

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4期 2024年4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

- | | | |
|-----|--|--|
| 005 | 供水管网的漏损控制: 技术、策略与效果评估
Leakage Control in Water Supply Networks:
Technologies, Strategies and Effectiveness Evaluation | 曹微
Cao Wei |
| 008 | 农田水利工程的设计与管理研究
Research on the Design and Management of Farmland
Water Conservancy Projects | 李毅, 顾浩然, 孙思, 孙新, 朱莹
Li Yi, Gu Haoran, Sun Si, Sun Xin, Zhu Ying |
| 011 | 水利工程在城市供水系统中的应用研究
Research on the Application of Hydraulic Engineering
in Urban Water Supply System | 王子兴
Wang Zixing |
| 014 | 新发展理念推动博湖县水资源高质量发展的思考
Reflections on Promoting the High-Quality Development of Water Resources
in Bohu County with New Development Concepts | 虎君
Hu Jun |
| 017 | 水利水电工程中的生态环境保护与可持续发展研究
Research on Ecological Environment Protection and Sustainable Development
in Water Conservancy and Hydropower Projects | 黄金亮, 张博
Huang Jinliang, Zhang Bo |
| 020 | 多种并行温控防裂举措在高寒地区 RCC 坝工
建设中的应用
Application of Multiple Parallel Temperature Control and Crack Prevention
Measures in RCC Dam Construction in Cold Regions | 朱宝荣, 杨新
Zhu Baorong, Yang Xin |
| 023 | 水利工程防渗技术及其应用分析
Analysis of Anti-seepage Technology in Water Conservancy
Projects and Its Application | 顾黎明
Gu Liming |
| 026 | GNSS 技术在工程中的应用
Application of GNSS Technology in Engineering | 苏鹏, 柳郁青, 吕涛
Su Peng, Liu Yuqing, Lv Tao |
| 029 | 浅析做好水务企业中纪检工作的重点与面临的挑战
Analysis of the Key Points and Challenges of Discipline
Inspection in Water Enterprises | 刘杰
Liu Jie |
| 032 | 大型水利工程全过程工程咨询管理实践与探讨
Large Water Conservancy Project Full-process Engineering
Consulting Management Practice and Discussion | 丘锋
Qiu Feng |
| 035 | 建筑给排水节能节水措施探析
Analysis of Energy-Saving Measures of Building
Water Supply and Drainage | 宋永建
Song Yongjian |
| 038 | 不同采样方法对地表水中亚硝酸盐氮检测结果的影响分析
Analysis of the Influence of Different Sampling Methods
on the Detection Results of Nitrite Nitrogen in Surface Water | 热依扎·金恩斯
Reyizha-Jinensi |
| 041 | 昆仑山羌塘高原区湖泊变化与昆仑山北坡
气温、径流变化趋势分析
Analysis of Lake Changes in the Qiangtang Plateau Region
of Kunlun Mountains and Trends in Temperature and Runoff Changes
on the Northern Slope of Kunlun Mountains | 欧阳宏涛
Ouyang Hongtao |
| 044 | 阜平抽蓄电站泄水明渠行洪影响数值模拟
计算与水工模型试验研究
Numerical Simulation Calculations and Hydraulic Modeling Tests
on the Flooding Impact of the Discharge Nullah of Fuping
Pumping and Storage Power Station | 陈天城, 王健楠, 康天宇
Chen Tiancheng, Wang Jiannan, Kang Tianyu |

048	淤地坝设计参数优化及其防洪效益分析 Optimization of Design Parameters and Analysis of Flood Control Benefits for Warping Dams	张霞 Zhang Xia
051	峡江水文站缆道雷达波比测分析报告 Analysis Report on the Comparison of Cableway Radar Wave Measurement at Xiajiang Hydrological Station	周洲, 王文艺, 朱小琪 Zhou Zhou, Wang Wenyi, Zhu Xiaoqi
054	水利工程施工现场管理技术要点探析 Analysis of the Key Technical Points of Hydraulic Engineering Construction Site Management	苟春妍 Gou Chunyan

电力工程 | POWER ENGINEERING

057	国家电网电力安全事故应急响应机制的现状、问题与对策 The Current Situation, Problems and Countermeasures of the Emergency Response Mechanism of the State Grid Power Safety Accident	张龙飞 Zhang Longfei
060	基于无人机遥感技术的电力杆塔倾斜检测研究 Research on Tilt Detection of Power Tower Based on Unmanned Aerial Vehicle Remote Sensing Technology	刘建蓝 Liu Jianlan
063	国网单位光伏储能一体化的可行性分析 Feasibility Analysis of Photovoltaic Energy Storage Integration in State Grid Units	陈春梅, 章燕, 成先平 Chen Chunmei, Zhang Yan, Cheng Xianping
066	无人机在配电线路巡视中的应用研究 Research on the Application of Drones in Distribution Line Inspection	张功华, 刘红, 肖阳波 Zhang Gonghua, Liu Hong, Xiao Yangbo
069	220kV 电力设备上的在线带电清洗技术分析 Analysis of Online Live Cleaning Technology on 220kV Power Equipment	李万里, 明亮, 王强, 李斐, 李珍, 孔祥哲, 郝威 Li Wanli, Ming Liang, Wang Qiang, Li Fei, Li Zhen, Kong Xiangzhe, Hao Wei
072	电网物资库存管理中的智能化库存控制系统优化研究 Research on the Optimization of Intelligent Inventory Control System in Power Grid Material Inventory Management	刘志远, 刘颖, 陈芳慧 Liu Zhiyuan, Liu Ying, Chen Fanghui
075	火电厂热工自动化系统设计中节能减排技术的应用 Application of Energy Saving and Emission Reduction Technology in the Design of Thermal Automation System for Thermal Power Plants	孟宪鹏 Meng Xianpeng
078	电力系统故障诊断与恢复策略研究 Research on the Fault Diagnosis and Recovery Strategy of Electric Power System	周琳爽, 戚亚晖, 皇甫敏亭, 曹程洋 Zhou Linshuang, Qi Yahui, Huangfu Minting, Cao Chengyang
081	电子信息工程中电源管理技术的创新与应用 Innovation and Application of Power Management Technology in Electronic Information Engineering	郑华 Zheng Hua
084	PLC 控制在电力设备故障诊断中的应用案例分析 Application Case Analysis of PLC Control in Fault Diagnosis of Electric Power Equipment	袁大江 Yuan Dajiang
087	面向新能源消纳的电力调度控制模式创新 Innovation of Electric Power Dispatching Control Mode for Renewable Energy Accommodation	修富强 Xiu Fuqiang
090	水溶纸在核电产品焊接中应用可行性研究 Feasibility Study on the Application of Water-Soluble Paper in Nuclear Power Product Welding	李树辉 Li Shuhui
093	新能源背景下电力营销策略调整 Power Marketing Strategy Adjustment under the Background of New Energy	邓晓伟 Deng Xiaowei

电气技术 | ELECTRICAL TECHNOLOGY

096	电气工程自动化在电力系统运行中的应用 The Application of Electrical Engineering Automation in Electric Power System Operation	李志刚 Li Zhigang
099	表面贴装（SMT）工艺中的回流焊接技术及其发展趋势 Reflow Welding Technology in Surface mount (SMT) Process and its Development Trend	李林泽 Li Linze
102	提高电气系统一次二次维护效率的研究与实践 Research and Practice on Improving the Maintenance Efficiency of Primary and Secondary Equipment in Electrical Systems	李永兵 Li Yongbing
105	电气工程及其自动化智能化技术的应用实践 Application and Practice of Intelligent Technology in Electrical Engineering and its Automation	张俊强 Zhang Junqiang

供水管网的漏损控制：技术、策略与效果评估

曹微

榆林高新区水务有限责任公司，陕西 榆林 719000

摘要： 本文以供水管网的漏损控制为主题，分析了供水管网漏损的原因，包括管材老化、管道连接问题、地基沉降、外力破坏和设计施工缺陷等。然后，介绍了供水管网漏损控制的技术，包括管道修复技术、管道检测技术和管网优化设计技术。针对这些技术，本文提出了供水管网漏损控制的策略，包括巡检与维护策略、应急预案与响应以及信息化管理策略。本文的研究结论对供水管网的漏损控制具有一定的指导意义，但仍存在一定的局限性，需要进一步研究。

关键词： 供水管网；漏损控制；管道修复；管道检测；管网优化

Leakage Control in Water Supply Networks: Technologies, Strategies and Effectiveness Evaluation

Cao Wei

Yulin High-tech Zone Water Affairs Co., Ltd. Yulin, Shaanxi 719000

Abstract： This paper focuses on the theme of leakage control in water supply networks. It analyzes the causes of leakage in water supply networks, including aging of pipe materials, pipeline connection problems, foundation settlement, external damage, and design and construction defects. Then, it introduces technologies for leakage control in water supply networks, including pipeline repair technology, pipeline inspection technology, and pipe network optimization design technology. Based on these technologies, this paper proposes strategies for leakage control in water supply networks, including inspection and maintenance strategies, emergency plans and responses, and information management strategies. The research conclusions of this paper provide some guidance for leakage control in water supply networks, but there are still certain limitations that require further study.

Keywords： water supply network; leakage control; pipeline repair; pipeline inspection; pipe network optimization

引言

随着城市化进程的加快，供水管网作为城市基础设施的重要组成部分，其建设和管理面临着越来越多的挑战。供水管网的漏损问题已经成为城市供水安全的重要隐患，不仅浪费了大量的水资源，还可能导致供水系统的故障和事故，对城市的正常运行造成严重影响。因此，供水管网的漏损控制成为了城市供水系统管理的重要课题。

本文以供水管网的漏损控制为主题，通过分析漏损原因、介绍控制技术和策略以及评估控制效果，为供水管网的漏损控制提供了理论支持和实践指导。希望本文的研究成果能够为供水管网的漏损控制提供有益的参考，为城市供水安全作出贡献。

一、供水管网漏损控制技术

（一）管道修复技术

1. 原位固化法

原位固化法是一种非开挖管道修复技术，通过注入固化材料并使其在管道内壁原位固化来修复管道内部或外部损坏。^[1] 修复前需清洗和检查管道，严重损坏需预处理。固化后需检查无残留，必要时进行打磨和涂层处理，以增强管道的耐腐蚀性和密封性。

2. 爆炸法

爆炸法是一种非传统管道修复技术，利用爆炸产生的冲击波来修复管道内部或外部损坏。修复前需清洗检查确保无堵塞，严

重损坏需预处理。安装爆炸装置，包括炸药、引信和引爆系统，可调整爆炸强度和范围。安全条件下引爆，修复管道裂缝，恢复管道完整性和密封性。爆炸后清洗检查无残留，必要时打磨和涂层处理以增强耐腐蚀性和密封性。

3. 管道内衬法

管道内衬法是一种非开挖管道修复技术，通过在管道内部铺设新管道来修复管道内部损坏。^[2] 修复前需清洗检查确保无堵塞，严重损坏需预处理。选择耐腐蚀、耐磨和密封的新管道材料，如塑料管或玻璃钢管，使用内衬设备紧密贴合原有管道内壁形成新管道。铺设后通过加热或化学反应固化，形成紧密粘结，修复管道并提升性能。

4. 管道替换法

管道替换法是一种传统的管道修复技术，通过挖掘地面，移除旧管道并安装新管道来替换严重损坏或老化的管道。修复前需挖掘暴露管道，确保挖掘过程安全，防止损害其他设施。旧管道严重损坏需切割或破碎移除，新管道安装于原位，材质可选择相同或更高性能的材料。^[3]安装后，对挖掘现场进行回填，压实和排水处理，以防止地面沉降和积水。

（二）管道检测技术

1. 地下管线探测技术

地下管线探测技术用于检测供水管网管道的位置、埋深和走向。选择合适的探测设备，如电磁法探测仪、声波探测仪或红外探测仪，通过发射信号并分析反射、散射和吸收特性来确定管道信息。数据经过滤波、增强和解译处理，用于管网的规划、设计、施工和维护，提供科学依据。

2. 管道闭路电视检测技术

管道闭路电视检测技术（CCTV）通过在管道内部安装高清摄像头进行实时监测和录像，以发现管道内的问题。检测前需清洗检查，确保无堵塞，严重损坏需预处理。通过摄像头发现管道内的问题，如腐蚀、磨损、裂纹、异物堵塞等。对录像进行分析和解读，生成详细检测报告，包括管道内部状况、问题类型和严重程度等信息。

3. 管道声波检测技术

管道声波检测技术是一种非侵入性技术，利用声波传播特性检测管道内部缺陷。它具有实时性和准确性，可快速捕捉声波信号，判断缺陷位置和性质。适用范围广，适用于多种材质和直径的管道。

4. 管道漏水检测技术

管道漏水检测技术主要用于检测管道是否存在漏水现象。检测前需清洗检查确保无堵塞，严重损坏需预处理。^[4]通过在管道内部发射声波信号，并分析声波信号的反射、折射或散射，判断缺陷类型、位置、大小等信息。根据分析结果，生成详细检测报告，包括管道内部状况、问题类型和严重程度等信息。

