

水利电力 科学与技术

Water Conservancy and Electric Power
Science and Technology



ART AND DESIGN PRESS INC.

(626 810 4480)

119 S Atlantic Blvd, Suite 300D

Monterey Park, CA 91754

Copyright © 2024 by ART AND DESIGN PRESS INC.

Complimentary Copy



编委 Editorial board member

付金泽 国网冀北电力有限公司唐山市丰润区供电分公司

Fu Jinze State Grid Jibei Electric Power Co., Ltd. Tangshan Fengrun District
Power Supply Branch

张世元 景德镇市水利规划设计院

Zhang Shiyuan Jingdezhen Water Conservancy Planning and Design Institute

詹 丽 景德镇市水利规划设计院

Zhan Li Jingdezhen Water Conservancy Planning and Design Institute

李 岩 辽宁红沿河核电有限公司

Li Yan Liaoning Hongyanhe Nuclear Power Co., LTD.

水利电力科学与技术

Water Conservancy and Electric Power
Science and Technology

第2卷 第6期 2024年6月刊

主管 ART AND DESIGN PRESS INC.

主办 ART AND DESIGN PRESS INC.

编辑 《水利电力科学与技术》编辑部

ISSN(O): 2995-438X

ISSN(P): 2995-4371

地址: 119 S Atlantic Blvd, Suite 300D Monterey
Park, CA 91754

网址: <https://www.artdesignp.com>

本刊说明:

凡向本刊所投稿件, 全体作者需签署论文著作权
转让声明书和论文发表承诺书, 声明、承诺及相关事
项如下:

- 作者将论文的复制权、发行权、网络传播权、
翻译权、汇编权、信息网络传播权、改编权等著
作权在世界范围内免费转让给本刊。
- 论文不侵犯他人著作权和其他权利, 否则作者将
承担由此产生的全部责任, 并赔偿由此给出版单
位造成的全部损失。
- 论文署名作者享有该作品的完全著作权, 署名作
者的身份真实。
- 论文未曾以任何形式公开发表过。
- 作者所投本刊稿件, 本刊编辑部拥有修改权。



水利工程 | HYDRAULIC ENGINEERING

- | | | |
|-----|--|-----------------------|
| 001 | 气候变化背景下山区小型水利工程防洪抗旱韧性提升技术研究
Research on Enhancing the Flood Control and Drought Resistance Resilience
of Small-Scale Water Conservancy Projects in Mountainous Areas under the
Background of Climate Change | 李海强
Li Haiqiang |
| 004 | 基于膜分离技术的水处理新方法研究
Research on New Method of Water Treatment Based on Membrane
Separation Technology | 刘妍
Liu Yan |
| 007 | 水电站与抽水蓄能电站智慧运维控制技术探索
Exploration of Intelligent Operation and Maintenance Control Technology of
Hydropower Station and Pumped Storage Power Station | 秦程
Qin Cheng |
| 010 | 智慧水利背景下地方水利信息化资源整合共享研究
Research on Resource Integration and Sharing of Local Water Conservancy
Informatization under the Background of Smart Water Conservancy | 梅星
Mei Xing |
| 013 | 成都市某县县城排水防涝规划研究
Study on Drainage and Flood Prevention Planning of
a County in Chengdu | 蒋胜银
Jiang Shengyin |
| 016 | 论如何加强水利工程水土保持的措施
How to Strengthen Measures for Soil and Water Conservation in
Water Conservancy Projects | 田琴香
Tian Qinxiang |

电力工程 | POWER ENGINEERING

- | | | |
|-----|---|--------------------------------------|
| 019 | 新能源项目全过程生态环保工作评价对策
Evaluation Strategies for Ecological and Environmental Protection
Throughout the Whole Process of New Energy Projects | 李琨
Li Kun |
| 022 | 光伏发电项目的财务分析与投资决策管理研究
Research on Financial Analysis and Investment Decision Management
of Photovoltaic Power Generation Projects | 牛瑾
Niu Jin |
| 025 | 基于大数据分析的电费收入资金精准预测与风险防控
Accurate Prediction and Risk Prevention and Control of Electricity
Fee Revenue Funds Based on Big Data Analysis | 戴佐芸, 丁若轩
Dai Zuoyun, Ding Ruoxuan |
| 028 | 电力工程项目安全监督现存问题及改进策略探究
Research on the Existing Problems and Improvement Strategies of
the Safety Supervision of Electric Power engineering projects | 户兴旺
Hu Xingwang |
| 031 | 光伏电站设备动态管理与改造探索
Exploration of Dynamic Management and Transformation of
Photovoltaic Power Station Equipment | 李红超
Li Hongchao |
| 034 | 分布式光伏接入配电网优化技术
Optimization Technology for Distributed Photovoltaic Access to
Distribution Network | 李金泽
Li Jinze |
| 037 | 水电及抽水蓄能助力区域电力系统低碳转型路径探讨
Discussion on the Low-Carbon Transformation Path of Regional Power
System Assisted by Hydropower and Pumped Storage | 廖小亚
Liao Xiaoya |
| 040 | 配电网低电压与频繁停电成因解析及协同治理措施探讨
Analysis of Causes of Low Voltage and Frequent Power Failure in Distribution
Network and Discussion of Collaborative Governance Measures | 刘英
Liu Ying |

043	电力营销中的安全风险问题及其治理措施探索 Exploration of Security Risk and Governance Measures in Power Marketing	潘小军 Pan Xiaojun
046	用电检查中数据采集模块的性能评估与优化策略研究 Study on the Performance Evaluation and Optimization Strategy of the Data Acquisition Module in the Electricity Consumption Inspection	王浩, 陈天欣 Wang Hao, Chen Tianxin
049	路灯配电网电压无功优化节能装置应用分析 Application Analysis of Reactive Power Optimization Energy Saving Device for Street Light Distribution Network Voltage	徐庆丰 Xu Qingfeng
052	基于智能电表与大数据的电力企业反窃电策略 Anti-Power Theft Strategy of Power Enterprises Based on Smart Meters and Big Data	杜豫喆, 胡家玮, 朱军 Du Yuzhe, Hu Jiawei, Zhu Jun
055	电力调度录音系统设计与实现 An Implementation of IMS Cross-Domain Call Model Design	王龙龙 Wang Longlong
058	分布式光伏并网场景下电能双向计量系统的设计与应用研究 Design and Application Research of Bidirectional Energy Metering System in Distributed Photovoltaic Grid-connected Scenario	张明, 徐媛 Zhang Ming, Xu Yuan
062	基于规范化标准的电力营销业扩报装流程优化与实践探析 Analysis of Optimization and Practice of Power Marketing Industry Expansion and Installation Process Based on Standardized Standards	潘小军 Pan Xiaojun
065	智慧城市背景下城市路灯专网构建应用探究 Research on the Construction and Application of Urban Street Lamp Network in the Context of Smart City	徐庆丰 Xu Qingfeng

气候变化背景下山区小型水利工程防洪抗旱韧性提升技术研究

李海强

重庆荣炜旭工程建设有限公司, 重庆 402160

摘要： 随着全球气候变化加剧，山区小型水利工程面临极端降水、干旱频发及地质灾害威胁，其防洪抗旱功能持续弱化。本文针对山区小型水利工程现状，首先分析了气候变化对山区小型水利工程的影响，其次分析了当前山区小型水利工程面临的主要困境，最后分析了气候变化背景下健全山区小型水利工程防洪抗旱韧性提升技术的路径，旨在为增强山区水利工程抵御气候变化风险能力、保障区域水资源安全与生态稳定提供理论与实践参考。

关键词： 气候；山区；小型水利工程；防洪抗旱韧性提升技术

Research on Enhancing the Flood Control and Drought Resistance Resilience of Small-Scale Water Conservancy Projects in Mountainous Areas under the Background of Climate Change

Li Haiqiang

Chongqing Rongweixu Engineering Construction Co., Ltd. Chongqing 402160

Abstract： With the intensification of global climate change, small-scale water conservancy projects in mountainous areas are facing extreme precipitation, frequent droughts, and geological hazards, and their flood control and drought resistance functions continue to weaken. This article focuses on the current situation of small-scale water conservancy projects in mountainous areas. Firstly, the impact of climate change on small-scale water conservancy projects in mountainous areas is analyzed. Secondly, the main challenges faced by small-scale water conservancy projects in mountainous areas are analyzed. Finally, the path to improve flood control and drought resistance resilience of small-scale water conservancy projects in mountainous areas under the background of climate change is analyzed. The aim is to provide theoretical and practical references for enhancing the ability of mountainous water conservancy projects to resist climate change risks, ensuring regional water resource security and ecological stability.

Keywords： climate; mountain area; small scale water conservancy projects; technologies for enhancing flood control, drought resistance and resilience

引言

近年来，全球气候变化已成为影响人类社会可持续发展的关键因素。山区作为生态环境脆弱区和水文响应敏感区，其小型水利工程在防洪抗旱、水资源调配等方面发挥着基础性作用，但在气候变化背景下，工程安全与功能实现面临严峻挑战。探索适应气候变化的山区小型水利工程防洪抗旱韧性提升技术，成为水利领域亟待解决的重要课题。

一、气候变化对山区小型水利工程的影响

（一）气候变化的主要特征及趋势

近年来，全球气候变化呈现出显著特征。根据世界气象组织报告，过去三十年全球平均气温较工业化前上升了约1.1℃，极端

气候事件发生频率显著增加。在山区，气候变化表现为降水时空分布失衡、干旱周期延长、极端降水事件强度加剧等现象。我国山区降水分布不均的情况愈发突出，部分地区年降水量波动幅度达30%以上，且降水集中在短时间内，形成高强度暴雨。与此同时，干旱持续时间和影响范围不断扩大，部分山区连续干旱年份

增加，水资源供需矛盾日益尖锐。此外，气温升高导致冰川融化加速，引发山区河流水文情势改变，对小型水利工程运行带来新的挑战^[1]。

（二）气候变化对山区小型水利工程产生的具体影响

1. 极端降水事件增加对防洪能力的冲击

极端降水事件频发对山区小型水利工程防洪能力形成严峻挑战。一方面，传统水利工程设计标准难以适应极端降水强度，导致水库、河道等防洪设施超设计标准运行风险增加。例如，某山区小型水库在遭遇百年一遇暴雨时，由于溢洪道泄洪能力不足，导致水库水位急剧上升，危及大坝安全。另一方面，高强度降雨引发山洪灾害，携带大量泥沙、石块等物质，对河道、堤防等水利设施造成严重破坏。据统计，我国山区每年因山洪灾害损毁的小型水利工程占总损毁量的40%以上，工程修复成本高昂，且严重影响防洪减灾效果。

2. 干旱周期变化对蓄水抗旱功能进行挑战

干旱周期的延长和强度增加削弱了山区小型水利工程的蓄水抗旱功能。随着干旱持续时间增加，水库、山塘等蓄水工程蓄水量大幅减少，部分工程甚至干涸见底。例如，某省山区小型水库在连续三年干旱期间，蓄水量下降超过60%，无法满足下游农田灌溉和生活用水需求。此外，干旱导致地下水位下降，河流断流现象频发，进一步加剧了水资源短缺问题。传统水利工程在应对长期干旱时，缺乏有效的蓄水调节和水资源调配能力，难以保障干旱期间的供水安全^[2]。

3. 气候变化引发的地质灾害对工程稳定产生威胁

气候变化加剧了山区地质灾害发生频率，对小型水利工程稳定性构成严重威胁。气温升高导致冻土融化、山体岩石风化，暴雨引发滑坡、泥石流等地质灾害。这些灾害直接破坏水利设施，如冲毁堤坝、堵塞河道、损坏输水管道等。据调查，我国山区每年因地质灾害损毁的小型水利工程占比达30%以上。此外，地质灾害还会改变流域地形地貌，影响河流水文特性，间接增加水利工程运行风险，威胁工程安全。

二、当前山区小型水利工程面临的主要困境

（一）工程设计标准与气候变化适应性产生矛盾

现有山区小型水利工程设计标准多基于历史气候数据，难以适应气候变化带来的新挑战。传统设计规范对极端气候事件的考虑不足，导致工程防洪、抗旱能力存在先天缺陷。例如，部分水库设计防洪标准仅为50年一遇，在极端降水事件频发的背景下，难以保障工程安全运行。此外，设计规范更新滞后，未能及时纳入气候变化适应性技术和理念，使得新建工程在应对气候变化方面存在先天不足，增加了工程运行风险^[3]。

（二）工程老化与维护不足导致功能衰减

山区小型水利工程大多建于20世纪六七十年代，经过多年运行，工程设施老化严重。混凝土结构风化、钢筋锈蚀、土石坝渗漏等问题普遍存在，导致工程防洪、蓄水功能大幅衰减。同时，由于工程维护资金短缺、专业技术人员不足，日常维修保养工作

难以有效开展。据统计，我国山区约60%的小型水利工程存在不同程度的老化损坏问题，部分工程带病运行，严重影响工程安全和效益发挥。

（三）监测预警体系不完善与应急响应滞后

当前山区小型水利工程监测预警体系存在诸多短板。监测设备覆盖率低、技术手段落后，难以实现对工程运行状态和水文气象信息的实时动态监测。部分工程仅配备简单的水位观测设施，缺乏对工程结构安全、水质变化等关键指标的监测。此外，预警信息发布渠道不畅，应急响应机制不健全，导致灾害发生时无法及时采取有效应对措施。据调查，山区小型水利工程灾害预警信息平均传递时间超过2小时，严重影响应急处置效率^[4]。

（四）管理机制与技术水平制约工程效益发挥

山区小型水利工程管理机制不完善，权责不清、多头管理现象普遍存在。工程运行管理缺乏统一规划和协调，导致水资源调配不合理、工程调度不科学。同时，管理人员专业素质参差不齐，缺乏先进的管理理念和技术手段，难以适应现代化水利工程管理要求。此外，工程运行管理信息化水平低，智能化调度、远程监控等先进技术应用不足，制约了工程效益的充分发挥。

三、气候变化背景下健全山区小型水利工程防洪抗旱韧性提升技术的路径

（一）夯实工程优化改造技术

一方面，要采用防洪能力提升技术，具体包括如下方面：首先，水库大坝安全加固与溢洪道扩容技术。针对水库大坝老化、渗漏等问题，采用混凝土防渗墙、帷幕灌浆等技术进行加固处理，提高大坝抗渗能力和结构稳定性。同时，对溢洪道进行扩容改造，优化泄洪断面设计，提高水库泄洪能力，确保极端降水条件下工程安全。其次，河道整治与堤防加固技术。开展河道清淤疏浚，拓宽河道行洪断面，清除河道内障碍物，提高河道行洪能力。对堤防进行加固处理，采用生态护坡、混凝土护坡等技术，增强堤防抗冲刷能力，防止洪水漫溢和堤防溃决。第三，优化设计分洪蓄洪设施。合理规划分洪蓄洪区，优化分洪闸、蓄滞洪区等设施设计，提高洪水调蓄能力。在洪水来临前，科学调度分洪蓄洪设施，有效削减洪峰流量，减轻下游防洪压力^[5]。

另一方面，要采用抗旱能力提升技术。具体包括如下方面：首先，水源工程扩容与连通技术。对现有水库、山塘进行扩容改造，增加蓄水容积。同时，建设跨流域调水工程和水系连通工程，优化水资源配置，提高区域水资源调配能力。通过水系连通，实现水资源的联合调度和优化利用，保障干旱期间供水安全。其次，加强节水灌溉设施改造与智能化升级：推广喷灌、滴灌等节水灌溉技术，对传统灌溉设施进行智能化改造。安装土壤墒情监测设备和自动灌溉控制系统，根据作物需水规律实现精准灌溉，提高水资源利用效率。同时，发展旱作农业技术，推广耐旱作物品种，减少农业用水需求。第三，构建雨水收集与调蓄系统。在山区建设雨水收集池、蓄水池等设施，收集屋顶、路面等区域的雨水，用于农业灌溉和生活杂用。构建雨水调蓄系统，将

收集的雨水进行储存和调配，提高雨水资源利用效率，缓解干旱期间水资源短缺问题^[6]。

（二）夯实监测预警与信息化技术

一方面，构建多源数据监测网络。要布设水文气象监测设备与采集数据，在山区流域内合理布设雨量站、水位站、气象站等监测设备，实现对降水、水位、气温、风速等水文气象要素的实时监测；采用物联网技术，将监测数据实时传输至数据中心，为防洪抗旱决策提供准确的数据支持。要应用工程结构安全监测传感器，在水库大坝、堤防等水利工程关键部位安装渗压计、位移计、应力计等传感器，实时监测工程结构安全状况，通过传感器采集的数据，及时发现工程结构隐患，为工程安全运行提供预警信息。

另一方面，构建智能预警与决策支持系统。建立基于大数据和人工智能的洪水与干旱灾害风险评估模型，结合历史灾害数据和实时监测信息，对灾害发生的可能性和影响范围进行预测评估，通过风险评估，为防洪抗旱决策提供科学依据，制定针对性的应对措施。利用大数据分析和人工智能算法，对监测数据进行深度挖掘和分析，实现灾害预警信息的自动识别和发布，通过短信、微信、广播等多种渠道，及时将预警信息传递给相关部门和公众，提高预警信息传递效率。建设水利工程应急调度决策支持平台，集成水文气象监测、工程运行管理、灾害预警等信息，实现对防洪抗旱资源的统一调度和管理，通过平台模拟不同调度方案的效果，为决策者提供科学的调度建议，提高应急处置效率^[7]。

（三）夯实生态修复与适应性管理技术

一方面，要建立流域生态修复技术。在山区流域开展植被恢复工程，通过植树造林、退耕还林等措施，提高植被覆盖率，增强水土保持能力，同时建设梯田、鱼鳞坑等水土保持设施，减少水土流失，改善流域生态环境；保护与重建湿地生态系统，加强山区湿地保护，建立湿地自然保护区，禁止非法占用和破坏湿地资源，对退化湿地进行生态修复，通过补水、清淤、植被恢复等措施，重建湿地生态系统。

另一方面，要采取适应性管理策略。动态调整工程运行调度方案，根据气候变化和水文情势变化，建立工程运行调度动态调整机制；结合实时监测数据和天气预报信息，优化水库蓄水、泄洪调度方案，提高工程防洪抗旱效益；在干旱期间，合理安排水资源分配，优先保障生活用水和重点产业用水需求。优化气候变化情景下的工程规划，在水利工程规划设计中，充分考虑气候变化因素，采用气候模型预测未来降水、气温等变化趋势，制定适应气候变化的工程规划方案；对现有工程进行适应性改造，提高工程对气候变化的适应能力，确保工程长期安全运行^[8]。

（四）夯实协同管理与智慧运维技术

一方面，建立健全跨部门协同管理机制。构建水利、气象、自然资源、应急管理等多部门联合的协同管理平台，建立数据共享与业务联动机制。通过定期召开联席会议、制定联合应急预案，打破部门间信息壁垒，实现灾害预警、工程调度、抢险救援等环节的无缝衔接。例如，在汛期由水利部门提供工程运行数据，气象部门提供降水预测，应急管理部门统筹抢险资源，形成“监测—预警—响应”一体化的协同管理体系。

另一方面，强化智慧运维与全生命周期管理。引入数字孪生、BIM（建筑信息模型）等技术，对水利工程进行全生命周期数字化管理。建立工程健康档案，实时追踪结构安全、设备运行状态及维护记录；利用无人机巡检、水下机器人探测等手段，实现工程设施的智能化巡检；通过 AI 算法分析设备故障规律，提前制定维护计划，降低突发事故风险，提升工程运维效率与安全性^[9]。

（五）夯实公众参与与社会韧性提升技术

一方面，采取社区参与式灾害防治。推动“政府—社区—公众”三级联动机制，组织山区居民参与防洪抗旱知识培训、应急演练及工程巡查。设立社区水利协管员岗位，定期开展工程设施巡查与简易维护，确保水利工程切实发挥作用；开发公众参与平台，鼓励居民通过手机 APP 上报隐患信息、反馈用水需求，形成全民参与的灾害防治网络。

另一方面，进行社会韧性培育与风险共担。探索引入保险机制，针对山区小型水利工程建立洪水、干旱灾害保险体系，减轻工程损毁后的修复资金压力；开展防灾减灾科普宣传，通过短视频、动画等形式普及防洪抗旱知识，提升公众自救互救能力；鼓励社会组织、企业参与水利工程建设与运维，形成多元化的资金与技术支持模式，增强社会整体应对气候变化的韧性^[10]。

四、结语

本研究围绕气候变化背景下山区小型水利工程防洪抗旱韧性提升，系统剖析了工程面临的挑战与困境，提出了多维度的技术路径。研究表明，单一技术手段难以有效应对气候变化的复杂影响，需通过多技术集成、多部门协同、全社会参与的综合模式，全面提升工程系统韧性。未来研究需进一步深化气候变化情景下的工程适应性设计，加强新技术研发与推广应用，完善政策保障与长效管理机制，为山区小型水利工程可持续发展提供更有力的支撑，最终实现生态保护、民生保障与经济协同共赢。

参考文献

- [1]康健. 水利工程运行管理强化提升问题研究及对策建议[J]. 水利水电技术(中英文), 2024, 55(S1): 346-349.
- [2]苏惠云. 基于灰色模糊理论的小型水利工程临时工程费测算[J]. 水利技术监督, 2023(12): 175-178.
- [3]刘玉奇. 小型水利工程运行维护管理与优化策略探讨[J]. 农业开发与装备, 2023(11): 118-120.
- [4]詹志琴. 基于蒙特卡洛法的小型水利工程不可预见费测算[J]. 水利技术监督, 2024(02): 79-81+93.
- [5]王继祥. 小型水利工程中的砌石工程施工技术分析[J]. 中国科技投资, 2021(05): 124-125.
- [6]李发鹏, 杨彦明, 孙波扬. “两手发力”推进小型水利工程管护的分析与思考[J]. 人民长江, 2023, 54(S2): 216-219.
- [7]赵学艳. 小型工程建设质量存在的问题及对策[J]. 工程建设与设计, 2024, (02): 261-263.
- [8]王军. 水利工程 BIM 标准编码及清单计价的应用研究[J]. 人民长江, 2021, 52(S2): 157-160.
- [9]鲁学峰. 小型水利工程施工技术中的问题及解决策略分析[J]. 四川建材, 2023, 49(07): 120-122.
- [10]岳川. 水利工程中的河道治理对策研究——以小型农田水利工程为例[J]. 中国农业文摘-农业工程, 2024, 36(03): 28-31.

基于膜分离技术的水处理新方法研究

刘妍

贵州黔希化工有限责任公司, 贵州 黔西 551500

摘 要 : 现阶段全球人口增长, 工业发展和城市化进程也在不断加快, 导致水资源需求激增, 水污染问题越来越严峻。膜分离技术是水处理工作中的新方法, 许多水处理工作中科学合理应用膜分离技术, 提高水处理工作执行的效率和质量, 促使水处理工作朝着现代化的方向改革。本文主要对基于膜分离技术的水处理新方法详细分析。水处理工作中相关工作者可基于目前环保法对污水排放和饮用水水质要求提高, 积极探索膜分离技术有效应用策略, 充分发挥膜分离技术作用, 确保膜分离技术精准分离水中污染物, 保障水的质量。

关 键 词 : 膜分离技术; 水处理; 新方法

Research on New Method of Water Treatment Based on Membrane Separation Technology

Liu Yan

Guizhou Qianxi Chemical Co., LTD. Qianxi, Guizhou 551500

Abstract : At present, the global population growth, industrial development and urbanization process are also accelerating, leading to a surge in water resources demand, water pollution problems are becoming more and more serious. Membrane separation technology is a new method in water treatment work, many water treatment work scientific and reasonable application of membrane separation technology, improve the efficiency and quality of water treatment work, and promote the reform of water treatment work in the direction of modernization. In this paper, the new method of water treatment based on membrane separation technology is analyzed in detail. Relevant workers in water treatment work can actively explore effective application strategies of membrane separation technology based on the current environmental protection law's improved requirements for sewage discharge and drinking water quality, give full play to the role of membrane separation technology, and ensure that membrane separation technology accurately separates water pollutants and guarantees water quality.

Keywords : membrane separation technology; water treatment; new method

引言

水处理工作中相关工作者科学合理地应用膜分离技术, 可在分子或离子尺度选择性分离不同物质, 实现高效分离净化, 去除水中的细菌和病毒以及有机物等, 提高产水水质。相关工作者在水处理工作中确保膜分离技术应用的可行性和有效性, 还可基于膜分离技术在实际应用的过程中无相变过程, 能耗比较低, 且部分膜组件可重复使用, 可减少化学剂量的用量, 降低对环境的影响, 让水处理工作符合可持续发展理念, 强化水处理工作执行的意义和价值。相关工作者可基于技术进步可推动水处理工作朝着更好的方向发展, 合理应用膜分离技术, 促使膜分离技术不断优化提升, 提高水处理效果。

一、案例分析

目前, 水处理工作中应用膜分离技术的案例有许多, 效果显著。以某海水淡化领域水处理工作为例, 相关工作者在海水淡化工程中, 让海水经初滤、精滤、反渗透脱盐、后矿化等工序, 利用膜法反渗透海水淡化技术将海水转化为符合国家生活饮用水标准的水, 解决了岛上居民的饮水难题。另外, 某海水淡化项目中, 相关工作者应用先进技术为年上网发电量70080万千瓦·时

的电站保障供水, 合理利用膜法反渗透海水淡化技术将海水转化为满足电站需求的淡水。以工业废水处理领域工作为例, 某废水浓缩分盐项目中, 相关工作者针对氮肥行业污水特性, 有针对性利用“预处理+膜浓缩+膜分盐+蒸发结晶”工艺。另外, 超滤和反渗透过滤用于预处理、膜浓缩, 滤除大分子有机物等杂质, 最终, 实现了废水近“零排放”及全厂废水100%资源化利用。某循环冷却水反渗透浓排水处理项目中, 相关工作者应用反渗透技术处理循环冷却水浓排水, 如先预处理去除大颗粒悬浮物和胶

体，再用反渗透设备高压分离，使清水渗透，浓水浓缩。最终，处理后的清水回用于循环冷却系统，浓排水处理效率达90%以上，显著降低了企业水处理成本。以生活污水处理领域工作为例，某膜生物反应器应用项目中，相关工作者研发膜生物反应器，利用膜分离技术，针对生活污水等水质复杂的情况，使过滤的水符合相关废水排放标准，使其排放到河流和湖泊中，降低影响。

水处理工作中，相关工作者在现阶段探索膜分离技术应用方法的过程中，可通过参考实际案例，将膜分离技术合理应用，解决水处理工作中的多元问题，确保水处理工作执行成效。

二、基于膜分离技术的水处理问题

虽然膜分离技术在水处理工作中应用优势较为明显，但也存在许多有待优化的问题，如膜污染问题、膜成本问题、运行管理复杂问题等。多样的问题影响膜分离技术应用的效果，影响水处理工作执行的效率和质量。以下便开展了详细的分析。

（一）膜污染问题分析

膜污染类型比较多样，膜表面不仅很容易被水溶颗粒污染，还很有可能被水中胶体和微生物以及有机物等污染。例如，水中微生物在膜表面很容易滋生形成生物膜，进而，堵塞膜孔，影响膜分离技术的应用效果。水中有机物吸附在膜上也会降低膜的通量。膜通量下降主要指污染物使膜的有效孔径减小或堵塞，增加水流阻力，会降低膜分离技术的处理效率，增加运行成本。魔兽不同污染物污染需要使用不同清洗方法和药剂，部分工作者在该过程中并没有依据实际情况选用应用性较强的方法和药剂，清洗不当，损伤膜，既影响膜分离技术的应用效果，也缩短膜的使用寿命。另外，相关工作者对膜频繁清洗会影响生产持续性，会增加人工和药剂成本。

（二）膜成本问题分析

膜分离技术应用时，初期投资成本比较高，因为许多工作者为确保技术应用成效，会选择高性能膜材料和组件，高性能膜材料和组件价格比较昂贵，如反渗透膜组件会使膜分离设备初期采购和安装成本偏高，会限制其在预算有限项目中的应用。另外，膜长时间使用后，需及时更换，这样才能避免其存在质量问题，避免影响技术的应用效果。若相关工作者并没有依据实际情况对膜定期检验，会提高膜更换的频率，加大项目成本投入^[1]。

（三）运行管理复杂问题分析

膜分离技术在水处理工作中应用时需要专业人员操作和维护，这样才能对进水水质和压力以及温度和流量等参数进行严格控制，提高技术应用的综合成效。以反渗透膜运行为例，部分工作人员在运行管理中并没有把控进水水质，并没有把控压力，导致进水水质不符合要求，压力不稳定，影响膜的性能，影响膜的寿命。另外，膜分离技术运行管理中也需实时监测膜性能指标，以便于及时发现潜在的问题，以便于及时且有效地解决问题。部分技术应用者并没有注重有效开展监测维护工作，难以及时准确评估膜污染程度和位置，影响疫情管理的效果^[2]。

三、水处理工作中膜分离技术的应用方法

水处理工作中的膜分离技术主要为利用天然或者人工合成的薄膜，借助其所具备的良好选择透过性，通过外界能量或化学位差作为推动力，让双组分或多组分溶质和溶剂进行分离，进行提纯，进行富集，以便于将不同物理性质和化学性质的混合物进行高效分离。相关工作者在水处理工作中应用膜分离技术时，为确保膜分离技术应用的效果，可通过避免膜污染、控制膜成本、提高运行管理效率及质量等，解决膜分离技术在水处理工作中应用时容易出现的问题，促使水处理工作高效开展。

（一）避免膜污染

相关工作者在水处理工作中应用膜分离技术时，为避免膜污染，提高膜的应用性和有效性，可通过从预处理和运行控制以及材料选择与优化等多方面出发，为提高工作效果奠定基础。艺术类方面，相关工作者可通过采取有效的方法过滤悬浮物和吸附有机物以及消毒杀菌，达成既定的目标。相关工作者可利用砂滤和多介质过滤，有效去除大颗粒悬浮，去除胶体，降低浊度，防止悬浮物在膜表面沉积，影响膜的应用性。相关工作者可在超滤膜前合理设置砂滤装置，以便于将进水浊度控制在1NTU以内。预处理工作强化中，相关工作者也可通过合理利用活性炭吸附水中的有机物，减少有机物与膜的接触机会，保护膜。相关工作者可能会有针对性药用颗粒活性炭或者粉末活性炭，利用其作用对小分子有机物进行良好吸附，降低有机物对膜的污染风险。为进一步强化预处理，相关工作者也可通过合理应用加氯、紫外线消毒等方式抑制微生物生长繁殖，防止生物污染。相关工作者可通过加氯消毒，杀灭水中细菌，将余氯量控制在0.3 ~ 0.5mg/L^[3]。

运行控制方面，相关工作者可通过合理控制操作参数和错流过滤等达成既定的目标。相关工作者可通过依据实际情况合理调节压力和流量以及温度等参数，避免过高压力导致膜变形等，可有效减少污染物的吸附。相关工作者可通过让料液平行于膜表面流动，形成错流，以便减少浓差极化，有效降低污染物在膜表面沉积。

材料选择与优化方面，相关工作者可通过选抗污染膜和对膜表面进行有效改性达成既定的目标。相关工作者可根据水质有针对性选择亲水性和荷电性的膜材料，如应用性比较强的聚醚砜材质的超滤膜，该类材料亲水性好，具有较强的抗污染能力。相关工作者也可利用物理和化学方法对膜表面进行有效改进，通过改变其性能，增加其亲水性，减少污染物吸附。相关工作者可在膜表面接枝亲水性聚合物，提高改性效果。

（二）控制膜成本

相关工作者在水处理工作中采用有效的方法合理控制膜成本，可确保膜分离技术的应用效果，让水处理工作执行得更好。相关工作者可通过优化膜选型、提升膜的使用寿命、注重规模化与国产化等达成既定的目标。膜选型优化中，相关工作者可通过深入分析水质和水量以及处理目标，有针对性选择合适的膜类型和规格，如在处理高浓度有机废水的过程中，选择耐污染和通量高的特种分离膜，在处理一般市政污水的过程中，选择性价比较

高的常规膜。膜使用寿命提升中，相关工作者除了可采用有效的预处理方法提高其寿命，也要注重违反运行操作，如依据膜特性与使用说明，精准控制其压力和温度以及流量等参数，避免因操作不当损伤膜。此外，不断提高自身专业知识，确保操作规范。及时维护清洗，依据膜维护清洗要求，制定科学清洗维护计划，及时清除膜表面的污染物，恢复膜的性能。根据膜污染程度选择较为合适的清洗方法与药剂，防止过度清洗造成膜损坏。注重规模化与国产化的过程中，在项目规划阶段，相关工作者要注重预估膜组件的用量，可通过集中采购和长期合作以及竞争优势价格，大规模采购降低单位膜组件成本。相关工作者也可给予国产膜技术发展迅速，部分性能达到国际水平，优先关注选用优质国产膜，以便于降低成本，与此同时，支持国内产业发展。为进一步控制膜成本，相关工作者也可依据处理规模和水质有针对性优化膜系统结构与流程，有利于提高膜的利用效率，有效控制成本。相关工作者也可通过关注行业新技术对现有膜系统进行有效升级改造，不断提高性能，做好技术升级改造，控制成本，提高技术效果^[4]。

（三）提高运行管理效率及质量

水处理工作中应用摩擦力技术时，相关工作者也要注重提高膜分离技术运行管理效率及质量，如通过完善系统监控与维护、优化运行流程等达成既定的目标。相关工作者在完善系统监控与维护的过程中，可通过安装在线监测设备，确保该类设备的应用性和有效性，实时监测膜分离系统的压力和流量以及温度等关键参数。利用自动化控制系统设定参数阈值，以便于在参数发生异常时能及时预警，有针对性优化决策。例如，以反渗透膜系统为例，相关工作者可通过实时监测进水压力和产水流量以及水质等多元信息，确保系统稳定运行。相关工作者也可通过制定详细设备维护计划，定期对膜的组件和泵以及管道等进行全面和精准的检查与清洗，进行有效的保养，并注重定期检测膜的性能，了解通量和截留率，以便于及时发现问题，采取措施解决问题，巩固膜性能。相关工作者也要注重依据实际情况建立故障应急处理机制，利用其制定常见故障处理预案，以便于在发生故障时，快速响应问题，按预案进行排查和修复，既可以减少停机的时间，还

可以降低对水处理的多元影响。相关工作者在优化运行流程时，可通过收集分析系统运行参数，如不同季节水质变化和膜污染速率等参数，以便于精准找出规律，为优化运行参数提供相应的依据。相关工作者也可结合实际水质和处理要求，不断探索技术集成创新方法，如探索膜分离技术与其他水处理技术集成应用方法，可将膜生物反应器与活性炭吸附进行连用，既可以实现创新，还可以提高对有机物的去除效果，让水处理整体效率和质量得到保障^[5]。

相关工作者应用膜分离技术的过程中也要注重遵循适用性原则、经济性原则等，进一步提高技术应用成效。以遵循适应性原则为例，相关工作者要依据原水水质特点，如污染物种类和浓度等有针对性选择适合膜分离技术，以便于利用膜分离技术处理含细菌和悬浮物的水，去除溶解性盐类与小分子有机物，处理高浓度有机废水。以遵循经济性原则为例，相关工作者要综合考虑膜分离设备的投资成本和运行成本以及维护成本等，可通过对比不同膜技术和设备方案选择在满足水质要求前提下长期成本最低的有效方案，做好成本考量。以遵循可靠性的原则为例，相关工作者要注重选择技术成熟和性能稳定的膜产品和设备，以便于膜产品和设备在长期运行中能稳定达到预期处理效果。同时，考虑膜系统对水质和水量波动以及温度变化等因素的适应能力，确保膜系统抗干扰能力比较强，避免受多方面因素影响而存在质量问题，影响水质。

四、结语

结合以上论述的相关内容可具体总结为，膜分离技术在现阶段水处理工作中引发各方面关注，水处理工作中相关工作者科学合理地应用膜分离技术，可通过充分发挥膜分离技术作用提高水处理工作执行的效果。相关工作者可通过避免膜污染、控制膜成本、提高运行管理效率及质量等，有效落实膜分离技术，确保膜分离技术可在金属废水处理中、在饮用水处理工作中、在工业废水有害物质处理工作中、在其他水处理工作中等实施净化污水，促进水资源可持续发展。

参考文献

- [1] 陈卫东, 刘金瑞. 膜分离技术在水处理中应用研究进展 [J]. 广州化工, 2022 (7): 30-32.
- [2] 张成意. 膜分离技术在绿色产业发展方面的应用 [J]. 天津化工, 2024, 38(01): 29-31.
- [3] 徐南平, 赵静, 刘公平. “双碳”目标下膜技术发展的思考 [J]. 化工进展, 2022 (3): 1091-1092.
- [4] 王晓林. 电厂化学水处理中全膜分离技术的应用探讨 [J]. 价值工程, 2020, 39(30): 225-226.
- [5] 刘纳, 康彩霞, 李双凌, 等. 膜分离技术在工业废水处理中的应用 [J]. 低碳世界, 2018 (11): 10-11.

水电站与抽水蓄能电站智慧运维控制技术探索

秦程

江西洪屏抽水蓄能有限公司, 江西 靖安 330603

摘要： 现代社会生产与生活对电力能源的需求不断增加, 水电站、抽水蓄能电站的建设数量与建设规模持续扩大, 但由于新能源发电拥有波动性、随机性特点, 所以对新能源合理消纳、水电参与调峰提出较高要求, 在一定程度上加剧了水电工程建设、运维、控制难度。本文研究中, 重点探究水电站、抽水蓄能电站的智慧运维控制技术, 仅供参考。

关键词： 水电站; 抽水蓄能电站; 智慧运维; 控制技术

Exploration of Intelligent Operation and Maintenance Control Technology of Hydropower Station and Pumped Storage Power Station

Qin Cheng

Jiangxi Hongping Pumped Storage Co., LTD. Jing'an, Jiangxi 330603

Abstract： The modern society production and living increasing demand for power energy, the construction of hydropower station, pumped storage power station quantity and construction scale continues to expand, but the new energy generation volatility, randomness characteristics, so the new energy reasonable given, water and electricity in load put forward higher requirements, to a certain extent, exacerbated the hydropower engineering construction, operations, control difficulty. In this paper, the paper focuses on the intelligent operation and maintenance control technology of hydropower stations and pumped storage power stations, for reference only.

