终端通过云专线接入、连接视频会议系统业务管理平台和媒体处理层设备[14]。私有云部署架构适用于较大型的国内企业。国内云专线服务租用成本尚在企业用户端的承受范围内，且可很好的保证公司内部会议信息安全可控[15]。

3.2.2 公有云

视频会议系统公有云部署是指业务管理平台和媒体处理层均部署在视频会议系统厂家提供的公有云视频会议服务云平台上。在用户端不用关注视频会议系统后台核心设备部署，而只是通过租用的方式使用公共资源，企业内各区域视频会议终端通过云专线接入、连接公有云视频会议系统业务管理平台和媒体处理层设备[16]。这对一些小型企业是一个较好的解决方案，但这类企业对企业内部会议信息安全要求不能过高。

3.2.3 混合云

视频会议系统混合云部署是指业务管理平台和媒体处理层均既在企业内部云平台上部署，同时还租用视频会议系统厂商提供的公有云视频会议系统服务。通过私有云和公有云相结合的方式，利用云专线服务，连接、接入私有云部署的业务管理平台和媒体处理层及公有云部署的业务管理平台和媒体处理层设备。同时细划用户使用场景，满足大型跨国企业的视频会议任何时间、任何地点均可召开的场景。

4 视频会议系统云网融合实施路径

在企业完成内部私有云视频会议系统部署后，利用云专线资源与公有云视频会议系统建立连接，从而建立起一套混合云的视频会议系统。建立起混合云视频会议系统资源的目的就在于充分利用云网融合的优势。公有云视频会议系统服务商，因其面向世界各地提供云视频会议服务，其在世界重要区域部署有通过公有云视频会议系统集约化效果，分摊掉企业端的国际专线链路成本。

在企业侧，面向使用专用终端的视频会议用户，其在召开视频会议时使用内网私有云的视频会议系统资源。而使用移动终端参会的用户，尤其是在海外区域用户，单一使用互联网链路连接到国内企业私有云视频会议资源，国际互联网的稳定性、带宽很难达到召开高清视频会议的要求。在使用云网融合混合云视频会议系统资源时，海外移动端用户可就近接入公有云视频会议资源，公有云视频会议系统资源与私有云视频会议系统资源后台系统设备之间，通过云专线连接。公有云和私有云之间是视频会议系统后台设备间的连接，视频会议信号通过压缩处理后，占用带宽资源与终端直连私有云视频会议系统后台设备大幅降

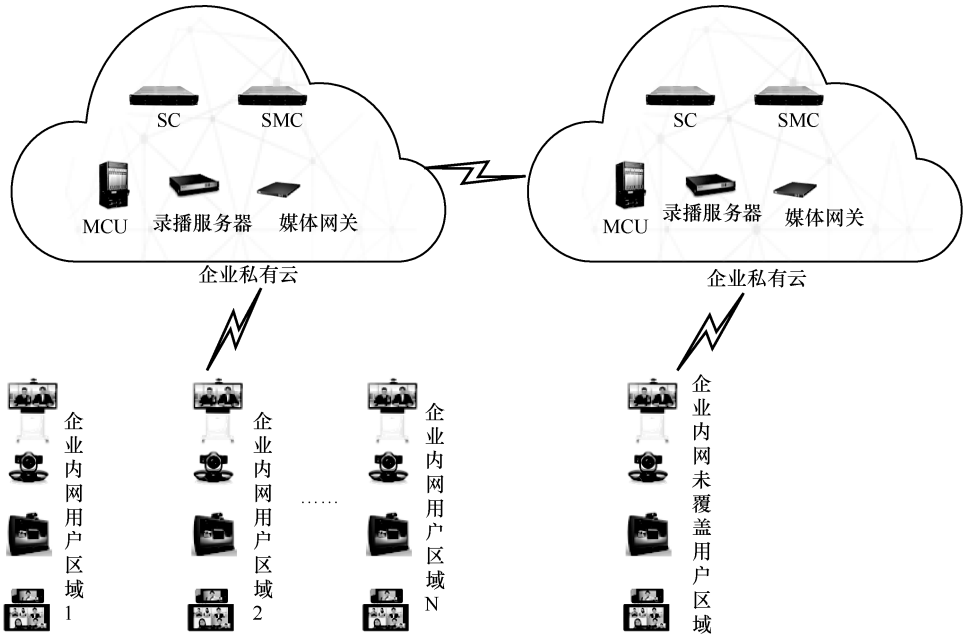


图 3　视频会议系统云网融合示意图

低。用户就近接入公有云视频会议系统资源，减少了互联网链路跳点。从以上两方面分析，利用云网融合的混合云视频会议系统可以为解决企业视频会议系统服务全球覆盖的需求提供一种解决方案。

5　结束语

随着云网融合与业务结合的需求逐步增多，必将促进云网融合基础设施建设的进一步发展。云网融合的公共资源也将逐步面向市场开放。企业端也将有更多的业务与云网融合同步发展，这将为企业节省下大量的基础设施建设成本，为企业减负，信息化的价值也将在企业发挥出更大的价值，促进企业的快速发展。

视频会议在国内的发展起源于 20 世纪 90 年代，从最开始基于专线网络 E1 的视频会议系统，在发展到的基于 IP 网络的视频会议系统。传输手段也从 ISDN、卫星、DDN、Frame Relay、ATM 等转变为基于光纤网络传输。网络传输效率和运营成本在逐步降低。发展到现在，在云网融合大发展的背景下，视频会议系统也将与时俱进走上云网融合发展的技术路线。视频会议系统混合云部署方案是利用云网融合的技术手段，面向大型企业国际化用户视频会议需求的一种解决方案，随着云网融合行业的发展，以及企业端云视频系统建设落地，相信在不久的将来将会有相应的实施案例。

参考文献：

[1] 丁福志. 大型央企集团云视频会议系统建设实践[J]. 中国金属通报, 2020(6): 112-113.

[2] 刘宇, 石磊. 运营商承载网云网融合发展思路研究[J]. 电子技术与软件工程, 2020(18): 25-26.

[3] 何晶颖. 云网融合的演进路径探讨[J]. 电信快报, 2018(4): 12-16.

[4] 刘辰, 李俊, 雷斌, 等. 大型企业在云网融合下的业务连续性保护研究与实现[J]. 世界有色金属, 2018(6): 199-201.

[5] 杨福强, 张丽. 后疫情时期运营商云网融合发展策略[J]. 通信企业管理, 2020(11): 70-74.

[6] 唐坤. 云网融合协同发展[C]//全国基础教育未来教育家论坛. 天津市教委, 2015.

[7] 唐喜平. 云网融合助力新能源汽车监控运营与创新发展[C]// 2018 第八届中国国际新能源汽车论坛. 2018.

[8] 华静, 王华. 一种面向云网融合场景的车载系统智能组网模型设计[J]. 电信科学, 2020, 36(S1): 107-111.

[9] 谭华, 林玮平, 林克, 等. 基于云网融合的工业互联网应用分析[J]. 广东通信技术, 2018, 38(12): 36-39, 69.

[10] 连超. 云网融合环境下的多源数据采集和异常检测算法研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2019.

[11] 刘婷宜. 中国电信组织机构大调整云网融合发展进程再进一步[J]. 通信世界, 2019(34): 8.

[12] 郑海龙. 电信运营商云网融合发展研究[J]. 信息通信, 2020, 33(6): 240-241.

[13] 洪翊轩, 杨志谦. 新世代云网融合服务管理[J]. 电工通讯季刊, 2019:10-16.

[14] 郭亚冬. 5G 时代的云视频会议系统[J]. 通讯世界, 2020, 27(5): 99, 101.

[15] 周宇杰. 云视频会议或将成未来主流方向[J]. 中国公共安全, 2015(19): 101-103.

[16] 郭建辉. 云视频会议系统的建设思路[J]. 数字通信世界, 2016(3): 322-323.

数据中心智慧化实践

张林锋，欧阳述嘉，李扬，冯睿，贾涛，宋杰
（国家电网有限公司信息通信分公司，北京 100761）

摘　要：如今，数据中心已经成为企业的重要新型数字化基础设施。为了更好地对数据中心进行管理，从 4 个方面尝试实践数据中心智慧化管理，基于数字化技术对资源进行可视化管理，提升对智能机器人的应用，对数据中心进行安全管理，开发移动应用和小程序对数据中心进行管理，最终有效优化了对数据中心的管理，大幅节约了成本。

关键词：数据中心；数字化管理；智能机器人；移动应用；数据管理

1　引言

数据中心成为重要新型数字化基础设施，在企业数字化转型中发挥基础性作用[1]。如何安全、高效、经济地运营数据中心已成为众多企业关注的焦点问题[2]。基于多年大型数据中心的运营实践，本文从以下 4 个方面开展数据中心智慧化运营研究和实践。一是基于数字化技术实现资源可视化管理，实现机房环境可视化，实现管井、光缆、纤芯及业务可视化管理，实现管井位置 GIS 定位和导航，实现资源规划、申请等线上管理[3]。二是应用机器人提升数据中心安全管理能力，针对人工巡检耗时耗力、人工成本高、巡检质量不稳定等问题，创新采用多传感器集中布置解决机器人巡检“一检全检”、采用身份认证解决机器人网络传输及通信安全性问题，经过多次模拟计算发现，该方法可以显著提升工作效率，节约工作成本[4-5]。三是利用移动应用提升数据中心运营能力，针对现场安全、运行值班、现场检修等运营工作中存在的痛点，设计开发智慧数据中心 App，实现对现场安全、日常巡视、工单管理、检修管理等的线上管理[6]。四是群众创新解决工作大痛点，激发挖掘群众创新活力，开发具有值班信息记录功能的小程序，实现值班排班工作高效运转和值班信息共享协作[7]。

2　基于数字化技术实现资源可视化管理

数据中心机柜、通信设备、IT 设备、辅助基础设施数量繁多，无法实时统计监控资源，无法对资源进行统筹管理。本文针对这些问题开展资源管理智能化应用工具研究和实践，实现了数据中心机房资源可视可控、集中管理。

2.1　机房资源可视化

机房资源可视化通过对机柜空间的数字化分析，可对机房内机柜空间使用率进行分级显示，使用率为50%以下的机柜的颜色为绿色，使用率为 50%~75%的机柜的颜色为黄色，使用率为 75%以上的机柜的颜色为红色，为机房空间规划提供参考依据。机房分区规划管理如图 1 所示。

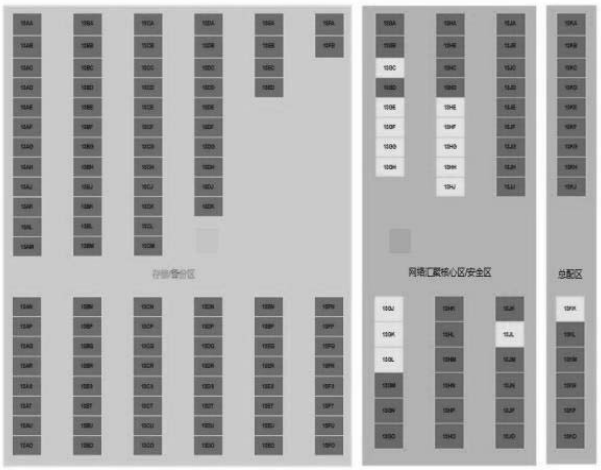


图 1　机房分区规划管理

2.2　光缆资源可视化

将数据中心管井、管道、光缆、光纤之间的包含和连接关系以可视化的方示展示在 GIS 地图上，通过

GIS 地图定位管井位置，导航至目的管井路线，配线柜、光缆、纤芯可视化显示光缆路由、光缆信息、容量及承载业务信息。管线 GIS 可视化如图 2 所示。

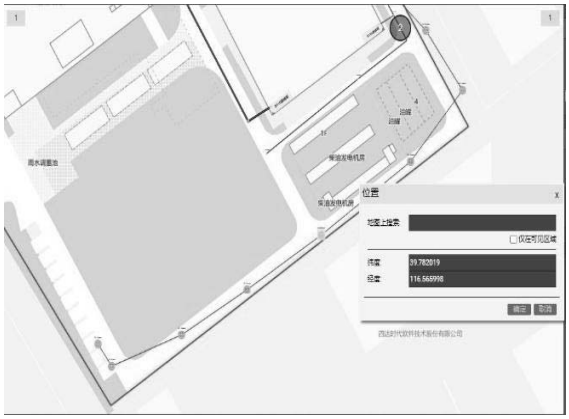


图 2　管线 GIS 可视化

2.3　资源监控与分析

通过采集机房资源信息，生成资源台账，对资源总体情况进行统筹管理，实时监控分析机房、机柜、空间 U 位的数量及使用率，以图表形式展示使用率高低，可以查看空闲机柜信息，直观查询空闲机柜位置，为资源规划提供参考依据。

2.4　线上资源管理流程

依据资源管理流程，设计开发线上管理工具，与资源可视化数据进行对接，可实现资源数据实时更新、资源申请统一入口、资源审批线上可控。

3　智能机器人应用提升数据中心安全管理能力

数据中心基础设施运维的人工作业面临较多痛点问题，针对这些痛点，主要采取以下措施。

3.1　多传感器集中布置解决机器人巡检“一检全检”

巡检人员在机房巡检过程主要通过“看、听、闻、测”4 种方式巡检，通过对机房巡检需求进行深入分析，根据相应需求，在机器人上配置红外测温器（看）、摄像头（看）、噪声监测器（听）、烟感器（闻）、温湿度监测器（测）、空气洁净度监测器（测）等环境感知设备。同时，由于不同位置传感器采集数据对机房合规评价有较大影响，感知设备布置应考虑在不同高度配置相应传感器，实现对温湿度、空气洁净度、噪声、温度等的监测功能。机器人多传感器集中布置如图 3 所示。

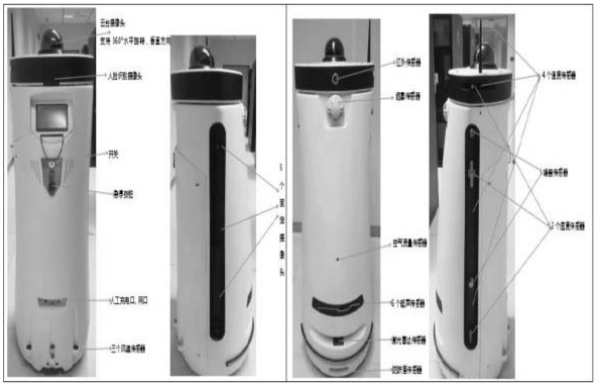


图 3　机器人多传感器集中布置

温湿度监测方面，不同高度温度传感器能够监测机柜不同位置的温度情况，精细掌握机柜进风温度，为机房空调精细调节提供数据依据。不同高度机房温度云图如图 4 所示。

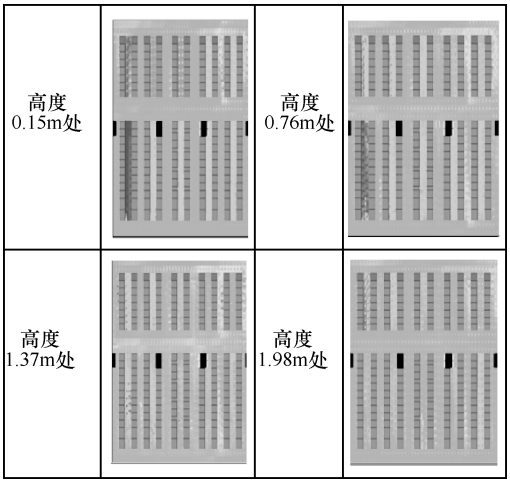


图 4　不同高度机房温度云图

空气洁净度监测方面，巡检机器人应配置悬 PM0.5 传感器，对机房洁净度进行监测，并将数据上传到后台服务器进行记录，同时能够在客户端平台展现相关数据。

噪声监测方面，能够对特定位置或特定场景的环境声音进行采集并自主判断音量分贝，当音量超过阈值时能够及时预警后台。

红外测温方面,机器人在任务过程中，通过红外测温装置，对各类设备的母线、电池组等设备进行扫描，并生成热力图。

3.2　身份认证解决机器人网络传输及通信安全性问题

机房巡检机器人工作在数据中心核心物理区域，机器人一旦出现数据泄露或受到安全攻击、恶

意操控，将对数据中心机房及信息系统造成极大安全风险，所以巡检机器人的接入网络、汇聚网络、管理控制系统等均不向互联网开放，采取身份认证等技术保障信息可溯源、不可篡改删除，并阻止非法访问。

3.2.1 身份认证

机房巡检机器人与服务器之间应采用双向认证的方式，禁止非法移动机器人设备接入服务器系统，禁止非法服务器设备管理机房巡检机器人。

3.2.2 用户及权限管理

机房巡检机器人系统用户应采用分级管理，当机器人操作者的操作超出自身的权限时,机器人应提示非授权(非法)操作,并通知信息控制者存在非授权(非法)操作或者报警,并阻止操作。

3.2.3 网络数据传输安全

机房巡检机器人、服务器和被访问系统之间的数据传输网络使用安全加密机制。

3.2.4 信息溯源

机房巡检机器人及服务器应保存日志，保存期不少于 1 年，保证日志可溯源。

3.3 通过物联网技术实现机器人跨机房、跨专业复杂巡检

对门禁、门以及机器人进行改造优化，在机房门上加装开门机设备，通过门禁控制器与机器人进行无线通信交互，控制门禁控制器接入信号，自动打开机房门，实现机房巡检机器人无感知出入机房门。机器人跨机房巡检门禁改造如图 5 所示。

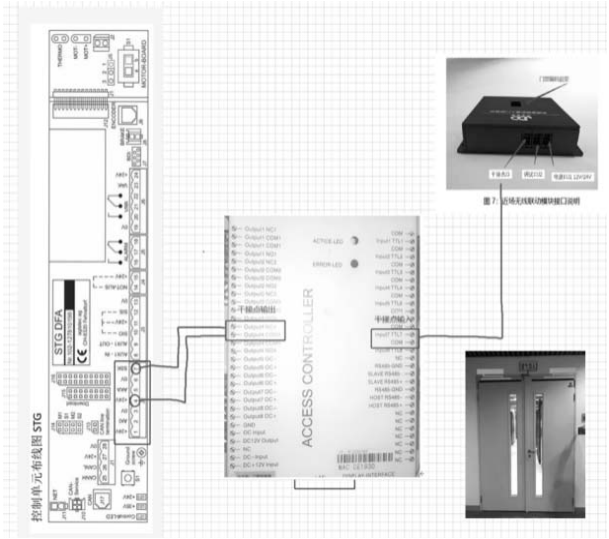


图 5 机器人跨机房巡检门禁改造

4 移动应用提升数据中心运营管理能力

通过设计开发智慧数据中心 App，建设园区安全管理、值班管理、运行巡视等一体化的智能现场移动应用，实现数据中心运维检修、部署实施工作票等线上工作模式，可以大幅提高工作效率。

4.1 现场安全管理

利用智能化、便捷化手段，提升现场安全管控水平。对数据中心的临时人员、物品、库房进行线上申请受理，结合人脸识别、门禁系统，集成智能管理设备及系统提高现场安全管理水平。门禁卡管理与人脸识别系统集成，在线授权，实时掌握园区人员权限信息。办公室管理进行可视化工位统计，实时掌握工位资源信息。

4.2 日常巡视管理

在线统计记录巡视结果及内容，用户可根据需求自定义巡视类型、频次及巡视模板，巡视人员可在线实时填报巡视结果，在线统计巡视次数，并发现问题。

4.3 移动检修管理

为解决运维检修、部署实施工作票审批流程漫长、工作票申请审批消息滞后、无法及时获取工作票的申请审批信息等问题，与系统集成交互，通过移动端实时获取检修工作票信息及审批状态，移动 App 在线审批，全方位提升办公效率，缩减人员维护的成本。

4.4 工单管理

建设业务上下线、故障处置、任务事项全过程、可追溯的智能工单管理手段。业务上下线将上线和下线的申请、审批、验收、归档全过程进行线上管理；故障工单实时跟踪故障处置全过程，将故障响应、诊断、处理等进行线上考核管理，提升故障处理运维质量。

5 开发小程序解决工作大痛点

针对值班人员多、排班繁琐、手动更新、线下调班、更新不及时等问题，可以开发小程序，提供创建值班组、高效便利排班、多层次值班表信息分享，简单流程化的调班，定点定时签到，便捷的查询统计、值班日志记录及评价等功能，实现值班排班工作高效运转和值班信息共享协作，有利于落实数据中心值班人员安全责任。

5.1 基于移动互联网技术，研发“值班小能手”小程序

“值班小能手”小程序主要功能包括：手机线上排

班、排班表分享、线上调班、定位签到、工作日志及评价、统计（值班、调班、值班质量）等。

5.2 建立值班表，要求按时按地签到，提高责任意识

基于小程序，明确值班人员工作责任，每天指定地点、指定时间到岗签到，记录签到时间、地点信息，可检查、可考核、可追溯，提高值班人员责任意识。

5.3 基于小程序，建立工作值班闭环评价机制

值班质量量化管理，各级管理者可通过值班签到次数、签到地点及工作日志完成质量对值班情况进行考核，一是做到值班按时签到、交接班管理、值班日志报送全过程闭环管理，二是敦促相关工作者提高其工作质量。

5.4 通过值班表分享，建立对外部辅助人员的有效管理

管理的维保团队众多，要求维保厂商落实每日负责人，要求其按时签到、填写工作日志，实现维保质量在线全过程管控，管理部门可在线查看、审核、评价各维保单位服务质量。

6 结束语

资源可视化管理工具，将目前手工方式维护的设备资产信息、综合布线等工作实现电子化处理，实现了设备资产的定位管理及快速查找，综合布线的精细化统计分析。可视化界面显示数据中心机房机柜、IT 设备、通信设备、辅助基础设施、通信管井管线等，实时监控数据中心运行状态，运维人员在不进入机房的情况下能洞悉机房内的设备情况，做到数据中心全局性的把控，实现了电子化、精细化、智能化运维管理。

机房巡检机器人试点使用以来，在参与试验的数据中心机房应用，减少人工巡检频次、减少人力资源投入、提质增效效果显著。

智慧数据中心用数字手段替代繁琐的线下审批管理流程，改变了以往效率低、可追溯性差、资源浪费的园区管理模式。智慧数据中心不仅实现了园区运行人员、设备设施的精益化、便捷化全过程闭环管理，提升了用户体验，提高了数据中心服务能力，同时节约了人工成本。

小程序自 2020 年 1 月试运营以来，深受各类运维服务单位欢迎。目前，该小程序已在中小微企业应用。截止至 2021 年 8 月 17 日，用户数量达到 3976，具有较强的应用前景。

参考文献：

[1] 翟尤. 新基建助力数字经济发展[J]. 张江科技评论, 2020(2): 11-13.
[2]丁肇豪, 曹雨洁, 张素芳, 等.能源互联网背景下数据中心与电力系统协同优化（一）：数据中心能耗模型[J].中国电机工程学报, 2021.
[3] 刘堃. 浅谈数据中心可视化运维管理[J]. 网络安全和信息化, 2021(8): 75-77.
[4] 余华飞. 基于大数据智能化财务共享中心运营管理分析[J]. 冶金财会, 2021, 40(6): 25-28.
[5] 陈思明. 探讨云数据中心及云管理平台的技术应用[J]. 信息系统工程, 2021(6): 82-83, 86.
[6] 王小辉, 陈岸青, 李金湖, 等. 基于能源大数据中心的数据商业运营模式研究[J]. 供用电, 2021, 38(4): 37-42.
[7] 程鹏飞, 黄兵. 基于电力全业务统一数据中心的企业数据资产管理体系分析[J]. 现代工业经济和信息化, 2021, 11(2): 103-104.

数据中心资源管理系统研究与设计

孙天勇[1]，张林锋[2]，欧阳述嘉[2]，李扬[2]，贾涛[2]，宋杰[2]，张亚雄[2]，李云爽[2]，卢丽云[2]，陈学真[2]
（1.北京耐威迪科技股份有限公司，北京 100088；2.国家电网有限公司信息通信分公司，北京 100761）

摘　要：随着我国数字化转型加快推进，数据中心作为承载数字化转型的基础设施建设规模快速增长。数据中心资源使用效率和数据中心能耗问题成为社会关注焦点之一。如何精细化管理数据中心资源，成为当前 ICT 行业研究讨论的重点。本文从某大型数据中心资源管理实践出发，对数据中心资源管理对象、方法、流程进行了梳理和分析，对数据中心资源管理系统架构和功能进行设计，并据此开发一套数据中心资源管理系统，可为大型数据中心资源管理相关业务提供参考。

关键词：数据中心；资源管理；数据中心基础设施；数据中心可视化

1　引言

大数据已上升为国家战略，数据作为生产要素和战略资源，在经济社会发展中发挥着越来越重要的作用[1-2]，数据中心作为承载数字化转型的基础设施，其建设规模快速增长。数据中心资源使用效率和数据中心能耗问题成为社会关注焦点之一，如何精细化管理数据中心资源，成为当前 ICT 行业研究讨论的重点[3-4]。目前，传统数据中心资源管理系统普遍存在管理效率低，资产管理难，设备管理类别、维度不足，可视化、智能化程度不高等问题[5-6]。本文结合某大型数据中心多年运营实践，提出数据中心资源系统应解决如下几个需求点：

1）实时监控资源现状与变更过程，追溯资源变更历史，有效提高数据中心安全可靠性；

2）实时、准确、可视化直观掌握资源现状，为业务扩展和资源扩容等决策提供数据支撑，提高资源利用率；

3）通过精细化、智能化资源管理，可提高运维人员绩效与资源故障排除效率，减少宕机时间，降低运维成本。

本文在梳理数据中心资源管理对象、方法、流程基础上，对数据中心管理系统架构和功能进行梳理和设计。

2　资源管理对象、方法、流程

2.1　资源管理对象

数据中心资源管理系统，主要管理对象包括：地理空间、物理基础设施、网络基础设施、室外通信设施、虚拟、工位六大类资源。

2.1.1　地理空间资源

从地理空间维度对数据中心资源划分，资源管理对象主要包括：

1）园区:基于 GIS 园区地理位置、园区 GIS 平面图、园区资源汇总信息；

2）建筑:建筑位置信息、建筑立面图、建筑资源汇总信息；

3）楼层:楼层建筑平面图布置图、房间功能标识、楼层资源汇总信息；

4）机房:机房设备布置图、机房设备运行状态图、机房资源汇总信息；

5）办公用房:办公室布局图、工位使用信息。

1.1.2　物理基础设施

物理基础设施主要为网络基础设施提供运行所需环境条件，资源管理对象主要包括：

1）UPS：位置信息、设备运行状态参数、维保信息、管理人员信息、连接路由信息、操作说明；

2）配电：位置信息、设备运行状态参数、维保信息、管理人员信息、连接路由信息、操作说明；

3）空调：位置信息、设备运行状态参数、维保信息、管理人员信息、连接路由信息、操作说明；

4）机柜：容量信息、使用单位信息、位置信息、管理人员信息；

5）消防：设备运行状参数、维保信息、管理人员

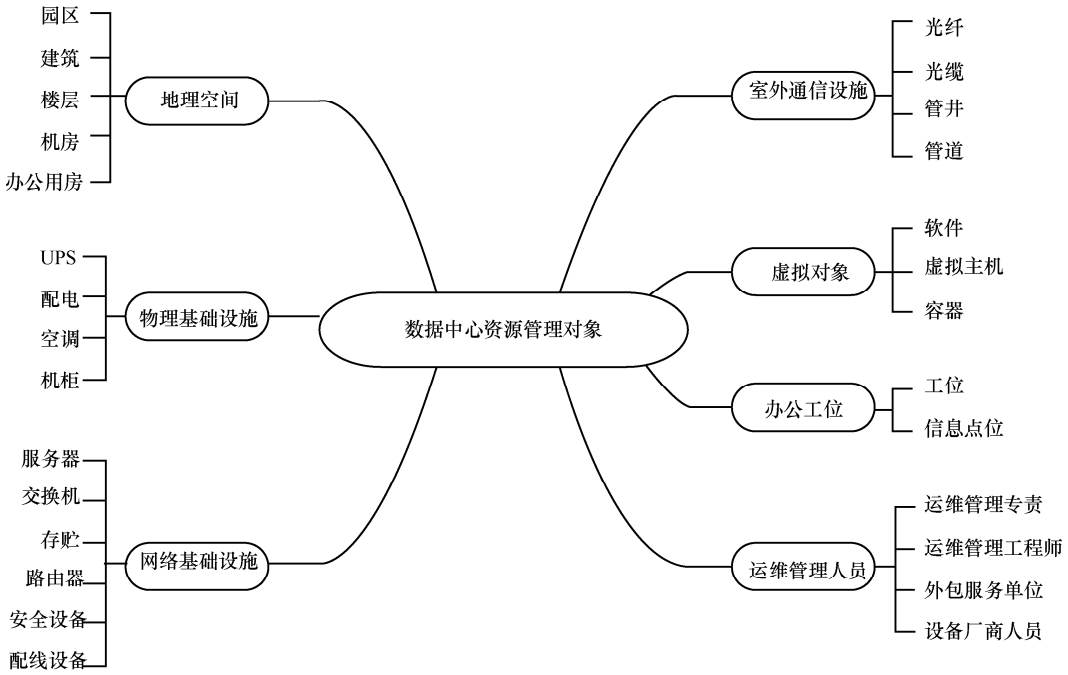


图 1　数据中心资源管理对象

信息、连接路由信息、操作说明；

6）环控：设备运行状参数、维保信息、管理人员信息、连接路由信息、操作说明；

2.1.3　网络基础设施

网络基础设施主要提供数据的计算、传输、交换、存储，资源管理对象主要包括：

1）服务器：位置信息、运行状态参数、维保信息、管理人员信息、连接路由信息、IP、链路信息；

2）交换机：位置信息、运行状态参数、维保信息、管理人员信息、连接路由信息、IP、配置文件、链路信息；

3）路由器：位置信息、运行状态参数、维保信息、管理人员信息、连接路由信息、IP、配置文件、链路信息；

4）存储：位置信息、运行状态参数、维保信息、管理人员信息、连接路由信息、IP、配置文件、链路信息；

5）安全设备：位置信息、运行状态参数、维保信息、管理人员信息、连接路由信息、IP、配置文件、链路信息；

6）配线：线缆信息、路由信息、链路信息。

2.1.4　室外通信设施

室外通信设施是数据中心与外界通信的传输通道，资源管理对象主要包括：

1）光纤：业务类型、使用单位、运营商、路由、链路信息；

2）光缆：业务类型、使用单位、运营商、路由、光纤、链路信息；

3）管井：位置、容量、光缆、井深度；

4）管道：光缆、路由、连接信息；

2.1.5　虚拟对象

虚拟对象是对物理资源的逻辑划分，资源管理对象主要包括：

虚拟主机：位置信息、运行状态参数、业务类型、IP；

容器：位置信息、运行状态参数、业务类型、配置信息。

2.1.6　办公工位

办公工位是数据中心运维人员的工作场地，也是数据中心资源的组成部分，资源管理对象主要包括：

办公工位：位置信息、使用信息；

与信息点位：位置信息、使用信息、路由信息、链路信息。

2.1.7　运维管理人员

基础设施运维管理人员主要包括：运维管理专责、工程师、外包服务单位、设备厂商人员等。

2.2　资源管理方法

开发后的资源管理平台通过线上规划、线下实施

的管理方式真正做到资源信息的实时更新，保证资源数据的准确，为数据中心资源管理信息化、流程化、智能化的目标奠定基础。具体资源管理涉及主要方法如下：

2.2.1 查询

借助数据中心资源管理平台，可实现对数据中心资源快速搜索定位，并查询资源管理对象的信息。

2.2.2 记录

借助数据中心资源管理平台，实现对数据中心资源变更信息的快速记录更新，记录，可采用手动、自动采集等多种方式。

2.2.3 勘察

避免频繁进出机房，通过数据中心资源管理平台进行可视化勘察，降低运维风险。

1.2.4 设计

对于审批通过的资源变更初步需求，通过数据中心资源管理平台进行的设计规划，以形成详细的实施方案。

2.2.5 标识

实现对数据中心资源标识标签的自动化编码与打印。

2.2.6 监控

借助数据中心资源管理平台，实现对数据中心资源状态、位置等信息的实时监测与控制。

2.2.7 统计分析

数据中心资源管理平台是数据中心资源的大数据，通过对数据中心资源管理平台数据的统计分析，为数据中心运维管理决策提供依据，例如可视化报表、大屏、智能分析等。

2.3 资源管理流程

数据中心资源变更主要来自于两方面：内部需求和外部需求，内部需求通常包括扩容、维护等，外部需求通常包括：业务开通、服务器上架等[7]。流程系统通过强大的自动化流程来简化并优化工作流，以减少资源变更所需的时间，并通过最大限度地减少人为错误的可能性来提高准确性。

内部或外部需求产生后进入审批流程，经审批流程批准后，数据传递至数据中心资源管理平台，在数据中心管理平台利用查询、记录、打印、勘察、设计规划、变更、监控、分析等方法生成实施工单并发送实施人员，实施人员依据工单流程完成实施。系统自动跟踪工单完成情况，在实施完成后，通过工单系统拍照上传资源变更照片，进行在线验收变更。在后期运营过程系统发生故障时，可追溯变更历史。

流程的开发建设遵循：流程开发->流程测试->流程运维->流程监控->流程优化的业务流程全生命周期管理模型[8]。

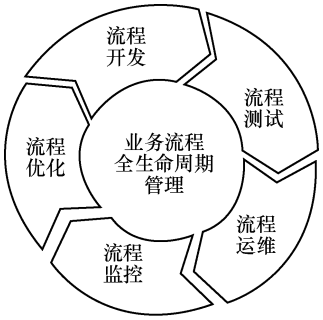


图 2 业务流程全生命周期管理模型

3 资源管理系统设计

3.1 设计原则

1)对现有数据中心基础设施资源进行数据化梳理过程中不能中断或影响系统业务。

2）系统应易于使用与维护，具备良好的用户操作界面、人性化的管理工具和完备的帮助信息。

3）系统实现应参考国际标准并结合现状，采用先进可靠的设备和技术，确保系统的先进性和成熟性。

4）系统必须达到企业级安全标准，提供良好的安全可靠性策略，支持多种安全可靠性技术手段，制定严格的安全可靠性管理措施。

5)系统应基于国内外业界开放式标准，统一规划，为未来业务发展奠定基础。

3.2 技术架构

数据中心资源管理依据“高内聚，低耦合”的架构设计思想，把系统划分为前端 UI（User Interface，用户界面）层、前后台交互层、业务逻辑层、数据访问层、基础运行环境，各层之间采用接口相互访问。

1）前端 UI 层：采用最新的 HTML5 技术，通过 SVG[9]（Scalable Vector Graphics，可缩放矢量图形）实现室内场景的展示展示与交互、WebGIS[10]（Web Geographic Information System，网络地理信息系统）实现室外场景展示与交互、Canvas[11]实现设备与线路的展示与交互，不同应用通过不同的 HTML 图层实现。

2）前后台交互层：系统采用 RESTful API[12]实现

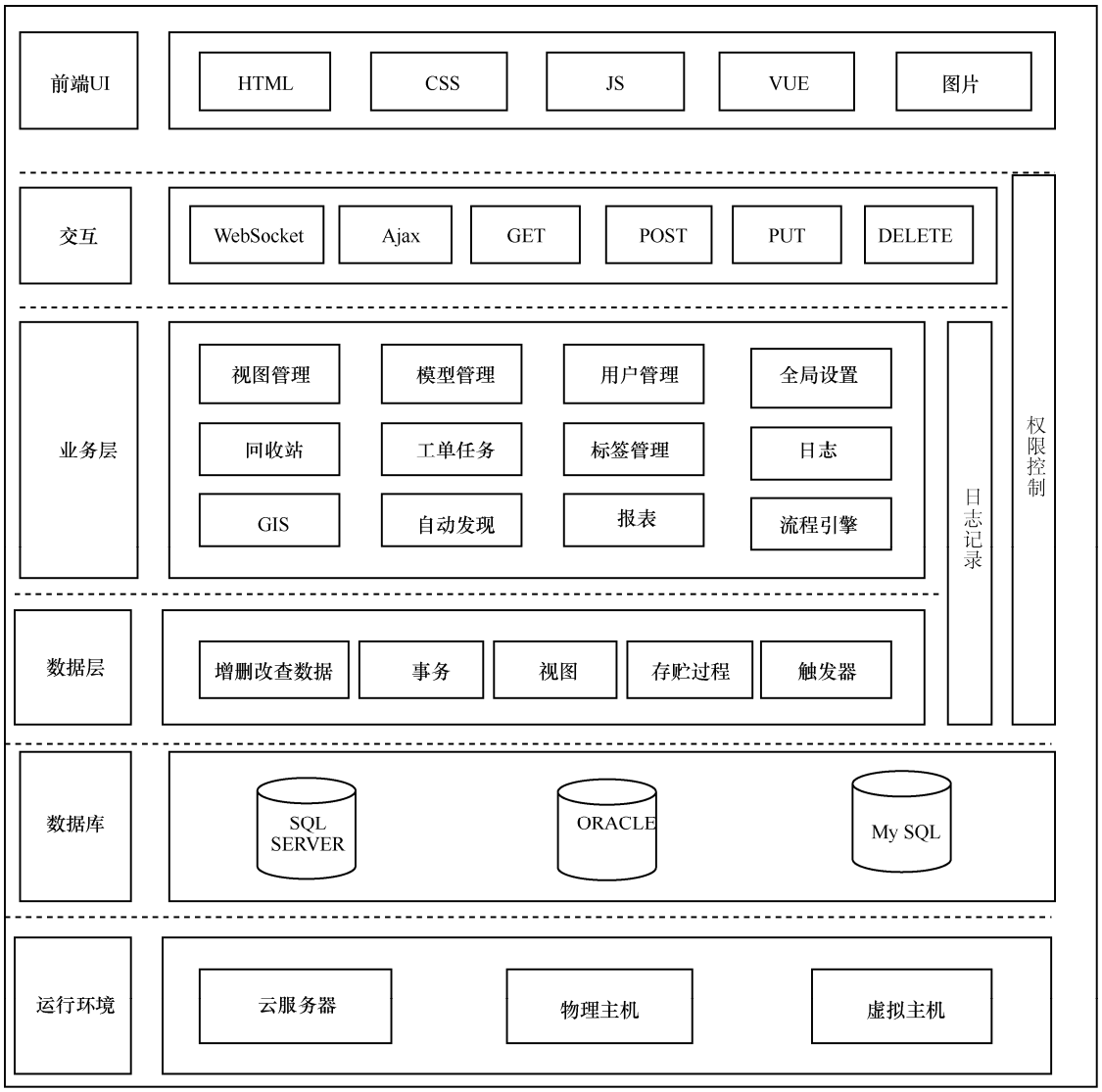


图 3　数据中心资源管理平台架构

前后台数据交互，主要方法包括 GET：获取数据、POST：提交数据、PUT:更新数据、DELETE：删除数据;通过 Ajax 执行异步网络请求[13];WebSocket 实现客户端和服务器的双向实时通信[14]。