（三）管网优化设计技术

1. 管网建模与模拟

管网建模与模拟是供水管网优化设计的关键，通过建立数学模型和模拟分析，深入分析管网的运行状态、性能指标和故障原因，以优化设计和运行，旨在降低能耗、减少漏损和提升供水质量。需收集相关数据建立水力或水质模型，模拟分析评估不同方案和策略的性能，选择最优方案。根据模拟结果，对设计和运行进行优化，以提高运行效率和安全性，实现能耗、漏损和供水质量的改善。

2. 管网分区与调压

管网分区与调压技术通过根据地理分布、水力特性和用户需求将供水管网划分为区域，每个区域独立供水和调压。选择合适的调压设备，制定调压策略，并考虑季节变化、用水高峰期和水泵运行等因素。通过效果评估，优化调压策略和设备配置，以提高供水管网的整体性能。

3. 管网抗震设计

管网抗震设计旨在提高供水管网在地震等自然灾害中的抗灾能力和安全性。它包括抗震需求分析、设防标准确定和抗震措施设计，涵盖优化管道布局、增强连接、提高材料抗震性能和设置缓冲装置。^[5]这些措施旨在确保管网在地震中的稳定性和安全性，抗震效果评估用于验证设计的抗震性能，确保其符合设防标准。

二、供水管网漏损控制策略

（一）巡检与维护策略

1. 巡检计划制定

巡检计划制定是供水管网巡检与维护策略的核心，旨在指导巡检工作以确保管网安全运行。巡检策略包括确定目标、频率、路线、内容，并对巡检人员进行培训。巡检目标包括检测管道漏损、连接和性能评估。巡检频率和路线根据材质、年限和环境调整。巡检内容涵盖外观、内部、连接和性能检查。巡检记录和报告总结结果，提出改进措施，以提升管网运行效率和安全性。

2. 维护措施实施

维护措施实施是供水管网巡检与维护策略的关键环节，旨在修复和预防问题，确保管网稳定运行。该策略是通过对于区域流入流量以及独立计量区域（DMA）的监控，找出需要检漏的区域，再通过听音、噪声监测仪等手段定位漏点。^[6]发现问题后立即识别和评估问题，采取维护措施，包括修复和预防措施。维护措施的实施效果需评估，以确保管网稳定运行。

（二）应急预案与响应

1. 漏水应急预案制定

漏水应急预案制定是供水管网应急预案与响应的重要组成部分，旨在应对漏水事故，确保供水管网稳定运行和用户用水需求。预案制定涉及风险评估，包括管道老化、连接问题、地基沉降等因素，并包括事故预警、响应、处理和恢复环节。预案需定期演练和更新，以确保时效性和实用性。

2. 应急响应流程

应急响应流程是供水管网应急预案的关键部分，用于事故处理。启动流程后，报告事故、评估严重程度、启动相应响应级别。事故处理措施包括关闭阀门、切断水源、清理现场、修复管道，并发布信息以减少公众恐慌。处理后进行调查、总结经验、提出改进措施，并修复受损管网以确保恢复正常运行。

（三）信息化管理策略

1. 管网地理信息系统

管网地理信息系统（GIS）是供水管网信息化管理策略的关键组成部分，用于地理信息管理、数据分析和决策支持。该策略涉及数据采集与整合，建立统一数据库，构建GIS以直观展示管网地理分布和结构。数据管理与分析通过GIS系统进行，提供决策支持，包括管网布局优化、运行策略调整和维护计划制定，旨在提高供水管网的运行效率和安全性。

2. 漏水监测系统

漏水监测系统是供水管网信息化管理策略的重要组成部分，

用于实时监测漏水情况，及时发现和处理漏水问题。该系统通过部署高精度、高稳定性、长寿命的监测设备，如压力传感器、流量计和声波检测仪，实时采集压力、流量和声波数据。数据传输至监测中心进行处理和分析，判断漏水情况。一旦发现漏水，系统立即向运维人员发送报警信息，并定位漏水位置。^[7]运维人员收到报警后，立即进行漏水处理，包括关闭阀门、切断水源、清理现场和修复管道等，处理完成后恢复供水。

3. 数据分析与决策支持

数据分析与决策支持是供水管网信息化管理策略的核心，通过对运行数据的深入分析，为管网优化运行和管理决策提供支持。数据收集与整理确保了数据的准确性和完整性。利用统计学、数据挖掘和机器学习方法分析预处理后的数据，评估管网运行状态、设备性能、故障预测与诊断以及能耗情况。分析结果支持管网优化调度、设备维护计划、管网扩建与改造以及风险管理策略。

三、供水管网漏损控制效果评估

（一）评估指标体系构建

供水管网漏损控制效果评估的关键在于构建一个全面、可比、可操作的评估指标体系。这个体系应包括反映漏损控制效果和影响的主要指标，如漏损率、供水量、维修成本，以及反映漏损控制影响的指标，如用户满意度和环境影响。指标的选择和权重分配应基于专家意见、历史数据和统计分析，以确定其在评估中的重要性。标准化处理确保指标的可比性和可加性。评估指标体系的构建需要经过专家评审和历史数据验证，以保证其有效性和可靠性。^[8]此外，指标体系应具备动态调整的特性，以适应不同时间和地区漏损控制效果评估的需求。通过这样一个评估指标体系，可以科学、准确地评估漏损控制效果，为供水管网的优化运行和管理决策提供有力支持。

（二）评估方法选择

供水管网漏损控制效果评估的评估方法选择是一个关键环节，直接影响评估结果的准确性和可靠性。研究现有评估方法，包括定量、定性、专家评审和历史数据分析等，以了解其原理、适用范围和优缺点。接着，根据评估目标和实际需求，分析各种评估方法的适用性，确保满足评估指标体系要求，准确反映漏损控制效果和影响。选择合适的评估方法组合，并通过历史数据验证和专家评审等方式验证其有效性和可靠性。^[9]将选择的评估方法组合应用于实际评估工作，以指导漏损控制工作实施，提高供水管网运行效率 and 安全性。

（三）案例分析与应用

案例背景：某城市供水管网因老化、腐蚀导致高漏损率，影响供水安全与经济效益。供水企业实施漏损控制措施，包括优化管网布局、提高管道质量、加强巡检维护。^[10]

案例数据收集：收集了管网相关数据，包括漏损率、供水量、维修成本、用户满意度、环境影响等指标。

案例评估：根据评估指标体系和方法，对案例进行评估，结

果显示漏损率降低，供水量增加，维修成本降低，用户满意度提高，环境影响减少。

案例分析：分析评估结果，发现优化管网布局、提高管道质量、加强巡检维护等措施对降低漏损率、提高供水质量和经济效益有重要作用。

（四）评估结果分析

1. 漏损率分析：漏损率从实施前的5%降至实施后的2%，说明漏损控制措施取得了显著效果。

2. 供水量分析：供水量从实施前的每天50万吨增至实施后的每天60万吨，提高了20%。

3. 维修成本分析：维修成本从实施前的每年1000万元降至实施后的每年800万元，降低了20%。

4. 用户满意度分析：用户满意度从实施前的70%增至实施后的85%，提高了15%。

5. 环境影响分析：环境影响从实施前的每万吨水0.5吨污水降至实施后的每万吨水0.3吨污水，降低了40%。

综合分析表明，漏损控制措施的实施不仅降低了漏损率，还提高了供水量、降低了维修成本、提升了用户满意度和减少了环境影响。这些成果验证了评估指标体系和评估方法的有效性，为供水企业提供了有力的数据支持。

四、结束语

本文探讨了供水管网漏损控制的技术、策略与效果评估，分析了漏损原因，并介绍了管道修复、检测及优化设计等技术。此外，本文提出了巡检维护、应急预案及信息化管理等策略，建立了效果评估体系，并进行了案例分析。研究为漏损控制提供了理论支持与实践指导，但仍需进一步研究。希望本文能为城市供水安全作出贡献，未来将继续探索更有效的漏损控制技术与策略。

参考文献

- [1]刘书明,徐强,信昆仑,等. 供水管网漏损系统性管控技术与装备[J]. 建设科技, 2022,(07):115-117.DOI:10.16116/j.cnki.jskj.2022.07.025.
- [2]郑鹏君. 市政给水管网漏损的原因与应对策略[J]. 住宅与房地产, 2022,(10):244-246.
- [3]姜舒怀. 埋地PE供水管道漏损对外管壁冲蚀影响研究[D]. 浙江大学, 2022. DOI:10.27461/d.cnki.gzjdx.2022.001238.
- [4]吴以文. 基于RF-LSSVM交互预测的供水管网爆管检测研究[D]. 昆明理工大学, 2022. DOI:10.27200/d.cnki.gkmlu.2022.001830.
- [5]秦贤海. 基于爆管检测效益的供水管网水压监测点优化布局研究[D]. 昆明理工大学, 2022. DOI:10.27200/d.cnki.gkmlu.2022.001305.
- [6]吴潇勇,方定懿. 两种供水管网物理漏损控制策略的经济性比较[J]. 给水排水, 2022,58(02):106-110. DOI:10.13789/j.cnki.wwel964.2021.08.25.0008.
- [7]陈培辉,吴志锐,石慧,等. 模式识别在输水管网漏与暗漏检测中的应用[J]. 科技创新与应用, 2022,12(09):42-46. DOI:10.19981/j.CN23-1581/G3.2022.09.010.
- [8]朱多林. 基于数据驱动的城市供水管网漏损检测和定位方法研究[D]. 长安大学, 2022. DOI:10.26976/d.cnki.gchau.2022.001063.
- [9]汪石. 基于分区的城市供水管网优化调度方法的研究[D]. 安徽建筑大学, 2022. DOI:10.27784/d.cnki.gahjz.2022.000016.
- [10]陈艳文. 智慧水务在大港油田水务供水管网漏损控制方面的运用分析[J]. 供水技术, 2022,16(01):34-37.

农田水利工程的设计与管理研究

李毅¹, 顾浩然¹, 孙思², 孙新², 朱营³

1. 淮安市水利勘测设计研究院有限公司, 江苏 淮安 223000

2. 江苏淮阴水利建设有限公司, 江苏 淮安 223000

3. 山东元鸿勘测规划设计有限公司, 山东 济南 250014

摘 要： 农田水利工程在农业生产中起着至关重要的作用，对提高水资源利用效率、保障农田灌溉和促进农业可持续发展具有重要意义。研究探讨了农田水利工程的设计原则，包括水源配置、灌溉系统布局和排水设施设计等方面。同时，管理措施如工程维护、节水技术应用以及智能化管理系统的引入也被详细分析。通过对现有设计模式和管理实践的评估，提出了优化建议，以提高农田水利工程的运行效率和经济效益。研究结果为农田水利工程的改进和科学管理提供了有益参考。

关 键 词： 农田水利工程；设计原则；管理措施；节水技术；智能化管理

Research on the Design and Management of Farmland Water Conservancy Projects

Li Yi¹, Gu Haoran¹, Sun Si², Sun Xin², Zhu Ying³

1. Huai'an Water Resources Survey and Design Research Institute Co., Ltd. Huai'an, Jiangsu 223000

2. Jiangsu Huaiyin Water Conservancy Construction Co., Ltd. Huai'an, Jiangsu 223000

3. Shandong Yuanhong Survey and Planning Design Co., Ltd. Jinan, Shandong 250014

Abstract： Farmland water conservancy projects play a crucial role in agricultural production, which is significant for improving water resource utilization efficiency, ensuring farmland irrigation, and promoting sustainable agricultural development. This study explores the design principles of farmland water conservancy projects, including water source allocation, irrigation system layout, and drainage facility design. Simultaneously, management measures such as engineering maintenance, water-saving technology application, and the introduction of intelligent management systems are also analyzed in detail. Through evaluating the existing design patterns and management practices, optimization suggestions are proposed to improve the operational efficiency and economic benefits of farmland water conservancy projects. The research results provide a valuable reference for the improvement and scientific management of farmland water conservancy projects.