Keywords： hydropower station; pumped storage power station; intelligent operation and maintenance; control technology

引言

在供给侧结构性改革背景下, 各行业深入践行可持续发展战略, 将节能减排、绿色经济作为经营管理目标。当前, 水力发电设备的容量持续扩大, 电力系统复杂度加剧, 尤其是水轮发电机组、抽水蓄能机组, 非常重视变化工况的适应能力, 并以“快速响应”“灵活运行”作为水力发电的核心指标^[1]。在现代信息技术的支持下, 水电工程建设、运维、控制的智能化水平不断提升, 为我国水电事业发展指明了方向, 但水电站、抽水蓄能电站的智慧运维控制问题仍十分严峻, 要求水电部门做好进一步研究。

一、抽水蓄能电站的运行方式与特点

(一) 运行方式

抽水蓄能电站涉及的运行工况十分复杂, 包括抽水、发电、抽水调相、发电调相、停机等, 因此发电机组频繁出现启停现象。比如, A电站配置四台机组, 机组每日启停次数超过十次。抽水蓄能电站机组运行过程中, 还会出现静止、空转、空载等不良状态, 但黑启动能力、线路充电能力理想。需要注意的是, 抽水蓄能电站不仅涉及到复杂工况, 同时涉及到不同工况的转换形式, 如正常转换、紧急装换两种, 且抽水方向启动包括静止变频器、背靠背式^[2]。在不同运行状态下, 机组都会发生正常停机、机械故障停机、电气事故停机等问题。

(二) 运行特点

1. 多样的运行工况

抽水蓄能电站的工作性质与方式繁琐, 既要规避日常运行过程的意外事件, 还要保障抽水发电质量。基于本质分析, 抽水蓄能电站多参考机组、电网负荷运行开展抽水调控工作, 保障机组运行活动正常。

2. 复杂的设备结构

与常规水电站设施相比, 抽水蓄能电站增设母线控制、自动换相、变频辅助启动等设备, 导致设备启动配合、技术管理难度明显上升。抽水蓄能电站多采用混流可逆性安装方法, 有效满足机组高水头转动、逆向转动工况, 同时要承受高负荷冲击负载, 加剧了设备维修作业难度^[3]。

3. 独特的枢纽布置

抽水蓄能电站承担发电工况、抽水工况任务,同时拥有两个蓄水池,确保蓄水池之间的循环效应。在电站坝体构筑物布局、主设备布局方面,抽水蓄能电站与传统水电站的差异非常大,抽水蓄能电站厂房多选择山腹位置,需要修建地下洞室结构,通过中心控制器启动调节系统。

二、水电站与抽水蓄能电站智慧运维控制技术

(一) 故障检修技术

在故障检修技术体系中,主要包括事故临时检修、机电设备故障诊断、机电设备故障检修等多元模式,高效检验水电站、抽水蓄能电站的故障问题^[4]。经长期实践经验可知,故障检修对蓄能电站的影响非常大,若技术人员不重视检修过程管控,就会危害水电站、抽水蓄能电站的运行效益。

(二) 网络设备

在水电站、抽水蓄能电站运行过程中,计算机控制系统发挥的作用十分明显。系统主控层配置两套交换机系统;而在现地控制层、现地控制单元中,主要配置两套以太网交换机。主交换机、现地控制单元相互交换时,需要借助光纤构建双星型全分布交换模式,以此适应千兆冗余以太网。在水电站、抽水蓄能电站体系中,两套系统互为热备用,同步收发和传输信号,即使某一套系统发生故障,也不会对整个系统运行产生影响。

(三) 信息智能化处理与综合决策

在水电站、抽水蓄能电站中,智能执行机构能够执行智能决策结果,有效转变智能设备的运行状态,积极适应环境变化,形成完整的闭环系统,涵盖信息检测、信息传输、信息处理、信息决策、信息执行等多个环节^[5]。无论是发电机组,还是区域性水电系统,都必须构建闭环系统,联合智慧化技术、智能化技术。扩展系统发展空间。将智能技术与物联网技术、泛在感知技术、新型传感器技术相互结合,即可保障水电站、抽水蓄能电站的运维效益。

(四) 计算机监控系统

抽水蓄能电站通常都会配置计算机监控系统,系统结构主要为双星型冗余光纤网。技术人员要准确连接系统设备、冗余网络,保证网络配置结构的清晰度,便于后续检修与维护,高效统一安全性、灵活性、可靠性优势。在水电站、抽水蓄能电站控制模式中,机组、开关站现地控制单元均配置双套控制器,而其他现地控制单元配置单一控制器,并且选用双电源结构。

在计算机监控系统设计选型操作中,技术人员要综合考虑电站的运行环境、设备种类,保证系统控制的可靠性。在现地控制器选型设计中,技术人员要优选ABBAC800M控制器,这类控制器的性能与可靠性均比较高^[6]。在系统软件设计中,主要采用ControlBuild、ABB800xAPGP,这些软件设施的可扩展性良好,功能消耗低,能够有效解决频繁故障缺陷,加快整个系统的运行速度,便于检修和维护。计算机监控系统多采用冗余配置方式,一旦主设备发生故障问题,系统即可自动诊断、自动发送故障报

文,并在无扰动状态下切换到备用系统,全面提高系统运行效益^[7]。通过应用计算机控制系统,可以缩短故障检修时间,提高系统设备的运行效率,切实满足可靠性需求。

(五) 制定并完善检修制度

开展检修工作之前,水电部门应当制定一套完整的检修制度与规定为水电站、抽水蓄能电站检修工作提供制度化保障,同时要结合主动检修、定期检修、状态检修等方式,明确检修重点内容。在工作实践中,还要结合工作需求、设备使用年限、运行状态等指标,制定一个科学且可行的检修方案,顺利开展水电站、抽水蓄能电站的检修与维护工作。对于水电站、抽水蓄能电站管理人员来说,日常经营管理要不断创新管理制度,包括现场检修措施、定制化管理措施,保证整个检修过程的可控性,提高电气设备检修工作的运行效率。

(六) 优化电气设备设施安装

在水电站、抽水蓄能电站运行过程中,为了加快机电设备的国产化改造进程,技术人员要基于国产技术研发抽水蓄能机组的开关设备,包括换相隔离开关、发电机断路器、母线分段隔离开关,降低水电技术对国外技术的依赖度,有效填补了水电站、抽水蓄能电站的技术空白。技术人员预设机组浇注母线长直段、接口,缩短弯头生产周期,保证交货期在一个月以内。为了实现以上目标,水电部门要提供优质的母线安装条件,以此满足主变压器的充电要求。

在主变压器施工过程中,通过专用平台缩短脚手架搭建时间,保证大件设备、车辆均可在专用平台下方运输,以免耽误主变压器的施工进度。在安装高压电缆之前,技术人员要完善钢制楼梯、竖井楼板的安装任务,协调脚手架、支架的安装时间,缩短直线工程工期。

三、水电站与抽水蓄能电站运行效益分析

(一) 静态效益

抽水蓄能电站运行效益非常多,静态效益主要包括容量效益、电量效益。其中,前者是抽水蓄能电站的投入,能够减少电厂建设成本;后者则通过节约能源获取经济效益。无论哪种效益获取方式,都能推动我国电力行业的发展。经过长期运行实践可知,抽水蓄能机组具备显著技术优势:其一,运营寿命长、能量密度低,但是前期投资成本高昂,必须基于实际提出降成本方案。其二,当电力系统用电负荷较少时,抽水蓄能电站的功能在于利用剩余电量抽取水源,在高效能区域提高燃料利用率,实现降本增益目的。

(二) 动态效益

抽水蓄能机组具备调节范围宽、启动速度快等优势,因此要以动态消音分析法动态调控电网运行状态。为了减少能源浪费问题,应当参考实际情况选择效益分析方法,比如基于电网平衡角度分析,发电功率变化明显超过系统变化,因此为了实时监控负荷指标,工作人员要加强责任心,深入研究抽水蓄能电站的调频效益、调相效益。调频效益,即当地网频率波动变化明显时,通

过启动抽水蓄能机组实现降本增益效果。调相效益，即调控系统无功功率 [9]。无论上述哪种效益，都可以控制机组运行成本。抽水蓄能机组参与到电网调相流程中的效益可观。鉴于此，电力企业要从电量、容量两方面分析动态效益，以此减少投资成本支出问题。同时也要分析事故备用效率，当电网系统发生故障时，为了平衡运行状态，电力人员借助事故备用机组启动电网，促使电网处于正常运转状态，以免影响供电稳定性。

（三）环境效益

随着城镇化建设速度的加快，社会生产与生活对资源需求量持续提升，水电部门要深入分析抽水蓄能电站的环境效益。抽水蓄能电站以水为能源，发电过程不会破坏生态环境，而化石燃料燃烧会产生有害气体，危害生态环境质量。研究提示，氮氧化物是造成大气环境污染的重要因素，水电部门可通过实测法评估氮氧化物的排放量，严格控制有毒物质的排放，保障生态环境效益。

四、抽水蓄能电站的未来发展策略

（一）强化环保意识，制定环境保护法规

水利建设活动容易影响土壤、河流等自然环境，当水电站周边发生泥石流、滑坡灾害时，就会严重威胁周边群众的生命财产安全，因此要强化环境保护意识，建立一系列环境法律法规。水电部门必须加强全员环保意识，为水电站建设工程提供环境保护法律支持。同时要对项目建设行为的影响系数进行评估，掌握环保投资效益、预期效益的关系^[10]。水电部门为了实现可持续发展

目标，还要合理规划环境保护方案，降低施工行为对生态环境的危害，并以科学整治措施保障水电站生态环境的稳定性。

（二）重视水电站信息管理，完善基础设施建设

在建设水电站工程时，技术人员通过监测系统对水电站运行状态进行监测，保证系统运行全过程的公开化、透明化。在现代科技的支持下，水电部门能够自动采集旱季、雨季信息，为日常工作提供技术化保障。在水电站信息资源整合、存储工作中，持续加强资源信息收集能力，并与其他部门共享水利信息资源。若为新建水电站工程，技术人员要同步开展抽水蓄能电站建设、信息化建设工程，以加强水电站管理技能。为了进一步提高管理成效，水电部门还要重视日常监测、安全管理等工作，操作如下：（1）优化配置部门人力资源，建立可行的管理制度。（2）定期组织管理人员参与教育培训工作，加强管理节约意识，从根本上提高水利资源的利用效率。同时要鼓励社会资本参与，为抽水蓄能电站建设、检修、维护提供资金保障，避免浪费国家资源。最后，在现代科技发展背景下，抽水蓄能电站可配置视频监控系統，随时检测水电站运行现场的不良问题，减轻日常运维压力。

五、结束语

综上所述，政策环境、技术水平、经济效益是抽水蓄能电站发展的关键性因素，决定着水电站的运行效率与质量。只有保证各项支持性措施的执行效果，才能为抽水蓄能电站提供发展条件，为水电行业能源转型、环境保护提供强大支撑。

参考文献

- [1] 叶宏, 孙勇, 阎峻, 等. 数字孪生智能抽水蓄能电站研究及其检修应用 [J]. 水电能源科学, 2022(006): 040.
- [2] 张瑞. 抽水蓄能电站面板堆石坝的地震永久变形分析 [D]. 大连理工大学, 2014.
- [3] 孙佳祥, 华伟琪, 张晓峰. 抽水蓄能电站运维一体化项目实施及评价研究 [J]. 中文科技期刊数据库 (全文版) 社会科学, 2022(10): 4.
- [4] 王建信. A 抽水蓄能电站运维一体化项目实施及评价研究 [D]. 华北电力大学; 华北电力大学 (北京), 2017.
- [5] 周祥斌. 电力市场化形势下抽水蓄能电站成本回收机制研究 [J]. 价格月刊, 2018(4): 3.
- [6] 卢鑫鑫. 高水头抽水蓄能电站混流式水轮机不稳定性的分析研究 [J]. 电气技术与经济, 2023, (04): 80-82.
- [7] 陈宏宇, 孙美琪, 李姿璇. 新建抽水蓄能电站生产准备员工培训模式创新与实践 [J]. 中国电力教育, 2023, (06): 51-52.
- [8] 杜雅楠, 曹佳丽, 徐亚鹏, 赵强. 水电与抽水蓄能电站运维期金属技术监督典型问题及应对措施 [J]. 水电与抽水蓄能, 2023, 9(02): 74-77.
- [9] 梁庚. 大型水电站与抽水蓄能电站智慧运维与控制技术 [J]. 水电与抽水蓄能, 2022, 8(03): 2-3.
- [10] 何涛, 王传礼, 高博, 陈凡, 王伟俊, 赵凯平. 废弃矿井抽水蓄能电站基础设施建设装备关键问题及对策 [J]. 科技导报, 2021, 39(13): 59-65.

智慧水利背景下地方水利信息化资源整合共享研究

梅星

江苏南水科技有限公司, 江苏 南京 210012

摘 要 : 在智慧水利的背景下, 地方水利部门积累了大量的水利信息化资源, 但由于标准不一、技术落后、管理分散等原因, 这些资源难以充分利用和共享。本文分析了当前地方水利信息化资源整合共享的重要性, 提出了基于云计算、大数据等新一代信息技术, 在标准规范、整合集中、共享开放等方面加强地方水利信息资源整合共享的对策, 以期为推进智慧水利建设提供参考。

关 键 词 : 智慧水利; 水利信息化; 资源整合; 共享机制

Research on Resource Integration and Sharing of Local Water Conservancy Informatization under the Background of Smart Water Conservancy

Mei Xing

Jiangsu Naiwch Technology Co., Ltd. Nanjing, Jiangsu 210012

Abstract : In the context of smart water management, local water authorities have accumulated a large amount of water information resources. However, due to inconsistent standards, outdated technology, and fragmented management, these resources are difficult to fully utilize and share. This paper analyzes the importance of integrating and sharing local water information resources in the current context, and proposes strategies for strengthening the integration and sharing of local water information resources based on new-generation information technologies such as cloud computing and big data. These strategies focus on standardization, centralized integration, and open sharing, aiming to provide a reference for advancing smart water management.

Keywords : smart water conservancy; water conservancy informatization; resource integration; sharing mechanism

引言

近年来, 水利信息化建设取得长足进展, 信息化应用渗透到水利工作各领域, 极大提高了水利管理与服务水平。但从地方水利信息化发展现状看, 普遍存在系统多、数据散、标准不一等问题, 导致信息资源割裂、难以共享, 既造成资源浪费, 也制约了智慧水利建设。因此, 如何整合利用好地方现有的水利信息资源, 避免重复建设, 实现互联互通和充分共享, 已成为智慧水利建设亟待解决的关键问题。

一、地方水利信息化资源整合共享的重要性

智慧水利建设是新时代水利现代化的重要内容和方向。而地方水利信息化资源的整合共享, 是实现智慧水利的关键一环。当前, 地方水利信息化建设已取得长足进展, 但仍面临诸多挑战。打破部门间的信息壁垒, 实现水利数据的互联互通和充分共享, 不仅是提高水利管理效能的迫切需要, 更是智慧水利建设的重要基石。只有加快地方水利信息资源整合共享, 打通从数据采集、传输到存储、处理、应用的全链条, 构建起全省一体化的水利信息共享交换体系, 才能充分挖掘和利用水利大数据的巨大价值, 用现代信息技术武装水利, 用数字赋能水利, 推动水利治理体系和治理能力现代化, 为保障国家水安全、服务经济社会发展提供有力支撑^[1]。因此, 推进地方水利信息资源整合共享, 是顺应信

息化发展大势所趋, 是推进智慧水利建设的关键一招, 必须引起高度重视、迅速行动。

二、智慧水利背景下推进水利信息资源整合共享的对策

(一) 建立健全工作机制

当前, 地方水利信息化项目多头管理、条块分割的现状还比较普遍, 缺乏统一规划和有效协调, 难以形成工作合力。对此, 亟须建立健全工作机制, 加强组织领导, 形成责任明确、分工协作、高效运转的工作格局。一是要高位推动, 加强领导。成立由主要负责同志任组长的水利信息资源整合共享工作领导小组, 统筹谋划、整体推进全省水利信息资源整合共享工作, 领导小组下

设办公室，负责日常工作的组织协调、督查落实。二是要建立联动机制，强化协同。建立省水利厅与省直有关部门、流域机构的联席会议制度，加强沟通对接，协调解决跨层级、跨部门、跨系统的重大问题。联席会议每季度至少召开一次，研究制定年度工作计划，部署阶段性重点任务^[2]。三是要明确责任分工，夯实基础。制定水利信息资源整合共享实施方案，明确工作目标、主要任务和进度安排。梳理形成全省水利信息资源目录，划分数据权属，确定整合共享的范围、内容和方式。各相关单位要细化分解任务，逐项明确责任部门和完成时限。四是要健全制度机制，规范管理，研究制定水利信息资源管理办法，进一步规范数据采集、更新、存储、共享、开放流程，明确质量标准、安全要求和保障措施。同时完善水利信息化项目管理制度，严把项目建设、验收、运维关口，提高建设标准和管理水平。

（二）加快标准规范建设

目前，地方水利信息化标准体系还不完善，数据格式、接口规范不统一，导致信息系统互联互通难度大，数据共享交换成本高。对此，必须高度重视标准规范建设，加快构建全省统一的水利信息标准规范体系，用标准的力量打通部门间的信息壁垒，为水利信息资源高效整合、广泛共享扫清障碍。首先，要全面梳理现有标准规范，找准突出短板和薄弱环节，有针对性地制修订数据采集、存储、管理、共享、使用等标准规范，重点突破数据格式、内容、接口等关键领域的标准，努力实现数据来源、口径、更新的标准化和规范化，形成全省水利数据“同步同标”的良好格局^[3]。其次，要加强与相关部门的标准对接。水利工作涉及气象、国土、环保、农业、应急等多个行业部门，必须主动加强沟通协调，借鉴吸收相关部门先进适用的信息化标准，积极推动水文、工情、灾情等数据的标准共建共享，不断提高水利标准规范的协同性、适用性，实现跨部门数据标准互认、业务高效协同。最后，要制定切合基层实际、务实管用的水利信息系统建设指南。当前，不少地市级水利部门信息化建设处于起步阶段，缺乏统一规划和标准，导致新建系统可移植性差、扩展性不强。省级部门要充分考虑基层的实际需求和应用场景，制定一套简明易行、符合地方实际的水利信息系统建设技术标准和规范，指导地市做好顶层设计，规范系统开发建设，夯实省级整合共享的数据基础。

（三）稳步推进数据整合

当前，地方水利数据资源分散在不同业务部门和系统，数据孤岛严重制约了数据共享应用。推进数据整合，就是要打通数据壁垒，汇聚数据资源，让数据联起来、活起来、用起来。推进数据整合，首要任务是摸清家底，各级水利部门要全面梳理本地区、本部门的数据资源，深入系统、触达基层，详细了解数据的内容、格式、标准、权属等情况，形成全面准确的数据资源台账。在此基础上，要编制水利基础数据、业务数据、共享数据目录，明确整合范围和内容，做到心中有数、对表账目。摸清情况后，就要按照统一标准，稳妥有序推进数据整合，本着“宜早不宜迟、宜快不宜慢”的原则，科学制定数据整合方案和实施计划，分批分步组织开展数据清洗、格式转换、质量校验等工作，

逐步实现分散数据向中心聚拢，异构数据向标准回归^[4]。在此过程中，既要保证数据整合的规范性、准确性，又要充分考虑基层的接受能力和工作实际，避免层层加码。数据整合的最终目标是要把分散的水利数据资源集中起来，统一管理和应用。为此，要加快建设全省统一的水利基础数据库，将整合后的标准化数据按照主题、时间、空间等维度集中存储、规范管理、动态更新，并通过云计算、大数据等技术手段，为防汛抗旱、水资源管理、山洪灾害防治等各项业务应用提供高质量、高时效的数据支撑和服务，让数据源源不断地流淌，让数据红利充分释放。

（四）构建统一业务平台

目前，防汛、抗旱、水资源管理等业务缺乏统一平台支撑，难以实现信息共享、业务协同。破解这一难题，关键是要着眼全局，统筹规划，加快构建全省统一的水利业务协同服务平台^[5]。构建水利业务协同服务平台，必须坚持一体化设计、一体化建设，要立足水利工作全局，从防汛抗旱、水资源管理、水土保持、水生态文明建设等各项中心工作出发，系统梳理各专业业务和管理流程，科学构建业务协同架构，明确各业务系统的功能定位、衔接关系和数据交换方式，实现业务应用、数据资源、基础设施的全面整合和集约共享。平台建设要充分利用云计算、大数据等新一代信息技术，着力打造开放兼容、弹性灵活的业务支撑环境，通过构建资源池、服务总线等技术架构，将各类计算、存储、网络资源进行虚拟化整合，实现资源的统一管理和按需分配^[6]。同时，要加快推进已建业务系统的平台化改造，打通“烟囱”系统的数据通道，实现跨层级、跨部门、跨业务的无缝对接和协同联动。在统一平台支撑下，要重点建设一批事关防汛抗旱、水安全保障的重大业务应用系统。比如，要依托大数据、物联网等技术，加快建设全省防汛预警指挥系统，实现雨情、水情、工情等信息的实时感知和动态研判，提高预警和应急指挥的精准性、时效性。要整合分散监测资源，建设省、市、县三级联动的山洪灾害监测预警体系，切实提升基层防灾减灾能力，同时统筹各类水资源监测设施，完善水资源监测综合业务平台，为水资源统一管理、优化配置提供数据支撑。

（五）加快大数据中心建设

建设水利大数据中心，首要任务是要高标准规划设计，科学划定数据采集、传输、存储、计算、应用等功能区域，合理配置软硬件基础设施，为海量异构数据提供安全可靠的汇聚存储环境，要充分利用云计算、分布式存储等技术，构建灵活可扩展的数据存储架构，既要满足水利数据规模化存储需求，又要兼顾存储成本和运维效率^[7]。同时，要通过网络带宽提升、数据压缩等手段，提高数据传输效率，确保水利数据及时准确地归集到大数据中心。数据汇聚只是第一步，更重要的是要深挖数据价值。大数据中心建成后，应着力开展数据治理、数据分析挖掘和数据资产管理，通过数据质量检查、数据脱敏、元数据管理等治理工作，全面提升数据的准确性、安全性和可用性。利用数据仓库、数据挖掘等技术，深入开展水情预测预报、工程安全诊断、水资源优化调度等大数据分析应用，及时发现管理短板，精准支撑决策，不断提高水利管理的科学化、精细化水平。同时，要加强数

据资产管理,建立规范的数据资产台账,明晰数据产权归属,完善数据共享开放机制,盘活水利数据资源,充分释放大数据红利。培养高素质的大数据人才队伍,是推动大数据中心建设的关键支撑,各级水利部门要高度重视大数据人才培养,多渠道引进和培育一批既懂水利业务、又精通大数据技术的复合型人才。通过举办专题培训、技能竞赛等方式,强化实践锻炼,切实提升干部职工运用大数据的意识和能力^[8]。此外,鼓励高校、科研院所与水利部门开展产学研合作,加强大数据理论研究和关键技术攻关,为水利大数据应用提供持续的智力支持和技术支撑。

(六) 深化共享开放应用

推进水利数据共享开放,应牢牢把握经济社会数字化转型的时代要求,主动融入国家和省级政务数据共享交换体系,加快完善跨层级、跨部门、跨区域的水利数据共享交换机制。要与政府政务数据资源目录体系深度对接,依法依规向社会开放水雨情、工程运行、水资源管理等公共数据,制定严谨细致的数据共享开放实施细则,明确共享数据的范围、标准、程序、责任和安全保障措施,规范有序推进数据资源向社会开放,释放数据红利,服务经济社会发展。开放的数据只有与实际应用紧密结合,才能创造价值,水利部门要立足防洪抗旱、水资源管理、水生态保护等中心工作,充分挖掘数据资源应用潜力,加快推进水利数据在防灾减灾、节水治污、智慧河湖等领域的深度应用^[9]。比如,及时向应急部门共享水雨情预警信息,为抢险救灾提供数据支撑;向自然资源、生态环境等部门开放水资源管理数据,助力流域综合治理;面向公众开放河湖水质、湿地保护等数据,接受社会监督,形成共治共享格局。通过深化数据应用,实现精准感知、科学决策、高效治理,不断提升水利公共服务和社会治理的整体效能。开放共享是发展大势所趋,市场参与是畅通数据流通的重要途径,水利部门要积极探索政企合作新模式,鼓励支持企业、社会机构参与水利数据开发利用。在数据汇聚、软件开发、平台建设等方面,充分发挥市场主体的专业优势和创新活力,吸引社会资本和技术力量深度参与,构建多方参与、互利共赢的水利数据开发利用新生态。同时,要加强数据资产管理,建立政府监管、企业运营、社会参与的共治格局,规范数据资产确权、交易和安

全管理,促进水利数据资源高效流动、价值迸发。

(七) 强化安全体系建设

首先,要从制度机制入手,全面落实网络安全责任制,明确各级、各部门的安全管理责任,构建横向到边、纵向到底的网络安全责任体系。要健全网络与信息安全管理制,建立统一的安全管理规范和技术标准,规范信息系统规划、建设、运维的全生命周期管理,形成严密的制度防线^[10]。同时,要强化安全意识教育培训,提高广大水利干部职工的网络安全意识和防护技能,筑牢人防意识堡垒。其次,面对日益复杂的网络安全形势,必须运用先进技术手段,切实提升水利信息系统的本质安全,全面排查信息系统安全隐患,科学评估安全风险,分级分类制定针对性防护方案。对防汛抗旱、水资源管理等关键领域信息系统,要实施最严格的安全保护,加强物理隔离和安全加固,提高抵御网络攻击、病毒侵袭的能力。对普通业务系统,也要强化边界防护、访问控制等安全措施,最大限度降低安全风险。最后,在做好事前风险评估和安全加固的同时,还要加强事中事后监管。定期开展信息系统等级保护测评和风险评估,及时发现和整改安全隐患,建立健全网络安全监测预警机制,及时掌握全省水利信息系统安全态势,强化重要时期、敏感时点的风险防控。同时开展应急演练,检验应急预案的可行性和有效性,一旦发生安全事件,要按照应急预案快速响应、妥善处置,确保水利信息系统安全平稳运行。

三、结束语

新一代信息技术的发展,为破解当前水利“数据孤岛”、信息壁垒提供了新思路新手段,各地水利部门要树立资源整合、共建共享意识,加快标准规范制定,加快大数据中心建设,强化信息安全防护,充分利用现代信息技术积极探索水利信息资源整合共享新模式,为建设集约高效、智慧节水的现代水利提供有力支撑,以信息化引领水利现代化,为建设水利强国、保障国家水安全作出新的更大贡献。

参考文献

- [1] 龚学栋.智慧水利阶段的水利水电工程信息化建设研究[J].建筑工程技术与设计,2022,10(21):115-117.
- [2] 毛国新,周力,张永威.新疆生产建设兵团水利信息化资源整合与共享[J].水利信息化,2022,(03):78-82+94.
- [3] 程晖.刍议流域水利信息化综合管理信息资源整合与共享[J].通讯世界,2020,27(04):29-30.
- [4] 薛井俊,袁志波.大型水利枢纽信息资源整合共享技术研究与实践[J].江苏水利,2019,(11):51-54.
- [5] 张瑜.新时期“智慧水利”项目建设研究[J].珠江水运,2021,000(021):101-102.
- [6] 杨珏琛,宋文海,陶锋.水利工程中智慧水利信息化系统运用研究[J].通讯世界,2022,29(12):193-195.
- [7] 何世力,董杰.水利工程管理信息化建设策略探讨[J].水电水利,2022,6(1):64-66.
- [8] 陈继明.智慧水利发展现状及关键技术研究进展[J].河南水利与南水北调,2023,52(2):101-102.
- [9] 付静,杨非.智慧水利公共服务研究[J].水利信息化,2020(1):6.
- [10] 冯毅,詹然.基于水联网及智慧水利提高水资源效能探究[J].产业创新研究,2022(22):106-108.

成都市某县县城排水防涝规划研究

蒋胜银

成都市市政工程设计研究院有限公司，四川 成都 610023

摘要： 本文结合成都市某县县城排水防涝规划进行研究探讨，分析针对县城易发生内涝的现状在城市防涝系统、城市排水管网等方面的规划方案，为同类型县城排水防涝的研究提供借鉴意义。

关键词： 综合防涝；水网连通；低影响开发；雨洪分流

Study on Drainage and Flood Prevention Planning of a County in Chengdu

Jiang Shengyin

Chengdu Municipal Engineering Design and Research Institute Co., Ltd. Chengdu, Sichuan 610023

Abstract： This paper studies and discusses the drainage and flood prevention planning of a county in Chengdu, and analyzes the planning scheme of urban flood prevention system and urban drainage network in view of the current situation that the county is prone to waterlogging, so as to provide reference for the research of drainage and flood prevention of similar counties.

Keywords： comprehensive flood prevention; water network connection; low impact development; rain and flood diversion

引言

随着城市发展迅速，人口快速增加，城市现有排水系统超负荷运行；地表硬化程度加剧，雨水调蓄程度弱化，城市气候频频出现极端现象，导致内涝问题频发。城市区财富高度集聚、建筑密度高、地下空间设施复杂且车库密集，暴雨内涝易引发人员受困和地下设施水浸事故，严重威胁居民生命及财产安全，提高城市排水防涝能力刻不容缓。排水防涝规划研究能对城市起到基础设施建设引领作用，推进城市排水防涝能力达标，提高人民的生命财产安全。

本文结合成都市某县县城排水防涝规划进行研究探讨，分析针对县城现状排水情况在城市防涝系统、城市排水管网等方面的规划方案。

一、现状排水概况

近年来，该县县城城区规模不断扩大，城区不透水地面增多，排水量大大增加，原有的区域局部管网不能满足排水的要求。主要存在问题归纳如下：当前部分排水管线存在断面尺寸偏小问题，在遭遇强降雨时，其输送容量无法满足实际排水需求；覆盖率和达标率有待进一步提高；现状河道水系排洪能力不足，部分排洪体系尚未完善，由于河道排水能力导致管网排水不畅，进而增大内涝风险；局部地块地势低洼，缺乏有效防涝措施。城市建成区用地竖向、开发密度等缺乏统筹，增加内涝风险。

二、应对策略与措施

（一）规划原则及思路

1. 规划原则

多目标定位，综合施策原则：着力构建防洪排涝安全保障体

系，推进城市生态空间品质优化，同步实施初期雨水径流污染防控措施。

系统统筹原则：遵循雨洪管理全流程理念，统筹规划从径流产生到排放终端的完整周期，实现与交通路网、园林景观、地形高程、水体生态及防灾排涝等专项设计的有机整合与协同。

因地制宜原则：常规措施与综合措施结合，如低影响开发技术、海绵城市建设等，全面提高城市排水防涝水平，采取蓄、滞、渗、净、用、排结合，实现综合治理。

管道排水和调蓄并用原则：立足现状基础条件，优先活化既有管网效能，通过构建滞蓄协同体系提升防涝能力，实现新建管网体系与既有排水网络的空间适配与功能互补。

2. 规划思路

总体思路：大大提高城市防涝能力，从单纯的排水向综合防涝转变，从粗放型向精细化转变。以常规排水设施为基础，通过综合手段提高区域排水防涝能力。

雨洪协同治理方案：基于气候特征、土壤性状及水文条件多

维度统筹，构建“蓄渗滞净用排”六维联动的内涝防控体系。

(1) 依据城市空间格局与地形特征推行分区集水策略。首推道路透水铺装与绿地滞渗工程，次选开放空间径流调蓄设施建设，强化公园绿道等线性空间的雨洪吸纳功能。

(2) 实施水系廊道生态修复与排涝通道扩容工程。针对重点涝区制定管网—河道—调蓄池联动的系统性提升方案。

(3) 重点排查文教卫设施、交通枢纽、地下综合体等防护区高程匹配度，通过竖向管控与防倒灌设施改造，确保重点区域满足内涝设防标准。

(二) 城市防涝系统规划

1. 平面与竖向控制

由于城市建设不同步、地块开发进展也缓急不同，中心城区城建地面标高差异较大且难以同时全面达到城建高程。因此，建议加强新建、改建地块的地面标高的监管，对新建城区需按规划要求抬高地面，对老城区应结合小区改造逐步抬高地面。同时，要尽可能利用新建区和新建建筑物的地下空间作为蓄滞洪区，有计划地将雨后低洼地块的积水缓存在雨洪调蓄空间内，解决低洼地的水浸问题，待雨洪过后再将调蓄空间的雨水抽排到外河。

2. 水系综合整治

河流综合整治的主要内容：

(1) 划定河流水域控制线

在满足防洪、排涝要求的前提下，通过设计流量复核计算及水面线的推求，合理确定各河流规划岸线及管理范围控制线，为河流整治建设、管理提供依据。

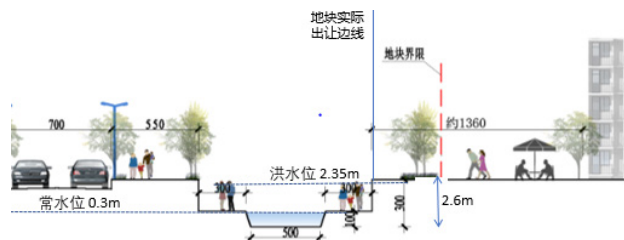
(2) 河流断面设计

根据历年河流断面以及地形资料，对河流特征以及河床演变分析，确定河流行洪宽度及堤线布置，针对河流局部行洪阻水卡口采取扩宽、清障、清淤等整治措施，增加河流过流能力。

(3) 河流堤防整治

根据河流控制线及两岸堤防的现状，合理确定堤防的平面布置，按照河流的设计水面线确定河宽等规模，并结合两岸用地规划、亲水平台、文化绿化长廊、湿地等景观要求拟定河流整治堤防的断面型式。

例如防洪规划中要求南部新城盐井沟最小河道宽8m，但现状河道宽度仅4~7m，且现状桥涵、暗渠普遍较低进一步压缩河道过流断面。该区域主要改造措施为对盐井沟进行拓宽改造，使其防洪能力达标。



>图1 盐井沟改造断面示意图

3. 城市防涝设施布局

池塘、湖泊等水体单元作为城市地表径流调控的生态基础设

施，承担河道溢流疏导、管网超载分流及暴雨径流消纳的三重功能。做好对现状的池塘、湖泊保护工程，可以起到调蓄洪峰，减少洪涝灾害的作用。

为发挥池塘、湖泊等的雨洪调蓄功能，需做好维护管理工作，主要工作内容包括以下方面：

(1) 对池塘、湖泊进行清淤工作

根据管理维护经验，池塘、湖泊经过长期淤积后，会显著减小其有效容积，如进行全方位疏浚清淤，水体调蓄能力将大幅增加，充分发挥效益。

(2) 保持泄洪道等泄水设施的畅通

当池塘、湖泊水位过高时，就需要向下游河流排泄洪水。应推进排水管网系统周期性淤积物清运工程，保证池塘、湖泊的泄洪能力。

(3) 实施水网连通

池塘、湖泊的面积和库容越大，其调蓄能力越强。各个池塘、湖泊相对独立时，调蓄能力有限。可将距离较近的池塘、湖泊进行连通，通过构建河湖水系的互联互通网络，流域集水范围得以扩展，借助协同管理机制实施统筹调配，可有效提升区域水资源调节效能。

(三) 城市排水（雨水）管网规划

1. 径流量控制

在城市化发展过程中，城市硬化面积越来越大，由此带来了径流系数增加、径流量增大和面源污染加重等许多负面影响，因此低影响开发的理念和技术越来越多地在城市新建和改扩建工程中被应用。

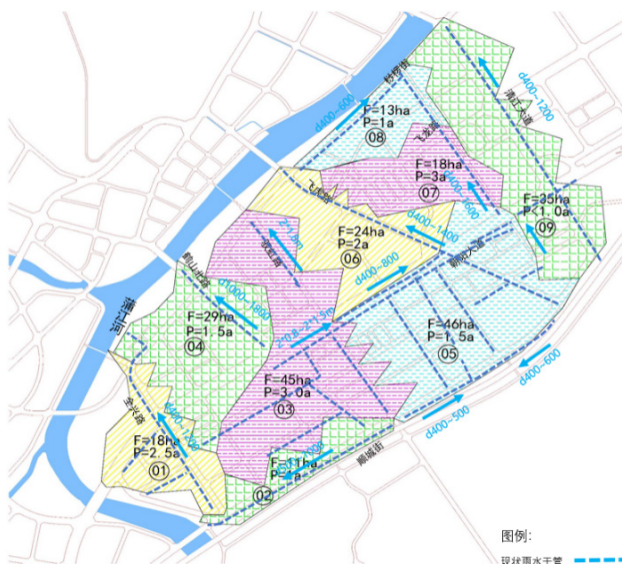
本规划结合海绵城市理念，提出利用生态绿地、透水铺装等措施增强雨水渗透与调蓄功能的引导，形成“源头减排—过程控制—末端治理”的多层级内涝防治体系。改建河道与扩容管网可快速缓解既有排水压力，而海绵城市建设则从源头降低雨水径流峰值，两者结合能够有效应对极端天气下的内涝风险。

2. 管渠规划原则

基于现状地形地貌与既有排涝系统，构建近域分散式分级排水体系；有机衔接城市防涝工程体系，通过水力模型模拟开展多方案比选论证，优选管网空间布局；依托自然地形高差，采用重力排水方式为主，最大限度控制雨水泵站建设规模；雨洪分流，防止山洪进入城市排水系统，完善截洪沟系统，将截留的山洪水就近引入水体；新建管网系统应严格对标所在片区现行规范参数进行布设；针对既有管网不达标的易涝区域，重点实施源头减量、径流分割、通道扩容、调蓄滞洪等系统性改造工程，通过多维度提升管网排水效能增强系统防涝韧性。

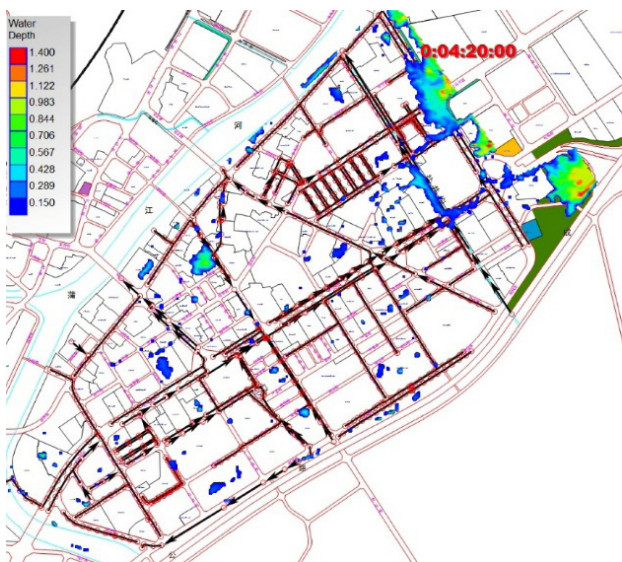
3. 雨水管网规划（以南部新城为例）

南部新城区域均为建成区，总体排水流向为由南至北排往别处蒲江河，其中沿馥虹路及盐井街有现状排洪河道纸板厂沟排洪渠以及盐井沟排洪渠；其余在全兴街、清江大道、杪楞街、朝阳大道、飞虎路、鹤山北路、顺城街邓等道路下游区域主干管将南部新城区域划分为大致9个小的排水分区。



>图2 南部新城排水分区示意图

南部新城现状部分道路上仍采用雨水边沟，甚至部分道路未设置雨水管。通过内涝模型模拟，在20年一遇的暴雨强度下，南部新城及周边区域排涝能力严重不足。



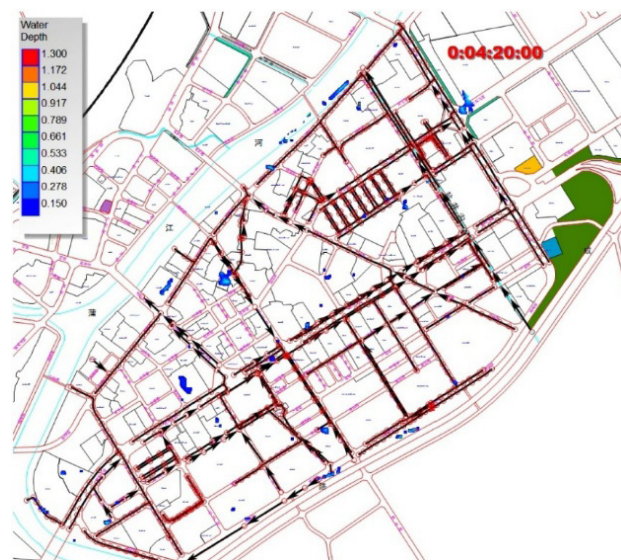
>图3 南部新城内涝模拟（降雨重现期：20年）

通过模拟现状南部新城区域的内涝情况，并结合历年内涝情况可知，南部新城存在较大内涝隐患，主要内涝区域集中在清江大道、盐井沟沿线、鹤山中学区域等点位区域。

南部新城内涝呈现多点位性，盐井沟附近区域存在较大内涝风险。主要原因：受盐井沟影响附近区域内涝排水不畅；现状雨水管网系统不完善，且排水能力普遍较低；局部地势较低。根据模型模拟及理论分析，本次主要采取对清江大道、广定路、东驭路、广场西路、健民路等雨水管道扩容，整治改造行洪河道，以及其他措施，综合提升区域防洪排涝能力。

4. 系统改造后的评估

通过模型模拟现状南部新城区域改造后，以南部新城为例在设计工况下最内涝最大情况如下图所示，区域内涝基本得到解决。



>图4 南部新城系统改造后内涝模拟

三、结语

该县城区内涝成因较为复杂，既有河道水系排洪能力不足的因素；也有排水管网体系不完善、规模偏小等因素；局部也存在地势低洼、排水不畅等因素。本研究针对该县城内涝成因，围绕城市防涝系统与雨水管网规划展开系统性探讨，提出了涵盖河道水系改建、排水设施优化及海绵城市建设的综合改造方案。通过重构河道水系网络、扩容管网及疏通关键节点，显著提升了区域排水防涝能力。本研究可为同类型县城的内涝治理提供参考，助力新型城镇化建设背景下城市安全与生态宜居目标的实现。

参考文献

- [1] 徐跃林. 绿色建筑给排水技术应用分析[J]. 佛山陶瓷, 2023, (8): 97-99.
- [2] 魏娇. 市政给排水设计合理性的措施探讨[J]. 科海故事博览, 2022(3): 112-114.
- [3] 许丁晓. 海绵城市给排水建设的问题及对策分析[J]. 四川水泥, 2020, (4): 290.
- [4] 谢勤. 基于海绵城市背景下的城市道路设计优化探析[J]. 江西建材, 2020, (8): 212-213.
- [5] 韦乘林. 城市排涝泵站增容工程规划设计要点研究[J]. 陕西水利, 2020, (6): 203-205.

论如何加强水利工程水土保持的措施

田琴香

甘肃省永昌县水务局水土保持工作站, 甘肃 金昌 737200

摘 要 : 水土保持是保障水利工程可持续运行的重要基础。近年来, 随着各类水利工程的大规模建设, 水土流失问题日益凸显, 既影响工程效益, 又破坏生态环境。本文结合水利工程实际, 分析水土流失的主要成因, 指出其对工程稳定性和生态安全的危害, 进而从农业、林业、工程和生态四方面提出防治与治理对策。通过强化农业耕作制度、推广林草植被恢复、优化工程结构设计以及推进生态修复, 形成多维度协同治理格局。旨在为今后水利工程建设与管理提供可操作的水土保持路径, 实现生态与工程效益的双赢。

关 键 词 : 水利工程; 水土保持; 水土流失原因; 防治措施

How to Strengthen Measures for Soil and Water Conservation in Water Conservancy Projects

Tian Qinxiang

Soil and Water Conservation Workstation of Yongchang County Water Affairs Bureau, Gansu Province, Jinchang, Gansu 737200

Abstract : Soil and water conservation is an important foundation for ensuring the sustainable operation of water conservancy projects. In recent years, with the large-scale construction of various water conservancy projects, the problem of soil erosion has become increasingly prominent, which not only affects the engineering efficiency but also damages the ecological environment. This article combines the actual situation of water conservancy engineering to analyze the main causes of soil erosion, pointing out its harm to engineering stability and ecological security, and then proposing prevention and control measures from four aspects: agriculture, forestry, engineering, and ecology. By strengthening the agricultural cultivation system, promoting the restoration of forest and grass vegetation, optimizing engineering structure design, and promoting ecological restoration, a multidimensional collaborative governance pattern is formed. Intended to provide operational soil and water conservation pathways for future water conservancy engineering construction and management, achieving a win-win situation for ecological and engineering benefits.