3）业务逻辑层：业务逻辑层对具体问题进行逻辑判断与执行操作，接收到前后台交互层的用户指令后，会连接数据访问层 L，对接收数据进行逻辑处理，实现数据的修改、获取、删除等功能，并将处理结果反馈到前端 UI 层。

4）数据访问层：数据访问层是数据库的主要操控系统，实现数据的增加、删除、修改、查询等操作，并将操作结果反馈到业务逻辑层。数据访问层没有逻辑判断能力，为了实现代码编写的严谨性，提高代码阅读程度，在该层中编写数据访问类，保证数据访问层数据处理功能。

5）基础运行环境：系统采用关系型数据库 SQL Server、MySQL、Oracle 等支持系统数据存贮[15]，采用数据库分布式部署方式以支持大数据量存贮[16]。操作系统采用 LINUX,服务器采用物理机或虚拟服务器部署方式，同时通过负载均衡实现系统高可用性。

3.3　功能设计

数据中心资源管理系统功能模块设计如下：

3.3.1　资源规划

通过可视化管理界面实现对地理空间、物理基础设施、网络基础设施、室外通信设施、虚拟、工位工六大类资源的规划设计。

云资源规划：具有机房机柜规划功能，展示机房布局图，能够根据规划需求，对机房机柜进行规划，规划后在后期申请时，能够根据不同规划显示不同可用机柜情况。同时资源管理平台与云管平台互通数据，读取云管平台资源相关数据，实时更新云资源使用情况。

集成动环监控数据，规划过程可以显示机柜电力实时容量、电力容量、机柜 U 位容量，作为规划依据参考。

机房功能规划：具有机房机柜功能规划，通过在机房布局图选定机柜，可设置机柜分区名称，可设置分区类别，通过不同类别选择可显示不同分区。

3.3.2 资源申请

建立数据中心资源申请自动化流程，并形成追溯数据。申请过程可以看到流程每步审批情况。受理人对资源进行规划过程，可以跳转至规划页面，通过可视化规划页面对资源进行规划，规划后自动记录规划位置。

3.3.3 资源实施

设备上架流程：通过链接资源申请单号，发起上架流程，上架设备最终应与资源申请单设备数量及信息一致。

设备下架流程：通过链接资源申请单号，发起下架流程，下架设备最终应与资源申请单设备数量及信息一致。

设备变更流程：通过链接资源申请单号，发起设备变更流程，设备变更最终应与资源申请单设备数量及信息一致。

3.3.4 资源统计与监控

资源申请查询：能够统计展示资源申请情况，包括但不限于按照申请单位、申请时间、机房、分区等维度。

设备上下架查询:能够统计展示设备上下架情况，包括但不限于按照申请单位、申请时间、机房、分区等维度。

设备变更查询：能够统计展示设备变更情况，包括但不限于按照申请单位、申请时间、机房、分区等维度。

资源利用情况统计：通过三维立体方式，展示机房机柜 U 位空间使用情况、电力资源使用情况。通过图表展示资源各字段信息统计展示。如：机房名称、设备类型、品牌、负责人、上架时间、占用 U 位等。

根据不同维度数据筛选，可以通过机房三维图变化，体现所选内容。

3.3.5 资源评价与分析

机房使用评价：机房机柜使用率（机房机柜上架率），机房已使用机柜数量与机房总机柜数量的比值，通过采集机房机柜 PDU 功率，可以确定机房已使用机柜数量,通过公式计算,实时更新机房机柜使用率指标。

机房电力负载率：机房上架设备实际运行功率与设计功率比值。通过采集机柜 PDU 功率计算机房实际负载，通过公式计算实时更新机房电力负载率。

机柜使用评价:机柜 U 位使用率、机柜 U 位可用率、机柜电力负载率。

服务器使用评价：内存占用率、平均运行功耗、数据吞吐量、平均无故障运行时间。

业务系统使用评价：业务服务量、平均响应延迟、负载均衡性。

4 关键技术及创新

数据中心资源管理系统采用 GIS、可视化、物联网、大数据分析、人工智能推荐算法等新兴技术，实现对数据中心资源的可视化管理与监测。

1）充分利用最新的计算机图形技术，采用 H5 canvas 绘图技术，以 2D 虚拟仿真表现形式对设备、端口、配线资源进行可视化管理，实现精细到端口、线芯的可视化资源变更操作管理。

2）实现通信机房、机柜、设备、端口与光纤纤芯等资源的可视化记录；采用 GIS WMTS(地图瓦片)服务[17]实现室内数据中心资源可视化记录；

3）通过对设备 VISIO 模型的自动化转换创建丰富的资源设备模型库；

4）基于自动化流程引擎，实现对资源变更的自动化、流程化管理。

5）通过 SNMP 协议实现智能资源的自动发现与监测；

6)通过人工智能推荐算法实现线路资源变更的自动选择；

7)通过图数据库技术实现物理拓扑与逻辑拓扑的融合，资源关系的全面分析。

5 应用价值

一套标准化、流程化、可视化的数据中心资源管理系统将显著增强数据中心安全可靠性，提高数据中心资源利用率，降低数据中心运维成本。具体表现在如下几个方面。

1）实时跟踪资源变更，提高数据中心可靠性

形成完整的数据中心资源信息，同时通过线上规

划、线下实施的管理方式真正做到资源信息的实时更新，保证资源数据的准确，有效降低因资源变更造成的业务中断，提高整个数据中心的可靠性。

2）共享资源信息，提高资源利用率

由于将数据中心资源数据统一整合到一个平台中，使不同处室运维管理人员实时掌握资源使用现状，将做为资源的分配、购置等决策的重要依据，将显著提高资源利用率。

3）运维效率显著提升，节约运维成本

所有数据中心资源信息汇总集中于同一平台进行可视化管理，真正实现了所有资源的无缝、全面覆盖。帮助数据中心运维人员进一步提升资源的管理效率和节省故障处理时间。

6 结论

本文结合某大型数据中心资源管理系统的实际应用，通过数据中心资源管理系统的分析设计，总结了数据中心资源管理系统的建设意义，梳理了资源管理对象、方法、流程，论证了资源管理系统对数据中心实施精细化运维管理具有良好的应用价值。

参考文献：

[1] 朱卫东, 张超, 吴勇. 大数据与“五位一体”的国家战略应用布局[J]. 毛泽东邓小平理论研究, 2017(3): 8-14, 108.

[2] 中华人民共和国中央人民政府.中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要[Z].2021-03-13.

[3] 冯翔慧. 打造“共建共享共治共赢”能源生态体系 服务国家大数据战略实施和经济社会发展: 国家电网有限公司大数据中心成立揭牌仪式暨大数据发布会在京举行[J]. 中国科技产业, 2019(6): 31.

[4] 朱洪斌, 钮佳, 倪少峰, 等. 灾备中心运维体系设计与实现[J]. 电力信息化, 2012, 10(7): 13-17.

[5] 黄宏聪. DCIM 建设与数据中心基础设施管理[J]. 科技资讯, 2018, 16(25): 8-9.

[6] 黄锴. 数据中心基础设施管理 DCIM 综述[J]. 智能建筑与城市信息, 2012(11): 39-41.

[7] 游翀宇. 江门铁通公司管线资源管理系统的研究与分析[D]. 昆明: 云南大学, 2016.

[8] 罗华永, 张敏杰, 杨宁, 等. 基于 BPMN2.0 标准的电力系统业务流程管理平台[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(18): 148-152.

[9] 王康元, 张洁, 朱丽娟. 基于 SVG 的电网数据可视化图形描述[J]. 电力系统及其自动化学报, 2006, 18(5): 84-88.

[10] 陈泓. 基于 WebGIS 的电网实时监测及可视化技术研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2013.

[11] 曹莉莎. 基于 HTML5 的电网图形软件研究与开发[D]. 北京: 华北电力大学, 2014.

[12] 刘益腾. 面向服务思想和私有云平台的电力大数据架构设计与实现[D]. 成都: 电子科技大学, 2018.

[13] 曲锋. 基于 SVG 和 Ajax 的电网一次接线图实现[J]. 电网与清洁能源, 2010, 26(3): 41-44.

[14] 李虎孬, 何大伟, 陈富国, 等. 变电站实时监测系统中 WebSocket 技术的应用[J]. 现代计算机(专业版), 2016(33): 69-72.

[15] 方锐, 姚振, 郭洋, 等. 基于关系型数据库备份与快速恢复机制研究与应用[J]. 中国信息化, 2019(11): 48-49.

[16] 闫湖, 李立新, 袁荣昌, 等. 多维度电网模型一体化存储与管理技术[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(16): 94-99.

[17] 龚治兴. 移动终端下电力三维 GIS 系统关键技术及实现[D]. 抚州: 东华理工大学, 2014.

水电气热多表合一抄收系统信息安全防护方案

李志超，江再玉，石文娟，马晶，康有淞
（北京中电普华信息技术有限公司，北京 100107）

摘　要：国家电网公司依托自身成熟完善的用电信息采集系统，联合其他能源服务企业，近年来在全国多个省市开展了“水电气热”多表合一信息采集技术的研究验证等工作。由于“水电气热”多表合一抄收系统需通过各类接口与外部系统进行大量的数据交互，并通过互联网 VPN 通道与水气热公司进行数据交互，因此存在外部系统通过互联网非法侵入公司内部系统而造成数据泄露的风险。本文系统地介绍了多表合一系统总体安全防护架构以及具体各个层面的安全防护措施，最大限度地保障了多表合一抄收系统相关数据的安全以及系统的稳定可靠运行。

关键词：多表合一；安全防护；非法入侵

1　引言

“水电气热”多表合一抄收系统建设，是推动互联网和国家智慧城市发展的重要战略，是解决系统互联互通的创新举措。国家电网公司推行“多表合一”建设，就是利用电力企业已有用电信息采集系统平台，实现对水、电、气等公共数据资源实行远程集抄集采，打造全新的用能数据平台，并充分挖掘用电信息采集系统大数据应用，营造全新用能营商环境，全面支持智慧城市建设，减少数据系统平台重复建设[1]。总之，依托于智能电表建立的“多表合一”抄收系统，能实现能源领域信息资源共享，建设跨行业能源运行动态数据集成平台，从而实现集中抄表收费、用能管理等综合能源服务[2-3]。由于“水电气热”多表合一抄收系统需通过互联网 VPN 通道与客户、水、气、热公司进行大量数据交互，因此，存在外部系统通过互联网非法侵入内部系统而造成数据泄露的风险，而客户档案、交易信息等敏感数据的泄露可能对国家电网公司、社会秩序、公共安全及客户个人利益产生严重的损害。为最大限度的保障“水电气热”多表合一抄收系统的稳定可靠运行以及数据的安全交互，参照国家电网公司现有相关业务系统信息安全防护相关规定，针对多表合一抄收系统不同应用层面，设计了该系统信息安全防护方案。

2　多表合一抄收系统

电、水、气、热均为人民日常生活必不可少的公共服务能源产品。能源计量数据自动采集已成为政府实施能源监管的紧迫需求。多表合一抄收系统实现计量在线监测，漏水漏气预警及用量提醒等功能，提升企业精益管理和服务水平，支撑国家节能减排战略和相关政策的落实[4]。

由于水、气、热行业与电力行业的服务对象、渠道和手段等方面具有高度的相似性。国家电网公司用

电信息采集系统目前基本实现公司经营范围内采集全覆盖，采集技术成熟、高效、精确率高[5]。近年来，国家电网公司依托现有用电采集系统等，先后在北京、山东、上海、江苏、浙江等省市分公司开展了多表合一技术研究验证等工作，覆盖居民用户逐年增加。在

经济效益方面，多表合一抄收系统提升了用电信息采集系统的价值，实现了国有资产保值增值的效果，进一步提升了国家电网公司的市场竞争力，降低了公用事业基础设施的基本投入，同时也提高了水、气、热等其他公司的服务效率和利润空间，对大量公用事业基础数据的收集、分析、挖掘也使得数据价值得到更好的利用，最终实现为用户提供更高效、更便捷、更舒适的服务的目的。

2.1　应用架构

“水电气热”多表合一抄收系统通过对水、气、热等其他公共事业用户的系统集成，建立适应水、电、气、热公共事业联合抄表收费服务，利用公司已建成的数据采集渠道和电费交费渠道，实现多表联抄和统

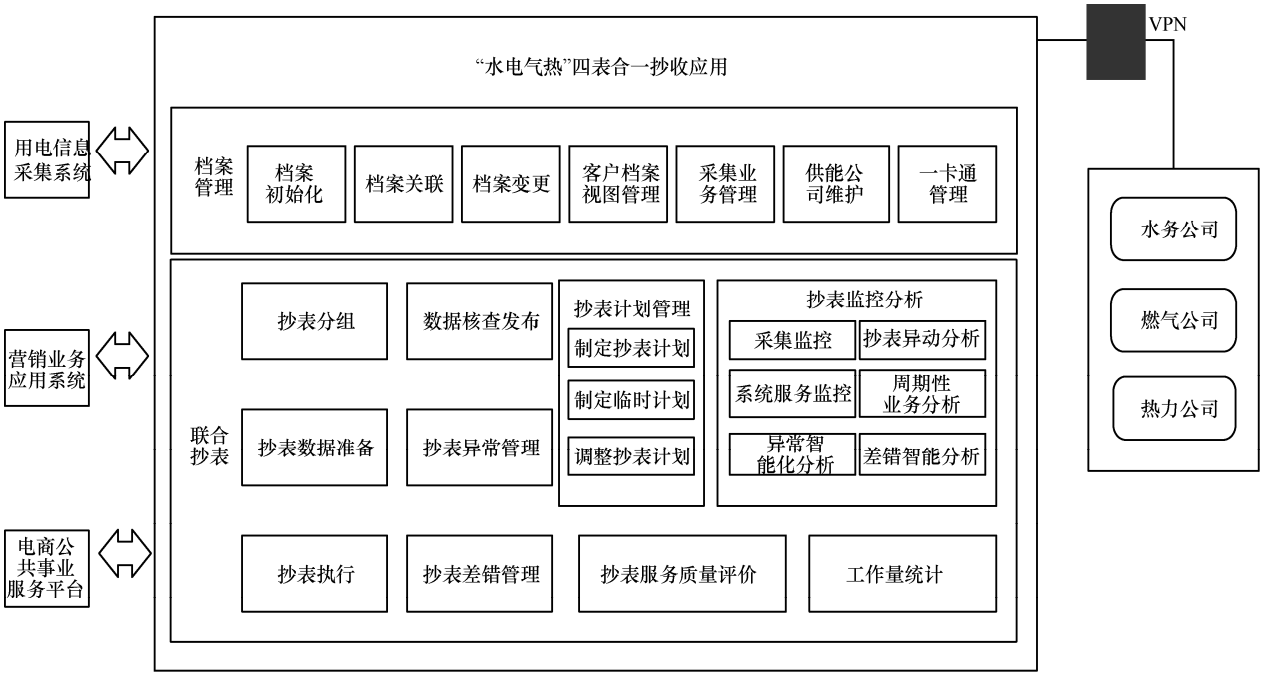


图 1 “水电气热”多表合一抄收系统总体框架图

一收费[6]。整个系统包括档案管理、联合抄表、账单合并与发布、联合收费、清分结算五大功能，具体功能模块如图 1 所示。

在档案管理模块，多表合一抄收系统从水气热公司业务系统获取水气热用户的档案信息，与营销业务应用系统集成获取电力用户档案信息，完成“水电气热”用户档案关联，形成公共事业客户统一档案视图；多表合一抄收系统通过与营销业务应用系统集成，完成水气热用户档案与采集终端档案关系的建立，并将水气热用户采集关系传给用电信息采集系统（水气热表采集模块）进行终端安装调试。包括档案初始化及关联、档案变更管理及关联、客户档案视图管理、采集终端安装及调试 4 个子功能。

在联合抄表模块，用电信息采集系统（水气热表采集模块）根据水气热抄表采集要求，定时或者按需提供水气热抄表数据，经“水电气热”多表合一抄收系统转发给水气热公司业务系统，完成水气热联合抄表;包括抄表分组、抄表计划管理、抄表数据准备、抄表执行、抄表异常管理、抄表差错管理、抄表监控分析、抄表服务质量评价、工作量统计 9 个子功能。

在账单合并与发布模块，用公共事业客户统一档案信息，通过与水气热公司相关系统集成获取水、气、热用户计费信息，通过与营销业务应用系统集成获取电力用户计费信息，建立水、电、气、热统一账单，统一发布。包括账单管理、账单发布 2 个子功能。

在联合收费模块，利用现有交费渠道，为水、电、气、热用户提供坐收、代收及代扣等服务业务，客户通过“一卡通”卡片，可以直接交费，实现统一收费、打印“一张票”。客户交费时，多表合一抄收系统收费员输入用户编号，通过调用营销业务应用系统进行电费的收费流程，通过向水气热公司业务系统获取水、燃气、暖气应收费用在多表合一抄收系统进行水、气、热的收费流程。

在清分结算模块，与水、气、热公司进行对账以后，根据协商的代抄、代收服务费用结算原则，清分水、气、热各单位的费用并支付。包括对账管理、费用清分、支付结算、手续费结算 4 个子功能。

2.2 物理架构

多表合一抄收系统使用 B/S 架构进行设计开发，部署位置为国家电网公司信息内网。系统通过各类接口和第三方网络与水、气、热等公司的业务信息系统进行对接集成，鉴于传输信息量大、安全要求高、控制连接成本等因素，第三方网络采用两种边界的方式进行建设[1]。

电力企业方信息内网与水、气、热公司固定网络之间通过光纤专线方式直接形成的网络边界。采用双前置机模式，即：电力企业方和水、气、热方各搭建一个前置机，两个前置机采用光纤实时连接。通过光

纤专线，保证数据的实时传递。双方前置机均放置在己方网络内部，并通过防火墙为对方提供访问端口。

电力企业方信息外网与水、气、热公司固定网络之间通过 VPN 通道方式直接形成的网络边界。电力企业方信息外网与水、气、热公司各搭建一个外网接口服务器，两个接口服务器采用 VPN 通信实时连接。通过 VPN 通信，保证数据的实时传递。双方接口服务器均放置在己方信息外网，并通过防火墙为对方提供访问端口，电力企业方外网接口服务器采用国家电网公司内部安全强隔离装置与内网应用进行通信。

3 信息安全防护方案

3.1 信息安全风险分析与防护目标

“水电气热”多表合一抄收系统与营销业务应用系统及其他业务应用在国家电网公司信息内网存在交互，面临安全风险主要为应用层面的非授权访问风险[7-10]；与水、热、气公司外部业务相关系统通过 VPN 网络存在交互，由于是公司外网与水气热方网络交互，交互数据主要为客户档案类、交易类等敏感数据，面临安全风险主要为网络攻击造成公司外网整体安全的网络层面的风险，数据层面的敏感信息泄露等风险。

网络层面风险包括：信息内网与外网间网络非法连接；信息外网通过租用电信运营商 VPN 网络与水气热方网络接入时遭受网络攻击[11]。

边界层面风险包括：信息内网纵向边界传输数据被窃取、破坏、篡改；信息内外网边界传输数据被窃取、破坏、篡改；信息内网第三方边界存在篡改、伪造、重放终端上行报文行为[12]；信息内网第三方边界遭到病毒、木马、恶意代码攻击。

应用层面风险包括：部署在外网的接口模块遭受

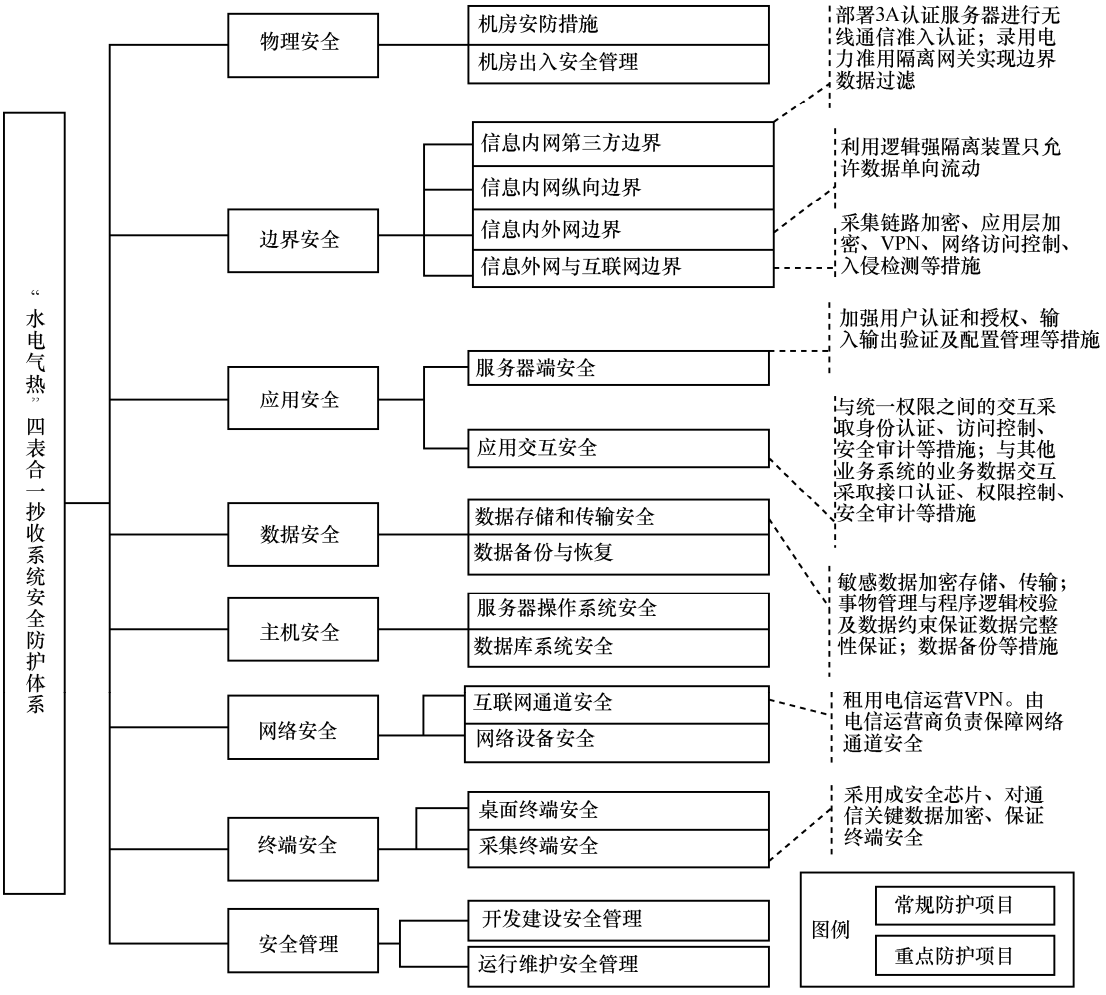


图 2 “水电气热”多表合一抄收系统安全防护框架

来自互联网的攻击；部署在内网的管理账号被攻击、破解，或利用系统缺陷进行攻击，获取操作权限。

数据层面风险包括：数据泄露并被攻击者利用，发生非授权访问。

终端层面风险包括：采集终端数据信息被非法获取和篡改；计算机办公终端感染病毒等恶意代码，不能正常运行。

主机层面风险包括：攻击者利用内网主机操作系统和数据库系统漏洞进行攻击。

物理层面风险包括：机房遭受地震、火灾、水灾等物理破坏；电力供应不正常等。

依据国家和公司信息安全管理要求，结合系统面临的风险分析，确定系统的主要防护目标包括：

1）确保系统满足国家信息安全等级保护和公司管理信息系统安全防护的基本要求。

2）加强对“水电气热”多表合一抄收系统的用户身份信息、系统配置信息、业务应用数据（客户档案类、交易类）等敏感信息的保护，保证其完整性和保密性。

3）加强应用层面和数据层面的用户账号、鉴别信息和操作权限的安全管理，防止非授权访问、敏感信息泄露等风险，保证系统应用和数据安全。

4）对于水气热抄表数据的安全防护，采集终端和采集主站由用电信息采集系统水气热表采集模块负责，抄表数据与水气热公司的交互安全由“水电气热”多表合一抄收系统负责。如采集终端和采集主站发生安全问题，“水电气热”多表合一抄收系统将切断与用电信息采集系统水气热表采集模块的全部网络连接，待用电信息采集系统水气热表采集模块安全问题解决后恢复网络连接，对于网络切断期间未接入的抄表数据进行手工恢复接入[13]。

3.2 总体防护架构

“水电气热”多表合一抄收系统部署在国家电网公司的信息内网，与水、气、热公司业务系统通过互联网 VPN 通道进行数据交互。

系统总体安全防护完全遵循公司信息安全防护总体框架体系，遵循国家信息系统安全等级保护要求和 Q/GDW 1594—2014《国家电网公司管理信息系统安全防护技术要求》，从物理、边界、应用、数据、主机、网络、终端、安全管理八个方面进行常规安全防护设计，并重点加强对客户档案、抄表数据、收费记录存储的安全保护；水表、燃气表、热力表相互物理隔离，且分别与电表相互物理隔离。在数据采集过程中水、电、气、热数据分别独立传输。通过用电信息采集系统现有通道进行水表、燃气表、热力表采集的设备需遵循国家电网公司相关安全要求，同时还应遵循国家信息系统安全等级保护要求和水、气、热公司自身安全防护技术要求。原则上要求水表、燃气表、热力表安全防护强度应不低于当前电表的安全防护强度，对于不符合本方案要求的一律不准接入公司网络。“水电气热”多表合一抄收系统整体布防结构如图 2 所示。

3.3 边界安全

“水电气热”多表合一抄收系统部署于信息内网，涉及的边界包括：信息内网第三方边界、信息内网纵向边界、信息内网横向边界、信息内外网边界、互联网边界。

对于信息内网第三方边界，研制了满足短时间内大并发量采集数据的接入需求的专用加密隔离网关，该设备的安全方案已通过国家信息技术安全研究中心测评。对信息内外网边界、信息内网纵向边界，利用公司总部和各单位现有的逻辑强隔离、硬件防火墙、IDS/IPS 等边界安全防护设备，配置访问控制、入侵检测、日志记录和审计等安全策略，实现边界隔离和安全防护[14]；对互联网边界，在各单位现有边界防护措施基础上采用 VPN 通道接入数据时，通道自身的安全防护由电信运营商负责保障。

3.4 应用安全

“水电气热”多表合一抄收系统为 B/S 模式应用，应用系统功能安全从以下十三个方面进行防护设计：身份鉴别、访问控制、安全审计、剩余信息保护、通信完整性、通信保密性、抗抵赖、输入输出验证、配置管理、会话管理、参数操作、异常管理、资源控制。其中用户的身份鉴别和授权基于公司统一权限平台实现，访问控制、安全审计、剩余信息保护、通信完整性、通信保密性、抗抵赖、输入输出验证、配置管理、会话管理、参数操作、异常管理、资源控制、应用接口安全等安全功能通过系统软件开发实现。

多表合一系统与统一权限平台、用电信息采集系统、营销业务应用系统、一体化缴费平台、95598 互动网站、掌上电力、财务管控系统等国家电能内部系统间存在数据交互。这些业务系统为三级域系统，因此属于同安全域系统接口交互方式，接口安全防护措施如下：

1）在 webservice 接口数据连接建立之前进行认

证，认证方式采用用户名/口令方式,通过 Url 参数传递用户名/口令；

2）口令长度、复杂度、生存周期等进行强制要求，符合以下安全策略；

3）口令最小长度为 8 个字符；

4)口令要求为字母、数字或特殊字符的混合组合；

5）禁止口令与用户名一样；

6）配置口令定期更换周期为 180 天；

7)在认证过程中经过网络传输的口令信息禁止明文传送，通过哈希（HASH）单向运算、SSL 加密、SSH 加密等方式实现；

8）通过记录接口调用日志实现系统在发生 webservices 请求的情况下为数据原发者或接收者提供数据原发或接收证据的功能。

3.5 数据安全

“水电气热”多表合一抄收系统的敏感数据在传输及存储的过程中，面临篡改及泄露风险，系统涉及的敏感数据包括：用户账号口令数据、系统配置管理数据、业务数据、重要业务数据、水气热表采集相关业务数据。数据交互过程中需要通过传输加密、接口认证、权限控制等过程，通过优化安全加密算法，实现数据传输安全、准确[2]。

3.6 主机安全

“水电气热”多表合一抄收系统运行所需服务器操作系统（Linux）、数据库系统（关系型数据库）部署在各省（市）公司的信通机房，由各省（市）信通公司负责安全管理，应满足等级保护三级的防护要求。

3.7 网络安全

网络设备安全:“水电气热”多表合一抄收系统部署在各省（市）公司的信通机房，主要利用现有网络设备（包括安全设备），由各省（市）信通公司负责网络设备（包括核心交换设备、接入交换设备、边界防火墙等）的安全管理，满足等级保护三级防护要求。

网络通道安全:“水电气热”多表合一抄收系统涉及的网络通道主要是公司信息内网纵向通道、公司信息内网和信息外网通道、公司信息外网与水气热方网络 VPN 通道。公司信息内网由国网信通公司和各省（市）单位信通公司负责安全运维和管理，当采用 VPN 通道传输数据时，通道自身的安全防护由电信运营商负责保障[15]。

3.8 终端安全

“水电气热”多表合一抄收系统终端设备包括：信息内网办公机、采集终端、通信接口转化器以及智能电能表双模通信模块。

办公终端安全:“水电气热”多表合一抄收系统用户及运维管理人员使用现有信息内网办公计算机访问系统。对用户使用终端由各单位按照公司信息内网办公计算机管理要求进行统一的安全防护和管理。

采集终端安全：为保证采集终端设备正常运行，避免出现安全问题，对采集终端设备采取以下安全防护措施，其中水表、燃气表、热力表由于属于各水气热公司的自有资产，这些计量设备除了要具有防窃、防破坏、使用安全等自身防护措施外，对于需要接入国网信息内网的水气热表还应采用安全模块确保系统内通信数据接口的安全，要求水气热表中加装的安全模块至少要支持 SM1、SM2、SM3 加密算法[16]。水表、气表、热表中的微功率模块按设定周期自动唤醒并采集仪表中的数据，采集数据通过通信接口转化器或智能电表双模通信模块传输到采集主站时通过利用内嵌支持国密 SM1、SM2、SM3 算法的安全模块进行数据加密保护，实现数据安全保障；对于无法加装安全模块的水表、气表、热表原则上要求暂时不能接入国网信息内网，需要水气热公司计量设备厂商配合，共同研发指定安全认证体系和采集数据格式来保证水表、气表、热表接入到国网信息内网的数据安全认证研发后的安全认证方式通过国家安全机构测评后方可允许接入。

对于需要接入国网信息内网的水表、气表、热表，需要加装微功率无线通信模块，以满足国家电网公司企标“电力用户用电信息采集系统通信协议”相关要求，已支持国家电网公司管辖范围内用电信息采集系统的互联互通。为保证用电信息采集系统的通信质量，一是电能表中微功率无线模块应对通信通道进行频率规划，避免冲突和干扰；二是电能表与集中器之间通过一定数量的专用信道进行通信。一旦水、气、热表中的微功率无线模块出现故障，应将具体故障信息主动上报。故障问题包含但不限于：模块硬件故障、表计计量故障、通信故障、异常问题告警等。国网营销部负责对待接入的水气热表进行接入审核，对不符合以上接入要求的水气热表一律不准接入公司网络。

3.9 物理安全

根据定级情况，“水电气热”多表合一抄收系统部署在省（市）信息内网现有信息机房的三级系统区域，由省（市）信通公司负责按照公司机房管理要求执行

安全防护和管理。系统主要是基于机房的安全管理来实现系统的物理安全。通过机房监控和报警管理保证网络系统的物理环境安全。机房设备应配备固定的运维人员进行维护，非固定及未经授权人员不得进入。系统运维前应采用物理访问控制来识别运维人员身份，明确目的并详细记录姓名、性别、单位、电话、证件号码、接待单位、进出时间及临时识别牌号码、携带物品等。运维人员有责任对网络、主机、系统软件、应用软件等的密码、核心参数、业务数据负有保密责任，不得随意复制传播。在进行日常运维工作时，未经上级或相关部门批准，无关人员不得进入机房，如已得到许可的，需由相关人员陪同。

3.10 安全管理

对于通过 VPN 接入信息网的水、气、热公司的要求：VPN 账号使用者必须修改口令，口令长度不得少于六位，不得为字母或数字的单列组合，必须定期更改口令。应妥善保存 VPN 账号、密码、USB-KEY、硬件网关设备，在赋予的权限内进行操作，并对此账号所进行的一切操作负有全部责任。严禁将 VPN 账号转借他人使用。国网信息通信产业集团有限公司有权对 VPN 用户行为进行监督检查，并进行必要处理。当 VPN 用户的行为可能危害系统安全时，国网信通有权先中断、终止 VPN 用户的使用，再通知相关人员。

4 结束语

多表合一抄收系统提高了能源公司的工作效率，节约了社会成本，提升了服务质量，从而带来经济、管理和社会等方面的效益。系统正常运行需要依靠不同公司不同系统之间大量的数据交互，涉及到多种通信方式，而交互的数据主要为客户档案类、交易类、记录类的重要敏感数据，因此设计合理有效的信息安全防护方案十分必要。本文系统地介绍了多表合一系统总体安全防护架构以及包括边界、应用、数据、主机、网络、终端、物理等各个层面的安全防护措施，最大限度地保障了多表合一抄收系统相关数据的安全以及系统的稳定可靠运行。

参考文献：

[1] 刘奕, 黄高勇, 陈欣欣, 等. 基于用电信息采集的“多表合一”技术探讨[J]. 通信电源技术, 2019, 36(11): 165-166.

[2] 刘畅, 刘胜利, 王雪岩.新天科技“四表合一”助推智慧城市发展[J]. 建设科技, 2017(16): 31-32.

[3] 何欢, 张芹,冉艳春, 等. 多表合一建设中的用电信息采集系统应用[J]. 自动化与仪器仪表, 2019(2): 142-145.

[4] 郑宝毅, 薛坤, 王福斌. “多表合一”中接口转换器的设计与应用[J]. 信息技术与信息化, 2017(12): 38-40.

[5] 尹峰, 陈波, 苏烨, 等. 智慧电厂与智能发电典型研究方向及关键技术综述[J]. 浙江电力, 2017, 36(10): 1-6, 26.

[6] 肖建红, 吴志勇. 多表合一采集系统的架构设计[J]. 大众用电, 2017, 32(9): 41-43.

[7] 王宇坤, 康有淞, 朱新坡, 等. 水电气热多表合一抄收系统研究与设计[J]. 自动化应用, 2018(11): 84-86.

[8] 王晓辉, 刘鹏, 季知祥, 等. 能源互联网共享运营平台关键技术及应用[J]. 电力信息与通信技术, 2020, 18(1): 46-53.

[9] 胡江溢, 祝恩国, 杜新纲, 等. 用电信息采集系统应用现状及发展趋势[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(2): 131-135.

[10] 张银建, 田亚南. 基于 NB-IoT 以及 ADE9078 的智能数字远传三相电表设计[J]. 自动化仪表, 2019, 40(7): 47-49, 53.

[11] 祝恩国, 窦健. 用电信息采集系统双向互动功能设计及关键技术[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(17): 62-67.

[12] 罗玄,补黔江, 曾庆波, 等. 用电采集系统微功率无线通信信道建模研究综述[J]. 电子设计工程, 2018, 26(23): 130-133, 138.

[13] 杜艳, 王者龙, 李琮琮, 等. 用于多表合一的通信接口转换器的研究与设计[J]. 电气应用, 2018, 37(4): 53-58.

[14] 孙逢麟, 孙艳玲, 刘源, 等. 浅谈“多表合一”在智慧城市中的推广应用[J]. 电测与仪表, 2018, 55(S1): 68-70, 89. SUN F L, SUN Y L, LIU Y, et al. Discussion on multiple metering system in the city of wisdom application[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2018, 55(S1): 68-70, 89.

[15] 马晓琴, 张倩, 马占海, 等. “多表合一”数据采集在用电信息采集系统中的实现[J]. 青海电力, 2017, 36(4): 59-62.

[16] 李耀祖, 潘建华, 李博皓, 等. 基于 NB-IoT 技术的“三表合一”集抄及扩展应用研究[J]. 建设科技, 2017(16): 22-23.