Keywords： farmland water conservancy projects; design principles; management measures; water-saving technology; intelligent management

引言

农田水利工程作为现代农业发展的重要基础设施，不仅影响着水资源的有效利用，还直接关系到农业生产的稳定与发展。随着全球气候变化和水资源紧张问题的加剧，传统的水利设计与管理模式面临严峻挑战。因此，如何通过科学设计和高效管理提升农田水利工程的性能，成为当前亟待解决的关键问题。探索创新的设计方法与先进的管理技术，不仅可以显著提高水资源的使用效率，还能为农业可持续发展提供强有力的保障。这一领域的研究将有助于推动农田水利工程的现代化，优化资源配置，提升整体生产效益^[1]。

一、农田水利工程设计的基本原则与方法

1. 农田水利工程设计的基本原则

农田水利工程设计的基本原则是确保水资源的有效利用与优化配置，满足农业生产需求的同时，最大限度地提升工程效益。首先，设计必须依据实际地形和土壤条件进行合理规划。不同地区的水土资源状况差异较大，设计时应综合考虑地势起伏、土壤渗透性

等因素，确保灌溉系统的覆盖范围和排水能力能够适应当地实际需求。其次，水源配置应遵循科学合理的原则，包括水源选择、引水路径规划和水量调度。通过精确计算水量需求，避免水资源浪费，合理配置各类水源，确保在不同季节和气候条件下都有足够的水源支持农田灌溉。最后，设计过程中还需重视工程的可持续性，选择环保材料和节能技术，减少对环境的负面影响。

如图1所示。

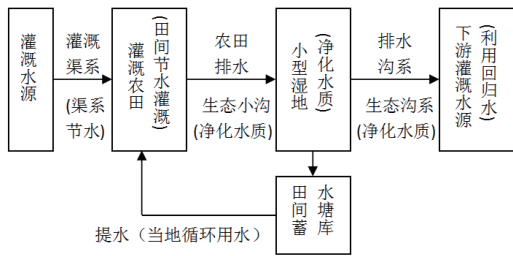


图1 农田水利工程设计的基本原则

2. 灌溉系统的布局与优化

灌溉系统的布局是农田水利工程设计中的核心环节，它直接影响到水资源的利用效率和农业生产的稳定性。有效的灌溉系统应当采用科学的布置方式，以实现均匀灌溉和高效利用。常见的灌溉系统包括滴灌、喷灌和沟渠灌溉，每种系统都有其适用范围和优缺点。在设计过程中，应根据农田的具体情况选择合适的灌溉方式。例如，在水源有限或土壤渗透性较差的地区，滴灌系统能够提供精准的水量供应，减少水分蒸发和流失。而在大面积农田或水源丰富的情况下，喷灌系统则能够高效覆盖广阔的区域。此外，灌溉系统的布局还应考虑到水流路径和水压分布，以确保系统的运行稳定性和水分均匀分布^[2]。

3. 排水设施的设计与维护管理

排水设施在农田水利工程中同样扮演着关键角色，其主要任务是有效排除农田中的多余水分，防止土壤水分过多导致作物根系病害和减产。排水设施的设计应根据农田的排水需求和水文条件进行合理规划，包括排水沟、暗管排水系统和蓄水池等。设计时应充分考虑排水能力、管道材料选择以及施工工艺，确保排水系统能够在各种气候条件下稳定运行。同时，排水设施的维护管理也是保障工程长期有效性的关键。

二、水源配置与灌溉系统布局优化策略

1. 水源配置的优化策略

水源配置是农田水利工程设计的基础环节，直接关系到灌溉系统的效能和农业生产的稳定。优化水源配置首先需要精准评估水源的可用性和需求量。应根据区域的水资源状况、季节性变化以及农田的实际用水需求，选择合适的水源类型，如地表水、地下水或再生水。针对不同类型的水源，其引水路径和存储方式也需要进行科学规划。例如，对于地表水源，可以通过修建水库或蓄水池来调节水量，而地下水则需要考虑钻井深度和水量控制。其次，水源配置的优化还需结合水资源的时空分布特点，制定合理的水量调度方案。在干旱季节或水资源紧张时，应优先保障重要作物的用水需求，采取节水措施，如轮灌或节水灌溉技术，以最大限度地提升水资源利用效率^[3]。

2. 灌溉系统的布局优化

灌溉系统的布局优化是提高水资源利用效率的关键。设计过程中，应根据农田的地形地貌、土壤特性和作物需求，选择适当的灌溉方式和系统布置。对于平坦地形且土壤渗透性较好的农田，可以采用沟渠灌溉或喷灌系统，这些系统能够覆盖较大的区域并且实现均匀灌溉。在水源有限的情况下，滴灌系统则能够提

供精准的水量控制，减少水分蒸发和浪费。此外，灌溉系统的布局还需考虑到水流路径和系统的整体效率。在布置过程中，应避免水流过长造成的压力损失，同时确保水源覆盖每块农田。

3. 灌溉与排水的协调管理

灌溉与排水系统的协调管理是农田水利工程效能的关键。设计阶段需考虑两者的配合，确保灌溉系统的排水沟与排水设施连接良好，避免排水不畅或堵塞，同时设计时还要考虑排水系统容量，以应对强降雨或过量灌溉。实际运行中，应定期监测和维护系统，通过先进监测技术，如传感器和智能控制系统，实时跟踪土壤湿度和水流情况，调整灌溉与排水策略，保持水分供应与排除的平衡。良好的协调管理能提高水资源利用效率，保障作物健康生长和稳定产量^[4]。如表1所示。

表1 水源配置与灌溉系统布局优化策略

策略类别	实施方法和目标	预期效果
水源配置的优化	精准评估水源可用性与需求，选择适当水源类型，科学规划引水路径和存储方式	缓解水资源短缺，提高灌溉可靠性和经济效益
灌溉系统的布局优化	根据地形地貌、土壤特性和作物需求选择灌溉方式，优化系统布置	提升水资源利用效率，实现均匀灌溉，提高作物产量
灌溉与排水的协调管理	设计阶段考虑灌溉与排水配合，运用监测技术调整灌溉排水策略	保持水分供应与排除平衡，提高水资源利用效率，保障作物健康生长与稳定产量

有效地整合和展示水源配置与灌溉系统布局优化策略在农田水利工程中的应用及其效益，有助于提供一种结构化的视角来分析和理解这些策略的实际影响。

三、排水设施的设计与维护管理

1. 排水设施的设计原则

排水设施的设计是农田水利工程中不可或缺的环节，其主要任务是有效排除多余水分，避免土壤积水对作物生长产生负面影响。在设计排水设施时，首先需依据地形地貌和水文条件，选择合适的排水系统类型，如排水沟、暗管排水系统或地下排水系统。排水沟的设计应根据农田的排水需求和水流路径进行规划，确保水流畅通，避免沟渠堵塞或排水不畅。暗管排水系统适用于较大面积的农田，通过埋设地下管道，能够有效排除地表水分，并减少对农田作业的干扰^[5]。

2. 排水设施的材料选择与施工

排水设施的材料选择直接影响到其使用寿命和维护成本。常用的排水材料包括混凝土、塑料、PVC管和陶土管等。混凝土管道耐用性强，适合于大流量排水系统，但其重量较大，施工难度较高。塑料和PVC管则具有较好的耐腐蚀性和较低的施工成本，适用于一般排水需求的场合。在选择材料时，应根据排水设施的实际需求和预算进行综合评估。此外，施工质量对排水设施的长期效能也至关重要。在施工过程中，应严格按照设计要求进行管道铺设，确保管道的坡度和连接质量，以防止排水系统出现漏水或堵塞问题。施工后还应进行必要的验收和调试，确保排水设施的正常运行^[6]。

3. 排水设施的维护与管理

排水设施的维护和管理是保障其长期有效运作的关键措施。定期检查和维护排水系统能够及时发现和解决潜在问题，避免因设施故障导致的农田积水和作物损害。维护工作包括清理排水沟和管道中的杂物，检查管道连接处是否有渗漏或堵塞现象，并对损坏部分进行修复。引入先进的监测技术，如传感器和自动化控制系统，可以实时监测排水系统的运行状态，及时发现故障并进行处理^[7]。

四、节水技术在农田水利工程中的应用

1. 节水灌溉技术的应用

节水灌溉技术在农田水利工程中扮演着至关重要的角色，旨在提高水资源利用效率并减少水资源浪费。滴灌技术是最常见的节水灌溉方法之一，通过将水直接输送到植物根部，能够显著减少水分蒸发和地表径流。滴灌系统不仅提高了水分的利用效率，还能提供精准的水量控制，适用于水源紧张的地区。喷灌技术也是一种有效的节水手段，通过喷头将水雾化后均匀洒落在作物表面，可以减少土壤表层的蒸发损失。虽然喷灌技术的初期投资较高，但其覆盖范围广、适应性强，适用于大面积农田的灌溉需求^[8]。

2. 节水技术的应用策略

节水技术的应用策略需根据具体的农田条件和作物需求进行定制化设计。首先，进行土壤和作物的综合评估，了解土壤的保水能力和作物的需水特性，以选择最合适的节水技术。对于土壤渗透性差的区域，滴灌系统能够有效控制水量并减少浪费。而在需要大面积覆盖的农田中，喷灌或微喷系统可能更为适用。其次，合理规划灌溉时间和频率是节水技术的关键。通过安装土壤湿度传感器和气象监测设备，可以实时获取土壤水分和天气数据，调整灌溉计划，避免过度灌溉。同时，采用智能控制系统，能够根据实时数据自动调节水量，进一步提升水资源利用效率。最后，定期检查和维护节水灌溉系统，确保设备运行正常，防止漏水和系统故障，保障节水技术的长期有效性。

3. 节水技术的经济与环境效益

节水技术的应用不仅能够显著提高水资源利用效率，还带来显著的经济和环境效益。从经济角度看，虽然节水技术的初期投入较高，但通过减少水资源消耗和提高灌溉效率，可以降低水费支出和改善作物产量，从而实现长期的经济回报^[9]。

五、智能化管理系统对农田水利工程的影响与前景

1. 智能化管理系统的主要功能

智能化管理系统在农田水利工程中的应用具有显著优势，主要体现在提高系统运行效率和优化资源配置。首先，这些系统通过集成先进的传感器和监控设备，实现对土壤湿度、气象条件和水流量的实时监测。数据收集后，系统能够自动分析和处理，生成科学的灌溉方案。其次，智能化管理系统通过自动化控制技术，能够精确调节水源的分配和灌溉时间，避免人为操作的误差和浪费。例如，当土壤湿度低于设定值时，系统会自动启动灌溉

设备，并在达到理想湿度后自动停止灌溉。这种智能化的操作方式，不仅提高了水资源的使用效率，还减少了人工干预的需求。

2. 智能化系统的经济效益

智能化管理系统在农田水利工程中的应用带来了显著的经济效益。通过自动化和智能化控制，系统能够精准调整水量，减少不必要的水资源浪费，从而降低水费支出。此外，智能化系统的实时监测和数据分析能力可以提升灌溉的科学性和准确性，提高作物的生长状况和产量。长远来看，虽然智能化管理系统的初期投资较高，但其通过提高水资源利用率和作物产量，实现了长期的经济回报。系统的维护成本也相对较低，进一步优化了农业生产经济效益^[10]。

3. 智能化系统的未来发展前景

智能化管理系统在农田水利工程中的应用前景广阔，随着技术的不断进步和成本的逐渐降低，其普及和应用将会越来越广泛。未来，智能化系统将更加注重与大数据、人工智能和物联网的融合，进一步提升其数据处理能力和智能决策水平。例如，结合气象预测数据和作物生长模型，可以实现更加精确的灌溉调度，进一步优化水资源的使用。此外，智能化系统的应用还将推动农业生产方式的转型升级，实现农业的智能化和自动化。

六、结语

智能化管理系统在农田水利工程中的应用，显著提升了水资源利用效率和农业生产效益。通过实时监测和自动化控制，系统不仅减少了水资源浪费，还优化了灌溉方案，带来了显著的经济回报。未来，随着技术的进步和成本的降低，智能化系统将更加普及，推动农业生产方式向智能化、自动化方向发展。这一进程不仅促进了农业的可持续发展，还为应对水资源紧张和环境变化提供了有力支持。智能化管理系统的不断发展，将为现代农业带来更加高效、环保的管理模式，开创了农田水利工程的新篇章。

参考文献

- [1]张军明. 干旱山区滴灌工程规划与设计管理——以固原市原州区农田水利灌溉工程为例[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(25): 12713-12716+12737. DOI: 10.13989/j.cnki.0517-6611.2012.25.076.
- [2]陈永雄. 农田水利工程设计中的渠道设计与施工管理[J]. 南方农机, 2015, 46(04): 60-61.
- [3]蓝卡, 林诗能. 农田水利工程设计中的渠道设计与施工管理[J]. 农村经济与科技, 2017, 28(08): 47+52.
- [4]芝士博. 小型农田水利节水滴灌工程设计及施工管理[J]. 农业科技与信息, 2018(03): 118-119. DOI: 10.15979/j.cnki.cn62-1057/s.2018.03.060.
- [5]刘雷. 关于农田水利工程设计中的渠道设计与施工管理探讨[J]. 湖北农机化, 2018(05): 58.
- [6]王堡俊. 试析农田水利工程设计中的渠道设计与施工管理要点[J]. 科技风, 2019(35): 117. DOI: 10.19392/j.cnki.1671-7341.201935098.
- [7]冯朗天. 农田水利工程设计中的渠道设计与施工管理[J]. 住宅与房地产, 2020(05): 84.
- [8]岳浩杰. 农田水利工程设计中的渠道设计与施工管理[J]. 中华建设, 2021(01): 65-66.
- [9]赵金宏. 农田水利工程中的渠道设计与施工管理路径探索[J]. 农业科技与信息, 2022(03): 85-87. DOI: 10.15979/j.cnki.cn62-1057/s.2022.03.012.
- [10]孔宁宁. 农田水利工程设计中的渠道设计与施工管理[J]. 当代农机, 2023(03): 44-45.