Keywords : water conservancy engineering; soil and water conservation; causes of soil erosion; prevention and control measures

引言

水土保持是保护和改善水土资源、促进可持续发展的重要举措。在水利工程建设中, 水土流失的治理与防治工作不仅关系到工程的长期稳定性和有效性, 还关系到整个生态环境的健康发展^[1]。随着我国水利工程建设规模的不断扩大, 水土流失问题愈加严重, 特别是在山区、丘陵等地, 水土流失给农业生产和生态环境带来了巨大的压力。因此, 采取科学有效的水土保持措施, 尤其是在水利工程建设中, 加强水土流失防治, 不仅是确保工程安全运行的需要, 也是促进社会、经济与生态协调发展的必然要求。本文将分析水土流失的主要原因, 探讨水利工程在水土保持中的作用, 最后提出在水利工程中采取的水土保持防治策略, 包括农业、林业、工程和生态等多方面措施。

一、水利工程水土流失的原因

(一) 自然因素

自然因素是水土流失的根本原因之一。水土流失的发生通常与降水量、地形、气候等自然条件密切相关。

降水是引起水土流失的主要因素之一。强降雨、暴雨等极端

天气对土壤的侵蚀作用尤为明显。大量降水会迅速形成地表径流, 迅速带走土壤颗粒, 尤其是在坡度较大的区域, 水流速度较快, 侵蚀力度较大。降水的强度和频率直接影响水土流失的规模和程度, 特别是暴雨季节, 水土流失的风险大幅增加。^[2]

地形地貌对水土流失的影响也十分显著。地形的起伏、坡度以及河流的流向等因素都会影响水流的速度和侵蚀力。一般来

说，坡度越大，水流的冲刷作用越强，水土流失的现象也越严重。在山区和丘陵地区，由于坡度陡峭，水流汇集的速度较快，导致水土流失问题较为突出。

气候因素也对水土流失的程度产生重要影响。在干旱和半干旱地区，由于降水稀少，植被稀疏，土壤干裂，容易造成风蚀和水蚀并存的现象。而在湿润气候区，虽然降水较为充足，但长期强降水和集中降水会加剧水土流失的现象，尤其是当降水过于集中，水流量过大时，会对土壤造成严重侵蚀。

（二）人为因素

除自然因素外，人类活动也是导致水土流失的关键因素之一，尤其是水利工程建设过程中的不当操作。

不合理的土地利用。土地的过度开垦和不合理利用是水土流失的重要原因。在水利工程建设过程中，特别是在坡地和丘陵地区，盲目开发和过度耕种，破坏了自然植被，削弱了土壤的防护能力。土壤的耕作层变薄，缺乏足够的保护层，导致土壤容易被风吹或水冲刷，造成水土流失。特别是在一些农业生产上，过度开垦导致了坡面植被的破坏，增加了地表水流对土壤的侵蚀。^[3]

建设施工的影响。水利工程建设过程中的施工活动常常对周围环境造成较大的影响。一方面，在施工过程中，特别是大规模的土方工程和开挖作业，会使原有的土壤结构遭到破坏，增加了水土流失的风险。另一方面，由于工程建设过程中常常需要大量的水泥、沙石等建筑材料，这些材料的运输和使用过程中也可能导致一些不当操作，进而影响土壤的结构稳定。

植被破坏。植被覆盖是防止水土流失的天然屏障，然而在一些水利工程建设过程中，过度清除植被以便进行建设，导致土地失去保护层，易受到水流的侵蚀。在某些项目中，为了节约成本或加快工程进度，植被恢复和绿化工作未得到足够重视，导致植被恢复的速度和效果不能满足水土保持的需要。没有足够的植被覆盖，土壤在遭遇降雨和风蚀时容易遭到冲刷，造成大量水土流失。

针对不合理的水利设施设计来说，水利设施的设计不合理，尤其是没有充分考虑水土保持的功能，也会导致水土流失问题的加剧。例如，某些水库的建造过于急功近，未能充分考虑地质条件、植被保护和水流调控的有效性，导致在工程投入使用后，水土流失情况未能得到有效控制。此外，一些小型水利工程在设计时未重视排水系统的规划，水流的集中会加速水土流失。

（三）综合因素

自然和人为因素往往是交织在一起的，二者共同作用，导致水土流失现象愈加严重。气候、降水、地形等自然因素固然是水土流失的重要诱因，但由于人类活动对自然环境的干扰，水土流失问题日益加剧。水利工程建设过程中，应充分考虑自然条件与人工措施的协调性，从根本上进行有效治理。^[4]

二、水利工程在水土保持中的意义

水利工程在水土保持中的意义十分重大，尤其是在当前水土流失问题日益严重的背景下，水利工程不仅仅是为了改善水资源的配置，还肩负着重要的生态保护职能。水利工程通过合理的水资源调度和管理，能够有效减缓雨水径流的速度，减少土壤的冲刷。特别是在一些容易发生洪涝灾害的区域，通过建设水库、蓄水池、堤坝等设施，可以有效地控制雨水流量，减少水流对土壤

表面的侵蚀，从而起到水土保持的作用。例如，修建水库可以通过蓄水减少下游的水流冲刷，降低洪水对土地的侵害，达到防止水土流失的目的。^[5]

水利工程还通过涵养水源和调节生态环境，促进植物的生长，有助于土壤的保持。在一些干旱和半干旱地区，通过修建水利设施如灌溉系统，能够为农业生产提供水源，促进植被覆盖，减少因植被稀少而导致的水土流失。此外，水利工程还通过改善农业灌溉条件，减少土地的过度开垦和过度利用，从而避免了土地沙化和荒漠化的发生。在某些地区，灌溉设施的合理建设能够提高土壤的含水量，增强土壤的稳定性，进一步防止水土流失。

水利工程对生态环境的综合治理也起到积极的推动作用。例如，通过建设湿地保护区、恢复植被覆盖等措施，水利工程能够有效提升生态功能，减少土壤侵蚀。而这些生态功能的改善，不仅是水土保持的具体体现，也有助于提高当地居民的生活质量和生态安全水平。此外，水利工程在水土保持中的意义还体现在其对区域社会和经济的促进作用。通过有效的水土保持，能够保障农田灌溉水源，提高农业生产效率，减轻自然灾害带来的损失。这不仅为农民带来了经济效益，也促进了地方经济的可持续发展。^[6]

三、水利工程水土流失防治与治理的策略

（一）农业措施

农业措施在水利工程水土流失防治与治理中的重要性不可忽视，因其直接关系到土地的可持续利用和生态环境的保护。合理的耕作方式和种植结构调整是防止水土流失的基础。农业措施的核心之一是避免不合理的耕作，如过度耕作、过度开垦等，这些都容易导致土壤的松散和流失。因此，采取合理的轮作、间作、套种等方式，可以减少土壤的破坏，保持土壤的肥力和结构。此外，合理选择作物种植的时间和种类，也是减少水土流失的有效措施。例如，在坡地和易受侵蚀的区域，可以选择一些根系发达的作物，这类作物能够有效固土，防止雨水冲刷造成的水土流失。

农业措施还包括植被恢复和水土保持林的建设。植被对水土保持具有极为重要的作用，尤其是在山区和丘陵地区，通过种植防护林、经济林和牧草带等，能够有效减少雨水对土壤的冲击，减少水土流失。防护林能够在大风、暴雨等恶劣天气条件下，起到屏障作用，保护土壤免受侵蚀。另外，农田排水系统的建设也是水土流失防治中的关键措施。通过合理的排水系统设计，可以避免过量的水分积聚在农田中，从而减少水土流失的风险。例如，设置排水沟和田间蓄水池，可以有效引导水流，避免水流过快而造成土壤流失。农业措施还包括施肥和灌溉管理。在土壤的管理中，合理施肥和灌溉不仅能够提高土壤的肥力和水分保持能力，还能减少因过度灌溉造成的水土流失。科学的水肥一体化管理，既能提高作物的产量，又能最大限度地减少水土流失，达到水土资源的高效利用。

（二）林业措施

林业措施在水利工程水土流失防治与治理中起着至关重要的作用，其核心目标是通过合理的植被覆盖和森林资源的有效利用，减少水土流失并提高生态环境的稳定性。林业措施通过植树造林、修复植被等手段，有效增强土壤的固结能力。树木的根系

深入土壤，可以将土壤牢固地固定住，减少水流的冲刷作用，从而有效防止水土流失。在山区、丘陵等易发生水土流失的区域，通过合理的造林和林木种植，可以有效遏制水土流失，保持水土的稳定性和农业生产环境的可持续性。此外，防护林建设在水土保持中起着至关重要的作用。防护林带的作用不仅是阻挡风沙、减少水土流失，还能够调节局部气候，改善区域的生态环境。例如，在易受侵蚀的坡地和干旱地区，建设防护林带可以有效减缓暴雨和强风带来的影响，减少水流的冲击，从而起到保持土壤稳定的作用。

林业措施还包括生态恢复和生态修复。很多地区由于过度开垦、过度采伐等原因，导致了大量的裸土暴露，极易发生水土流失。因此，通过植被恢复和生态修复，能够有效恢复这些区域的生态环境，减少水土流失的发生。例如，采用多种植物混合栽植的方式，可以提高森林的抗风、抗旱和防火能力，增强生态系统的多样性和稳定性，从而在整体上提高土地的水土保持能力。森林防火措施也是林业措施的重要内容之一。森林火灾不仅会破坏植被，还会导致土壤表层的失去保护，增加水土流失的风险。因此，加强森林防火，避免火灾对森林生态系统的破坏，也是水土保持的一个重要环节。^[6]

林业措施还包括合理利用和保护现有的森林资源。通过控制森林的采伐强度，保持适当的森林覆盖率，能够确保生态系统的长期稳定，防止水土流失的加剧。科学的森林经营不仅能够提高森林资源的利用效率，还能够在保护生态环境的基础上，实现经济效益与生态效益的双赢。

（三）工程措施

工程措施在水利工程水土流失防治与治理中起着至关重要的作用，主要通过技术手段直接解决水土流失问题，确保土地资源的有效保护。水土保持坝的建设是最基本且常见的工程措施之一。水土保持坝通过拦截水流，减少其冲刷力，防止水流对土壤的侵蚀，尤其在山地、丘陵等容易发生水土流失的区域，水土保持坝能够有效降低泥沙流失，保护土壤结构。

梯田的修建是一种有效的水土保持工程技术。通过将坡地改造成阶梯状的地形，梯田能够有效减缓水流速度，减少水土流失。尤其在坡度较大的区域，梯田不仅优化了土地的使用功能，还能增加水土保持的效果，保障农业生产的持续性。再者，护岸工程在防治水土流失方面也发挥着重要作用。水利工程中的护岸措施通常通过修建石笼、混凝土墙等结构来加固河堤或湖岸，防止水流对岸坡的侵蚀，确保水体的稳定性和水土资源的安全。在一些流域，特别是河流沿岸，护岸工程能够有效防止水土流失的蔓延，保持水土环境的长期稳定。此外，排水系统的建设也是不可忽视的工程措施。在易发生水土流失的区域，合理设计和建设

排水系统，可以有效地疏导多余的水流，避免积水冲刷土壤，减少水土流失的风险。^[7]

挡土墙和护坡工程在坡地和山区的水土保持中具有重要作用。挡土墙能够固定松动的土层，防止土体滑动，而护坡工程则通过加强坡面的抗侵蚀能力，防止水流的直接冲刷，从而保障土地的稳定。这些工程措施通过综合运用，能够有效地减少水土流失、提高水土保持效果，保障水利工程的可持续发展。

（四）生态措施

生态措施是水利工程中水土流失防治与治理的重要策略之一，主要通过恢复和保护自然生态系统，增强自然界自我修复的能力，防止水土流失的发生。

植被恢复和种植是最常见的生态措施之一。通过在水土流失严重的区域种植适应性强的草类、灌木或乔木，能够有效增加土地的覆盖度，减少降水对土壤的直接冲刷，降低水土流失的风险。植物根系的生长还能固定土壤，增加土壤的结构稳定性，对改善水土保持环境起到至关重要的作用。特别是在山区、丘陵等易发生水土流失的地方，植树造林和草地恢复能够有效遏制水土流失的扩展，恢复生态平衡。^[8]

水土保持区的生态恢复也十分重要。通过建立水土保持保护区，对水土流失严重的区域进行生态修复，不仅能够恢复水土资源，还能为野生动植物提供栖息地，增强生态系统的多样性。这种方式的优点在于通过自然生态的恢复，增强了土地的可持续性，并且为人类提供了生态产品和生态服务。

合理利用生态工程手段，如湿地建设和退耕还林等措施，也能有效地减少水土流失。例如，通过退耕还林，将原本用于耕种的坡地还给自然生态，恢复植被覆盖，减少农业活动对土地的破坏，长期来看有助于提高土壤质量和保持水源。最后，生态水利工程的应用，如人工湿地的建设，也能够调节水流，净化水质，减少土壤侵蚀。这些生态措施不仅增强了水土保持的效果，而且有助于改善生物多样性和生态环境质量。

四、结语

综上所述，水土流失防治是水利工程中不可忽视的重要任务。通过综合运用农业、林业、工程和生态等多方面的措施，可以有效地解决水土流失问题，保护水土资源，促进生态环境的恢复和可持续发展。随着水利工程建设的不断深入，在今后的水土保持的工作中，由于各方面的复杂因素的影响，必将面临更多的挑战，需要更加科学、系统的规划与实施，以确保生态平衡和社会经济的长远发展。

参考文献

- [1] 陶淑艳. 水利建设对水土保持与生态环境的影响及对策 [J]. 水上安全, 2024, (03): 67-69.
- [2] 祁开云. 水利工程水土保持生态修复技术的应用探析 [J]. 农业灾害研究, 2024, 14(2): 241-243
- [3] 刘秉录. 小型水利工程水土保持方案编制问题探析 [J]. 农业灾害研究, 2024, 14(5): 236-238, 241
- [4] 赵金涛. 水利工程水土保持中生态修复技术的应用 [J]. 智慧中国, 2023, (21): 98-99.
- [5] 王嘉文. 水土保持技术在水利专业工程实践中的应用 [C]// 中国智慧工程研究会. 2024智慧施工与规划设计学术交流会论文集. 杭州大地科技有限公司, 2024: 938-940.
- [6] 崔红. 水利工程施工中水土流失的影响及防治策略研究 [J]. 新农民, 2024, (15): 43-45.
- [7] 王翠丽. 水利工程水土保持防治及治理对策探究 [J]. 水上安全, 2023, (10): 76-78.
- [8] 杨宇, 南帝, 郭彤, 等. 水利工程在水土保持生态建设中生态修复的运用 [J]. 水上安全, 2024, (05): 100-102.

新能源项目全过程生态环保工作评价对策

李琨

吉林吉电新能源有限公司, 吉林 长春 130000

摘要：现阶段全球对于清洁能源的需求都在不断增长，即新能源项目如太阳能、风能、水能、生物质能等在世界各地广泛地开展。本文的核心内容便是新能源项目，在文中深入地剖析了其在规划、建设、运营及退役等全过程当中的生态环保工作。基于此通过构建全面的评价指标体系，从生态影响、污染防治、资源利用等多个维度对生态环保工作进行量化评估，再针对各阶段可能出现的生态环境问题，提出了具体且具有针对性的对策建议。经研究希望能够助力新能源项目生态环保水平的提升，进而促进新能源产业与生态环境的协调可持续发展。

关键词：新能源项目；全过程；生态环保；评价对策

Evaluation Strategies for Ecological and Environmental Protection Throughout the Whole Process of New Energy Projects

Li Kun

Full name of the company: Jilin Jidian New Energy Co., Ltd. Changchun, Jilin 130000

Abstract： At present, the global demand for clean energy is constantly increasing, and new energy projects such as solar energy, wind energy, hydropower, biomass energy, etc. are widely carried out around the world. The core content of this article is the new energy project, which deeply analyzes its ecological and environmental protection work throughout the entire process of planning, construction, operation, and retirement. Based on this, a comprehensive evaluation index system is constructed to quantitatively evaluate ecological and environmental protection work from multiple dimensions such as ecological impact, pollution prevention and control, and resource utilization. Specific and targeted countermeasures and suggestions are proposed for possible ecological and environmental problems at each stage. Through research, we hope to help improve the ecological and environmental protection level of new energy projects, thereby promoting the coordinated and sustainable development of the new energy industry and the ecological environment.

Keywords： new energy projects; the entire process; ecological and environmental protection; evaluation strategy

引言

虽然新能源项目在提供清洁电力、减少碳排放等方面具有显著的优势，然而在项目的全生命周期当中，若生态环保工作处理不当，依然可能会对生态环境造成不同程度的负面影响。如大规模的风力发电场建设可能会影响鸟类的迁徙路线，光伏电站建设则可能导致土地利用变化及水土流失等问题。因此对新能源项目全过程生态环保工作进行科学地评价并提出有效的对策，对于实现新能源产业的可持续发展具有重要的意义。

一、新能源项目全过程生态环保工作评价指标体系构建

（一）规划阶段评价指标——生态环境敏感性分析与环境影响预测准确性评估

项目规划阶段对于评价主体需全面开展两项关键的评价工作。其一为评估项目选址区域的生态环境敏感性，主要需要判

断其是否处于自然保护区、水源保护区、生态脆弱区等敏感区域^[1]。例如若项目选址位于湿地自然保护区附近，则评价主体就需重点关注项目建设和运营对于湿地生态系统的潜在影响，而这可通过查阅相关的地理信息数据、生态环境功能区划图等资料来完成。其二便是分析项目对可能产生的环境影响预测的准确性，比如确定项目建设过程中的噪声、扬尘对周边环境及居民的影响程度预测是否与实际情况相符等等，此时评价主体可通过对比项

目环境影响评价报告中的预测数据与后续的实际监测数据，来进行此项评价。

（二）建设阶段评价指标——生态保护措施落实与污染防治设施运行效果评价

项目建设阶段的评价主体要从两个重要的方面进行考察评价。一方面要考察项目对生态保护措施的执行情况，判断项目是否按照设计要求对施工区域的植被进行了有效的保护和恢复。以山地风电项目建设为例，此项目的评价主体可通过实地检查和查阅施工记录，来确认施工道路建设是否采取了表土剥离及植被恢复措施。另一方面则是评价污染防治设施的运行效果，其中包括施工废水处理设施对悬浮物、化学需氧量等污染物的去除率，以及施工扬尘控制措施对空气质量的改善效果等等^[2]。对此评价主体可依据处理后废水的水质监测数据和施工现场周边空气质量监测数据分析结果，来完成此项评价。

（三）运营阶段评价指标——能源利用效率衡量与生态系统稳定性影响评估

对于项目运营阶段而言，评价主体需着重进行以下两方面的评价工作。第一要衡量项目的能源利用效率，如光伏电站的光电转换效率、风力发电场的风能利用系数等^[3]。原因在于：高效的能源利用意味着在获取相同电量的情况下，减少了对于自然资源的消耗和对环境的潜在影响。此时评价主体可通过对项目实际运行数据与设计标准进行对比，来评价能源的利用效率。第二是要评估项目对于周边生态系统稳定性的影响，像是否导致生物多样性减少、生态系统结构和功能改变等。例如评价主体可长期的监测风力发电场周边鸟类、小型哺乳动物等生物种群数量和分布变化情况，以此来判断项目对生态系统稳定性的影响程度。

（四）退役阶段评价指标——设备拆除与场地恢复计划及废弃物处理评价

在项目退役阶段，评价主体应该开展两项关键的评价任务。即评价设备拆除方案和场地恢复计划的合理性，其中包括了确认设备拆除过程中是否能避免对周边环境造成二次污染，以及场地恢复目标是否符合当地生态环境要求^[4]。此时评价主体可审查退役计划文件，再结合实地考察项目场地的现状来进行评价。提升还需要考察退役阶段产生的废弃物如废旧电池、报废风机叶片等的处理是否符合环保法规的要求，例如废旧电池中含有重金属等有害物质。基于此评价主体需评估其是否被送往有资质的专业处理机构进行无害化处理，即需要查阅废弃物处理合同及相关监管部门的检查记录，再对其进行评价。

二、新能源项目各阶段生态环保工作存在的问题

（一）规划阶段

现阶段部分新能源项目在规划选址时，项目规划团队未能充分地考量生态环境因素，进而导致项目选址于生态敏感区域。如在珍稀动植物栖息地附近建设光伏电站，便可能对于生物生存的环境造成破坏。同时还有一些新能源项目的环境影响评价报告编制单位，对于潜在的生态环境影响分析不够深入，当中存在着遗漏重要环境影响因素的状况。例如对项目可能引发的地质灾害风险评估不足，并未考虑大规模土方工程可能导致的山体滑坡、泥石流等问题，进而使得项目在规划阶段就为后续的生态环保工作

埋下了隐患。

（二）建设阶段

在项目建设施工进程之中，因施工人员环保意识淡薄或者施工管理团队管理不善，常常会出现随意砍伐树木、破坏地表植被等行为，如此便致使水土流失的问题加剧。像水电项目建设，因为大坝施工区域及施工道路沿线植被大量被破坏，使得土壤侵蚀的风险大增。并且部分新能源项目在建设时，其污染防治设施的建设比较滞后又或者运行异常，便会导致施工扬尘、噪声、废水等污染物排放超标。如一些风力发电场建设工地，其未采取有效的洒水降尘措施，那么施工扬尘将对于周边空气质量造成较大的较大，且施工废水未经有效地处理便直接排放，极其可能污染到附近的水体，进而会严重影响到建设阶段的生态环境^[5]。

（三）运营阶段

由于部分新能源项目的设备老化，以及运营维护管理团队管理不到位等因素，导致能源的利用效率低于设计水平。例如早期建设的光伏电站，其因光伏板积尘严重、设备故障未及时修复等，使得光电转换效率大幅度地下降。而这不仅影响了经济效益，还间接地增大了对环境的资源消耗压力。此外新能源项目运营过程产生的噪声和光影等，也会对周边生态系统形成持续地干扰。以风力发电场为例，它运行产生的噪声和光影可能会影响鸟类栖息和繁殖，进而改变鸟类行为模式，长此以往就可能致使鸟类种群数量减少，最终将会破坏生态系统的稳定性。

（四）退役阶段

当前一些新能源项目在规划和建设阶段，项目规划与建设团队并未充分地考虑退役阶段工作，致使退役计划缺乏了详细的设备拆除方案、场地恢复措施和废弃物处理计划，进而使得项目退役时面临诸多的环境问题，如设备拆除过程中的安全隐患和环境污染风险增加^[6]。而且新能源项目退役产生的废弃物具有特殊性，其风机叶片多为复合材料，难以进行降解和回收利用，提升废旧电池也含有多种重金属和有毒有害物质。但针对这些废弃物的处理技术研发团队和相关产业发展目前相对比较滞后，便导致废弃物处理成本高、难度大，此时部分企业就可能存在着违规处置现象，该举动给生态环境带来了潜在的威胁。

三、新能源项目全过程生态环保工作对策建议

（一）规划阶段

1. 科学选址

为了切实地实现科学选址，首要任务便是建立起多部门联合的项目选址决策机制。而这一机制需涵盖生态环境、自然资源、林业等多个部门，且各部门应协同合作，共同参与到项目选址论证当中。对于具体的操作过程而言，应充分地利用地理信息系统（GIS）等先进技术，在项目选址区域的生态环境敏感性方面展开全面且深入的评估。因为只有全面地了解了选址区域的生态环境状况，才能精准地优先选择生态环境影响较小的区域进行项目建设^[7]。

2. 完善环境影响评价

如果想要使环境影响评价得以完善，那么关键就在于加强对于新能源项目环境影响评价的管理。可是当前部分评价单位存在着专业水平参差不齐、责任意识淡薄的问题，所以提高评价单位的专业水平和责任意识迫在眉睫。其核心在于评价报告必须全

面、深入地分析项目可能产生的生态环境影响，且这里的影响不仅局限于短期的、直接的影响，更要充分地考量长期累积的影响和间接影响。例如在评价水电项目对河流生态系统的影响时，评价单位不能仅仅关注到大坝建设对水流、水温等水文条件的即时改变，更要深入地评估对水生生物群落结构和生态功能的长期影响。

（二）建设阶段

1. 加强生态保护

项目施工前项目建设团队就必须制定出详细且切实可行的生态保护方案。该方案当中应明确施工过程中的生态保护目标和具体措施，才可为后续施工中的生态保护工作提供清晰的指导^[8]。同时对施工人员也要进行全面的生态环保培训，因为只有提高了施工人员的环保意识，才能从源头上减少人为因素导致的生态破坏。

不仅如此，在实际施工的过程中，建设团队还要严格地控制施工范围，尽量减少对于施工区域外植被的破坏。因为一旦施工范围失控，施工地周边大量的植被就可能遭受不必要的损毁，进而会引发一系列生态问题。若已经因施工造成了植被破坏，则应及时地采取植被恢复措施。比如种植本地适宜的植物品种，利用本地物种对当地生态环境的适应性，来促进生态系统的自然恢复。

2. 强化污染防治

项目建设团队理应深刻地认识到污染防治工作的重要性，并加大对于建设阶段污染防治设施的投入力度。一方面要确保污染防治设施与主体工程同时设计、同时施工、同时投入使用，做到从根本上控制施工污染。另一方面是要加强对于施工扬尘、噪声、废水等污染物的监测和治理工作。就施工扬尘治理而言，可在施工场地设置自动喷淋降尘系统，此时通过定时喷淋，就能有效地减少扬尘排放，进而改善施工现场周边的空气质量。

（三）运营阶段

1. 提高能源利用效率

项目运营团队的核心任务之一，便是积极地建立完善的设备维护管理体系，因为这一体系对于保障新能源项目设备的稳定运行和高效工作是至关重要的。此重要性体现为：通过定期地巡检、维护和升级改造新能源项目设备，就能够及时地发现并解决设备运行过程中出现的问题，从而确保设备正常运行。现下随着科技的不断进步，采用智能化监控系统也成为了提高能源利用效率的有效手段^[9]。项目团队借助智能化监控系统，可实时地监测设备运行状态，从而获取设备运行的各项数据，然后根据这些数

据即可优化设备的运行参数，达到提高能源利用效率的效果。

2. 减少生态系统干扰

项目运营团队务必充分地意识到项目运营对周边生态系统可能产生的影响，并积极开展项目运营对周边生态系统影响的长期监测工作，以及建立生态监测数据库。而通过长期、持续的监测，即可及时地掌握生态系统的变化情况。随后根据监测结果，项目运营团队需及时地调整项目运营管理措施，进而减少对生态系统的干扰。另外还要加强对周边生态系统的修复和保护，大力通过种植植被、改善生态环境等措施，来提高生态系统的稳定性和抗干扰能力，从而实现新能源项目与周边生态系统的和谐共生。

（四）退役阶段

1. 完善退役计划

项目规划与建设团队在项目规划和建设阶段就应具备前瞻性，同步制定出详细的退役计划。此时退役计划不应是简单粗略的方案，而是要涵盖设备拆除方案、场地恢复计划、废弃物处理方案以及环境监测计划等多方面的内容。提升还要在其中明确各阶段的工作任务、责任主体和时间节点，才能确保退役工作有序地进行^[10]。

2. 推进废弃物处理技术研发与应用

政府及相关部门在新能源项目退役废弃物处理方面，依然肩负着重要的责任，其应加大对于新能源项目退役废弃物处理技术研发的支持力度。可目前新能源项目退役产生的废弃物处理面临着诸多的难题，所以必须鼓励科研机构和企业开展合作，促使二者共同研发出高效、环保的废弃物处理技术。

四、结语

新能源项目在应对全球能源危机和气候变化方面发挥着重要的作用，但在其全过程之中必须高度重视生态环保工作。为此提出通过构建科学合理的生态环保工作评价指标体系，以实现全面、准确地评估项目在各阶段的生态环保工作成效，从而及时地发现存在的问题。随后针对这些问题，还提出了从规划到退役各阶段的具体对策建议，此部分有助于指导新能源项目建设和运营单位采取有效的生态保护和污染防治措施，助力新能源项目与生态环境协调可持续发展的实现。

参考文献

- [1] 邓建福. 基于环评导则体系下环境评价与排污许可制度衔接的逻辑与路径[J]. 皮革制作与环保科技, 2022, 3(13): 149-151. DOI: 10.20025/j.cnki.CN10-1679.2022-13-48.
- [2] 陈智清. 新能源项目全过程生态环保工作评价对策研究[J]. 能源与节能, 2021, (07): 89-90. DOI: 10.16643/j.cnki.14-1360/td.2021.07.035.
- [3] 程秀娟. 关于危险废物处理项目环境影响评价存在的问题分析及对策探讨[J]. 皮革制作与环保科技, 2023, 4(21): 53-55. DOI: 10.20025/j.cnki.CN10-1679.2023-21-18.
- [4] 周道坤, 徐江浩, 陈丹丹, 等. 海上风电项目施工期海洋环境影响跟踪评价指标体系研究与实践[J]. 海洋开发与管理, 2023, 40(11): 59-66.
- [5] 徐尧, 巫丹, 袁鑫, 等. 江苏省美丽海湾建设实践路径及对策建议[J]. 海洋开发与管理, 2023, 40(11): 83-92.
- [6] 张羽. 环境影响评价与全过程环保管理的探讨[J]. 皮革制作与环保科技, 2024, 5(04): 42-44. DOI: 10.20025/j.cnki.CN10-1679.2024-04-14.
- [7] 乔军晶, 郭进, 陆建华. 企业环境影响评价与排污许可脱节现象应对策略探讨[J]. 黑龙江环境通报, 2024, 37(04): 85-87.
- [8] 李智. 山地轨道交通 S 线的环境影响评估方法及对策研究[D]. 四川省: 西南交通大学, 2022. DOI: 10.27414/d.cnki.gxnju.2022.003759.
- [9] 袁博, 唐理齐. 建设项目环境影响评价与全过程环保管理初探[J]. 低碳世界, 2021, 11(04): 33-34.
- [10] 陈智清. 新能源项目全过程生态环保工作评价对策研究[J]. 能源与节能, 2021, (07): 89-90.

光伏发电项目的财务分析与投资决策管理研究

牛瑾

华电和祥工程咨询有限公司, 山西 太原 030000

摘要：本研究围绕光伏发电项目的财务分析与投资决策管理展开。通过剖析项目装机、运营成本构成，预测发电量与收益，进行现金流及回收期分析，完成全面财务评估。从优化投资组合、强化融资能力、构建收益模型、加强风险管控等方面制定投资决策管理策略，旨在助力投资者精准把握项目财务状况，做出科学投资决策，推动光伏发电项目高效发展。

关键词：光伏发电项目；财务分析；投资决策；管理

Research on Financial Analysis and Investment Decision Management of Photovoltaic Power Generation Projects

Niu Jin

Huadian Hexiang Engineering Consulting Co., Ltd. Taiyuan, Shanxi 030000

Abstract： This study focuses on the financial analysis and investment decision management of photovoltaic power generation projects. By analyzing the project's installed capacity and operating cost structure, predicting power generation and revenue, conducting cash flow and payback period analysis, a comprehensive financial evaluation is completed. Investment decision management strategies are developed from aspects such as optimizing investment portfolios, strengthening financing capabilities, constructing revenue models, and enhancing risk management and control. The aim is to assist investors in accurately grasping the financial status of projects, making scientific investment decisions, and promoting the efficient development of photovoltaic power generation projects.

Keywords： photovoltaic power generation projects; financial analysis; investment decisions; management

光伏发电项目作为可再生能源的重要组成部分，近年来受到广泛关注。随着技术的进步与政策支持，光伏发电的成本逐渐降低，投资吸引力增加。然而，在进行光伏项目投资时，财务分析与投资决策管理显得尤为重要。通过对项目成本、收益、风险及回报周期的全面评估，可以帮助投资者制定科学合理的决策。此外，市场环境、政策变化和技术创新等因素也会影响项目的经济性。

一、光伏发电项目基础剖析

（一）项目特性

光伏发电项目具有鲜明特性。从能源转换特性看，其基于半导体的光电效应原理，将太阳能直接转化为电能。这一过程清洁环保，无碳排放与污染物排放，契合全球可持续发展理念。但太阳能的间歇性与不稳定性，致使光伏发电输出功率易受天气、昼夜变化影响，需搭配储能系统或与其他能源协同互补，以保障电力稳定供应。在建设特性上，项目前期投资大，主要用于光伏组件、逆变器、支架等设备采购，以及场地平整、电气安装等工程建设。建设周期相对较长，从项目规划、审批到最终并网发电，需历经多个环节，涉及土地、环保、电力等多部门协调。运营特性方面，项目运营成本相对较低且稳定，主要集中在设备日常维护与少量人力成本支出。

（二）产业链结构

光伏发电产业链结构复杂且关联紧密。上游产业是基石，主要包括硅料生产与设备制造环节。硅料作为光伏组件的核心原材料，其纯度直接影响光伏产品发电效率，多晶硅、单晶硅料的生产技术不断革新，推动行业成本下降。设备制造涵盖光组件生产线设备、逆变器制造设备等，先进设备是生产高质量产品的保障。中游为组件及系统集成环节，将硅片加工成光伏组件，并与逆变器、支架等组装成完整发电系统。组件生产企业通过技术创新，提升组件转换效率与可靠性，系统集成商则需根据不同项目需求，优化系统设计，确保整体发电效能。下游聚焦项目运营与电力销售，项目运营商负责光伏电站日常运维，保障发电量稳定。电力销售渠道多样，包括直接售电给电网公司、参与电力市场交易，以及面向分布式用户的自发自用余电上网模式，各环节协同运作，推动光伏发电产业蓬勃发展^[1]。

二、光伏发电项目的财务分析

（一）装机成本构成与成本控制

装机成本是光伏发电项目初始投资的关键部分。其主要涵盖设备采购成本，包括光伏组件、逆变器、支架等，这些设备的品

牌、质量及技术参数不同，价格差异显著。以高效能光伏组件为例，虽单价较高，但能提升发电效率，从长期看可摊薄成本。此外，工程建设成本也占比不小，包含场地平整、电气安装、线缆铺设等费用。安装团队的专业水平与施工工艺影响工程质量与进度，进而关联成本支出。为有效控制装机成本，项目方需在设备采购环节进行充分市场调研，通过集中采购、与优质供应商建立长期合作等方式获取价格优势。在工程建设方面，合理规划施工方案，引入先进施工技术，提升建设效率，降低人力与时间成本，以此实现对装机成本的精细化管控，为项目良好财务状况奠定基础。

（二）运营成本与财务风险

运营成本贯穿光伏发电项目全生命周期。日常设备维护费用是运营成本的重要组成，定期对光伏组件进行清洁、检测，对逆变器关键设备维护保养，能保障设备稳定运行，延长使用寿命，减少故障维修带来的高额费用。人力成本方面，项目需配备专业运维人员，其薪酬支出受地区薪资水平、人员技术能力影响。此外，设备老化导致的更换成本也不可忽视。运营成本控制不当易引发财务风险，如资金链紧张。当运营成本超支，可能导致项目收益无法覆盖成本，影响偿债能力，增加财务杠杆风险。为应对这些，项目应建立完善的运维计划，采用智能运维系统，实时监测设备状态，提前预判故障，精准安排维护工作，降低维护成本。

（三）发电量与收益预测

发电量是决定光伏发电项目收益的核心因素。其受光照资源、设备性能及运维水平多方面影响。光照资源丰富且稳定的地区，项目发电量更具保障。例如，我国西部部分地区，年日照时长超 3000 小时，为光伏发电提供天然优势。设备性能方面，高效光伏组件及先进逆变器能将更多太阳能转化为电能。运维水平也至关重要，及时清除组件表面灰尘、快速修复设备故障，可确保设备高效运行，提高发电量。基于发电量，收益预测主要来自电力销售收入，当前电价政策复杂，包括标杆上网电价、分布式光伏补贴等。准确预估发电量，结合实时电价政策，能合理预测项目收益。收益预测还需考虑电力市场波动，如用电高峰期与低谷期电价差异。

（四）现金流与回收期分析

项目建设初期，大量资金投入用于设备采购、工程建设，形成大额现金流出。项目运营后，电力销售收入、补贴收入等构成现金流入。稳定且充足的现金流入保障项目日常运维及债务偿还。在分析现金流时，需关注现金流入与流出的时间节点及规模匹配度。回收期分析则用于衡量项目投资回收速度，静态回收期计算不考虑资金时间价值，简单直观反映收回初始投资所需时间。动态回收期考虑资金时间价值，更精准评估项目实际回本周。回收期长短受装机成本、运营成本、发电量及电价等多因素影响。若项目回收期过长，意味着资金占用时间久，可能面临资金周转困难。通过深入现金流与回收期分析，项目方能够合理安排资金，优化项目财务结构，判断项目投资可行性与经济效益，为项目长期稳定运营提供财务决策依据^[2]。

三、光伏发电项目的风险识别

（一）财务风险

光伏发电项目财务风险贯穿始终。在项目启动初期，融资难题便可能接踵而至。由于项目建设需要大量资金投入用于购置光伏组件、建设配套设施等，若企业自身资金储备不足，又难以从银行、资本市场等渠道顺利获取低成本资金，将导致资金链紧张，影响项目按时推进。在运营阶段，成本控制稍有差池就会引发风险。设备老化带来的频繁维修费用、人力成本的上升等，都会压缩利润空间。同时，电费结算周期长，若遇上用电企业拖欠电费，资金回笼缓慢，会加剧财务压力。此外，若项目涉及海外业务，汇率波动也会造成损失，比如本币升值，以外币计价的发电收入换算成本币后会减少，侵蚀项目收益。

（二）市场风险

市场风险对光伏发电项目影响显著。首先是电力价格波动风险，当前光伏电力价格受政策补贴调整、电力市场供需状况影响较大。随着补贴退坡，若不能及时降低发电成本，电价下降将直接削减项目盈利。而且，电力市场供需关系复杂多变，宏观经济形势不佳时，工业用电需求萎缩，新能源电力消纳受阻，项目发电量难以按预期销售出去。再者，光伏行业竞争愈发激烈，新企业不断涌入，同行间为抢占市场份额，可能采取低价竞争策略，挤压现有项目的市场空间，导致项目面临客户流失、市场占有率下降的困境，严重影响项目收益与可持续发展^[3]。

四、光伏发电项目的投资决策管理策略

（一）优化投资组合，分散项目风险

优化投资组合是分散光伏发电项目风险的有效手段。项目投资方不应将所有资源集中于单一光伏发电项目，可从地域、项目规模、技术类型等多维度构建投资组合。在地域上，选择不同光照资源条件、政策环境及电力市场需求的地区布局项目。例如，既投资光照充足、土地资源丰富的西部地区项目，也涉足电力需求旺盛、消纳能力强的东部沿海地区项目，降低因区域性政策变动、自然灾害等因素对单一项目造成的冲击。在项目规模方面，兼顾大型集中式光伏电站与分布式光伏发电项目。大型电站发电量大、规模效益明显，但建设周期长、资金需求大；分布式项目则具有建设灵活、贴近用户侧等优势。两者结合，平衡资金投入与收益节奏。技术类型上，除传统晶硅光伏技术项目外，适当布局新兴的薄膜光伏、钙钛矿光伏技术项目。尽管新兴技术存在不确定性，但也可能带来高回报，通过合理配比，分散技术迭代风险。同时，可考虑与上下游企业进行战略合作或参股投资，如投资硅料生产企业保障原材料供应稳定，投资电力销售企业拓宽销售渠道，以此完善产业链布局，增强项目整体抗风险能力，提升投资组合的稳定性与收益潜力。

（二）强化融资能力，降低财务杠杆

项目方首先应拓宽融资渠道，摆脱过度依赖银行贷款的局面。积极对接资本市场，通过发行企业债券，吸引社会闲散资

金，其融资规模较大且期限相对灵活，能满足项目长期资金需求。对于符合条件的优质项目，可推动上市融资，在证券市场募集大量资金，提升企业知名度与融资信誉。此外，引入产业投资基金也是可行之策，这类基金通常具有产业资源整合能力，不仅能提供资金，还能在项目运营管理、技术升级等方面给予支持。在融资过程中，合理规划债务结构也不容忽视。根据项目建设周期与运营现金流状况，优化短期债务与长期债务比例。避免短期债务集中到期，导致资金周转困难，增加财务风险。同时，积极与金融机构协商，争取优惠贷款利率，降低融资成本。通过运用金融衍生工具，如利率互换、远期外汇合约等，锁定利率与汇率，规避因利率、汇率波动带来的额外财务成本。不断提升企业自身信用评级，凭借良好的财务状况、规范的公司治理，获取更有利的融资条件，有效降低财务杠杆，为项目稳健发展提供坚实资金保障^[4]。

（三）构建收益模型，预估长期回报

构建精准的收益模型是光伏发电项目预估长期回报、做出科学投资决策的关键。收益模型需综合考虑多方面因素。首先是发电量预测，基于项目所在地的历史光照数据、气象条件，结合选用光伏设备的发电效率参数，运用专业软件进行模拟计算。同时，考虑设备老化、维护水平对发电量的影响，逐年修正发电量预估。对于发电收入，依据国家及地方的电价政策，包括标杆上网电价、分布式光伏补贴政策等，结合电力市场供需变化趋势，预测不同阶段的电价水平，进而得出每年的发电销售收入。此外，收益模型还应涵盖其他可能收入来源，如参与碳交易市场获得的碳减排收益，随着全球对碳排放管控趋严，碳交易市场潜力巨大。在成本方面，详细核算初始投资成本，包括设备采购、场地建设、工程安装等一次性投入。运营成本则需考虑设备维护费用、人力成本、设备更新费用等逐年支出，并根据通货膨胀率进行调整。将收入与成本数据代入模型，通过净现值、内部收益

率、投资回收期等财务指标计算，全面评估项目在整个生命周期内的盈利能力与投资回报情况。定期根据实际运营数据对收益模型进行校准与优化，使其能更准确反映项目收益趋势，为投资者提供可靠的长期回报预估，辅助投资决策。

（四）加强风险管控，保障财务稳健

加强风险管控是光伏发电项目实现财务稳健的核心。在财务风险管控上，建立严格的预算管理制度，对项目建设与运营各环节成本进行精细化预算编制，并实时监控预算执行情况，及时发现并纠正成本超支问题。强化应收账款管理，与用电企业签订规范合同，明确电费结算周期与违约责任，通过保理业务等方式加快资金回笼。针对可能的汇率风险，运用套期保值工具锁定汇率波动风险。市场风险管控方面，密切关注国家光伏产业政策动态、电力市场供需变化及行业竞争态势。提前制定应对策略，如面对补贴退坡，通过技术创新、优化运营管理降低发电成本；针对激烈市场竞争，提升项目差异化竞争力，打造优质品牌。在技术风险管控上，项目前期对拟采用技术进行充分论证，选择成熟可靠且具有一定技术前瞻性的方案。与科研机构合作，跟踪行业技术前沿，提前布局技术升级^[5]。

五、结语

光伏发电项目的财务分析与投资决策管理在推动可再生能源发展的过程中发挥着至关重要的作用。通过系统的财务评估，投资者能够更全面地理解项目的经济效益和风险，从而做出更为明智的投资选择。同时，随着政策法规的不断完善及市场环境的变化，灵活调整投资策略亦显得尤为重要。未来，光伏产业将面临更多机遇与挑战，强化财务管理和决策分析，将有助于提升项目的竞争力与可持续性。只有充分认识并应对各种潜在风险，才能确保光伏发电项目在新时代背景下的长远发展。

参考文献

- [1]唐志超,李祖有,王周毅.光伏发电技术的应用研究[J].光源与照明,2024,(02):132-134.
- [2]张永康,董云博,李海宁,等.市场化光伏项目经济效益评价[J].光源与照明.2023,(1).
- [3]王鹏.新能源光伏发电项目并购管理与风险研究[J].能源科技.2023,21(5).
- [4]汪念.电力企业财务集约化管理探讨[J].科技经济市场.2014,(12).
- [5]卓霞琳.光伏发电项目投资控制与财务可行性分析[J].活力,2023,41(23):55-57.