物联网智能融合签章工作台的设计与实现

杨德胜

（安徽继远软件有限公司，安徽 合肥 230088）

摘　要：目前电网企业盖章采用人工验证信息、人工纸质文件登记，存在印章被盗用、偷盖违规使用及伪造等多重风险。对现有印章功能进行整合和更集中设计，开展红外激光精准盖章、OCR 文件智能对比、数字水印等关键技术研究与验证，设计开发了一种适用于电网企业全场景的面向多传感器融合的物联网智能签章工作台装置和系统，并在某省公司示范应用，克服了人工验证信息和盖章的缺点，减轻印章管理人员劳动强度，降低印章管理成本，提高工作效率。

关键词：红外激光精准盖章；OCR 文件智能比对；数字水印；智能存档；多传感器融合；物联网智能签章工作台

1　引言

印章是企业风险防控体系中的一个重要环节，与企业的生产经营活动息息相关，行政办公、战略决策、市场经营、合同管理、项目管理、人力资源、财务税务、投资融资等一系列生产经营活动都离不开印章的使用。电网企业在公司正式发文、对外报送非正式文件、授权内工作事项、办理担保/贷款/银行账户管理、例行报表、出国手续、表彰先进的奖状/证书、合同签订、日常资金支付、同名账户转款/对账/电子证书管理等日常生产经营活动中需要大量用章，当前电网企业通过专人管理印章，主要靠纸质文件登记，印章保管人员耗时耗力，劳动强度大，盖章效率低，管理成本高，存在印章被盗用、偷盖违规使用及伪造等多重风险。

针对盖章控制和用章风险管控，已经有相关学者进行了研究和设计。文献[1]围绕自动送纸、盖章与蘸印泥动作一体化、盖章压力自适应调整和盖章位置可调开展自动盖章机结构设计，提出了基于 PLC 的盖章机自动化控制方案。文献[2]针对现代化企业大量单据盖章自动化的要求，设计了一种 PLC 控制、电磁气缸驱动的小型自动盖章机，可代替人工盖章，减轻工人劳动强度，提高工作效率。文献[3]设计了一种机场登机牌盖章控制系统，系统集登机牌信息采集，身份证信息采集和登机牌盖章模块为一体，克服了人工验证信息和盖章的缺点。文献[4]采用自动化设计，配合触摸屏使用，设计了一种新型全自动盖章扫描一体机，将印章装入胀紧套，实现对印章的管理和自动化盖章。同时，思格特、群杰、章管家、爱国小男孩、智鉴等社会化企业相应推出了智能印章、便捷式印章工作台、智能印章柜等系列品牌产品，解决了实体印章使用安全与效率，但产品工作桌面面积较小，通过“App+智能印章+便捷式工作台”组合应用不适用电网企业大批量多文件固定用印场景。本文依据文献[5]提出的一种适用于电网企业的专人用印、自助用印、异地用印、外带用印和印章真伪鉴别五大用印场景，针对电网企业印章集中管控和分散管控的需要，并对市场上智能印章、智能印章柜、便捷式工作台等功能进行整合和更集中地设计，综合物联网、互联网技术，融合 AI 技术，设计了一种适用于电网企业用印全场景的面向多传感器融合的物联网智能签章工作台装置和系统，集在线审批、身份认证、全程监控、红外电子围栏、智能归档、智能预警、OCR 文件智能比对、红外辅助精准盖章等多功能于一体，对实体印章实施“智能安全锁、用章全程记录、用章实时监控”三重智能安全保护，实现用印前可预防、用印中可控制、用印后可追溯。通过物联网智能融合签章工作台装置和系统克服了人工验证信息和盖章的缺点，可代替人工盖章，减轻印章管理人员劳动

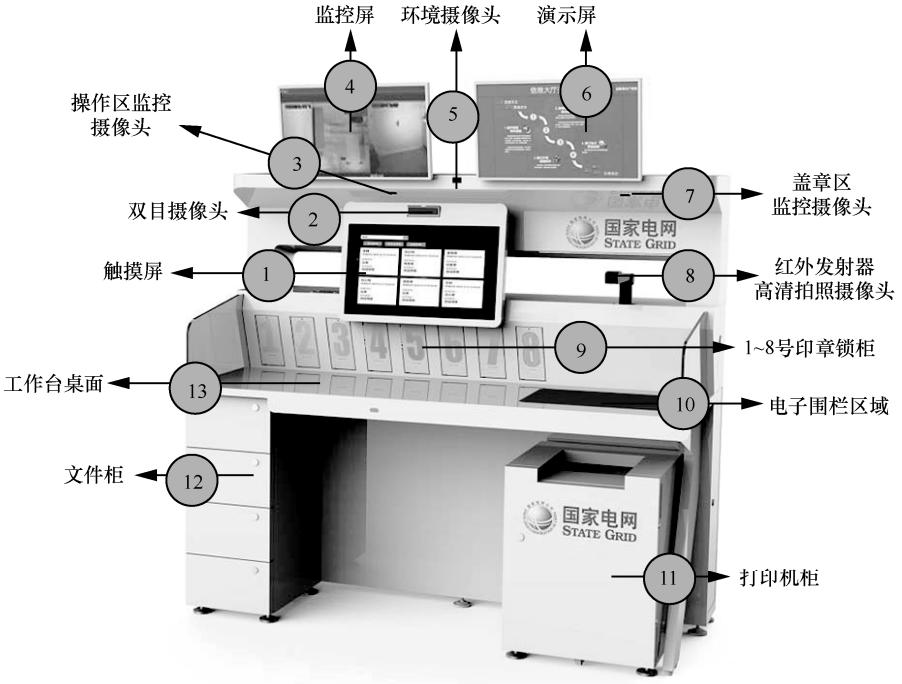


图 1　物联网智能融合签章工作台结构

强度，降低印章管理成本，提高工作效率，实现印章安全可控、高效便捷。

2　物联网智能融合签章工作台结构与工作原理

2.1　物联网智能融合签章工作台结构设计

物联网智能融合签章工作台装置采用立体化设计，融合环境监控摄像机、双目人脸识别摄像机、区域监控摄像机、高清拍照摄像机、红外发射器、身份证阅读器等传感器，集人脸信息采集、身份证信息采集、盖章文件信息采集、盖章过程信息、红外电子围栏控制、印章锁柜、文件打印、文件柜、LED 显示以及触摸控制模块为一体。总体框架大小为 1600mm（长）×740mm（宽）×1754mm（高），主要划分为操作区、监控区和演示区，其中，操作区分为工作台桌面、操作屏和印章锁柜，其结构如图 1 所示。

2.2　物联网智能融合签章工作台工作原理

综合运用物联网、人工智能、智能传感等 AIoT 技术，构建集章申请、章保管、章使用、章归还等一体的物联网智能融合签章工作台装置和系统，实现用章管理环节涉及到的人、章、用印终端、电脑、手机、文件的人—人，人—物，物—物的智能连接。将实体印章固定放置在封闭的物联网签章工作台内，与“物联网智能签章工作台+物联网智慧印章管控平台+App”相结合，通过电脑应用软件授权用印指令，驱动设备内部实物印章，实现盖章，并对盖章文件、用印人、用印地点、用印场景等信息实时拍照传输，实时存档分析等，有效消除实体印章容易被盗用、乱用的安全隐患，在保障用章安全的同时降低用章管理成本，提升管理效率。

3　物联网智能融合签章工作台系统功能设计

3.1　功能设计

本系统主要分为物联网智能融合签章工作台及物联网智慧印章管控平台两部分。其中，物联网智能融合签章工作台是以安卓主板工控机为主控，搭载数字摄像机、红外、安卓触摸屏、液晶显示屏、红外蓝牙印章、高拍仪、蓝牙通信模块、身份证阅读器、电子锁、扬声器、人体感应、LED 灯带、信号指示单元、激光打印机等硬件，用于实现系统相应的功能。具体功能和实现方案如下。

（1）身份认证

用印前需通过双目人脸识别摄像机或身份证阅读器识别模块对用印人进行身份认证，实现用印人

员身份核验，只有通过流程审批和实名认证方可用印，并从物联网智能融合签章工作台“印章锁柜”取出所需印章。

（2）盖章控制

主要包括工作台触屏盖章、按键盖章和特权盖章三种形式。其中，工作台触屏盖章是通过点击签章工作台屏幕触发自动盖章，或通过移动应用控制自动盖章。按键盖章是通过点击智能章套按键进行盖章。特权盖章是指涉密文件盖章由管理员特权盖章、监控视频关闭。

（3）视频监控

通过数字监控摄像机模块对整个用印过程进行记录，监控印章保管和使用状态，实现每次盖印、自动拍照或抓拍、自动记录用印人、时间、地点、内容快照并上传物联网智慧印章管控平台。实现印章盖章过程中的视频录制、上传，并支持视频远程实时查看以及视频片段搜索快速定位回放，便于日后追溯。

（4）蓝牙记录盖章次数

集成蓝牙，系统通过蓝牙指令控制电机按压，通过按压次数实时记录盖章次数，并在监控屏中实时显示盖章次数，当申请用印次数用完后，自动锁住印章，不允许用印；当实际用印次数低于申请用印次数后进行预警提示，并上传系统。

（5）电子围栏监控

在物联网智能签章工作台桌面划分电子围栏盖章区域，通过红外电子围栏监控技术，限定印章使用范围，脱离区域无法用印，并向印章管理人员进行预警提示。

（6）盖章文件抓拍

通过集成高拍仪，实现盖章瞬间抓拍盖章文件图片，系统自动记录盖章文件图片。

（7）锁柜联动

通过锁控制板，实现合上印章锁柜柜门，系统主动反馈柜门状态。

（8）信号指示单元

通过身份认证后，解锁电子锁打开申请印章所对应的印章锁柜，通过信号提示方式，并配置 LED 灯光。

（9）红外辅助精准盖章

通过红外激光点标记定位，锁定盖章区域，辅助精准盖章，满足电网企业对外文件盖章规范性要求。

（10）盖章助手

在工作台液晶显示屏通过视频动画演示签章工作台使用方法，提示用印人盖章步骤，便于用印人操作使用。

（11）案例演示

在工作台液晶显示屏通过短视频、动画的方式，演示不同场景下盖章位置要求，供大家遵照执行，比如发文盖章位置。

（12）智能预警

对实际用印次数低于用印申请次数，实现用印不规范申请消息主动推送；对非法盖章、超期未使用、模糊页、空白页预警，实现消息预警主动推送，并现场通过扬声器语音提示。

（13）智能归档

实现印章使用台账记录以及存储用印视频、照片，保证与用印事项一一对应，并通过 OCR 文件智能比对辅助人工定期校对无误后上传归档。具体硬件框架如图 2 所示。

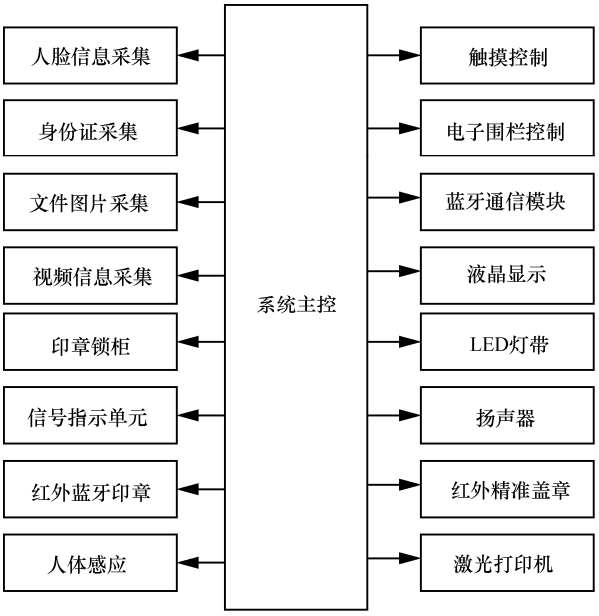


图 2　物联网智能融合签章工作台硬件框架

（14）统计分析

系统会自动生成印章台账报表，可以按文件类型、组织机构、印章类型、用印人员、用印时间、复核状态等进行报表的追踪查询。可按照使用时间分布、印章类型分布、地点分布、文件类型分布、使用部分分布、申请及使用频次分析等多个维度进行图形化统计分析。可对数据进行不断钻取，实现了从点到面的整体掌控。

3.2　控制系统设计

物联网智能融合签章工作台以实时记录盖章次

数、限定盖章区域范围以及空白页、模糊页盖章违规用印预警等安全印章风险管控为控制目标，系统通过搭载身份认证、蓝牙记录盖章次数、电子围栏监控、锁柜联动、盖章文件抓拍等核心模块。系统初始化用印列表和用印申请次数完毕后，可通过人脸识别、身份证识别或用章码方式实现身份认证，系统自动打开物联网智能签章工作台印章锁柜、取出印章，连接印章。在盖章前扫描盖章文件水印，通过验证后方可用印，此功能作为选配功能，可根据实际用印文件是否给添加水印防伪要求进行选配。系统通过电子围栏监控模块自动识别印章是否在限定盖章区域范围内，识别通过后通过蓝牙记录盖章次数模块给智能章套发生指令，实现自动盖章，并盖章次数，剩余盖章次数减少 1 次，如果脱离限定盖章区域，系统通过扬声器现场预警提示；如果剩余用印次数等于 0，系统自动锁定印章，阻止盖章；同时通过盖章文件抓拍模块，系统在盖章瞬间抓拍盖章文件图片。用印结束后，将章放回物联网智能签章工作台印章锁柜，并合上柜门，完成本次盖章。具体主控流程设计如图 3 所示。

3.3 应用场景流程设计

3.3.1 固定用印场景流程设计

通过物联网智慧印章管控平台与协同办公系统深度集成，用印人在 OA 系统中发起印章申请，通过审核后将用印信息推送给物联网智慧印章管控平台，推送内容主要包括申请记录 ID、申请人员、盖章人员、申请事由、申请部门、申请用章类型、申请时间、申请用印次数、盖章附件以及生成用章码等。物联网智慧印章管控平台对推送文件类型进行判断是否添加防水印码。用印前进行身份认证，通过身份认证开启“印章锁柜”，取出印章； 用印中实时监控，开机启动智能印章，连接印章，自动盖章，并实时记录用印人、用印时间、用印次数、用印原因、印章类型、用印地点、用印抓拍、用印视频等用印信息全过程记录；用印后管理者可随时调阅、存档、追溯，用印结束后将智能印章放回对应锁柜，关上柜门，用印过程结束，并将用印状态和盖章结果推送给协同办公系统。具体流程如图 4 所示。

3.3.2 印章外带用印场景流程设计

通过物联网智慧印章管控平台与协同办公系统深度集成，用印人在 OA 系统中发起印章申请，通过审核后将用印信息推送给物联网智慧印章管控平台，推送内容主要包括申请记录 ID、申请人员、盖章人员、申请事由、申请部门、申请用章类型、申请时间、申请用印次数、盖章附件以及生成用章码等。用印前进行账号权限身份认证，通过身份认证显示本账号所有待用印列表； 用印中实时监控，开机启动智能印章，连接印章，自动盖章并实时记录用印人、用印时间、用印次数、用印原因、印章类型、用印地点、用印抓拍等用印信息全过程记录并归档；用印后管理者可随时调阅、存档、追溯，用印过程结束，并将用印状态和盖章结果推送给 OA 系统。具体流程如图 5 所示。

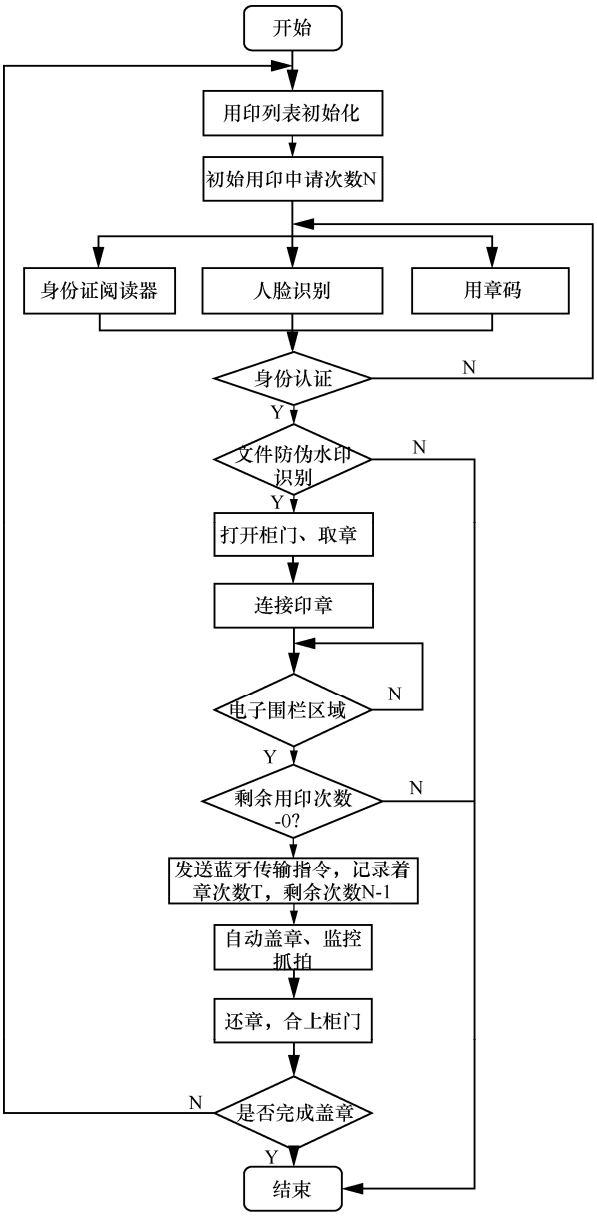


图 3 主控流程设计

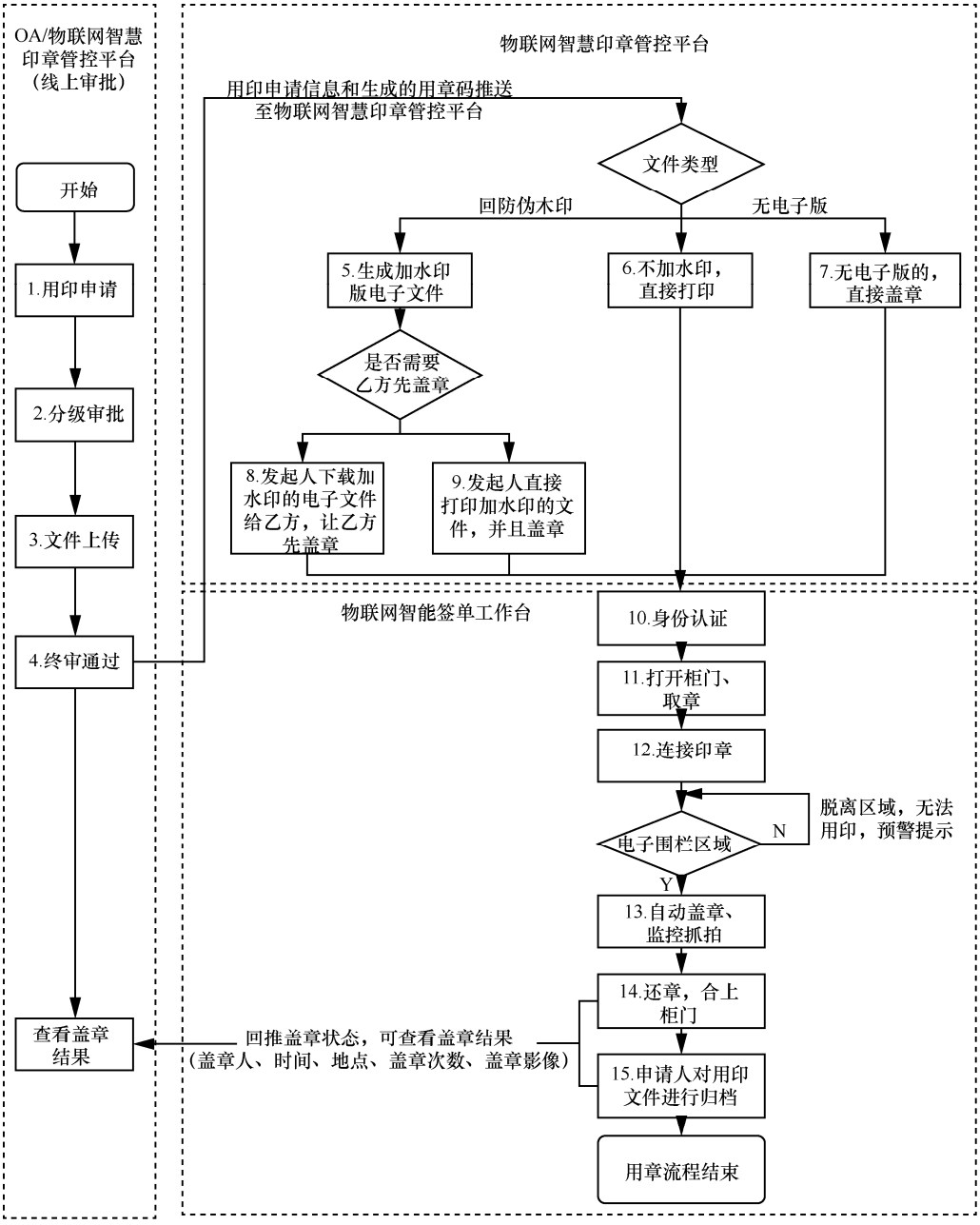


图 4　固定用印场景流程设计

3.4　部署架构

物联网智慧印章管控平台采用二级部署方式，分电力信息内网与电力信息外网两部分。其中电力信息内网部署物联网智慧印章管控平台相关内网应用服务器与数据库，提供电力信息内网的访问路径，实现与协同办公系统的数据集成。通过信息内网的部署提供智能签章工作台印章管理、用章监控、作业统计等功能。电力信息外网通过 i 国网移动开发平台提供移动端的用章管控，通过蓝牙与智能章套的集成实现部门移动用章需求，移动端数据通过安全隔离装置实现与内网数据的互联互通。具体部署架构如图 6 所示。

4　关键技术

4.1　技术路线

以“物联网+实体印章”为基础，通过 AIoT 技术

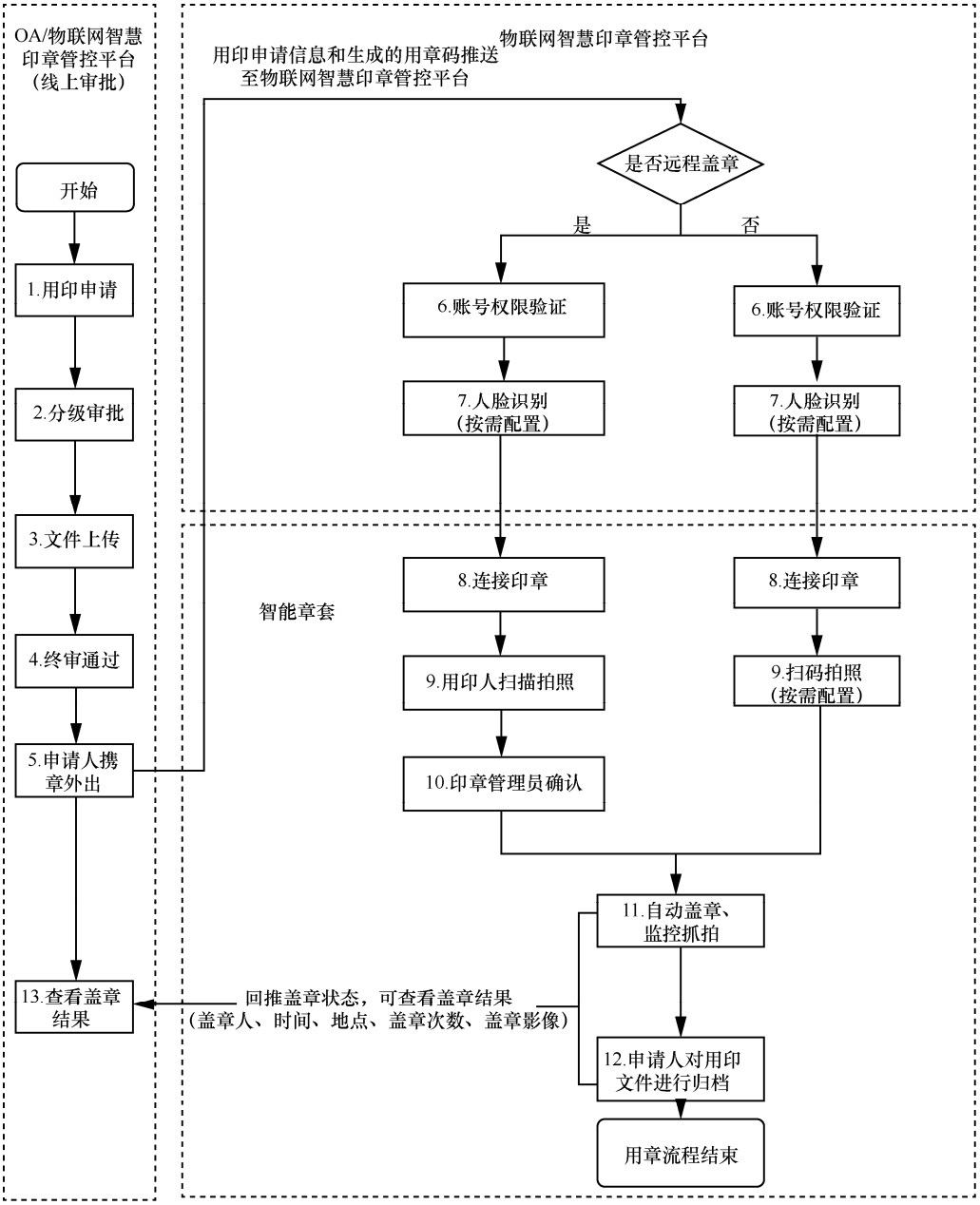


图 5　印章外带用印场景流程设计

给传统实体印章加上智能安全锁，结合电网企业实体印章管理与应用要求，开展人章分离、一盖一码、红外电子围栏、红外激光精准盖章、OCR 文件智能比对、数字水印、智能存档等关键技术攻关，研制一套面向多传感器融合的物联网智能签章工作台终端和系统，集在线审批、身份认证、全程监控、红外电子围栏、智能归档、智能预警、OCR 文件智能比对、红外辅助精准盖章等多功能于一体，实现物联网智能融合签章工作台“PC 端+APP 端+智能硬件”三重防护，将实体印章智能化一体管理，让用印更安全，更有效率。

4.2　实现思路

人章分离、一盖一码、红外电子围栏等关键技术已在文献[5]阐述，本文重点阐述红外激光精准盖章、OCR 文件智能比对、数字水印、智能存档等关键技术实现路径。

（1）红外激光精准盖章技术

采用红外激光点定位技术，对现有智能章套正面章体采用透明材质进行升级改造，在智能章套正面章

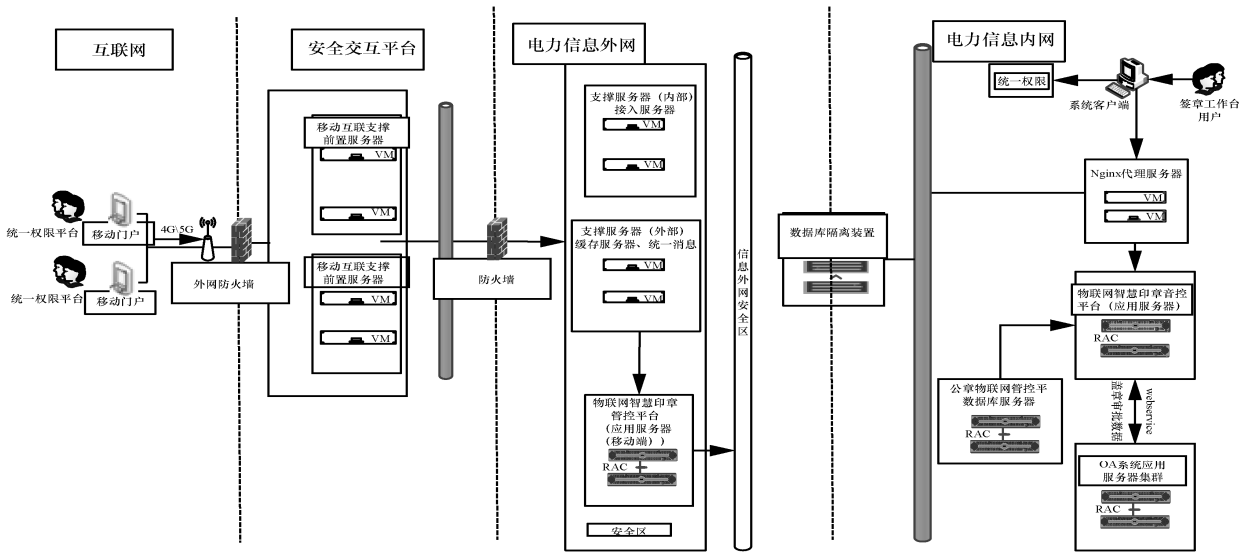


图 6　部署架构

体左上角、右上角集成一组线性红外激光模组，通过两个线性激光束在印章底座上相互垂直，形成一个十字交叉的光线[6-8]，交点作为盖章指定区域。在盖章前，将智能章套红外重合点位置移动待盖文件指定盖章位置并锁定盖章位置，并启动自动盖章，实现精准盖章以及文件盖章规范性要求。具体如图 7 所示。

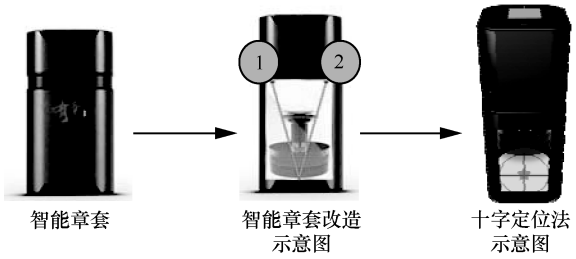


图 7　红外激光十字法示意图

（2）文件智能比对技术

物联网智慧印章管控平台搭载 OCR 技术自动对申请文件与盖章后文件进行智能比对[9-11]，实现文件差异比对+关键词风险预警，对归档文件差异精准比对标注，实现盖章页即时校验，自动识别归档是否有新增、删除、修改，并推送至管理人员，管理人员仅需查看对比结果，大大提高复核效率。具体如图 8 所示。

（3）数字水印技术

本文利用水波纹、二维码、文字水印等显性数字水印文件防篡改技术[12-15]，支持 PDF 和 WORD 格式的文件，用印申请时上传 pdf 或 word，在领导审批完成后，系统会自动添加防伪水印。

- 增加防伪水印后，可实现盖章前可视化验证待

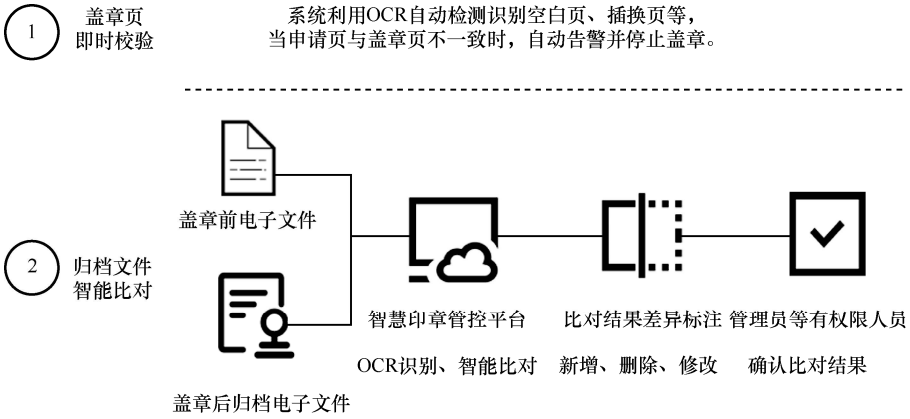


图 8　红外激光十字法示意图

盖章文件，极大的提高核对效率，防止文件篡改和偷换，保证用印业务真实性与唯一性

- 防伪水印分为水波纹、二维码及文字三种，实际使用时可以选择其中一种或多种进行组合，并可根据用户的要求定制二维码内容及文字内容；
- 防伪水印功能要兼容用户现有的使用场景，如有的文件不需要加水印，则可不用防伪水印功能，直接下载原文件即可。

（4）智能存档技术

每次盖章瞬间系统通过高拍仪高清抓拍盖章文件图片，同时对整个用章过程全程录像监控，盖章结束后，系统自动按照协同办公系统推送过来的用印信息、盖章文件照片和用章视频三个方面进行用章记录一一对应，并可按照部门、时间和用印人生成用章档案，以便管理者可随时检索、调阅、追溯。其中，用印记录和盖章文件存储在服务器，用章视频存储在在硬盘录像机，并同时上传至服务器。将物联网智能融合签章工作台身份认证通过验证时的时间作为用章视频录制的开始时间，将盖章结束时时间作为用章视频录制的结束时间。

4.3 优势分析

本文综合运用物联网技术给传统实体印章加上“智能安全锁、用章全程记录、用章实时监控”三重智能安全保护，实现用印前可预防、用印中可控制对、用印后可追溯，用印中让每一次用章都可监管可追溯。通过红外激光精准盖章技术，实现红外辅助精准盖章。通过利用 OCR 智能文件比对技术对盖章前、后的照片进行文字识别与鉴别，帮助用户对盖章页中的文字内容进行甄别，降低用印风险；盖章后对用印文件进行智能化解构，并识别风险关键词，识别后自动预警提醒。通过网纹水印、二维码水印、文字水印等显性数字水印技术，用印前可视化验证待盖章文件，提高核对效率，防止文件篡改和偷换，保证用印业务真实性与唯一性。

5 应用案例

通过与国网协同办公系统深度集成，打通物联网智慧印章管控平台和协同办公系统，将实体印章与“物联网智能签章工作台+公章物联网管控平台”相结合智融入到国网协同办公系统“印信管理”模块、“发文管理”模块和印章安全监管工作中，实现了印章人章隔离、管控及时、用印留痕、安全用章；实现了用印使用可控化、盖章文件数字化、印章管理规范化，可有效降低印章使用风险，提高效率，降低成本。自 2020 年 6 月在某网省电力公司试运行以来，已累计节省人员差旅 240 多次，节省企业管理成本 90 万，积累盖章图像档案 1 万份以上，助力企业办公数字化转型，进一步提升企业品牌。

6 结束语

结合电网用印安全管控需求，本文对现有印章功能进行整合和更集中地设计，综合 AIoT 技术，设计了一种适用于电网企业用印全场景的面向多传感器融合的物联网智能签章工作台装置和系统，实现用印前可预防、用印中可控制对、用印后可追溯，克服了人工验证信息和盖章的缺点，减轻印章管理人员劳动强度，降低印章管理成本，提高工作效率。针对显性数字水印不具备普适性，下一步将开展基于隐形数字水印、盖章影像自动裁剪优化和盖章记录全局检索关键技术研究以及防伪识别终端研制，实现用印前通过防伪识别终端设备自动识别文件水印真伪和用印后留痕留底，提升企业用印安全风险管控水平。

参考文献：

[1] 陈琼,吕原君,刘成尧.自动盖章机的结构设计与控制[J].机床与液压,2021,49(2):87-90.

[2] 薛梅,王皑.小型自动盖章机的设计[J].机电产品开发与创新,2016,29(2):26-27.

[3] 张烈平,王春杨,李卫星,黄磊.机场登机牌自动盖章控制系统的设计与实现[J].计算机测量与控制,2014,22(06):1809-1811,1814.

[4] 程宏佳.新型全自动盖章扫描一体机结构设计[J].机电信息,2021(6):43-44.

[5] 杨德胜. 基于 AIoT 的智慧印章管控系统探索与实践[J]. 电力信息与通信技术，2021，19(7)：98-103.

[6] 张吉璇,刘雪亚.十字激光图像的中心定位算法研究[J].信息与电脑(理论版),2019(16):48-49.

[7] 陈桂涛,尹义峰.激光双十字线预定位装置设计[J].医疗卫生装备,2017,38(08):17-20.

[8] HUANG D Z, ZHAO Q C, YANG T L. Four-wheel alignment based on computer vision[C]//Proceedings of Ninth International Symposium on Precision Engineering Measurement and Instrumentation. SPIE, 2015.

[9] 王阳,李振东,杨观赐.基于深度学习的 OCR 文字识别在银行业的应用研究[J].计算机应用研究,2020,37(S2):375-379.

[10] 夏昌新,莫浩泓,王成鑫,等.基于深度学习的图像文字识别技术研究与应用[J].软件导刊,2020,19(2):127-131.

[11] 张婷婷,马明栋,王得玉.OCR 文字识别技术的研究[J].计算机技术与发展,2020,30(4):85-88.

[12] 庞博,庞毅林.基于 PDF417 二维码数字水印技术的实现[J].网络安全技术与应用,2018(1):50-52.

[13] 庞博,庞毅林.基于 QR 码数字水印技术的研究与实现[J].网络安全技术与应用,2017(11):68-79.

[14] 吴桐树. 基于二维条码的数字水印技术研究[D]. 杭州: 浙江理工大学, 2015.

[15] 蒋翠玲, 黄帅, 吴安雯, 等. 基于 PDF417 二维条码的顽健数字水印方法[J]. 网络与信息安全学报, 2016, 2(9): 72-78.