水利工程在城市供水系统中的应用研究

王子兴

隆化县水务局, 河北 承德 068150

摘 要： 本文就水利工程对城市供水系统的运用进行了深入的探讨，分析了水利工程在城市供水中的重要意义并阐述了水利工程在水源开发、水资源调配、水质保障和供水稳定性中发挥的作用。同时结合具体实例分析了存在的问题提出了相应的改进策略，目的是为城市供水系统优化设计提供理论支持与实践参考，使其能够适应城市发展所需要的水资源。

关 键 词： 水利工程；城市供水；水资源调配；水质保障

Research on the Application of Hydraulic Engineering in Urban Water Supply System

Wang Zixing

Longhua County Water Bureau, Chengde, Hebei 068150

Abstract： This paper deeply discusses the application of water conservancy engineering to urban water supply system, analyzes the significance of water conservancy engineering in urban water supply, and expounds the role of water conservancy engineering in water source development, water resource allocation, water quality assurance and water supply stability. At the same time, the paper analyzes the existing problems and puts forward the corresponding improvement strategies based on concrete examples, in order to provide theoretical support and practical reference for the optimal design of urban water supply system, so that it can adapt to the water resources required by urban development.

Keywords： water conservancy project; urban water supply; water resources allocation; water quality assurance

引言

在城市飞速发展的今天，水资源需求量也在不断增加，水利工程作为一种重要的水资源管理手段对城市供水系统有着至关重要的影响。本文研究的目的是对城市供水系统水利工程应用情况进行深入的分析，并探究如何将水利工程优势进行更好的利用来促进城市供水质量与稳定性的提升。

一、水利工程在城市供水系统中的重要性

（一）保障水源稳定供应

水利工程中水库、引水渠以及其他设施对于保证城市水源的稳定供给具有十分重要的意义，水库犹如城市中的“水仓”，丰水期可以大量地蓄水，犹如给城市积蓄着未来资源一样；使其在枯水期及时放水保证城市用水不间断。就拿一座大水库来说它库容大，雨季能截流蓄洪，待到枯水期它就成了城市最主要的水源，它满足了工业，农业及居民生活各个方面用水的需要也为城市平稳运转奠定了坚实的基础。

（二）实现水资源合理调配

城市用水需求时空分布不均衡是普遍存在的问题，水利工程则为破解这一困境提供了一种有效手段。南水北调等跨流域调水工程堪称资源调配的恢弘壮举，它使水资源丰富地区用水向缺水地区分流、均衡地区水资源差异，比如北方一些城市本来水资源

缺乏，但是通过南水北调工程得到了足够的水，有利于经济发展与社会稳定。另外区域之间的水资源调配还可以在一个狭小的区域内对资源进行优化调配从而提高水资源的利用效率，以便能够保证各区域能够在适当的时机获得需要的水资源。

（三）提升供水水质

水利工程水处理设施守护着城市供水的质量，沉淀工艺可将水中悬浮颗粒天然沉降并除去大颗粒杂质；而过滤又进一步截留微小颗粒及有机物使水体更清。与此同时消毒环节就更显得至关重要了，通过添加适量氯气或者二氧化氯等消毒剂来杀死水中细菌、病毒和其他有害物质，从而保证供水符合国家饮用水标准。如某市水处理厂通过先进的沉淀、过滤及消毒工艺使原来含泥沙、有机物及微生物等原水变成安全洁净的饮用水以保证居民身体健康^[1]。

（四）增强供水系统的抗灾能力

面对自然灾害水利工程起到了不可忽视的调节作用，在洪水

作者简介：王子兴（1981-），男，蒙古族，本科，工程师，研究方向：水利工程、供水工程。

期水库可拦蓄洪水以避免其给城市带来毁灭性的影响，它象个大“缓冲器”消减了洪峰流量和洪水水位。如在一次特大洪水中某市附近水库成功地拦蓄大量洪水以保护该市安全；并且干旱期水库放水灌溉以减轻旱情并为农业生产及城市绿化提供珍贵水源。与此同时水利工程也能够和城市排水系统有机结合起来，增强城市防洪抗旱能力以便能够保证城市能够在多种自然灾害情况下维持较为稳定地供水。

二、水利工程在城市供水系统中的应用现状

（一）水库供水

水库是城市供水系统常用水利工程设施之一，具有决定性的地位，兴建水库可大规模地贮存水资源和向城市供水；很多城市以大型水库为主要水源并依靠水库丰富库容来满足城市用水需要，如在某市周围有一个大水库，其集水区很广，以截流集雨的方式积累着大量水资源。丰水期水库完全蓄水以迎接可能出现的旱季，水库水位调节功能同样至关重要，针对城市用水实际状况对放水流量进行合理调控来保障城市供水稳定。同时在水库周围一般都要修建输水管道、泵站等配套水利设施向城市各地区输水^[2]

（二）引水工程

引水工程对于解决我国城市水资源短缺问题具有重要意义，跨流域调水工程可以把远方水资源丰富区域的水引到缺水区域使水资源得到优化配置；如南水北调工程大大减轻了北方地区水资源压力。通过修建上千公里输水渠道及泵站，把长江水导入北方城市使工业、农业及居民生活有足够水源。另外区域引水工程对城市供水系统同样具有举足轻重的影响，部分城市以修建引水管道等方式从邻近河流、湖泊等水源调水以满足城市用水需要。

（三）水处理设施

水处理设施对保障城市供水水质具有至关重要的作用，沉淀工艺在水处理中处于首要位置，采用自然沉淀或者投加絮凝剂的办法将原水中悬浮颗粒从水底析出。以某水处理厂为例原水先流入沉淀池静置一定时间后绝大部分泥沙及杂质析出；过滤技术进一步消除了水中的细小粒子和有机物质。其中常用的过滤方式包括砂滤和活性炭过滤，这几种过滤介质能有效吸附并截留杂质使水体更清。另外消毒是水处理中最后一个过程，它通过投加消毒剂，例如氯气，二氧化氯或者紫外线消毒来杀死水中细菌、病毒和其他有害物质，从而保证供水符合国家饮用水标准。

（四）泵站和输水管道

泵站、输水管道等城市供水系统不可缺少，泵站提供输水动力来保证水能从水源地平稳的输送至城市各地区；以某市大型泵站为例利用先进水泵设备及自动化控制系统可根据用水需要实时调节输水流量及压力。输水管道的主要职责是确保水能够顺利传输至用户，其所使用的材料和施工的品质会直接决定供水的安全与稳定程度；目前常用输水管道的材料主要包括钢管、球墨铸铁管、PE管，这类管道耐腐蚀，耐压和密封性强。在输水管道施工期间必须要对其质量严格把关与检验，保证其不渗漏、不断裂^[3]。

（五）智能供水系统

随着科学技术的进步，城市智能供水系统得到了越来越多的运用，智能供水系统通过传感器、自动化控制可实现供水系统实时监控与调控。如在水源地、泵站、输水管道及用户终端上设置传感器可对水位流量，压力及水质进行实时监控。同时自动化控制系统再依据监测数据自动调节泵站运行状态、输水管道阀门开度等等从而对供水进行智能化管理。另外智能供水系统也能够通过数据分析与预测来提前识别出可能出现的各种问题，例如管道漏水、设备故障等并及时修复与处理以提高供水效率与品质。

三、水利工程在城市供水系统中存在的问题

（一）水资源短缺问题

在城市迅速发展、人口持续增加的情况下水资源短缺现象越来越严重，水利工程在对水资源进行开发利用的同时也遇到了很大挑战。部分区域水库蓄水能力受限不能满足城市用水需求不断增长，如某市主要水源地水库因集水区面积小、降雨量不稳等原因造成水库蓄水量往往不能满足枯水期城市用水需要。另外城市化过程中土地利用变化，水土流失都对水资源补给产生了影响；并且城市扩张还使原有自然水系被破坏、雨水下渗、储存能力下降，对水资源短缺问题进一步恶化。

（二）水质污染问题

水污染对城市供水水质有着显著影响，水利工程水处理设施虽能净化原水但是若水源被严重污染则会极大地增加处理的困难。工业废水和生活污水不经处理而直接排放是污染源的一个重要因素，如一些工厂为降低成本而直接向河流或者湖泊排放未处理工业废水而造成水源重金属、有机物和其他污染物超标。同时生活废水中含有的氮、磷等营养成分可能导致水体过度富营养化，从而对供水的水质产生不良影响；另外农业非点源污染和垃圾填埋场渗滤液的产生都可能污染水源^[4]。

（三）工程老化和维护问题

部分水利工程设施因建设年代较长而出现老化、破损等现象，若不能及时维护更新将会影响到供水系统正常工作，如输水管道漏水就是一种普遍的工程老化。日积月累管道材质有可能发生腐蚀和破损现象而造成水在运输过程中外泄，既浪费了水资源又减轻了供水压力同时也影响了用户正常使用。同时泵站设备出现故障，同样是个比较突出的问题；陈旧的泵站设备会出现性能下降、效率低下的现象需经常检修更换。另外水库大坝、引水渠及其他设施可能存在裂缝或渗漏等隐患，需加强监控与维修。

（四）管理体制不完善问题

水利工程对城市供水系统的管理工作涉及到很多部门，普遍存在着管理体制不健全、责任不明确的现象。水资源在开发、利用和保护过程中分别归不同的部门负责，易发生协调不畅；比如说水资源的开发和分配是由水利部门来负责的，水污染治理是由环保部门来负责的，而城市供水设施的建设和管理则是住建部门的职责。在实践中各个部门可能会出现沟通不畅和职责交叉的情况，造成管理效率不高。另外部分地方政府不重视水利工程，没有统一规划与协

调，这也影响到水利工程作为城市供水系统的功能。

（五）资金投入不足问题

水利工程建设与维修需要投入大量资金，但由于资金投入不到位，部分水利工程设施不能及时更新改造，从而影响供水系统运行效率与质量。如一些陈旧的水处理设施因资金不足而更新，处理能力受到限制不能满足城市不断增长的用水需求。对输水管道进行修复与更换还需投入大量经费，经费不足会造成管道漏水问题不能及时得到解决等等；另外水利工程科研投入不到位、先进技术与装备匮乏都会影响水利工程施工与管理水平。

四、优化水利工程在城市供水系统中应用的策略

（一）加强水资源管理

强化水资源统一管理是城市供水系统水利工程优化运用的重点，编制科学合理的水资源开发与利用规划来确定水资源开发目标，利用途径及保护措施。同时落实水资源最严格管理制度来强化水资源节约保护与合理配置，如确立了水资源总量调控，用水效率调控、水功能区约束纳污的“三条红线”；严格控制用水量以提高用水效率降低水污染。除此之外还要强化水资源节约管理、大力推广节水技术与装备、增强公众节水意识；并通过对水资源进行合理调配，依据城市用水需求及水资源分布状况对水资源调配方案进行优化配置，以提高水资源利用效率^[5]。

（二）提高水质监测和治理水平

加强对水源地的水质监测来建立健全水质监测体系是保障城市供水水质安全的重要措施，通过加大对水污染的治理力度来严格控制工业废水、生活污水等的排放；例如加强对工业企业的环境监管，要求企业安装污水处理设施，确保工业废水达标排放。同时要加强对城市污水处理设施的建设和管理来提高生活污水的处理率和达标率；并且建立水源地保护制度，划定水源地保护区，加强对保护区内的环境监管来防止污染水源。同时加强对水处理设施的运行管理，提高水处理工艺的水平，确保供水水质达到国家饮用水标准。

（三）加强水利工程设施的维护和更新

增加水利工程设施维修与更新的投入力度，对老化、破损设

施进行及时维修是确保供水系统能够正常工作的重要保证。同时利用先进技术与装备提升水利工程设施运行效率与稳定性，如老旧输水管道更新改造使用耐腐蚀耐压新型管材以增加管道使用寿命及安全性等。另外还要实现泵站设备升级换代，利用高效节能水泵及自动化控制系统提高泵站运行效率及可靠性；在此基础上要加强水库大坝及引水渠的监控与养护，发现并治理隐患以便能够保障水利工程设施安全运行。

（四）完善管理体制

建立与完善水利工程对城市供水系统管理的体制，厘清各个部门权责是提升管理效率的重点。还要强化部门间协调以形成合力，如建立水利、环保和住建部门间协调机制并定期举行联席会议研究处理城市供水系统存在的问题。同时明确部门对水资源开发、利用、保护的权责，避免责任交叉推诿。另外强化水利工程统一管理，建立并完善水利工程建设，运行及养护等管理制度，以便提升水利工程管理水平^[6]。

（五）加大资金投入

增加水利工程建设与养护资金的投入、扩大资金渠道是确保水利工程能够正常进行的一个重要条件。通过鼓励社会资本投入水利工程建设与运行可以提高资金使用效益，如政府可采取财政补贴和税收优惠的政策吸引社会资本进行水利工程建设。另外还可以设立水利工程建设与养护专项资金来保证经费稳定投入，并强化资金管理与监督，在增强资金使用效率的同时保障资金在水利工程建设与养护中使用。

五、结语

水利工程对城市供水系统有着举足轻重的影响，采取强化水资源管理来提升水质监测与治理水平，强化水利工程设施维护与更新，健全管理体制，增加资金投入等对策建议，并且能够优化城市供水系统水利工程的使用来提升城市供水质量与稳定性，以适应城市发展所需要的水资源。在今后的城市发展中要加强对水利工程建设与运营的关注，发挥水利工程对城市供水系统的促进作用，从而为城市可持续发展奠定扎实的基础。

参考文献

- [1] 胡浩. 关于城市住宅小区室外给水管道工程设计与探讨 [J]. 中国高新区, 2017, (13): 133+135.
- [2] 韩笑锋, 寇焱. 绍里木城市供水系统的工程管理及优化措施 [J]. 中国建筑金属结构, 2023, 22(11): 196-198.
- [3] 阳素攀. 深圳市坂田街道供水系统现状问题分析及改善措施 [J]. 工程建设与设计, 2020, (18): 96-99.
- [4] 朱熠. 基于模糊层次分析法的城市供水系统方案优选研究 [D]. 重庆大学, 2019.
- [5] 谭文帅. 城市供水管网专项规划方法研究 [D]. 青岛理工大学, 2013.
- [6] 应丽裔, 郑伟君. 成本压力考验城市供水系统运营 [N]. 嘉兴日报, 2008-06-19(006).