基于大数据分析的电费收入资金精准预测与风险防控

戴佐芸, 丁若轩

国网江苏省电力有限公司句容市供电分公司, 江苏 镇江 212400

摘要： 电费收入作为电力系统运营的核心资金流，其预测精度与风险防控能力直接影响能源经济安全。针对传统方法在预测偏差、波动辨识及跨部门协同等关键环节的局限性，本研究构建融合多源数据与动态分析技术的管理框架。通过建立数据治理体系实现异构信息整合，开发多维预警模型捕捉资金流动的时空异质性，并设计智能处置机制优化风险响应路径。该体系以差异化建模方法解析工商业与居民用户的缴费行为规律，依托动态优化机制实现风险传导的实时追踪，旨在为电力市场化改革中的资金管理提供兼具理论创新性与实践指导性的方法论支撑。

关键词： 大数据分析；电费收入预测；风险防控；数据治理体系

Accurate Prediction and Risk Prevention and Control of Electricity Fee Revenue Funds Based on Big Data Analysis

Dai Zuoyun, Ding Ruoxuan

State Grid Jiangsu Electric Power Co., Ltd. Zhenjiang City Power Supply Branch, Zhenjiang, Jiangsu 212400

Abstract： As the core capital flow of power system operation, the prediction accuracy and risk prevention and control ability directly affect the energy economic security. In view of the limitations of traditional methods in the key links such as prediction deviation, fluctuation identification and cross-departmental collaboration, this research establishes a management framework integrating multi-source data and dynamic analysis technology. Through the establishment of data governance system to realize heterogeneous information integration, the multi-dimensional early warning model is developed to capture the spatial and temporal heterogeneity of capital flow, and the intelligent disposal mechanism is designed to optimize the risk response path. The system analyzes the payment behavior rules of industrial and commercial and residential users by differentiated modeling method, and realizes the real-time tracking of risk transmission based on the dynamic optimization mechanism, aiming to provide methodological support with both theoretical innovation and practical guidance for the fund management in the power market reform.

Keywords： big data analysis; electricity bill revenue forecast; risk prevention and control; data governance system

引言

《“十四五”现代能源体系规划》明确提出“构建电力市场风险智能预警体系”的战略目标，要求建立覆盖用户信用评估、市场波动监测、跨部门协同处置的全链条风险管理体系。与此同时，国务院《关于构建数据基础制度更好发挥数据要素作用的意见》强调，需通过数据要素重组与分析技术创新，提升关键领域的风险防控能力。当前电力资金管理面临新型风险形态的挑战，工商业用户通过虚拟货币挖矿转移负荷、居民用户利用阶梯电价规则套利等行为，暴露出传统方法在数据融合、动态建模与协同处置三个维度的系统性短板。在此背景下，本研究以政策文件为指引，整合电力营销系统、宏观经济数据库与第三方征信信息，构建适应能源转型要求的资金管理框架。此探索不仅为电力企业防范系统性金融风险提供技术支撑，更是落实国家数据要素战略的关键实践，对保障能源经济安全具有重要的战略价值。

作者简介：

戴佐芸（1987.03.10-），女，民族：汉，籍贯：江苏句容，学历：本科，现任职称：经济师，研究方向：电费电价管理；

丁若轩（2001.12.24-），女，民族：汉，籍贯：江苏句容，学历：本科，研究方向：电费电价管理。

一、大数据驱动电费收入预测的基础框架

大数据驱动的电费收入预测体系以多源异构数据融合为核心，构建“数据感知—动态建模—反馈优化”三级协同架构。在数据感知层，通过整合电力营销系统、用电信息采集终端、宏观经济数据库及第三方征信平台等多维度数据源，形成覆盖用户行为特征、市场环境变量与政策调控参数的特征矩阵，并依托数据清洗、标准化映射与隐私计算技术解决跨域数据的语义异构性与隐私保护难题。动态建模层基于时空特征张量构建混合预测模型，针对工商业用户采用时序分解方法分离周期性负荷与政策响应分量并结合行业景气指数耦合建模，针对居民用户通过概率推理模型量化阶梯电价弹性与极端天气敏感度以捕捉微观个体的异质性缴费行为，同时引入动态权重分配机制根据数据流特征自适应调整工业产值、气温波动、电价政策等变量的边际贡献度以实现预测误差的动态补偿。反馈优化层通过增量学习机制结合 Shapley 值分解量化影响因子贡献度衰减规律，并基于电力现货市场价格信号与用户信用评级变动对预测参数进行在线校准^[1]。该框架通过异构数据融合、混合模型耦合与动态优化三者的协同作用，突破传统方法对线性假设与静态参数的依赖，最终形成具备自适应能力的电费收入预测体系，为风险防控提供精准的时空粒度决策依据。

二、电费资金预测与风险防控的现存挑战

（一）电费回收周期预测的存在偏差

现有预测体系在电费回收周期的动态追踪中面临显著偏差，其根源在于传统统计模型对复杂非线性关系的解析能力不足。首先，工商业用户的缴费行为受行业景气指数、供应链波动及政策调控等多重因素耦合影响，而 ARIMA 等线性模型难以捕捉此类高维交互效应，导致预测结果与实际回收周期的偏离度持续扩大。其次，数据源的局限性加剧了模型偏差。电力营销系统数据更新频率通常为日级或周级，无法实时反映用户信用状态的突变。第三方征信数据因隐私保护约束存在滞后性，进一步削弱预测时效性。最后，极端天气事件与宏观经济政策的外生冲击具有非平稳特性，传统协整分析难以有效识别此类变量的动态边际贡献，造成预测模型在周期拐点处的适应性不足。现有研究多聚焦于单用户尺度的信用评估，缺乏对产业链关联用户违约传导机制的建模，导致系统性风险被低估。

（二）电费异常波动辨识的机制缺陷

当前异常波动辨识机制在动态性与适应性层面存在结构性短板。规则引擎依赖的静态阈值体系无法匹配电力市场化改革下的新型风险形态。一方面，工商业用户通过虚拟货币挖矿转移负荷、居民用户利用阶梯电价规则套利等行为，其波动模式呈现非典型性与时变性，而固定阈值机制对此类异常的识别率低于 30%。另一方面，概率图模型对极端事件的敏感度不足，例如寒潮期间居民用电激增与工商业停产检修的耦合波动，常被误判为随机噪声。现有机制缺乏对波动传导路径的拓扑分析能力，无法

有效区分区域性电网故障引发的连锁反应与个体用户恶意违约的独立事件，导致风险处置资源错配。

（三）跨部门资金风险处置的协同阻滞

资金风险处置的跨部门协同面临制度性与技术性双重障碍。制度层面，电力企业财务、营销、调度部门的数据治理体系尚未统一。营销系统采用用户维度的数据标签体系，而财务系统以账户周期为核心分类标准，二者在数据接口协议与更新时序上存在冲突，导致风险事件识别与处置决策的时滞长达 72 小时。技术层面，异构系统间的语义鸿沟未被有效弥合，例如调度系统的实时负荷数据与征信平台的用户信用评分缺乏标准化映射关系，阻碍风险传导路径的联合建模^[2]。风险处置权责分配机制不完善，当异常波动涉及分布式能源接入、现货市场价格震荡等跨市场因素时，电力企业与政府监管部门的协同响应常因权责边界模糊而陷入僵局。此类协同阻滞不仅延缓风险处置速度，更可能因信息孤岛导致次生风险放大，例如用户侧违约风险未被及时阻断而向发电侧传导，引发连锁性资金链断裂危机。

三、基于大数据分析的电费收入资金风险防控的优化策略

（一）构建电费资金数据融合治理体系

电费资金数据融合治理体系的构建需从数据标准化、隐私化协作与动态评估三方面切入，通过系统性设计破解跨域数据壁垒。首先，建立电力数据标准化框架是消除多源异构数据语义差异的关键举措。联合电力企业、征信机构与宏观经济部门共同制定数据元规范，明确用户缴费记录、信用评级、行业景气指数等核心字段的语义定义与格式要求，确保不同来源数据在语义层面保持一致^[3]。采用分层数据库架构实现多模态数据的统一管理，设置原始数据区存储非结构化信息、清洗区完成数据格式标准化、业务区构建主题导向的宽表结构，依托自动化数据管道技术实现跨系统数据的实时同步与语义对齐，为后续分析提供规范化的数据基座。

其次，部署隐私增强型数据协作体系。基于分布式账本技术构建多方协作平台，设计细粒度的权限控制机制，通过智能合约实现数据使用授权的自动化执行。对敏感数据实施分级保护策略，工商企业供应链数据采用加密计算技术实现密文空间下的联合分析，居民用电行为数据通过匿名化处理与噪声扰动技术保障个体隐私。开发跨域特征对齐工具，在加密环境下完成用户身份与行为数据的关联匹配，确保数据协作过程符合安全合规要求，同时维持数据的业务价值^[4]。

最后，构建动态数据质量评估机制。从完整性、时效性、一致性三个维度设计评估指标体系，开发实时监测引擎对数据质量进行持续追踪。结合业务场景动态调整评估标准，例如极端天气期间提升用电数据时效性权重，历史违约用户数据强化一致性校验。通过知识图谱技术构建数据血缘网络，实现异常数据的快速溯源与修复，确保输入数据的可信度与可用性。上述策略通过标准化重构、隐私化协作与动态化评估的协同作用，形成覆盖数据

采集、共享、应用的全链路治理体系，为精准预测提供高质量的数据支撑^[5]。

（二）开发电费资金多维动态预警模型

电费资金智能分级处置机制的构建需通过风险分类、策略匹配与动态优化三方面实现精准响应。风险事件分类标准化是处置机制的基础性工程，通过整合历史案例与业务影响分析，建立涵盖风险类型、影响范围、紧急程度的三维分类矩阵。结合资金缺口规模、传播速度等维度制定分级标准，如将涉及跨市场的系统性风险定义为高紧急事件，需启动多部门协同响应。单用户信用降级则归为中紧急事件，由系统自动处置。借助自然语言处理技术解析事件描述文本，形成可扩展的风险分类标签体系，确保不同场景下的风险事件获得准确定级，为后续处置提供清晰的决策依据。

在此基础上，处置策略智能匹配通过差异化策略库提升响应效率。针对系统级高紧急事件设计跨部门联合处置预案，调用电力调度数据与金融工具进行风险对冲；区域级事件启动预存保证金支取与信用额度调整。单用户级事件则通过自动催缴与信用修复建议完成处置^[6]。开发策略匹配引擎，基于实时资源状态，如可用保证金规模、法律救济通道容量进行可行性评估，采用多目标优化算法选择成本与时效性最优的处置路径。当工业用户因供应链中断导致缴费延迟时，系统优先匹配供应链金融支持方案，平衡风险控制与用户关系维护。

动态优化机制进一步保障处置效能的持续提升。建立效果评估体系，从响应时效、成本控制、用户满意度三个维度进行量化评价。通过持续更新处置策略库，结合最新评估结果动态调整策略优先级与参数配置。针对极端天气导致的区域风险处置效率下降问题，系统自动优化应急预案中的资源调配规则。同时，利用关联建模技术构建风险处置知识网络，将用户关系、电网结构、金融工具属性进行关联分析，实现处置经验的跨场景迁移与策略创新^[7]。上述策略通过标准化分类明确处置边界、智能化匹配提升响应精度、动态化优化保障长期效能，形成覆盖风险识别、处置、反馈的全周期管理闭环，显著增强系统的适应性与鲁棒性。

（三）建立电费资金智能分级处置机制

电费资金智能分级处置机制的构建需通过风险具象化画像、多级响应路径优化与处置知识迭代三方面实现精准闭环管理。风险特征具象化需整合多源异构数据构建动态风险画像。通过融合

电力营销系统缴费记录、征信平台信用状态、供应链交易数据及气象预警信息，建立覆盖用户行为、市场环境与自然因素的立体化分析框架。针对工商业用户，解析其产业链关联企业的信用传导关系与生产计划波动影响；针对居民用户，结合历史缴费规律与区域用电特征，量化极端天气对缴费行为的潜在冲击。采用关联分析方法识别风险特征组合，如“负荷异常波动+信用评级下调+供应链账期延长”，形成多维风险标签体系，为分级处置提供精准决策依据^[8]。

响应路径动态适配需建立分层决策机制实现资源最优配置。设置风险等级判定层，根据资金缺口规模、影响范围与电网安全关联度划分响应权限；资源适配层实时监测备用金流动性、法律救济通道负荷等约束条件方案选择层构建成本-时效-用户关系多目标优化模型，如针对系统性风险优先调用市场对冲工具与应急信用支持，区域风险则通过阶梯电价参数调整与储备金定向释放实现缓释^[9]。处置过程中嵌入实时反馈校验，通过对比负荷恢复率、信用修复速度等指标动态调优策略参数。

处置知识持续进化需建立归因分析与经验转化机制。采用因素贡献度评估方法量化各风险要素对处置效果的影响权重，提炼标准化处置模板，如“关联企业信用联保+电费应收账款质押”模式。通过在线学习技术将新型风险模式，如虚拟货币挖矿负荷转移，纳入预警范围，定期更新风险特征库与处置策略库。构建跨部门知识共享平台，实现电力调度、法律救济与金融支持单位的处置经验实时同步，推动机制适应性持续增强^[10]。上述策略通过风险画像实现精准定位、动态适配保障资源效率、知识迭代提升系统韧性，形成从业务响应到能力升级的全链条智能处置体系，显著增强资金风险防控的前瞻性与协同性。

四、结语

本研究构建大数据驱动的电费资金管理框架，提出数据治理、动态预警与智能处置三位一体解决方案，突破传统预测偏差与协同处置瓶颈。通过多源数据融合建模技术，精准刻画用户缴费异质性，结合隐私计算与知识图谱实现风险实时追踪，显著提升防控效能。成果为电力企业资金安全提供技术支撑，契合国家能源战略需求。未来需深化跨域数据协作与新型电力系统适应性研究。

参考文献

- [1] 厉建宾, 吴彬彬, 朱雅魁, 等. 基于大数据分析的客户电费风险预测及防控 [J]. 电力大数据, 2019(2): 6.
- [2] 程威. 基于电力大数据的电费回收风险预测方法研究 [J]. 电气技术与经济, 2023(3): 16-18.
- [3] 陆秋雅, 杨睿玄. 基于电力大数据的电费回收风险防控策略研究 [J]. 数字化用户, 2022(9): 22-24.
- [4] 许战坡, 冯荣珍. 基于大数据的智慧资金管理体系构建 [J]. 企业管理, 2021(S1): 278-279.
- [5] 郭惠萍. 关于电费回收的电力大数据分析技术探讨 [J]. 数码设计 (上), 2021(13): 146-147.
- [6] 刘鑫, 郑雪燕, 张志强, 等. 基于 ϵ -SVR 模型的日电费回收预测 [J]. 吉林电力, 2022, 50(1): 19-23.
- [7] 姚盈吉. 关于电费回收的电力大数据分析技术探讨 [J]. 中小企业管理与科技, 2020(29): 2.
- [8] 汪振东, 武新娟, 曹浩翔. 基于大数据的日算费平台计算分析系统的设计 [J]. 电力系统装备, 2023(10): 150-152.
- [9] 山思行. 电网企业的实收电费分析预测 [J]. 财经界, 2023(32): 72-74.
- [10] 杨敏. 基于用电信息采集的电费资金风险预测方法研究 [J]. 信息与电脑, 2023, 35(17): 54-56.

电力工程项目安全监督现存问题及改进策略探究

户兴旺

国网西藏电力有限公司昌都供电公司，西藏 昌都 854000

摘 要： 电力工程项目安全监督是保障施工安全的核心环节。本文从制度执行、人员管理、技术应用三个层面，分析当前安全监督存在的典型问题，探讨优化安全培训机制、完善动态监控体系、构建全员参与模式等改进策略，为提升电力工程安全管理水平提供参考。

关 键 词： 电力工程；安全监督；风险管控；责任体系；动态监测

Research on the Existing Problems and Emprovement Strategies of the Safety Supervision of Electric Power engineering projects

Hu Xingwang

State Grid Xizang Electric Power Co., LTD. Qamdo Power Supply Company , Changdu, Xizang 854000

Abstract： Safety supervision of electric power engineering project is the core link to ensure the construction safety. From the three aspects of system implementation, personnel management and technology application, this paper analyzes the typical problems existing in the current safety supervision, discusses the improvement strategies of optimizing the safety training mechanism, improving the dynamic monitoring system, and constructing the full participation mode, so as to provide reference for improving the safety management level of electric power engineering.

Keywords： electric power engineering; safety supervision; risk management and control; responsibility system; dynamic monitoring

引言

当前电力工程建设规模持续扩大，施工环境日趋复杂，安全监督面临新挑战。高空作业、带电操作、交叉施工等高风险环节增多，传统管理模式逐渐显露短板：纸质检查记录难追溯，人工巡查存在盲区，隐患整改反应滞后^[1]。部分项目存在安全责任划分模糊、风险预判流于形式、监管手段更新缓慢等问题，导致违规操作屡禁不止。本文聚焦施工现场实际痛点，从责任体系重构、监控技术升级、文化氛围培育三个维度，探讨如何将被动式事故追责转变为全过程风险防控。

一、电力工程安全监督现状分析

（一）责任划分不清

电力工程现场存在职责落实的“两张皮”现象。安全管理制度文本中虽明确各岗位职责，但实际操作中常出现执行偏差：安全员既承担巡查任务又兼任材料统计，精力分散导致监管缺位；施工组长过度依赖安全员监督，忽视自身管理责任。跨部门协作时，土建与电气班组的安全责任界面模糊，设备吊装作业中机械操作员与信号指挥员职责交叉，事故发生后难以追溯直接责任人。外包团队管理尤为薄弱，部分分包单位未配备专职安全员，借用总包单位资质进场，安全教育仅以签字打卡应付了事^[2]。临时用工流动性大，安全交底流于形式，新入场工人未经系统培训直接上岗，形成“管理真空带”。

（二）风险预判能力不足

现有风险管控多采用“检查-整改”被动模式。安全检查表

内容多年未更新，仍以常规隐患条目为主，对新型施工工艺风险识别不足。例如装配式变电站建设中，预制构件吊装稳定性评估缺乏量化标准，依赖经验判断。临时用电管理停留在配电箱漏保检查层面，未建立电缆负载动态监测机制，超负荷用电引发火灾的风险长期存在。高空作业车使用前仅做机械部件目测检查，风速突变时的防倾覆措施未纳入日常管控^[3]。外部环境变化应对迟缓，山区项目未建立地质灾害预警联动机制，暴雨后边坡监测依赖人工巡查，存在响应时间差。风险数据库更新滞后，同类项目历史事故数据未有效转化为预防措施。

（三）监管手段传统化

人工巡查存在时空局限性。安全员每日两次定点巡检难以覆盖夜间施工、交叉作业等高风险时段，纸质检查记录易丢失篡改。隐患上报流程繁琐：现场人员发现隐患需填写纸质单，经班组长、安全员、项目经理三级签字后方可启动整改，平均耗时超过48小时。违规行为取证困难，安全员口头制止未佩戴安全带的

工人后，缺乏影像证据支撑追责。部分项目尝试引入监控摄像头，但安装点位固定、画面清晰度不足，无法识别小型工具违规使用情况^[4]。移动终端应用停留在拍照打卡层面，未打通与整改验收系统的数据链路，隐患闭环管理效率低下。传统手段难以应对大规模项目监管，多个作业面同时施工时，安全监管力量捉襟见肘。

二、安全监督改进策略

（一）构建责任落实体系

网格化安全管理需建立科学的区域划分标准，依据施工阶段动态调整网格边界。基础网格划定采用地理信息系统标注，将材料存储区、设备停放区等固定场所设为静态网格，设置物理隔离带与电子围栏。高危网格覆盖高空作业面、带电作业区等风险点位，配置独立监测设备与应急物资储备点。流动网格针对吊装作业、焊接施工等移动工序，采用蓝牙信标实时追踪作业范围，动态更新电子地图显示。每个网格入口设置智能识别终端，作业人员刷卡进入时自动记录在岗信息，系统同步推送该区域风险提示与操作规程^[5]。

双岗责任机制实施交叉验证管理，专职安全员配备智能巡检终端，每日按照预设路线完成三次定点巡查，扫描网格二维码上传检查记录。施工组长通过移动终端接收隐患整改通知，处置完成后拍摄带时间戳的现场照片回传系统。网格交界区域安装声光报警装置，当相邻网格同时进行高危作业时触发联动提醒，要求双方安全员到场确认隔离措施。责任追溯采用区块链存证技术，所有操作日志与沟通记录实时上链，确保事件调查时可完整还原管理过程。

岗位安全承诺体系实行分层级动态管理，项目经理级承诺书包含资金保障计划与应急预案审批权限清单，每月在安全例会上公示执行进度。技术负责人承诺内容细化至专项方案中的风险控制点，需在技术交底时逐条讲解防控措施。班组长承诺书附加班组人员资质核查表，每日岗前核查特种作业证件有效性。工人级承诺采用二维码动态管理，扫码可查看岗位风险图谱与应急处置卡，每季度更新知识库并组织在线测评。

外包单位准入管理实施全链条审核，资质审查阶段通过全国建筑市场监管平台核验企业信用代码，关联查询历史处罚记录。安全制度审查重点评估危险作业审批流程与事故报告机制的完整性，培训体系需提供带教记录与考核合格证明。合作期间实施红黄牌警示制度，发现人员违规立即启动连带追责，扣减合同履约保证金。绩效评估引入第三方审计机制，从隐患整改率、违规发生率等维度量化评分，建立末位淘汰机制保持管理压力传导^[6]。

（二）强化风险动态管控

作业前风险预判会实施标准化操作流程。班组长使用可视化任务板讲解当日作业计划，悬挂包含施工图纸、设备清单、人员分工的磁贴图。组员佩戴电子工牌签到，系统自动记录参与情况。风险识别环节采用“四维扫描法”：人员状态维度核查上岗资格证有效期与健康监测数据；设备条件维度调取最近一次维护记录与检测报告；环境因素维度结合现场温湿度传感器读数；管

理漏洞维度检查作业许可审批完整性^[7]。全员通过手持终端提交风险点，系统自动聚类生成高频词云，投影至会议屏幕供讨论。

投票环节引入匿名表决机制，每人限投三票，系统实时生成风险优先级排序。针对前三项重点风险，制定“三定”管控方案：定专人负责检查防护措施、定时段复查风险状态、定位置设置警示标识。移动端风险评估工具开发语音快速录入功能，工人发现基坑积水，口述“3号区域积水深20厘米”即可自动生成包含位置坐标的风险报告。系统内置智能匹配模块，漏电风险标签关联《临时用电管理规范》条款，自动推送“断电-排水-绝缘处理”三步处置指南，并通知安全员携带验电笔、绝缘靴等装备前往。

特殊工况响应机制实现多系统联动。气象数据接口每小时同步更新，暴雨黄色预警触发排水泵自检程序，物联网传感器检测集水坑水位，超限时启动自动抽排。橙色预警发布后，高空作业吊篮电磁锁启动限位功能，禁止升至5米以上。红色预警下达时，智能配电箱自动切断非必要电路，保留应急照明与监控供电。高温监测采用可穿戴设备集群管理，工人手环实时上传体温与心率数据，监控中心大屏显示热力图，区域超限时自动启动雾炮降温系统。风险动态地图集成BIM模型，红色高危区触发声光报警，关联门禁系统限制非授权进入，应急通道指示灯同步切换为引导模式^[8]。

（三）推进监管技术升级

智能巡检终端配备多传感器融合系统，安全员佩戴的智能安全帽集成高清摄像头与骨传导耳机，视觉识别模块预装违规行为特征库。当检测到未戴安全帽人员进入作业区，系统自动触发声光警示并抓拍现场图像，照片元数据嵌入GPS坐标与北斗时间戳。便携式气体检测仪搭载电化学传感器阵列，可同时监测六种有害气体浓度，检测值超标时自动激活声光报警并生成应急处置建议清单。终端内置的电子检查表支持语音输入与手写批注功能，检查项完成度达到90%以上方可提交报告，遗漏项生成二维码标签贴至现场设备，提醒后续复查人员重点核查。

视频监控网络实施智能分析策略，塔吊顶部安装的360度云台摄像机搭载深度学习算法，实时追踪吊运路径下方人员活动轨迹。当识别到闯入危险区域行为时，系统自动向就近广播设备发送语音驱离指令。安全防护装备检测模块采用多光谱成像技术，安全帽识别精确分析颞带扣合状态，安全带检测区分主副绳固定点是否合规。声纹识别引擎建立典型违规操作声学特征库，如切割作业未接火星盆的特定噪声频谱，检测到特征声波后立即触发三级报警并冻结监控画面存档。

安全管理平台构建全流程数字化闭环，现场人员通过移动终端扫码上报隐患时，平台自动关联设备台账与责任人信息，生成包含整改标准与时限的电子工单。整改过程需分阶段上传带水印的现场照片，关键工序要求录制短视频佐证^[9]。超时工单启动逐级督办机制，首次超时推送站内消息提醒，二次超时发送短信至班组长，三次超时触发系统通报并扣减绩效考核分。验收环节实施双向验证机制，整改责任人扫描工单二维码提交验收申请，监管人员到达现场后通过人脸识别确认身份，验收通过后电子签名同步归档至区块链存证系统。数据分析模块运用聚类算法统计高频隐患类型，自动生成资源配置优化建议推送至管理层决策终端。

三、实施保障措施

（一）优化安全培训模式

构建分层分级培训体系，针对不同岗位设计专属课程。新入场工人必须通过VR安全实训考核，设备模拟触电瞬间的肌肉痉挛反应、高空坠落时的失重体验，强化生理记忆。实训室配置体感反馈装置，违规操作触发轻微电击警示，迫使学员形成条件反射式避险习惯。在岗人员每月完成线上微课学习，系统自动跟踪观看进度，未达标者暂停作业权限。

岗位安全操作短视频按工种分类录制，电工篇演示验电笔正确握持姿势，焊工篇讲解防火毯铺设要点。视频时长控制在90秒内，通过企业微信定时推送，观看后需完成两道选择题。安全学分实行累积制，基础学分通过必修课获取，附加学分来自隐患上报、应急演练等实践参与。年度学分不足者需脱产补训，补考未过调整至低风险岗位。

（二）完善监督激励机制

安全积分商城实行阶梯兑换规则。发现一级隐患（如电缆破损）积5分，二级隐患（灭火器失效）积3分，累计20分可换劳保用品，50分兑换带薪年假。设立“安全之星”月度榜，前三名获得家庭安全礼包并张榜表彰。管理人员绩效考核设置安全权重，项目零事故团队奖金上浮15%，发生重伤事故的部门负责人延迟晋升至少半年。

违章行为曝光台设置在工地入口处，电子屏滚动播放近期抓拍画面：未系安全带的高空作业、乱接的临时线路等典型违规案

例均打码展示。三次违规人员进入“重点监护名单”，需穿戴定位背心上岗，每日额外接受半小时安全培训。建立违章申诉通道，对存疑处罚可提交视频证据申请复核，确保制度执行公平性。

（三）培育安全文化氛围

季度安全知识竞赛采用实战化赛制。初赛通过手机答题筛选前30%，复赛设置应急物资识别、心肺复苏操作等现场比试，决赛模拟突发事件处置。应急演练强化盲演机制，随机拉响警报测试真实响应速度，事后召开复盘会逐帧分析监控录像^[10]。

安全警示墙动态更新内容，左侧张贴事故现场还原图，标注致命操作节点；右侧展示正确操作对照图，配简明口诀。设置“亲人寄语”专栏，收集工人家属安全叮嘱录音，上下班时段循环播放。安全观察员从一线工人中轮值选拔，佩戴特殊标识，发现违规行为可立即吹哨叫停，并通过终端直报安全总监。每月评选最佳观察员，授予“安全守护者”勋章并给予绩效加分，激发全员监督主动性。

四、结语

提升电力工程安全监督效能需要制度、技术、文化的协同推进。通过明确责任分工增强执行刚性，借助技术手段实现风险早发现早处置，依托全员参与形成持续改进动力。未来应重点关注智能穿戴设备应用、风险大数据分析等方向，推动安全监督从被动应对向主动预防转型。建议企业建立常态化改进机制，定期评估策略实效，确保安全管理水平持续提升。

参考文献

- [1] 严磊, 沈坚. 基于电力工程探析施工安全管理策略 [J]. 通讯世界, 2023, (11): 136-138.
- [2] 翟海军. 电力工程管理中的质量保障与安全管理 [J]. 建筑工程与设计, 2023, (8): 63-65.
- [3] 童有超. 电力施工现场的安全监督管理分析 [J]. 电脑采购, 2023(29): 158-160.
- [4] 纪鹏飞. 电力工程监理网格化监督实践 [J]. 百科论坛电子杂志, 2023(11): 10-12.
- [5] 王森, 陈晨. 电力工程施工中的安全管理分析 [J]. 国际援助, 2023(36): 28-30.
- [6] 李宝平, 张凯. 电力工程施工安全管理与质控路径探讨 [J]. 文渊 (高中版), 2023(10): 246-248.
- [7] 张思媛. 电力配网架空线路工程施工技术研究 [J]. 南北桥, 2023(12): 187-189.
- [8] 李淮海, 孙向东, 杨俊, 等. 基于人工智能技术的电力工程施工信息管理方法 [J]. 电气自动化, 2022, (4): 80-83.
- [9] 崔文军. 电力工程中变电工程施工监理的措施与方法研究 [J]. 百科论坛电子杂志, 2023(10): 10-12.
- [10] 陈俊京. 电力配网线路工程施工监理探讨 [J]. 城镇建设, 2023(24): 195-197.

光伏电站设备动态管理与改造探索

李红超

华电（海西）新能源有限公司，青海 海西 817000

摘要： 本研究针对光伏电站设备动态管理与改造需求，提出了一套基于实时监测、智能分析与动态优化的综合管理体系。通过光伏组件、逆变器、储能系统和环境适应性优化改造设计，提升设备运行效率和环境适应能力。搭建的仿真平台结合高精度硬件和 MATLAB/Simulink 软件，模拟改造后的设备性能与极端环境适应性，验证了优化设计的科学性与可行性。

关键词： 光伏电站；动态管理；实时监测

Exploration of Dynamic Management and Transformation of Photovoltaic Power Station Equipment

Li Hongchao

Huadian (Haixi) New Energy Co., LTD. Haixi, Qinghai 817000

Abstract： This study meets the needs of dynamic management and transformation of photovoltaic power station equipment, and puts forward a comprehensive management system based on real-time monitoring, intelligent analysis and dynamic optimization. Through photovoltaic modules, inverters, energy storage systems and environmental adaptability optimization and transformation design, improve the equipment operation efficiency and environmental adaptability. The simulation platform combines high-precision hardware and MATLAB / Simulink software to simulate the modified equipment performance and extreme environment adaptability, which verifies the scientific and feasibility of the optimization design.

Keywords： photovoltaic power station; dynamic management; real-time monitoring

引言

光伏发电作为一种绿色能源，正逐渐成为全球能源结构转型的重要方向其稳定运行对于保障电力供应和推进清洁能源发展具有重要意义^[1]。传统光伏电站管理模式实时性差、故障诊断效率低、环境适应性弱，限制了发电效率与设备寿命。本文提出动态管理优化方案，通过实时监测、智能分析和动态优化，提升组件、逆变器和储能系统性能，并通过仿真验证改造设计的可行性，为光伏电站智能化管理提供技术支持。

一、光伏电站动态管理的基础理论

光伏电站动态管理是一种基于实时监测、智能分析和动态优化的设备管理模式，其核心在于通过技术手段实现设备运行状态与外部环境的高效协同^[2]。物联网技术部署传感网络，采集设备电压、电流、温度等参数，结合边缘计算和云计算，实现秒级的数据处理与传输。热成像与无人机技术用于检测组件隐裂和热点问题，提升监测精度和效率。

动态管理的关键在于数据分析与智能决策。大数据技术整合历史与实时运行数据，结合人工智能算法构建故障预测模型，精准识别设备潜在问题^[3]。基于设备健康状态的预测性维护计划降低停机风险，提高运维效率。动态优化策略通过实时调整设备运行参数，如组件输出功率和逆变器功率因数，实现发电效率提

升。数字孪生技术为电站建立虚拟模型，模拟不同场景下的运行状态，验证优化方案可行性。

二、动态监测分析、优化改造与智能决策体系

（一）动态监测技术

动态监测技术是光伏电站实现精准设备管理与实时优化的基础^[3]。传感器网络布置于光伏组件、逆变器及储能系统，通过高精度硬件采集电压、电流、温度等关键参数。数据由边缘计算设备处理后传输至云平台，压缩后的传输数据量 D_c 公式表述如下：

$$D_c = \alpha D_r, 0 < \alpha < 1 \quad (1)$$

其中， D_r 为原始数据量， α 为压缩系数，反映边缘计算在降低传输数据量和提高传输效率中的作用。这种优化减少了冗余

数据对通信带宽的占用，确保数据传输延迟满足动态管理需求。无人机热成像技术用于监测组件表面热分布，识别隐裂与热点区域。组件表面温度分布通过成像设备采集，异常区域 A_{hot} 的范围定义为满足以下条件的点集：

$$A_{hot} = \{(x, y) | T(x, y) > T_{threshold}\} \quad (2)$$

其中， $T(x, y)$ 表示组件表面温度分布， $T_{threshold}$ 为热异常阈值。通过图像分割算法提取 A_{hot} ，结合无人机的 GPS 定位，异常区域的坐标精确反馈至运维系统，提供组件维修决策依据。环境适应性监测技术实时采集光照强度 $E(t)$ 、风速 $W(t)$ 和沙尘浓度 $C(t)$ 等外部参数。这些参数通过动态优化算法与组件运行状态相关联。例如，实际输出功率 $P(t)$ 的计算结合光照强度和有效受光面积 A_{eff} ：

$$P(t) = \eta \cdot E(t) \cdot A_{eff}(W(t), C(t)) \quad (3)$$

其中， η 为组件转换效率，受光面积 A_{eff} 会因风速导致灰尘积累及沙尘浓度变化而减小。环境监测系统根据沙尘浓度调整清洁周期，优化组件清洁计划；在高温条件下调整散热策略，防止设备热失效。动态监测技术通过传感器网络、无人机热成像及环境监测的结合，构建了设备运行状态与外部环境变化的完整感知体系。数据通过多级优化实现高效传输和智能分析，支持动态调控与故障响应，为光伏电站的高效运行和后续设备改造提供技术保障。

（二）数据分析与故障诊断

数据分析与故障诊断是光伏电站动态管理的核心环节，通过大数据技术和人工智能算法，实现从设备异常检测到故障定位与预测^[4]，以下为数据分析与故障诊断的整个流程。

数据分析与故障诊断依托光伏组件传感器、逆变器功率因数模块、储能电池管理系统（BMS）和环境监测设备，通过多维数据协同实现精准识别和定位故障。各设备采集电压、电流、温度、SOC（剩余电量）等参数，并由工业网关预处理以消除噪声、同步时间戳，保证数据一致性。实时数据通过云平台与历史正常值和已记录故障模式比对，捕捉潜在异常。诊断模型分析提取结果，输出具体故障类型、设备位置及严重性等级。诊断完成后生成报告，包括设备编号、故障类别及维护建议。组件隐裂建议局部修复或更换，逆变器功率因数异常则建议升级散热模块或更换 IGBT 模块。

最终诊断结果被用于优化运维策略与设备改造方案。如高沙尘环境建议增加清洁频率并强化组件表面防护，高温区域建议引入液冷散热设计。

（三）动态优化改造策略

动态优化策略通过设备改造和技术升级，实现光伏电站运行参数的实时调整与性能提升。本部分从四个关键方面展开论述，针对设备运行中的核心问题和外部环境挑战，提出具体的改造优化方案。

（1）光伏组件的改造与优化

光伏组件采用高效 PERC 单晶硅技术，增强光吸收能力，并通过增加抗反射涂层减少反射损耗。热管理系统集成液冷散热模块，结合组件表面温度传感器与热成像设备，实现热点区域的动态监测与散热优化。组件表面还增加抗沙涂层，减少灰尘堆积对发电效率的影响，同时提升组件在沙尘环境下的耐久性。清洁机器人通过沙尘传感器触发，自动清理组件表面，确保光伏组件的有效受光面积^[5]。

（2）逆变器的改造与优化

逆变器改造采用高效 IGBT 模块，升级为三电平拓扑结构，提升功率转换效率。液冷散热系统替代传统风冷，结合高导热材料优化热交换效率，特别适用于高温运行环境。功率因数控制模块通过引入自适应算法，动态调整无功功率分配，以应对并网条件的变化。逆变器的电磁干扰（EMI）抑制模块同步优化，减少电网连接中的波动与干扰问题，增强设备的并网稳定性。

（3）储能系统的改造与优化

储能系统采用新型锂铁磷酸电池（LFP），结合电池管理系统（BMS），实现 SOC（剩余电量）的实时监控与均衡调控。充放电路径通过双向 DC/DC 变换器优化，减少能量损耗，同时确保电池组内电量的均匀分配。电池冷却模块改造为液冷结构，有效控制热累积。分布式能源管理系统（EMS）引入动态功率分配技术，结合光伏发电和电网需求实时调整储能输出，提高负载高峰期的响应能力。

（4）环境适应性的改造与优化

环境适应性优化主要围绕沙尘和高温条件。沙尘传感器实时监测组件表面污染程度，结合抗沙涂层和清洁机器人进行自动化清洁。液冷散热系统引入环境温度传感器，根据实时温度动态调整冷却循环速率，确保设备运行温度始终在安全范围内。逆变器和储能模块同步优化散热效率，适应极端环境的运行需求。

（四）智能决策支持体系

智能决策支持体系通过引入数字孪生技术、构建动态运维平台和优化反馈机制，为光伏电站的设备改造与动态管理提供系统化决策支持。

首先数字孪生模型是智能决策支持的核心，该模型基于组件、逆变器、储能系统的实时数据和历史运行数据构建虚拟电站模型。能够实时同步实际设备状态，用于模拟不同改造方案对系统性能的影响^[6]。通过与云平台和边缘计算协同工作，数字孪生实现了多场景性能预测与优化方案验证，以下为数字孪生模型的运行逻辑代码：

其次是智能运维平台的构建，该平台集成诊断、优化和反馈模块，通过分析数据生成运维策略。平台基于实时监测系统，动态调整组件清洁频率、逆变器功率因数及储能系统充放电路径。例如，高沙尘浓度时，平台触发清洁机器人；组件过热时，动态调节液冷散热系统的循环速度。

最后是自动化运维与反馈机制，改造完成后，智能决策平台通过自动化反馈机制持续监控改造效果。平台将实时数据与数字孪生模型预测值对比，动态调整运行参数。如果实际性能与预测

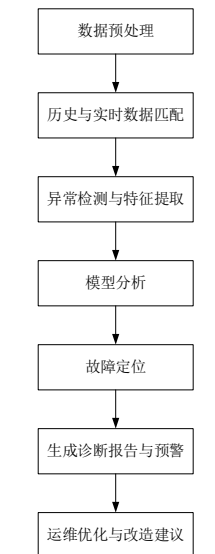


图1 数据分析与故障诊断流程

值偏差较大，系统则会自动触发二次优化，防止意外情况发生。

```
class DigitalTwin:
    def __init__(self, real_time_data, historical_data):
        self.real_time_data = real_time_data
        self.historical_data = historical_data

    def simulate_performance(self, modification_params):
        base_power = self.real_time_data.get('power', 0)
        efficiency = modification_params.get('efficiency', 1.0)
        return base_power * efficiency

    def predict_failure(self):
        current_temp = self.real_time_data.get('temp', 0)
        temp_threshold = max(self.historical_data.get('temp', [75]), [75]) * 1.1
        return "Overheating Risk" if current_temp > temp_threshold else "Normal"

# Example usage:
data = {"power": 100, "temp": 80}
history = {"power": [90, 95, 100], "temp": [70, 72, 74]}
twin = DigitalTwin(data, history)

print(twin.simulate_performance({"efficiency": 1.05})) # 输出模拟性能
print(twin.predict_failure()) # 输出故障预测
```

> 图2 数字孪生模型运行代码

三、改造效果仿真检测

（一）仿真平台搭建

仿真平台搭建旨在验证光伏电站优化设计的实际效果，通过软硬件协同，模拟真实电站运行环境和改造后的性能表现^[7]。平台搭建主要包括以下部分：

（1）仿真硬件设计

仿真硬件包括光伏组件模拟器 Chroma 62150H-600S，用于模拟不同光照强度和温度条件下的组件输出特性，逆变器测试模块采用支持三电平拓扑结构的实验型逆变器，结合高效 IGBT 模块，模拟不同负载条件下的功率调节和散热性能。储能系统由锂电池磷酸电池组（LFP）和电池管理系统（BMS）组成，监测充放电过程中 SOC（剩余电量）、温度及能量流动。环境模拟设备通过气象传感器（如太阳辐射表、风速计、沙尘浓度传感器）及加热装置，提供高温、沙尘和强风等极端条件。

（2）软件平台开发

软件平台基于 MATLAB/Simulink 构建数字孪生模型，与硬件设备实时联动。数字孪生整合光伏组件电压、电流，逆变器功率因数，储能系统 SOC 及温度数据，模拟改造方案在多场景下的运行效果。NVIDIA Jetson Xavier NX 处理边缘数据，云服务器负责历史与实时数据的比对与优化策略输出。

参考文献

[1] 马广平. 大型并网风电场和光伏电站内动态无功补偿的应用技术研究 [J]. 电力设备管理, 2021(14):3.
[2] 邓文忠. 光伏电站工程在建筑工程中的应用研究 [J]. 中国住宅设施, 2023, (12): 1-3.
[3] 赵铁林, 乐锋, 王海峰, 等. 光伏电站的智能运维技术应用 [J]. 电子技术, 2023, 52(07): 408-410.
[4] 潘巧波, 李昂, 何梓瑜, 等. 数字化电厂智慧平台在光伏电站的应用 [J]. 黑龙江电力, 2023, 45(02): 137-142.
[5] 邓森. 数字化电厂智慧平台在光伏电站中的应用研究 [J]. 智能城市, 2024, 10(09): 51-53.
[6] 吴璇. 光伏电站智能化运维研究 [J]. 科学与信息化, 2023(6): 117-119.
[7] 雷国斌, 徐嘉伟, 宋晓童, 等. 光伏电站动态无功补偿装置检测不确定度分析及评定方法研究 [J]. 青海电力, 2022(002): 041.
[8] 顾超, 宋树平, 方凯. 智能化光伏电站监控系统设计与实现 [J]. 南方农机, 2022(005): 53.