新能源大数据汇总及分析的优势

王琪，马进
（中广核新能源辽宁分公司，辽宁 沈阳 110000）

摘　要：新能源革命时代到来，全世界能源面临着巨大的挑战，我国新能源产业发展突飞猛进。随着越来越多的新能源场站陆续投产，新能源场站设备监控、数据汇总、数据分析将是一个重大的挑战。为维护新能源场站的安全性、可靠性，创建集控中心进而达到各个场站可以集中控制运行。本文简要说明了新能源集控中心的建设目的，建设模式，重点对集控中心数据分析部分进行了详细阐述。

关键词：集控中心建立；集控的运行；新能源数据监控；大数据分析

1　引言

我国现阶段光伏、风力发电等新能源产业正处于综合发展阶段，越来越多的发电企业积极投入到新能源行业中。2020 年 9 月 22 日，国家主席习近平在第七十五届联合国大会一般性辩论上表示，中国将提高国家自主贡献力度，采取更加有力的政策和措施，二氧化碳的碳排放力争在 2030 年前达到峰值，努力争取到 2060 年前实现“碳中和”。这对于新能源行业来说是一个很好的机遇，但是大规模新能源发电场站的投运，迫在眉睫的就是庞大的运维系统支撑，为了更加有效的提高场站标准化以及运行的水平，对员工的工作与生活环境进行合理的改善，为了公司更加良好的发展打下基础，很多单位在积极的致力于创建新能源集中的控制中心。可以实现操作管理、远程生产监控、集中控制操作、全面数据汇总与分析，进而大大提高了新能源场站的工作效率，同时也减少了人力成本。“大数据”时代下，集控中心的中枢作用更加明显，数据分析的深度进一步支撑了现场设备检修的精确度。

2　集控中心的建设

2.1　数据收集

首先我们要了解主站与子站的区别：

主站是由计算机网络连接的计算机监控系统主机及操作员站和各种功能站构成，为运行人员提供人机联系界面，实现对所辖新能源场站的运行监视、控制、管理、数据分析等，形成新能源区域公司监控中心，并可与调度通信中心通信。主站计算机监控系统应采用分层分布式系统结构，主网络采用冗余网络，热备用方式运行。

子站主要由站端数据采集系统构成，包括计算机网络连接的服务器、通信管理机以及安全传输设备构成，宜组屏安装。完成新能源场站内风机、逆变器、升压站、电计量、风功率预测、辅助单元等系统数据的采集、处理及信息交换。子站就是数据收集的第一环节，子站的数据采集系统可采用单网，主站与子站之间的物理连接宜采用星型。

2.2　数据传输

2.2.1　网络安全的防护

主站与子站之间的数据传输通道多数采用光纤专用通道，系统应具有与电力数据网连接的能力，按要求实现风电场信息的远程传送。在信息技术时代，电力系统信息网络的重要性逐渐凸显，大数据时代下，信息的快速传输带来了很大的便利性，但是也同时具有一定的风险，像外部网络攻击、非法恶意操作、黑客入侵等，都影响着整个电力系统的安全稳定运行。网络安全在数据传输中的重要性不可小觑，集控中心的接入便又增加了一个风险点，现阶段比较多的集控中心均采用如下网络加固形式如图 1 所示。

做到安全分区、网络专用、横向隔离、纵向认证。

2.2.2　硬件配置

系统的硬件设备宜由以下几部分组成：

1）主站设备：包括各种服务器、操作员站、工程师站、卫星对时设备、通信装置等；

网络设备：包括网络交换机、路由器、硬件防火墙、单向隔离装置、纵向认证加密设备、网络连接线、电缆、光纤等设备。

2）子站设备：包括服务器、通信装置等；

系统数据库服务器、操作员站宜采用双机冗余配置。

2.2.3 软件配置

系统软件由操作系统、支持软件和应用软件组成，软件的可靠性、兼容性、可扩充性及界面的友好性等性能指标均应满足系统本期及远景规划要求。系统应建立实时数据库，存储并不断更新来自子站的全部实时数据。系统应建立商用历史数据库及其管理系统，存储并定期更新需要保存的历史数据，存储时间不少于 3 年。应用软件应为模块化结构，以方便修改、维护和灵活配置。

软件特点如下：

1）高度可配置化的用户界面。可根据用户需求进行监控界面的定制，满足不同场合、不同层次的监控需求。

2）可实现多层级的监控功能，包括风场集群、风场、风机就地监控。实现跨时区风场监控。

3）支持连接变电站等应用场合。

4）大数据处理能力，保证多场站多测点情况下的监控需要。

5）可视化的通讯诊断工具，方便工程人员及时获取网络通讯状况、排查通讯问题。

6）自动报警级别升级，语音报警功能。支持按报警等级、类别的过滤。

7）智能化网络管理功能，系统可自动适应单或双网络，低速或高速网络。系统可自动探测网络流量分布以确保可靠稳定的网络操作。

8）系统配置可以采用双机冗余体系，充分确保系统工作的稳定性。

9）报表可定制化，使用户及时获取所关注信息。

10）广泛支持 OPC、DNP、MODBUS、IEC-104、IEC-101、ADS 等通讯规约类型。

11）实时曲线工具、历史数据存档功能。

12）完善的用户权限管理功能，对风场的告警查看、远程复位、启停机、运行参数等进行区分和权限管理。

13）纯 WEB 化操作界面，终端用户可通过浏览器进行访问。

2.2.4 系统接口

监控系统应具有与以下系统进行通信的能力，但

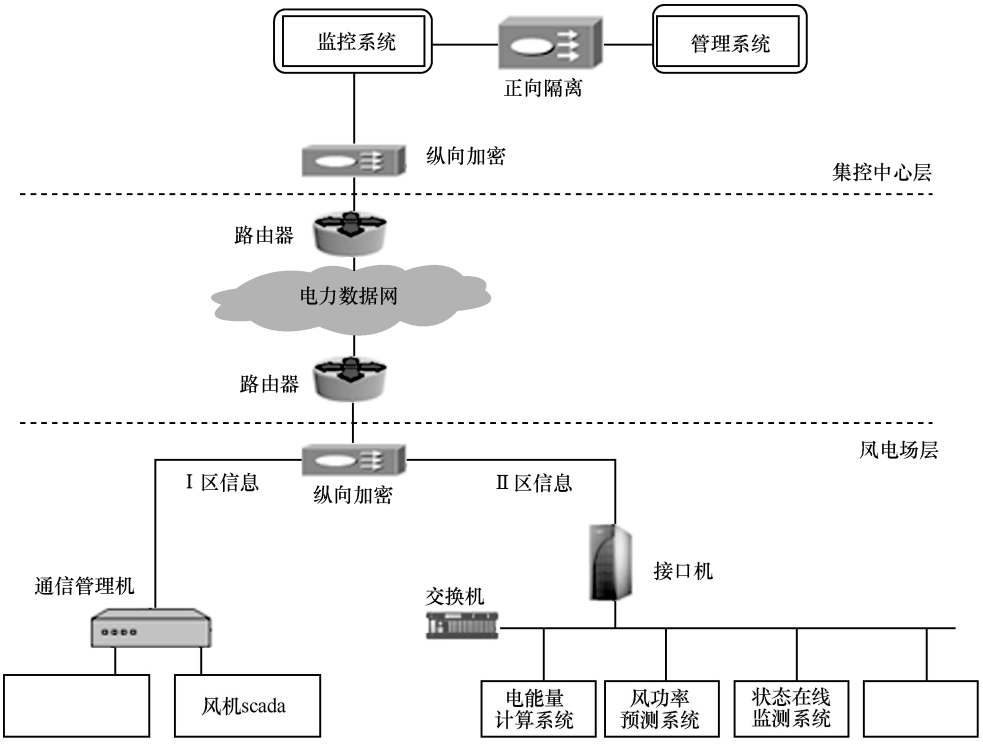


图 1 网络加固形式

不限于此。

1）与风电场风机组 SCADA 系统数据通信，并推荐使用 Modbus 或 OPC 协议；

2）与风电场升压站综合自动化系统数据通信，并推荐使用 DL/T 634.5104 规约或 DL/T634.5101 规约；

3）与电能计量系统的数据通信，并推荐使用 DL/T 719-2000 规约；

4）与风功率预测系统通信；

5）与测风塔系统通信；

6）与管理系统通信；

7）与当地电力调度系统的通信；

8）与上级公司的信息系统通信；

9）系统应预留足够的扩展接口，以便接入后期投运的风电场。

2.2.5 系统架构

系统架构如图 2 所示。

2.3 数据准确的保障

2.3.1 时钟对时的重要性

在电力系统中故障定位、故障录波、状态确定、远程遥控、故障报警等多项关键数据，必须要保证准确性和一致性。因此时钟同步的重要性十分明显，主站与子站的时钟对时异常将会严重影响集控中心数据质量。

2.3.2 子站时钟

新能源场站一般均独立配置时钟同步装置，由其内部配置的 GPS 接收模块和北斗接收模块，作为电力系统变电站内的标准时钟源。为保证数据稳定准确，均采用冗余配置，采用“双机双网”的互备系统，为变电站提供高可靠性和高精度的时间同步信号。可以到达与电网时间同步，保证故障录波、电能质量、同步向量、电能计量等数据准确可靠。

2.3.3 主站时钟

主站时钟的配置需满足与子站数据同步的要求，由于多种因素导致的数据不同步问题即可解决，同时可以保证主站与子站间的遥控、遥测、遥调、遥信数据准确良好。时钟对时的方式有三种：软对时（即由通讯报文来对时）、硬对时（分对时或秒对时）及编码对时（IRIG-B 对时），现阶段应用最为广泛的就是编码对时。

2.3.4 时钟同步后的优势

时钟同步的重要作用的关键在于，可以将子站数据或报警的异常情况实时传输到主站，并且保证与子站与主站时间一致。这样远程集控中心的中枢作用才能更好的体现出来，不然时间的错误或延时带来的数据不同步将会对集控数据产生影响，将失去集控中心的重要意义，因此时钟同步在数据传输中起到关键性

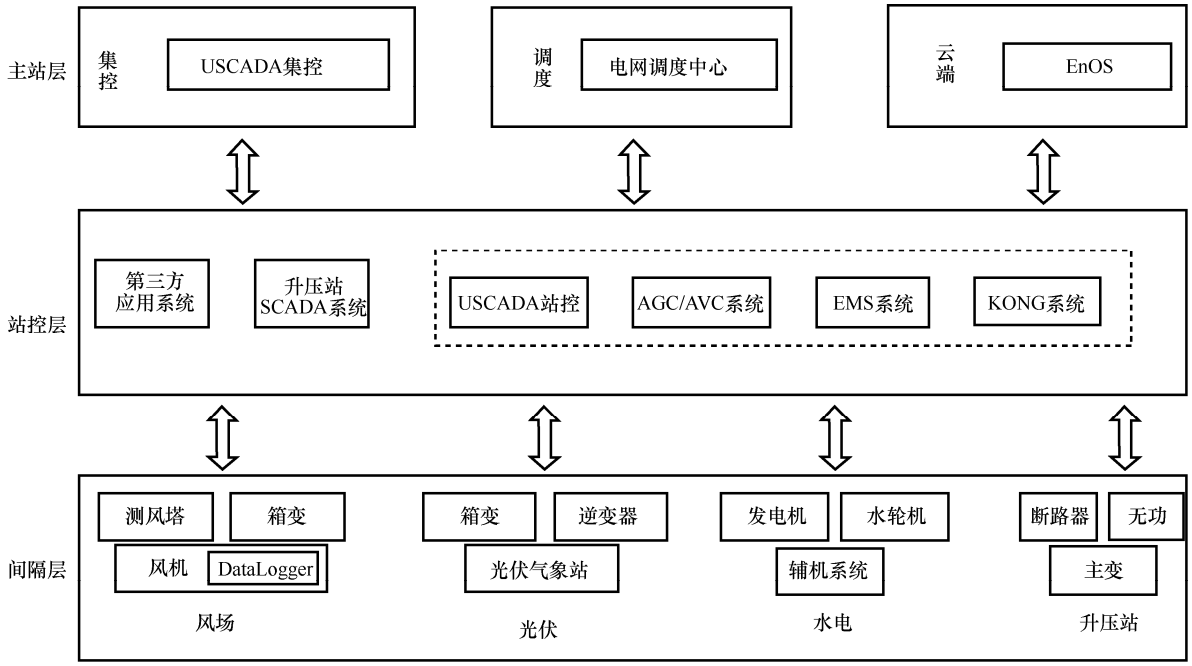


图 2 系统架构

作用。

3 区域大数据数据汇总

3.1 场站端数据的采集及应用

新能源场站的后台监控数据主要包括发电单元的实时数据，场站内输变电系统的实时数据，以及一些保护、控制、辅助单元的实时数据。

发电单元的基础数据包括风力发电机组各系统采集的遥测数据，包括电压、电流、有功、无功、风速、转速、温度、角度、压力等。输变电系统的基础数据包括母线、变压器、输电线路等一次设备、二次设备的遥测、遥信数据。辅助单元的基础数据包括电能计量系统、公共系统、直流系统、场用电系统、能量管理平台 AGC\AVC 以及功率预测系统的测风数据等。

除了采集的基础数据，报警信息也是必不可少的，报警信息包括设备故障、状态异常、通信中断、预警、遥测量越限等信息。

场站端采集的这些实时数据供值班人员日常监控及上传调度，因此成立集控端需要汇集这些数据，从而可以在集控端对所有场站的数据进行集中监控。

3.2 集控端对基础数据的核对及分析

数据完整性核对，即在一个项目运行初期，根据第三方厂家传过来的风机及升压站点表测点与集控监控标准点表之间测点的不同来核对、完善数据的一致性，核对的过程中主要项目有如下：

1）风机基本信息是否正确提供（包含机型、主控、型号等重要信息）；

2）风场中风机是否具备遥控接入条件；

3）风场中是否具备 AGC 控制，并判断最终接入系统需要的测点；

4） 数据核对要求指标化

a 风机、升压站瞬时数据合格率达到 99%（±1%）；

b 发电单元历史数据核对，采集某周期内某测点站端和集控端的历史数据进行对比，以曲线形式进行分析，周期内合格率百分比为 95%(±5%)以上为合格；

c 智慧报表数据偏差整体小于 5%，电量类合格率达到 99%（±1%）。

4 区域大数据数据指标分析及应用

待区域所有场站数据都接入集控端并且基础数据都达到标准后可以进行更深层次的数据分析，也就是 BAO 可信度指标分析，分析发电单元的各类运行指标，对于指标合格率较低的数据进行深度分析，从中查找原因，判断何种因素导致指标未达到标准，也可以从指标分析的数据中判断发电单元的各种问题，有效提高机组的可利用率。

4.1 区域风电大数据 BAO 指标深入分析方法

4.1.1 EBAL 算法

注：次算法不包含限功率不包括无连接。

EBAL 指标定义：能量可利用率。

算法：

$$EBAL_{实)}=\frac{E_{实际发电量}-E_{限功率损失实际发电量}}{E_{理论发电量}-E_{限功率损失理论发电量}}\times 100\%$$

1）实际发电量= Σ 风场关口表月发电量（如果没有关口表电量，使用风机求和）；

2）理论发电量 1=理论功率曲线风速积分应发电量=∑10min 理论发电量（SCADA）；

3）理论发电量 2=实际发电量+损失发电量；

4）损失发电量= Σ（风机原因损失+场内受累损失+场外受累损失+设备性能损失+未知原因损失）

4.1.2 TBA 算法

TBA 指标定义：时间可利用率。

算法：

$$TBA=\frac{24h*\text{风机数*天数-}\Sigma\text{不可用时间-}\Sigma\text{不计算时间}}{24h*\text{风机数*天数-}\Sigma\text{不计算时间}}$$

风机数 =COUNT(风机 01#,风机 02#...) 所选风机的个数

天数 =COUNT(所选时间段) 统计所选时间段的天数

Σ 不可用时间 =Σ 故障维护（故障停机引起的维护停机持续时长）+Σ 故障停机（刨除电网故障前 10min 钟内是故障停机的持续时长）+Σ 维护停机引起的无连接时间+Σ 故障停机引起的无连接时间+Σ 故障后的手动停机 D)Σ 不计算时间 = Σ 非维护和故障引起的无连接时间 + Σ 正常手动停机+∑电网故障（电网故障前 10min 之内的故障停机持续时长和电网故障时间）+ Σ 风机定检（正常发电和限功率发电引起的定检维护停机持续时长）

4.1.3 MTBT 算法

MTBT 指标定义：平均故障停机间隔时间。

算法：

$$MTBT = \frac{24h * 风机数 * 天数}{\Sigma 风机故障停机次数}$$

Σ 风机的故障停机次数=SUM(风机 01#.故障停机次数,风机 02#.故障停机次数,...) 所选时间段的所选风机日故障停机次数之和。

4.2 通过 EBA 指标的分析发现场站发电量低的问题经验反馈及应用

4.2.1 问题描述及原因分析

区域集控中心 01 月至 06 月对各场站风机数据进行 BAO 指标分析总结。

通过对 BAO 各项指标的结果分析，研判风电场风机运行状态，并收集现场原始数据，对比计算 BAO 各项指标的的准确性。

从统计各场站的 BAO 数据结果观察，甲风电场 EBA 数据偏低，相比其他风电场 EBA 数据偏差较大，甲风电场 2021 年 01 月-2021 年 06 月 EBA 数据对比如图 3 所示。

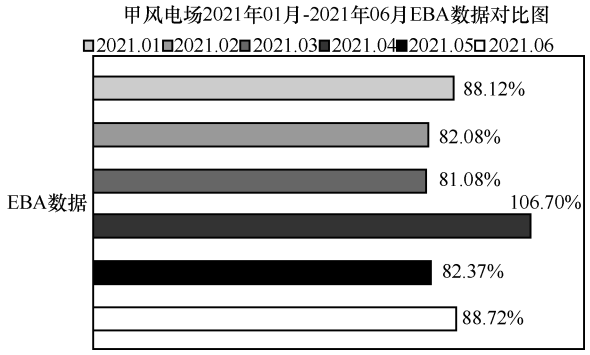


图 3 EBA 数据对比

集控中心对 2021 年 01 月-2021 年 06 月甲风电场 27 台机组 BAO 数据进行统计计算，分析得出：导致 EBA 数据较低主要的因素，是由风机理论发电量与实际发电量偏差过大导致，从统计的数据可以得出，影响实际发电量的因素是风速值与发电功率不匹配，导致该种情况的原因主要包括三个原因。

原因 1：风机的功率曲线与标准的功率曲线偏差过大，但能导致此类问题的原因在做定检时已检查处理（基本排除）；

原因 2：由于当地电网结构问题，送出线路出口容量限制只能出口 3 万千瓦，在大负荷天气时，风机运行始终处于限负荷运行状态（主要原因）；

原因 3：由于甲风电场 01 号、04 号、11 号、13 号、16 号、17 号、24 号-27 号偏航系统均为老式偏航减速机，在大风天气时，需手动停机进行保护，防止偏航电机及加速器损坏（次要原因）。

甲风电场的现装机容量为 4.86 万千瓦，由于甲风电场受限于送出线路线径不足，长期出力上限为 2.8 万千瓦，为了保证不超负荷，风机偏航次数会大幅度增加。当有大风天气时，频繁偏航很容易对偏航减速器系统造成损坏。某风电场风机存在两种偏航减速机，EBA 两种偏航减速机优缺点比对如图 4 所示。

	优点	缺点	综合评价
新式减速机	减速机头上有脱扣设计大风天气有效保护偏航系统	风速较大时，风机保护停机，不能连续并网发电	遭遇大风、台风天气有效保护偏航系统，风况理想后一般可自行恢复，风机出力略有降低
老式减速机	价钱较新式减速机略低。	风大天气造成偏航系统大面积损坏，存在损伤偏航大齿的潜在危险。	遭遇大风、台风天气造成风机大面积停机，风况理想后不能自行恢复，需要人工进行排查更换备件，损耗大量费用和人工时间。

图 4 EBA 两种偏航减速机优缺点比对

甲风电场 01 号、04 号、11 号、13 号、16 号、17 号、24 号-27 号偏航系统均为老式偏航减速机，采取大风天气手动将老式减速机的风机保护停机方式，用于降低了风机偏航故障的次数，从而防止偏航电机及加速器机损坏。但是，此方法不但会影响风机发电量，还需要集控人员和现在值班人员耗费大量的精力，通过综合考量，所以更换新型减速机对于保证风机可利用率，提升发电量已经刻不容缓。

4.2.2 整改效果及后续行动

甲风电场于 2021 年 03 月陆续开展对 01 号、04 号、13 号、24 号、25 号风机更换新型偏航减速器的技改工作，技改完成后，通过相对应自然月单台风机 BAO 指标分析中 EBA 数据的比对，可以看出单台风机 EBA 数据较低问题得到了明显的改善。由于风机故障率也相应的减少了，维护停机时长的缩短对风机 TBA 指标也有了一定的提升。

整改前对应风机的 BAO 指标分析中 EBA 数据（2021 年 1-3 月份），1-3 月份 EBA 数据对比见表 1。

整改后对应风机的 BAO 指标分析中 EBA 数据（2021 年 4-6 月份），4-6 月份 EBA 数据对比见表 2。

表 1　1-3 月份 EBA 数据对比

风机号	理论发电量（万 kwh）	实际发电量（万 kwh）	风机 EBA
1	56.329	27.1534	48.21%
4	71.0031	51.87	73.05%
13	51.3065	37.8712	73.81%
24	52.7472	41.4136	78.51%
25	60.7397	52.8284	86.98%
全场	1220.6759	1075.6382	88.12%
风机号	理论发电量（万 kwh）	实际发电量（万 kwh）	风机 EBA
1	57.1515	19.9208	34.86%
4	68.7734	34.622	50.34%
13	54.4112	27.0468	49.71%
24	58.6403	39.7576	67.80%
25	63.4896	49.0704	77.29%
全场	1269.3731	1041.843	82.08%
风机号	理论发电量（万 kwh）	实际发电量（万 kwh）	风机 EBA
1	54.3911	31.3911	57.71%
4	70.9382	49.7692	70.16%
13	53.8891	41.5148	77.04%
24	59.7191	49.132	82.27%
25	65.9021	45.226	68.63%
全场	1247.3258	1011.2936	81.08%

4.2.3　*后续行动*

通过对甲风电场 2021 年 01 月-2021 年 06 月，偏航减速器技改风机的 BAO 前后数据比较，充分验证了甲风电场偏航问题技改合理性及必要性，对提升风机的发电量具有显著的效果。后续甲风电场将陆续对剩余风机老式偏航减速器进行技改。待对侧新变电站建成投入使用后，甲风电场恢复 50MW 的送出能力，会更加体现出提升发电能力的效果。

集控中心要持续开展集控 BAO 数据整治工作，每月定期从系统导出当月的 BAO 统计结果，发现异常风机运行数据及时沟通场站进行排查处理。

表 2　4-6 月份 EBA 数据对比

风机号	理论发电量（万 kwh）	实际发电量（万 kwh）	风机 EBA
1	45.2235	46.1418	102.03%
4	57.3095	63.78	111.29%
13	48.624	59.4856	122.34%
24	50.4435	56.9796	112.96%
25	54.7565	57.1804	104.43%
全场	1040.306	1110.0256	106.70%
风机号	理论发电量（万 kwh）	实际发电量（万 kwh）	风机 EBA
1	65.3085	53.9098	82.55%
4	73.2909	59.4808	81.16%
13	66.5389	60.5712	91.03%
24	65.0235	59.9836	92.25%
25	72.0175	65.2048	90.54%
全场	1428.1973	1176.389	82.37%
风机号	理论发电量（万 kwh）	实际发电量（万 kwh）	风机 EBA
1	38.0544	29.1778	76.67%
4	48.857	42.2916	86.56%
13	40.9808	40.5588	98.97%
24	38.2854	36.7776	96.06%
25	43.6448	40.3184	92.38%
全场	860.5525	763.4812	88.72%

5　结束语

大数据汇总后便于集中的观察、对比、分析，能够及时发现数据变化过程中的异常现象，通过对大数据的总结分析，判断出设备潜在的问题，加强设备预警机制，提升人员发现设备问题能力和积极性，及时发现并消除设备隐患。

参考文献：

[1] 藏希萌. 新能源集控中心建设模式及规划[J]. 中国新通信, 2020, 22(1): 48.

[2] 白道华. 风电大数据生产调度平台建设中的关键技术研究[J]. 电力与能源, 2018, 39(4): 548-550.

[3] 宾世杨, 王晓东, 杨民. 远程集控平台在广西桂林风电集控中心的应用[J]. 风能, 2017(2): 78-81.

[4] 赵臻德, 裴善鹏. 发电厂升压站控制系统纳入全厂 DCS 控制的讨论[J]. 机电信息, 2016(3): 52-53.

[5] 田育鸣, 陈文达. 新能源发电集中运行监控方法研究[J]. 数字通信世界, 2019(12): 197-198.

[6] 张强. 基于大数据和集中监控技术下的风机状态分析与检修[J]. 中国新技术新产品, 2019(22): 15-16.
[7] 周新建, 李志强. 基于故障维修数据的兆瓦级永磁直驱风力发电机可靠性分配[J]. 煤矿机械, 2016,37(9): 84-87.
[8] 匡洪波. 数据中心机房集中监控系统的设计与实现[J]. 华南金融电脑, 2003, 11(6): 37-39.
[9] 王志勇, 高瑞鑫. GB/T2887—2011《计算机场地通用规范》解读[J]. 中国标准导报, 2012(4): 13-14.
[10] 吴子云, 叶建云. 《电子信息系统机房设计规范》新国标(GB 50174-2008)的实施体会[J]. 智能建筑与城市信息, 2009(12): 92-96.
[11] 胡荣, 张迎峰, 王首顶. 对 DL/T 634.5101-2002 远动规约全数据传输机制的改进[J]. 华北电力技术, 2007(12): 34-36.
[12] 陈永翀, 冯彩梅, 刘勇. 双碳背景下中国储新比的发展趋势[J]. 能源, 2021(8): 41-45.
[13] 向征. 北斗短报文通信在区域集控中心的运用[J]. 电力信息与通信技术, 2021, 19(7): 104-111.
[14] 刘波. 新能源电站智能运维技术研究[J]. 电力设备管理, 2021(4): 117-119.
[15] 何婷, 邓子夜, 李亦凡, 等. 新能源集控中心一体化平台关键技术的探究[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2021, 19(1): 183-188.
[16] 张国珍, 付正宁, 斛晋璇, 等. 新能源集控系统规划及建设方案设计[J]. 风能, 2020(11): 76-80.

新型电力系统下分布式储能应用研究

魏志丰[1]，刘海阳[1]，苏红莉[1]，陈新宇[2]，王宇迪[2]
（1. 北京国网信通埃森哲信息技术有限公司，北京 100052；2. 北京华麒通信科技有限公司，北京 100088）

摘　要：传统电力系统的结构和运行模式在以新能源为主体的新型电力系统中发生了巨大的变化，分布式储能作为电力系统中重要的能量调节器，也迎来了新的发展机遇。本文立足于储能技术发展现状，分析了分布式储能技术特点及在清洁可再生能源方面应用潜力与价值，重点开展了分布式储能的应用模式和典型场景研究，明确分布式储能在新型电力系统构建过程中的应用发展方向。

关键词：新型电力系统；分布式；储能技术

1　引言

2020 年 9 月，习近平总书记在第 75 届联合国大会一般性辩论上的讲话宣布:“中国将提高国家自主贡献力度，采取更加有力的政策和措施，二氧化碳排放力争于 2030 年前达到峰值，努力争取 2060 年前实现碳中和。”2020 年 12 月气候雄心峰会上进一步提出 2030 年单位 GDP 二氧化碳排放比 2005 年下降 65%以上，非化石能源比重达到 25%左右，风电、太阳能发电总装机容量将达到 12 亿千瓦以上。2021 年 3 月，中央财经委员会第九次会议提出了构建以新能源为主体的新型电力系统。由此，中国的低碳能源事业由此进入新的阶段。

为全面建设清洁低碳、安全高效的新型能源体系，控制煤炭、石油等化石燃料的能源消耗总量，需进一步深化电力系统能源结构改革，在提高资源利用效率的同时实施可再生能源替代项目。电力系统的低碳化改造，本质是电力系统的体系化结构性转变，要彻底克服我国风力发电的间歇性和变动性。分布式储能作为构建新型电力系统的关键点，是支撑新型电力系统的重要技术和基础装备，对推动能源绿色转型、应对极端事件、保障能源安全、促进能源高质量发展、实现“双碳”目标具有重要意义。

基于上述背景和需求，本文分析了新型电力系统下分布式储能的主要应用模式和场景，围绕分布式储能的特点开展分布式储能应用方向的探索。

2　分布式储能技术

2.1　储能技术的发展现状

储能技术，应用于对电能的储存，是新型电力系统构建过程中的关键支撑技术之一。它在电力系统中的作用有效地推进了一些传统问题的解决[1]。

储存能量的技术种类有很多，适用于新型输配电系统的储能技术主要包括抽水、压缩空气、飞轮、电化学、超导储存、超级电容储存等。随着清洁能源发电技术的快速发展，电力储存技术和应用也取得了很大进步。目前我国在电力系统储能相关技术中所面临的主要问题包括两个重要的方面：一是技术成本较高，另一问题是相关技术的成熟度不足。除了抽水蓄能，其他的电力存储系统等储能技术尚未实现较大范围的应用[2]。

从技术角度看，材料的制作、制造工艺、能源转换是目前储存能源技术面临的主要挑战，在大规模应用中还需要解决稳定性、可靠性和寿命问题。对于影响我国能源储藏技术发展的大规模应用问题，仍需要深入解决许多重要技术难点。对于抽水蓄能技术，研究重点主要是选择大型抽水蓄电厂、高坝工程技术、新型风力发电机工程技术、智能化安排和运行管理工程技术。压缩空气储藏技术研究的主要方向是高温储藏热技术、液化空气储藏技术、超临界压缩空气储藏技术。而飞轮存储技术研究的重点则是高强度的复合材料技术、电动机技术、并网功率自动调节技术[3]。

2.2 分布式储能的特点

随着我国智能电网、可再生能源发电、分布式风力发电和微电网以及电动汽车等行业的蓬勃发展，大量分布式电源已经连接到配电网。分散系统的随机性和高负荷等问题需要利用对应的能量储存技术提供解决方案。因此，这种分布式能源储存技术诞生了。

分布式能源存储系统通过调整峰值填谷参与需求响应，可以有效降低分布式电网的峰值调整压力，提高分布式电网的运行效率，减缓和降低分布式电网的供电和配套建设，缓解分布式峰值负载的供电需求。通过改进其技术特征，可以强化电力网对分散型可再生能源的可接受性。此外，系统在频率调整方面也得到了广泛的应用，提高了电网的辅助服务能力，在提高电力供应可靠性的同时，保证了电力能源的质量，提高了用户的电能质量[4-7]。

目前我国分布式电网储能技术的应用场景主要有三个方向：储能用户侧、分布式储能电源侧以及储能配套电网侧。相关领域的应用引入较多，而在电动汽车方面的应用也在快速增加。与传统的集中型储能发电相比，分布式储能有效解决了集中型储能发电厂的线路损耗和资金压力，但同时也存在着布局分散、稳定性差等问题。合理规划的分布式储能，不仅可以利用“削峰填谷”来达到减少配电网容量的目标，而且还可以有效地弥补分布式储能的随机性，避免给配电网安全与经济运转带来负面影响。

2.3 分布式储能的重要意义

分布式能源储能技术是目前实施可再生清洁能源推广应用的一项重要且关键的技术。利用分布式储能技术，可以轻松实现对可再生能源功率进行平滑功率波动，跟踪和自动调度功率输出，调峰和自动关节调频，从而可以实现对可再生能源的综合发电功率稳定、性能可控的输出，满足对可再生利用能源综合发电的大型或小型规模并网接入的应用需要。分布式并网储电节能系统方法设计是为了实现可再生清洁能源的大规模并网接入所亟需的必然选择[8-10]。能源储存是构建新型电力系统的重要技术之一，而分布式储能是提高其供电可靠性、提高电能质量、负荷平衡和应急电源等的必备关键技术[11-13]，具有广泛的需求、重要的研究价值和巨大的发展潜力。

3 分布式储能系统的应用模式

目前，分布式储能系统的应用模式主要包括用户侧、配电网侧和分布式电源侧 3 个方向。

3.1 用户侧

用户侧分布式的能量储存是指在用户侧设置能量储存装置，在电费低的时候，或使用光伏或风电等新能源，在电力价格高峰或电力网停电时保存电能，用户侧的储存能量基本上不参加电力网的调整，储存的电能只提供给用户。

用户侧分布式能源储存系统有各种应用模型，能自动调整能源转换器和光伏反相器功率因素的控制，可改善厂内和设备的电网环境，可以避免电力因素超标罚款。可以调整蓄电池的充放电方式，利用电费峰值谷的价格差，晚上用电低谷时从蓄电池蓄积的电能，白天以电力峰值从蓄电池排出的能量进行输送帮助企业管理电力高峰，可以减少工厂时间段的电费。当电网故障停电时，利用太阳能、风力、油机等清洁可再生能源，通过储蓄能源电池等多种发电方式组成微网储存系统，为关键负载提供持续的电源。

3.2 配电网侧

近年来，随着电力的低碳化的不断加深，配电网方面的大量分散式发电可以进行很多电力供给。由于功率传输距离短，所以可以简化电力系统的结构，减少功率传送损耗，提高供给功率的效率，提升供给可靠性。

电网侧分布式储能系统是在输配电网中进行建设的一种储能系统，它是作为输配电网中最优质的一种有功无功调节式电源，其主要目标之一就是有效地提高了电网的安全性能水平，实现了电能在短时间内和空间上的负载相互匹配，增强了可再生能源的消纳、减少高峰负载供电的压力、调峰式低频调谐等方面的应用意义重大[14]。

电网侧分布式储能是根据电网公司开展的，项目高度集中，且能源储量大。电网公司本身具有实力规模，不仅支持储存能源的业务，电网公司自身也承担着一定的责任。因此，能源储存项目的意义不能用简单的峰值谷集来计算。另外，通过电力网的集中调整来实施能源储存设施效果更好，能够发挥更大的作用，能源储存也更有价值。

3.3 分布式电源侧

在大型光伏发电站的组合下进行能量存储，光伏发电侧的分布式接收储蓄能量的最主要特征是调度平滑电网负荷，对各部门的上级电力网按照计划曲线跟踪。太阳能发电在其输出功率大于规定曲线后，将多

余的能量储存在蓄电池中。太阳能发电在输出功率小于规定曲线后，将蓄电池的能量传送到电力网。削峰填谷被视为光伏发电侧可再生能源的另一重要任务。太阳能发电在其输出功率有限时，会将多余的能量储存在蓄电池中。当输出功率还没有达到极限时，光伏将存储的能量传送到电力网中。

4 分布式储能的典型应用场景

4.1 削峰填谷

此项措施是调节电量和负荷的措施之一。根据不同类型用户的生活习惯和规则，合理、有计划地安排和组织各类用户的用电时间。通过采取减少负荷的峰值，来填补负荷的低谷，从而减少了电网的峰值和低谷之间的差距，使得发电、用电之间取得平衡。位于北京经济技术开发区，一期建设的 375kW/100kWh 的能源储存项目，在项目本身配置了充电桩，为用户降低电量电费的同时也降低最大需求，目前项目已完成交付。

4.2 提高供电可靠性和电能质量

电力网设备发生故障或停电时，为了防止对电力系统重要使用者造成经济损失，可通过选择一定数量的能源储存电源来用作紧急电源使用，可以有效提高电力供给的可靠性。此外，系统对装置进行高效、高速的有功功率控制，快速反馈系统的紊乱，调整工作频率和电压，补偿负荷变动，提高系统正常运行的稳定性，也可以进一步提高电能的质量。

4.3 调频

目前，比较重要的是锂离子动力电池的储能技术，它们具有响应速度快、双向调节能力强，比以往的频率调制方式更有效的特点[15]。但是，由于蓄电池能源系统的资金和经济性受到制约，所以蓄电池能源系统的消耗功率远远超过传统的频率调制功率。因此，参与该系统的调频器系统通常与常规频率调制电源耦合。

4.4 分布式可再生能源消纳

风力发电、太阳能发电以及其他可再生能源在我国发展过程中存在的随机性和波动性都会影响与之连接的配电网络的运营控制[16]。通过能源存储系统，电力网能够顺利克服分散型风力发电的有功功率变动，改善电能质量，提高跟踪计划输入能力，减少分布式风力发电对电力网的影响，进一步提高输电过程中电网渗透性高的能力[17]。

现阶段，分布型可再生能源的发电和集中型发电由于各地域间的接入地理位置和综合利用模型不同，控制要求也不同。

5 分布式储能系统的应用案例

关于能源储藏技术的特征和应用场景的对应关系，可以直观地看到能源储存系统的不同应用特征。不同场景下的能量储存系统的电力特性和容量特性请参照表 1。

表 1 分布式储能应用场景需求

序号	应用场景	对储能系统的典型需求
1	削峰填谷	能量密度高、循环寿命高
2	提高供电可靠性	能量密度高
3	改善电能质量	功率密度高、响应速度快
4	调频	功率密度高、响应速度快
5	提高分布式可再生能源发电并网消纳	功率密度高、响应速度快
6	参与用户侧需求响应	能量密度高

与目前一些分布式储能技术相比，除了抽水蓄能受地理环境限制而不能被灵活地应用于分布式储能外，其他各种类型的储能技术基本上都具有分布式储能应用的潜力。例如，某公司为了全面加速，建设新能源、清洁能源网络，推进光伏发电+能源储能应用，为电动汽车等新型业务构筑了“油气氢电服”的新型综合能源服务网络，在清洁能源和绿色发展领域处于领先地位。此外，在某市的光储存一体化电力站组网络运行，项目占地 60 多平方米，设置了 30 多片瓦片单晶硅光伏组件，光伏最大输入功率约 15 千瓦。能源储存设备采用阀控磷酸铁锂电池，最大储存容量超过 20kWh。支持太阳能发电、能源储存、电力和负载四个口之间接入的三相光储存一体机作为整个系统的中枢和大脑，对分散型电力资源进行了精密管理。白天分布式光伏板的发电供给被用于分布式负荷，多余的风力和水力发电主要用于动力电池的充电。当光伏低于一定的负电荷力时，通过能量存储系统进行放电或补给。当光伏+能量存储输出力小于恒定的负电荷力时，由电网补充。同时，该系统还可以充分利用低谷的时间来保存、充电，通过电能来进行时间偏移，从而减少投资成本。

从以上分析可以看出，针对新能源的分布式储存技术对于不同的实际应用场景有不同的要求。目前，分布式储能在用户侧、配电网侧、分布式输送电源侧

等典型应用模式的案例比较多，下面从以上三个方面对分布式储能应用情况展开分析。

5.1 用户侧应用案例

2020 年，墨西哥离网光伏储能项目顺利发电并投入使用，为附近地区提供清洁电力能源。项目建设地点位于墨西哥的偏远地带，该离网式光伏发电储能系统，安装有多台古瑞瓦特逆变器，通过吸收太阳能不分昼夜地供电，给这个地区带来活力。白天产生的发电量除了保障设备的正常运行外，剩余的发电被储存在能源储存型电池里。晚上贮藏的能源还通过逆变器和交流转化为高频，用于附近社区的家庭和居民，发电站不依赖外部的电力网，实现了 24 小时不停供电。即使遇到雨天等天气，电池单元也能为该设备提供充足的电力和水资源，满足设备正常运行的需求。与石油发动机相比，太阳能发电不产生环境污染、零噪音、更经济，当地生活质量显著提高。

5.2 配电网侧应用案例

此应用主要体现在无效支持、放宽输电阻断、扩充配电设备等方面。例如，武汉某电力公司就综合性光伏能源消耗试验实施了光伏应用技术研究行动计划，采用光伏综合建筑电站单元面板一体化建设模式，通过在大学校园的高层建筑屋顶上建造一个大功率的综合光伏发电站单元建筑面板，所需发电量的大小优先满足电力供应公司的实际电力容量要求，同时以“自发自用、余电上网”的并网方式，进行能源的消纳。光伏材料的表面板系统采用多晶硅和激光薄膜两种材料的表面板，便于大数据的收集对比度和分析研究，提高了光伏厂的效率。同时，园内能源储存计划将探讨建设 215kWh 的大型分布式能源储存系统，根据武汉市峰值谷能源削减期的特点制定能源充电放电优惠政策，进行统计分析。另外，如果园内有电动汽车用的快速充电站，可以利用光伏发电技术产生的大量电力，快速向其他车充电。

5.3 分布式电源侧应用案例

分布式电源侧的应用主要表现在能源储存系统的快速响应、发电单元的效率提高、碳排放削减等方面。近期，国家电网某铅炭储能项目落地实施，是全国首座超大型铅炭储能电站项目，可实现可再生能源的消纳、低储高发、谷电峰用，保证当地负荷的不间断供电，实现源网荷储动态平衡等功能。此前，中国科学院大连化学物理研究所的研究员率领研究小组成功研发了百千瓦时轻量级的铅炭电池储能系统。已经成功在中国大连化物所基地星海二站工业园区并网运行。铅炭电池技术作为一种新型的电化学储存能源技术，本质上是铅酸电池配制的优化。目前，已经在国内得到了广泛的应用和施行。

5.4 结论

未来，新能源在电力系统中的作用不言而喻。目前的技术已经远远满足不了投入更大规模的应用需求，因此分布式能源储存系统对电网的建设和运行仍有着非常广泛的研发需求。随着中国蓄电池的能源储存技术及其经济性不断进步和发展提高，这将进一步促进基于分布式的储能系统广泛应用和普及。构建清洁低碳、安全高效的能源体系，控制各种化石燃料的总量，不断提高能源的综合利用率，实施可再生能源的替代行动，构建以新能源为主体的新型电力系统。分布式储能作为这个过程中不可或缺的技术环节，有着非常广阔的发展前景。

（1）提高可再生能源并网消纳技术研究

在分布式储能容量的配置、控制技术和经济性等方面展开分析，分布式风能和太阳能发电是针对配电网中电能的质量提高和峰值调整需求出发的，这两种方法相结合，将显著提高我国配电网的运行水平。

（2）统一调度管理技术研究

在需要直接接入各种大型电力网的分布式能源系统的容量和大小发展到一定规模的情况下，对分布式能源存储系统进行统一规划，可以适应各种大型电网不同水平的需求。由此，可以最大限度地发挥各种分布式能源系统的作用。

（3）配置优化技术研究

当前，分布式储能的架构优化和系统配置主要聚焦于特定网络接入点、接入点的网络功率和存储器容量的优化。未来，将积极开展关于分布式储能系统有序发展规划和资源配置的技术基础研究，充分利用多个节点分布式系统的能源储存电网资源，提高电网各种资源需求的综合支持和适应能力，具有一定的经济效益和社会效益。

6 结束语

分布式储能技术作为提高分布式清洁能源消纳、储能系统调度和控制的关键技术，在配电、用户侧、主动配电网等多个领域应用都具有广阔发展前景，是我国构建以新能源为主体的新型电力系统的坚实力量，可产生明显的经济效益和社会效益，在实现碳达

峰、碳中和的最终目标的过程中，分布式储能潜力巨大，具有广泛的应用前景，将发挥不可忽视的促进作用。

参考文献：

[1] 刘畅, 卓建坤, 赵东明, 等. 利用储能系统实现可再生能源微电网灵活安全运行的研究综述[J]. 中国电机工程学报, 2020, 40(1): 1-18, 369.