新发展理念推动博湖县水资源高质量发展的思考

虎君

博湖县水利综合服务中心，新疆 巴州 841400

摘 要： 本文深入探讨了博湖县水资源管理的现状，包括其水资源基本情况、“十三五”期间主要经济指标等方面取得的成效，同时剖析了当前存在的问题，如管理精细化程度不足、水资源分布不均衡、农业水价综合改革存在短板等。基于此，结合二十大新发展理念精神，提出了加强水资源集中统一管理、提高集约节约利用水平、加强配置和配水能力建设以及推进水利重点领域和关键环节改革等对策建议，旨在推动博湖县水资源的高质量发展，为经济社会的可持续发展提供有力支撑。

关 键 词： 新发展理念；博湖县；水资源管理；高质量发展

Reflections on Promoting the High-Quality Development of Water Resources in Bohu County with New Development Concepts

Hu Jun

Bohu County Integrated Water Resources Service Center, Bazhou, Xinjiang 841400

Abstract： This article deeply discusses the current situation of water resources management in Bohu County, including the basic situation of water resources, the achievements made in major economic indicators during the “Thirteenth Five-Year Plan” period, etc., and also analyzes the current problems, such as the degree of refinement of management. Inadequacy, uneven distribution of water resources, and shortcomings in the comprehensive reform of agricultural water prices. Based on this, combined with the spirit of the twenty new development concepts, countermeasures and suggestions are put forward to strengthen the centralized and unified management of water resources, improve the level of intensive and economical utilization, strengthen the construction of water allocation and distribution capabilities, and promote the reform of key areas and key links of water conservancy, aiming to promote the high-quality development of Bohu County's water resources provides strong support for the sustainable development of the economy and society.

Keywords： new development concept; Bohu County; water resources management; high-quality development

引言

水资源是人类生存和发展的重要基础，也是经济社会可持续发展的关键因素。随着经济社会的快速发展和人口的不断增长，水资源短缺、水污染等问题日益突出，严重制约了经济社会的可持续发展。博湖县位于焉耆盆地东南部、开都河下游，因境内有全国最大的内陆淡水湖——博斯腾湖而得名。博湖县水资源丰富，但在水资源管理方面仍面临着诸多挑战。县水资源管理，提高水资源利用效率，实现水资源的可持续利用，具有重要的现实意义。

一、博湖县水资源基本情况

（一）地理位置和自然条件

博湖县地处焉耆盆地东南部，开都河下游，是一个典型的内陆干旱地区。其气候温和湿润，年平均气温 8.5℃，年降水量 180

毫米左右，蒸发量 1800 毫米左右，气候条件决定了该地区水资源的蒸发量大、降水量少。境内拥有全国最大的内陆淡水湖——博斯腾湖，水域面积达 1646 平方公里，占全县总面积的 43.2%。博斯腾湖不仅为博湖县提供了丰富的水资源，还对调节当地气候、维持生态平衡具有重要作用。此外，境内还有开都河、孔雀河等

作者简介：虎君（1979-），女，回族，甘肃定西人，高级工程师，研究方向：水资源管理用水总量统计，用水效率提高，农业水价综合改革。

多条河流流经，为博湖县的农业灌溉、工业生产和居民生活提供了重要的水源保障。

（二）水资源现状

博湖县水资源主要来源于大气降水、冰川融水和地下水。根据博湖县水资源公报，2016 年全县水资源总量为 21893 万立方米，其中地表水 11483 万立方米，地下水 10410 万立方米；2020 年全县水资源总量为 18917 万立方米，其中地表水 11177 万立方米，地下水 7740 万立方米。从数据可以看出，博湖县的水资源总量在一定程度上有所减少，这可能与气候变化、人类活动等因素有关。

2016-2020 年水资源管理统计表

年份	2016 年		2017 年		2018 年		2019 年		2020 年	
	计划	实际	计划	实际	计划	实际	计划	实际	计划	实际
地表水	11483	12110	12242	11960	11887	12786	11532	11338	11177	11177
地下水	10410	10850	8793	7350	8430	7215	8066	5913	7740	6012
合计	21893	22960	21035	19310	20317	20001	19598	17251	18917	17189

（单位：万立方米）

（二）农业灌溉用水指标

2016 年农业灌溉用水占总指标的 96% 左右，2020 年农业灌溉用水占总指标的 95% 左右。农业灌溉用水一直是博湖县水资源消耗的主要部分，这也反映了博湖县作为农业大县，农业生产对水资源的依赖程度较高^[2]。

（三）农田灌溉水利用系数

2016 年农田灌溉水利用系数为 0.61，2020 年农田灌溉水利用系数为 0.63。农田灌溉水利用系数的提高，说明博湖县在农业节水方面取得了一定的进展，但与先进地区相比，仍有较大的提升空间。

三、博湖县水资源管理存在的问题与不足

（一）水资源管理精细化程度有待提高

1. 分行业、分部门间合作不够紧密。水资源管理涉及水利、农业、环保等多个部门，各部门之间缺乏有效的沟通与协调，导致水资源管理工作存在多头管理、职责不清等问题。例如，在农业灌溉用水管理方面，水利部门负责水资源的调配，农业部门负责农业生产的指导，两者之间缺乏紧密的配合，容易出现水资源浪费的现象。

2. 缺乏整体性和系统性的管理体系。目前博湖县的水资源管理缺乏统一的规划和协调，各部门各自为政，难以实现水资源的优化配置和高效利用^[3]。例如，在水资源的开发利用过程中，缺乏对水资源的综合评估和科学规划，导致一些地区水资源过度开发，而另一些地区水资源短缺的现象依然存在。

（二）县域内土地零星种植，集约化程度不高

1. 农牧民节水整体意识不高。博湖县县域内土地零星种植，农业生产方式较为粗放，农牧民对水资源的珍贵性认识不足，节水意识淡薄。在农业灌溉过程中，仍然存在大水漫灌等浪费水资源的现象。例如，一些农户为了方便灌溉，不按照科学的灌溉方式进行操作，导致水资源的浪费。

二、博湖县水资源管理“十三五”期间主要经济指标情况

（一）社会经济用水总指标

2016 年全县社会经济用水总指标为 21893 万立方米，实际使用 22960 万立方米；2020 年全县社会经济用水总指标为 18917 万立方米，实际使用 17189 万立方米，2020 年比 2016 节约用水量 5771 万立方米。这表明博湖县在“十三五”期间在水资源管理方面取得了一定的成效，用水量得到了有效控制^[1]。

2. 缺乏有效的节水措施和技术。虽然博湖县在农业节水方面取得了一定的进展，但与先进地区相比，仍然缺乏有效的节水措施和技术。例如，在滴灌、喷灌等高效节水灌溉技术的推广应用方面，还存在着覆盖面不广、技术水平不高等问题^[4]。

（三）水资源分布不均衡

1. 博湖县水资源主要来源于开都河，而开都河的水资源量在年内和年际之间变化较大，导致水资源分布不均衡。在丰水期，水资源较为充足，但在枯水期，水资源短缺的问题较为突出。例如，在农业灌溉用水高峰期，由于水资源供应不足，容易导致农作物减产，影响农民的收入。

2. 用水高峰期存在供需矛盾。博湖县作为农业大县，农业灌溉用水需求量大，在用水高峰期，水资源的供需矛盾较为突出，难以满足农业生产的需要^[5]。此外，随着工业的发展和人口的增加，工业用水和生活用水的需求量也在不断增加，进一步加剧了水资源的供需矛盾。

（四）农业水价综合改革存在短板

1. 水价机制不够完善。目前博湖县的农业水价仍然较低，难以反映水资源的稀缺性和价值，不利于节约用水。例如，一些农户由于用水成本低，缺乏节约用水的动力，导致水资源的浪费。

2. 缺乏有效的监督和评估机制。农业水价综合改革需要建立有效的监督和评估机制，以确保改革的顺利推进和取得实效。但目前博湖县在这方面还存在不足，缺乏对水价改革的监督和评估，难以保证改革的质量和效果。

四、学习贯彻二十大新发展理念精神推动博湖县水资源高质量发展的对策建议

（一）加强水资源集中统一管理

1. 强化整体观念、系统思维和问题导向。加大与流域机构的沟通协调，由其统筹上下游左右岸用水，确保水资源的合理分配和利用。例如，建立与开都河流域管理机构的定期沟通机制，共

同研究制定水资源的调配方案,实现水资源的优化配置^[6]。

2.严格按照《巴州(含第二师)用水总量控制方案》组织相关部门分行业(农业、林业)、分水源、分乡镇,根据作物种植结构、需水情况编制年度用水计划。统筹考虑灌溉用水供需情况,组织农业、林业、水利等行业部门商定灌溉管理方案,优先保障30年承包地和计划内粮食生产地灌溉用水,其次是林业生态等用水。通过科学的用水计划和管理方案,提高水资源的利用效率。

3.建立统一的水资源调度管理体系,提升精细化、规范化、法治化管理水平。加强水资源的监测和管理,建立健全水资源管理制度,严格执行水资源管理的相关法律法规,确保水资源的合理利用和保护^[7]。例如,加强对取水、用水、排水等环节的监管,严厉打击非法取水、用水等行为。

(二) 提高水资源集约节约利用水平

1.坚持“节水优先”方针,巩固博湖县县域节水型社会达标建设成果。加强节水宣传教育,提高全民节水意识,营造良好的节水氛围。例如,通过开展节水宣传活动、举办节水知识讲座等方式,提高公众对水资源的认识和节水的重要性。

2.全面推进实施农业深度节水,深化农业水价综合改革。加大水利基础设施更新改造和投入,推进水利设施建设,提高输水效率。例如,加大对农田灌溉渠道的改造和维护力度,推广应用高效节水灌溉技术,降低农业用水的损耗^[8]。

3.推进水价机制改革,充分发挥市场、价格因素在水资源配置、需求调配等方面的作用。建立科学合理的水价形成机制,根据水资源的稀缺程度和用水成本,合理调整水价,引导用户节约用水。例如,对超定额用水的用户实行累进加价制度,提高用户的用水成本,促进节约用水。

4.加强地下水的监管,实行统一管理,继续推进地水“井电双控”,严格落实取水许可制度,加强地下水超采区治理。建立地下水监测体系,实时掌握地下水的动态变化情况,防止地下水过度开采,保护地下水资源。

(三) 加强水资源配置和配水能力建设

1.合理分配水资源,政府统一协调,与上级流域机构建立会

商机制。视开都河来水量定期召开联席会议,科学合理制定调配水方案,确保水资源的合理分配和利用^[9]。例如,在枯水期,通过合理调配水资源,优先保障居民生活用水和重点工业用水,限制高耗水产业的用水。

2.加大对现有水利基础设施的维修养护力度,从全县水费资金中拿出部分资金,确保水利设施的运行安全,充分发挥工程效益。例如,定期对水利设施进行检查和维护,及时修复损坏的设施,提高水利设施的使用寿命和运行效率。

(四) 推进水利重点领域和关键环节改革

1.稳步推进农业水价综合改革,合理配置水资源,提高农业用水效率,促进农业节水和农业可持续发展。建立健全农业水权制度,明确用水户的用水权益,鼓励用水户之间进行水权交易,提高水资源的利用效率^[10]。例如,建立水权交易平台,为用水户提供水权交易的信息和服务,促进水权的合理流转。

2.加快智慧水利建设,推进农村供水工程水量水质在线监测、辖区内涉水关键设施在线视频监控等工作,提升水利信息化水平。利用现代信息技术,对水资源进行实时监测和管理,提高水资源管理的科学性和精准性。例如,建立水资源管理信息系统,实现对水资源的远程监控和管理,及时掌握水资源的动态变化情况,为水资源的调配和管理提供科学依据。

五、结论

水资源是博湖县经济社会发展的重要基础和保障,加强水资源管理对于实现博湖县的可持续发展具有重要意义。博湖县在水资源管理方面取得了一定的成效,但也存在着管理精细化程度不足、水资源分布不均衡、农业水价综合改革存在短板等问题。在学习贯彻二十大新发展理念精神的背景下,博湖县应加强水资源集中统一管理,提高水资源集约节约利用水平,加强水资源配置和配水能力建设,推进水利重点领域和关键环节改革,推动水资源高质量发展,为实现经济社会的可持续发展提供有力支撑。同时,博湖县还应加强与周边地区的合作与交流,共同应对水资源管理面临的挑战,实现水资源的共享和共赢。

参考文献

- [1] 郭世民. 新时代湖南水文高质量发展的思考[J]. 水利发展研究, 2020, 20(11): 29-31+48.
- [2] 袁轲, 康琛. 湖南“水资源·水安全”信息化规划及建设实践[J]. 水利信息化, 2020(01): 6-9+14.
- [3] 张建新; 蔡阳. 水利感知网顶层设计与思考[J]. 水利信息化, 2019(04): 1-5+19.
- [4] 艾萍, 于家瑞, 马梦梦. 智慧水文监测体系中的关键技术简述[J]. 水利信息化, 2018(01): 36-40+45.
- [5] 许浩. 对推行水利工程管理标准化的思考[J]. 中国水利, 2022(06): 53+42.
- [6] 彭月平. 水利工程标准化管理理论体系构建[J]. 水利建设与管理, 2021(12): 54-58.
- [7] 朱亚东. 关于全面推行水利工程标准化管理的思考[J]. 水利发展研究, 2022(10): 77-80.
- [8] 罗林峰, 裴瑶. 水利工程物业化管理的几点思考[J]. 水利发展研究, 2022(03): 74-77.
- [9] 郑春峰, 刘毅. 太湖流域直管工程标准化管理的实践与思考[J]. 水利发展研究, 2021(12): 75-78.
- [10] 王彤. 嫡增视角下的水利工程运行管理标准化建设[J]. 水利建设与管理, 2021(03): 72-76.