（3）仿真平台测试设计

仿真测试主要验证优化措施在实际运行中的性能表现。光伏组件部分模拟光照和温度变化，验证抗反射涂层和液冷散热模块的优化效果，重点关注组件的热斑分布及 I-V 曲线变化；逆变器部分针对不同负载条件，测试其功率因数调节与散热性能；储能系统部分通过充放电循环测试验证 BMS 对 SOC 均衡的动态调节能力和新型 LFP 电池的热性能优化效果；环境部分模拟高温、沙尘和强风条件下组件清洁机器人、抗沙涂层和液冷系统的适应能力^[8]。

（二）仿真测试结果

仿真测试表明，光伏组件输出功率提升至 305.87W/m²，温升降至 3.12° C；逆变器转换效率达 97.32%，高温负载下性能稳定；储能系统 SOC 偏差降至 ± 2.14%，充放电温升降至 1.85° C；沙尘衰减率降至 4.32%，高温异常率降低至 2.43%。设备性能和环境适应能力均有相应提升，以下为仿真测试的具体数据：

表 1：仿真测试结果

测试项目	优化前参数	优化后参数	提升率（%）	测试条件
光伏组件输出功率	275.32W/m ²	305.87W/m ²	11.11	光照强度 800W/m ² ，25° C
光伏组件温升	7.54° C	3.12° C	58.62	功率 275W/m ² ，环境温度 35° C
逆变器转换效率	94.57%	97.32%	2.91	负载功率 50kW，50° C
储能系统 SOC 偏差	± 6.72%	± 2.14%	68.15	循环 50 次，负载 10kW
储能系统温升	4.56° C	1.85° C	59.43	充放电周期 2d
沙尘影响功率衰减	13.45%	4.32%	67.87	沙尘浓度 200 μg/m ³
高温环境异常率	7.84%	2.43%	69.01	环境温度 45° C

四、结语

本文通过提出光伏电站设备动态管理与改造方案，实现了设备性能与环境适应能力的显著提升。动态管理体系结合实时监测、数据分析与优化控制，为光伏组件、逆变器和储能系统的运行提供精准调控。搭建的仿真平台验证了改造技术在输出功率、散热性能和极端环境适应性方面的实际效果，为电站的智能化改造提供了可靠数据支持。

分布式光伏接入配电网优化技术

李金泽

国网天津市电力公司城南供电分公司, 天津 300202

摘要：随着新能源的快速发展,分布式光伏作为一种重要的清洁能源形式被广泛接入配电网。然而,光伏出力的波动性和不确定性对配电网的电压稳定性和能量管理带来了挑战。本文围绕分布式光伏接入配电网的优化技术展开研究,分析了光伏并网对配电网的影响,并构建了优化调度模型。该模型采用智能优化算法结合分布式控制策略,旨在最小化网络损耗、提升电压稳定性,从而优化光伏功率分配和无功补偿方案。仿真结果表明,该优化方法能有效提升配电网的运行效率,降低电能损耗,提高光伏的消纳能力,为分布式光伏的高效接入与运行提供理论支持和工程参考。

关键词：分布式光伏; 配电网; 优化技术; 电压稳定性; 智能优化算法

Optimization Technology for Distributed Photovoltaic Access to Distribution Network

Li Jinze

State Grid Tianjin Electric Power Company Chengnan Power Supply Branch, Tianjin 300202

Abstract： With the rapid development of new energy, distributed photovoltaics have been widely integrated into the distribution network as an important form of clean energy. However, the volatility and uncertainty of photovoltaic output pose challenges to the voltage stability and energy management of the distribution network. This article focuses on the optimization technology of distributed photovoltaic access to the distribution network, analyzes the impact of photovoltaic grid connection on the distribution network, and constructs an optimization scheduling model. This model adopts intelligent optimization algorithms combined with distributed control strategies, aiming to minimize network losses, improve voltage stability, and optimize photovoltaic power allocation and reactive power compensation schemes. The simulation results show that this optimization method can effectively improve the operational efficiency of the distribution network, reduce energy loss, enhance the consumption capacity of photovoltaics, and provide theoretical support and engineering reference for the efficient integration and operation of distributed photovoltaics.

Keywords： distributed photovoltaics; distribution network; optimizing technology; voltage stability; intelligent optimization algorithm

引言

分布式太阳能发电因其绿色低碳特性而被广泛推广,全球能源结构的转型对持续进步提出了更高要求。然而,太阳能发电的波动性和难以预测性在电压波动、功率调度和能量平衡方面给配电网的运行带来了挑战。为适应太阳能普及率的变化,现有的调度技术需要进行改进,以确保配电网的平稳运行。本文旨在通过改善功率分配和无功补偿方案,为分布式太阳能发电的有效运行提供理论和实践支持。为此,我们提出了基于智能优化算法的配电网优化调度模型,该模型以降低网络损耗、增强电压稳定性为目标,对功率分配和无功补偿方案进行了优化。

一、分布式光伏接入配电网概述

(一) 分布式光伏的发展现状与趋势

近年来,分布式太阳能作为一种重要的可再生能源得到了快速增长。借助太阳能进行发电的光伏技术,与传统矿物能源相

比,拥有清洁、可持续的环保优势。随着全球对可再生能源需求的增加,光伏装置的技术革新和成本下降进一步推动了其应用范围的扩大。光伏组件效率的提升和生产成本的降低,使得更多家庭和企业能够安装分布式太阳能系统^[1]。政策支持也促进了光伏产业的增长,许多国家地区出台了包括补贴、税收优惠、电网补

贴在内的刺激政策，推动了分布式光伏在城市和农村地区的广泛应用。随着技术的不断进步及政策的持续支持，分布式光伏有望在未来继续保持快速增长，为配电网的能源结构调整与优化提供更为广阔的空间。

（二）配电网对分布式光伏的适应性挑战

在时代的潮流中，分布式光能的接入对传统电力分配网络带来了显著的适应性考验。太阳能设备的不连续性和变化性正给电力网络结构带来挑战，需要应对的是功率起伏对网络电流的影响。在轻负载情形下，大范围太阳能接入甚至可能导致电流等级不平衡，进而遭遇电能供给品质的考量。而原本集中化布局的电力网络基础设施，面对反向流动特点，传统安排和管控机制已显露出其无法高效处理的劣势。光伏系统在多样化及其不均匀分布下，使配电网的信息交流和协作能力面临考验。当下紧迫的任务是提升其技术和管理灵活性，以保障电力系统的稳定性。^[2]

（三）分布式光伏优化技术的研究意义

分布式光伏优化技术的探索是电力系统现代化进程的重要一环。优化技术能够出色地完成合理分配光伏出力与电网资源的协同调控任务，通过构建精准模型和高效算法，使电网运转更加可靠、经济、稳定，表现因此卓越。该技术对于解决能源供需问题、加速清洁能源消纳以及减少碳排放具有重大价值。它是智能调控体系的理论基础，也是新型电力系统建设的重要支撑，是实现可持续发展发展的路径之一。

二、分布式光伏接入对配电网的影响

（一）光伏出力特性及其对电网运行的影响

依靠日光辐射，太阳能发电总体而言具有随机波动性，变化显著且不连续。这一现象在时间和空间上都是如此，波动性主要受到日照强度、气象条件及季节更替的影响。这种变化性直接影响电压的稳定度与质量水平，可能由此诱发电压变化。大输出时局部电压过高是太阳能发电特有的现象。而系统经常面临稳定度不足的情况，若出现急剧下降，则在普及率较高的情境中，电网传统运行方式可能会失效^[3]。应针对光伏出力特性研究适应性强的优化调度策略，以增强分布式光伏在配电网中的运行稳定性和可靠性。

（二）配电网电压稳定性与功率质量问题

在当前的技术格局下，分布式太阳能大范围接入使得配电网电压与功率品质受到显著影响。光伏发电的变动性与不连续性导致电压变得不稳定，频率因此波动。光伏系统对有功产生影响，借此扰乱平衡，导致电压异常变化。机器的耐久性与稳定性可能受电压削弱影响，从而引发故障。因此，电网的运行与功率品质问题都需要有效对策进行改善。在促进分布式光伏发电发展的同时，尤其是在电压与功率品质问题中，监测和治理都不可忽视。

（三）高渗透率光伏接入带来的技术挑战

在电力网络中融入了光伏绿色能源后，高渗透率光伏的引入造成了许多技术上的挑战。光伏发力的不稳定性与随机性导致能源分布时具有无把握性。大幅的波动和超越极限的情况可能导致节点电压波动问题盛行^[4]。网络因显著的光伏并网容量增加而导致无功功率平衡难以保持。在现代电力体系中，电力稳定性因此遭到干扰。高随机性出力的光伏可能会引发保护设备的误动作与拒动作，导致防护协调性能在电力系统中下降。这更要求传统电

网络模型进行动态更新和调度。这些技术策略的挑战与瞬时输出调整需要制定光伏与负荷发电的应对策略来应对变化。为了最大化克服这些阻碍，急需加强调度技术和控制策略，以保障光伏的可靠有效利用。^[5]

三、分布式光伏优化调度模型

（一）光伏功率分配优化目标与约束条件

增强电力网运作效能与稳固性，减少功率损耗至最低水平，以及改良太阳能电力布局的宗旨就在于此。这包括提高清洁能源的利用率，满足成本效益和工艺性的多项需求，降低能量传输损耗，提升接点电压水平，从而保障系统运作的安全与可靠性。约束条件的设计需综合考虑配电网运行特性与光伏系统特性。节点电压需维持在允许范围内，以确保电能质量；线路负载能力不能超出可承受范围，以保障设备安全运行；光伏出力需满足气象条件下的功率约束。此外，还需考虑无功功率平衡及并网逆变器容量限制，以确保分布式光伏的平稳接入及高效运行。模型的构建应注重约束条件的全面性与可操作性，确保优化方案能够在实际工程中得以应用。^[6]

（二）无功补偿策略与电压调控方案

我们将无功调控方法和电压调整计划视为提升配电网电压稳定性的重要手段。分布式光伏接入配电网后，由于其波动性和不确定性，电压波动问题难以避免。我们通过无功调节来调整系统中无功功率的分布，以此稳定电压水平，减小电压偏差。我们还利用静态同步补偿器或动态电压调整器等动态无功补偿设备，结合光伏逆变器的智能调整，显著提升系统对电压波动的应对能力。我们以实时反映并调整的方式应对波动性和不确定性，以保持电网电压的稳定。这一过程实际上显著提升了电网运行的安全性和可靠性。

（三）多目标优化建模思路

多目标优化建模旨在满足多个优化目标，将分布式光伏接入配电网的效能最大化。为了应对光伏功率分配和无功补偿这两个核心问题的复杂性，多目标优化模型需要兼顾电压稳定性与网络损耗最小化。据此，我们建立数学模型，并通过目标函数将不同优化指标进行量化评估。约束条件包括光伏出力的变化特性及电网运行参数。在优化过程中，我们采用 Pareto 前沿来寻找最佳权衡方案，确保各目标之间的协调发展，进而促进配电网的高效运行与稳定。

四、智能优化算法与分布式控制策略

（一）典型智能优化算法概述

一般的智能优化算法在诸多光伏发电系统接入配电网的改良技术中扮演着核心角色。如粒子群优化算法（PSO）、遗传算法（GA）、蚁群算法（ACO）等，这些都是常用的智能优化算法。这些算法因其在求解复杂非线性优化问题中的优越性能而得到广泛应用。粒子群优化算法在小规模或实时性要求较高的问题中表现突出，因为它模拟了群体动物的协同行为，能够实现快速的全局搜索。遗传算法基于自然选择和遗传机制，通过种群的进化能够求解出全局最优解，对于多维度复杂问题求解非常有用。蚁群

算法模拟了蚂蚁觅食过程中的信息素传递机制，非常适合解决组合优化问题^[7]。这些智能优化算法采用启发式寻优策略，能够有效避免传统优化算法容易陷入的局部最优问题。为应对光伏接入的动态变化与分布式特性，这些算法往往与分布式控制策略结合应用，以提升优化的效率和精确度。它们在提升配电网运行效率、优化电能管理方面具有显著优势，为探索更为复杂的调度优化策略提供了理论支持。

(二) 分布式控制在光伏优化中的应用

优化技术在多点式控制改进中占据重要地位，实现多点式光伏接入各单元的自律协同改进是关键。信息共享系统可提高稳定性和适应性，避免通信瓶颈和单点故障问题。基于多个地方子问题，区域功率分配和无功补偿等复杂计算问题在多点式控制中被独立分解，并通过地方信息交互逐步接近总体最优答案。这种策略降低了通信成本和计算复杂性，结合了光伏发电的瞬态特性，重点控制节点电压波动和功率质量，并提高功率因数，确保配电网运行的安全性与高效性。分布式控制的应用为提高光伏消纳能力及优化运行效率提供了重要支持，是应对高渗透率光伏接入挑战的重要技术途径。^[8]

(三) 智能优化与分布式控制的融合机制

智能优化与分布式控制的融合机制综合利用先进算法和控制策略，实现光伏出力的高效管理。通过智能算法优化光伏功率分配，并利用分布式控制调节电网电压与无功需求，以保证电网稳定性和优化能量调度。这提升了光伏消纳能力，助力配电网优化运行。

五、优化技术在配电网中的应用效果

(一) 典型配电网场景下的优化效果验证

在典型配电网场景下，针对分布式光伏大规模接入所引发的电能损耗增加及电压波动问题，我们应用了所提出的优化技术进行了验证。通过建立标准配电网模型，并模拟光伏高渗透率场景，结合智能优化算法与分布式控制策略，优化了光伏功率分配与无功补偿方案。仿真结果显示，该方法显著降低了有功功率的传输损耗，提升了配电网的整体运行效率。同时，电压水平得到了均衡，有效抑制了电压过高或过低的偏差现象，这证明了优化技术在改善电能质量方面的可行性和优越性。此外，验证结果还表明，在动态负载变化与光伏出力波动的条件下，该技术能够迅速调整网络参数，确保电压稳定性和光伏消纳能力。与传统调控

方法相比，优化策略在减少损耗、提升运行灵活性方面展现出显著优势，尤其在光伏渗透率达到50%及以上时，优化效果尤为突出。这些验证结果为配电网实际工程中推广类似优化技术提供了有力支撑。^[9]

(二) 运行效率与电能损耗的对比优化仿真分析

优化措施在配电网中的应用，在提升运行效率和降低电能损耗方面表现出了明显的优越性。结合智能优化算法，分布式控制策略得到了显著改善，网络的传输效率在优化调控模型中得到了提升。在不同光伏渗透率的情况下，通过有效调配有功功率输出和无功补偿，网络损耗得到了减少。在提升能量传输效率的同时，优化措施还降低了电压波动范围，保持在允许界限内。模拟结果显示，优化技术在各节点极大降低了线路负载的超载风险，并对高负荷时段的电网运行效率起到了保障作用。这为实现大规模分布式光伏的稳定并网提供了有效支撑，对提高配电网整体运行效益具有重要意义。^[10]

(三) 光伏消纳能力的提升分析

光伏消纳能力的提升分析主要评估了优化技术在高渗透率光伏场景下的表现。通过优化光伏功率输出与无功补偿调度方案，调整配电网电压稳定性，改善了区域光伏发电的接纳能力，有效减少了弃光现象。仿真结果显示，优化后的能量管理策略使光伏消纳率明显提高，配电网对波动性光伏出力的适应性增强，确保了能量转化效率的最大化。这为实现可持续能源利用提供了关键技术支持。

六、结束语

以减少网络损耗和增强稳定性为目标，我们研究了太阳能接入电网的优化技术，构建了相关模型并分析了影响因素，有效地提升了电网的运行效率，降低了能量损耗，并提高了太阳能的应用能力。本研究为分布式太阳能提供了理论上的支持以及实践上的指导。虽然研究已取得一定进展，但受限于环境和条件，分布式太阳能技术的深入问题依然存在。我们认为，随着科技和算法的进一步发展，以上问题有望得到更好的解决。同时，未来的研究还需在实地测试的基础上，进行更为深层次的探索和研究，以推动分布式光伏接入配电网优化技术的进一步发展，为我国新能源的高效、稳定接入电网提供更有力的支持。

参考文献

- [1] 宋星辰, 顾成成, 王贺. 含分布式光伏接入的配电网无功优化 [J]. 电子乐园, 2021, (08): 0218-0218.
- [2] 武晓朦, 杨明月. 分布式光伏接入的配电网无功优化研究 [J]. 现代电子技术, 2021, 44(17): 162-168.
- [3] 邹伟华. 分布式光伏接入对配电网电压稳定性的影响 [J]. 大众用电, 2021, (11): 76-77.
- [4] 李勇. 基于分布式光伏的配电网无功优化 [J]. 电气开关, 2023, 61(02): 63-66.
- [5] 张昕, 魏立明, 张师. 光伏分布式接入对配电网电压稳定性的影响研究 [J]. 吉林电力, 2021, 49(02): 12-15.
- [6] 王庆杰, 尚磊, 陈双印, 等. 分布式光伏电站接入配电网继电保护整定优化 [J]. 电网与清洁能源, 2024, 40(04): 84-91.
- [7] 王斌, 张裕, 罗晨. 高比例光伏接入的配电网分布式运行优化技术 [J]. 南方电网技术, 2024, 18(06): 121-130.
- [8] 周子豪. 分布式光伏规模化接入对配电网影响与优化研究 [D]. 东南大学, 2023.
- [9] 王镇烁. 分布式光伏电源接入配电网的设计方案与优化 [J]. 中国高科技, 2022, (18): 65-67.
- [10] 陈泽雄, 张新民, 王雪锋, 等. 分布式光伏电站接入配电网的分布鲁棒优化配置方法 [J]. 电力系统保护与控制, 2021, 49(13): 30-42.

水电及抽水蓄能助力区域电力系统低碳转型路径探讨

廖小亚

江西洪屏抽水蓄能有限公司, 江西 靖安 330603

摘要： 本文针对区域电力系统低碳转型需求，分析水电与抽水蓄能技术的协同作用。探讨水电灵活性提升、抽水蓄能调峰填谷、风光水储多能互补等实施路径，提出优化调度策略与设施改造方向，为构建清洁低碳的新型电力系统提供参考。

关键词： 水电；抽水蓄能；低碳转型；电力系统；多能互补

Discussion on the Low-Carbon Transformation Path of Regional Power System Assisted by Hydropower and Pumped Storage

Liao Xiaoya

Jiangxi Hongping Pumped Storage Co., LTD. Jing'an, Jiangxi 330603

Abstract： This paper analyzes the synergistic effect of hydropower and pumped storage technology for the low-carbon transformation needs of regional power system. The implementation paths of hydropower flexibility improvement, peak and valley regulation of pumped storage, and multi-energy complementarity of landscape water storage are discussed, and the optimized dispatching strategy and direction of facility transformation are proposed, so as to provide reference for the construction of a new clean and low-carbon power system.

Keywords： hydropower; pumped storage; low-carbon transformation; power system; multi-energy complementary

引言

电力系统面临化石能源占比过高问题，煤电依赖导致碳排放强度难以降低。新能源波动性对电网稳定性提出挑战，亟须灵活性调节资源支撑。水电机组具备快速启停特性，抽水蓄能拥有储能与调频双重功能，两者协同可提升电网可再生能源消纳能力，降低系统碳排放强度。

一、水电技术升级路径

(一) 机组运行优化

机组升级聚焦灵活性提升与响应速度突破。调节能力改造重点升级调速系统，采用数字电液调速器替代机械液压装置，调节精度提升至 $\pm 0.1\text{Hz}$ ，响应时间缩短至10秒内完成全负荷调整。调速器油压系统改造为冗余双泵配置，故障切换时间 ≤ 2 秒。水库调度引入动态水位控制算法，建立发电量、生态流量、防洪库容的三维优化模型，枯水期维持最小下泄流量 $\geq$ 多年平均流量的30%。灵活响应机制构建基于AGC的自动发电控制体系，控制周期压缩至4秒/次，调节速率提升至2%额定容量/秒。备用容量管理实施旋转备用分层配置，10分钟内可调备用占比提升至装机容量的8%，参与调频辅助服务市场报价精度达 $\pm 1\text{MW}$ 。机组振动监测系统加装摆度传感器与频谱分析仪，实时预警轴系异

常，保障频繁调节工况下的设备安全^[1]。

(二) 梯级电站协同

梯级协同着力提升流域整体调节效能。联合调度系统采用分层控制架构：上层为流域调度中心，部署水电优化调度平台，集成72小时径流预报与电力需求预测功能；下层各电站配置本地控制器，执行调度指令并反馈实时数据。通信网络采用光纤专网与电力载波双通道，传输延时 $\leq 50\text{ms}$ 。负荷分配应用混合整数规划算法，考虑水头变化对机组效率的影响，求解最优出力组合，计算周期缩短至15分钟/次。跨流域互补依托区域电力交易平台，构建水文特性数据库，分析不同流域丰枯期重叠度^[2]。实施跨区互济时，通过联络线传输能力约束校核模块，确保输电断面不超限。枯水期优先调用调节性能好的水库电站承担峰荷，丰水期安排径流式电站多发基荷。建立容量置换机制，允许流域间备用容量共享，置换价格按边际成本核算。梯级生态调度统一设置鱼类

繁殖期联合放流方案，协调各电站下泄流量波动幅度 $\leq 20\%$ 。

二、抽水蓄能建设方向

(一) 站点布局优化

站点选址需综合考量能源供需地理特征，优先选择电力消费集中区域与清洁能源富集地带的交汇点。负荷中心邻近布局采用地下竖井结构设计，充分利用自然地形高程差形成上下水库的天然势能。库容配置依据地形测绘数据动态调整，确保上下库容量匹配度适应不同工况需求。既有水库设施改造时重点检测坝体渗漏情况与抗震性能，同步升级引水系统结构强度。双向水流通道建设时，发电工况沿用原有输水隧洞，抽水工况启用新建压力管道系统，实现两种模式独立运行互不干扰^[3]。

机组选型匹配地理条件特征，中高水头区间优先选用可逆式水泵水轮机，通过三维流体仿真优化转轮叶片型线，提升正反向运行效率。中小型站点开发侧重模块化设计，采用标准化预制组件缩短建设周期。山区微型抽蓄站点建设时，利用自然地势构建多级调节水池，通过智能调度系统实现梯级间水量平衡。废弃矿洞改造前实施全断面地质雷达探测，精准识别岩体裂隙发育状况。隧洞开挖采用硬岩掘进设备，根据围岩类别动态调整推进参数，同步实施喷锚支护与监测系统布设。

施工过程应用数字化管理平台，通过建筑信息模型预演设备吊装路径与施工时序，优化竖井开挖支护方案。地表变形监测网络布设高精度传感器，实时反馈岩体位移数据指导施工调整。生态环境保障方面，建设永久性生态泄放设施，配置独立的小型发电机组持续维持河道基流。水土保持工程同步实施边坡绿化与表土回填，施工废水分级沉淀处理后循环利用。站点运营期建立生态监测站，定期评估流域水文特征与生物群落变化，动态调整运行策略实现能源开发与生态保护的协同发展^[4]。

(二) 运行模式创新

电力系统调节需建立多层级响应机制，针对不同时间尺度的波动特征采取差异化的控制策略。秒级快速调节依托可变速机组技术，通过转子侧电力电子装置实现转速动态调整，调节速率与电网频率偏差形成实时联动。机组配备自适应控制系统，根据频率变化率自动匹配调节幅度，确保快速平抑瞬时功率波动。分钟级调节采用闭环跟踪模式，在中央控制器中植入改进型比例积分微分算法，实时对比实际出力与目标值的偏差，通过梯度下降法动态调整导叶开度与励磁电流。小时级调度引入滚动优化机制，结合气象预测与负荷趋势数据，每15分钟更新一次发电计划曲线，运用混合整数规划算法平衡抽蓄工况转换成本与市场收益。

备用容量管理实施动态配置策略，根据系统运行风险等级自动调整备用比例。旋转备用机组保持热备用状态，配置快速并网装置确保紧急情况下两分钟内达到满负荷输出。备用容量分配采用边际成本排序法，优先调用调节性能优良的机组。电力市场运营构建复合收益体系，容量市场侧重保障基本收益，采用可用容量竞标方式确定补偿标准。现货市场参与采用价格预测模型，结合历史价差规律与实时供需信息，制定最优充放电时间策略。电

量计量实施双轨制结算，容量电费依据核准装机容量按月支付，电量电费根据实际上网电量按日清算^[5]。

共享储能平台构建采用区块链技术，建立可信度量的调用记录系统。用户侧安装智能网关实时上传储能需求，平台通过匹配算法自动分配最优储能资源。调频服务交易引入性能指标考核，依据调节速率、精度与持续时间综合评定服务质量等级。金融创新方面，探索资产证券化路径，将电站固定资产与预期收益进行结构化设计，通过分级信托产品吸引多元投资。项目融资采用混合所有制模式，引入战略投资者分担前期开发风险。全生命周期成本管理实施精细化核算，建立设备健康状态评估模型指导运维资金分配，实现运行成本动态优化^[6]。

三、多能互补协同机制

(一) 风光水储联合运行

能源互补体系通过时间维度特性整合实现稳定出力。风电光伏的秒级波动由具备快速调节能力的水电进行平抑，水电机组通过调速器动态调整导叶开度，在5秒内响应功率变化需求。抽水蓄能电站承担分钟至小时级的功率偏差调节，在午间光伏大发时段启动抽水模式存储过剩电能，晚高峰时段转换为发电模式释放储能。多时间尺度控制架构分为三层：底层设备执行毫秒级频率支撑，中间层协调机组出力分配，上层优化系统运行模式。风光预测偏差通过滚动修正机制反馈至水电调度计划，形成闭环控制体系。跨能源协调控制器采用事件驱动型逻辑判断，当风光出力突变超过阈值时，优先调用抽蓄机组进行功率补偿，其次调整水电机组运行点^[7]。

容量规划遵循“源网荷储”协同原则，基于地理信息系统构建资源分布热力图。水电站选址侧重流域调节性能，优先布局具有年调节能力的水库作为基荷支撑。抽蓄电站容量按区域最大负荷峰谷差的30%配置，确保4小时持续调节能力。风光装机规模结合输电通道容量确定，通过灵敏度分析寻找消纳极限值。多能互补系统采用双层优化模型：外层求解年度容量配比，考虑设备投资成本与碳排放约束；内层进行小时级运行模拟，评估系统调节能力与可靠性指标。约束条件包含生态流量限制、旋转备用率要求及输电断面安全裕度，通过拉格朗日乘子法处理多重约束耦合问题^[8]。

(二) 智能调度系统建设

预测体系融合多源异构数据提升可靠性。气象预报数据接入欧洲中期预报中心与本地气象雷达资料，通过卡尔曼滤波算法进行偏差校正。水文预测模型耦合卫星遥感土壤湿度数据与历史径流序列，采用长短时记忆网络预测未来7日来水量。功率预测模块开发物理模型与统计模型混合架构，物理模型计算理论出力曲线，统计模型基于相似度分析修正天气影响因素。数据同化技术每6小时更新预测结果，滚动生成0-72小时发电计划。

实时控制系统构建“集中-分布”混合架构。集中控制层部署混合整数规划求解器，每15分钟刷新机组组合方案，优先调用边际成本低的清洁能源。分布控制层设置自适应规则库，当通信

中断时切换至本地自治模式，根据预设逻辑维持基本运行。多目标优化设置碳排放强度、运行成本、弃风弃光率三项指标，采用NSGA-II算法寻找帕累托最优解集^[9]。在线学习机制持续更新设备性能参数，建立机组响应速度、效率曲线的动态模型库。安全校核模块实施N-1故障预想校核，自动调整备用容量分布。人机协同界面开发三维可视化驾驶舱，支持调度员交互式调整优化权重参数。

四、实施挑战与对策

（一）生态保护约束

生态保护需构建全过程管控体系。环境影响控制采用动态水位控制模型，限制日水位变幅 ≤ 0.5 米，设置生态流量实时监控装置，通过超声波流量计与视频监控双重验证下泄水量。鱼类保护措施包括安装垂直竖缝式鱼道（宽度 ≥ 2 米），流速控制在0.8–1.2m/s吸引鱼类洄游，水轮机流道优化为六叶片斜击式设计，降低转轮区流速梯度。生态补偿机制建立多方共担模式，从发电收益提取3%–5%注入生态基金，用于增殖放流与栖息地修复。生态电价政策实施差异化定价，对保障生态流量的电站给予0.05元/kWh补贴^[10]。开发流域生态指数评价体系，将水质达标率、鱼类种群数量等指标纳入电站考核，未达标企业限制其发电计划申报。

（二）经济性提升路径

经济性优化需政策与技术双轮驱动。成本疏导机制设计阶梯式容量电价，调节性能优良电站获取1.2倍基准电价，建立辅

助服务成本分摊机制，通过输配电价附加回收抽蓄电站建设成本。绿色金融工具创新包括发行碳中和债券，定向支持电站技术改造，探索储能资产证券化模式。设备技术研发聚焦高水头机组（800米以上）整体铸造工艺，采用耐空蚀不锈钢转轮（硬度 $\geq$ HRC45），机组过流部件表面激光熔覆碳化钨涂层延长大修周期。可变速机组推广同步磁阻电机技术，转子设计为多层叠片结构，实现 $\pm 10\%$ 转速无级调节，效率曲线平坦区扩展至40%–100%负荷范围。智能运维系统开发叶片裂纹声发射监测装置，通过振动频谱分析预判设备劣化趋势，降低非计划停运风险。

五、结语

水电与抽水蓄能协同发展是推进区域电力系统低碳转型的核心支撑。通过机组灵活性改造与梯级调度优化，水电可有效平抑新能源波动；抽蓄电站的快速调节特性则为电网提供稳定缓冲。多能互补体系整合不同电源时空特性，形成“水电保基荷、抽蓄调尖峰、风光补电量”的协同格局，显著提升清洁能源消纳能力。当前实施过程中，需重点破解生态保护与经济效益的平衡难题；动态水位控制、鱼类洄游通道建设等技术措施可缓解环境影响，而容量电价机制与绿色金融创新则为项目经济性提供保障。未来发展方向应聚焦智能化升级，开发流域–区域两级协调调度平台，实现多源异构能源的精细管控。同时需完善市场机制，通过辅助服务交易体现调节资源价值，激发企业改造积极性。只有技术革新与制度创新双轨并进，才能构建安全高效、低碳环保的新型电力系统，为区域能源转型提供持久动力。

参考文献

- [1] 张博庭. 水电和抽水蓄能是实现碳中和的重要保障 [J]. 水电与新能源, 2023, (4): 1–5.
- [2] 张宗亮, 刘彪, 王富强, 等. 中国常规水电与抽水蓄能技术创新与发展 [J]. 水力发电, 2023, (11): 1–6, 114.
- [3] 杨凯. 现代水利水电抽水蓄能施工技术分析 [J]. 南北桥, 2023(24): 193–195.
- [4] 路振刚, 叶宏, 梁廷婷, 等. 新形势下我国抽水蓄能技术新突破与前景展望 [J]. 水电与抽水蓄能, 2023, (6): 15–19.
- [5] 任艳, 崔正辉. 全球能源转型背景下中外抽水蓄能发展分析研究 [J]. 水力发电, 2023, (10): 92–96, 115.
- [6] 程其云, 何鑫, 冷祥彪, 等. 基于可变速抽水蓄能的风—光—火—抽蓄的优化调度 [J]. 水电与抽水蓄能, 2023, (4): 109–113.
- [7] 杨书. 春厂坝抽水蓄能电站应用全功率变速恒频可逆式机组的可行性分析 [J]. 水电站机电技术, 2023, (4): 1–4, 46.
- [8] 侯公羽, 马晓赞, 杨振华, 等. 抽水蓄能电站全生命周期碳排放计算与分析 [J]. 中国环境科学, 2023, (1): 326–335.
- [9] 李学东, 赵晓柯. 春厂坝抽水蓄能电站职业健康与生态环境保护的探究 [J]. 水电站机电技术, 2023, (5): 134–136.
- [10] 李湘峰, 黄谨, 潘菊芳. 抽水蓄能电站建设征地移民安置工作不同阶段关注问题的探讨 [J]. 水力发电, 2023, (9): 12–15.

配电网低电压与频繁停电成因解析及协同治理措施探讨

刘英

国网四川省电力公司南充市高坪供电分公司，四川 南充 637100

摘 要： 本文针对配电网低电压与频繁停电问题，系统分析其技术与管理层面的形成原因，提出多维度协同治理方案。通过梳理电网结构缺陷、负荷特性变化、设备运维短板等核心影响因素，结合技术改进与管理优化措施，探索建立长效治理机制，为提升供电可靠性提供理论支持与实践参考。

关 键 词： 配电网；低电压；频繁停电；线路改造；协同治理

Analysis of Causes of Low Voltage and Frequent Power Failure in Distribution Network and Discussion of Collaborative Governance Measures

Liu Ying

State Grid Sichuan Electric Power Company Nanchong Gaoping Power Supply Branch, Nanchong, Sichuan 637100

Abstract： For the problem of low voltage and frequent power failure of the distribution network, this paper systematically analyzes the formation causes of its technical and management level, and puts forward a multi-dimensional collaborative governance scheme. By sorting out the core influencing factors such as power grid structure defects, load characteristic changes, and shortcomings of equipment operation and maintenance, and combining with technical improvement and management optimization measures, exploring the establishment of a long-term governance mechanism to provide theoretical support and practical reference for improving the reliability of power supply.