[2] 刘志清, 王春义, 王飞, 等. 储能在电力系统源网荷三侧应用及相关政策综述[J]. 山东电力技术, 2020, 47(7): 1-8, 21.

[3] 周孝信, 鲁宗相, 刘应梅, 等. 中国未来电网的发展模式和关键技术[J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(29): 4999-5008.

[4] 王孝琳, 郝超超, 李晓明, 等. 含分布式电源的配电网脆弱性分析[J]. 电测与仪表, 2019, 56(6): 38-43.

[5] 李更丰, 邱爱慈, 黄格超, 等. 电力系统应对极端事件的新挑战与未来研究展望[J]. 智慧电力, 2019, 47(8): 1-11.

[6] 康重庆, 姚良忠. 高比例可再生能源电力系统的关键科学问题与理论研究框架[J]. 电力系统自动化, 2017, 41(9): 2-11.

[7] 李建林, 马会萌, 袁晓冬, 等. 规模化分布式储能的关键应用技术研究综述[J]. 电网技术, 2017, 41(10): 3365-3375.

[8] 刘振亚. 智能电网技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2010: 56-77.[LinkOut]

[9] 李建林, 马会萌, 惠东. 储能技术融合分布式可再生能源的现状及发展趋势[J]. 电工技术学报, 2016, 31(14): 1-10, 20.

[10] 胡泽春, 谢旭, 张放, 等. 含储能资源参与的自动发电控制策略研究[J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(29): 5080-5087.

[11] 唐西胜, 齐智平. 应用于微电网的储能及其控制技术[J]. 太阳能学报, 2012, 33(3): 517-524. TANG X S, QI Z P.

[12] 王姝, 石晶, 龚康, 等. 多元复合储能系统及其应用[J]. 电力科学与技术学报, 2013, 28(3): 32-38, 44.

[13] 陈满, 陆志刚, 刘怡, 等. 电池储能系统恒功率削峰填谷优化策略研究[J]. 电网技术, 2012, 36(9): 232-237.

[14] 鲍冠南, 陆超, 袁志昌, 等. 基于动态规划的电池储能系统削峰填谷实时优化[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(12): 11-16.

[15] 宁阳天, 李相俊, 麻秀范, 等. 考虑供电可靠性的电池储能系统削峰填谷策略研究[J]. 电气应用, 2015, 34(6): 62-68.

[16] 韩晓娟, 田春光, 张浩, 等. 用于削峰填谷的电池储能系统经济价值评估方法[J]. 太阳能学报, 2014, 35(9): 1634-1638.

[17] 姚勇, 朱桂萍, 刘秀成. 电池储能系统在改善微电网电能质量中的应用[J]. 电工技术学报, 2012, 27(1): 85-89.

一种建设中央企业三重一大管理信息系统的方案

管庆华，陈朗，秦沛，李柯
（中国广核集团有限公司，广东 深圳 518038）

摘　要：为了贯彻落实企业管理要求，组织建设了“三重一大”决策运行监管系统，通过信息化手段实现了对集团及各级成员单位“三重一大”事项决策的制度、规则、清单、程序、内容和落实情况的全过程监督。系统采用集中建设分权使用的方式，设计并实施了包含采集、上报、统计几大功能模块，不仅实现了国资委所需要的报送功能，还将业务规则融于系统之中，形成了执行“三重一大”制度的硬约束。

关键词：三重一大；事项；决策会议；信息化。

1　引言

“三重一大”一般而言特指重要干部任免、重大问题决策、重大项目投资决策、大额资金使用。对这几大重大业务处理的监管制度称为“三重一大”制度，是伴随着改革开放的不断深入和社会主义市场经济体制的不断完善，根据我国的实际，在实践中所探索出的一条重要政治制度。对于加强党的领导体制建设、民主作风建设和党风廉政建设，起到了重要的保障作用。

相关工作一直在持续推进中，早在 2010 年，国资委即颁布《关于进一步推进国有企业贯彻落实“三重一大”决策制度的意见》，明确了集体决策的基本原则。同年国资委发出通知，要求央企结合完善法人治理结构，制定“三重一大”决策制度并确保落到实处。根据通知精神，各央企先后完成了《“三重一大”决策事项目录》的制定，对决策类别、决策事项、权限标准及决策机构和决策程序以表格形式进行了界定。

2019 年，国资委下发了关于落实“中央企业三重一大决策运行监管系统”的要求，中央企业“三重一大”制度落实监管范围全覆盖需要包括所有中央企业集团层面的“三重一大”制度落实情况均要纳入监管，所有中央企业的所属法人企业及管理主体的“三重一大”制度落实情况也要纳入监管。

本文介绍了一种中央企业开发建设“三重一大”决策和运行监管系统的方法，设计并实施了包含采集、上报、统计几大功能模块，实现对集团及各成员企业“三重一大”事项决策的落实情况全流程监管，实现了横向到边、纵向到底的实时在线监管体系，通过系统促进各公司“三重一大”规范制度和规范执行。

2　“三重一大”监管制度

2.1　监管制度要求

“三重一大”事项是指重大决策、重要人事任免、重大项目安排和大额度资金运作的事项。其中，重大决策事项是指依照国家法律法规、党内法规和公司规章制度规定，应当由公司党委和其他法人治理主体集体决定的重大事项。重要人事任免事项是指公司党委管理的领导人员以及其他经营管理人员的职务调整等事项。重大项目安排事项是指对公司资产规模、资本结构、盈利能力以及投资建设、科技研发、信息技术等产生重要影响的项目的设立和安排事项。

2.2　监管制度基本原则

“三重一大”监管对象为涉及“三重一大”的诸多决策内容，其必须遵循如下的一些基本原则。依法决策原则：所有决策内容必须遵守国家法律法规、党内法规和有关政策要求，保证决策的合法性。集体决策与民主决策相配合原则：决策必须由集团公司相应决策主体机构依据其职责、权限和议事规则集体研究做出决定，同时，应充分发扬民主，广泛听取意见，发挥集体智慧和力量，提高决策水平，防范决策风险。科学决策原则：对所决策内容，应该进行充分的前期调研、内外部咨询和讨论工作，保证决策的科学性，降低决策失误。

2.3　决策主体

在普通中央企业“三重一大”决策过程中，其决

策主体一版包括：党组会、董事会、股东会、总经理会和职工代表大会。其中党组会一版由公司党委成员组成，具体可参考各公司党组工作制度。董事会、总经理会和股东会一般由本公司的授权范围不同对各自事项进行决策。职工会一般会参考《工会法》等法律法规，对涉及职工利益的企业年金、奖惩办法等内容进行决策。

2.4 制度执行细节

“三重一大”事项的决策应该由该事项所属人根据具体内容，按照各决策主体的职权不同，提交给董事长、党组书记、总经理等进行批复。根据具体情况不同，如果是属于重大投资类似专业性较强的事项，应该做好前期调研和咨询准备；如果是重要人事任免，属于党组决定的，应当听取党组纪检组的意见；如果是涉及到经营管理的事项，应当进行法律审核并出具法律意见；参与人数必须达到议事规则规定的最低人数条件，方可召开决策会议。

2.5 存在问题

在责任归属方面，存在各类决策主体负责决策的具体事项决策分别由董办、党群工作部（党委办公室）、办公厅负责的情况，所以具体执行时也存在多头管理的情形。而且，在执行监督检查层面，各个部门的监督检查机制也不一致。如此等等系列要求，均需要在具体信息系统开发中进行一一落实。

3 “三重一大”信息系统

3.1 “三重一大”建设思路

考虑到各层级数据上下对接和各公司情况横向可比，以及节约建设时间和成本，系统采取集中统一建设的方式，由集团公司组织开发统一的系统平台，通过账户分配和权限控制供各公司使用。系统以信息填报和数据报送功能为主，采取事后录入方式，不嵌入议题本身决策流程。对已上报的议题，开发可视化报表，进行前端展示，以供决策层进行监管需要。

3.2 “三重一大”系统架构

整体系统架构大致包含如下 4 层内容，如图 1 所示。

（1）基础设施层。主要为云计算资源池，一般中央企业采用虚拟机、Docker 等方式来充分利用硬件资

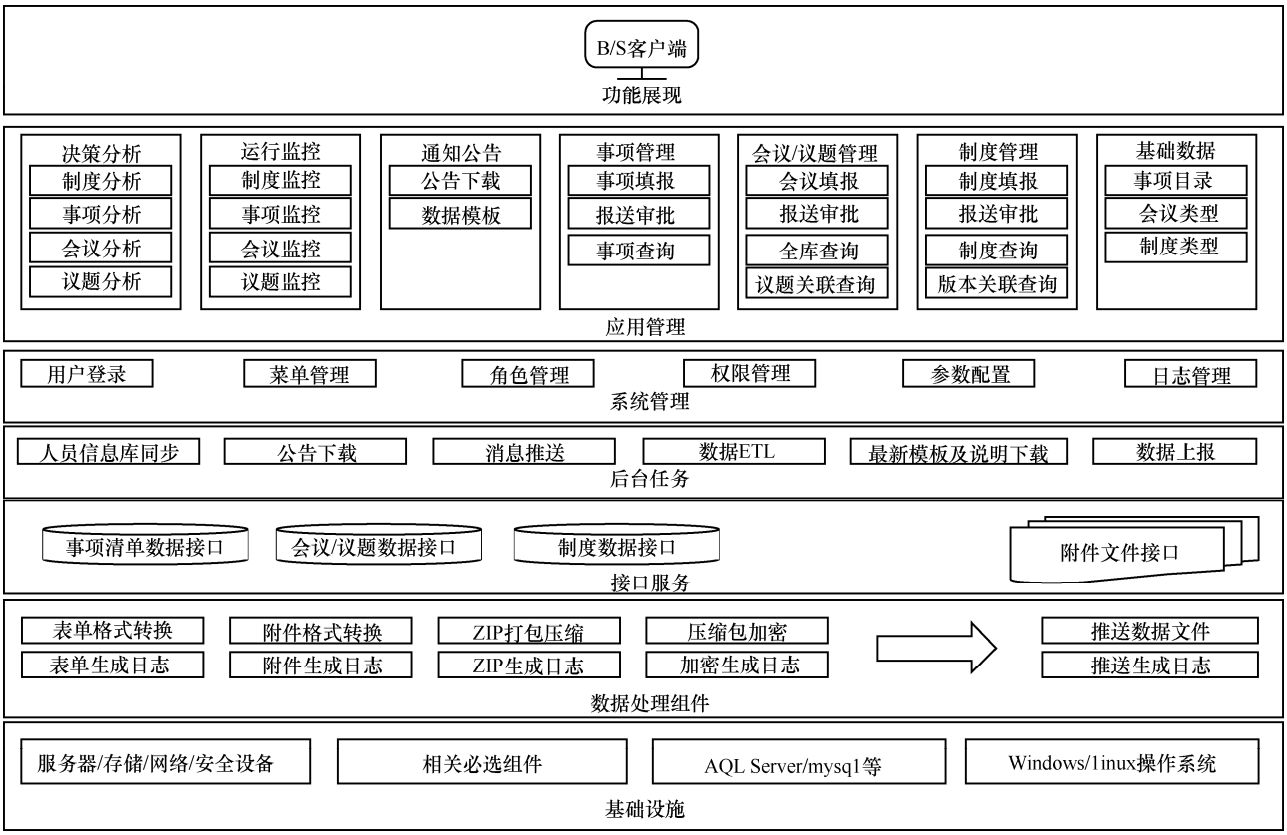


图 1　系统架构

源。数据库也采用集中共享库的方式进行申请即可。不过考虑在对接国资委时需要访问国资委前置机，故需要注意为其开通白名单访问。

（2）数据处理层。主要涉及对上报数据的格式转换、压缩打包和对接国资委已有的数据接口。因为一般数据填报所需要的附件可能五花八门，所以需要转换之后才能报送。打包后的压缩包需要经过特定的加密程序，最终传送到国资委前置机。

（3）系统后台层。系统后台主要是如下一些内容：对后台作业的调度，比如自动同步人员信息库，自动推送待办任务等；对菜单/访问用户/权限等控制，从而使得权限最终可控；一部分后台配置表，用于定义系统参数等内容。

（4）系统前端层。系统前端是用户最直接访问的入口，也是最核心的功能模块。包含了如下一些内容：事项目录定义、制度录入、决策会议数据填报、流程审批、统计分析等内容。

3.3 “三重一大”基础功能

3.3.1 授权管理

因系统按集中建设分权使用的模式，将由集团公司管理员创建二级公司管理员，而二级公司管理员可再创建三级公司管理员，即各公司管理员账户由上级公司的系统管理员创建。各公司企业监管信息、数据填报人员、审核人员的账户由本公司管理员创建。部分角色授权配置界面如图 2 所示。

3.3.2 授权管理

权限一旦分配好，即可进行企业监管的定义。企业监管是集团公司所监管的对象，是国资委用于了解监管企业“三重一大”制度落实情况，及通过监管指标统计各企业“三重一大”系统全覆盖情况。公司管理员对本公司及下属企业的基本信息进行维护，包括企业管理管理及企业监管信息的维护及上报工作。部分企业监管信息填报界面如图 3 所示。

3.3.3 审批流配置

管理员对所在公司的填报人所填写的数据是否要经过审批进行数据维护。此处可以对不同公司、不同功能模块进行审批人设置管理。针对会议类型的不同，亦可以分开设置审批人。审批环节可以设置多人，判断逻辑为“一人通过即环节通过”，审批流配置界面如图 4 所示。



角色名称	排序号	状态	操作
公司管理员	2	已启用	角色成员
会议录入角色(含查看)	3	已启用	角色成员
事项数据录入角色(含查看)	3	已启用	角色成员
制度数据录入角色(含查看)	3	已启用	角色成员
制度、事项、会议纯查看角色	3	已启用	角色成员

图 2　授权配置界面



图 3　企业监管信息填报界面



图 4　审批流配置界面

4　“三重一大”核心功能

整个“三重一大”核心功能包含“三重一大”制度、事项和议题 3 类。如果“三重一大”只是“嘴上说、纸上写、墙上挂”的话，是无法将监管落到实处的。因此，在执行“三重一大”决策制度时，一定要结合实际情况，做到业务与系统的充分融合。

4.1　事项管理

“事项”是决策规则的表述，并非具体的实际决策议题名称。一条事项数据应包括如下完整信息：事项描述、事项编码、决策会议及顺序、是否需法律审核。“三重一大”事项清单根据各公司“三重一大”制度、授权规定等有关制度编制。一般关联如下内容，事项录入信息模板见表 1。

（1）事项清单。指本公司制定某个版本事项清单的名称，一般命名为“XX 公司事项清单（XX 年 XX 月）”，事项清单需版本号以区别升级前后的差异。

（2）事项领域分类一般由集团统一定义。一般央企事项分类会包含如下类型：党建工作、公司治理、战略与计划、组织与人事、薪酬与考核、投资管理、财务与资产管理等。

（3）事项编码。每一条事项均分配一个编码。事项编码的格式可以自定。如为 XXX—版本号-YYYY。其中 XXX 为国资委事项领域分类码，YYYY 为四位数字流水码，版本号取自所属的事项清单版本号。

（4）决策会议顺序。即对当前事项所关联议题的决策顺序进行确定，不满足此顺序可作为业务异常进行监管。

具体系统实现时，首先需要建立的是满足国资委规范要求的领域分类编码。通过分类编码的梳理，厘清公司所属“三重一大”监管的业务内容。目录编码+流水编码要求是唯一的，不能有重复的编码值，流水码可自动生成。决策会议顺序为选择基础数据配置自动带出，不过需要注意的是，此处所确定的决策会议顺序将直接影响后续决策议题的执行顺序，一旦某项议题的决策顺序不满足此要求，将被判定出现业务异常，事项录入界面如图 5 所示。

表 1　事项录入信息模板

事项名称	事项清单	企业名称	事项编码	版本号	生效日期	失效日期	决策顺序	详细描述
**组织机构设置与调整								
**股权投资								



图 5　事项录入界面

4.2 制度管理

其中制度填报即将“三重一大”有关的制度报送，并上传对应的佐证材料和制度文件。制度一般包括公司章程、议事规则、实施办法、授权制度，录入系统，制度录入信息模板见表 2。

（1）公司章程。及公司名称、地址、经营范围、管理制度、活动基本原则这类最基本的书面文件。

（2）议事规则。此处特指股东会、董事会、总经理（总裁）办公会、党委会等“三重一大”决策的议事规则。

（3）授权制度。包括公司治理授权规定、内部管理授权规定、财务授权规定等划分治理主体权限的制度文件。

（4）实施办法。包括本公司贯彻落实“三重一大”决策制度的实施办法、有关决策议案、议题、决策落实督办问责等与三重一大决策有关的具体办法。

具体系统实现时，制度信息名称将进行重复校验，保证唯一，其中的制度类型选择只能获取基础数据，通过下拉选择方式选择 4 种制度类型，制度类型选择的值如果为其他的时候可以为空。表决方式必须选择已生效的某条事项进行关联，即事项值必须是已上报生效的数据。而当制度类型选择“议事规则”时，表决方式和人数占比不允许为空，且表决方式和人数占比关联到了后面会议议题的决策是否有效。举例如下：如表决方式为“赞成票超过到会成员人数的 4/5”，人数占比为三分之二，所关联的某次会议议题列席人员为 10 人，但领导班子只有 5 人，则不满足人数占比要求，会议无效；如果参会人员达到 10 人，但是赞同的只有 5 人，则意味表决不通过。制度录入界面如图 6 所示。



图 6 制度录入界面

4.3 会议管理

决策会议是“三重一大”决策执行落地的载体。会议录入的主要逻辑是先录入会议信息，然后再录入当次会议的议题信息，制度录入界面见表 3。二者主要涉及的数据如下。

（1）会议信息。包括会议名称、时间、地点、主持人、参会人员、会议形式、会议纪要、会议通知等。其中会议形式一般包括现场会议、学习会议、传签会议和电视电话会议类型。会议名称推荐采用“公司简称+会议类型+会议序号”的命名格式。参会人员应体现缺席人员信息。

（2）议题信息。包括议题名称、关联事项编码、关联会议、议题决议、参会人员意见、议题材料等内容。一个会议可以包括多个议题。

具体系统实现时，针对会议录入，其会议类型只能选择已配置的董事会、职代会、股东会等类型，以便于后期数据统计分析。公司名称、主持人、参会人均可以直接读取组织人员基本信息库的内容，另外也可以配置部分常用人员，因为很多会议的人员变化不大可以复用。对于会议通知、会议纪要，需注意上传特定格式文件，会议录入界面如图 8 所示。

表 2 制度录入信息模板

制度名称	企业名称	制度编码	制度类型	审批日期	生效日期	失效日期	合法审核	佐证材料	人数占比
**公司党委会议事规则									
**公司“三重一大”决策实施办法									

表 3 决策议题录入信息模板

会议名称	公司名称	会议类型	会议时间	会议形式	主持人	参会人	议题名	事项编码	决策结果
**公司 2020 年 12 月 10 日第 12 次党委会	**公司	党委会	2020 年 12 月 10 日	学习会议	***	***	**决策议题	***	通过
						***	**任免议题	***	不通过



图 8　会议录入界面

针对议题录入的系统实现，情况更为复杂。首先任务来源和专项来源，同样由集团公司统一配置供成员公司进行选择。事项编码亦只能选择已生效的某条事项进行关联，而决策顺序则通过所选择的决策事项自动带出来，这样录入人员可以自行检查所属议题的决策顺序是否合规。法律审查即某次议题如需法律顾问参会，则需上传对应的法律意见书。关联会议。议题审议结果是自动把已录入的会议参会人员信息带出来，并在后面输入每个人的审议结果。此外，系统还做了一部分的业务逻辑判断帮助用户提高录入数据的准确性，举例如下：会议记录可为多附件但会议通知、会议纪则需为单附件，且附件名称需要进行重复校验；没有议题信息的会议则不允许上报；参会情况中的缺席原因增加常用词条等等，议题录入界面如图 9 所示。

4.4　“三重一大”统计

为能便于各公司管理层直观了解本公司“三重一大”相关数据填报情况，系统提供了各种数据模块的可视化功能，如可分别查询制度、事项和决策会议的可视化报表，也可以查询上报成功的数据条目，甚至可以单独查询审议结果为“通过”的议题清单。最终实现了以系统为基础的决策数据分析，为集团领导全面掌握成员企业“三重一大”决策执行情况提供信息服务，为各公司职能部门指导、监督本领域重大决策内容提供了工具平台，会议填报统计视图如图 10 所示。



图 9　议题录入界面

5　结束语

本文针对国资委对“三重一大”领域所提出的要求，结合中央企业自身监管特点，提出了建设“三重一大”信息化系统的方法和具体实现过程，并对其中的详细功能和数据内容进行了阐述，很好的实现了“三重一大”监管动态化、协同化和智能化的新模式要求，

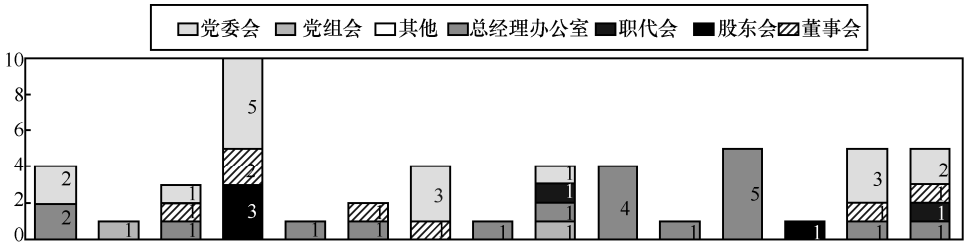


图 10　议填报统计视图

弥补了目前“三重一大”监管信息化能力的缺失，进一步提高了集团总部监管的针对性和有效性。

未来的工作包括以下两个方面：进一步完善系统功能，加强对数据综合利用、分析预警的能力，提升数据在系统中的地位；二是推进该系统与其他企业经营管理系统的协同共享，如 OA、流程管理系统等，实现“三重一大”议题决策事前、事中、事后的全过程监管。

参考文献：

[1] 申东伟, 宋兰涛. “三重一大”管理系统的开发[J]. 信息与电脑(理论版), 2019(11): 112-113, 116.

[2] 曹花. 在国企贯彻落实“三重一大”决策管理的几点思考[J]. 办公室业务, 2017(24): 53, 72.

[3] 王晖, 叶飞鹏, 范炜祥. 信息化建设在“三重一大”决策制度中的探索[J]. 网络安全技术与应用, 2017(3): 143-144.

[4] 徐燕, 龚玮. “三重一大”规范化管理系统研究[J]. 内蒙古科技与经济, 2018(13): 60-62.

[5] 孙曦忠. 国有企业完善“三重一大”决策制度管理的办法研究[J]. 中小企业管理与科技(上旬刊), 2021(1): 39-40.

[6] 赖欣瑜. 贯彻落实“三重一大”决策管理的几点思考[J]. 中小企业管理与科技(中旬刊), 2020(10): 30-31.

[7] 李梅. 浅析在国有企业中推进“三重一大”决策制度面临的问题和对策[J]. 中小企业管理与科技(中旬刊), 2020(9): 162-163.

[8] 石月红. 推进国企“三重一大”决策体系现代化的探索与思考[J]. 国防科技工业, 2020(2): 26-28.

[9] 王前. 中央企业二级单位党组织推进“三重一大”事项决策的实践及建议[J]. 中国电业, 2020(10): 78-79.

[10] 王仪成. 对国有企业落实“三重一大”集体决策制度的思考与实践[J]. 经贸实践, 2018(24): 47, 49.

[11] 张宏奇. 企业“三重一大”事项决策风险防控[J]. 煤炭科技, 2017(3): 207-209.

[12] 柴甫泉, 汤惠敏. 企业执行“三重一大”决策制度中的问题与对策[J]. 石油政工研究, 2014(5): 60-61.

[13] 王琤. 完善“三重一大”制度 加强决策管理与监督[J]. 农业科研经济管理, 2014(2): 37-40.

[14] 夏熙秀. 国有企业落实“三重一大”制度的再思考[J]. 江汉石油职工大学学报, 2013, 26(1): 101-103, 107.

[15] 单一涛. 对事业单位及学校推行“三重一大”体制机制的思考[J]. 江汉石油职工大学学报, 2012, 25(4): 61-63.

[16] 罗小波. 关于规范“三重一大”决策的思考[J]. 决策探索(下), 2020(4): 54.

[17] 李学军. 国有企业落实“三重一大”决策制度的探索与研究[J]. 现代国企研究, 2016(14): 245.

[18] 刘瑜. 如何有效开展“三重一大”决策事项: 浅析表单化管理在“三重一大”决策中的应用[J]. 现代企业, 2019(6): 32-33.

一种数据中心制冷系统节能运行策略的设计与实践

贾涛，宋杰，张林锋，李扬，贾平、欧阳述嘉，冯睿，张亚雄、陈学真
（国家电网有限公司信息通信分公司，北京 100761）

摘　要：随着数字技术的不断发展以及能源互联技术的不断深入，数据中心规模日益扩大，高能耗、高运营成本问题凸显。同时,国家“双碳”战略目标的部署，也给数据中心节能降耗、提质增效提出更高的要求和更大的挑战。本文基于数据中心运行实际，提出一种可操作性强、节能效益显著的制冷系统节能运行策略，旨在改善数据中心运行环境，提升数据中心能效水平。

关键词：数据中心；制冷系统；运行优化；节能降耗

1　引言

随着我国能源互联网技术的不断深入，海量的数据被创造出来，作为数据信息的重要存储、计算载体，数据中心近年也在快速铺开建设[1]。有关机构统计指出，截止 2020 年，我国数据中心超过 10 万个，机架总量达到 350 万个，数据中心年耗电量超过社会总用电量的 1.5%，碳排放贡献量呈持续增长趋势。国际绿色环保组织绿色和平与工信部联合发布的《中国数字基建的脱碳之路：数据中心与 5G 减碳潜力与挑战（2020-2035）》指出，中国 2030 年全面实现碳达峰之后，数据中心的碳排放仍将继续增长，到 2035 年，中国数据中心的总用电量将达到 7000 亿千瓦时，碳排总量将达到 3 亿吨，占全国碳排放量的 3%。在面对高能耗、高碳排以及高运营成本的多重压力下，节能减排成为数据中心产业迫切需要解决的问题[2]。

如何高效、准确开展数据中心节能降耗工作，是十分关键的。众所周知，数据中心的能耗成本中基础设施的能耗约占到 20-30%， 其中暖通系统的能耗占基础设施总能耗的 60~80%[3]，因此如能有效地降低暖通系统的能耗，将能够直接影响到数据中心的总体能耗和运维成本[4]。本文通过对某大型数据中心制冷系统运行状态进行深入分析，对其制冷系统设备能效、设备性能、机房气流组织进行深入研究分析及现场数据计量检测。同时基于 CFD 气流组织仿真技术，对数据中心机房气流组织进行仿真模拟，综合分析制冷系统中制冷机组、冷水泵、冷却塔、机房空调等设备运行效率，提出针对性优化策略，并通过对策略的执行，结合制冷设备运行参数调整，在保证机房温度不变的情况下，整体提高制冷系统设备能效，实现降低数据中心能耗。

2　数据中心制冷系统现状

2.1　国内数据中心存在问题

在国内大型企业数据中心中，制冷系统设备配置冗余度高，设备运行可靠性高，核心设备主要包括制冷机组、冷却塔、冷水泵、机房空调设备，以上设备耗电量占制冷系统耗电量 95%以上。运行策略直接影响运行效率，目前多数机房为保障环境安全，制冷系统运行策略较为保守，且很少进行运行参数调整，导致制冷设备运行效率低，设备能效低等问题。 1）设备运行不能根据室外情况、机房负荷、设备特性及时调整，造成制冷系统设备运行能效比低，如机房空调 EC 风机转速比高，相应能效比低功耗高等。2）机房冷通道未封闭，造成气流组织短路，制冷效率低。三四层机房冷通道未封闭，造成机房气流组织紊乱，冷热气流混合，冷气流利用率低。 3）机房温度传感器采集数据与实际数据有偏差[5]-[8]。

2.2　数据中心制冷系统现状

以某大型数据中心为例，统计数据显示，数据中心全年约耗电约 4000 万度，制冷系统约 989.38 万度，占比达 21%。调研分析后发现该数据中心制冷系统的

关键参数及运行状态如冷冻水供回水温度、水泵运行频率、末端精密空调风机运行台数和转速、冷却塔运行台数和风机运行频率、机房气流冷热遏制隔离等方面有一定优化提升空间。

2.2.1 设备分布:

前端冷冻站有 2 台 900 冷吨制冷机组，2 台 850 冷吨制冷机组，2 台 400 冷吨制冷机组，2 台 90kW 冷冻泵，2 台 70kW 冷冻泵，3 台 45kW 冷冻泵，2 台 90kW 冷却泵，2 台 70kW 冷却泵，3 台 37kW 冷却泵；末端若干个数据机房及相对应的配电间、UPS 间，133 台精密空调。

2.2.2 设备运行现状介绍:

（1）精密空调：从现有运行数据来看，四层某机房的冷热通道平均温差为 3.3℃，二层某机房的冷热通道平均温差为 3.7℃，一层某机房的冷热通道平均温差为 5.5℃。而机房正常的冷热通道温差应为 10~15℃，可见目前机房的冷热通道温差处于偏小状态，这将导致末端空调风机的风量偏大，从而使得风机能耗处于不必要的高位。

（2）水泵：冷冻水、冷却水的额定温差均为 5℃，目前实际运行状态为冷冻水温差 3.7℃，冷却水温差约 4℃，均低于额定温差，水泵运行频率存在优化的空间。

（3）冷却水塔：根据收集到的运行参数分析，当湿球温度为 20.8℃，冷却塔冷却水出水温度为 26.1℃，逼近度约 5.3℃，有自然冷却的冷却塔在夏季的逼近度通常可以达到 3 度。由此可以得出，冷却塔风机运行频率还可以适当提高，使得冷却水出水温度进一步降低，从而提高冷机效率。另外，在夏季和过渡季节，可以多开一台冷却塔，增加换热面积，可以进一步降低冷却水出水温度，提高冷机效率。

（4）冷机：目前机房冷通道温度约 23℃左右，而一般服务器要求的进风温度在 27℃以下，在治理好局部热点（调节开孔地板风量、增设局部冷热气流隔离挡板）的前提下，冷通道温度还可以进一步提高到 25℃，而由于精密空调目前配备冗余量比较大，冷冻水温度可有目前的 9℃做进一步提高。冷冻水温度提高之后，冷机运行效率将大幅提高，另外冬季自然冷却时间也会延长，具备比较好的节能效果。

3 优化策略设计及实施

本项目首先进行数据中心机房环境温度、制冷设备运行参数采集，其次，通过机房 CFD 仿真[9]-[11]，模拟设备运行参数变化对机房环境温度的影响，研究制定制冷系统设备优化策略，最后通过对设备优化策略进行为期 3 个月的现场测试验证，并对其经济效益做出了分析判断。

3.1 机房运行优化

本阶段开始前期，针对四层某数据机房（无冷通道封闭）及一层某数据机房（有冷通道封闭）的运行状况，建立的 CFD 模型，并在现有的运行模型基础上，进行了优化模拟，进行建模；根据推导出的数据机房最优的 CFD 运行模型，进行原始运行参数收集（包括：数据机房内冷通道及热通道温度采集、冷通道送风地板送风量采集、数据机房空调间精密空调运行参数采集）、优化调节、优化后运行参数收集并分析得出精密空调优化结论：调整精密空调出风风速，控制送回风温差，降低精密空调能耗。

3.1.1 四层某机房 CFD 模拟

（1）模拟概况：130 台服务器机柜，机房从左到右共 10 列（上下两列视为同一列，无通道封闭）。

（2）机柜 CFD 模拟功率分别为：服务器：3.9kW/台-共 130 台。

（3）精密空调设备：共 5 台（海洛斯品牌），主要模拟参数分别为：风量 13500m3/h，冷量 117kW，送/回风温度（℃）：17.8/25.8，地板高度为 1000mm，层高 5m，无吊顶。

（4）空调间与机房间隔断墙高度 3000mm 以上 1.15m 高区域为开口，作为空调回风。

3.1.2 二层某机房 CFD 模拟

（1）模拟概况：182（含 20 台弱电机柜），机房从左到右共 10 列（上下两列视为同一列，冷通道封闭）。

（2）机柜 CFD 模拟功率分别为：服务器 4.5kW/台-共 128 台；网络机柜 2kW/台-共 22 台；高密机柜 12kW/台-共 16 台。

（3）精密空调设备共 6 台，N+1 备份，主要模拟参数为：风量 37324m3/h，冷量 191kW，送/回风温度（℃）18.3/25.5。

（4）地板高度为 1000mm，层高 4.4m，无吊顶，空调间与机房间隔断墙高度 2400mm 以上区域为开口，作为空调回风。

3.2 精密空调运行参数优化

根据机房优化结果，整体优化数据机房的精密空调运行参数，降低精密空调能耗。本阶段工作共分为三个步骤：

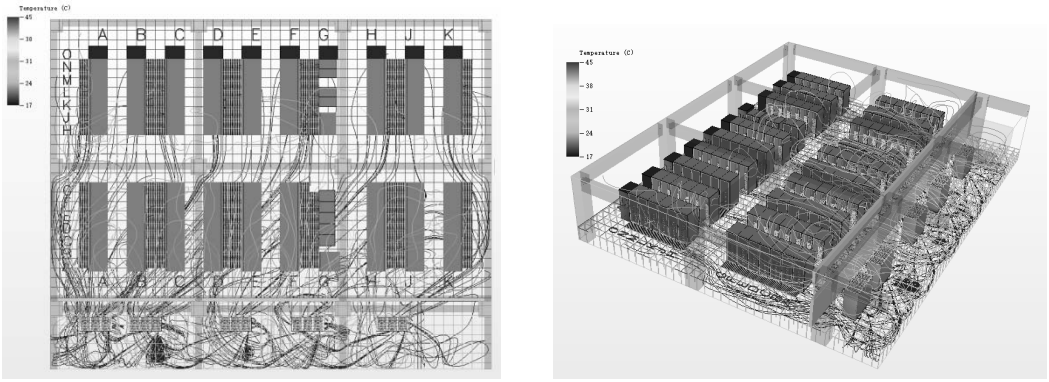


图 1　四层某机房 CFD 模拟气流组织现状

表 1　四层某机房模拟结论

序号	待改善位置	问题说明	改进措施
1	整体机房	计算依据机房 130 台服务器机柜满负荷（3.9kW/台），总 IT 功率为 507kW，精密空调总显冷量为 5 台共 585kW，精密空调总冷量已经饱和，导致机柜出风温度偏高，	调低精密空调出风温度，及预设温度值
2	整体机房	气流组织混乱，冷通道冷、热风气流短路；靠近空调间位置冷风直接回至空调间；	添加冷通道封闭，机柜空位安装盲板
3	整体机房	机房在满负载情况下，精密空调没有备份；遇到检修及故障情况下存在高温风险；	安装备用空调，降低机柜功率；
4	整体机房	送风距离过长，最远送风距离约 17 米，靠近空调间的出风地板风量过小；	添加冷通道封闭，局部区域考虑增加主动送风地板；