水利水电工程中的生态环境保护与可持续发展研究

黄金亮, 张博

河南科光工程建设监理有限公司, 河南 郑州 450003

摘 要 : 水利水电工程在提供清洁能源、防洪减灾、灌溉供水等方面发挥着巨大作用。然而这些工程的建设和运行往往会对河流生态系统、生物多样性以及周边社区产生深远的影响。因此进行生态环境保护与可持续发展研究显得尤为重要。本文首先分析了水利水电工程对生态环境的影响, 阐述了水利水电工程中进行生态环境保护与可持续发展的意义, 并针对实际保护中存在的问题提出了相应的优化策略, 期望能为水利工程建设提供帮助。

关 键 词 : 水利水电工程; 生态环境保护; 可持续发展

Research on Ecological Environment Protection and Sustainable Development in Water Conservancy and Hydropower Projects

Huang Jinliang, Zhang Bo

Henan Keguang Engineering Construction Supervision Co., LTD. Zhengzhou, Henan 450003

Abstract : Water conservancy and hydropower projects play a huge role in providing clean energy, flood control and disaster reduction, irrigation and water supply. However, the construction and operation of these projects often have a profound impact on river ecosystems, biodiversity and surrounding communities. Therefore, it is particularly important to study ecological environment protection and sustainable development. This paper first analyzes the impact of water conservancy and hydropower projects on ecological environment, expounds the significance of ecological environment protection and sustainable development in water conservancy and hydropower projects, and puts forward corresponding optimization strategies for the problems existing in actual protection, hoping to provide help for the construction of water conservancy projects.

Keywords : water conservancy and hydropower engineering; ecological environment protection; sustainable development

引言

随着全球气候变化和人类活动的加剧, 生态环境问题日益凸显, 成为制约社会经济可持续发展的关键因素。水利水电工程作为人类改造自然的重要手段, 其对生态环境的影响尤为显著。一方面水利水电工程能够有效调节河流径流, 提供清洁能源, 减少温室气体排放, 对缓解全球气候变化具有积极作用; 另一方面工程建设和运行过程中对河流生态系统的干扰、对生物栖息地的破坏以及对周边社区环境的影响等问题, 也引起了社会各界的广泛关注。因此如何在水利水电工程中实现生态环境保护与可持续发展, 已成为当前亟待解决的重大课题。

一、水利水电工程对生态环境的影响

(一) 水利水电工程对水文情势的影响

在当前的水利水电工程建设中, 其对水文情势的影响是多方面的。例如在三峡大坝的建设过程中, 这座世界上最大的水电站对长江流域的水文情势产生了深远的影响。位于长江上游的三峡大坝建设下不仅改变了河流的自然状态, 还对下游的水文周期、泥沙输移和生态环境产生了显著影响。具体而言大坝的蓄水功能使得长江上游的洪水得到了有效控制, 减少了下游地区的洪涝灾害。同时大坝的泄洪能力也使得在洪水季节可以有计划地调节下游的水位, 从而减轻洪水对下游地区的威胁^[1]。

(二) 水利水电工程对生物多样性的影响

而在生物多样性方面, 大坝的建设会因改变了河流的自然流态, 而导致上游和下游的水文条件发生显著变化。在这种改变之下会使得鱼类的产卵和迁徙受到影响, 还可能造成河流生态系统中某些物种的栖息地丧失。例如一些依赖于特定水流条件繁殖的鱼类, 如鲑鱼等回流鱼类可能因为无法到达其传统的产卵地而数量减少。对于一下岸边植物来说, 在大坝的建设之下会淹没大片的陆地, 导致原有植被和土壤被水体覆盖, 从而破坏了陆地生态系统的完整性^[2]。

(三) 水利水电工程对土壤与地质的影响

在近些年来, 随着全球对可再生能源需求的不断增长, 使得

作者简介: 黄金亮 (1993.10-), 男, 汉族, 河南省驻马店市平舆县人, 助理, 研究方向: 水利水电工程。

国内的水利水电工程得到了迅速的发展。然而这些工程对生态环境的影响也日益受到人们的关注。水利水电工程在提供清洁能源的同时也对土壤与地质环境产生了显著的影响。由于水利水电工程在实际施工建设时往往需要大规模的开挖和填筑，这会直接改变当地原有的地形地貌，导致土壤侵蚀和水土流失问题的加剧。特别是在山区和丘陵地带的水库建设，更会使得上游地区的水土流失加剧，而对于河流下流而言，则可能因为泥沙淤积而影响河道的正常功能。此外当水利工程建设完毕水库蓄水后，水位上升也会导致周边土壤的水分条件发生变化，进而影响植被的生长和土壤的结构稳定性。

二、水利水电工程中进行生态环境保护与可持续发展的意义

（一）促进生物多样性保护与生态平衡

水利水电工程的建设与运行对生态环境有着深远的影响，这就要求施工人员在水利工程的建设时，需要通过科学规划和合理设计来最大限度地减少对自然环境的破坏，同时为生物多样性保护与生态平衡的促进提供有力支持。例如施工人员可以通过建立生态流量的保障机制来确保河流生态系统的水文连通性，为水生生物提供适宜的栖息环境。此外水电站的建设可以结合生态修复工程，如建设鱼道、生态池等设施，以减少对鱼类迁徙的阻碍，保护水生生物的繁殖和生长^[3]。

（二）提高水资源利用效率与质量

随着全球气候变化和人口增长带来的水资源压力，提高水资源利用效率与质量显得尤为重要。而科学的水利水电工程在这一过程中扮演着关键角色。例如施工人员可以通过建设现代化的水库和灌溉系统来有效调节河流径流，以此来进一步减少洪水和干旱对农业和人类生活的影响。同时这些工程可以提高灌溉效率，在减少水资源浪费的同时确保农业用水的可持续性。而在城市供水方面通过改进供水管网和引入先进的水处理技术，可以显著降低水的损耗率，提高供水系统的可靠性。例如某城市通过引入智能水表和管网监测系统，成功将水损率从20%降低到5%，极大地提高了水资源的利用效率。

（三）实现区域经济与环境的和谐发展

实现区域经济与环境的和谐发展是水利水电工程中进行生态环境保护与可持续发展的重要意义之一。以长江三峡工程为例该工程不仅为我国提供了巨大的清洁能源，有效缓解了电力供应紧张的局面，而且在防洪、航运等方面发挥了重要作用。然而三峡工程的建设也对周边生态环境产生了影响，如水生生物栖息地的改变、地质灾害风险的增加等。因此为了实现区域经济与环境的和谐发展，三峡工程在规划和建设过程中采取了一系列生态保护措施^[4]。

（四）增强社会公众环保意识与参与度

在当前的水利水电工程中，增强社会公众的环保意识与参与度是实现生态环境保护与可持续发展的关键。这就要求相关部门需要通过教育和宣传来提高公众对水资源保护重要性的认识，使

人们了解水电工程对环境可能产生的影响，以及如何在日常生活中节约用水和保护水环境。其次鼓励公众参与环境影响评估和监督过程，通过公开透明的信息发布和公众咨询，让民众对工程的环境影响有更深入的了解，并提出自己的意见和建议。

三、水利水电工程中进行生态环境保护与可持续发展的难点

（一）水利水电工程对生物多样性的影响与保护难题

水利水电工程在为人类提供清洁能源和防洪灌溉等多重效益的同时，也对生物多样性产生了深远的影响。例如大坝的建设会改变河流的自然流态，通过阻断鱼类的迁徙路径影响到水生生物的繁殖和生存。以长江三峡大坝为例该工程对中华鲟等珍稀水生动物的生存造成了威胁。在长江流域中，中华鲟是一种溯河产卵的鱼类，而场江三峡大坝的建设使得它们无法到达传统的产卵场，导致其种群数量急剧下降。

（二）水利水电项目中土地征用与移民安置的挑战

在近些年来的水利工程不断建设中，这些工程对生物多样性的负面影响以及在土地征用和移民安置方面所面临的挑战也日益凸显。具体来说，由于水利水电项目往往需要占用大量土地，这就会导致大量居民需要搬迁。例如印度纳尔默达河上的萨达尔·萨罗瓦尔大坝项目的建设就涉及了数十万当地居民的搬迁。而在当前的土地征用和移民安置过程中，会常常出现补偿不公、安置地条件差、社会融合困难等问题。这些挑战不仅影响了受影响居民的生活质量，还可能引发社会矛盾和冲突^[5]。

（三）水资源管理与水质保护在水利水电工程中的困境

在全球气候变化和人类活动的不断加剧之下，使得水资源短缺和污染问题愈发严重。对于全人类来说，保护水资源不仅关系到生存和发展，还涉及到生态系统的健康和生物多样性。水利水电工程作为调节水资源的重要手段，其在生态环境保护与可持续发展中的作用不容忽视，但在当前的建设中面临着水资源管理与水质保护的难题。例如大坝建设虽然可以有效控制洪水、提供灌溉和发电，但也会对河流生态系统产生负面影响。大坝阻断了鱼类的迁徙路线，改变了河流的自然流态，导致下游河段的水质和生态平衡受到破坏^[6]。

（四）水利水电工程对气候变化适应性的不足与改进需求

水利工程建设时在应对气候变化的适应性方面，如果气候变化导致了极端天气事件的发生，如洪水、干旱和风暴等这些极端天气都对水利水电工程的稳定运行构成了威胁。例如洪水可能导致水库溢流，损害大坝安全。而过度干旱则可能减少水电站的发电量。因此提高水利水电工程对气候变化的适应性是当前亟需解决的问题。但目前水利水电工程在适应气候变化方面存在一些不足。例如许多现有的水利设施设计标准并未充分考虑未来气候变化的潜在影响，导致其在极端天气面前显得脆弱。此外气候变化对水资源的时空分布产生影响，使得水资源管理变得更加复杂，而现有的水利水电工程往往缺乏灵活应对这些变化的能力^[7]。

四、水利水电工程中进行生态环境保护与可持续发展的优化策略

（一）采用生态工程措施

研究人员为了优化水利工程建设过程中对周边生物多样性的影响，提出了一系列生态工程措施。展开来说研究人员可以设计和实施生态流量管理策略，确保河流生态系统的健康和生物多样性。在这其中就包括在水库调度中考虑生态需水，维持河流的自然水文节律，以及在干旱季节提供足够的水量以支持水生生物的生存。其次生态廊道的构建是另一项重要措施。研究人员通过建立生态廊道可以连接被水利工程分割的自然栖息地，从而为需要迁移的野生动植物提供扩散通道，从而减少栖息地破碎化对生物多样性的影响^[8]。

（二）制定公平合理的补偿政策

随着全球气候变化和人类活动对自然环境的影响日益加剧，水利水电工程在提供清洁能源和防洪灌溉等多重效益的同时，也对周边人类的生活环境产生了不容忽视的影响。因此制定公平合理的补偿政策，以实现生态环境保护与可持续发展显得尤为重要。例如在非洲的尼罗河流域的水利水电工程开展中，其同样面临生态环境保护的挑战。当地政府为了平衡经济发展与生态保护，就积极寻求国际环保组织的合作，通过多方共同协商来制定了生态补偿基金。该基金主要用于支持流域内生态恢复项目，如湿地保护、鱼类繁殖区的建设等。同时通过教育和培训项目，提高当地居民的环保意识和参与度，确保他们从水电工程中获得的经济利益能够与生态保护目标相协调^[9]。