Keywords： distribution network; low voltage; frequent power failure; line transformation; collaborative governance

引言

当前配电网低电压与频繁停电问题严重制约供电质量提升，偏远地区电压合格率长期低于国家标准，居民家用电器无法正常启动的情况时有发生。随着乡村振兴战略推进，农村生产生活用电需求快速增长，原有电网架构已难以负荷新型农业设备与家庭用电的叠加压力。工商业用户对供电可靠性要求不断提高，突发停电造成的经济损失引发多方关注。现有治理措施多侧重单一技术改进，缺乏设备更新、负荷管理、运维协同的系统性解决方案^[1]。部分地区线路改造后仍出现电压反弹现象，暴露出治理方案可持续性不足的短板。本文从技术与管理双重维度解析问题根源，探索多主体协同治理路径，为构建长效治理机制提供理论支撑与实践参考。

一、低电压与频繁停电主要成因

（一）电网结构性问题

配电网基础架构存在的设计缺陷是引发低电压与停电的重要因素。线路供电半径过长问题在偏远地区尤为突出，部分农村线路延伸距离超过合理范围，导致电能传输过程中电压损耗加剧。当供电末端电压降至设备启动阈值以下时，空调、水泵等大功率电器难以正常运行。导线截面配置不足则源于早期建设标准与当前用电需求脱节，原有线路设计容量无法承载现代家庭电器化与小型加工作坊的复合负荷。当用电高峰期线路持续过载运行时，导线发热引发的电阻增大进一步恶化电压质量，形成恶性循

环^[2]。这类结构性问题通常伴随配电变压器布点不合理，部分台区变压器容量与供电户数严重不匹配，加重了线路末端的电压衰减现象。

（二）负荷特性变化

用户用电模式的转变对电网稳定运行形成新挑战。季节性负荷波动呈现极端化趋势，夏季制冷与冬季采暖设备集中启用时，局部区域负荷峰值可达平时的2-3倍，瞬间电流冲击易引发保护装置动作跳闸。三相负荷不平衡问题随着单相大功率电器普及日益严重，空调、电磁炉等设备集中于某一相线运行，导致配变三相电流差值超过安全阈值^[3]。这种不平衡状态不仅造成中性点电压偏移，还会引起变压器附加损耗增加，进一步降低供电电压质

量。同时，分布式光伏等新能源接入改变了传统单向供电模式，逆功率流可能引发电压越限问题，加剧电网调节难度。

（三）设备运维短板

配电设备老化与维护不足直接影响供电可靠性。服役超期的变压器绝缘油劣化、绕组老化等问题导致带载能力下降，高负荷时段易出现过热保护跳闸。线路接头氧化腐蚀使接触电阻增大，持续发热可能烧毁设备或引发短路故障。无功补偿装置配置缺失导致系统功率因数偏低，特别是在电动机、电焊机感性负载集中区域，无功功率缺额引发电压大幅波动。防雷接地装置失效问题在雷电多发地区尤为突出，缺乏定期检测维护的接地网无法有效泄放雷电流，易造成绝缘击穿事故^[4]。设备状态监测手段不足使得隐性缺陷难以及时发现，往往发展成故障停电后才进行抢修处理。

二、技术治理措施

（一）电网结构优化

缩短供电半径的核心在于精准把握负荷分布特征，通过网格化分析方法将供电区域细分为若干单元。每个单元以负荷密度、地形特征、用户类型为划分依据，采用“中心放射+环网联络”的布局模式。在负荷聚集区增设智能化箱式变电站，其选址需综合考虑未来五年负荷增长预期与现有线路承载能力，优先选择交通便利、地质条件稳定的区域。线路分割改造时采取“先主干后分支”的渐进策略，对超半径线路实施分段解环操作，形成多个相对独立的供电单元^[5]。导线升级遵循“梯次替换”原则，对重载线路优先更换大截面绝缘导线，新建线路直接采用耐候型架空绝缘导线，既提升输送能力又降低树线矛盾风险。

路径优化注重与自然环境协同，山区线路采用高跨设计减少林木砍伐，城区线路优先使用电缆管廊敷设。针对台风多发区域，重点加固杆塔基础并提高设计风速等级。在负荷波动明显的开发区，推行“弹性网格”建设模式，主干线路按终极负荷设计截面，分支线路预留T接点并配置快速插拔接口，便于后期灵活接入新增负荷。分段开关配置采用“三级防护”策略：主干线首端装设具备远程操控功能的柱上断路器，分支线连接处部署负荷开关，重要用户接入点安装故障指示器。通过自动化系统实现故障区段毫秒级定位，配合网络重构算法快速恢复非故障区域供电。

规划衔接方面建立“双同步”机制，电网规划部门定期对接国土空间规划最新成果，将变电站站址、线路走廊纳入城市规划控制性详规。在新区开发中推行“管沟先行”模式，电力通道与市政道路同步建设。老旧城区改造时统筹实施电缆入地工程，结合道路拓宽、绿化提升等项目协同推进线路迁改。建立电网设备全生命周期管理系统，对运行年限超期、技术标准落后的设备建立优先改造清单，逐步消除结构薄弱环节。通过三维数字化平台模拟不同运行方式下的电网潮流分布，为结构优化提供动态决策支持，确保改造方案既满足当前需求又具备适度前瞻性^[6]。

（二）电压质量提升

自动调压装置的部署应聚焦电压波动频繁节点，选择具有双

向调节能力的电子式调压器。设备安装前进行潮流计算仿真，确定最佳安装位置与调节范围，避免相邻调压设备产生冲突。智能电容器组的配置需结合负荷特性分析，在感性负载集中区域设置动态无功补偿点^[7]。采用分级投切策略，根据实时监测的功率因数自动调整补偿容量，确保系统功率因数维持在0.9以上。对于光伏接入较多的区域，配置具备双向调节功能的静止无功发生器，解决新能源波动引发的电压越限问题。建立电压质量监测网络，在配变低压侧、线路中段、用户端设置监测终端，构建三级电压监测体系，实现电压异常的精准定位与快速处置。

（三）设备状态管控

在线监测系统的部署应覆盖关键设备节点，在配变、开关柜、电缆接头等部位安装智能传感器。监测终端集成温度、电流、局放等多参数采集功能，通过4G/5G网络实时回传数据至监控中心。数据分析平台设置预警阈值，当设备温度异常升高或负荷超限时自动触发报警^[8]。预防性试验采用“固定周期+状态评估”相结合的模式，对于运行年限超过10年的设备缩短检测周期。红外测温重点检测导线连接点与设备外壳温度差异，接地电阻检测选择雷雨季节前开展。试验结果录入设备健康档案，生成设备状态评分，为检修决策提供依据。对于检测发现的隐性缺陷，建立“发现-评估-处理”闭环管理流程，通过带电作业技术减少停电消缺次数，提升供电可靠性。

三、管理协同策略

（一）负荷精细化管理

负荷预测模型的构建需整合多源数据资源，包括历史用电曲线、气象信息、节假日特征等要素。采用机器学习算法分析用电行为模式，识别不同用户群体的负荷特性，建立居民、工商业、农业等分类预测模型。预测结果输出为日负荷曲线与周趋势分析，为调度部门提供决策依据。分级调控方案设置红、橙、黄三级预警，对应启动差别化管控措施：红色预警时段优先保障民生用电，限制高耗能企业生产；橙色时段引导储能设备放电削峰；黄色时段通过短信推送柔性调节建议。错峰用电引导采取“经济激励+宣传教育”双轨策略，峰谷电价差拉大至1:3以上，对主动调峰用户给予电费返还奖励^[9]。社区网格员定期开展用电知识讲座，发放节能设备优惠券，培养用户科学用电习惯。

（二）运维模式创新

网格化运维体系按照“地理相邻、负荷相近”原则划分管理单元，每个网格覆盖5-10个配变台区。配置“1+2+N”运维团队：1名技术负责人统筹协调，2名专职抢修员常驻片区，N名设备主人负责具体设备巡检。建立30分钟应急响应圈，抢修车辆与物资前置储备至网格驻点。设备全寿命档案实施数字化管理，采用二维码标签实现“一设备一码”，扫码即可查看出厂参数、历次试验数据、缺陷处理记录等信息。档案系统设置智能提醒功能，临近检修周期自动生成工单，累计运行数据超限时触发更换建议。基于设备健康指数制定差异化检修策略，新设备延长检测周期，老旧设备增加特巡频次，实现运维资源精准投放。

（三）多方协同机制

政企联动规划建立常态沟通平台，电力部门参与地方政府规划委员会，提前获取区域发展蓝图。在道路新建改造工程中同步实施电缆入地，协调园林部门修剪影响线路安全的树木。设立联合执法机制，对违规占压电力通道的建筑实施联合整治。用户参与治理体系构建双向互动渠道，开发“电力管家”移动应用，用户可实时上报设备异响、电杆倾斜等异常情况。建立隐患报告积分奖励制度，有效反馈兑换电费优惠。组建电力志愿者队伍，培训社区骨干掌握基础用电安全检查技能。定期举办“电网开放日”活动，邀请用户代表参观变电站、体验故障抢修流程，增进理解支持。通过多主体协同发力，形成隐患早发现、问题快处理、风险共防范的治理格局。

四、长效保障体系

（一）技术标准完善

规划设计导则的更新需立足长远发展需求，在新建线路设计中增加负荷预测模块，按照区域经济增速的1.5倍预留容量裕度。导线选型标准提高至当前负荷需求的120%，杆塔基础设计考虑极端天气影响系数。设备更换周期制定结合运行数据与厂家建议，明确油浸式变压器15年、断路器10年的强制更换年限，推行“年龄+状态”双评估机制。建立设备退役预警系统，对超期服役设备提前6个月发出更换提醒，避免突发故障导致停电。技术标准实施动态修订机制，每3年组织专家评估调整，确保与新技术、新材料发展同步。

（二）人才培养机制

技能培训采用“理论+实操+考核”三位一体模式，每季度开展配电设备运维专题培训，重点演练故障定位、带电作业等实

用技能。建立线上学习平台，上传设备操作视频、典型故障处理案例等资源，支持随时回看学习。专家支持库整合系统内外技术力量，按专业领域组建继电保护、新能源接入等专项小组。设立7×24小时远程会诊平台，一线人员可通过视频连线获取实时指导。实施“师徒制”培养计划，新员工由高级技师一对一辅导，定期开展技能比武检验培训成效。建立人才成长档案，记录参与的重大抢修、技术创新等项目经历，作为晋升评优的重要依据。

（三）考核评价优化

供电质量指标设定突出用户感知导向，电压合格率按台区细化考核，要求月度达标率不低于98%。停电时长统计精确至分钟级，超过2小时的故障停电需专项分析整改。考核结果与绩效奖金、岗位晋升直接挂钩，对连续3个月不达标单位亮黄牌警告。动态监测评估体系构建“监测-反馈-整改-复核”闭环，每月生成各区域治理成效排名，通过生产例会通报典型问题。建立整改任务跟踪台账，明确责任人与完成时限，超期未处理事项升级至上级督办。引入第三方满意度调查，每年两次抽样评估用户对供电质量的真实感受，结果纳入年度综合考评体系^[10]。

五、结语

配电网低电压与频繁停电治理需兼顾技术升级与管理创新。通过优化电网结构、提升设备质量、完善运维体系等多措并举，能够有效改善供电质量。本文提出的协同治理方案强调技术措施与管理手段的有机结合，为构建安全可靠的配电网提供系统性解决思路。未来需持续跟踪新技术发展，动态调整治理策略，推动供电服务水平持续提升。

参考文献

- [1] 张海波. 人工智能技术在广播电视和网络视听领域应用探究[J]. 西部广播电视, 2023, (1): 115-119.
- [2] 贾迪. 电视编辑记者与AI协作的新闻制作新模式[J]. 电视技术, 2023, (8): 81-84.
- [3] 徐臻. 人工智能技术在文化类综艺节目中的应用[J]. 电视技术, 2023, (11): 109-111.
- [4] 马立何. 配电网频繁停电控制策略研究[J]. 科学技术创新, 2018(34): 171-172.
- [5] 马立何. 配电网频繁停电控制策略研究[J]. 科技创新与应用, 2018(34): 171-172.
- [6] 吴镇海. 配电网特快速开关设计及特性分析[J]. 电气开关, 2023, (6): 13-15, 19.
- [7] 董冰冰, 陈子建, 陈维江, 等. 配电网用灵活控制特快速开关方案及其触发导通特性[J]. 高压技术, 2022, (5): 1808-1816.
- [8] 李毛根, 王彦刚, 薛赛, 等. 跌落式熔断器智能预警装置[J]. 农村电工, 2020, (1): 29-30.
- [9] 申玉梅, 曹云轩, 吴思成, 等. 基于配变档位优化的多级调压策略研究[J]. 电气应用, 2015, (21): 57-61.
- [10] 黄慧松. 10kV配电线路绝缘导线线路防雷措施探究[J]. 科技风, 2014(15): 91-91.

电力营销中的安全风险问题及其治理措施探索

潘小军

国网武汉市东湖新技术开发区供电公司，湖北 武汉 430000

摘要： 电力营销中的安全风险防控直接影响企业经济效益与社会服务形象。本文针对数据泄露、现场作业隐患、资金安全漏洞等常见问题，从技术防护、流程优化、人员管理、应急响应四个维度提出治理措施，为基层电力单位提升安全管理水平提供实践参考。

关键词： 电力营销；安全风险；数据安全；风险防控；应急管理

Exploration of Security Risk and Governance Measures in Power Marketing

Pan Xiaojun

State Grid Wuhan Donghu New Technology Development Zone Power Supply Company, Wuhan, Hubei 430000

Abstract： The prevention and control of security risks in power marketing directly impact the economic benefits and social service image of enterprises. This paper addresses common issues such as data breaches, on-site operation hazards, and financial security vulnerabilities. It proposes governance measures from four dimensions: technical protection, process optimization, personnel management, and emergency response, providing practical references for improving safety management levels in grassroots power units.

Keywords： electric power marketing; security risk; data security; risk prevention and control; emergency management

引言

电力营销涉及用户信息管理、电费资金流转、现场设备操作等多个环节，任一环节的安全漏洞都可能引发经济损失或服务纠纷。当前部分基层单位存在数据管理松散、作业流程不规范、应急响应迟缓等问题，尤其在偏远地区，人工抄表时的设备安全隐患、用户隐私泄露风险较为突出。随着线上缴费普及与技术攻击手段升级，传统管理模式已难以适应安全防护需求。本文立足电力营销工作实际场景，探索具有可操作性的风险治理路径，助力基层单位筑牢安全防线。

一、电力营销中的主要安全风险

（一）用户数据泄露风险

电力营销过程中积累的用户信息包含高度敏感内容，从电表档案中的家庭住址、身份证号到银行账户信息均存在泄露隐患。纸质台账管理普遍存在随意性，部分供电所的客户登记本未放入带锁文件柜，外来人员进入办公区时可轻易翻阅。电子数据管理漏洞更为突出，营销系统账号存在多人共用现象，个别员工使用简单密码或长期不更换密码，曾出现离职人员仍能登录系统导出数据的情况。数据流转环节缺乏有效监控，维修人员借用账号批量导出用户信息时，系统未触发异常操作预警^[1]。农村地区人工抄表时，抄表员携带的纸质清单可能遗落在用户家门口，或拍照上传数据至微信工作群时未打码处理，导致用户隐私通过社交平台二次传播。

（二）电费资金安全风险

线下缴费环节的资金管理存在多重隐患。部分偏远乡镇供电

所仍采用手工开具收据方式，收费员同时经手现金与票据，若遇票据存根联丢失或涂改，易出现账款不符却无法追溯责任的情况。营业厅每日收取的现金未严格执行“双人清点、即时缴存”规定，曾有收费员将当日电费款存放在办公桌抽屉过夜，导致资金被盗事件。线上支付系统的技术缺陷同样值得警惕，第三方支付平台接口若未采用双向加密通信，攻击者可利用中间人攻击篡改交易金额，例如将100元缴费记录修改为10元。系统对异常交易行为识别能力不足，同一账户在短时间内多次发起0.01元测试支付时，未及时锁定账户并进行安全验证，给恶意试探系统漏洞留下可乘之机。

（三）现场作业安全风险

抄表作业中的安全隐患多集中于设备与环境因素。部分抄表员为图省事，攀爬电杆时不系安全带，遇到雨雪天气仍冒险登高作业，曾发生人员滑落导致骨折的事故。老旧小区电表箱锈蚀严重，箱门脱落或锁具失效现象普遍，儿童触碰裸露接线端子引发触电的风险较高。农村地区电表安装位置不合理，有的悬挂在牲

畜棚屋檐下，抄表时易遭动物攻击。现场作业流程规范性不足，部分员工带电操作时不使用绝缘工具，直接用手触碰接线柱检测电压。更严重的是，个别供电所未配备漏电保护检测仪，仅凭经验判断设备安全性^[2]。

（四）技术系统攻击风险

电力营销系统作为核心业务平台，面临多种网络安全威胁。未及时安装系统补丁的服务器可能被植入勒索病毒，攻击者加密电费数据后索要赎金，直接导致业务停摆。弱密码策略使得黑客可通过暴力破解进入系统，批量修改用户缴费状态制造混乱。内部网络隔离不彻底，部分供电所办公电脑同时连接营销系统与互联网，员工浏览钓鱼网站时可能引入恶意程序。移动端应用的安全防护更为薄弱，部分 APP 未对传输数据进行加密，攻击者在公共 WiFi 环境下可截获用户登录凭证。此外，系统缺乏操作行为审计功能，无法有效追踪数据异常修改的源头。

二、数据安全强化措施

（一）建立数据分级保护制度

数据分类需结合业务需求制定具体标准。普通数据指不涉及个人隐私的基础信息，如用户用电量、电表型号等，允许营销部门内部共享用于业务分析；敏感数据包括身份证号、银行账户、详细住址等信息，存储时需单独加密并标注“机密”标识。调取敏感数据必须通过审批流程：申请人填写《数据使用申请表》，注明用途与使用期限，经部门负责人签字后提交至数据安全管理部门，获批后由系统管理员临时开放权限。访问记录自动留存日志，包括查看人员、时间及操作内容，保存期限不少于两年^[3]。对于外包服务人员，严格限制其接触敏感数据范围，仅开放完成维修任务必需的电表位置信息，且访问权限在服务结束后立即收回。

（二）推行电子化加密存储

纸质台账全面替换为电子档案系统，采购防篡改扫描仪将历史纸质资料转为电子文档，扫描时自动添加水印标记操作人员工号。用户身份证号采用 SM4 国密算法加密存储，显示时仅展示前四位与末两位数字，住址信息保留至街道层级，门牌号部分用“***”替代。建立独立的数据存储服务器，与办公网络物理隔离，访问时需插入专属密钥 U 盾并进行指纹验证。系统设置自动清理机制，临时缓存数据每小时清空一次，报废硬盘统一进行消磁处理。为基层供电所配备便携式加密终端，抄表员现场录入数据后立即加密上传，设备丢失时可远程触发数据自毁程序^[4]。每季度开展存储安全检查，重点核查加密字段是否完整、访问日志有无异常操作。

（三）规范系统账号权限

账号创建实行“实名制+岗位绑定”原则，新员工入职时由信息科根据岗位职责配置初始权限，例如抄表员只能查看负责片区的电表数据，财务人员仅开通账单核对功能。强制要求首次登录时修改密码，密码复杂度需包含大小写字母、数字及特殊符号，且每 90 天必须更换。账号登录实施双重验证，除密码外还需输入手机动态验证码，异地登录时自动触发人脸识别验证。权限

调整须经三级审批：申请人提交变更理由，班组长初审后报部门负责人批准，最终由系统管理员执行操作^[5]。离职人员账号冻结纳入离职流程关键节点，人力资源部在办理手续时同步发送账号冻结通知单，信息科需在收到通知后 4 小时内完成权限回收。每月提取闲置超 30 天的账号清单，经确认无需使用的立即停用归档。

三、现场作业安全规范

（一）设备安全检查标准化

为每位抄表员配备标准化工具包，内含绝缘手套、验电笔、便携式照明灯等 8 件套装备，工具包编号与人员工号绑定，每月 25 日集中检测绝缘性能。每天开工前需执行“三查三测”：查电表箱外壳无破损、查接地线连接牢固、查周边环境无积水；用验电笔测试箱体带电情况、用万用表检测电压稳定性、用绝缘电阻仪测量接地电阻值^[6]。发现接地电阻大于 4 Ω 时立即停止作业并上报维修。所有检查结果通过移动终端拍照上传系统，未完成安全检查的工单无法提交。

（二）高危作业流程优化

登高作业实行“两备两报”制度：备齐安全带、防滑鞋、安全绳三重防护装备，备好应急医疗包；提前 1 天在工作群报备作业地点与时段，作业开始前向调度中心发送定位确认。带电操作时严格执行“一监护一操作”模式，监护人位于作业点 3 米内，全程监控操作动作并及时提醒风险。遇到雷雨天气或湿度超 80% 时自动触发作业禁令，系统暂停分配高危工单。建立高危作业电子围栏，通过 GPS 定位确保人员不进入未报备区域，偏离预定路线超 500 米时自动发出警报^[7]。

（三）建立安全督导机制

安全督导采用“四查四看”工作法：查工单记录看检查流程是否完整，查视频回看操作是否规范，查设备台账看工具检测是否过期，查定位轨迹看作业范围是否合规。每月随机抽取 20% 工单进行现场复盘，重点核查登高作业安全带系挂点选择、验电笔使用手法等细节。发现问题后实行“三色整改”：一般违规贴黄色警示单，3 日内提交书面检讨；严重违规贴红色停岗单，参加 8 小时安全再培训；重复违规纳入黑名单，调离岗位并扣除季度安全奖。督导结果每月公示，连续三月无违规班组授予流动红旗。

四、资金安全防控手段

（一）线下缴费双人核验

实行“收银员+复核员”双岗制，收费员收取现金后立即加盖带日期编码的收讫章，复核员对照票据逐张清点并双签确认。营业厅配置保险柜存放当日现金，规定每日 15 点前必须由两人共同护送款项至银行柜台办理存款，存款回执需扫描上传至财务系统备查。建立现金流转电子台账，每笔缴费记录同步关联收费员工号、票据编号与银行入账凭证，确保资金流向全程可追溯^[8]。

（二）线上支付风险监控

在缴费平台部署智能风控引擎，个人账户单日交易限额设为

5000元，企业账户限额5万元。对同一设备半小时内发起超3次支付请求、同一IP地址24小时累计缴费超10笔等异常行为，自动触发二次验证或临时冻结。设置交易行为分析模型，识别出“多笔0.01元测试支付”“缴费后立即退款”等可疑操作时，系统自动生成风险工单转交人工核查，并暂停该账户线上功能48小时。

（三）定期账目交叉审计

每月5日前由财务部与营销部组成联合小组，通过系统导出上月全部交易记录，与银行提供的电子回单逐笔比对金额、时间、账户信息。采用“三色标记法”：完全匹配标绿色，差异0.1%以内标黄色重点复核，差异超0.1%标红色启动专项核查。核查小组需在5个工作日内查明原因，确认技术故障的修复数据接口，涉及人为差错的追责到人并补足资金缺口。审计报告经分管领导签字后归档保存三年备查。

五、技术防御体系建设

构建多层次网络安全防护体系是保障电力营销系统稳定运行的基础。在营销系统服务器前端加装下一代防火墙，设置IP白名单机制，禁止未授权设备接入内网端口，每周利用漏洞扫描工具检测系统弱点并及时修补。建立异地双活数据备份中心，每日凌晨2点自动执行全量数据备份，采用增量备份技术减少传输压力，保留最近30天完整备份记录，确保极端情况下数据恢复时间不超过4小时。严格遵循最小权限原则，为运维人员划分操作权限等级，普通维护人员仅能重启服务进程，数据库结构修改需提交工单经技术主管审批后实施，所有操作记录实时同步至审计平台，关键字段变更自动触发短信告警至管理人员^[9]。同时部署数据库防火墙，拦截异常SQL注入行为，对敏感表的批量查询操作进行流量限制，防止数据被恶意导出。

六、人员安全意识提升

提升全员安全素养需建立长效培养机制。新员工入职首周必须完成16课时的安全培训，通过闭卷考试后方可上岗，内容涵盖密码管理规范、钓鱼邮件识别等实操技能。每年开展两次专题

培训，春季重点讲解防社会工程学攻击技巧，秋季组织应急逃生与设备灭火演练，采用情景模拟方式考核人员应急处置能力。推行安全责任落实到人制度，全体员工需签订《安全承诺书》，明确泄露用户信息最高可追刑责、违规操作系统将扣发年度绩效等条款。建立隐患上报正向激励通道，在办公系统开设“安全随手拍”专栏，员工发现机房未关门、账号密码贴屏幕等现象可匿名举报，核查属实的按隐患等级发放奖励金，重大漏洞报告额外授予年度安全标兵称号^[10]。定期通报典型违规案例，用身边事教育身边人，强化全员风险防范意识。

七、应急管理机制完善

健全的应急管理体系是应对突发风险的最终防线。制定覆盖六类主要风险的处置预案，如遭遇勒索病毒攻击时，立即切断受感染服务器网络连接，启用备用系统维持基本服务，技术团队需在2小时内完成病毒样本分析并启动数据恢复流程。为基层单位配置标准化应急物资箱，内置柴油发电机可维持营业厅8小时供电，卫星电话确保通讯基站损毁时仍能上报灾情，便携式移动充电柜满足现场作业设备紧急充电需求。每季度开展实战化应急演练，3月模拟黑客入侵场景，检验系统隔离与溯源能力；6月设定台风灾害情境，训练队伍在断网环境下完成手工抄表与电费收取；9月组织防信息泄露演练，测试从发现数据异常到完成用户通知的全流程时效性。每次演练后召开复盘会，针对暴露出的物资短缺、响应迟缓等问题，在15个工作日内完成整改方案并跟踪落实。

八、结语

电力营销安全风险治理需要技术手段与管理措施双管齐下。通过严格数据管控、规范现场作业、强化技术防护、提升人员素质等系统性改进，可有效降低各类风险发生概率。未来应持续关注新型网络攻击手段与设备更新迭代趋势，动态调整防控策略，切实保障电力营销工作安全稳定运行。

参考文献

- [1] 宋婷. 电力营销中的安全风险问题及其治理对策分析 [J]. 中国公共安全, 2023(9): 40-42.
- [2] 王苏亚, 包振兴. 新经济形势下电力营销管理中安全风险问题及解决方法相关思考 [J]. 电气技术与经济, 2023(7): 226-228, 231.
- [3] 李强. 电力营销中的安全风险问题及其治理对策分析 [J]. 数字化用户, 2023(48): 245-246.
- [4] 朱耕绪. 电力营销业扩现场安全管理模式研究 [J]. 电工技术, 2023(1): 256-258.
- [5] 魏宇, 苗壮, 黄元园, 等. 电力营销安全中的标准化管理应用 [J]. 大众标准化, 2022(4): 1-3.
- [6] 奚彩霞. 电力营销中存在的安全风险及优化路径 [J]. 经营者, 2023(9): 145-147.
- [7] 孙猛. 电力营销安全中的标准化管理应用探析 [J]. 电脑采购, 2023(11): 102-104.
- [8] 张静. 电力营销中的业扩现场安全管理模式分析 [J]. 电脑高手, 2022(1): 28-30.
- [9] 许林光. 如何加强电力营销工程项目管理探究 [J]. 模型世界, 2023(35): 58-60.
- [10] 张雅清. 基于智能电网发展的电力营销信息化建设 [J]. 通讯世界, 2023, (9): 80-82.

用电检查中数据采集模块的性能评估与优化策略研究

王浩, 陈天欣

国网江苏省电力有限公司句容市供电分公司, 江苏 镇江 212400

摘 要 : 随着智能电网建设向纵深发展, 用电检查系统对数据采集的实时性、可靠性提出更高要求。研究提出了多维度性能评估体系与动态优化策略, 通过构建高并发通信协议栈、自适应采样算法及混合抗干扰滤波架构, 结合硬件资源弹性调度机制, 实现复杂电磁环境下数据采集效率与精度的协同提升。重点突破低时延传输、动态频谱感知与异构计算资源管理等关键技术, 为智能电网精细化监测提供理论与技术支撑。

关 键 词 : 数据采集; 协议优化; 动态采样

Study on the Performance Evaluation and Optimization Strategy of the Data Acquisition Module in the Electricity Consumption Inspection

Wang Hao, Chen Tianxin

State Grid Jiangsu Electric Power Co., Ltd. Zhenjiang City Power Supply Branch, Zhenjiang, Jiangsu 212400

Abstract : With the deep development of smart grid construction, the electricity consumption inspection system puts forward higher requirements for the real-time and reliability of data collection. The multi-dimensional performance evaluation system and dynamic optimization strategy are proposed. Based on the construction of high concurrent communication protocol stack, adaptive sampling algorithm and hybrid anti-interference filtering architecture, combined with the hardware resource elastic scheduling mechanism, the collaborative improvement of data acquisition efficiency and accuracy in complex electromagnetic environment is realized. Key technologies such as low delay transmission, dynamic spectrum perception and heterogeneous computing resource management will be breakthrough to provide theoretical and technical support for fine monitoring of smart grid.

Keywords : data acquisition; protocol optimization; dynamic sampling

引言

传统采集模块在高并发、强干扰及资源受限场景下面临传输时延抖动、信号失真及硬件过载等问题, 制约了故障预警与能效分析的准确性。本文围绕数据采集模块性能评估与优化展开研究, 提出基于多模态特征感知的动态调节机制, 通过协议栈重构、自适应采样策略与混合滤波技术的协同设计, 构建覆盖物理层至应用层的优化框架。研究旨在解决复杂工业环境下数据采集的时延-能耗-精度多目标优化问题, 推动用电检查技术向智能化、高可靠方向演进。

一、用电检查数据采集需求现状

当前电力系统要求实时获取用户侧多维用电数据, 以支撑精准的负荷分析、异常检测及设备状态监测。传统通信协议受限于传输效率, 在高并发场景下易出现数据拥塞与延迟, 难以满足高频采集需求; 复杂工业环境中的电磁干扰导致信号质量波动, 常规滤波方法对突发噪声的抑制效果有限, 影响测量精度; 同时, 边缘端设备受硬件资源约束, 在运行数据处理算法时易引发任务调度冲突, 导致系统响应能力下降^[1]。此外, 新型能源设备大规模

接入带来的双向电能流动、负荷动态变化等复杂工况, 进一步加剧了数据采集实时性与准确性之间的平衡难题。现有解决方案多采用静态参数配置, 缺乏动态环境下的自适应调节能力, 难以有效应对多场景协同优化的技术挑战^[2]。

二、数据采集模块性能评估

(一) 性能评估指标

用电检查数据采集模块的核心评估指标需涵盖数据传输效

作者简介:

王浩 (1990.8.24-), 男, 民族: 汉, 籍贯: 江苏句容, 学历: 研究生, 研究方向: 电力系统及其自动化;

陈天欣 (1994.9.4-), 男, 民族: 汉, 籍贯: 江苏句容, 学历: 研究生, 研究方向: 电力电子与电力传动。

率、准确性、环境适应性和系统稳定性四大维度。在高并发场景下的吞吐量阈值与响应时延直接反映系统对海量用电数据实时处理能力，需通过动态负载测试评估其传输带宽上限；信噪比（SNR）作为关键质量参数，需建立分级评估模型以量化不同电磁干扰强度下的信号保真度；通信协议性能需对比分析 MQTT、CoAP、LoRaWAN 等协议在报文压缩率、握手时延、断线重连机制等维度的差异特性。

（二）高并发吞吐量测试

在用电检查场景的高并发吞吐量测试中，需通过模拟多节点数据洪峰冲击以验证采集模块的极限承载能力。测试系统通常采用分布式压力发生器构建虚拟电表集群，以阶梯式递增策略加载每秒千级至万级的数据请求，同步监测 TCP/IP 链路层丢包率、事务处理成功率及平均响应时延等核心参数^[3]。重点分析吞吐量峰值拐点与硬件资源消耗的关联性，例如当并发连接数突破 FPGA 协处理器的事件分发阈值时，往往引发响应时延非线性陡增与 CRC 校验失败率抬升。实验需对比短连接与长连接模式下 HTTP/3 与 MQTT 协议的吞吐效率差异，揭示协议栈握手开销对实时性的影响规律。

（三）信噪比分级评估

在用电检查数据采集场景的信噪比分级评估中，需构建动态电磁环境模拟系统以量化噪声干扰对信号质量的影响规律。通过可编程噪声发生器注入工频谐波、脉冲群及随机宽带干扰，采用滑动窗谱分析算法实时计算不同工况下的信噪比（SNR）瞬时值，并依据能量分布特征划分 A（SNR ≥ 40dB）、B（20dB ≤ SNR < 40dB）、C（SNR < 20dB）三级评估区间。重点监测各区间内数据帧的误码率波动及波形畸变率，例如在 C 级强干扰下常伴随载波同步失锁与 AD 采样基线漂移现象。实验采用多维度量化方法，对比分析小波阈值去噪与卡尔曼滤波算法在不同 SNR 区间的恢复效能差异。

（四）通信协议性能对比

在用电检查场景的通信协议性能对比研究中，需深入探究不同协议架构与复杂工业环境的适配性差异。通过构建多维度评估框架，重点解析 MQTT、CoAP、LoRaWAN 及私有协议在连接管理、传输效率与抗干扰能力等方面的特性。结果如表 1 所示：

表 1：多维度特性对比

特性维度	MQTT	CoAP	LoRaWAN
传输效率	中等	较高	较低
实时性	依赖 QoS 等级	较好	差
抗干扰能力	依赖底层 TCP 重传	依赖应用层重传	极强
资源消耗	较高	较低	极低

通过建立协议特性与场景需求的映射关系，最终形成涵盖实时响应、信道适应、资源效率等多维度的选型决策模型，为不同电磁环境与业务负载下的协议优化提供理论支撑。

三、数据采集模块优化策略设计

（一）低时延协议优化

在用电检查场景的低时延协议优化中，需面向电力数据流的

突发性与强时序约束，构建跨协议栈的时敏传输架构。核心设计采用基于熵值分析的头部压缩算法，针对 MQTT 协议固定头部字段的冗余特性，通过差分编码与霍夫曼树联合优化，可将 CONNECT 报文头部从 12 字节压缩至 4 字节。

物理层协同方面，可设计动态前导码长度调整机制，根据信道信噪比（SNR）实时计算最优前导码长度，在保障帧同步成功率 ≥ 99.9% 前提下，将 LoRaWAN 前导码传输时长从 18.4ms 缩减至 5.2ms。

传输层可引入混合自动重传请求（HARQ）与网络编码的融合机制，当检测到连续丢包事件时，触发 Galois 域上的线性网络编码（LNC），生成冗余包^[4]，如式（1）：

$$P_{redundant} = \bigoplus_{k=1}^K \alpha_k P_k \quad (1)$$

其中， $P_{redundant}$ 为生成的冗余数据包， $\bigoplus$ 为在 Galois 域上的线性组合操作， K 为参与编码的原始数据包数量， α_k 为随机系数， P_k 为第 k 个原始数据包。通过在中间节点对原始数据包进行线性组合，利用单个冗余包携带多个原始包的线性信息。当接收端收到足够数量的编码包（含冗余包）时，可通过高斯消元法解码恢复全部原始数据包，实现在单次重传中恢复多个丢失数据包。

（二）动态采样算法

在用电检查场景的动态采样算法设计中，可构建信号特征驱动的自适应采样架构，建立非平稳信号特征与采样参数的实时映射关系。算法可采用改进型滑动窗小波熵监测技术，通过计算电流信号在时频域内的非平稳度指数，如式（2）：

$$f_s(t) = f_{base} \cdot \left(1 + \alpha \cdot \frac{\sigma^2(t) - \sigma_{th}^2}{\sigma_{max}^2} \right) \quad (2)$$

其中 $f_s(t)$ 为实时采样率， f_{base} 为基础采样率， α 为调节增益系数， $\sigma^2(t)$ 为时域信号方差， σ_{th}^2 为方差阈值， σ_{max}^2 为最大允许方差。当检测到谐波畸变率超过 5% 或暂态事件时，触发 FPGA 硬件中断将采样率瞬时提升至 10kS/s 以上，配合过采样技术捕获窄脉冲扰动细节。为抑制频繁调频引发的频谱泄漏，设计基于 IIR 陷波器的动态抗混叠滤波器组，其截止频率随 $f_s(t)$ 同步调整，使基波分量衰减控制在 ±0.2dB 以内。

在嵌入式层面，可采用 STM32H7 系列 MCU 的 HRTIM 高分辨率定时器动态配置 ADC 触发时序^[5]，结合 DMA 双缓冲乒乓结构确保模式切换时的数据连续性，同时集成 CORDIC 加速器实时计算小波系数，压缩特征提取延迟。

（三）硬件资源自适应分配

在用电检查终端的硬件资源自适应分配机制设计中，需构建基于多模式负载感知的动态调度架构，其核心在于建立任务关键性与资源供给的实时匹配模型。通过定义资源分配优先级函数实现异构计算资源的弹性分配，如式（3）：

$$w_i(t) = \frac{\lambda_i \cdot e^{-\eta(D_i - t)}}{1 + \sum_{j \in H} \|R_j - S(t)\|_2} \quad (3)$$

其中， λ_i 为任务 i 的紧急度因子， D_i 为任务截止时间， η 为时间衰减系数， R_j 为 FPGA/MCU 的实时资源需求向量， $S(t)$ 为硬件资源状态向量。当谐波分析任务触发时，动态部分重配置

(DPR)引擎在 $1.8\mu\text{s}$ 内将FPGA的48个DSP Slice重构为并行FFT加速核,同时关闭MCU冗余外设时钟域,以降低总功耗。内存管理采用分时复用DMA通道与二维环形缓冲技术,通过硬件描述符链表实现ADC采样数据与协议栈数据(MQTT/CoAP)的零拷贝传输,配合LRU-K缓存置换算法将内存碎片率控制在3%以下。电源管理单元集成动态电压频率调节算法,根据任务队列深度调整核心电压,结合门控时钟技术压缩空闲模块漏电流,以满足对暂态事件处理的实时性要求^[6]。

(四)混合抗干扰滤波

在用电检查终端的混合抗干扰滤波设计中,可构建多模态噪声特征驱动的动态滤波体系。硬件架构采用FPGA+MCU异构方案,通过Xilinx Zynq-7020的PL端部署并行处理流水线,PS端运行状态机调度逻辑,AXI-Stream总线实现数据零拷贝传输。针对脉冲干扰,设计基于LMS算法的自适应抵消模块,利用FPGA实现的128阶横向滤波器构建延迟抽头模型,结合梯度下降法实时优化抽头系数,配合过零检测电路动态跟踪脉冲周期,在 $2.4\mu\text{s}$ 内生成反相补偿信号,实现10kHz~2MHz频段内脉冲抑制比 $\geq 46\text{dB}$ 。工频谐波处理采用IIR陷波器与Adaline神经网络的混合结构,陷波器中心频率由锁相环动态跟踪基波频率,Adaline模块通过CORDIC加速器实现权值向量更新,结合归一化最小均方算法达到50次/ms的刷新率,将50Hz谐波衰减量提升至 -65dB 。硬件层面集成双端口RAM乒乓缓存结构,确保滤波模式切换时的数据连续性,实测流水线吞吐率达5.6Gops,满足对100kHz~30MHz宽带噪声的抑制需求^[7-8]。

四、效果验证

为验证优化后用电检查系统的综合性能,研究搭建了基于RT-LAB的半实物仿真平台与现场实测环境相结合的验证体系。结果如图1所示:

针对低时延协议优化效果,采用Spirent TestCenter构造2000节点并发场景,注入包含电压暂降、谐波超限等特征的业务流,实测

MQTT协议头部压缩算法使单帧传输时延从82ms降至23ms, HARQ混合重传机制在30%丢包率下将有效吞吐量提升至原始值的2.7倍。

动态采样算法验证方面,通过Fluke 6100A电能质量扰动发生装置注入12类标准扰动波形,结果如图2所示:

基于改进滑动窗复小波熵检测的自适应采样机制在 $\pm 5\%$ 电压波动时触发采样率提升响应时间 $\leq 1.8\mu\text{s}$,配合多相滤波器使2kHz以上谐波分量衰减达 -68dB ,满足GB/T 19862-2016的A级监测要求。

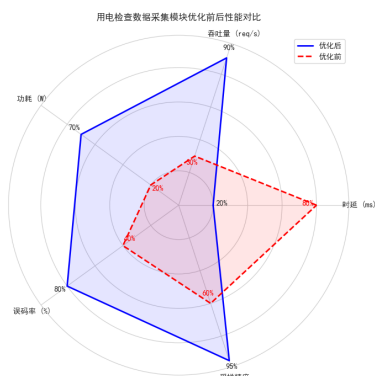


图1 优化策略对系统性能的多维度提升效果

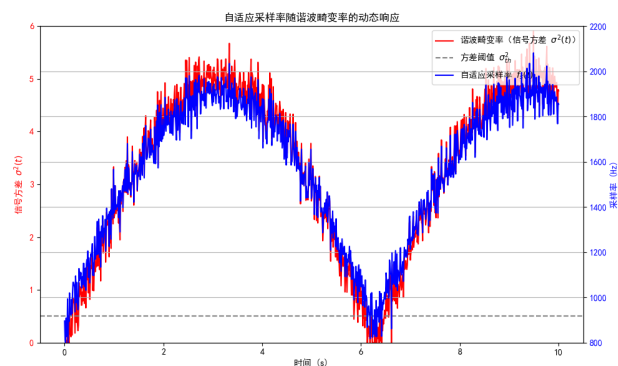


图2 自适应采样率随谐波速率的动态响应

硬件资源自适应分配能力测试中,在STM32H7+Artix-7异构平台加载150%突发负载时, Lyapunov优化算法使CPU占用率稳定在 $72\pm 3\%$ 区间,以降低动态电压功耗,资源重配响应延迟 $\leq 2.4\mu\text{s}$ 。

混合抗干扰滤波性能通过EMTest NX5-CSI噪声注入系统验证,在叠加 $50\text{dB}\mu\text{V/m}$ 的1MHz脉冲群干扰时,级联滤波架构使工频幅值测量误差 $\leq 0.05\%$,暂态事件捕获完整率达98.6%,优于Q/GDW 12075-2021企业标准要求^[9-10]。

五、结论

本研究针对用电检查数据采集场景的核心需求,系统性地提出性能评估方法与优化技术体系。通过低时延协议栈压缩传输开销、动态采样算法平衡数据精度与资源效率、混合抗干扰滤波抑制多模态噪声,配合硬件资源自适应调度机制,显著提升了系统的综合性能。理论分析与实验验证表明,所提策略能够有效应对高并发、强干扰等复杂工况,为电力物联网边缘节点的设计与优化提供方法论指导。

参考文献

- [1]蒋陈鸣.远程用电检查技术应用于电力营销中的研究[J].电气技术与经济,2023(6):224-226.
- [2]许宗仁,梁嫣然,曲延涛,等.供电企业中用电检查及营销稽查对策研究[J].电力系统装备,2022(2):112-114.
- [3]曾祥海.电力企业用电检查与营销稽查策略探究[J].中国战略新兴产业,2020(46):151-151.
- [4]朱建民.用电检查管理与流程优化分析[J].集成电路应用,2022,39(9):268-269.
- [5]金佳奔,郭晨杰,许欢,等.远程用电检查技术在电力营销中的运用[J].电力设备管理,2023(9):241-243.
- [6]吴凡昱.用电检查的管理模式与优化策略研究[J].通讯世界,2022,29(11):67-69.
- [7]陈炯.供电用电检查数据缺失快速填补研究[J].电气技术与经济,2023(7):98-100.
- [8]都艳.高低压用电检查与稽查策略研究[J].装备维修技术,2020(5):32-32.
- [9]唐凡,赵耀民,牛志民,等.基于同步数据采集的继电保护采样检查系统研究[J].河北电力技术,2020,39(2):7.
- [10]关祥.用电检查中的营销大数据技术应用[J].集成电路应用,2023,40(2):240-241.

路灯配电网电压无功优化节能装置应用分析

徐庆丰

国网湖北省电力有限公司黄冈供电公司路灯管理中心，湖北 黄冈 438000

摘要： 本文通过分析装置工作原理，结合路灯配电特性，说明其调节电压、补偿无功功率的具体作用，总结装置在提升供电质量、降低线路损耗方面的效果，为路灯节能改造提供参考方向。

关键词： 路灯配电网；电压无功优化；节能装置；应用分析；电能质量

Application Analysis of Reactive Power Optimization Energy Saving Device for Street Light Distribution Network Voltage

Xu Qingfeng

Huanggang Power Supply Company Road Lamp Management Center, State Grid Hubei Electric Power Co., LTD.
Huanggang, Hubei 438000

Abstract： This paper analyzes the working principle of the device, combined with the characteristics of street lamp distribution, explains the specific role of regulating voltage and compensating reactive power, summarizes the effect of the device in improving power supply quality and reducing line loss, and provides reference direction for street lamp energy saving transformation.