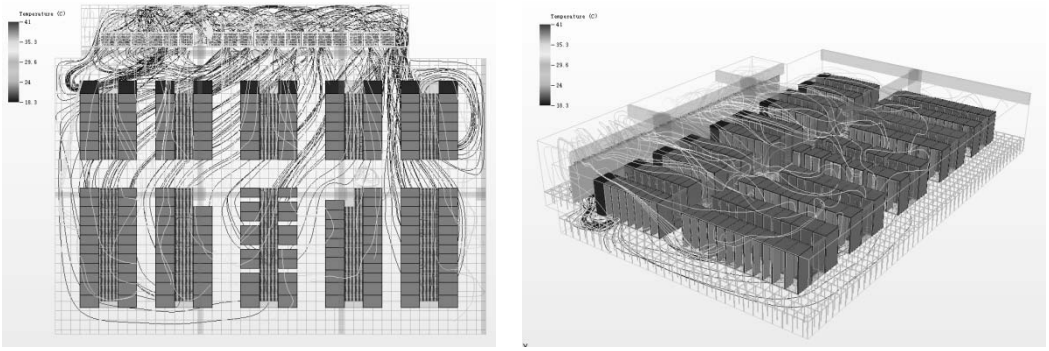


图 2　二层某机房 CFD 模拟气流组织现状

表 2　二层某机房模拟结论

序号	待改善位置	问题说明	改进措施
1	J 列 K 列-N 至 U 机柜	由于房间异形，空调出风无法直接送入此组冷通道，导致地板风量不足，个别机柜温度偏高	机房整理添加可调解出风地板，使出风量相对均匀，局部区域考虑增加主动送风地板；
2	J 列 K 列-A 机柜	由于空调间至机房最远端机柜送风距离超过 16 米，导致最远端高密机个别机柜温度偏高	高温区域增加安装列间空调，或局部区域考虑增加主动送风地板
3	G 列 H 列-C 至 M 机柜	此区域服务器机柜没有安装 IT 设备，导致冷通道出风后通过机柜直接进入热通道从而混合至房间内	机柜增加安装盲板 其它列空余 U 位也需要安装盲板，减少气流混合

（1）全部数据机房优化前机房内运行数据的采集，包括：数据机房内冷通道及热通道温度采集、冷通道送风地板送风量采集、数据机房空调间精密空调运行参数采集。

（2）精密空调间电能表比对。

（3）根据前期采集的数据机房冷通道温度数据，进行精密空调风机运行参数优化，同时完成机房的温度、风量采集，以及数据机房空调间精密空调运行参

数采集；前序工作结束后，分析数据并得出优化结论：目前各机房的 IT 功率约 3251kW，在用风机功率估算约为 370kW，从目前的大约 4 度送回风温差增大到 6 度温差，风量风压均会大幅度减小，调整后风机功耗：365*(4/6)3=108kW，节省功率 365-108=257kW，对 PUE 的改善：257/3251=0.079；实际节能优化后，数据机房精密空调节能数据如下表（选取两个典型机房数据对比）。

数据机房精密空调风机转速优化前，16 个数据机房精密空调的总能耗为 368.75kW，精密空调风机转速优化后，16 个数据机房精密空调的总能耗为 269.11kW，总体节省功率为：368.75-269.11=99.64kW，对 PUE 的改善：99.64/3251≈0.03065，0.03 的贡献度将成为全年不变的贡献值。

3.3 优化冷冻水泵/冷却水泵运行频率

冷冻水、冷却水的额定温差均为 5℃，由于本次优化项目前端冷源设备冷冻系统、冷却系统均采用环网管道，且采用了三种型号两种品牌的冷机，水泵与冷机的控制做不到一一对应；不同制冷量的冷机对于冷冻水、冷却水水流量需求不一致，故本次优化水泵频率优化满足其中一台冷机冷冻、冷却进出水温差即可。

目前的运行状态是：约克机组冷冻水温差 3.7℃，特灵机组冷冻水温差 3.7℃；约克机组冷却水温差约 4℃，特灵机组冷却水温差 2.9℃。均低于额定温差。水泵频率均可进一步降低，使得冷冻水温差增大到 5 度，冷却水温差增加到 4.5℃，流量减小，从而节省水泵能耗。

冷冻水泵 PUE 贡献度：（159-127.34）/3251≈0.0097，冷却水泵 PUE 贡献度：（157-136.68）/3251≈0.0063；故水泵运行频率优化后对于 PUE 的贡献度总和为：0.016。

3.4 优化冷却水塔出水温度，提高冷机效率

由于本次优化项目冷机有特灵冷机，特灵冷机的油温对于冷却水水温有要求，水温过低将导致油温下降，冷机停机，存在风险；经多方咨询，特灵冷机对于冷机冷却水进水温度控制在 24℃以上为安全值，本次优化时，该数据中心冷却塔出水温度为 25℃左右，几乎无优化空间，为保证数据中心生产安全，故本阶段优化无动作。

3.5 优化冷机运行参数

数据中心机房服务器一般要求进风温度在 27℃以下，目前本数据中心 3 层、4 层数据机房冷通道平均温度为 25℃，为保证数据机房生产安全，冷机冷冻水出水温度优化空间有限，本次优化值为上调 0.5℃；冷机冷冻水出水温度优化后，系统稳定运行 2 小时候后采集冷机运行参数，并计算对于 PUE 的贡献度，本次优化，1#约克冷机有功功率下降约为 7kW，3#特灵冷机有功功率下降约为 12kW，对于 PUE 的贡献度为：（7+12）/3251≈0.006。

4 系统运行优化后实效

通过优化过程实施，数据中心 PUE 值已经大幅下降，节能降排实效明显。机房空调转速比调整，降低 16 个机房空调风机运行功率 99.64kW，调整后空调节能是长期节能，每年节约用电 87.28 万 kWh。99.64*24*365= 87.28 万 kWh；冷水泵经过频率调节，电机运行功率降低 51.98kW,水泵节能为长期节能，每年节约用电 45.53 万 kWh；51.98*24*365=45.53 万 kWh；冷却塔回水温度调节、机组供回水温差调节，提高制冷机组运行效率，制冷机组运行功率降低 19kW，每年制冷机组运行约 210 天，预计每年节约用电 9.6 万 kWh。19*24*210=9.58 万 kWh。

总计每年节约用电约 142.39 万 kWh，减少二氧化碳排放量约 1300 吨。

5 结束语

在数据中心的耗能组成中制冷空调系统的占比非常巨大，国内外机房制冷空调系统节能降耗的方法和

表 3 优化前后能耗对比

	优化前				优化后			
编号	风机转速百分比上限(%)	冷通道最高温度（℃）	机房送风总风量（m³/h）	能耗表功率值（kW）	风机转速百分比上限（%）	冷通道最高温度（℃）	机房送风总风量（m³/h）	能耗表功率值（kW）
四层某机房	95	冷通道 2（23.8）	50581	25.4	95	冷通道 2（26.8）	49816	20.2
二层某机房	86	冷通道 1（24.5）	73422	26.93	80	冷通道 4（26.7）	69343	20.33

表 4　优化后 PUE 贡献度

优化名称	优化前设备参数	优化后设备参数	优化前后功率描述	PUE 贡献度
优化末端精密空调风机转速百分比	优化前 16 个数据机房精密空调风机转速百分均偏高，大部分在 85%以上	优化后 16 个数据机房精密空调风机转速百分比基本下调，大部分下调 5%	优化前，16 数据机房精密空调总功率为 368.75kW；优化后，16 个数据机房精密空调总功率为 269.11kW，整体减少 99.64kW	0.03065
优化冷冻水泵运行频率	优化前，水泵运行频率为 48HZ，冷冻水温差 3.7℃	优化后，水泵运行频率 46HZ；冷冻水温差为 4℃	优化前冷冻水泵运行总功率为 159kW，优化后冷冻水泵运行总功率为 127.34kW，减少 31.66kW	0.00970
优化冷却水泵运行频率	优化前，水泵运行频率为 48HZ；约克冷机冷却水温差为 4℃，特灵冷机冷却水温差为 2.9℃	优化后，约克冷机冷却水温差为 4.5℃，对应水泵频率为 46HZ；特灵冷机冷却水温差为 3℃，对应水泵频率为 47HZ	优化前冷却水泵运行总功率为 157kW，优化后冷却水泵运行总功率为 136.68kW，减少 20.32kW	0.00630
优化冷机运行参数	优化前约克冷机冷冻水供水温度 9.5℃，特灵冷机冷冻水供水温度 9.3℃	优化后约克冷机冷冻水供水温度 10℃，特灵冷机冷冻水供水温度 9.8℃	约克冷机运行功率下降 7kW；特灵冷机运行功率下降 12kW	0.006 00
	总计			0.052 65

思路很多，比如冷热电联供、清洁能源利用、溴化锂空调、热回收、冰蓄冷、热管等，但这些方法和思路非常复杂，需要从系统层面颠覆传统的设计，涉及到的影响因素较多，其效果也受多种条件限制而无法保障[12]-[15]。本文提出的数据中心制冷系统设备运行优化策略，从制冷系统关键设备入手，充分考虑运行状态，在保证末端机房稳定运行的基础上，完成策略的设计和应用，具有较强的针对性、可行性和可操作性，节能效益显著。

参考文献：

[1] 郭佳哲, 刘钧. 数据中心建设和运营中的能效指标探讨[C]//2019 中国信息通信大会（CICC 2019）论文集. 成都, 2019: 354-357.

[2] 冯升波, 高麟鹏, 周伏秋. 我国数据中心节能现状和面临的挑战分析[J]. 中国能源, 2015, 37(11): 23-26, 39.

[3] 韩玉. 数据中心节能制冷系统分析[J]. UPS 应用, 2017(1): 46-50.

[4] 靳东滨. 数据中心基础设施维护规程[M]. 北京：电子工业出版社,2016:119-127.

[5] 黄群骥, 卢进, 黄娜. 数据中心能效指标探讨[J]. 中国优秀数据中心, 2019(4): 11-13.

[6] 孙春蕾, 温向明, 路兆铭, 等. 能源互联网下基于储能调度及多源供能的数据中心能效优化[J]. 计算机研究与发展, 2017, 54(4): 703-710.

[7] 冯成, 王毅, 陈启鑫, 等. 能源互联网下的数据中心能量管理综述[J]. 电力自动化设备, 2020, 40(7): 1-9.

[8] 邢宝平, 吕梦圆, 金培权, 等. 面向绿色数据中心的能耗有效查询优化技术[J]. 计算机研究与发展, 2019, 56(9): 1821-1831.

[9] 汪玉美. 数据中心功耗优化及调度研究[D]. 杭州: 杭州电子科技大学, 2018: 3.

[10] 胡雨. 基于评价指标的数据中心热环境实测分析与优化改造[D]. 南京: 南京师范大学, 2018: 3-5.

[11] 周成龙, 杨春信, 王超, 等. 基于仿真的小型数据中心气流组织研究[J]. 北京航空航天大学学报, 2018, 44(8): 1682-1692.

[12] 吕大淦. 机房环境对设备运行的影响因素分析[J]. 科技传播, 2013, 5(13): 59-60.

[13] 李翔, 姜晓红, 吴朝晖, 等. 绿色数据中心的热量管理方法研究[J]. 计算机学报, 2015, 38(10): 1976-1996.

[14] 牛广锋. 大型数据中心空调制冷系统研究[J]. 制冷与空调, 2018, 18(2): 29-33.

[15] 王继业, 周碧玉, 张法, 等. 数据中心能耗模型及能效算法综述[J]. 计算机研究与发展, 2019, 56(8): 1587-1603.

用户侧电碳排放指标体系构建及典型场景应用

季聪[1]，尹飞[1]，孙权[1]，戚文君[1]，苏红莉[2]
（1. 江苏方天电力技术有限公司，江苏 南京，211100；2. 北京国网信通埃森哲信息技术有限公司，北京 100052）

摘 要：为应对全球由于温室效应导致的气候问题，各国纷纷制定碳减排策略，我国提出了“碳达峰”、“碳中和”目标，通过优化能源结构，以电力行业改革为契机，努力实现“双碳”目标。本文以电力企业用户为研究对象，提出了度电碳排放量、电碳中和指数概念及算法，并开展用户侧电碳排放的典型场景分析与应用，为评估碳中和进程及成效、兑现落实减排承诺提供参考依据。

关键词：碳中和；碳排放；度电碳排放量、电碳中和指数

0 引言

当今社会，由于二氧化碳排放导致温室效应已经成为全世界面临的挑战，需要全人类共同努力来改变现如今的气候问题。根据相关调查研究发现，从2009-2019 年期间，我国碳排放水平一直处于持续增长中，截止 2019 年，碳排放总量已经达 98.3 亿吨，从如此庞大的碳排放量可以看出，中国对于全球碳减排起着至关重要的作用。

我国碳排放主要集中在化石能源燃烧产生的二氧化碳，而电力又是能源结构中占比最大的一块，占到了能源比例的 40%[1]。近几年随着社会经济水平的提高和技术的进步，越来越多的领域对电的依赖程度不断提高，也导致电力行业产生了更多的二氧化碳排放。我国一直以来都在积极努力减少碳排放，并且提出“碳达峰”、“碳中和”目标，为实现这一目标，首先从电力行业开始改革，通过采取一系列措施，包括建立碳交易市场、大力发展新能源、构建新型电力系统等来减少碳排放。在国家统一规划和部署下，深化能源体系改革，通过在电力领域的减碳措施，为其他领域的碳减排提供模板和典型示范；通过促进电力工业自身碳减排，支撑全行业达成“双碳”目标，实现经济、社会、生态的和谐发展。要构建新型电力系统，大力发展新能源技术，不仅自身需要实时监控了解碳排放量，同时也需要在行业内广泛应用，将实时数据共享各行业企业用户，因此进行电力企业用户侧电碳排放研究势在必行。

1 产业碳排放研究现状

根据经济学家研究，产业结构调整才是经济结构的最基本、最核心的环节，通过调整经济与产业结构的关系，进而影响整个社会发展格局，并通过两者之间的正向反馈不断优化调整，达到双向平衡[2]。通过优化产业结构，对经济增长方式调整为不再单纯以速度为唯一指标，在发展经济的同时兼具高质量、高水平、生态环保等特点。通过优化生产要素在不同环节的流向，进行经济结构方式调整和转变，尤其是不同产业及其环节间的流动，改变生产函数对于要素配置产生的作用，其外在表现即为产业结构的不断调整和优化。近几十年以来，产业结构调整对区域碳排放有着十分重要的影响，并且相关研究也越来越多。一方面，部分研究沿袭传统的因素分解方法，在不同区域下进行影响碳排放因素分析，测算不同产业结构方式对碳排放的影响程度，深入研究其发展特点和未来走向，研究发现产业结构和区域碳排放之间具有负相关联系。通过调整产业结构，并对能源消耗进行优化调整，这将成为减少碳排放的一个重要研究方向和研究领域。分析研究发现，对碳排放具有最显著、最直接影响的是第二产业，第二产业的规模扩大会对区域碳排放造成显著影响，产业规模水平和碳排放基本呈现正相关，因此如何通过改善第二产业能源消费模式成为减少碳排放的重要研究课题，但第三产业的强度明显低于第二产业，且第三产业对于大型用电设备的使用较少，通过调整二、三产业结构占比，间接调整碳

排放占比[3-4]。

截至目前，各国对于碳排放的研究成果已经相当丰富，并且对于产业结构调整的研究也越来越娴熟。本文通过分析产业结构与碳排放之间的关系，通过研究产业结构与社会、经济、生态环境之间的内在联系，发现并挖掘其中的变化规律，利用规律反哺生产建设。通过研究产业结构与碳排放模型，分析产业结构调整对于碳排放比例的影响，测算不同能源消费碳排放占比，设计并建立相关模型。本文采用计量模型分析方法来研究某省产业结构与碳排放之间的关系。通过从高纬度俯视这一关系，并全球视野下进行实例论证。对产业结构调整进行更深入的研究，并加强对产业结构调整内涵理解，为减排政策的制定提供可操作的参考[5-6]。

1.1 碳排放测算方法

影响目前碳排放水平的主要因素是化石燃料的使用。由于目前能源需求的 80%都来源于煤、石油、天然气等化石燃料，这些化石燃料在使用过程中都会产生大量的二氧化碳，因此，如何减少化石燃料的使用、寻找化石燃料的替代品、优化化石燃料的使用效率既是碳排放研究的重点，同时也是碳排放研究的难点。通过能源使用方向进行类别划分，一类是直接使用传统化石原材料；另一类是通过对煤炭、石油和天然气提炼产生的衍生品。碳排放的测算方法有许多，其中主要有实测法和碳排放系数分析法，由于碳排放系数分析法具有能够分析碳排放多个关键指标，因此学术界常常采用此分析法来进行碳排放分析。

1.2 碳排放分解方法

在碳排放的分解研究中，常用的方法有结构分解方法 SDA（structuraldecompositionanalysis）和指数分解方法 IDA（indexdecompositionanalysis）。SDA 法基于投入产出表，又可以分为两级分解法、投入产出法等[7]。目前在碳排放因素分解中采用较多的是 IDA 法，IDA 法又可以分为拉氏指数方法（Laspeyresindex）和迪氏指数方法（Divisiaindex）[8]。拉氏指数方法（Laspeyresindex）主要思想源于 20 世纪 70 年代末至 80 年代初，此后得到进一步的完善，相关研究主要有 REITLERW 等（1987）、HOWARTHRB 等（1991）、PARKSH（1992）等[9]。在 80 年代末迪氏指数方法（Divisiaindex）的提出得到很多专家学者的重视，此后又得到进一步的发展，很多学者采用了 LMDI 方法，如 BOYDGA 等（1988）、LIUXQ 等（1992）、GUO（2011）、WANG 等（2005）、徐国泉等（2006）[10]。ANGBW 等[11-14]认为当拉氏指数方法和迪氏指数方法在分解时存在残差项，表明模型不能解释碳排放变动的部分，存在一定的缺陷，而费雪指数法（GFI）能够较好克服上述方法的缺陷[7]。

2 碳中和指数等概念定义及算法

2.1 度电碳排放量

不同能源发电方式每生产一度电的碳排放量不同，通过计算不同能源结构下多种能源排放的二氧化碳量总和，来计算度电碳排放量。

$$\alpha=\sum E_i C_i \ (i=1,2,\ldots,n) \tag{1}$$

其中，α 为度电碳排放量，E_i 代表使用第 i 种能源产生的电量（电、气、油、煤等），C_i 代表第 i 种能源单位负荷碳排放因子。

度电碳排放量是电碳排放量与用电度数的比值，是指每消耗一度电产生的二氧化碳排放量。计算公式如下：

$$\beta=\frac{\sum E_i C_i}{\sum E_i} \ (i=1,2,\ldots,n) \tag{2}$$

其中，β 为度电碳排放量。

借鉴世界核能协会（World Nuclear Association）对 1997 年以来 23 份相关研究报告的综述结果，本文计算电碳排放量所依据的能源单位负荷碳排放因子如下：

下面，以电力企业某省的用电结构数据为例，计

表 1 能源单位负荷碳排放因子

单位：g/kWh

能源类型	非清洁			清洁				
	煤	燃油	天然气	太阳能	生物质	核电	水电	风电
碳排放因子	950	733	499	85	45	29	26	26

算度电碳排放量。

2019 年，某省全省发电量为 5062.28 亿千瓦，其中新能源发电量 446.32 亿千瓦时。新能源发电量中，风发电量 183.89 亿千瓦时，光伏发电量为 154.07 亿千瓦时，垃圾发电量为 73.28 亿千瓦时，生物质发电量为 35.08 亿千瓦时。核电站 2019 年全年发电量为 328.89 亿千瓦。

2019 年该省电碳排放量=4286.90×950+154.07×85+35.08×45+328.89×29+183.89×26=4.11 亿 T

则 2019 年该省度电碳排放量=4.11/5062.28×10^6=812 g/(kW·h)

2.2 构建电碳中和指数算法模型

电碳中和指数反应发电主体清洁化程度，电碳中和指数越接近 100，表示碳排放水平越低，同时也表示能源结构中清洁能源占比越高。计算公式如下：

$$\mu=\frac{\sum E_{清洁}\times\left(C_{煤}-C_{清洁}\right)}{\sum E_i\times C_{煤}}\quad(i=1,2,\ldots,n)\qquad(3)$$

其中，μ 为电碳中和指数，$E_{清洁}$ 指清洁能源产生的电量，$C_{煤}$ 指煤的碳排放因子，$C_{清洁}$ 指清洁能源的碳排放因子。

2.3 碳排放强度算法

电碳排放强度作为衡量经济和碳排放关系的重要指标，研究电碳排放强度的结构原理和如何降低碳排放强度是各国学者重要的研究方向。经济增长的同时，每单位国民生产总值所带来的二氧化碳排放量下降，则说明该国就实现了一个低碳的发展模式。碳排放强度计算公式为：

$$\theta=\frac{\sum E_iC_i}{GDP}\qquad(4)$$

其中，θ 为碳排放强度，GDP 为年度 GDP 值。

3 用户侧电碳排放典型场景

本文围绕用户侧电碳排放量，以江苏省 2018-2020 年的用电数据为基础，测算各地市电碳排放量、分析行业-区域电碳排放分布历史演变情况等。

3.1 电碳排放对比

以行政区域为单位，基于当前年度的用电量、清洁能源用电量等数据，分地区计算该省各个地市电碳排放总体情况，可测算出度电碳排放量最低的地市，如图 1 所示。

以连云港和淮安为例，连云港年度用电量高于淮安，但碳排放量仅为淮安的一半。从能源结构分析来看，连云港市清洁能源占比较高，因而电碳排放量低。

通过提取不同行业的用电量信息，依据公式（3）测算各行业的电碳中和指数。通过对比不同地市同一行业的用电量信息，可以形成更细颗粒度的对比。

结合上文公式测算，近 3 年，全省平均年度度电碳排放量逐年降低，分别为 802.76g/kWh、772.86g/kWh、749.35g/kWh。

以 2020 年为例，依据公式（1）和（2）测算出江

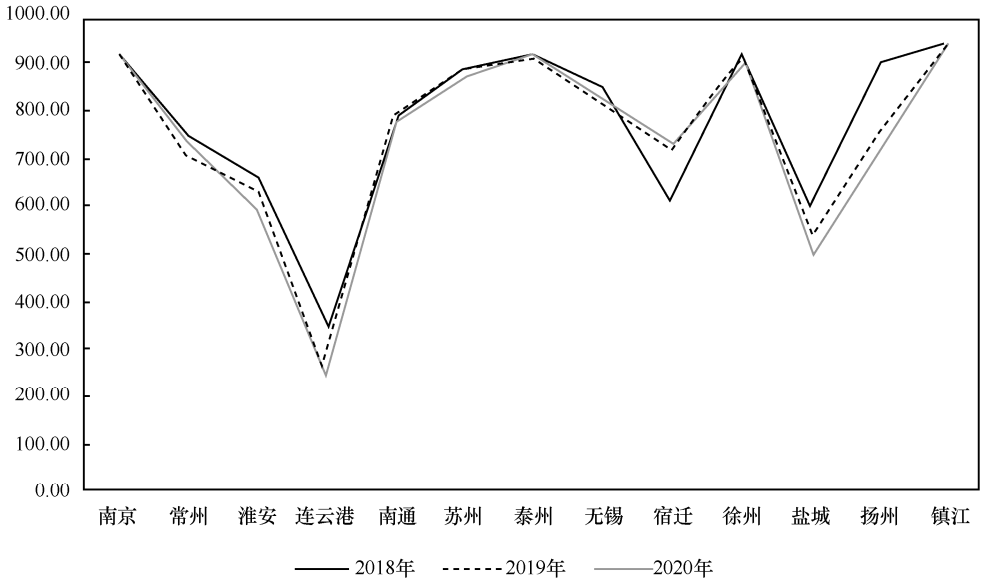


图 1 2018-2020 年江苏省各地市度电碳排放量

苏省各地市度电碳排放量，如表 2 所示。

表 1　2020 年江苏省各地市度电碳排放量

地市	度电碳排放量（g/kWh）
南京	913.08
常州	729.41
淮安	595.91
连云港	246.17
南通	768.69
苏州	869.22
泰州	912.94
无锡	832.51
宿迁	725.74
徐州	901.18
盐城	497.12
扬州	733.66
镇江	943.16

由表 2 数据可看出，高于度电碳排量平均值的地市有 7 个，从高往低排序分别为镇江、南京、泰州、徐州、苏州、无锡、南通，特点是火电集中，其中苏州、无锡、南通近年来新能源发展迅速，电源结构正逐步优化。低于平均值的地市中，连云港最低（246g/kWh），其原因是核电机组发电占比稳步增加；盐城次低（497g/kWh），2020 年新能源发电量占全市 50%。

3.2　电碳排放强度对比

对比 2020 年江苏省 13 个地市的 GDP 值，发现扬州和盐城 GDP 值相当，扬州为 6000 亿元，盐城为 5953 亿元，但经济结构差异较大。从总用电量来看，盐城比扬州高，电碳排放总量盐城比扬州高。而在居民人均电碳排放量方面，扬州较盐城高出 21.16%，说明扬州居民的电气保有率和使用率较高。

依据公式（4）计算扬州和盐城碳排放强度，如图 2 所示，扬州为 3kg/元，明显低于盐城的 4kg/元，即盐城人民每创造 1 元人民币 GDP 即比扬州人民在用电方面多产生 1kgCO_2。

3.3　碳中和指数对比

因不同地市电源结构有差异，各地市的碳中和指数也有所不同，依据公式（3）测算各地市的碳中和指数值，如表 2 所示。

因连云港核电占比相对较高、盐城新能源占比高，电碳中和指数则在江苏省各地市排在第一、第二名，而南京、无锡、镇江等地仍有待提升。

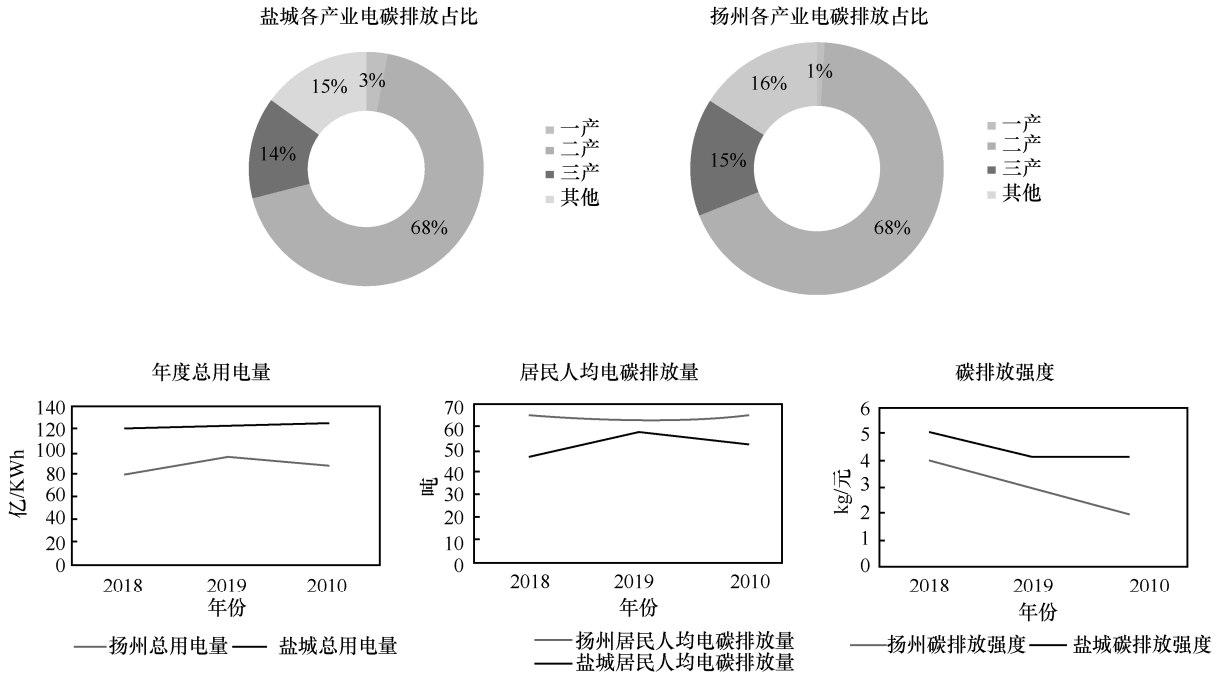


图 2　城市 PK 展示

表 2　2020 年江苏省各地市碳中和指数

地市	碳中和指数
南京	0.93
无锡	1.90
徐州	5.08
常州	5.74
苏州	3.36
南通	16.61
连云港	73.62
淮安	21.68
盐城	47.36
扬州	11.90
镇江	0.72
泰州	1.40
宿迁	23.22

4　结束语

本文通过构建电碳排放量、碳中和指数及碳排放强度的测算方法，对用户侧电碳排放量进行了分析、测算与研究，实现城市电碳排放量实时监控，为其他行业、单位开展碳排放研究提供参考，为达成双碳目标提供了多样化的分析手段，也为今后因地制宜开展减碳措施提供了有效途径。

参考文献

[1] 侯鹏飞. 基于因素分解的我国碳排放影响因素分析[D]. 北京: 北京化工大学, 2012: 15-37.

[2] 原嫄, 席强敏, 孙铁山, 等. 产业结构对区域碳排放的影响: 基于多国数据的实证分析[J]. 地理研究, 2016, 35(1): 82-94.

[3] 朱俏俏, 孙慧, 王士轩. 中国资源型产业及制造业碳排放与工业经济发展的关系[J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(11): 112-119.

[4] 张伟, 朱启贵, 高辉. 产业结构升级、能源结构优化与产业体系低碳化发展[J]. 经济研究, 2016, 51(12): 62-75.

[5] 张明志. 经济增长与产业结构变动的碳排放效应研究[D]. 济南: 山东大学, 2017.

[6] 王青, 张广柱. 适应消费增长需要的产业结构优化升级: 基于 SDA 结构分解技术[J]. 经济研究参考, 2017(13): 41-50.

[7] 李智, 董陆然. 我国化石能源的能源强度变动—基于费雪指数法的研究[J]. 商业经济研究, 2016(9): 177-179.

南瑞云数据中心低碳节能技术探索与实践

顾宇，宋文，周晓虎
（国电南瑞科技股份有限公司，江苏 南京 210000）

摘　要：数据中心是大型高耗能设施，在整个国家实施双碳战略的宏观环境下，如果仍沿袭传统的发展模式，继续大量消耗化石能源，数据中心的发展将不被社会接受。南瑞集团作为专业从事电力自动化软硬件开发和系统集成服务的提供商，为适应全球数字化发展，深入数据中心建设实践，探索产业数字化转型，提高企业核心竞争力。在空间、环境等诸多条件限制下充分应用先进绿色技术，从规划、设计、建设、运营全过程开展节能降碳实践，积极推进电力行业数据中心“碳中和”进程。

关键词：数据中心；碳中和；绿色；节能；新能源。

1　引言

2020 年 9 月，习近平主席在联合国大会第七十五届会议上明确表示，中国将努力在 2030 前实现二氧化碳排放达到峰值、2060 年前实现碳中和。在今年全国两会上，“碳达峰”和“碳中和”首次写入政府工作报告，“绿色”和“生态”也成为“十四五”规划的关键词。数据中心是高能耗行业，在过去十年中，中国数据中心的总耗电量每年增长超过 10%，国家电网能源研究院预测，到 2030 年，数据中心用电量将超过 4000 亿千瓦时，占全社会用电量的 3.7%。

从全球发展来看，虽然数据中心总能耗较高，但单位实例能耗强度呈下降趋势，整体能效不断优化提升。从单个案例来看，自 2010 年以来，全球数据中心的能耗强度每年下降 20%，能源效率显著提高。在相关政策的引导和推动下，数据中心不断整合和转型，逐步从传统的小型数据中心向大型数据中心转变。此外，制冷、供配电、服务器单元功耗和资源池虚拟化技术的开发和优化，推动了 PUE 值的不断降低，数据中心整体能效水平的不断提升。

从具体措施来看，互联网技术企业通过优化运营管理和尖端技术研究与创新，继续推动数据中心的碳减排。为了在 2060 年实现中国的碳中和目标，数据中心行业目前采用的节能减排措施主要包括：充分利用资源和环境条件改善运行环境；在数据中心全生命周期建设运营中应用探索节能减排技术；在本地建立自然冷源、余热回收或可再生能源发电等清洁能源利用体系；绿色施工，减少对环境的负面影响；使用绿色电力和节能产品，建立和完善全绿色供应链管理体系。

从先进的绿色技术角度来看，数据中心大规模采用模块化建设，采用先进高效的供电、IT、网络、制冷等技术方案，提高数据中心的算力和效率，降低整体碳排放；采用智能系统和平台，优化数据中心的整体能效；发展氢能、储能和新能源技术的研发和应用，推动使用氢燃料电池、锂电池储能等替代备用柴油发电机，使得新能源与数据中心建设联动协调；应用人工智能和机器学习技术于数据中心冷却系统的管理，学习、适应和管理数据中心冷却和电源系统，通过模型预测未来时间点的温度和负荷，帮助提高数据中心的能源利用率，实现节能降碳。

2　南瑞云数据中心低碳节能技术分析

2.1　南瑞云数据中心低碳发展概况

南瑞集团有限公司是国家电网有限公司直属科研产业单位，是我国能源电力及工业控制领域优秀的 IT 企业，是国际知名的智能成套装备及整体解决方案提供商。为推动南瑞集团数字化转型，南瑞集团积极开展数据中心建设，同时在“碳达峰碳中和”背景下创新研究数据中心低碳技能技术。

数据中心建设是一个系统性工程，数据中心除了需要大量电能，还需要考虑空间、供冷、电力等限制因素，经过深入细致的研究与分析，南瑞集团综合现

有资源最终采用改造既有楼宇方式建设南瑞云数据中心。为了充分实现数据中心低碳目标，按照《国家电网有限公司数据中心新技术应用指南》（信通技术〔2018〕66 号）指导要求，并综合考虑数据中心地理位置、电力容量、水系统供冷资源以及楼宇空间现状等情况后，创新使用了风冷氟泵空调制冷技术，保证数据中心全年约六分之一时间可以由氟泵代替压缩机工作，全年可节约 30%电能。同时通过南瑞自研微模块、智能小母线、DCIM 综合管理平台、智能 AI、光伏绿色电能等技术，可以让数据中心各系统协调工作，进一步降低能耗，最终建设成一个国际标准的绿色数据中心。

2.2 南瑞云数据中心低碳技术探索

2.2.1 自然条件及基础环境考察

南京属于北亚热带季风气候，四季分明，年平均气温 15.3℃，八月最高，全年温差较小，日照时数 2008 小时，雨量充沛，无霜期达 225 天，年平均相对湿度 7%，绝对湿度 15.6mm。区内地质条件较好，有少量丘陵地。地形地貌、自然条件适合数据中心建设要求。

本数据中心地址位于南京市江宁区，楼宇建于 2014 年，总建筑面积为 9520m^2，共三层，高度 17.5m。本次数据中心机房位于三层南侧，层高 5.5m，楼板活荷载为 10kN/m^2，楼顶楼板活荷载 2.5 kN/m^2，考虑到楼板承重与安装空间的限制，无法使用大型水冷机组、间接蒸发技术等节能技术，只能考虑其他绿色节能的制冷技术。

2.2.2 建筑设计节能措施

建筑外墙不设外窗，最大限度降低热辐射，节约空调能耗；建筑结构墙体做外保温，降低建筑冷负荷；主机房区地面做防潮处理，防止渗漏，并保持房间内湿度，降低湿负荷；机房内地面、墙面、顶面做均做保温处理，保障数据中心温度不受外界影响，节约空调能耗。

2.2.3 微模块节能措施

根据国家节能减排以及国网对数据中心建设 PUE 值的要求，采用国电南瑞拥有自主知识产权的数据中心微模块产品，设计综合采用行间精密空调制冷和冷通道封闭方式，用以实现最佳节能目标，绿色环保。

使用就近行间精密空调及冷通道封闭措施，有效提高制冷效率，减少冷量浪费，降低空调功耗。

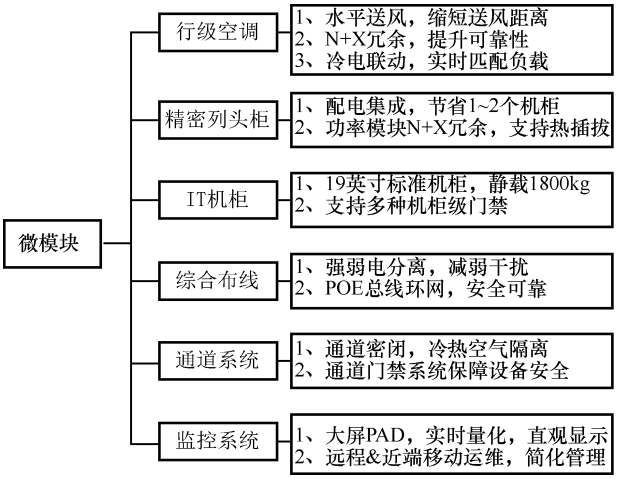


图 1 数据中心微模块架构

微模块是将传统机房的配电、空调、机架、消防、照明、布线、监控等各个系统集成为一体化产品，充分发挥模块化的优势，实现数据中心的快速、灵活部署。使用微模块，不仅可以大幅降低数据中心建设成本和建设周期，为数据中心客户日益注重的高可靠性和节能等要求，提供了可行解决方案。

微模块的行间空调使用的近端制冷的措施，节能方面的优点主要有：可以匹配任意功率密度；缩短送风距离，降低风机功耗（PUE 值减少 0.05 以上）；高送回风温度，除湿/加湿几率小，效率高，利于自然冷却（PUE 值减少 0.05 以上）；按需动态送风，冷气利用率高；布局简单、整齐、可灵活调整，能够有效降低数据中心的 PUE 值。

2.2.4 模块化 UPS 节能措施

为了响应《国家电网有限公司数据中心新技术应用指南》（信通技术〔2018〕66 号）中数据中心节能减排的需求，建设高效能数据中心，南瑞云数据中心采用模块化 UPS 系统。本次电源系统在方案调研阶段，对市场上的 UPS 电源做了深入的分析。对比内容如下表：

模块化 UPS 采用标准结构设计，由主机、电池和智能配电系统组成。每个系统由电源模块、静态开关和监控模块组成。电源模块可以并联，以平均分担负载，而且可以水平或垂直扩展。这种类型的 UPS 占用空间小，同时以模块作为安装、扩展和维护单元，均可支持热插拔并在线更换，具有在线扩展、维护方便的优点，最大限度地提高系统的可用性、灵活性及安全性。