（三）加强污水处理与回用

在现代化的水利水电工程建设中，加强污水处理与回用是实现生态环境保护与可持续发展的重要策略之一。例如某水电站项目在建设过程中，特别重视污水处理设施的配套建设。该水电站的策划者不仅在工程设计阶段就规划了先进的污水处理系统，而

且在施工过程中严格执行环保标准，确保施工废水得到妥善处理，以此来避免对周边水体造成污染。而该水电站的策划者在运营阶段，就建立了完善的污水处理与回用体系。该回收体系的原理是通过采用生物处理、膜分离技术等先进的污水处理技术，将生活污水和工业废水处理达到国家排放标准，甚至达到回用水质标准。处理后的水被用于电站的冷却系统、绿化灌溉以及周边农田的灌溉，大大减少了对新鲜水资源的依赖，实现了水资源的循环利用^[10]。

（四）提高工程设计标准

策划者在水利水电工程的设计与施工中，为了预防与减少极端天气的影响，必须采取一系列创新措施来进一步确保工程的稳定性和安全性。展开来说其中提高工程设计标准是关键。这就要求设计团队应充分考虑未来气候变化的不确定性，采用先进的预测模型和风险评估工具，确保工程能够抵御更极端的天气条件，如更强烈的风暴、更严重的洪水和更持久的干旱。此外工程设计应融入更多的弹性设计元素，如可调节的水坝和溢洪道，以适应不同水文条件的变化。在施工过程中，采用环保材料和可持续的施工方法，减少对周边环境的破坏。

五、结语

综上所述，水利水电工程在推动社会经济发展和保障人类福祉方面发挥着重要作用，但同时也面临着诸多挑战和困境。为了实现生态环境保护与可持续发展的目标，必须采取综合性的优化策略。这包括采用生态工程措施，制定公平合理的补偿政策，加强污水处理与回用，以及提高工程设计标准等。只有这样策划者才能确保水利水电工程在满足当前需求的同时，不损害未来世代的利益。未来期待更多的创新和合作，以实现水利水电工程与自然环境的和谐共生，为人类社会的可持续发展贡献力量。

参考文献

- [1] 乔守江. 水利工程建设中的水土保持与生态环境保护研究 [J]. 水上安全, 2024, (04): 91-93.
- [2] 郑彩萍. 水利工程水土保持生态建设中生态修复的运用 [J]. 水上安全, 2023, (12): 85-87.
- [3] 邹岩. 基于生态理念视角下水利水电工程的规划设计探讨 [J]. 山西水土保持科技, 2023, (01): 29-30+46.
- [4] 谢立林. 大型水利水电工程施工智能控制技术 [J]. 建材与装饰. 2017, (23).
- [5] 申烨红, 刘波波, 肖昱. 水利工程建设环境保护管理工作的思考 [J]. 水利技术监督. 2023, (8).
- [6] 周明旭. 水利工程绿色施工技术与生态环境保护 [J]. 人民黄河, 2024, 46(S1): 60-61+63.
- [7] 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: 3. DOI: 10.26914/c.cnkihy.2024.027386.
- [8] 刘静, 聂晨阳. 水利工程中水环境生态治理防护技术研究 [C] // 河海大学, 甘肃省水利学会. 2023中国水资源高效利用与节水技术论坛论文集. 黄河水利委员会河南水文水资源局, 2023: 6. DOI: 10.26914/c.cnkihy.2023.032440.
- [9] 席晓倩, 刘静. 水利工程中水环境生态治理防护技术研究 [C] // 中国水利学会城市水利专业委员会, 《中国防汛抗旱》杂志社, 水利部防洪抗旱减灾工程技术研究中心. 第六届城市水安全与水管理学术研讨会论文集. 黄河水利委员会河南水文水资源局, 2023: 5. DOI: 10.26914/c.cnkihy.2023.051922.
- [10] 黄宝群. 水利水电工程建设对生态环境的影响分析 [J]. 数字农业与智能农机, 2023, (06): 42-45.

多种并行温控防裂举措在高寒地区 RCC 坝工建设中的应用

朱宝荣, 杨新

中国水利水电第十六工程局有限公司, 福建 福州 350003

摘 要 : 北疆某高寒地区 I 等大 (1) 型枢纽工程碾压混凝土重力坝, 碾压混凝土工程量为 240 万 m^3 , 要防止或减少因混凝土温度控制不严谨而导致各类混凝土裂缝的产生, 就是要做好碾压混凝土重力坝基础温差、坝体内外温差、上下分层温差以及相邻先浇后浇块温差控制以及冷却水管温差标准值调整等各类温控举措, 本文主要从配合比优化、浇筑层温度控制、高低温期温控防裂控制、坝体内部埋设水管通冷却水控制坝内升温以及做好越冬层面防护措施等方面, 分析总结了一套多种并行温控举措在提高大体积碾压混凝土温控防裂措施的有效应用, 显著提升大体积水工建筑物建设品质。

关 键 词 : RCC 重力坝; 温度裂缝; 配合比优化; 约束区降温; 坝内降温; 越冬保温

Application of Multiple Parallel Temperature Control and Crack Prevention Measures in RCC Dam Construction in Cold Regions

Zhu Baorong, Yang Xin

China Water Resources and Hydropower 16th Engineering Bureau Co., Ltd. Fuzhou, Fujian 350003

Abstract : In a high-altitude area of northern Xinjiang, a Class I large (1) type hub project, the roller compacted concrete gravity dam, has a volume of 2.4 million cubic meters of roller compacted concrete. To prevent or reduce the occurrence of various concrete cracks caused by lax temperature control of the concrete, it is necessary to do a good job in temperature control measures such as temperature difference between the foundation of the roller compacted concrete dam, temperature difference inside and outside the dam body, temperature difference between upper and lower layers, temperature difference control between adjacent first poured and then poured blocks, and adjustment of temperature difference standards for cooling water pipes. This article mainly analyzes and summarizes the effective application of multiple parallel temperature control measures in improving the temperature control and crack prevention measures of large volume roller compacted concrete from the aspects of mix proportion optimization, pouring layer temperature control, temperature control during high and low temperature periods, temperature control and crack prevention control during high and low temperature periods, buried water pipes in the dam body. The, Significantly improve the construction quality of large volume hydraulic structures.

Keywords : RCC gravity dam; temperature cracks; optimization of mix proportion; cooling of restricted zone; cooling inside the dam; winter insulation

一、概述

北疆某高寒地区 I 等大 (1) 型工程碾压混凝土重力坝, 工程所在地纬度高, 受周边盆地及沙漠区影响, 水文气象特征为: 季风期长, 风向 WNW, 多年平均风速 1.8m/s, 最大风速 25m/s、气候干燥, 昼夜温差大, 气温年差悬殊, 夏季极端最高温度为 40.1℃, 冬季极端最低温度为 -49.8℃, 最大冻土深度为 1.75m。

工程最大坝高 121.5m, 轴线长度 1570m, 设计烈度为 8 度, 基岩动峰值加速度为 206.7gal, 坝体为全断面碾压混凝土结构, 坝体上游坡面由直立面和 1:0.15 斜坡面组成, 下游坡面 1:0.75, 主河床坝段永久横缝间距按照 15m 进行分隔, 左右岸坝肩阶地永久横缝间距按照 20m 进行分隔, 坝体碾压混凝土工程量为 210 万 m^3 , 为降低工程造价, 坝体采用“金包银”结构形式, 坝体上下游面水位变化区采用二级配碾压混凝土

($\text{R}_{180}200\text{W}10\text{F}300$) 作为防冻防渗结构, 坝体内部采用三级配碾压混凝土 ($\text{R}_{180}150\text{W}4\text{F}200$), 为减少或降低大体积碾压混凝土温度裂缝, 在施工中采取优化配合比降低水化热、混凝土拌制和运输中进行预冷、坝内通冷却水等多种措施, 有效降低坝体内部温度上升、降低与外界环境温度差距, 预防和减少混凝土温度裂缝的产生, 为碾压混凝土快速升层起到积极有效的作用。

二、优化混凝土施工配合比

大体积碾压混凝土配合比要求在保证混凝土强度及 VC 值的前提下, 尽可能提高矿物及粗、细集料的掺量, 同时降低混凝土单位水泥掺量, 减少水灰比, 降低水泥总发热量, 降低成品混凝土体积收缩比, 预防和减少温度裂缝的产生, 本工程在混凝土中大量掺加粉煤灰, 同时为保证混凝土和易性满足施工需求, 在碾压

作者简介:

朱宝荣 (1982.04—), 男, 汉族, 陕西西安人, 大学本科, 高级工程师, 研究方向: 工程建设项目管理 (安全、质量、经营、进度等相关)、抽水蓄能等新能源规划、施工、管理等;
杨新 (1983—), 女, 河南南阳人, 工程师, 研究方向: 水利工程建设。

混凝土原材料中掺入石粉，在保证混凝土强度的前提下，减少水泥用量，降低混凝土总发热量。

表1 碾压混凝土原材料选择

序号	材料名称	材料特征
1	水泥	“天山牌”P·O42.5普通硅酸盐水泥
2	粉煤灰	玛纳斯电厂Ⅰ级粉煤灰
3	粗骨料	片麻花岗岩碎石分档料，粒径为5～20mm； 20～40mm；40～80mm
4	细骨料	地产天然砂
5	人工石粉	采用地产粗集料生产的石屑加工而成，粒径小于 0.16mm
6	外加剂	新疆五杰化工厂PMS-3缓凝高效减水剂、PMS- NEA3引气剂

针对混凝土升温中最关键的水泥掺量及水化热控制，试验室对P·O42.5普通硅酸盐水泥进行3d和7d水化热检测分析，同时对粉煤灰物力力学性能进行试验检测。

表2 水泥热学性能检测表

材料名称	水化热（J/g）	
	3d	7d
P·O42.5普通硅酸盐水泥	213.0	271.5

表3 粉煤灰物力力学性能检测表

材料名称	密度（g/cm ³ ）	细度（%）	需水量比（%）	含水量（%）	烧失量（%）	28d强度比（%）
Ⅰ级粉煤灰	2.19	7.0	93	0.23	2.75	88.7

根据原材料性能试验成果，优化后碾压混凝土配合比中上、下游二级配RCC（R₁₈₀200W10F300）粉煤灰掺量为84.8kg/m³，坝体内部三级配RCC（R₁₈₀150W4F200）粉煤灰掺量为94.3kg/m³，同步降低水泥掺量最少至62.9 kg/m³。

表4 主要碾压混凝土配合比参数表

混凝土	水胶比	材料用量（kg/m ³ ）								外加剂（%）	
		水泥	粉煤灰	砂	石粉	小石	中石	大石	水	减水剂	引气剂
R ₁₈₀ 200W10F300	0.45	127.1	84.8	711		534	801	/	95	0.9	0.12
R ₁₈₀ 150W4F200	0.56	62.9	94.3	641	56	439	586	439	88	0.9	0.07

三、基础约束区 RCC 温升控制

设计规定基础允许温差是指在基础约束范围内混凝土允许最高温度与稳定温度之差，参考规范及资料，基础强约束区在0L～0.2L范围内，基础弱约束区在0.2L～0.4L范围内，非约束区在0.4L以上区域，其中L为浇筑块长边长度（m），按照主河床坝段进行温控计算，基础强约束区RCC允许温度差为12℃，基础弱约束区RCC允许温差为14.5℃^[1]。

本工程受地理位置和气候条件影响，RCC施工期为每年4月～10月，结合坝体设计允许最高温度计算，RCC在基础强约束区设计允许最高温度为19℃～22℃，在基础弱约束区设计允许最

高温为21.5℃～24.5℃。

表5 碾压混凝土重力坝坝体设计允许最高温度 单位：℃

部位	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月
强约束区	19	20.5	22	22	22	20.5	19
弱约束区	21.5	23	24.5	24.5	24.5	23	21.5

四、控制浇筑层厚度

根据坝体结构尺寸，上游直立面采用3m×3m钢模板，下游1:0.75斜坡面采用2张3m×1.875m钢模板进行拼装，按照坝体浇筑仓高度3m进行控制，碾压层厚0.3m，即铺筑10层为1仓，对连续浇筑上升的坝体，且浇筑高度大于0.5L时，允许上下层温度差在15℃～18℃。浇筑块侧边长期暴露区域应提高上下层温度差要求。

RCC根据气候变化情况控制每一仓间歇时间，高温季节施工按照每升层5～10层间歇3d～7d进行控制，低温季节施工按照每升层10～20层间歇3d～7d进行控制。

五、水管冷却对坝内温升的控制

为控制RCC重力坝坝体内部最高温度控制要求，在RCC施工阶段，分坝段按照层高1.5m间距进行埋设，冷却水管按照蛇形方式布置，其中上、下游二级配区域水管转弯半径为0.5m，坝体内部三级配区域水管转弯半径为0.75m，为确保坝内冷却水管循环出水温度满足设计要求，冷却水管不允许接头，单根长度不宜大于250m，进出水口做好标记，且冷却水管距离坝体上下游边线不得小于2m，进水、出水管均由大坝下游面或坝体内部廊道引出，禁止由坝体迎水面引出水管^[2]。