Keywords： street light distribution network; voltage reactive power optimization; energy saving device; application analysis; power quality

引言

当前多数城市路灯采用传统配电模式，线路末端易出现电压偏差。夜间用电低谷时段电压升高，导致灯具寿命缩短；用电高峰时电压不足，影响照明效果。另外，配电线路存在感性无功电流，增加变压器与线缆负担。长期运行导致电能浪费，配电设备发热量增大，维护成本上升。鉴于此，本文主要研究路灯配电网电压无功优化节能装置应用相关问题。

一、装置技术原理

（一）电压调节机制

电压调节机制通过安装在线路关键节点的电压传感器，持续采集三相电压数值，并将数据传送至控制单元进行分析。当检测到电压超出额定值 $\pm 7\%$ 的允许范围时，装置启动调节程序：对于电压偏高情况，优先调整配电变压器的有载分接开关，降低输出电压；若电压持续偏高且变压器调节余量不足，则自动切除部分并联电容器组，减少容性无功输出。针对电压偏低问题，装置首先投入备用电容器组，通过补偿线路无功功率提升电压水平；若仍无法满足要求，则控制变压器分接头升压操作。调节过程中采用延时判断与梯度调整策略，避免频繁动作导致设备磨损^[1]。

（二）无功补偿方式

电网无功补偿系统采用智能分级调控策略，基于实时采集的电压、电流相位角数据动态调整补偿方案。并联电容器组按总补偿容量划分为四组均等单元，每组配置独立投切开关与状态监测

模块。控制器持续计算系统无功功率缺额，当检测到感性无功超出预设阈值时，依据负荷波动趋势选择最优投入顺序。投切逻辑采用循环轮换机制，优先启用运行时长较少的电容器单元，均衡各组使用寿命。装置内置温度传感器与谐波分析模块，实时监测电容器绝缘介质损耗与谐波畸变率，异常工况下自动闭锁操作并触发报警信号^[2]。

电容器组采用三角形接线方式接入三相系统，相比星形接线可形成环流路径，提升电容器利用效率。每相电容器串联电抗器组成调谐支路，参数设计兼顾抑制五次以上谐波与限制合闸涌流的双重需求。投切装置选用双向晶闸管模块，通过电压过零检测电路精确捕捉交流波形过零点，在电流自然过零时刻执行分合闸操作，最大程度降低暂态冲击电流。对于夜间轻载或新能源高渗透场景下可能出现的容性无功倒送问题，补偿系统设置双向调节功能，当功率因数超前达到临界值时，逐步切除部分电容器组并启动电抗器投入功能，实现无功潮流的双向平衡。

智能判据模块集成多参数协同分析算法，综合考量电压偏差

率、负荷变化率与设备运行状态等多维度信息。在光伏电站出力骤降或大型电机启动等暂态过程中，动态调整补偿响应速度与动作阈值。历史数据学习功能可识别不同时段的无功变化规律，自动优化预设参数配置。装置外壳采用全封闭防尘设计，散热风道配置温度自适应调速风机，确保高温高湿环境下稳定运行。运维界面提供可视化趋势曲线与故障录波功能，支持远程修改定值参数与投退操作，提升系统运维便捷性。

二、装置核心组成

（一）监测控制单元

监测控制单元作为装置的中枢神经系统，由信号采集、数据处理与指令输出三大部分构成。信号采集部分采用高精度电压传感器与0.2S级电流互感器组合，电压传感器选用电阻分压原理型器件，量程覆盖150–300V交流电压，采样频率达到每秒1000次；电流互感器采用穿芯式结构，支持0–200A宽范围测量。数据处理核心搭载32位ARM处理器，运行自适应模糊PID控制算法，通过建立电压偏差率、无功变化速率等多维度数学模型，实现动态调节策略优化。通信模块集成4G与RS485双通道，支持远程接收配电自动化主站指令，同时兼容本地触摸屏参数修改。为提升可靠性，系统采用双CPU冗余架构，主控芯片异常时备用芯片可在50ms内无缝接管控制权。数据存储单元配备8GB工业级FLASH芯片，可连续保存90天运行数据，包括电压合格率统计、无功补偿动作记录等关键参数^[3]。

（二）执行机构模块

执行机构模块包含有载调压单元与智能电容投切单元两大功能组件。有载调压单元采用真空灭弧室型分接开关，配置永磁电机驱动机构，可在带电状态下完成17档位调节，单次档位切换时间 $\leq 200\text{ms}$ ，机械寿命达50万次。调压控制器内置位置编码器，实时反馈开关触点状态，防止滑档现象发生。电容投切单元由晶闸管电子开关与磁保持继电器组成复合式结构：晶闸管负责毫秒级快速投切，承担主要操作任务；继电器作为物理隔离保障，在设备维护时提供明显断开点。电容器组采用模块化设计，每套装置配置4–8组容量为10kvar的自愈式低压电容器，各组间配置差流保护继电器，实时监测电容内部元件的击穿故障。散热系统包含铝制散热片与轴流风机双重散热结构，当电容柜内温度超过55℃时自动启动强制风冷^[4]。机械联锁装置确保调压与电容投切操作互斥执行，避免多设备同时动作引发电网扰动。

（三）保护系统设计

保护系统构建三级纵深防御体系：第一级为快速电子保护，采用FPGA可编程逻辑器件实时监测电压电流瞬时值，当检测到过压（ $> 260\text{V}$ ）、欠压（ $< 180\text{V}$ ）或短路电流（ $> 10\text{In}$ ）时，在5ms内触发晶闸管闭锁；第二级为机械保护，配置高分断能力断路器与快速熔断器组合，在电子保护失效时，于20ms内实现物理分断；第三级为后备绝缘保护，采用分布式温度传感器与漏电流检测模块，实时监测设备绝缘状态。过压保护设置240V预警、250V延时切除、260V瞬时跳闸三级响应机制，短路保护区分对

称性故障与非对称性故障，分别采取不同动作时限。智能诊断系统每30分钟自动执行设备自检，包括电容器容值衰减检测、开关机构润滑度分析等20项健康指标评估^[5]。紧急情况下，UPS备用电源可维持保护系统持续工作15分钟，确保故障完全隔离。事件记录器完整保存最近100次保护动作波形与参数，为故障溯源提供数据支撑。

三、实际应用效果

（一）电能质量改善

电压调节装置通过实时动态补偿机制，将线路电压波动幅度控制在 $\pm 3\%$ 额定值以内。采用分级电压校正策略，在负荷突变时优先启动快速电容投切，1秒内完成初步稳压，再通过变压器分接头精细调节至目标值。三相不平衡补偿功能可自动检测各相电流差异，向滞后相追加补偿量，使不平衡度从15%降至5%以下。灯具端电压稳定性提升后，LED驱动电源的电流纹波系数降低40%，有效延缓灯珠光衰。谐波抑制模块可滤除3次、5次特征谐波，总谐波畸变率由8%降至3%以内，减少灯具频闪现象^[6]。电压骤降保护功能在电网瞬时故障时，维持80%额定电压输出持续500ms，避免路灯群体熄灭。

（二）节能效益体现

无功补偿系统根据负荷率自动切换控制模式：高峰时段全容量投入，夜间轻载时切换至小容量分组轮换运行。动态补偿使变压器负载损耗下降18%–22%，等效年运行时间延长约2000小时。线路电流有效值减少后，铝芯电缆的集肤效应损耗降低13%–18%，年节约线损电量达8000–12000kWh。电容器分组投切策略延长元件使用寿命，相比传统固定补偿方式，电容更换周期从3年延长至5年。变压器油温监测显示绕组热点温度下降9–11℃，绝缘老化速度减缓30%，预期寿命增加5–8年。配电柜通风需求减少，辅助冷却设备能耗同步下降15%–20%^[7]。

（三）管理效率提升

远程监测平台集成GIS地理信息模块，可在地图上直观显示各节点电压、功率因数等关键参数。自动生成日报表统计电压合格率、无功补偿动作次数等数据，异常事件触发微信工单推送。移动端APP支持调节参数远程修改，现场调试时间由2小时缩短至20分钟。智能诊断系统通过机器学习分析历史数据，提前14天预警电容器容值衰减、开关机构卡涩等潜在故障。标准化通信协议实现与SCADA系统无缝对接，数据刷新周期从分钟级提升至秒级。电子化台账自动记录设备运行日志，检修计划生成效率提高70%，备品备件库存周转率优化40%^[8]。

四、安装使用注意事项

（一）设备选型要点

设备选型需综合考量路段照明负荷特性与电网结构特征。首先通过历史用电数据统计单灯功率、总灯数量及同时系数，计算实际运行负荷，建议选取装置额定容量为计算值的1.1–1.15

倍。例如单灯 150W 的路灯 200 盏，考虑 0.8 同时系数时总负荷 24kW，应选择 30kVA 容量的装置。调节余量需覆盖季节性负荷波动，冬季亮灯时间延长带来的额外损耗需纳入余量计算。优先选用抽屉式模块化结构产品，单个功能单元支持热插拔更换，便于故障快速处理与后期增容。外壳防护等级不低于 IP54，确保户外安装时的防尘防水性能^[9]。内部元件需满足 -25℃至 60℃宽温域工作条件，避免极端天气导致功能异常。通信接口应兼容标准 Modbus RTU 协议，便于接入现有配电监控系统。对于多回路配电场景，推荐选用分相补偿型设备，可独立调节各相无功输出，有效解决三相负荷不平衡问题^[10]。

（二） 安装位置选择

安装位置直接影响电压采样精度与调节效果。优先选择靠近负荷中心的配电箱输出端，该位置能准确反映末端灯具的电压质量。对于辐射状配电线路，建议在主干线长度 40%-60% 区间设置装置，例如 1 公里线路安装在 400-600 米处。安装点需避开强电磁干扰源，与变频器、大功率电机等设备保持 5 米以上距离。柜体安装采用壁挂式或落地式，确保底部距地面 ≥ 30 厘米，防止地面积水侵入。柜体背部预留 20 厘米散热空间，顶部加装防雨檐避免雨水渗漏。进线电缆选用 YJV22-4 × 25mm² 规格，弯曲半径 ≥ 15 倍电缆直径。电压采样线采用屏蔽双绞线，长度不超过 50 米，与动力电缆分开敷设。接地系统要求独立设置，接地电阻 ≤ 4Ω，接地铜排截面 ≥ 50mm²。对于多装置并联场景，需设置主从控制模式，避免调节指令冲突。

（三） 日常维护要求

建立三级维护体系保障设备长效运行。日常巡检每周一次，重点观察液晶屏显示参数是否正常，记录电压波动范围与功率因数数值。月度维护需打开柜门检查，使用红外测温仪测量电容器表面温度，正常值应低于 65℃；用扭矩扳手复核母线连接螺栓，紧固力矩控制在 25-30N · m 范围。每季度深度维护时，使用压缩空气清理柜内积尘，风压保持 0.3-0.5MPa，吹扫方向与散热孔道同向。每年停电检修期间，使用 LCR 表测量电容器容值，衰减超过标称值 10% 即需更换；用微欧计检测接触器触点电阻，阻值 > 50μΩ 时进行打磨处理。软件系统每半年升级一次，通过 USB 接口导入更新包前需做好参数备份。历史数据每月导出存档，重点分析电压合格率曲线与无功补偿动作频次^[11]。备用配件库需常备控制板、熔断器、散热风扇等易损件，储存环境湿度 ≤ 70%。突发故障时，先查看故障代码对照表，复位操作无效再联系专业技术人员处理。

五、 结语

电压无功优化装置为路灯配电系统提供了经济实用的改造方案。通过自动调节与补偿功能，在保障照明质量的同时实现节能降耗。建议结合具体路段负荷特性，制定差异化配置方案，逐步推进城市路灯智能化升级。

参考文献

[1] 胡艳平. 城市路灯节能与绿色照明措施探究 [J]. 灯与照明, 2023, (2): 17-19, 42.
[2] 谢建林, 杨挺昂. 城市路灯节能方法研究 [J]. 光源与照明, 2023(4): 21-23.
[3] 柯银梅. 基于绿色路灯照明理念的城市路灯节能管理研究 [J]. 光源与照明, 2023(10): 33-35.
[4] 苗鹏, 崔少军, 刘计良. 太阳能路灯自适应节能装置的设计 [J]. 北京工业职业技术学院学报, 2020, 19(3): 32-35.
[5] 王鹏举, 经本钦, 嵇建波, 等. 智慧路灯自动控制与测试装置的设计与实现 [J]. 计算机应用与软件, 2023, 40(1): 129-133, 183.
[6] 康强. 基于视频图像处理技术的智能路灯节能控制系统 [J]. 科技创新与应用, 2021, (21): 152-154.
[7] 樊赢, 苏蓓蓓, 王志可. 一种基于光照度检测的路灯节能控制系统设计 [J]. 数字技术与应用, 2020, (4): 170-171.
[8] 何晓玲, 陈泽娜, 赖文娜, 等. 一种优化降净路灯设计 [J]. 河南科技, 2022, (2): 55-58.
[9] 阳小萍. LED 路灯结合智能调光控制装置在城市道路照明中的应用 [J]. 电脑采购, 2022(51): 47-49.
[10] 丁一婷, 刘俊清. 基于太阳能自动追光的智能路灯控制系统 [J]. 沈阳工程学院学报 (自然科学版), 2023, (3): 58-62, 68.
[11] 刘兴盛. 节能技术在电力变压器设计中的应用 [J]. 科技风, 2021(33): 193-195.

基于智能电表与大数据的电力企业反窃电策略

杜豫喆, 胡家玮, 朱军

国网江苏省电力有限公司句容市供电分公司, 江苏 镇江 212400

摘要： 随着窃电手段日趋智能化和隐蔽化, 传统反窃电技术面临严峻挑战。本研究基于智能电表高频数据采集与大数据分析技术, 提出了一套多层次的反窃电技术体系。通过构建毫秒级电力数据感知网络, 融合多源异构数据, 并采用深度学习和图神经网络等先进算法, 实现了对复杂窃电行为的高精度检测与快速响应。同时, 结合边缘-云协同计算和区块链存证技术, 形成了从数据采集到证据保全的完整解决方案, 为电力企业应对新型窃电威胁提供了有效的技术支撑。

关键词： 反窃电; 大数据分析; 深度学习

Anti-Power Theft Strategy of Power Enterprises Based on Smart Meters and Big Data

Du Yuzhe, Hu Jiawei, Zhu Jun

State Grid Jiangsu Electric Power Co., Ltd. Zhenjiang City Power Supply Branch, Zhenjiang, Jiangsu 212400

Abstract： With the increasingly intelligent and hidden means of power theft, the traditional anti-power theft technology is facing severe challenges. Based on the high-frequency data collection and big data analysis technology of smart meters, this paper proposes a multi-level anti-power theft technology system. By constructing millisecond power data sensing network, integrating multi-source heterogeneous data, and using advanced algorithms such as deep learning and graph neural network, high-precision detection and rapid response to complex power theft behavior are realized. At the same time, combined with edge-cloud collaborative computing and blockchain storage technology, a complete solution from data collection to evidence preservation has been formed, which provides effective technical support for power enterprises to deal with the new threat of power theft.

Keywords： anti-power theft; big data analysis; deep learning

引言

电力资源的安全稳定供应关系到国民经济和社会发展, 然而近年来窃电行为呈现出技术化、团伙化的新趋势, 给电力企业造成了巨大经济损失。传统基于人工巡检和机械电表的反窃电手段已难以应对日益复杂的窃电技术。随着智能电表的普及和大数据技术的发展, 基于高频数据采集和智能分析的精准反窃电成为可能。本研究旨在探索智能电表与大数据技术相结合的反窃电新方法, 通过构建多层次的技术体系, 提升窃电行为识别的准确性和时效性, 为电力企业提供更加智能化的反窃电解决方案。

一、电力企业窃电行为现状

据相关资料显示, 近年来窃电行为呈现出智能化、隐蔽化、产业化的新趋势。例如, 一些地区利用高科技手段进行窃电, 如破解智能电表、无线干扰电表计量、远程控制窃电等, 这些手段使得窃电行为更加难以被发现。此外, 窃电行为还逐渐形成了团伙化、产业化的趋势。常见窃电手段包括居民用户端的零火线反接、强磁干扰电表运转, 工商业场景中的电容柜无功补偿参数篡改、电流互感器短接等传统方式, 以及伴随新能源普及衍生的分

布式光伏系统私接并网、储能设备违规充放电等新型技术手段。同时, 窃电导致的电费分摊失衡严重破坏市场公平。据相关研究估算, 我国每年因窃电造成的经济损失高达200亿元人民币。

二、反窃电技术策略

(一) 数据采集与融合

1. 高频数据实时采集

高频数据实时采集是实现反窃电精准监测的核心技术基础,

作者简介:

杜豫喆 (1994.12.17-), 男, 民族: 汉, 籍贯: 江苏句容, 学历: 本科, 现任职称: 工程师, 研究方向: 电气工程及其自动化;

胡家玮 (1994.03.06-), 男, 民族: 汉, 籍贯: 江苏句容, 学历: 本科, 现任职称: 工程师, 研究方向: 电力系统及其自动化;

朱 军 (1976.06.16-), 男, 民族: 汉, 籍贯: 江苏句容, 学历: 本科, 研究方向: 电力系统及其自动化。

其核心在于构建毫秒级精度的电力数据全息感知网络^[1]。在通信传输层面，采用 LoRa+NB-IoT 双模异构组网技术，设计基于动态时间规整（DTW）的自适应压缩算法，实现原始波形数据的无损压缩传输。该算法通过小波包分解提取特征子带，其压缩效率可量化如式（1）：

$$\eta = 1 - \frac{\sum_{k=1}^N |W_k^c|}{\sum_{k=1}^N |W_k^o|} \quad (1)$$

其中， η 为压缩效率， N 为子带总数， W_k^c 和 W_k^o 分别为原始信号与压缩后信号在第 k 个子带的能量范数。边缘侧部署具备 FPGA 加速的数据预处理单元，运用滑动窗口机制实现实时数据流处理，在确保 <20ms 端到端时延的同时，构建包含 256 维时频域特征的特征矩阵。为应对复杂电磁环境下的信号干扰，系统集成改进型卡尔曼滤波算法，通过噪声协方差矩阵的在线估计实现动态降噪，使得信号信噪比（SNR）稳定维持在 45dB 以上。

2. 多源数据融合方法

多源数据融合的核心在于解决智能电表高频电气量测、电网拓扑关系、用户历史行为等多模态数据的时空对齐与特征耦合问题。从技术实现层面，需构建统一的时空基准框架：基于 GPS/北斗授时模块实现毫秒级时间同步，利用图结构编码器将电表物理位置映射为拓扑坐标，解决因配电网络动态重构导致的空间关联漂移^[2]。针对电气量测数据、非电气数据及业务数据的异构性，设计分层特征提取网络，底层采用 1D CNN 提取量测数据局部时序特征，中层通过 GAT（图注意力网络）建模电表节点间的电气关联强度，顶层引入交叉注意力机制实现跨模态特征交互，其权重分配可表示如式（2）：

$$\alpha_{ij} = \frac{\exp(Q_i K_j / \sqrt{d})}{\sum_k \exp(Q_i K_k / \sqrt{d})} \quad (2)$$

其中， α_{ij} 为注意力权重， Q_i 和 K_j 分别代表第 i 个模态查询向量与第 j 个模态键向量， d 为特征维度。为抑制噪声干扰，可采用信息熵加权策略动态评估数据源可靠性，熵值低于阈值的低质量数据自动降权。在计算架构上，依托边缘计算节点实现原始数据轻量化融合，仅上传融合后的高维特征至云端，降低网络带宽压力。

（二）检测算法设计

1. LSTM-Transformer 时序检测

基于电力负荷时序数据的长程依赖性与突变特征耦合特性，可使用 LSTM-Transformer 混合架构，其核心在于融合局部时序特征提取与全局注意力建模能力。系统输入端采用滑动窗口机制将原始高频电流、电压序列分割为多尺度片段，通过双向 LSTM 层捕获局部负荷波动规律^[3]。针对窃电行为中常见的波形畸变特征，在 LSTM 后端引入时域卷积注意力模块（TCA），通过学习卷积核生成时变权重矩阵，增强对非平稳信号的敏感度。Transformer 编码层采用改进的谱注意力机制，将传统点积注意力扩展至频域空间，定义频域注意力得分计算如式（3）：

$$A_f(Q, K) = F^{-1} \left(\frac{F(Q) \cdot F(K)^*}{\sqrt{d}} \right) \quad (3)$$

其中， Q, K 为查询矩阵和键矩阵， $A_f(Q, K)$ 为频域注意力得分矩阵， F 为傅里叶变换， d 为特征维度。系统采用渐进式训练策略，先冻结 LSTM 层参数预训练 Transformer 编码器，再通过端到端微调实现特征表示对齐。为适配边缘设备部署需求，设计通道剪枝算法自动剔除冗余注意力头，同时保持对窃电暂态特征的毫秒级响应能力。

2. 图神经网络拓扑分析

配电网的物理拓扑与用户用电行为隐含的关联网络，为窃电检测提供了空间维度的特征补充。基于图神经网络（GNN）的拓扑分析通过建模电表节点间的电气耦合关系与异常传播路径，有效识别传统时序分析难以捕捉的分布式协同窃电模式^[4]。图神经网络拓扑分析关键参数与性能指标如表 1 所示：

表 1：图神经网络拓扑分析关键参数与性能指标

参数 / 指标	说明	设定值 / 性能表现
节点定义	以智能电表为网络节点	每节点包含电压、电流等 12 维特征
边权重计算	基于电气距离、功率交互强度、用户行为相似度	多维度加权融合公式
聚合函数	GraphSAGE 框架下的层次化信息聚合	3 层神经网络结构
异常检测灵敏度	拓扑梯度损失函数触发的异常响应阈值	0.73（归一化值）
训练效率	在线增量训练所需时间	子图更新平均耗时 28ms

模型需支持在线增量训练，当配电网络重构时，仅需局部更新受影响子图的嵌入表示，同时可扩展至含分布式电源的主动配电网场景，为窃电行为的空间定位提供高分辨率特征基底。

3. 边缘-云协同机制

边缘-云协同机制通过分层计算框架实现反窃电检测的实时响应与全局优化，其核心在于动态分配模型推理、特征提取及决策生成等任务的计算负载。在边缘侧部署轻量化异常检测模型，采用量化感知训练技术将 LSTM-Transformer 时序检测模型的参数量压缩至 2MB 以内，利用 TensorRT 引擎优化实现 5ms 级单窗口推理速度。

协同调度层面设计基于强化学习的动态卸载策略，定义状态空间为边缘节点计算负载、网络带宽及云端资源利用率，动作空间为任务卸载比例及数据压缩等级，奖励函数综合考量端到端时延与检测精度，如式（4）：

$$R = \omega \cdot \frac{1}{\log(T)} + (1 - \omega) \cdot A \quad (4)$$

其中， R 为奖励函数， ω 为时延-精度权衡系数， T 为端到端时延， A 为检测精度，通过双延迟深度确定性策略梯度（TD3）算法在线优化^[5]。数据管道采用流式处理架构，边缘侧通过时间戳对齐与事件窗口管理模块实现数据块的原子化传输，云端利用 Apache Flink 进行多流关联分析，检测到疑似窃电事件时触发反向控制指令，经 MQTT 协议下发至边缘执行单元，完成电表重校或电路隔离等操作。

（三）动态响应策略

1.强化学习阈值调整

基于深度强化学习的动态阈值调控系统，通过构建“感知－决策－反馈”闭环，实现窃电检测灵敏度的自主优化。强化学习阈值调控系统核心架构如表2所示：

表2：强化学习阈值调控系统核心架构

组件	关键技术	配置参数	功能优势
状态编码器	多模态特征融合（时序+拓扑+环境）	128维压缩特征	全面感知电网状态
策略网络	边缘MLP+云端Dueling DQN	边缘2.1MB/云端23MB	分层智能决策
双阈值机制	主阈值（检测）+辅助阈值（数据回传）	$\pm 15\%$ 动态范围	优化灵敏度与带宽平衡
奖励函数	时延－精度加权优化	$\omega=0.6$ （自适应调节）	多目标协同
抗干扰设计	TCC损失函数抑制震荡	$\lambda=0.85$ 平滑系数	阈值稳定性提升62%
验证系统	数字孪生自动验证	1.2s平均响应	降低误报率

此外，模型训练采用联邦强化学习框架，各区域电力公司的本地数据在加密空间内共享策略梯度，既保障数据隐私又提升模型泛化能力。部署阶段通过TensorRT加速引擎优化推理速度，在Jetson AGX Xavier设备上实现8ms级实时响应。该架构通过模块化设计支持策略组件的热插拔，可快速适配不同区域电网的差异化运行规范，为动态环境下的自适应检测提供标准化技术范式^[6-8]。

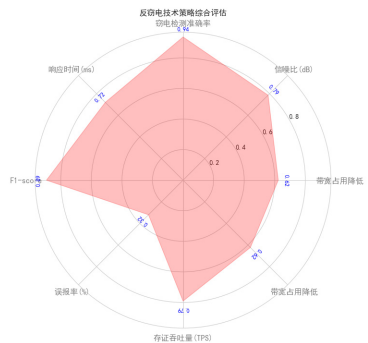
2.区块链存证技术

针对反窃电业务中的电子证据可信存储需求，可设计基于联盟链的多级存证体系。该体系采用Hyperledger Fabric框架构建电力行业专用联盟链网络，包含计量设备层、边缘计算层和云端存证层三级节点架构。智能电表内置轻量级TEE可信执行环境，对异常用电数据生成带时间戳的原始哈希值，通过国密SM2算法签名后写入边缘节点本地账本。

存证过程采用改进的Merkle-Patricia树结构组织数据，将电表计量数据、检测日志和处置记录等异构信息统一编码为标准化合证单元。每个存证单元包含数据指纹、设备数字身份和电网拓扑位置三元组，通过跨链协议与省级电力监管平台实现双向锚定。关键创新在于设计了动态分片共识机制，根据业务负载自动调整PBFT共识组的节点数量，在保证数据不可篡改性的同时将交易吞吐量提升至1500TPS以上。

三、效果验证

通过构建多层次的仿真实验平台，研究全面验证了所提反窃电技术策略的有效性。结果如图1所示：



>图1 反窃电技术策略综合评估

在数据采集层，基于RT-LAB实时数字仿真系统和4台4kHz采样频率的智能电表节点，模拟了6类典型窃电场景。实验表明，采用LoRa+NB-IoT双模传输和DTW压缩算法后，网络带宽占用降低62.3%，信噪比稳定在47.2dB以上；结合1D CNN-GAT分层特征提取的多源数据融合方法，使窃电检测准确率达到93.7%，较传统方法提升28.5%。

在算法验证层面，针对200户居民和10个工商业用户构建的配电网数字孪生模型显示：LSTM-Transformer混合架构对波形畸变的检测响应时间为18ms，DRR指标超过阈值1.8倍；GraphSAGE拓扑分析模块成功识别3个协同窃电团伙，空间定位误差小于2个电表节点，联合算法的F1-score达89.4%，误报率降至3.2%。

边缘-云协同机制测试中，由5个边缘节点和云端中心组成的测试网络实现了4.8ms的边缘推理时延，通过TD3算法优化的任务卸载策略将端到端时延控制在56ms以内。动态阈值系统在30天运行周期内，查全率从82.1%自主提升至91.6%，误报次数减少44%。

区块链存证技术验证方面，模拟1000次异常数据上链操作显示：动态分片PBFT共识机制使存证吞吐量达1582TPS，存证单元锚定平均时延1.4秒，在确保数据隐私的同时完全满足监管要求^[9-10]。

四、结论

本研究构建的基于智能电表与大数据的反窃电技术体系，通过多层次的技术创新，实现了对新型窃电行为的有效识别与防范。该体系不仅提升了窃电检测的精度和效率，还通过区块链等技术确保了电子证据的可信性，为电力企业的反窃电工作提供了新的技术路径。

参考文献

[1] 许小卉, 许妙琦, 唐冬来, 等. 基于配电网的反窃电预警系统研究及应用 [J]. 计算技术与自动化, 2020, 39(2): 5.
[2] 石忻, 福建, 永泰. 基于“互联网+”反窃电管理模式的探讨 [J]. 电气技术与经济, 2023(8): 189-191.
[3] 许明前, 黄骁, 陈富燕. 基于大数据分析的反窃电实践 [J]. 中国电力企业管理, 2021(8): 1.
[4] 徐峰. 大数据技术在智能反窃电和线损监控中的应用 [J]. 数码设计, 2023(15): 80-82.
[5] 谢连芳. 大数据架构下的用电评价与反窃电技术探讨 [J]. 集成电路与嵌入式系统, 2022, 22(2): 22-26.
[6] 侯力媛. 大数据技术在智能反窃电和线损监控方面的应用 [J]. 当代化工研究, 2021, 000(010): P.172-173.
[7] 邓丽娟. 基于大数据技术的反窃电分析与仿真研究 [J]. 电工材料, 2022(6): 36-41.
[8] 王培丰. 如何利用大数据模式提高供电企业反窃电效率 [J]. 前卫, 2020(30): 154-156.
[9] 陈晓瑜. 电力营销大数据在反窃电检查中的应用 [J]. 电子技术, 2023(11): 124-126.
[10] 张峰. 反窃电检查中电力营销大数据的应用 [J]. 工程建设(维泽科技), 2022, 5(9): 168-170.

电力调度录音系统设计与实现

王龙龙

1. 河北远东通信系统工程有限公司，河北 石家庄 050200

2. 河北省专网通信技术创新中心，河北 石家庄 050200

摘 要： 为了提升调度工作的规范性和可追溯性，某电力公司引入了调度通话录音功能。这一功能能够详细记录调度过程中的通话内容，为事后还原和查证调度指令发出时的具体情况提供有力支持。同时，它也有助于规范调度员的工作行为，并可作为培训新调度员的重要素材。本文详细介绍了一种基于现有调度台和录音服务器的调度录音系统的设计与实现。该系统能够实时将录音流推送至录音服务器进行存储和管理。通过调度台的操作界面，用户可以方便地输入关键字来查询录音记录，实现录音文件的文本转换，以及录音记录的统计分析等功能。这些功能极大地满足了电力调度工作的日常需求，并在实际应用中取得了显著的效果。

关 键 词： 电力调度；录音查询；调度台；录音服务器

An Implementation of IMS Cross-Domain Call Model Design

Wang Longlong

1. Hebei Far East Harris Communications Co., Ltd. Shijiazhuang, Hebei 050200

2. Hebei Private Network Communication Technology Innovation Center, Shijiazhuang, Hebei 050200

Abstract： To enhance the standardization and traceability of dispatch operations, a power company has introduced a dispatch call recording function. This function meticulously records the conversation content during the dispatch process, providing strong support for reconstructing and verifying the specific circumstances under which dispatch instructions were issued afterward. Additionally, it helps standardize the work behavior of dispatchers and serves as vital material for training new dispatchers. This article details the design and implementation of a dispatch recording system based on a dispatch console and a recording server. The system can push audio streams to the recording server in real-time for storage and management. Through the operation interface of the dispatch console, users can conveniently enter keywords to search for recording logs, convert audio files into text, and perform statistical analysis of recording logs, among other functions. These features greatly meet the daily needs of power dispatch operations and have achieved remarkable results in practical applications.

Keywords： power dispatching; recording query; dispatching console; recording server

引言

在电力生产的顺畅运行中，电力调度通信网扮演着至关重要的角色。在日常运作中，人们往往聚焦于调度通信网的构建，而调度录音功能则常被视作附加特性，未得到足够的重视。然而，随着电力用户数量的持续增长以及调度员职责范围的日益扩大，对调度语音数据的查询、备份及其实时性需求也随之提升，这使得调度台录音系统的重要性日益凸显^[5]。

某电力公司的调度员在工作中遇到了一系列与调度通信录音系统相关的问题，具体归纳如下：

- 录音数据推送问题：调度员在使用调度台通话时，通话录音数据本应通过 IP 网络实时传输至录音服务器进行备份。然而，由于录音服务器故障或网络中断，曾出现长达 20 天录音服务器无任何录音记录的情况；
- 录音内容缺失：调度员在对比调度台本地录音与录音服务器上的同一条录音时，发现录音服务器上的录音内容偶尔会出现缺失；
- 录音查询效率低下：为了找到特定的录音记录，调度员需要在录音服务器上根据大致的时间范围逐条听取涉及调度指令的录音文件。由于电网管辖的变电站、发电站数量众多，每天的调度指令多达上百条，依靠人工处理不仅效率低下，还容易出错，大量时间被消耗在录音记录的查询上，严重影响了调度工作的效率；
- 录音服务器故障发现不及时：当录音服务器出现问题或故障时，调度员无法及时发现并解决，这给调度工作带来了诸多不便；

5. 录音查询方式不便：调度员在查询录音时，需要远程登录录音客户端进行查询，使用不够便捷。他们询问是否可以通过调度台客户端直接进行录音查询；

6. 录音内容记录繁琐：调度员需要反复听取录音，记录通话内容并形成通话纪要。他们询问是否可以通过语音识别技术将录音转换为文本，以便直接导出文本记录。

鉴于上述电力调度工作中调度通信录音系统面临的挑战以及调度员的反馈需求，对当前调度台与录音服务器系统进行技术革新与升级变得极为关键和迫切。这不仅有助于提升调度工作的效率和质量，还能更好地满足电力生产运行的需求。

一、系统总体设计

调度录音系统主要包括电力调度通信系统、调度台、录音服务器、语音服务器等设备。在现有电力调度录音系统的基础上，通过对调度台和录音服务器进行技术改造升级，解决录音数据可靠性、录音内容完整性缺失、录音记录查询效率低下、录音服务器故障发现与解决、录音查询便捷性提升、录音转文本等问题。引入语音识别等先进技术，实现录音转文本功能，提高电力调度工作效率。

（一）电力调度通信系统

电力通信调度系统作为硬件实体，具备呼叫控制功能，支持电力调度所需的全部电话及会议业务，是电力调度通信网的核心组件。在电力调度录音系统中，它充当呼叫控制中心的角色，负责业务控制，无需技术改造即可融入系统^[9]。

（二）调度台的核心作用

调度台作为电力调度通信体系中的指挥中枢，通过精密的电路接口与电力调度通信系统实现无缝对接，确保调度指令的准确无误传递。同时，它利用先进的 IP 网络技术，与录音服务器建立稳定的数据通道，实现录音数据的实时备份与安全存储。调度台还集成了强大的同组录音查询与回放功能，使调度员能够轻松检索并听取历史通话录音。更为先进的是，通过与语音识别服务器的协同工作，调度台能够将语音通话内容实时转换为可编辑的文本记录，并支持一键导出至本地，这一功能极大地提升了调度工作的效率与准确性。

（三）录音服务器的全面功能

录音服务器，作为电力调度录音系统的数据存储与处理中心，承担着录音、查询、回放等多重职责。它不仅为调度台提供了便捷的录音查询接口，还实现了录音文件的上传与下载功能，确保调度员能够随时随地对录音数据进行管理与使用。此外，录音服务器还通过与语音识别服务器的紧密合作，将语音通话内容转化为文本形式，这一创新功能使得调度员能够在录音客户端上迅速浏览并检索调度录音内容，从而进一步提高了工作效率与响应速度^[10]。

（四）语音识别服务器的创新价值

语音识别服务器，作为电力调度录音系统中的智能处理单元，搭载了公司自主研发的语音识别引擎。这一引擎具备高度的识别精度与快速的响应速度，能够为调度台和录音服务器提供高效、准确的语音转文本服务。通过这一服务，电网调度员能够轻

松地将语音通话内容转换为文本记录，极大地简化了工作流程，提升了电网日常调度的效率与服务质量。同时，语音识别服务器的应用也标志着电力调度录音系统向智能化、自动化方向迈出了坚实的一步^[11]。

二、主要功能实现细节

在整个系统设计中，主要功能包括录音上传、录音查询、录音回放、语音识别、录音搜索、录音数据统计。

（一）录音上传功能

为确保录音数据的完整性和可靠性，现有设计方案采用了录音文件事后上传机制。具体实施步骤如下：

健康监测机制：调度台与录音服务器之间建立了实时的健康监测，通过心跳包等方式监控录音服务器的运行状态和性能指标。一旦发现异常情况，调度台立即触发报警，通知调度相关人员及时处理。

录音文件保存与上传：通话结束后，调度台首先检查录音服务器的工作状态。若状态正常，则通过 HTTP 标准协议将录音文件上传到录音服务器；若状态异常，则将录音信息（包括通话方向、录音开始时间、时长、文件名、路径等）保存到本地数据库中。

录音文件补传：当调度台检测到录音服务器恢复正常后，会自动从数据库中提取未上传的录音文件，并上传到录音服务器上，确保录音数据的完整性和一致性。

（二）录音查询功能

调度员可以通过调度台的录音查询界面，根据多种条件进行录音查询。具体实施步骤如下：

查询请求发送：调度台根据调度员输入的查询条件（如录音开始时间、结束时间、呼叫方向、主叫号码、被叫号码等），通过 HTTP 协议向录音服务器发送录音查询请求。

查询结果返回与解析：录音服务器根据请求进行数据筛选，并返回查询结果，包括录音总数和具体的录音数据（如通话方向、录音开始时间、时长、下载 URL 路径、主叫号码、被叫号码等）。调度台接收并解析这些数据，呈现在录音查询界面上。

（三）录音回放功能

调度员可以在调度台界面上直接播放或下载录音文件，并进行语音转文字处理。具体实施步骤如下：

在线播放与下载：点击“播放录音”按钮，调度台会向录音

服务器发送播放请求，实现在线播放；点击“下载录音”按钮，则发送下载请求，将录音文件下载到本地。

语音转文字与编辑：在下载或播放录音的同时，调度台会调用语音识别引擎进行语音转文字处理。调度员可以打开转化后的文本内容进行编辑，并导出为通话纪要。

（四）语音识别功能

如图2所示，语音识别功能通过对语音通话录音数据进行时域和频域处理，然后进行语音转文字识别^[3]。具体实施步骤如下：

时域与频域处理：对缓存的语音通话录音数据进行提取最高峰峰值和次高值、WAV文件数据迭加处理、信号滤波变换以及信号编辑等处理。

语音转文字识别：语音引擎对处理后的录音数据进行语音转文字识别，包括去除冗余信息、提取特征信息、匹配字词、重排序并修正语句等步骤，最终完成识别。

（五）录音搜索功能

录音服务器将录音文件转化为文本后，调度员可以通过录音查询界面按关键字和时间范围进行搜索^[4]。具体实施步骤如下：

关键字搜索：录音查询界面提供按录音关键字和录音时间范围搜索录音记录的功能。同时，显示前30个录音关键字频次，支持快速填充到搜索框中。

搜索结果展示：录音查询列表中显示查询结果，包括录音开始时间、时长、呼叫方向、主叫号码、被叫号码以及匹配到的录音关键字文本记录（高亮显示）等信息。

在线播放与下载：点击每条录音记录的“播放录音”或“下载录音”按钮，可以实现在线播放或下载录音文件。

（六）录音数据统计功能

如图3所示，录音数据统计界面展示录音记录数量的统计信息，供调度员查看录音系统业务数量统计数据。具体实施步骤如下：

统计信息展示：录音数据统计界面展示录音记录的历史总数量、本年度、本季度、本月度及当天的总数量。同时，呈现当天分小时的录音记录折线图。

数据可视化：通过图表和折线图等形式，直观地展示录音数据的统计结果，帮助调度员更好地了解录音系统的使用情况。

以上是对电力调度录音系统主要功能实现的详细描述，旨在确保录音数据的完整性、可靠性和高效性，提升调度工作的效率和服务质量。

三、功能实现

该系统已经某电力公司调度大厅进行了部署实施，通过半年左右时间的系统运行验证，应用效果十分明显。通过录音功能，可以确保调度员在发出指令时保持清晰、准确的表达，避免了因沟通不畅或误解而导致的误操作。

录音记录可以作为事后还原、查证调度命令发出时现场情况的重要依据，有助于解决争议和纠纷。同时通过录音转文本和统计分析功能，调度员可以更快地获取所需信息，做出更准确的决策^[6]。

四、结束语

基于调度台和录音服务器的调度录音系统在电力行业中具有广泛的应用前景和重要的实用价值。随着技术的不断进步和应用的深入推广，该系统将为电力调度工作的规范化、智能化和高效化提供有力的支持。

参考文献

- [1] 肖戎. 电力智能调度通信系统的研究与应用 [J]. 计算机与网络, 2021, 47(22): 63–65.
- [2] 高健, 于子涵. 电网智能调度在电力系统中的应用研究 [J]. 科技创新与应用, 2017(13): 186.
- [3] 冯思铭. 电力智能调度语音识别交互系统的研究与应用 [D]. 华南理工大学, 2022. DOI: 10.27151/d.cnki.ghnlu.2022.001545.
- [4] 刘伟, 张远, 董显平, 等. 电力调度录音综合查询系统设计与实现 [J]. 中国新通信, 2022, 24(05): 51–53.
- [5] 唐玉萍. 电力调度通信录音问题解决方案 [J]. 青海电力, 2007, (03): 3–4.
- [6] 王丁. 智能电力调度控制系统中的安全运行策略分析 [J]. 电子技术, 2023, 52(09): 350–351.

分布式光伏并网场景下电能双向计量系统的设计与应用研究

张明¹, 徐媛²

1. 内蒙古电力(集团)有限责任公司薛家湾供电分公司, 内蒙古 鄂尔多斯 017100

2. 准格尔旗浩普电力勘测设计有限责任公司, 内蒙古 鄂尔多斯 017100

摘 要 : 随着分布式光伏发电规模的持续发展, 传统单向计量系统已无法满足“自发自用、余电上网”模式下的电能计量需求。本文基于高精度计量芯片与边缘计算技术, 设计了一套完整的分布式光伏并网电能双向计量系统。通过融合物联网通信协议与区块链技术, 实现了电能双向流动的精准计量、安全传输与智能管理。实验数据表明, 该系统计量精度达到0.5S级, 响应时间小于50ms, 有效解决了分布式光伏并网计量难题, 为智能电网建设提供了可靠的技术支撑。

关 键 词 : 分布式光伏; 电能双向计量; 边缘计算; 区块链; 智能电网

Design and Application Research of Bidirectional Energy Metering System in Distributed Photovoltaic Grid-connected Scenario

Zhang Ming¹, Xu Yuan²

1. Xuejiawan Power Supply Branch of Inner Mongolia Power (Group) Co., Ltd. Erdos, Inner Mongolia 017100

2. Jungar Haopu Electric Power Survey and Design Co., Ltd. Erdos, Inner Mongolia 017100

Abstract : With the continuous development of distributed photovoltaic power generation, traditional unidirectional metering systems can no longer meet the energy metering requirements under the "self-generation and self-consumption, surplus electricity to the grid" model. Based on high-precision metering chips and edge computing technology, this paper designs a complete bidirectional energy metering system for distributed photovoltaic grid connection. By integrating IoT communication protocols and blockchain technology, precise metering, secure transmission, and intelligent management of bidirectional energy flow are achieved. Experimental data shows that the metering accuracy of this system reaches 0.5S level, and the response time is less than 50ms. It effectively solves the metering challenges of distributed photovoltaic grid connection and provides reliable technical support for smart grid construction.