模块化 UPS 采用“模块化冗余并联”技术避免了

表 1　UPS 电源技术对比

UPS 电源技术对比	工频 UPS	高频 UPS	模块化 UPS
弹性扩展	难以按需扩容	难以按需扩容	▲按需扩容
效率	低，低负载率及谐波治理措施导致运行效率远低于宣传效率，运行效率一般在 85%左右	较高，运行效率一般典型值 90%~94%	▲高，一般均采用低载高效设计，典型值 95%。模块 N+X 冗余配置时运行效率可达 96%
功率密度	低，内置变压器用于升压和产生中线，功率密度难以提升	▲较高，变压器取消之后效率有一定提升	▲较高，效率一般较高，易实现更大的功率密度
智能化程度	取决于设计，但是工频 UPS 主要厂商大多已停止研发，智能化程度相对较低	取决于设计	取决于设计。一般为各厂家高端产品，智能化程度较高，有设备自主调节功能。
谐波干扰	高，影响输出功率	▲低	▲低

备注：▲项为推荐选择项

资源浪费。在信息网络供电系统的建设中，高端 UPS 的容量如果估算不正确，产生过低或过高地预计，可能导致提高采购成本、无法满足负荷需求，造成资源、空间、能源的浪费。模块化 UPS 的可扩展模块结构有效地解决了这一问题，在未来发展不明确的情况下，帮助用户分期建设和投资。

电源相位多制技术的应用使得设备物资进一步节省，成本大幅降低。传统高端 UPS 的输入、输出相位是固定不变的，因此在供电系统建设过程中，为了考虑不同的相位和容量，往往会增加 UPS 的数量。电源相位多制技术可以改变以往单一性带来的限制，不仅可以节省设备数量，同时也可满足系统的需要。

南瑞云数据中心模块化 UPS 采用四电平控制逆变器技术，将功率器件 IGBT 的承压降低到 260V，使得元器件的耐压余量更大，显著提高了逆变器的可靠性。同时 IGBT 的开关损耗也降低到以前的 1/3，使得逆变器满载在线工作效率达到 96%。在超级旁路（E 变换）运行模式下，负载由旁路电源供电，逆变器工作在有源滤波器状态，消除掉旁路电源和负载之间的双向干扰，使得输入功率因数达到 0.99，提高了输出电源的供电质量。

2.2.5　智能小母线技术

数据中心的小母线与变电站的低压出线母线或传统大型建筑的主低压母线相比，不同之处只是容量比较小。一般情况下，该小母线的起始端与大母线相连，通过插接箱中的断路器与各 IT 机柜中的 PDU 相连，形成小母线终端供配电系统。

对比传统列头柜配电形式，小母线配电方案采用预置母线槽，可以根据柜内设备的用电需求，随时增减或更换插件，及时满足客户用电需求。使用即插即用配电单元设计大大方便了安装和使用，可在母线槽不停电的情况下进行连接或断开。它适用于 IT 业务不确定的发展需求，同时也可以满足规划的长期需求。使用小母线配电方案可以节省配电列头柜，腾出更多设备柜位，提高机房的有效利用率，提高经济效益。更重要的是可以随时适应设备配置的变化，当客户需求发生重大变化时，只需简单快速地更换插接箱的类型、数量和位置即可。

智能小母线使用寿命长达 25 年以上。由于采用模块化组装结构设计，可以多次拆卸、置换使用，避免投资浪费，最大限度地保护固定资产投资，间接增加系统的价值。当需要重新规划布局时，由于母线槽是模块化的，可以迁移母线槽的独立或整个部分，快速安装和使用。传统配电列头柜及电缆的使用寿命约为 8~10 年，一旦扩容或搬迁，列头柜及电缆无法重复使用。因此，母线槽系统的使用寿命是列头柜系统的 2~3 倍以上，同时可以重复使用，降低了长期应用成本。

2.2.6　空调系统节能措施

空调能耗占数据中心总能耗的 30%~45%，在规划中采取先进空调节能措施对整个数据中心的节能具有重要意义。

南瑞云数据中心空调系统在方案调研阶段，对以下 4 种冷源方案从空调系统能耗、实用性等方面做了深入的分析。对比内容如下表：

按照调研结果，选择采用风冷变频氟泵智能双循环技术。氟泵技术将传统的压缩机机电制冷、混合制冷、节能制冷三种方式集成为一套系统，在结构、安装、控制、运行等方面形成一体化设计，不仅没有增加设备，而且大大提高了整套节能系统的可用性和可靠性，维护也更加方便。氟泵制冷循环消耗功率仅为

表 2　配电方式节能技术对比

智能母线与列头柜配电比较	智能母线配电	列头柜配电
敷设方式灵活性	架空、地板下均可	架空、地板下均可
配电灵活性	▲较高，可根据后期末端机柜实际容量按需配电	一般，施工完成后，如末端负载变化，如开关电缆不满足要求则需要改造
可扩展性	▲高	低
空间占用	▲不占用机柜空间	占用机柜空间
快速部署	▲可快速部署	不能快速部署，现场施工量大
模块化	▲全模块化	局部模块化
维护	▲免维护	需要维护
工艺变化适应性	▲高，部件重复利用	低
绿色环保	▲高，工厂化预制，现场施工量小	低，设备工厂化预制，管线现场施工量大
预期寿命	▲约 30 年	约 15 年
5 年生命周期 TCO	▲较低（因多出机柜的收益，及免维护导致的运维费用降低）	适中

备注：▲项为推荐选择项

表 3　冷源方案对比

冷源方案对比	风冷冷水空调系统	水冷直膨空调系统	传统风冷直膨空调系统	风冷直膨氟泵空调系统
能耗分析	耗电量较低 PUE=1.58	耗电量较高 PUE=1.63	耗电量最高 PUE=1.67	▲耗电量最低 PUE=1.50
空调承重	460kg/㎡，建议加固	420kg/㎡，建议加固	▲150kg/㎡，无需加固	▲160kg/㎡，无需加固
运维情况	监控信号多，运维复杂	监控信号多，运维复杂	▲监控信号少，运维简单	▲监控信号少，运维简单
水患风险	冷冻水型列间空调；冷冻水进机房，风险大	水冷直膨型列间空调，无法设置双盘管自然冷却；冷却水进机房，风险较大；如果避免水患采用换热器远置，则需要占地面积影响机柜数量	▲直膨型列间空调；无冷冻水进机房，风险低	▲直膨型列间空调；无冷冻水进机房，风险低

备注：▲项为推荐选择项

0.5KW 左右，远低于相同制冷量下压缩机的消耗功率，这是该技术最突出的节能特点。据统计，与传统压缩制冷循环相比，氟泵制冷循环冬季节能率约 70%，全年节能率约 30%。氟泵机构冷循环时，压缩机停止工作，也大大延长了压缩机的使用寿命，进而提高了空调的整体使用寿命。

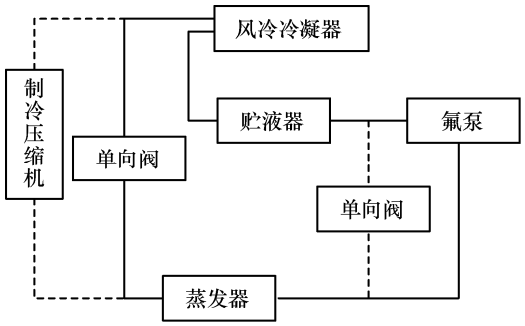


图 2　氟泵空调工作示意图

机组智能控制器可以智能调节制冷模式。当满足设定条件时，自动切换制冷模式，确保机组节能安全运行。夏季室外温度较高，采用压缩机制冷方式；过渡季节采用压缩机+氟泵混合制冷方式；冬季室外温度较低时，启动节能系统循环，利用室外低温对制冷剂进行冷却，通过氟泵将制冷剂送入室内机。在此模式下，机组可完全关闭压缩机，达到节能效果。

本次空调系统还采用 EC 风机控制、电子膨胀阀控制技术调整风机输出；使用变频压缩机，随负荷变化调整冷量输出，提高能效；室外机使用调速器根据冷凝压力无级调速，采用“V”型集中式冷凝器，更好地控制冷凝压力；机组风机采用无级变频调速，实时调节风机的转速，以达到节能的目的。

2.2.7　电气系统节能措施

配电设施靠近负荷中心，特别是机房模块的 UPS 配电室位于模块隔壁，大大减少了线路损耗，节约了

线路成本。选用高效节能 LED 灯作为光源，节约电能。

2.2.8 AI 智能控制

AI 智能控制系统用于实时监控数据中心内的所有系统，并根据优化算法进行控制和调整，使 PUE 值达到最佳状态。预计采用 AI 智能控制系统后，整个机房配套系统的能耗将节约 10%，大大降低数据中心的碳排放。

南瑞云数据中心采用三维虚拟仿真技术，实现对数据中心、大楼等环境的可视化监控，通过与 DCIM 平台的数据连接，提高数据中心的控制能力和管理效率。该系统将所有集成数据以三维可视化效果呈现给机房管理人员和运维人员，可以有效降低机房管理的复杂性，降低分级管理的难度，简单、直观、全面地控制机房的运行动态，并通过 AI 智能控制系统，优化设备运行状态。

2.2.9 市场化采购可再生能源

自今年以来，中国新的光伏和风力发电项目被要求平价上网。最近，国内也已出现了成本低于 0.1 元/度的风电项目。未来，由于技术进步、规模经济等因素，光伏发电和风力发电成本仍有进一步下降的空间。按照碳达峰的要求，到 2030 年，中国光伏和风电总装机容量将达到 12 亿 kW。如何吸收这些发电容量将是一个大话题，但这对于基于清洁能源的“碳中和”数据中心来说意味着巨大的发展机遇。

“碳中和”数据中心需要充分利用电力市场交易、节能环保技术、清洁能源技术，最大限度地利用各种冷能资源和洁可再生能源，并在必要时使用碳交易手段在数据中心实现碳抵消。

在清洁能源产业大发展的背景下，从经济的角度来看，随着可再生能源发电成本的不断降低将越来越有竞争力。待到清洁能源产业成熟后，南瑞云数据中心将充分利用电力市场交易，最大限度利用清洁可再生能源、优化用能结构，实现碳中和目标。

3 南瑞云数据中心低碳节能技术实践效果分析

南瑞云数据中心已建设完成并投入运行，并且针对性能、功能、运维三个方面对其进行综合测试的验证，确保各系统之间的有效互通，杜绝安全隐患，保障后期运维管理。

按照南京的全年温度场分部，使用氟泵空调，相对于普通精密空调，能够实现节能 25.92%。经过对风冷变频氟泵智能双循环空调能效的现场实测，检测数据如下：

UPS 在各种运行模式下转换效率测试结果如下：

经过第三方检测机构对本数据中心挂表检测，测得最终 PUE 值为 1.469，达到改造数据中心低碳节能设计要求。

表 4 风冷变频氟泵智能双循环空调能效实测

室外环境温度，℃		35	25	15	5
列间空调（40kW）	制冷量，kW	40.68	42.28	42.07	43.36
	功率，kW	12.28	11.37	10.65	9.81
	能效比	3.31	3.72	3.95	4.42
温度分布系数（南京）		0.077	0.298	0.269	0.276
全年综合能耗（40kW 普通空调）		10.04			
全年综合能耗（40kW 氟泵空调）		7.43			
节能率		25.92%			

表 5 UPS 转换效率测试结果

UPS 转换效率	正常运行模式	ECO 模式	E 变换	电池运行模式
电压（V）	400	400	400	400
25%负载	95.6%	98.2%	97.9%	97.9%
50%负载	96%	98.9%	98.7%	98.7%
75%负载	95.6%	99%	98.9%	98.9%
100%负载	95.1%	99.1%	99%	99%

表 6　数据中心 PUE 测试结果

能耗		涉及设备	单设备平均耗电情况（kW·h）	设备数量	能耗小计
总能耗	主设备能耗	网络机柜	9	44	396
	主设备能耗	网络机柜	6	89	534
	制冷能耗	列间空调（40kW）	6.53	31	202.43
	制冷能耗	精密空调	9.33	4	37.32
	制冷能耗	精密空调	4.66	2	9.32
	照明能耗	照明灯具	0.03	147	4.41
	电源系统能耗	电源列柜	0.27	133	35.91
	其他能耗	/	0.1	1470	147
PUE					1.469

4　结束语

通过南瑞云数据中心的建设、运营及测试，我们积累了一定的经验，同时也发现一些细节有待完善。我们将在规划后期建设的时候吸取经验，继续统筹效率和降碳的关系，探索新绿色节能技术的应用。在后期的规划中，我们会从以下几个方面深入探究：

建设过程中的节能。对于建筑碳源、数据中心的节能从规划设计入手，尽量减少采暖、照明等生活能耗。使用自然通风和绿色建筑材料，有效减少施工期间的碳排放；优先应用先进的绿色技术产品。重点应用高密度集成等高效 IT 设备、液冷等高效制冷系统、高压直流等高效供配电系统、能效环境集成检测等高效辅助系统技术，选用间接蒸发冷却、HVDC+市政供电、冷热通道隔离等节能技术和系统方案，以减少数据中心能耗；自建分布式清洁可再生发电系统。探索分布式光伏发电、风力发电、燃气分布式能源供应等支撑系统建设，就地吸收新能源，推动新数据中心高效利用清洁可再生能源，优化能源消费结构，开发调峰柔性电源和储能设施等技术，将电化学储能、压缩空气储能和制氢储能相结合，帮助实现“双碳”的目标；发展余热回收技术，提高能源利用率。根据余热回收原理，研究节能应用方案，以满足园区供热及热水需求。同时，余热回收也会缩短冷却环节的时间。冷却环节全年可节省约 3%-5%的电力，间接节省电力能源、降低碳排放；采用自然冷源和制冷技术。数据中心可选址建设在洞穴和湖泊附近，充分利用外部自然资源对服务器进行冷却散热。利用该地区常年凉爽的气候，采用自然冷源与高效制冷设备（如 AHU 空调）相结合的方案，以降低 PUE；配备灵活电源装置。在可再生能源广泛使用的情况下，合理配置灵活电源，保证设备不间断供电。从快速响应和调峰输出角度考虑，选择燃气轮机+天然气作为备用灵活电源，完全可以满足数据中心的灾备需求。

目前国内的电力交易市场机制还不完善，有待相关政策的进一步完善，除此以外，地球资源也是有限的，所以，提高数据中心能源利用率、降低 PUE 值永远是值得思考的问题。南瑞集团作为专业从事电力自动化软硬件开发和系统集成服务的提供商，为适应全球数字化发展，在空间、环境、资源等诸多条件限制下实践和探索数据中心低碳节能技术的应用成效，能为电力行业其他企业发展低碳数据中心提供借鉴参考，共同推进电力行业数据中心“碳中和”进程。

参考文献：

[1] 王月, 张一星, 李洁. 数据中心低碳发展分析与展望[J]. 通信世界, 2021(15): 42-44.

[2]张永泽,张诗雨,朱雨萌. “碳中和”数据中心：概念、特征与实现路径[D]. 北京: 北京邮电大学经济管理学院, 2021.

[3] 徐先珍, 洪维龙. 模块化电源在广电网络中的应用与维护[J]. 数字技术与应用, 2012(7): 36.

[4] 陈宇豪, 刘淼, 佟艳秋. 支撑现代化 IT 系统的 UPS 电源体系[J]. 东北水利水电, 2007, 25(9): 14-15.

[5] 颜博艺. 新一代云计算模块化数据中心探讨: 以中国电力科学研究院为例[J]. 中国管理信息化, 2018, 21(22): 50-53.

[6] 黄永生. 轨道式母线槽在数据机房电气系统中的应用[J]. 新一代, 2017(12): 191-192.

[7] 尧素贞. 智能小母线在数据中心的应用[J]. 百科论坛电子杂志, 2020(6): 1311.

[8] 周媛媛, 陈月琴. 大中型数据中心基础设施综合造价技术应用[J]. 电信快报, 2019(1): 26-29, 37.

[9] 陈海东. 氟泵节能空调的节能技术和效果分析[J]. 邮电设计技术, 2014(12): 83-86.

[10] 丛志茹, 张素平, 郑玉红. 关于降低核心机房空调能耗的方案分析[J]. 内蒙古煤炭经济, 2014(7): 152-153.

[11] 李建超. 数据中心可视化集中管理平台系统设计与构架[J]. 信息通信, 2017, 30(1): 185-186.

[12] 丛志茹, 张素平, 郑玉红. 关于降低核心机房空调能耗的方案分析[J]. 内蒙古煤炭经济, 2014(7): 152-153.

[13] 吴大江. 现代通信建筑设计中的绿色技术应用研究: 以数据中心为例[D]. 南京: 东南大学, 2015.

[14] 胡建明. 模块化 UPS 若干关键技术研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2017.

[15]津碳未来.2021 年数据中心实现碳中和路径分析[R].天津：天津津碳未来环保技术开发有限公司.2021.

支撑新型电力系统建设的信息通信创新能力评价指标体系

那琼澜[1]，苏丹[1]，杨艺西[2]，贺惠民[1]
（1.国网冀北电力有限公司信息通信分公司，北京 100053；2.国家电网有限公司信息通信分公司，北京 100761）

摘　要：通过探索企业科技创新能力评价方法，构建电力信息通信企业科技创新评价指标体系，利用层次分析法对指标权重进行赋值，力求较为准确并定量对电力信息通信企业的科技创新能力作综合评价，提出增强电力信息通信企业科技创新能力的提升路径，本文研究结果对深化创新驱动发展战略、推进国家电网有限公司新型电力系统示范建设、促进创新发展和技术进步具有积极的现实意义。

关键词：新型电力系统；层次分析法；创新能力评价；指标体系

1　引言

2021 年 3 月 15 日，中央财经委第九次会议上提出，构建以新能源为主体的新型电力系统[1]，在这一目标下，作为能源转型的重要环节构建新型电力系统的基础平台[2]，电网公司将在能源系统中扮演主要角色。面对“清洁能源供需极度失衡矛盾日益突出、能源效率的提高与终端用电替代进入瓶颈阶段、高比例新能源带来系统性不确定性风险”三大挑战，要促进传统的电力系统以信息通信新技术为动力，加快推进电网数字化转型，推进传统电力网络向能源互联网升级。在这样的背景下，电力企业信息通信产业已经由传统的基础通信网络经营范畴，到中间层电网生产业务与信息化技术融合发展，更加向上层延伸成为支撑新型电力系统示范建设的坚实基础[3]。目前，电力信息通信企业的科技创新能力已不再仅限于技术应用或竞争优势，而是成为电网公司发展、产业融合和科技创新的必备能力。特别是深入贯彻落实“四个革命，一个合作”能源安全新战略和“双碳”目标，作为科学和技术创新最活跃的领域，电网信息通信企业创新能力对创新驱动发展具有重要意义。

关于电力信息通信产业科技创新能力的论述主要经历了“科技进化-技术扩散-技术和经济增长-技术创新-技术和社会发展”5 个阶段。第一，早期施叶兰[4]等相关研究集中于技术领域，用纯技术的观点分析电力无线通信技术、电力信息安全等信息通信技术的产生与演化。第二，改革和传播信息和通信技术，其对传统电力行业及其相关领域的影响日益凸显，汤磊[5]等提出信息通信技术的外溢效应开始受到关注，并发现信息通信技术对提高电网效率在电力系统故障诊断、电力系统自动化等领域的应用有着重要作用。第三，苏波[6]等发现在推进电力系统发展过程中，信息通信技术发挥着重要作用，我国电力信息通信产业发展对经济增长的促进作用，这一效应还可分为替代效应和渗透效应。第四，2015 年以后，以创新驱动发展战略为导向，信息传递能力与创新的关系问题开始成为新的研究课题，王毅[7]等从对技术创新、区域创新、企业创新、绿色创新等方面对创新能力进行了研究。第五，电力信息通信企业创新能力与新型电力系统示范建设之间的关系是当前电力信息通信领域的前沿课题。总之，从 5 个阶段来考察，可以看到电力信息通信企业的创新能力从单一技术范畴到较为复杂、多样化的范畴，虽然电力信息通信技术仍然是核心内容，但也逐渐被赋予了创新、服务等新内涵，创新能力评价也有了新的范畴[8]。

大部分电力信息通信产业创新能力评估的研究，目前仍停留在信息化水平这一研究体系中。主要从电力企业的特点出发，从战略定位、基础设施、业务应用、人力资源、信息安全、效益指数等方面进行分析，确立了电力企业信息化水平评价指标体系。同时，根据调查结果和专家意见确定各指标体系的权重，对电力企业信息化水平评价作了更深层次的探索。孙启蒙[9]从当前电力企业科技水平和科技需求出发，从科技硬实力、科技软实力、科技创新能力 3 个层次构建评

价指标体系，应用 10 级指标体系和 22 个具体指标，用鲁棒支持向量机优化指标权重，使电力企业的科技创新水平更为科学地反映，对电力企业开展科技创新水平的量化测算与实证研究提供帮助。按照持续发展、技术领先、重点突出的原则，张力晨[10]等构建了一套科技项目立项验收评价指标体系，以适应现代电力科技项目管理需要，为科技项目管理提供评价方法和改进建议[11]。

本文通过文献综述，结果表明对我国电力信息通信企业创新能力的评估明显滞后于信息通信技术的快速发展。主要表现在 3 个方面：首先，电力信息通信企业的创新能力已经由单纯的技术范畴转变为一般能力或基本服务，同科技创新、企业发展紧密联系；但学术界对电力信息通信企业创新能力的评价仍停留在技术层面、基础设施层面，对创新、服务这些新趋势、新特点的关注还远远不够[12]。第二，随着电力信息通信技术与产业的迅速发展，特别是近几年 4G/5G 迅速崛起，6G 研究已经悄然兴起，AI、物联网、区块链等技术潜力不断涌现，电力信息通信技术创新能力对电网发展的影响越来越大。第三，创新驱动发展战略提出后，我国电力信息通信企业在发展、技术应用、资源能力等方面发生了巨大变化，目前已有的研究成果和评价方法已经滞后，迫切需要进行新的探索。尤其是目前的电力信息通信技术能力，对新型电力系统示范建设具有战略意义。因此，有必要在新型电力系统示范建设背景下，对电力信息通信企业创新能力的评价指标体系进行研究。

2 研究方法概述

2.1 层次分析法

国内外学者提出了多种衡量企业创新能力的方法，大部分都是采用 Analytic Hierarchy Process（AHP）法对企业创新能力进行系统分析[11]。AHP 是美国运筹学家 T.L.Saaty 教授在 70 年代提出的系统分析法，这种方法将问题看作一个系统，根据问题的性质和要达到的总目标，将问题分解为不同的组成元素，基于要素间的相互关联和隶属关系，将各因素归结为不同的层次，构建多层次分析结构系统[13]。AHP 法从总体上考察企业科技创新能力各个方面的基本状况和发展状态，也可以利用各个层次指标的相关性比较相对水平，探究相关原因，得到广泛认同与应用。

2.2 建立递阶层次结构

AHP 结构模式一般包括以下 3 个层次：

（1） 目标层（最高层）

层次上只有一个元素描述了问题的目标；

（2） 指导性（中间层）

此层包含实现目标所涉及的作为具体描述和扩展目标的中间环节；

（3） 指示层（措施层）

这一层也是最底层，它是指导的细化[14]。

AHP 采用两种比较的方法，应该由决策者或专家作出回答：同一指标的两个子指标，哪个更重要，重要多少？此外，AHP 所引用的 9 级体系比较了其重要性的定量判断。判断矩阵元素的取值根据客观实际情况对各因素相对重要性的主观认识和评价，一般以 1,3，…，9 及其倒数作为标度；2,4,6,8 是上述相邻判断的中值，其含义见表 1。

表 1 标度含义

标度	含义
1	表示两个元素相比，具有同等的重要性
3	表示两个元素相比，一个元素比另一个元素稍微重要
5	表示两个元素相比，一个元素比另一个元素明显重要
7	表示两个元素相比，一个元素比另一个元素强烈重要
9	表示两个元素相比，一个元素比另一个元素极端重要
2468	表示两个元素相比，一个元素比另一个元素的重要性在上述描述之间

2.3 建立递阶层次结构

一层排序是指根据判断矩阵，计算前一层元素及其相关元素的重要权重。单一判决排序主要计算判断矩阵的最大特征值和对应的特征量，以及判断矩阵 C，必有符合$|\lambda I-C|=0$（I 为单位矩阵）的最大特征值 $\lambda_{max}\geqslant n$ 存在，且为单根。如果判断矩阵有完全一致的话，$\lambda_{max}=n$，其他的特征值都是 0。用判别矩阵的最大特征值计算相应的本征量，它应满足 $CW=\lambda_{max}W$ 的 W，W 的分量 W_i 就是对应元素单排序的权重。

2.4 一致性检验

应用一致性指数 CI 检验判断矩阵的一致性，其值按式 $CI=\frac{\lambda_{max}-n}{n-1}$ 计算。如果判断矩阵是完全一致的，那么有 $\lambda_{max}=n$，则 CI=0；如果 λ_{max} 略大于 n，而判别矩阵的一致性检验。用 CR=CIRI 计算，CR=CIRI 引入平均随机一致性指标 RI 计算判断矩阵的一致性（见表 2）。对于 n=1 或 2，判断矩阵的 CR=0 定义为 CR=0；当 n>2 时，判断矩阵的 CR 值为 0，

判断矩阵的 CR 值为 0，可作为一层的一致性进行分析；如果获得 CR=2，则需要调整和修正矩阵。

表 2　RI 的取值

维数	1	2	3	4	5
RI	0	0	0.58	0.90	1.12
维数	6	7	8	9	10
RI	1.26	1.32	1.41	1.46	1.49

3　电力信息通信企业科技创新能力评价

3.1　电力信息通信能力评价指标体系的构建

由于电力信息通信领域的特点，造成电力信息通信系统科技创新能力评估标准缺乏统一标准。因各国信息通信产业发展水平不同，ITU 发布的信息社会发展指数具有较高的权威性。导致某些指标得不到有效数据，影响了各国研究的适用性[15]。国内外学者试图从信息通信企业公共服务、信息通信度等方面构建评价体系，以研发、创新为视角研究信息通信产业与企业创新。在服务能力评价方面，学界从服务效率、服务质量、公众责任、公众满意度、投入程度、服务过程、服务产出和社会效益等维度进行了评价。信息交流能力是一个复杂的多因素系统，电力信息通信企业科技创新能力评价指标体系是选取关键技术创新力各维度典型指标，具体包括创新经费、创新人力、创新设施、创新产出 4 个一级指标、12 个二级指标，利用统计、专家打分方法将其合成计算，用科学的评估指标体系反映了电力信息通信企业科技创新能力的现状，真实地测量、反映和动态评价电力信息通信企业科技创新能力的现状[16]。

基于科学与完备、层次与单一、可计算与可操作、动态与通用等原则，为每一个细分指标建立计算规则、评分方法和权重设置，构建电力信通企业关键技术创新能力评价指标体系（见表 3）。

3.2　运用 AHP 法确定评价指标的权重

运用专家调查法，10 名专家通过了解各层次指标的相对重要性，独立做出判断，然后对各指标的重要程度进行评分。本文以创新成果产出指标评分为例介绍了权重的计算过程[16]。

首先，构造判断矩阵（见表 4）。

表 3　电力信息通信能力评价指标体系

电力信息通信企业科技创新能力评价指标体系	
一级指标	二级指标
创新经费 A1	（1）创新经费投入占主营业务收入比重 B1
	（2）R&D 经费支出占主营业务收入比重 B2
创新人力 A2	（1）R&D 人员占公司全体员工比重 B3
	（2）R&D 人员中博士及以上学历人员占比 B4
创新设施 A3	（1）关键技术实验室数量 B5
	（2）关键技术设备配置率 B6
	（3）网络等信息设施 B7
创新产出 A4	（1）关键技术成果转化率 B8
	（2）专利申请数量 B9
	（3）专利授权数量 B10
	（4）标准 B11
	（5）科技出版物（论文）B12

然后，通过求各判断向量的最大特征值和特征量，并将各判断矢量归一化，最后对行向量进行归一化处理，这样就计算出创新成果产出（A4）的权重集：W_4=〔0.122 0.329 0.157 0.129 0.263〕。

计算判断矩阵的最大特征根 λ_{max}：

$$\lambda_{max}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{(AW_i)}{W_i}=5.3267$$

最后，进行一致性检验判断向量权重。

1）一致性指标 CI=$\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{\lambda_{max}-n}{n-1}$=（5.3267-5）

表 4　AHP 数据判断矩阵

关键要素	关键技术成果转化率	专利申请数量	专利授权数量	专利授权率	科技出版物（论文）
关键技术成果转化率	1.000	0.500	0.500	1.000	0.500
专利申请数量	2.000	1.000	3.000	3.000	1.000
专利授权数量	2.000	0.330	1.000	2.000	0.330
专利授权率	1.000	0.330	0.500	1.000	1.000
科技出版物(论文)	2.000	1.000	3.000	1.000	1.000

/ 4=0.0817

2）平均随机一致性指标 RI＝1.12

3）随机一致性比率

CR=CI/RI=0.0817/1.12=0.0729<0.1

因此认为判断矩阵有较好的一致性（见表 5）。

表 5　AHP 层次分析结果

项	特征向量	权重值	最大特征值	CI 值
关键技术成果转化率	0.601	12.2%		
专利申请数量	1.578	32.9%		
专利授权数量	0.816	15.7%	5.3267	0.0817
专利授权率	0.678	12.9%		
科技出版物(论文)	1.328	26.3%		

同样，通过专家调查表，对创新经费、创新人力、创新设施等指标进行重要度排序和一致性检验。检查结果表明，10 份专家咨询表格中各项指标和综合指标的总体排序大致相同，最后，以 10 份专家意见表为基础，计算各单项指标的平均值，并计算出各指标的权重[17]，见表 6。

4　结束语

4.1　电力信息通信企业科技创新能力评价指标体系研究结论

电力信息通信企业科技创新能力的培养已成为当前构建新型电力系统模式创新的重要途径[18]。为此，本文运用层次分析法(AHP)对电力信息通信企业科技创新能力的评价进行定量的实证研究，结果表明，电力信息通信企业科技创新能力评价指标体系，在准则层的权重中，构成要素权重排序依次为创新经费（A1）=创新产出（A4）＞创新人力（A2）=创新设施（A3）。

在指标层的权重中，“创新经费投入占主营业务收入比重”（η_1=0.15）、“R&D 经费支出占主营业务收入比重”（η_2=0.15）的权重最大，其表明所有指标中科技创新投入所含的作用最大。权重排在第二位为“关键技术设备配置率”（η_6=0.08），其表明科技创新技术研发离不开先进的信息通信实验设备。权重排在第三位为“专利申请数量”（η_9=0.0675）、“专利授权率”（η_{10}=0.0675）、“专利占有率”（η_{12}=0.0675）、“发明人集中度”（η_{13}=0.0675）、合作申请专利占比（η_{15}=0.0675）、专利质押数（η_{17}=0.0675）、专利平均被引次数（η_{18}=0.0675）、授权专利平均权利要求项数（η_{20}=0.0675），说明专利申请和授权是电力信息通信企业科技创新能力评价的重要指标。

4.2　电力信息通信企业科技创新能力培养对策建议

受创新驱动发展战略、新一代信息和通信技术、人工智能、数字经济等新兴业态及诸多现实因素的影响，未来提高电力信息通信企业的科技创新能力需要多种渠道解决研发资金、推进实验室体系建设、加强知识产权管理等措施。具体地说，提出以下政策建议。

第一，加强保障机制建设，多种渠道解决研发资金。实施科学研究领域的“放管服”改革，完善相关制度、标准和流程，加强业务培训和跟踪指导。按照“项目负责人制”进行管理，充分赋予负责人管人、管钱、管项目、管激励的权力，进一步提升了项目负责人的创新潜能。以电力信息通信技术创新资源配置为重点，建立有效的组织保障和资源投入机制，依托国网公司、冀北公司、各单位成本资金等形成梯次持续的资源投入模式，把有限的资源集中在核心技术和业务导向上。争取公司相关职能部门在前沿技术储备、资金投入上的倾斜，夯实创新发展基础，持续优化科技创新投入。在加大科研投入的同时，加强对资金使用的指导和监管力度，保障资金链的全过程闭环运作，确保经费使用合理、投入精准，满足各层面创新需求[19]。

第二，推进实验室体系建设，提升整体创新能力。为进一步巩固电力信息通信专业实验研究优势，拓展基础支撑技术研究能力，完善公司实验研究体系，强化核心技术实验研究能力布局，加速薄弱技术、新业态等领域实验研究能力建设。依托《张家口（冬奥）能源互联网综合示范工程》，围绕电力物联网、网络安全测评与攻防、人工智能等技术领域，采用独立申报和联合申报两种方式，整合公司内外部实验室资源，筹备实验室建设，从而覆盖未来 5 年及以上公司拟建设的实验研究能力，促进各板块数据融通，实现主数据共建共享，促进若干领域研究高峰形成[20]。

第三，提升知识产权管理，赢得技术竞争主动权。深入贯彻知识产权战略部署，以电网发展和信息通信专业发展为导向，加强专利布局，完善专利创造制度，自主创新与成果转化能力的持续提升，加速建设具有全球竞争力的世界级能源互联网企业提供强有力的科技支撑。以“技术引领”为目的，全面梳理公司具

表 6　电力信息通信能力评价指标体系（含权重）

电力信息通信企业科技创新能力评价指标体系（含权重）								
一级指标	权重	二级指标	权重	三级指标	权重	四级指标	权重	指标权重
创新经费 A1	0.3	创新经费投入占主营业务收入比重 B1	0.5					0.15
		R&D 经费支出占主营业务收入比重 B2	0.5					0.15
创新人力 A2	0.2	R&D 人员占公司全体员工比重 B3	0.7					0.14
		R&D 人员中博士及以上学历人员占比 B4	0.3					0.06
创新设施 A3	0.2	关键技术实验室数量 B5	0.3					0.06
		关键技术设备配置率 B6	0.4					0.08
		网络等信息设施 B7	0.3					0.06
创新产出 A4	0.3	关键技术成果转化率 B8	0.2					0.06
		专利申请数量 B9	0.3	创新活跃度 C1	0.25	专利申请数量 D1	0.3	0.00675
		专利授权数量 B10				专利授权率 D2	0.3	0.00675
						有效专利数量 D3	0.4	0.009
				创新集中度 C2	0.25	专利占有率 D4	0.3	0.00675
						发明人集中度 D5	0.3	0.00675
						发明专利占比 D6	0.4	0.009
				创新开放度 C3	0.25	合作申请专利占比 D7	0.3	0.00675
						专利转让数 D8	0.4	0.009
						专利质押数 D9	0.3	0.00675
				创新价值度 C4	0.25	专利平均被引次数 D10	0.3	0.00675
						获奖专利数量 D11	0.4	0.009
						授权专利平均权利要求项数 D12	0.3	0.00675
		标准 B11	0.2	参与标准制定数量 C5	0.5			0.03
				参与标准制定贡献率 C6	0.5			0.03
		科技出版物(论文)B12	0.3	出版物数量与质量 C7	0.5			0.045
				论文发表数量与质量 C8	0.5			0.045

有信息通信专业领先的研发成果，围绕电力物联网、人工智能、区块链等主导技术研发方向的专利布局，抢占电力科技前沿，保护未来竞争优势。将专利布局贯穿于项目立项、研发和成果产出的科研全过程，提升创新成果的价值和效益，提高专利布局工作的质量与深度。与此同时，公司积极开展知识产权相关培训，深化科技人员对知识产权的认识与重视，为自身科技成果在市场竞争中赢得主动权。

参考文献：

[1] 赵剑波, 王蕾. “十四五”构建以新能源为主体的新型电力系统[J]. 中国能源, 2021, 43(5): 17-21.

[2] 刘学军. 刘学军：加快构建新型电力系统推动可再生能源高质量发展[J]. 能源, 2021(7): 39-40.

[3] 韩肖清, 李廷钧, 张东霞, 等. 双碳目标下的新型电力系统规划新问题及关键技术[J]. 高电压技术, 2021, 47(9): 3036-3046.

[4] 施叶兰. 福州地区电力高山无线通信中继站选址的建议[J]. 福建电力与电工, 1998, 18(3): 45-47.

[5] 汤磊, 孙宏斌, 张伯明, 等. 基于信息理论的电力系统在线故障诊断[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23(7): 5-11.

[6] 苏波, 袁辉, 王碧翠. 电力系统通信发展趋势研究[J]. 科技信息(学术研究), 2008(20): 175-176.

[7] 王毅, 陈启鑫, 张宁, 等. 5G 通信与泛在电力物联网的融合: 应用分析与研究展望[J]. 电网技术, 2019, 43(5): 1575-1585.

[8] 陶秋燕, 高腾飞, 黄艳. 创新驱动背景下我国信息通信能力评价研

究[J]. 技术经济, 2019, 38(11): 74-82.
[9] 孙启萌. 我国电力企业科技评价指标体系构建研究[J]. 中国流通经济, 2009, 23(11): 51-54.
[10] 张力晨, 邵广洪, 徐铭, 等. 天津市电力公司科技项目评价体系的构建[J]. 天津科技, 2005, 32(6): 19-20.
[11] 邓雪, 李家铭, 曾浩健, 等. 层次分析法权重计算方法分析及其应用研究[J]. 数学的实践与认识, 2012, 42(7): 93-100.
[12] 杨思思, 李贺南, 宋微, 等. 吉林省科技综合实力评价指标体系及分析方法研究[J]. 价值工程, 2016, 35(36): 36-38.
[13] 郭金玉, 张忠彬, 孙庆云. 层次分析法的研究与应用[J]. 中国安全科学学报, 2008, 18(5): 148-153.
[14] 李金云. 我国煤炭企业信息化及其水平评价研究[D]. 淮南: 安徽理工大学, 2009.
[15] 程春艳, 周风英, 连文威, 等. 中国煤化工产业区域竞争力评价[J]. 中国矿业, 2019, 28(7): 13-18.
[16] 常建娥, 蒋太立. 层次分析法确定权重的研究[J]. 武汉理工大学学报(信息与管理工程版), 2007, 29(1): 153-156.
[17] 王靖, 张金锁. 综合评价中确定权重向量的几种方法比较[J]. 河北工业大学学报, 2001, 30(2): 52-57.
[18] 徐立平, 姜向荣, 尹翀. 企业创新能力评价指标体系研究[J]. 科研管理, 2015, 36(S1): 122-126.
[19] 涂昕. 电力通信网 IP 与光层融合模型及协同控制技术研究[D]. 北京: 华北电力大学(北京), 2020.
[20] 许婷华. 青岛沿海地区深基坑支护施工方案优化与质量控制研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2006.