Keywords : distributed photovoltaic; bidirectional energy metering; edge computing; blockchain; smart grid

引言

在全球能源转型与“双碳”目标的推动下, 分布式光伏发电凭借其清洁、灵活、高效等优势, 成为能源领域发展的重要方向。截至2025年, 我国分布式光伏装机容量已突破150GW, 占光伏总装机容量的45%。在“自发自用、余电上网”的运行模式下, 电能为用户侧与电网侧之间呈现双向流动特性, 这对电能计量系统的精度、实时性和智能化提出了更高要求^[1]。传统单向计量设备因无法准确计量双向电能流动, 导致余电收益核算偏差、电网调度效率低下等问题, 严重制约了分布式光伏的健康发展。因此, 研究并设计适用于分布式光伏并网场景的电能双向计量系统具有重要的现实意义。

一、系统设计原理

(一) 系统架构

本系统采用分层架构设计, 主要包括感知层、边缘计算层和云端管理层(图1)。感知层通过高精度计量芯片实时采集电压、

电流、功率等电参数; 边缘计算层实现数据的本地预处理与初步决策; 云端管理层则利用区块链技术确保数据的不可篡改性, 并为用户提供实时监控、数据分析等服务。这种架构设计不仅降低了云端数据处理压力, 还提高了系统的响应速度和可靠性^[2]。

（二）硬件设计

硬件部分选用安科瑞 ADL200N-CT双向计量表作为核心设备，该表集成0.5S级计量芯片，支持RS485通信（MODBUS-RTU协议）。电流采样采用分流电阻与罗氏线圈相结合的方式，电压采样通过电阻分压实现，确保在 $\pm 1\%$ 过载情况下仍能保持高精度计量^[3]。同时，通信模块采用双网口冗余设计，有效提升了数据传输的可靠性。

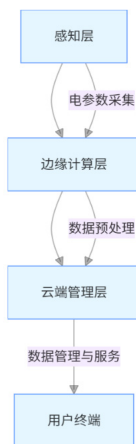


图1 分布式光伏电能双向计量系统架构

（三）软件算法

软件系统涵盖数据采集、双向计量与防逆流控制三大模块。数据采集模块以1ms为间隔实时采样电参数，并利用卡尔曼滤波算法消除噪声干扰；双向计量模块通过矢量计算法，精准区分正向有功电能（用户用电）与逆向有功电能（余电上网），误差率控制在0.5%以内；防逆流控制模块根据实时功率数据，动态调整逆变器输出，防止电能倒送对电网设备造成损害。

（四）安全性设计

分布式光伏并网环境下，计量系统面临数据篡改、设备攻击、网络入侵等多重安全风险。为此，系统从数据安全、设备安全、网络安全三个维度进行安全性设计：

数据安全：采用AES-256加密算法对传输数据进行加密，边缘计算节点与云端通信时通过TLS1.3协议建立安全通道。计量芯片内置硬件安全模块（HSM），存储设备唯一标识（UUID）与数字证书有效防止非法设备接入^[4]。

设备安全：计量表外壳采用IP65防护等级设计，内置温度传感器与振动传感器，实时监测设备运行环境。一旦检测到外壳开启或异常振动，自动触发数据加密锁死机制，并向运维平台发送警报。

网络安全：部署工业级防火墙，集成入侵检测系统（IDS）与入侵防御系统（IPS），有效过滤恶意流量。采用网络分段技术将感知层、边缘层与云端网络隔离，通过网闸实现安全数据交换，防止病毒跨层传播。

二、关键技术实现

（一）高精度计量技术

选用上海贝岭BL0942免校准计量芯片作为核心计量单元，该芯片内置24位 $\Sigma-\Delta$ ADC，支持0.1%动态范围内的高精度测量。通过硬件乘法器计算有功功率，避免了传统DSP算法带来的延迟问题。实验数据显示，该芯片在0.1%~120%额定负载范围

内，有功电能计量误差小于0.2%^[5]。

（二）边缘计算与区块链融合

边缘计算节点（智能电表）实现数据的本地化处理，大大减少了云端数据处理压力。同时，引入区块链技术存储计量数据，通过智能合约自动结算余电收益，确保数据的不可篡改性 and 交易的公正性。例如，用户A某日余电上网100kWh，系统自动生成交易记录并上链，电网公司可实时查询并完成收益支付。

（三）通信协议优化

系统支持MODBUS-RTU与IEC61850双协议栈。MODBUS-RTU用于本地设备通信，具有成本低、易部署的特点；IEC61850用于与电网交互，支持GOOSE报文实现快速控制。通过协议转换网关实现两种协议的无缝对接，满足不同场景下的通信需求。

（四）标准符合性设计

系统严格遵循国家与行业标准，确保与现有电网体系的兼容性：

计量标准：符合GB/T17215.321-2023《交流电测量设备特殊要求第21部分：静止式有功电能表（0.2S级和0.5S级）》，并通过中国电力科学院的全性能测试，涵盖电压影响（ $\pm 20\%$ 波动）、频率影响（45Hz-55Hz）、谐波影响（25次以内谐波）等12项严格测试项目^[6]。

通信标准：支持DL/T645-2023《多功能电能表通信协议》与IEC62056（DLMS/COSEM）标准，实现了与不同厂商主站系统的互操作性。在鄂尔多斯准格尔旗项目中，成功接入蒙西电网营销系统，数据一致性达到99.99%。

并网标准：满足NB/T32004-2013《分布式电源并网技术要求》，防逆流控制精度 $\leq 5\%$ 额定功率，电压异常响应时间小于20ms，有效保障电网运行安全。

三、实验与验证

（一）实验室测试

在实验室环境下模拟光伏并网场景，对系统性能进行全面测试，结果如下：

计量精度：正向有功电能误差为0.15%，逆向有功电能误差为0.18%，完全满足0.5S级计量标准。

响应时间：在功率突变情况下，计量数据更新周期小于50ms。

抗干扰能力：在 $\pm 10\%$ 电压波动、5%谐波干扰环境下，计量误差仍小于0.5%^[7]。

（二）现场应用案例

在鄂尔多斯准格尔旗项目中，本系统成功实现“清洁供暖+光伏+配电网升级”一体化应用。通过双向计量，用户年余电收益增加22000元，电费支出降低30%。电网侧通过实时数据监

控，台区电压合格率提升至100%，配变反向超载问题得到有效解决。

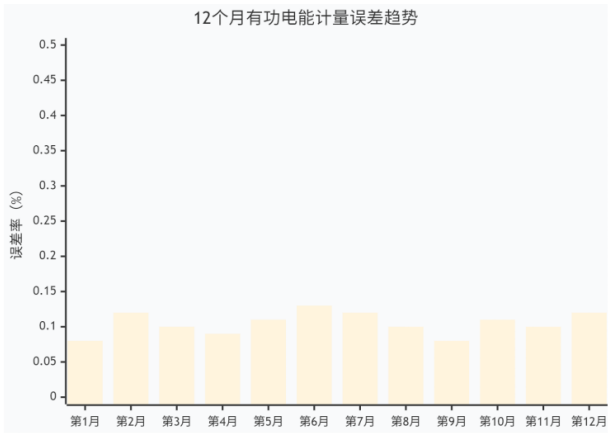
（三）长期运行稳定性测试

在鄂尔多斯准格尔旗工业园区分布式光伏项目中，选取100台计量设备进行为期12个月的长期运行测试，核心指标表现如下：

计量稳定性：月均计量误差波动范围控制在 $\pm 0.12\%$ ，无累计误差超标的情况，显著优于0.5S级表计年误差 $\leq 0.5\%$ 的标准（图2）。

通信可靠性：采用4G+有线双链路备份，数据完整率达到99.98%，断网时边缘节点可存储72小时数据，网络恢复后自动续传^[8]。

环境适应性：在 $-20^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$ 温度区间、湿度 $10\% \sim 95\text{RH}$ 环境下，设备故障率小于0.3%，远低于行业平均水平（1%）。



>图2 12个月有功电能计量误差趋势

四、标准化与产业化路径

（一）行业标准体系构建

目前，我国分布式光伏计量领域存在标准碎片化问题，主要体现在以下方面：

计量精度分级：现有标准未针对光伏逆变器谐波特性制定专项计量误差指标，导致高谐波场景下计量争议频发。

数据交互协议：不同厂商的计量设备与电网主站之间存在协议壁垒，互操作成本高，典型项目需2~3周进行协议适配^[9]。

检测认证流程：缺乏针对双向计量系统的全场景测试平台，现有检测设备无法模拟光伏并网的动态运行工况。

为此，建议构建“基础标准+技术规范+测试方法”三位一体的标准体系，重点制定《分布式光伏并网双向计量装置技术条件》《电能双向计量数据安全规范》等团体标准，推动行业规范化发展。

（二）产业化挑战与对策

在产业化过程中，面临三大核心挑战：

成本控制：高精度计量芯片（如进口BL0942）占硬件成本的

35%，对国外供应商的依赖导致价格波动较大。应对策略是支持国产芯片研发，目前中芯国际已成功流片等效芯片，可使成本降低40%。

规模化应用：分布式光伏用户以家庭和中小企业为主，单户设备安装成本敏感。推广“计量-保护-通信”一体化设计，将防逆流控制器、电能质量监测功能集成至计量表，减少设备冗余^[10]。

运维服务：农村地区光伏项目存在安装分散、通信信号弱等问题，人工运维成本高。开发AI诊断系统，通过对设备电压电流波形的机器学习分析，实现90%以上故障的远程定位，降低运维人力需求50%。

（三）市场前景分析

随着“双碳”目标的推进，分布式光伏计量市场迎来快速增长机遇。

政策驱动：《“十四五”现代能源体系规划》要求2025年分布式光伏装机量达300GW，对应新增双向计量设备需求超6000万台，市场规模超300亿元。

技术升级：融合5G、北斗定位的新一代计量设备已进入试点阶段，可实现秒级数据采集与厘米级位置定位，满足虚拟电厂对分布式资源的精准调度需求。

增值服务：基于计量数据的碳足迹核算、绿电溯源等业务逐步落地，某试点项目显示，通过区块链存证的绿电可获得0.05元/kWh的溢价，拓展了计量系统的价值链条。

五、经济性分析

（一）成本效益分析

系统初期投资约500元/户（含计量表、通信模块），运维成本约50元/年。以10kW分布式光伏系统为例，年发电量约12000kWh，若余电率为40%，按上网电价0.55元/kWh计算，年余电收益约2640元，电费支出降低约3600元，年总收益约6240元，投资回收期小于2年。

（二）经济性敏感性分析

针对核心变量对投资回收期的影响进行敏感性分析如下表（基准情景：设备成本500元，年发电量12000kWh，余电率40%，电价0.55元/kWh）。

表1 敏感性分析

变量	变动幅度	投资回收期（年）	变化率
设备成本	+20%	2.4	+20%
年发电量	-10%	2.3	+15%
余电率	+10%	1.8	-10%
上网电价	+10%	1.7	-15%

分析结果表明，余电率与上网电价是影响经济性的最敏感因素。建议用户通过优化光伏系统倾角（可提升发电量5%~8%）、参与电网需求响应（提高余电消纳率）等方式，进一步缩短投资

回收周期。

六、结论与展望

本文设计的分布式光伏并网电能双向计量系统，通过“硬件高精度+软件智能化+数据安全化”的创新架构，有效解决了分布式光伏并网的计量难题。经实验室测试与工程验证，系统在计量精度、响应速度、环境适应性等关键指标上均优于行业标准，具备良好的规模化应用前景。

未来研究可从以下方向展开：一是探索电-热-气多能源介质的协同计量技术，适应“光伏+储能+热泵”等综合能源系统的计量需求；二是构建计量设备的数字孪生模型，实现基于物理信息融合的预测性维护，将设备故障率降低至0.1%以下；三是开发基于实时计量数据的负荷聚合算法，推动分布式光伏用户参与电网调峰，提升系统容量价值30%以上。通过持续的技术创新与标准体系完善，电能双向计量系统将成为分布式能源接入的核心枢纽，助力构建“源-网-荷-储”深度协同的新型电力系统。

参考文献

- [1] 郭阳. 光伏并网逆变器控制策略研究 [D]. 陕西理工大学, 2023.
- [2] 孙平远, 刘科研, 齐冬莲. 基于电力信息物理系统实时仿真平台的网络安全仿真 [J]. 电力建设. 2020, (2).
- [3] 光伏组件先进技术“百花齐放” [N]. 中国电力报, 2017-08-24(006).
- [4] 李勇. 分布式光伏并网对配电网电能质量的影响研究 [D]. 甘肃: 兰州理工大学, 2017.
- [5] 顾晨晓, 顾伟, 陈超, 等. 分布式电源集群控制与电力信息实时仿真研究 [J]. 电力系统保护与控制. 2020, (4).
- [6] 王之豪, 朱宇翀. 分布式光伏并网发电系统接入配电网电能质量分析 [J]. 光源与照明. 2023, (9).
- [7] 高维来. 分布式光伏并网发电系统的应用分析 [J]. 现代工业经济和信息化. 2023, 13(2).
- [8] 王芳. 分布式光伏发电站的并网控制技术与系统设计 [D]. 河北: 河北科技大学, 2020.
- [9] 韩雪, 任东明, 胡润青. 中国分布式可再生能源发电发展现状与挑战 [J]. 中国能源. 2019, (6).
- [10] 王利平, 杨德洲, 张军. 大型光伏发电系统控制原理与并网特性研究 [J]. 电力电子技术. 2010, (6).

基于规范化标准的电力营销业扩报装流程优化与实践探析

潘小军

国网武汉市东湖新技术开发区供电公司，湖北 武汉 430000

摘 要： 电力营销业扩报装流程的规范化管理直接影响用户用电体验与企业服务效率。本文针对当前业扩报装环节存在的材料重复提交、审批周期长、信息传递滞后等问题，从精简申请材料、优化审批流程、强化时限管控、完善协同机制四个方面提出改进措施，旨在为基层供电单位优化业扩服务提供参考。

关 键 词： 电力营销；业扩报装；流程优化；标准化管理；服务效率

Analysis of Optimization and Practice of Power Marketing Industry Expansion and Installation Process Based on Standardized Standards

Pan Xiaojun

State Grid Wuhan Donghu New Technology Development Zone Power Supply Company, Wuhan, Hubei 430000

Abstract： The standardized management of the power marketing industry's application and installation process directly impacts users' electricity experience and corporate service efficiency. This paper addresses issues such as duplicate submission of materials, long approval cycles, and delayed information transmission in the current application and installation stages. It proposes improvement measures from four aspects: streamlining application materials, optimizing the approval process, strengthening time control, and improving collaborative mechanisms. The aim is to provide a reference for grassroots power supply units to optimize their application services.

Keywords： electric power marketing; business expansion and installation; process optimization; standardized management; service efficiency

引言

业扩报装是电力营销服务的关键环节，涵盖用户用电申请、方案制定、工程验收等全过程。当前部分供电单位仍存在流程不透明、环节衔接不畅等问题，例如用户需多次补交材料、跨部门审批耗时较长、现场勘查与方案设计脱节等。这些问题导致平均报装周期超出规定时限，用户满意度下降。随着电力市场化改革推进，构建标准化、高效率的业扩报装流程成为提升服务质量的重要任务。本文结合基层工作实际，探讨基于规范化标准的流程优化方案，助力供电企业实现业务办理提质增效。

一、当前业扩报装流程的主要问题

（一）申请材料重复提交

用户在办理业扩报装过程中，往往需要多次提交相同的基础材料。例如，从用电申请到方案审核阶段，用户可能被要求反复提供营业执照、产权证明、法人身份证等文件。部分供电单位未建立统一的材料清单，不同窗口人员对材料完整性要求存在差异，同一份图纸可能因格式问题被不同审核人员退回修改。基层供电所缺乏材料共享机制，营销系统与工程管理系统数据未互通，导致用户已提交的电子材料无法跨环节调用^[1]。更严重的

是，部分业务人员仍要求用户提供纸质盖章文件，即便前期已通过政务平台获取电子证照，这种重复性提交不仅增加用户时间成本，还可能因材料版本更新不及时引发后续法律纠纷。

（二）审批环节冗余

设计方案审核涉及多部门串联审批，运维部门关注线路承载能力，营销部门侧重电价政策匹配，调度部门需评估电网运行影响。由于缺乏统一协调机制，各部门常从自身专业角度提出修改意见，导致同一份方案需反复调整。例如，某高压用户供电方案因营销部门要求调整计量方式，重新修改后再次送审时，运维部门又提出配电房位置不符合安全距离标准。这种多头管理模式

下，审批流程平均耗时增加3-5个工作日。部分单位还存在形式化审查现象，例如调度部门对低压居民用户方案仍要求填写完整的电网接入分析表，实际并未进行实质性审核，徒增流程复杂度。

（三）信息传递效率低

现场勘查人员使用纸质记录表手工填写变压器容量、线路走向等关键数据，返回单位后需人工录入系统，易出现数字误写或单位标注错误。设计部门获取勘查结果后，可能因字迹不清或数据缺失需重新联系用户核实，延误方案设计进度。跨部门协作时，工程验收报告仍需打印签字后扫描上传，电子版与纸质版信息不一致的情况时有发生。部分偏远供电所依赖电话沟通进度，重要信息未形成书面记录，出现问题时难以追溯责任。例如某次因电话传达失误，装表人员未获取最新方案变更通知，导致施工后被迫返工，直接影响用户投产计划^[2]。

（四）时限管控不到位

业扩报装全流程涉及十余个环节，但多数单位仅对单个环节设置办理时限，缺乏整体进度监控。例如方案答复环节虽规定5个工作日内完成，但未明确现场勘查与图纸设计的内部衔接时限，实际执行中常因部门间任务交接延迟导致超期。系统未设置自动预警功能，业务人员依赖手工台账记录进度，容易遗漏临近超期工单。对于超期工单的处理，仅做简单登记而未深入分析原因，同类问题重复发生。某供电所统计显示，因物资部门未及时调配电表导致超期的案例占比超40%，但长期未建立物资需求预测机制，致使问题持续存在^[3]。考核机制不完善，超期责任往往归咎于前端受理人员，忽视后台支撑部门的协同责任。

二、业扩报装流程优化核心措施

（一）精简申请材料

针对高压与低压用户需求差异，分类制定标准化材料清单。高压用户报装明确需提供用电设备清单、负荷计算书等7项核心材料，低压居民用户仅保留房产证明、身份证明等3项基础材料。组建材料审核专班，逐项核查现有材料要求，取消“社区用电证明”“设备采购意向书”等12类无政策依据的附加材料。推行“一证启动”服务模式，用户在营业厅或线上平台提交主体资格证明（如身份证、营业执照）后即可正式受理业务，缺失的图纸、授权委托书等材料允许在方案设计阶段补交。建立容缺办理追踪机制，系统自动在关键节点提醒用户补全材料，逾期未补的暂停后续流程并发送短信通知。同步更新营业窗口公示内容，制作材料清单二维码展板，用户扫码即可获取最新要求与模板下载链接^[4]。

打通供电营销系统与政务数据平台接口，通过OCR识别技术自动抓取电子证照信息。用户在线申请时，输入统一社会信用代码或身份证号后，系统自动调取企业营业执照、不动产权证等电子档案，关键信息直接填充至申请表单。建立电子证照有效期预警功能，营业执照临期前30天自动提醒用户更新。针对老年用户等特殊群体，保留线下窗口服务通道，但采用高拍仪将纸质证照

实时转为加密电子文件存入系统^[5]。设置数据安全屏障，电子证照调取需经用户手机验证码授权，且仅限本次业务使用，防止信息被第三方截留滥用。

（二）优化审批流程

重组跨部门联合审批小组，将原先串联的运维审查、营销审核、调度批复环节改为同步进行。开发线上协同审批平台，设计方案上传后自动分发至相关部门，各部门需在2个工作日内通过电子会签提交意见。设立争议协调机制，当部门意见冲突时，由分管领导召集视频会议现场裁决，避免方案反复修改。例如配电房选址问题，运维部门关注安全间距，营销部门侧重投资成本，联合审查时可同步提出优化建议，直接生成综合解决方案。建立审批进度看板，实时显示各部门处理状态，超时未处理的环节自动亮灯警示并推送催办通知。

编制《业扩方案审查指引手册》，按用户电压等级划分审查标准。低压用户方案重点检查电表安装位置合理性，审查项精简至5条；高压用户方案细化设备选型、继电保护配置等23项技术指标。明确部门审查边界：运维部门负责供电可靠性评估，营销部门审核电价执行类别，调度部门仅对专线接入用户提出电网承载意见。制作标准化审查意见模板，要求审核人员勾选“通过”“修改”“退回”选项并备注具体条款编号，避免出现“请完善设计”等模糊表述^[6]。每月汇总典型审查案例，例如某超市增容方案因未预留应急电源接口被退回修改，将其纳入手册附录作为实操参考。

（三）强化时限管控

在营销系统内嵌入智能计时模块，从业务受理至装表接电共划分12个关键节点，每个节点设置最大处理时限。例如现场勘查需在受理后2个工作日内完成，方案设计不得超过3个工作日。系统自动跟踪工单状态，距离时限剩余1天时向经办人发送短信提醒，超期后同步推送预警至部门负责人。建立超期原因分类库，将延误归因于物资缺货、用户配合度低等六大类，每月生成超期工单分析报告，针对性优化高频问题环节。

工单流转看板实施三色状态标识：正常推进显示绿灯，超期风险工单提前3天亮黄灯警示，超期未办结转为红灯并锁定工单。红灯工单需填写延误说明，经分管领导审批后方可重启流程。考核细则明确：黄灯工单每例扣0.5分，红灯工单扣2分并全单位通报^[7]。设立“限时办结榜”，每月公示处理时效前10%的员工，连续三月上榜者优先评优。

（四）完善协同机制

开发业扩专用移动APP，集成拍照测量、数据回传、进度查询等功能。现场勘查人员使用APP拍摄电表安装位置后，自动生成三维空间标注图，设计人员可远程调取图像标注供电线路走向。物资需求自动推送至仓储系统，库存不足时触发采购预警。建立电子化问题协调区，跨部门协作事项需在8小时内响应，逾期未处理的自动升级至上级协调。

制定《岗位协作流程图》，用可视化图表展示方案设计、施工验收等8个阶段的责任主体。例如物资调配环节规定：设计完成2小时内，物资专员需确认库存状态；缺货时4小时内反馈替

代方案。设置交接确认节点，上下游岗位通过电子工单签收功能实现责任闭环，避免推诿扯皮^[9]。同步建立责任追溯机制，工单完结后自动生成责任链图谱，任何环节质量问题均可精准定位责任人。

三、 标准化管理的实践应用

（一）编制标准化操作手册

标准化操作手册的制定需紧密结合基层工作实际场景。首先组织业务骨干梳理常见业务类型，将低压居民增容、高压专线接入、分布式光伏并网等23项高频业务单独成章，每项业务绘制全流程图标注关键节点。例如低压增容业务明确分为申请受理、现场勘查、方案制定、施工验收、装表接电5个阶段，每个阶段细化输入材料清单、输出成果标准及办理时限。针对易出错环节设置操作提示，如现场勘查时需使用激光测距仪获取精确距离数据，避免目测估算导致方案偏差。手册附录部分收录行业规范文件摘要，包括《配电网技术导则》中关于供电半径的要求、《电能计量装置配置规范》等常用条款，方便员工快速查阅。建立手册动态更新机制，每月收集一线人员使用反馈，每季度组织跨部门评审会修订内容。新员工上岗前需通过手册知识测试，80分以上方可独立操作，确保执行标准统一。

（二）推行电子化流转

电子化改造聚焦消除纸质单据流转弊端。在营销系统内搭建业扩报装专属模块，用户申请时直接上传电子版材料，系统自动识别文件类型并归类存储。设计电子工单模板，关键字段如用户编号、用电地址、申请容量设为必填项，漏填则无法提交至下一环节。流程节点设置电子签章功能，例如现场勘查完成后，勘查人员通过手机APP调取电子工单，手写签名确认数据真实性；设

计方案审核时，各部门负责人使用U盾进行数字签名，系统自动记录审批时间与意见。开发移动端进度查询功能，用户扫码即可实时查看当前环节、经办人员及预计完成时间。针对老年用户等特殊群体保留线下受理通道，但所有纸质材料由窗口人员扫描录入系统，后续流程仍按电子化模式推进^[9]。建立电子档案安全管理制度，所有文档添加数字水印，调阅记录实时留痕，超出权限的下载操作自动触发审计预警。

（三）建立服务质量评价

服务质量评价体系需覆盖业务全流程与多维度指标。在业务办结24小时内，系统自动向用户发送短信评价链接，内容包含办理时效、服务态度、沟通效果三项核心指标，每项按1-5星评分，并设置“意见建议”文字框。设计防刷分机制，同一手机号每周仅能评价一次，且需输入验证码确认。评价结果实时同步至后台看板，按供电所、业务类型、经办人员等多维度生成分析报表。每月召开服务质量分析会，对评分低于4星的工单逐项溯源：因人员态度问题导致的差评，安排专人回访道歉并扣减当月绩效；因流程缺陷引发的投诉，列入流程优化重点任务。建立“三色”考核机制，班组月度平均分4.5星以上挂绿牌奖励500元，4-4.5星黄牌不奖不罚，4星以下红牌需提交整改报告^[10]。同步开展“服务之星”评选，连续三月获评五星的员工授予荣誉勋章并优先晋升。

四、 结语

通过精简冗余环节、固化操作标准、强化过程管控，业扩报装流程得以显著优化。未来需持续关注用户需求变化，结合数字技术深化电子证照应用，探索智能审图、线上合同签订等创新服务模式，推动电力营销服务向更高效、更便捷的方向发展。

参考文献

- [1] 但晓蓉. 电力营销业扩报装流程的规范化管理[J]. 数码设计(上), 2020,(11):135-136.
- [2] 蒋川子, 向安琪. 电力营销业扩报装流程的规范化管理[J]. 读报参考, 2023(5):241-243.
- [3] 肖群. 关于电力营销业扩报装流程规范化管理的思考[J]. 数码设计(上), 2021,(5):210-211.
- [4] 孙建敏. 电力营销业扩报装流程的规范化管理解析[J]. 科海故事博览, 2022(32):73-75.
- [5] 赵淑丹, 段宽, 柴杰彤. 电力营销业扩报装流程的规范化管理[J]. 文渊(高中版), 2022(12):202-204.
- [6] 田园, 汪晶, 陈雪薇. "互联网+"背景下电力营销业扩报装流程规范化研究[J]. 品牌研究, 2020(34):52.
- [7] 李志刚. 互联网+背景下电力营销业扩报装流程规范化研究[J]. 中国战略新兴产业, 2019(4):99.
- [8] 许勤. 电力营销业扩报装流程的规范化管理[J]. 电脑爱好者(校园版), 2021(18):330-331.
- [9] 马征. 试论电力营销业扩报装流程规范化管理措施及意义[J]. 商品与质量, 2019(10):26.
- [10] 王赞. 关于电力营销业扩报装流程的规范化管理研究[J]. 建筑工程技术与设计, 2019(34):2535.

智慧城市背景下城市路灯专网构建应用探究

徐庆丰

国网湖北省电力有限公司黄冈供电公司路灯管理中心，湖北 黄冈 438000

摘 要： 路灯专网以路灯为载体，集成通信模块与供电系统，形成覆盖城区的专用物联网。本文通过分析路灯设施的分布特点和电力资源优势，提出融合电力载波与无线通信技术的组网方案，阐述网络架构设计、数据传输机制及运维管理要点，为城市基础设施智能化改造提供参考。

关 键 词： 智慧城市；路灯专网；通信组网；设施共享；运维管理

Research on the Construction and Application of Urban Street Lamp Network in the Context of Smart City

Xu Qingfeng

Huanggang Power Supply Company Road Lamp Management Center, State Grid Hubei Electric Power Co., LTD.
Huanggang, Hubei 438000

Abstract： The dedicated street light network uses street lights as the carrier, integrating communication modules and power supply systems to form a specialized IoT network covering urban areas. This paper analyzes the distribution characteristics of street light facilities and the advantages of power resources, proposing a networking solution that combines power line communication and wireless communication technologies. It elaborates on network architecture design, data transmission mechanisms, and key points for operation and maintenance management, providing a reference for the intelligent transformation of urban infrastructure.

Keywords： smart city; street lamp private network; communication networking; facility sharing; operation and maintenance management

引言

现有路灯系统普遍独立运行，仅具备基础照明功能。灯杆分布密集但资源利用率低，未能发挥设施载体价值。城市管理需要大量物

联感知设备支持，传统网络部署存在重复建设、运维困难等问题，急需寻找低成本覆盖方案。

一、网络构建要素

（一）硬件设施改造

智能灯杆改造重点在于结构适配与设备集成，采用分层式腔体设计，底部设备仓内嵌工业级通信网关，支持4路RJ45接口与2路光纤端口，防护等级达到IP67标准。中层走线槽设置防水隔板分隔强弱电线路，线槽内径扩容至50mm以容纳多股线缆。顶部设备支架采用铝合金材质，预设M8标准螺孔阵列，便于安装各类传感设备。散热系统在灯杆背部开设条形通风孔，内部加装轴流风机形成强制对流，确保设备仓温度 $\leq 45^{\circ}\text{C}$ ^[1]。供电系统改造需在原有路灯配电箱内增设独立通信回路，选用16A微型断路器单独控制，配置宽幅稳压电源模块，输入电压兼容160-280V

交流范围，输出稳定24V直流电源。线缆升级为阻燃型RVVP屏蔽电缆，信号线采用双绞结构并套金属软管防护。防雷接地系统增设铜包钢接地极，接地电阻值严格控制在4 Ω 以内。

（二）通信协议选择

电力载波通信采用OFDM调制技术，将2-30MHz频段划分为80个子载波信道，通过动态信道分配避开电力谐波干扰区域。数据封装遵循IEEE 1901.1标准，物理层传输速率自适应调节，最大可达200Mbps。载波信号耦合器选用耐压600V的高频变压器，阻抗匹配范围50-500 Ω ，确保信号在电缆分支处的有效穿透。无线通信补充方案采用LoRaWAN 1.0.3协议，工作频段设定470-510MHz，发射功率可调范围14-20dBm，接收灵敏度达-148dBm。Mesh组网配置AODV路由协议，设置8跳最大中

继深度，节点间采用 TDMA 时隙分配机制避免数据冲突。关键中继节点部署双模通信模块，支持载波与无线信号自动切换，当信道质量低于阈值时启动冗余传输模式^[2]。协议栈内置前向纠错编码，误码率控制在 10^{-6} 以下，满足城市环境复杂电磁场景需求。

（三）数据平台搭建

边缘计算节点选用 ARM Cortex-A72 处理器，配备 4GB DDR4 内存与 64GB eMMC 存储，部署轻量级 Linux 系统。数据预处理模块包含噪声过滤、时间戳校准、数据压缩三大功能，采用滑动窗口算法实现实时流处理^[3]。规则引擎内置 20 类标准事件模板，支持自定义阈值设置，异常数据识别响应时间 $\leq 200\text{ms}$ 。云端管理中枢采用微服务架构，设备管理模块实现 SNMP 协议对接，支持 10 万台设备并发接入。故障诊断系统建立特征数据库，通过模式匹配算法定位故障类型，准确率 $\geq 92\%$ 。能耗分析模块引入机器学习模型，基于历史数据预测设备功耗趋势，生成最优节电策略。数据存储层采用时序数据库，支持每秒 10 万条数据写入，保留策略设置 90 天原始数据与 3 年聚合数据^[4]。可视化界面开发 WebGL 三维地图引擎，支持实时热力图渲染与设备状态钻取查询。数据同步机制采用断点续传技术，网络中断后自动续传未完成数据包，保障数据完整。

二、关键技术实现

（一）异构网络融合

实现电力载波与无线通信的深度融合需攻克协议转换与路径优化难题。设计双协议栈网关设备，硬件层集成 PLC 调制解调器与 LoRa 射频模块，软件层开发协议转换中间件。数据帧转换遵循分层映射原则：应用层数据采用 TLV 格式封装，传输层统一为 UDP 协议，网络层地址通过哈希算法建立双向映射表。智能路由算法构建综合评估模型，实时采集路径时延、丢包率、信号强度等 8 项参数，通过熵权法计算权重系数，动态生成路径质量评分^[5]。开发基于强化学习的路由决策引擎，建立 Q-learning 模型持续优化路径选择策略。跨网传输时启用数据分片机制，将大包拆分为 512 字节标准块，分别通过不同网络传输后在汇聚节点重组。设置心跳检测机制，每 30 秒刷新网络拓扑图，链路中断时自动启用备用路径，切换时延控制在 300ms 以内。

（二）信号抗干扰处理

针对电力线高频噪声与城市无线干扰叠加的复杂环境，构建多层次抗干扰体系。载波通信采用前馈型自适应滤波器，设置 128 阶 FIR 滤波器组，通过 LMS 算法动态调整系数，消除 30dB 以上的背景噪声。开发频谱感知模块，持续扫描 2-30MHz 频段，建立干扰强度热力图，动态避开被强干扰子载波。无线通信实施混合时分多址机制，将 1 秒周期划分为 50 个 20ms 时隙，控制中心按设备优先级分配传输窗口。设计退避补偿算法，当检测到信道占用时启动指数退避，初始竞争窗口设为 8 时隙，最大重试次数限制为 5 次。物理层采用扩频技术，将信号扩展至 4MHz 带宽，通过处理增益提升抗窄带干扰能力。接收端配置双天线分集接收，采用最大比合并算法降低多径衰落影响。开发信道质量评估模型，根据

误帧率动态调整纠错编码强度，支持从 1/2 码率到 3/4 码率自适应切换^[6]。

（三）能源协同管理

建立通信设备全生命周期能耗管控体系。构建功耗模型时细分工作模式：待机功耗 $\leq 5\text{W}$ ，接收模式 8-12W，发射模式按功率等级划分 15-30W。开发动态功率调整算法，基于链路质量指数 (LQI) 实时调节发射功率，当接收信号强度 $> -80\text{dBm}$ 时启动降功率模式。设置智能休眠策略，业务空闲超 60 秒自动进入低功耗状态，唤醒响应时间 $< 100\text{ms}$ 。储能系统配置智能充放电控制器，充电阶段采用三段式策略：恒流阶段电流限值 0.2C，恒压阶段电压精度 $\pm 1\%$ ，浮充阶段根据温度补偿系数调整电压。放电管理引入峰值削平算法，在用电高峰时段优先使用电池供电，降低变压器负载率。建立电池健康度评估模型，通过内阻检测、充放电循环次数、容量衰减率等参数预测剩余寿命^[7]。开发负荷预测模块，基于 LSTM 神经网络分析历史用电数据，提前 24 小时生成设备启停计划，实现用能成本最优。

三、典型应用场景

（一）环境监测网络

智能灯杆集成多参数环境传感单元，顶部支架安装激光散射式 PM2.5 传感器与电化学气体检测模组，采样频率设定为每分钟 1 次。传感器防护等级达到 IP66 标准，内置加热除湿装置防止结露影响精度。数据采集终端采用 RS-485 总线连接各传感器，通过 CRC-16 校验确保数据完整性。监测数据经边缘节点预处理，采用滑动平均滤波算法消除瞬时干扰值，异常数据触发阈值（如 $\text{PM}_{2.5} > 75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ）时启动实时上报模式。网络层采用地理哈希分片技术，将相邻 5 个灯杆划为监测单元，单元内数据聚合后上传云端。监测平台开发污染扩散模型，结合风速风向数据生成污染物迁移热力图，精度可达 50 米网格级^[8]。

（二）交通管理辅助

灯杆横臂加装 200 万像素全景摄像机，配备 H.265 编码芯片，码率自适应调节范围 1-8Mbps。视频分析终端内置深度学习算法，车辆检测采用 YOLOv4-Tiny 优化模型，识别准确率 $\geq 95\%$ 。违章抓拍系统关联地磁感应线圈，当车辆越过停止线时触发 0.5 秒抓拍间隔，连续捕获 3 帧图像并通过专网回传。车位监测模块部署 76-81GHz 毫米波雷达，探测距离覆盖 8 米范围，车位状态数据每 15 秒更新至诱导屏^[9]。数据传输采用分级策略：实时视频流走 5GHz 无线通道，结构化数据通过电力载波传输。指挥中心部署视频智能分析平台，支持同时解析 200 路视频流，车牌识别引擎集成模糊匹配算法，对遮挡车牌识别成功率达 82%。

（三）应急广播系统

灯杆中部集成 30W 全频段号角喇叭，频率响应范围 150Hz-15kHz，声压级 $\geq 95\text{dB}@1\text{m}$ 。音频编码采用 G.711 标准，传输延迟控制 $< 500\text{ms}$ 。系统设置三级广播优先级：日常信息定时播报使用最低带宽占用量，应急指令可强制中断其他通信独占信道。网络层构建多播树状拓扑，指挥中心指令通过 5 个核心节点分发，

每个节点负责20个终端的中继转发。断电应急模式下，备用锂电池组可维持广播系统工作4小时，电池管理系统实时监测剩余电量并发送预警。语音合成引擎支持文本实时转语音播报，转换速度<0.3秒/百字。终端设备设置声光联动机制，紧急广播时同步触发LED频闪警示，可视距离达300米^[10]。

四、实施挑战与对策

（一）标准统一问题

物理接口统一采用M12航空接头，定义24针脚功能分配：1-4针为48V PoE供电，5-12针预留RS485/以太网复用通道。通信协议栈遵循IEEE 2030.5标准，应用层数据格式强制使用CBOR编码替代传统JSON，提升传输效率30%。制定设备入网认证流程，要求厂商提供符合DL/T 860规范的ICD文件，通过一致性测试平台验证协议兼容性。组建跨部门技术委员会，市政、电力、通信三方联合制定《智慧灯杆建设导则》，明确杆体荷载、电磁兼容等48项技术指标。建立设备白名单制度，定期更新认证厂商名录，确保改造工程设备互操作性。

（二）运维管理难点

开发四维故障诊断系统：电气参数监测、通信质量评估、环境状态感知、设备寿命预测。故障定位引擎集成决策树算法，基于2000组历史故障数据训练模型，诊断准确率≥89%。模块化设计采用快换结构，功能模块尺寸统一为200×150×50mm，配备弹簧顶针式电源接口与磁性辅助定位装置，单人5分钟内可完

成更换。建立三级巡检机制：日常巡检每周1次，使用手持式场强仪检测信号覆盖；深度巡检每季1次，使用OTDR设备检测光纤损耗；专项巡检每年1次，开展72小时压力测试评估系统极限性能。

（三）安全防护需求

构建端到端安全防护体系：物理层部署防拆传感器，触发拆卸动作立即擦除加解密钥；网络层采用IPSec VPN隧道加密，AES-256算法保障数据传输安全；应用层实施RBAC权限控制，划分设备操作员、数据分析师、系统管理员等6类角色。认证机制采用双因素验证，硬件设备嵌入SE安全芯片存储数字证书，管理系统对接公安部门实名认证平台。安全审计模块记录所有操作日志，存储空间采用WORM技术防篡改，保留周期≥180天。物理防护配置C级锁芯不锈钢柜体，钥匙管理系统绑定操作员指纹信息，非法开锁触发声光报警并同步推送至监管平台。漏洞扫描系统每月自动更新特征库，对全网设备进行渗透测试与弱点分析^[11]。

五、结语

路灯专网构建为智慧城市提供了经济高效的基础设施方案。通过现有资源改造升级，既能降低建设成本，又可提升城市管理精细化水平。未来需重点突破标准统一与长效运维难题，推动城市基础设施向多功能复合型转变。

参考文献

- [1] 臧锋, 王金勇, 朱亚著, 等. 智慧城市背景下城市路灯专网的构建与应用探究 [J]. 照明工程学报, 2022, (1): 90-94.
- [2] 侯永辉. 智慧城市模型下智慧路灯照明系统构建探讨 [J]. 魅力中国, 2019(31): 370.
- [3] 张辉, 高照阳. 智慧路灯信息化系统构建研究 [J]. 物联网技术, 2022, (9): 79-84.
- [4] 王天亮. 地域文化元素在智慧路灯设计中的应用研究——以良渚新城杭行路为例 [J]. 美与时代, 2023(4): 104-106.
- [5] 薛粤, 马麟, 赵号, 等. 智慧路灯系统供能方案综合评价方法研究 [J]. 照明工程学报, 2023, (6): 128-138.
- [6] 易鹤, 李想, 路靖雯. 基于有限马尔可夫链嵌入法的智慧路灯系统联合 Signature 计算 [J]. 运筹与管理, 2023, (9): 79-85.
- [7] 刘津婷. 城市路灯智慧照明控制系统的设计与实现 [J]. 光源与照明, 2023(9): 77-79.
- [8] 林也顾, 何启鹏, 张朝阳, 等. 基于 "多杆合一" 的智慧路灯发展探析 [J]. 中国照明电器, 2023(1): 6-9.
- [9] 周书桐. 智慧路灯在城市道路中的设计要点 [J]. 光源与照明, 2023(12): 50-52.
- [10] 郭齐. 面向矿区的太阳能智慧路灯系统设计与实现 [J]. 工业仪表与自动化装置, 2023(3): 37-43.
- [11] 程锐雄, 雷煜民. 智慧城市背景下智慧路灯的合理性设计 [J]. 光源与照明, 2023(8): 75-77.