大型电力企业集团网络安全威胁情报管理体系的研究与实践

陈伟雄，杨晓晨，春增军，李若兰，张华
（中国广核集团有限公司信息技术中心，广东 深圳 518000）

大摘要：

网络安全是国家安全的重要组成部分，是国家安全的基础。近年来，党中央高度重视网络安全工作，就做好网络安全工作提出明确要求，采取措施，监测、防御、处置境内外的网络安全风险和威胁，加强网络安全信息统筹机制、手段、平台建设，建立健全网络安全保障体系，全方位提升网络安全防护能力。

自从全球突发新冠肺炎疫情以来，有组织、有目的的网络攻击形势和网络安全威胁更加明显，加强网络安全情报收集和应急处置是大型企业网络安全防护能力的重要基础工作，当前网络安全威胁情报的存在如下问题：1）情报来源多、范围广问题；2）情报价值与漏洞风险评价问题；3）网络安全情报快速处置问题。

国内外有关网络安全威胁情报做了前瞻性研究，对当前网络安全威胁情报具备一定参考价值，但是在网络安全实践中，需要进一步验证，我们提出建立大型企业网络安全威胁情报管理工作体系，包括情报来源、情报研判、情报处置、情报平台、情报绩效 5 个方面内容。

（1）情报来源：建立网络安全威胁情报主动收集机制。网络安全情报包括漏洞风险、恶意程序、病毒木马、钓鱼攻击、APT 攻击等信息，有来自国家漏洞中心、应急响应中心、国内主流网络安全机构，也有来自非公开情报机构等。

（2）情报研判：根据不同漏洞类型评估紧急程度。网络安全情报根据不同漏洞类型进行技术研判，主要包括 WEB 漏洞、系统漏洞、服务漏洞、协议漏洞。根据网络安全情报确定超高危、高危、中危、低危漏洞，并根据情报评估规则，判定紧急程度（高、中、低）及其对应优先级别。

（3）情报处置：建立网络安全威胁情报标准化处置流程。建立了网络安全威胁情报的标准化处置流程（SOP），包括情报收集、分类处理、处置反馈、通报考核方面。

（4）情报平台：建立网络安全情报管理平台。网络安全威胁情报纳入集团网络安全管理平台专项跟踪，实现电子化管理，及时统计和提醒下属各单位网络安全漏洞排查整改情况，并通过邮件或手机短信等形式进行提醒。

（5）绩效评估：加强各网络安全情报绩效评估工作。网络安全情报来源主要分为外部情报与内部威胁情报，外部威胁情报来自相关机构提供的情报信息。

大型网络安全威胁情报管理平台已经在某大型企业初步应用，并在网络安全演习期间及时发布安全漏洞情报排查通知，累积漏洞修复率高达 99.7%，弥补了网络安全管理薄弱节点，保障网络安全演习工作取得了预期成果。在后续网络安全演习中，加强网络安全威胁情报工作方法论研究，积极向优秀网络安全单位学习经验，充分利用网络安全保障机构力量，利用“以攻促防”的理念，努力做好网络安全保障工作，快速提升电力企业网络安全防护能力，持续打赢电力企业网络安全保卫战。

关键词：网络安全；威胁情报；漏洞评估；绩效评价

电力科技图谱柔性构建方法

刘文松[1]，胡竹青[1]，张锦辉[1,2]，刘雪菁[1]，林峰[1]，俞俊[1]，徐一丹[1]
（1. 国网电力科学研究院有限公司，江苏 南京 211000;
2. 江苏瑞中数据股份有限公司，江苏 南京 211000）

大摘要：

科技文献是反映研发人员科研创作过程和成果的载体。电力企业科技文献一般包括专利、软著、论文和研究报告等内容。面向电力企业科研管理和分析应用，传统方法（主要指科技文献的存储、分类和检索）无法全面展示科研合作关系，精准搜索和推荐能力弱，新技术感知能力弱。

已有研究提出构建科技文献知识图谱来解决上述不足。现阶段电力科技图谱构建的难点在于技术方法脱离实际科研管理业务。这体现在：（1）如何构建电力科技图谱的本体模型，在展示权威性知识的同时，柔性关联、展示学习挖掘到的知识，值得研究。（2）如何设计合适的算法模型，能在技术体系变化时，柔性的兼容现有体系和传统体系，完成存量文献的自动化知识重构，值得研究。（3）电力技术具有显著的行业特点，如“跨步电压”一词，如被识别为“跨步”和“电压”是不可接受的。如何从科技文献中实现电力技术实体的正确识别和关键技术提取，值得研究。

针对电力科技图谱柔性构建过程中的技术难点开展工作：（1）自上而下构建技术体系、科技项目、文献、团队、单位、技术 6 类本体模型。以科研项目为核心，向上关联技术体系，横向关联科研单位和团队，向下关联科技文献，从而显性展示科研团队、单位、科研项目、研究成果（专利、软著、论文、研究报告）之间的关系网络，同时可以从电力技术实体的视角，展示技术热点和演进趋势。（2）将实体标记问题转为文本分类问题，采用主题分类和最大熵语义分类方法解决文献实体标记问题，针对新增科技文献，通过必要的数据标记完成新技术体系下的模型构建，从而针对新增文献和存量文献完成知识入库。（3）采用双向门控循环网络（Bi-gate recurrent unit, BiGRU）和条件随机场（conditional random field, CRF），基于电力领域科技文献标注的 3390 个技术实体开展技术实体模型训练，能正确识别出 “直流晶闸管”、“均压回路”、“柔直”等电力专有名词，充分体现了科技图谱的电力特色。通过 TextRank 算法实现关键技术实体的提取。

按照本文方法，基于南瑞集团自主研发的“知识产权数字化管控平台”构建电力科技图谱。从业务上，既能依托现有科研管理系统的权威业务数据，从宏观角度展示现有技术体系下科研合作网络；又能够从微观展示新的技术热点，串联科研项目、机构组织和人员团队之间的技术关系，为企业科研管理决策所需要的技术聚类、产业布局等提供辅助支撑。从技术上，实现了电力科技图谱对新老技术体系的兼容、对权威性知识和自学习知识的兼容，在避免存量文献标记的同时，保证了电力专业技术实体识别的准确性，充分体现电力科技图谱构建的柔性特点。相关成果为《光明日报》《电网头条》等媒体报道。

关键词：电力科技图谱；技术体系；技术实体；自动标记；柔性构建

电力企业实时数据治理框架研究及设计

庞武华[1]，王智微[1]，王毅[1]，李郁[1]，丁辉[2]，张宪岭[2]，邱国梁[3]，李华[3]
（1. 西安热工研究院有限公司，陕西 西安 710054;
2. 华能南京金陵发电有限公司，江苏 南京 210034;
3. 华能秦煤瑞金发电有限责任公司，江西 瑞金 341108.）

大摘要：

随着信息化建设的推进发展，大多数电力企业都已完成了从无到有、从点到面的信息化建设投资，形成从集散控制系统（distributed control system，DCS）、厂级信息监控系统（supervisory information system，SIS）到管理信息系统（management information system，MIS）等类型信息系统的业务全过程覆盖,基于生产过程的实时数据也得到了广泛应用。这些信息系统在应用过程中为电力企业收集存储了海量数据，日积月累逐步发展成为电力企业的数据资源，为电力企业数字化乃至智能化发展建立了数据基础。

数据治理是数字化发展的基础和条件。电力企业虽具备数据基础，但并不等于实现数字化，要实现电力企业的数字化转型并建设智能电厂，首先必须统筹做好数据治理工作,并作为数据中台的核心部分之一。实时数据伴随生产活动产生、变化和存储，是一种全面反映生产过程的动态数据，具备自身与生产业务为一体、数据采集频率高、数据储量占比最大、数据结构相对固定等优势。因此，面向电力企业的数据治理工作，应首先从实时数据的治理开始，围绕实时数据开展业务分析和数据建模，即从海量实时数据资源中提炼高质量信息赋能企生产过程，充分释放实时数据的价值，为企业持续创造经济利益。

近年来，数据治理技术伴随大数据技术和智能化技术的发展，跟随工业互联网的步伐，逐步渗透到电力企业。结合目前工业软件领域国产自主可控的趋势，通过分析电力企业的数据治理现状，本文提出一种新的且符合国内电力企业实际情况的实时数据治理框架解决方案，为电力企业数据治理工作，提供从业务分析、数据建模、数据架构、数据运行、数据服务到数据场景应用等阶段所需的技术工具和功能平台，目标是帮助电力企业循序构建一套完备且高质量的指标体系。

数据标准是企业数据的治理目标、企业数据发展的沉淀载体和企业数据应用的服务凭据。电力企业数据治理工作的过程本质上可认为是将业务对象不断指标化，同时将指标不断输出到业务场景的过程。指标源自企业的生产活动，是一种真实需求，更为贴近人的用途，绝大多数均可量化体现。指标体系是多个指标和关系的有机集合，是人对业务的认知模型。实时数据治理框架采用指标作为数据标准单位，采用指标体系作为业务的数据标准单元，采用多组指标体系交织融合而成的大指标体系作为企业的数据标准。

基于明确的数据标准，遵循“物理分散，逻辑集中”的数据架构格局，实时数据治理框架技术上采用微服务架构，基于统一的协作总线将各个职能处理器高效组织成为一体，设计上将数据连通、数据生产、数据消费等技术性机制根植于框架内，将复杂的业务分析和数据建模工作，通过数据建模平台转化为既定有序的功能组合，让用户聚焦业务需求，通过培训熟练掌握业务分析和数据建模等技能，自主完成业务对象的数据治理工作。

关键词：实时数据治理；数据建模；数据标准

基于 i.MX6Q 的低压配电台区智能终端关键模块的设计与实现

佘文魁，刘田豹，李孜，周平，王靖杨，徐升辉，叶鑫平
（四川中电启明星信息技术有限公司，四川 成都 610000）

大摘要：

低压配电台区智能终端是承载配电物联网南北向的关键环节，是实现台区设备接入、数据采集和控制的关键设备，也是应用分布式边缘计算和物联网通信的关键节点。目前，在国家电网各网省公司低压台区大多数使用的是基于智芯公司软硬件平台的智能终端，并在公变台区大量使用，而在产权分界面以下的专变用户侧，由于成本原因该终端使用比较少。另外，智芯公司虽然提供完整的软硬件平台开发套件，但在底层核心模块及操作系统层面并未完全开放。为了实现专变客户低压台区用电信息采集、设备运行状态监测、智能控制与通信等功能于一体的二次设备，满足智能终端低成本、自主可控的要求，有必要进行基于其他通用架构的低压配电台区智能终端软硬件平台研究。

本文基于 i.MX6Q 架构进行低压配电台区智能终端设计与实现，i.MX6Q 核心板是一款成熟的工业级平台，具备 4 个 Corte-A9 内核，工作频率为 1GHz，内存为 1GB DDR3，存储为 8GB eMMC Flash，处理器具备 32/32KB 一级缓存，1MB 二级缓存，12000 DMIPS（每秒运算 12 亿条指令集）的高性能运算能力。虽然 i.MX6Q 核心板具有良好的性能和扩展性，但为了满足低压配电台区智能终端的功能标准，重点在于串口扩展模块和交采模块 2 个关键子模块软硬件设计与实现。

在串口扩展模块的软硬件实现上，硬件层面通过 i.MX6Q 核心板集成 ST16C554 串口芯片方法来扩展串口通信的能力，i.MX6Q 采用 WEIM 总线与 ST16C554 相连，总线采用 8 位并行数据格式 D0~D7，地址线使用低 3 位 A0~A2，使能引脚和读写控制引脚（IOR 和 IOW）分别对应相连；软件层面，遵循硬件架构，按照 Linux 驱动设备树的编码规范，配置 WEIM 引脚和寄存器，优化 WEIM 驱动初始化流程，修改 8250 串口驱动对 3 路 485 和 1 路 232 串口的实现。

在交采模块的软硬件实现上，硬件层面通过 i.MX6Q 主控芯片自带的 SPI 总线与 ATT7022E 交采芯片进行集成设计，SPI 通过 4 线串行总线方式与交采芯片 ATT7022E 相连，其中 SPI 控制器为主控制器，交采芯片为从设备，数据传输过程由 SPI 控制器发起；软件层面，遵循硬件架构，按照 Linux 驱动设备树的编码规范，对 SCLK 时钟和 SS 片进行配置，实现驱动对交采芯片的数据传输，用户态层通过交采程序实现对低压台区用能数据的采集、分析、诊断。

在实验 1 中，通过在智能终端上运行串口收发程序，电脑侧使用串口收发工具进行测试，在智能终端嵌入式系统启动后，在智能终端串口 3 即设备号为 ttyS2 的串口上运行串口收发程序，在电脑上使用串口工具收发 16 进制报文。在智能终端上发送 16 进制报文为“11 22 33 44”，可以看到在电脑串口工具上收到同样的报文；在电脑串口工具上发送 16 进制报文为“01 03 00 00 00 02 c4 0b”，可以看到在智能终端上收到同样的报文。结果表明该终端串口扩展模块功能正常。

在实验 2 中，使用精度为 0.02 级的标准源对智能终端模拟采样进行加量测试，额定电压为 AC 220 V，额定电流为 AC 5 A，对电压、电流和有功功率、无功功率 2 个场景进行测试，试验结果表明，本设计方案的高精度交采模块抗干扰性好，采样准确度高，测量精度符合 DL/T721 所要求的 0.5 级标准，达到了预期设计目标。

本文基于 i.MX6Q 架构进行低压台区智能终端的设计工作，并重点介绍了 2 个关键子模块的实现方法，本方法在 i.MX6Q 的工程实践中尤其是基于 Linux 设备树下对接串口扩展芯片和交采芯片的应用中具有较好的指导意义。

关键词：i.MX6Q；智能终端；串口扩展模块；交采模块

基于北斗定位的变电站作业人员行为安全管控系统

蒋晨，郑立，潘捷凯，陈铭，王小芳，杨森，王自升
（国网温州供电公司 信息通信分公司，浙江 温州 325000）

大摘要：

对于整个电力系统来说，变电站是生产作业的核心场所，高压环境危险，进出人员复杂。为保证生产作业安全，要求严格执行工作票制度。然而，由于现场作业人员的疏忽以及安全意识淡薄等问题，并没有按照工作票的要求执行到位，误入危险区域、未按指定路线作业、单人滞留、意外触电跌倒、突发疾病等违规行为时有发生，进而导致安全生产事故。除此之外，目前变电站巡检作业还存在着现场作业安全管控难、作业信息掌控度低、信息交互能力弱、作业协同效率低等问题。

现有的变电站作业安全管控应用系统对变电站作业人员危险区域定位信息不精确，也不能与电力工作票相关联，工作许可人和安全监督人员也无法及时掌握现场作业人员的作业情况，把控安全风险。有些专家提出的区域划定可通过自动生成的设想和提出的作业时间、人员、区域间的关系结构模型在实际使用中操作都较为复杂，对不同作业任务情况下的可移植性不强，不能实现对变电站作业人员行为的全面管控。

因此，本文提出了一种基于北斗定位的变电站作业人员行为安全管控系统。首先，利用先进的三维激光扫描技术对变电站进行三维建模，构建三维数字地图；然后，利用 UWB（Ultra Wideband）+北斗地基增强网技术，实现变电站作业人员室内外高精度定位要求；最后，将智能手环、北斗定位终端与电力工作票三者相关联，实现对变电站作业人员实时定位、生命体征监测、行为安全管控，解决了当前变电站作业中所面临的现场作业安全和人员到位情况管控难的痛点，避免安全事故的发生。

该系统自下而上采用的是感知层、网络层、平台层、应用层的架构。感知层的北斗定位终端、智能手环、UWB 基站等终端将感知的第一手数据通过通信卫星、无线专网、电力光纤等介质实时上传至各类数据中台和业务中台，通过数据处理后应用于变电站作业人员行为安全管控系统中。系统共设计四大模块，分别是数据源、作业前路径规划、异常监控与决策、数据统计分析，实现了对现场作业人员实时精准定位、工作票安全监督、违规行为自动识别、历史轨迹查询、视频灵活联动、一键求救告警等功能。

本文提出的基于北斗定位的变电站作业人员行为安全管控系统切实解决了当前变电站作业中违规行为“不可知、不可防、不可控”的问题，同时突破了作业现场点多面广、安全监督人员有限的管理瓶颈，提升了安全风险感知和数据挖掘分析能力，转变了传统的安全监督工作模式，实现了现场作业过程有效管控，确保了作业安全风险“可控、能控、在控”。另外，该系统可应用于所有有工作票的作业现场，安全监察人员可以远程集中监控现场的作业行为，如发现违规行为，可以及时调阅现场视频监控进行查证，无形中形成强大的安全巡查震慑力，有较大应用前景。

关键词：北斗高精度定位；UWB；智能手环；作业行为安全管控

基于边缘计算的智能电网实时监测策略

李航，董永乐，殷超
（内蒙古电力科学研究院，内蒙古 呼和浩特 010010）

大摘要：

电力线路故障监测是电网的重要工作之一，尤其在实时在线监测领域，对实时性和精确性要求较高。边缘计算可以有效降低网络拥塞，减少电力线路实时在线监控的延迟，进一步提高智能电网的安全性和可靠性。

但边缘节点的资源和能力相对有限，如计算资源和存储资源，再加上大多数有线实时在线监控业务都对延迟敏感，如果采用不合理的任务分配机制，会导致边缘节点的任务负载不均衡，部分任务无法及时完成。此外，不合理的任务分配机制容易造成边缘节点严重的计算资源浪费。因此，需要一种合理的任务分配机制来充分利用边缘节点资源，从而减少任务的总延迟，保证延迟敏感任务的完成，提高智能电网的安全性和可靠性。

基于以上问题，首先，提出了一种基于边缘计算的智能电网实时监控框架来提升常规云计算框架下的实时监控性能。边缘计算是指在电网中按照地理位置分布设置边缘处理器，将电网中的数据根据地理位置交由相应边缘处理器处理，然后结合深度学习算法，智能识别威胁。当智能算法感受到威胁时，将信息传送至云端处理器进行处理并发出解决命令。边缘计算能够有效降低云端处理器的工作量，降低网络计算延迟，对延迟要求敏感的业务具有广阔的应用前景。在基于边缘计算的电力线路实时在线监控框架中，在线监控设备获取到的数据传送至边缘层进行处理评估，如果发现威胁会立即向云端发送信息并执行云端决策指令。

其次，为提高边缘计算资源利用率，解决大规模应用场景下边缘服务器和监测设备之间的任务分配问题提出了改进贪婪算法任务调度模型。该算法模型考虑了边缘节点上的任务排队问题，将多优先级任务排队算法融入进贪婪算法中，即先根据贪婪算法将监测设备分配给具有最大上行带宽的边缘服务器节点上，再根据多优先级任务排队算法，将每一个边缘服务器排队的任务进行最优排序来获得最低延迟。

最后，通过仿真研究显示，基于边缘计算的智能电网实时监测框架平均任务延迟为云计算框架的10%～50%。并且融合了多优先级任务排队算法的改进，随着任务数量增加，边缘节点的任务平均延迟逐渐增大。和未进行任务排序时相比，采用多优先级任务排队算法可以有效降低任务排队延迟，从而降低任务平均延迟。通过仿真结果可以看出，基于边缘计算的电力线路实时监测框架有效降低了实时监测的延迟，能够保证实时监测的有效性和精确性。同时，融入多优先级排队算法的改进贪婪算法调度模型能够有效降低边缘监测系统的延迟，提升监测性能。

关键词：边缘计算；智能电网；实时监控；贪婪算法；仿真分析

基于无监督聚类和频繁子图挖掘的电力通信网缺陷诊断与自动派单

吴季桦[1]，朱鹏宇[2]，吴子辰[3]，顾彬[3]，洪涛[3]，王晶[1]，王敬宇[1]
（1. 北京邮电大学网络与交换国家重点实验室，北京 100876;
2 . 国网电力科学研究院有限公司，江苏 南京 210012;
3. 国网江苏省电力有限公司信息通信分公司，江苏 南京 210000）

大摘要：

电力通信网中的复杂场景以及对安全和可靠的高要求使得缺陷诊断及处置一直是领域内关注的热点问题。电力通信网中的海量告警数据可以显示网元设备的健康状态以及网元设备间的交互情况。因此告警数据是电力通信网中缺陷检测和缺陷诊断的重要数据来源。

传统的基于人工经验的缺陷诊断方法，主观因素影响较大，并且难以应付指数级增长的海量告警信息。随着信息技术和智能技术的发展，已经有许多研究将人工智能技术运用到事件分类和缺陷诊断领域中以摆脱对规则的依赖。但是电力通信领域缺少具备大量完整标注的数据的条件，并且人工智能技术应用到缺陷诊断领域时，常针对的是信号等指标性数据。面向告警数据的缺陷诊断的主要依据不是指标性的信号数据，而是各个网元上非结构化的告警数据。

机器学习中的无监督学习方法可以摆脱标注数据的制约。告警数据分布中的相似性给予了人工智能技术发挥其长处的可能。无监督学习方法可以在缺少标注的情况下发现告警之间的相关关系并且运用到告警归并任务中。同时，缺陷诊断任务中数据的相似性体现在拓扑结构上的相似性。与某一缺陷相关的告警所发生的设备通常具有物理相连关系或者逻辑相连关系。设备及其之上的告警，以及设备间的关联关系可以构成基本图结构。属于同一类缺陷的图结构之间经常存在子图结构的相似甚至相同。这一前提为将频繁子图挖掘方法运用到缺陷诊断领域提供了先决条件。

对告警而言，有两方面的信息较为重要：告警本身的相关参数以及告警时间。实验将其作为相关因素作为无监督聚类的输入并得到告警归并集合。实验将通信网络中的网元转化成图中的顶点，将网元之间的物理联系以及网元之间的逻辑联系转化为图中的边，网元上发生的告警转化为图中的标记。由于网元之间的联系是双向的，因此顶点之间的边为无向边。将告警归并集合转化为顶点带标记的无向连通图，并对此进行频繁子图挖掘。

实验结果表明，在没有人工参与的情况下，算法既可以自动化发现可能存在的缺陷模式，同时也可以给予人工标注建议，能够准确捕捉数据之间的相关性，并且可以准确区分不同类型数据。缺陷种类分为 card abnormal、fiber breaking、power abnormal、power interruption 时，在 card abnormal 以及 power abnormal 的缺陷诊断任务上准确率为 100%，fiber breaking 类别准确率为 96.8%，power interruption 类别准确率为 92.9%。

本文将无监督聚类和频繁子图挖掘算法应用到缺陷诊断和自动派单领域，为减轻运维压力、降低人力资源投入、提升系统安全性和可靠性提供了良好的支持。算法摆脱了传统缺陷诊断方法对于人工规则的依赖，并在实验中取得了良好的性能表现。

关键词：电力通信；缺陷诊断；无监督聚类；频繁子图挖掘

基于用电行为分析的绕越窃电识别研究

万泉[1]，袁葆[1]，刘辉舟[2]，张文[1]，陈雁[1]，闫富荣[1]，张静[1]，欧阳红[1]，周春[1]
（1. 国网信息通信产业集团北京中电普华信息技术有限公司，北京 100192;
2. 国网安徽省电力有限公司，安徽 合肥 340001）

大摘要：

随着地区经济的持续增长，居民生活水平的不断提升，电力需求增长的同时，窃电现象越发严重，窃电行为不但导致经营成果的流失，而且极大增加了用电安全风险。多种多样的窃电手法使得反窃电工作更加困难，传统的人工排查和分析方式往往因效率低下导致难以及时预警。

当前反窃电工作聚焦城镇居民用户及高压专变用户，农网反窃电工作仍具备巨大潜力。城网地区与农网地区所使用窃电手法及方式区别较大。受限于客观因素，城网地区的窃电方式多依赖于对电表等计量装置的违规操作，可通过开合表盒、停电等异常事件进行嫌疑判断，可用的用电数据较为充分；而农村地区多采用外搭线路的“绕越窃电”方式，可完全或部分绕过计量装置，从而达到不缴或少缴电费的目的，该方式对用电数据造成极大干扰，导致研究人员难以进行分析及判断。此外，农网地区样本数据量少、维度小，难以有效利用监督学习模型，亟待深度结合业务特征分析，建立行之有效的数据模型。

针对农网反窃电排查工作效率不足、标注样本有限的问题，提出了一种基于用电行为分析的绕越窃电行为识别方法，基于台区及用户用电特征开展用电行为分析，以挖掘可描述用户行为的统计特征；结合用电行为特征和聚类分析算法筛选出具备窃电嫌疑的用户群体，并通过变异系数和波峰检测确定最终嫌疑用户。首先，利用相关分析及方差分析算法研究温度、天气与台区用电数据的关联关系，选择近期线损率偏高、波动过大、或与气温呈现高度相关的台区作为嫌疑台区;然后，通过对绕越窃电用户案例的用电量分析，确定农网绕越窃电局部零、局部露底及短期冲击电量的行为特征，提取一定周期内用电数据的均值、标准差、极差、峰度、偏度及第一、第二、第三四分位数，以实现用电特征量化；最后，利用 *k*-means 聚类算法对已量化的统计特征进行无监督分群，筛选出具备绕越窃电行为特征的嫌疑类簇，并通过变异系数对嫌疑程度进行排序，结合异常波峰检测确定最终嫌疑用户。为验证本文方法的有效性，选取某县区供电所 2019 年 3 月至 6 月的农网台区用电数据进行算例分析。利用本文方法，共筛选出 12 个异常台区，累计共确定嫌疑用户 32 户，经过用电排查，21 户经核实后，存在绕越窃电行为，证明了本文方法能够有效的识别农网台区下的绕越窃电行为，且分析效率较高，具备工程实用价值。

关键词：绕越窃电；用电行为分析；聚类分析

基于知识库的制造业能耗优化平台技术研究

杨伟伟，王思宁，郑贵德，宋亚琼
（1. 南大通用数据技术股份有限公司，天津;
2. 北京中电普华信息技术有限公司，北京;
3. 中国电机工程学会电力信息化专业委员会，北京)

大摘要：

数字化创新应用是辅助企业实现能耗优化的有效途径，本文研究是围绕能耗设备并通过设备自身结构特性、设备运行状态、产品生产制造信息、运行环境及生产影响事件等的综合数据的整合、构建设备能耗相关知识库、形成能耗计算分析模型。在此基础上，进一步通过搭建大数据分析平台，利用机器学习、可视化分析等智能化手段实现企业用电能耗的分析的优化与建议。本文研究以汽车制造业为例，提出了一种企业能耗优化的数字化解决方案，对制造业实现碳中和、碳达峰具有现实意义。

由于影响能耗因素很多，不同的能源类型、设备类型、生产要求、生产工艺、生产条件都有不同的能耗模式。为了更准确进行数据分析，通过对能耗进行分类，实现个性化的分析。高能耗重点设备的能耗权重大，对其优化节能效果比较显著，而且高能耗重点设备通常配备监控系统，所以可以根据监控采集的数据更有针对性地对这种设备运行进行精细化分析。车间内其它设备的能耗主要与运行时间正相关，通常获取的能耗数据是以车间为单位，所以，需要通过生产计划与执行信息来计算出车间内各能耗设备权重，实现精细化能耗管理。环境改善能耗，如生产车间内的空调，其耗能主要受气候的影响，与设备运行相对独立，能耗计算比较简单。除了以上类型外，如工厂停休、设备故障检修等都可能影响到生产能耗，所以也需要对其引起关注，并了解其对能耗的影响度。

构建设备知识库是本文研究分析的重要基础，能耗优化知识库的数据源可覆盖企业设备全生命周期管理的设备基本信息、设备构成、设备操作指南、维护记录、故障维修记录、生产加工的产品及数量、设备运行状态、设备功率、能耗构成及能耗量等信息。以汽车制造业为例，给出了构建能耗知识库的示范。设备知识抽取综合了关系数据库的 SQL 查询、文本搜索及三元组的实体关系搜索能力。通过设备知识抽取，可以获取能耗优化知识，比如，可以了解高耗能设备启动与产品加工生产的关系、设备能耗构成，故障征兆（故障影响能耗）、机械设备运行轨迹与能耗的关系、高耗能燃烧炉的节能模式、等效设备能耗对比等。

本文研究以制造业为例，对不同类别设备给出了机器学习分析的场景。回归分析通常可以用来分析优化高耗能设备的参数，对于神经网络，有万能近似定理(universal approximation theorem)证明，仅有一层隐藏层的前馈网络足够表示任何函数的近似到任意的精度，因此使用神经网络作为回归函数，神经网络通过其激活函数（如 Sigmoid、tanh、ReLU）的非线性变化，可以较好实现线性和非线性回归，而且神经网络在大样本数据分析优势更大，准确度更高。关联分析能够发现生产过程中影响能耗异常的因素。比如，通过构建频繁项集{能耗，加工对象，原料品种、工序，设备，班组，时段}，使用 Apriori 关联算法，能够发现某个异常能耗可能的原因，也可以发现能耗更优的替换设备方案。

为了实现方案落地，本文还给出了分析平台的搭建方法以及多个实际应用的可视化分析场景及展现效果，从而为能耗优化分析提供参考和借鉴。

关键词：能耗优化；制造业碳达峰；知识库；节能智慧平台

基于知识流的物联感知

祝文军，王思宁，高晓欣，郑倩
（北京中电普华信息技术有限公司，北京 100085）

大摘要：

在万物互联、全面感知、智能决策的大数据信息化时代，提高生产发展、推动经济的同时，在大数据信息的采集、大量信号的处理乃至为相关政策的制定或决策的判断仍存在数据冗余、计算量大、高成本、不及时和无特征性的缺点。物联信息感知、信息传递、信息存储、信息处理等面临巨大挑战，物联智能化水平亟需提高。目前多种方式正在改善各种形式物联感知系统，能源电力正着手于智能感知平台的开发，协助行业的发展，多家企业正致力于物联感知技术的革新。

基于知识流的物联感知为感知技术提供了新的研究思路，将知识流的思想迁移到物联感知的整个过程，实现物联状态全面感知。知识流的过程可实现知识交互、知识挖掘、知识融合以及知识处理分析。将基于知识流的物联感知概括为：物联感知过程中知识流动过程或知识处理及应用机制，即数据交互传递以及数据分析处理和应用。

应用知识流体系的概念，实现知识的传递、交互、处理，将迁移学习与信息融合应用到基于知识流的物联感知过程，将感知源领域中学习到的知识应用到新的目标领域，同时融合多种特征信息，结合新的感知方法以提升物联感知的可靠性、准确性、高效性和智能化水平。根据迁移学习，从少量学习到的知识，可以在新的领域被吸收、扩散、再创造的特点，在从源域提取特征迁移到目标域下用经验模态分解提取特征影响因子，以及根据因子影响程度进行权重的数据融合，以固定地区用电功率部分数据做短期负荷预测的仿真计算，分析用户用电行为影响因子，训练得到影响因子最佳权重分配，做好用电耗率预判，与真实数据相比较与计算评估，分析得到此方法的可行性。

采用的用电负荷预测基本流程，首先，对相关负荷数据及影响因子进行采集管理，如用电负荷的日期特点、温度的变化、一天内的时间特点；其次，做好尝试数据处理和因素联系的分析，处理包括找寻奇异、特殊数据做舍弃处理、数据标准化处理，可视化相关数据，分析包括影响负荷波动的多元化成分、分析其与负荷相关性，数值转换并计算相关性将权重赋值；再次，特征分析，将其数值化且加上影响权重，将其输入和预测模型训练得到模型参数，经由输入特征和预测模型得到目标时间段的短期负荷值；最后，用评估参数评估此方法的可行性。

结果表明，通过该方式，迁移学习能够将源域学习到的知识采纳到目标域，搭配信息融合的数据可信度和有效性，能够清晰辨别用电行为特征，根据用电特征预判用电耗能。

关键词：迁移学习；信息融合；知识流；物联感知；负荷预测

基于注意力机制与 YOLOv3 的电力表自动读数算法

张俊[1]，杨光[2]，胡东升[2]，胡志凌[2]，王南勤[2]
（1. 国家电网江苏省电力有限公司南京供电分公司，江苏 南京 210000;
2. 安徽南瑞继远电网技术有限公司，安徽 合肥 230088）

大摘要：

变电站的巡检、监测是预防安全事故发生，确保电力系统稳定运行的重要有效手段之一。电力表常用于观测值为瞬时值的场合，如压力、速度、油位、电阻等。

由于变电站所处的电磁环境等因素影响，变电站中所使用的仪表大多是机械式仪表，机械式仪表都不具备远距离通信功能，需要依赖于人工或者智能方法进行仪表数据的读取。传统的人工观测存在工作量大，以及效率低下的问题。利用摄像机对仪表图像进行实时采用，并应用图像处理、模式识别技术进行分析，通过计算机代替人工对仪表进行实时监控已逐渐成为现实，也正成为目前的主流趋势。

YOLOv3 是由 Redmon J 于 2018 年提出来的，具有复杂度低、速度快的优点，但对弱小目标检测精度不高的问题，本文将注意力机制与 YOLOv3 结合进行电力表检测，通过在 YOLOv3 网络层中添加注意力机制模块对 YOLOv3 进行改进。基于注意力机制与 YOLOv3 的电力表自动读数算法如下：首先对采集的电力表图像进行去噪、增强等预处理操作，便于后续的电力表读数；然后利用改进的 YOLOv3 网络对所采集的数据进行第一阶段训练，以检测图像中的表盘；最后通过对所检测的表盘中的指针和刻度值进行标注训练，实现电力表数值的准确读取。

为了验证所提出算法的性能，选取了变电站常用的电力表图像作为样本进行训练，将收集的电力表图像按 3:1:1 的比例划分为训练集、验证集和测试集。将收集的图像按照 1.1 中的图像预处理方法进行预处理及数据增广，然后将训练集送入所改进的 YOLOv3 网络进行训练，当训练的模型在验证集上取得最好结果时，将模型保存，并在测试集上进行测试。

从实验结果可以看出，本文算法通过两阶段的检测，能够准确地获取电力表的数值，一阶段能够检测出电力表，二阶段在所检测出的电力表图像中可以检测出指针以及刻度值，精度较高。为了进一步验证本文算法的有效性，将本文算法与 SSD、Faster R-CNN、YOLOv3 和 YOLOv4 算法进行了对比实验，从实验结果可以看出，本文算法的识别精度高达 97.4%，高于 SSD、Faster R-CNN、YOLOv3 和 YOLOv4 算法，可以更准确地检测表盘、指针和刻度值。

本文提出的一种基于注意力机制与 YOLOv3 的电力表自动读数算法，通过在 YOLOv3 网络层中添加 PSA 注意力机制模块对 YOLOv3 进行改进，特征图通过 PSA 模块中的 SPC 模块可以获得不同尺度特征图的注意力权值，再经过 SE 模块得到代表不同通道间重要程度的权值，网络可以关注更重要的信息，极大地改善了网络的性能；利用改进后的 YOLOv3 对电力表盘进行两个阶段的检测，实现电力表数值的读取。实验结果表明本文算法的有效性，能够准确地读取电力表数值。

关键词：YOLOV3；注意力机制；电力表；自动读数

适用于配电物联网边端侧的数据安全机制设计与实现

张程程，许晶，李琨，袁艳芳，张磊，李艳超，王振林
（北京智芯半导体科技有限公司，北京 102299）

大摘要：

在配电物联网“云、管、边、端”体系架构中，边端侧设备是配电网保护、控制操作的末端执行单元，支撑整个配电网的稳定可靠运行。物联网边端侧除了具有一般无线网络所面临的信息泄露、信息篡改、重放攻击、拒绝服务等多种威胁外，还面临端侧节点容易被攻击者物理操纵，从而控制部分网络的威胁。必须通过其他的技术方案来提高安全性能。同时，边端侧设备还具有数量大、部署分散等特点，在部署过程中，需要做到不考虑具体使用地点及安装层次，因此安全机制需考虑到设备的即插即用特性。另外，一旦某个边侧或端侧设备发生故障，连接于该设备的其它端侧设备需要连接到新的边侧或端侧设备，进行身份认证后再进行数据交互，并及时进行故障报警，因此安全机制也必须考虑到设备的多向连接功能。

为了满足配电物联网边端侧设备的即插即用、多向连接、数据安全保护的要求，本文设计了一种配电物联网边端侧设备的数据安全机制，为配电物联网边端侧通信提供了有力的安全保障，同时能满足边端侧设备的即插即用和多向连接的需求。

配电物联网系统中边端侧设备可包括边端设备、端侧设备及感知设备汇聚单元。感知设备汇聚单元既可对上作为端侧设备与边端设备进行数据交互，又可对下作为边端设备与端侧设备进行数据交互。一个边端设备能同时与多个端侧设备进行通信。同时，端侧设备能够随时切换边端设备与云端建立通信连接。本文设计的安全机制通过对设备进行证书交换的身份认证、会话密钥协商、通信数据加解密及完整性校验防止各种非法入侵手段。

在边端侧设备中加入安全模块，基于安全模块实现应用流程，提供边端侧设备间的安全保证。具体方案为：端侧设备与边侧设备/感知设备汇聚单元之间使用安全模块，通过交换证书的方式进行双向身份认证，身份认证成功后，进行会话协商生成会话密钥，使用会话密钥对要传输的数据进行安全保护。一旦出现某个感知设备汇聚单元设备无法正常连接的情况，可通过其他感知设备汇聚单元重新协商，进行数据传输。

根据安全性分析以及功耗、执行时间的测试结果表明，该安全机制具有交互次数较少、安全保密性强、灵活高效的特点，能够满足配电物联网系统数据传输的要求，具有较强的环境适应性，满足配电网的发展需求，保证电力系统的信息安全。同时，该方案在安全性和可用性方面不仅满足现有配电物联网的边端侧通信应用场景，还可应用到其它物联网边端侧设备中。

关键词：配电物联网；即插即用；多向连接；证书交换；密钥协商