初期通冷水时间在RCC浇筑完成后12小时开始通水，流量控制在20～25L/min，控制坝体混凝土降温速度≤1℃/d，间隔12小时变换通水方向，连续通水时间不少于20d，冷水水温与混凝土温度差不应超过22℃。

中期通冷水时间应根据坝内温度测量仪器实际数值进行调整，一般9月份开始对当年5月～8月期间浇筑的混凝土进行通冷水降温，10月份开始对当年4月和9月浇筑的混凝土进行通冷水降温，通水水温与混凝土内部温度差不应大于20℃，流量控制在20～25L/min，通水时间20～30d，并控制混凝土降温速度≤1℃/d。

待坝体内部混凝土温度趋于稳定后，进行冷却水管回填灌浆，并将外露水管进行切除，回填灌浆采用P·O42.5普通硅酸盐水泥，灰水比为0.5:1，灌浆压力为0.3MPa。

六、RCC 坝体越冬层面保温防护

根据工程所在地地理及气候特征，年极端最高温度40.1℃，极端最低温度为-49.8℃，最大冻土深度为1.75m，为保证混凝土表层在冬季极端低温气候条件下不至遭受冻害，必须做好坝体混凝土越冬保温防护，先在坝体越冬层面铺设一层塑料薄膜（厚度0.6mmm）隔离水分，再铺设2层厚度为2cm的聚乙烯保温被覆盖，再在其上铺设13层厚度为2cm的保温棉被，最后采用一层三防帆布进行防风、防雪保护，顶部采用沙袋压盖，为防止越冬层

水利工程防渗技术及其应用分析

顾黎明

苏州创元建设工程有限公司，江苏 苏州 215000

摘 要： 水利工程防渗技术是确保水体安全与资源有效利用的关键手段。随着水利建设的不断推进，防渗技术的研究与应用日益受到重视。通过分析传统防渗材料与新型复合材料的特点，探讨了膜材料、混凝土防渗、土工布及其在坝体、渠道和水库等不同水利工程中的应用效果。此外，针对防渗技术面临的挑战，如材料耐久性、施工工艺及经济性，提出了相应的改进措施和未来发展方向，以提高水利工程的安全性和经济性。

关 键 词： 水利工程；防渗技术；材料应用；施工工艺；经济性

Analysis of Anti-seepage Technology in Water Conservancy Projects and Its Application

Gu Liming

Suzhou Chuangyuan Construction Engineering Co., Ltd. Suzhou, Jiangsu 215000

Abstract： Anti-seepage technology in water conservancy projects is a crucial means to ensure water safety and effective resource utilization. With the continuous advancement of water conservancy construction, the research and application of anti-seepage technology are increasingly valued. This paper explores the characteristics of traditional anti-seepage materials and new composite materials, discussing the application effects of membrane materials, concrete anti-seepage, and geotextiles in different water conservancy projects such as dams, canals, and reservoirs. Additionally, in response to the challenges faced by anti-seepage technology, such as material durability, construction technology, and economy, corresponding improvement measures and future development directions are proposed to enhance the safety and economy of water conservancy projects.

Keywords： water conservancy engineering; anti-seepage technology; material application; construction technology; economy

引言

水利工程作为国家基础设施的重要组成部分，其安全性和可靠性直接影响到人们的生活和生态环境。防渗技术在水利工程中扮演着至关重要的角色，关系到水资源的有效管理与保护。近年来，随着新材料的不断涌现和施工工艺的进步，防渗技术面临着前所未有的发展机遇与挑战。深入探讨这些技术的应用与优化，不仅可以提升水利工程的整体效能，还能为实现可持续发展目标提供有力支持。

一、水利工程防渗技术的基本原理与分类

水利工程防渗技术旨在有效控制水体渗漏，确保水资源的安全与有效利用。其基本原理是通过物理、化学或生物方法，阻止水分的透过，从而实现了对水体的保护。防渗技术的实施不仅能防止水资源的浪费，还能保护周围生态环境，避免水体污染和土壤侵蚀^[1]。

防渗技术可以根据其工作原理和材料类型进行分类。首先，从工作原理上看，防渗技术可以分为物理防渗和化学防渗两大类。物理防渗主要通过物理屏障的构建来实现水分的隔离。这类技术通常采用土工布、膜材料、混凝土等材料，利用其不透水性来阻止水分的渗透。而化学防渗则是通过施加化学药剂，改变土壤的物理化学性质，提升其防渗性能。这种方法常用于处理复杂

地质条件下的渗漏问题，具有较高的适应性和灵活性。

根据使用的材料，防渗技术可分为传统材料与新型材料。传统防渗材料主要包括粘土、混凝土等，这些材料在实际应用中广泛使用，具有较好的经济性和可操作性。然而，随着水利工程的不断发展，传统材料的局限性逐渐显现，尤其是在耐久性和施工便捷性方面。为此，研发新型防渗材料成为行业关注的重点。

新型复合材料的出现为防渗技术带来了革命性的变化。这些材料结合了多种优良特性，既能提供高强度和耐久性，又具备优良的施工性能。例如，聚合物基复合材料不仅具备良好的防水性能，还具有优异的柔韧性，能够适应复杂的施工环境。此外，现代防渗技术也越来越多地采用智能化的施工方法，如自动化控制系统和远程监测技术，进一步提高了工程的安全性和经济性。

综上所述，水利工程防渗技术涵盖了丰富的原理和多样的材

料选择。随着科学技术的不断进步，这一领域有望实现更高效的水资源管理和更可靠的环境保护^[2]。

二、传统防渗材料的应用与局限性

传统防渗材料主要包括粘土、混凝土、砂石等，这些材料在水利工程中广泛应用，以有效防止水分渗漏，确保水资源的安全与可靠性。粘土因其优良的防渗性能而被广泛使用。粘土颗粒之间的微小缝隙能够阻止水分的透过，同时其相对较低的成本使其成为许多水利工程的首选材料。在堤坝、渠道以及水库等工程中，粘土的填充和压实可以有效构建防渗屏障，降低水体渗漏率^[3]。

混凝土作为另一种常见的防渗材料，其优点在于强度高、耐久性强。混凝土防渗结构通常用于大型水利设施，如大坝和水池。这种材料不仅能够承受巨大的水压力，还能抵御外部环境的侵蚀。通过合理的配比和施工工艺，混凝土可以达到良好的密实性，进而提高其防渗性能。然而，混凝土的防渗效果在一定程度上受其配合比、养护条件及施工工艺的影响，导致在某些情况下可能存在渗漏问题。

虽然传统防渗材料在水利工程中具有一定的优势，但也存在局限性。首先，粘土的防渗效果在水压较大或含水量过高的环境中可能会降低，其稳定性和防渗能力受限于环境条件。其次，混凝土的脆性较大，容易出现开裂，尤其是在温差变化较大的地区。这些裂缝不仅影响结构的整体安全性，还可能导致水体渗漏，从而引发一系列生态和安全问题^[4]。

传统材料在施工过程中通常需要较长的时间进行养护，这对工程进度造成了一定的影响。而且，粘土和混凝土的可持续性問題也逐渐受到关注，随着资源的逐渐枯竭，寻找更环保、更高效的防渗材料成为亟待解决的课题。

尽管传统防渗材料在水利工程中依然占据重要地位，但其应用局限性促使科研人员和工程师不断探索新型防渗材料和技术，以期提高防渗效果，降低水资源的损失，确保水利工程的安全与可持续发展^[5]。

三、新型复合材料在防渗技术中的创新应用

防渗技术在不同类型的水利工程中应用广泛，其有效性和适用性得到了多项实证研究的验证。通过分析各类水利工程的具体案例，可以深入了解不同防渗技术的实施效果及其优化策略。

在水库建设中，防渗技术的应用尤为关键。研究表明，采用新型复合材料（如聚合物基防渗膜）能显著降低水库的渗漏率。例如，某大型水库在建造过程中，使用了土工膜作为防渗层。通过对比施工前后的水位变化及渗漏量监测，发现水库的渗漏率降低了70%以上，水资源利用效率得到了显著提升。这一成功案例证明了新型材料在实际工程中的有效性，尤其是在面临复杂地质条件时。

在渠道防渗技术的实证研究中，传统材料与新型材料的比较

也展示了明显的差异。在某条输水渠道的改造工程中，采用了高密度聚乙烯（HDPE）土工膜进行防渗。监测数据显示，经过防渗处理后，该渠道的水损失率大幅下降，水流稳定性得到增强。此外，研究还指出，使用土工布进行复合防渗处理，不仅提高了整体防渗效果，还延长了渠道的使用寿命。这些结果表明，综合应用多种防渗材料，能够实现更高效的水资源管理。

在坝体建设中，防渗技术同样扮演着重要角色。通过对某大型土坝的监测研究，发现采用高强度混凝土结合粘土防渗层的设计，能够有效降低渗漏风险。在长时间的运行监测中，坝体的稳定性与安全性得到了有效保障。这一案例表明，在坝体建设中，合理设计防渗结构与材料的组合，是确保坝体安全的重要措施。

对于灌溉系统，防渗技术的研究也呈现出积极成果。在某农业灌溉项目中，通过引入先进的防渗膜技术，灌溉系统的水分利用率提升了40%。监测结果表明，防渗膜的应用有效防止了土壤水分的流失，降低了灌溉成本。这一实证研究为农业水资源管理提供了重要参考^[6]。

综上所述，防渗技术在不同水利工程中的实证研究展示了其多样化的应用潜力。通过对各种防渗材料与技术的综合运用，可以有效提升水资源的利用效率与工程安全性。未来，随着材料技术的进一步发展，防渗技术在水利工程中的应用将更为广泛，为可持续发展目标的实现提供更强有力的支持。

四、不同水利工程中防渗技术的实证研究

防渗技术在不同类型的水利工程中应用广泛，其有效性和适用性得到了多项实证研究的验证。通过分析各类水利工程的具体案例，可以深入了解不同防渗技术的实施效果及其优化策略。

在水库建设中，防渗技术的应用尤为关键。研究表明，采用新型复合材料（如聚合物基防渗膜）能显著降低水库的渗漏率^[7]。例如，某大型水库在建造过程中，使用了土工膜作为防渗层。通过对比施工前后的水位变化及渗漏量监测，发现水库的渗漏率降低了70%以上，水资源利用效率得到了显著提升。这一成功案例证明了新型材料在实际工程中的有效性，尤其是在面临复杂地质条件时。

在渠道防渗技术的实证研究中，传统材料与新型材料的比较也展示了明显的差异。在某条输水渠道的改造工程中，采用了高密度聚乙烯（HDPE）土工膜进行防渗。监测数据显示，经过防渗处理后，该渠道的水损失率大幅下降，水流稳定性得到增强。此外，研究还指出，使用土工布进行复合防渗处理，不仅提高了整体防渗效果，还延长了渠道的使用寿命。这些结果表明，综合应用多种防渗材料，能够实现更高效的水资源管理^[8]。

在坝体建设中，防渗技术同样扮演着重要角色。通过对某大型土坝的监测研究，发现采用高强度混凝土结合粘土防渗层的设计，能够有效降低渗漏风险。在长时间的运行监测中，坝体的稳定性与安全性得到了有效保障。这一案例表明，在坝体建设中，合理设计防渗结构与材料的组合，是确保坝体安全的重要措施。

对于灌溉系统，防渗技术的研究也呈现出积极成果。在某农

业灌溉项目中，通过引入先进的防渗膜技术，灌溉系统的水分利用率提升了40%。监测结果表明，防渗膜的应用有效防止了土壤水分的流失，降低了灌溉成本。这一实证研究为农业水资源管理提供了重要参考。

综上所述，防渗技术在不同水利工程中的实证研究展示了其多样化的应用潜力。通过对各种防渗材料与技术的综合运用，可以有效提升水资源的利用效率与工程安全性。未来，随着材料技术的进一步发展，防渗技术在水利工程中的应用将更为广泛，为可持续发展目标的实现提供更强有力的支持。

五、防渗技术未来发展趋势与改进建议

随着水资源管理需求的日益增加，防渗技术的未来发展面临着新的机遇与挑战。为应对水利工程中日益复杂的环境条件和不断变化的需求，防渗技术的发展趋势将向智能化、材料多样化和生态友好型方向迈进。

智能化防渗技术的应用将成为未来的重要发展趋势。通过引入物联网（IoT）和智能传感器技术，防渗材料能够实时监测水体的渗漏情况，及时反馈信息并采取相应的应对措施。例如，智能防渗材料可以通过自身检测渗透水分，自动修复微小裂缝，提高防渗效果。这样的技术不仅能够提高工程的安全性，还能降低维护成本和人力投入。未来，结合数据分析与人工智能，防渗系统将实现更加精准和高效的管理，提升水利工程的智能化水平^[9]。

材料的多样化将为防渗技术的进步提供更多可能性。随着新材料科学的不断发展，聚合物复合材料、纳米材料及生态材料的研发应用将愈发广泛。这些新型材料具有更优的性能，如更好的

耐久性、环境适应性和低环境影响。特别是在应对极端气候和环境污染等挑战时，新材料的应用将有效提高防渗能力。为了满足不同水利工程的需求，未来还需要加强对新型防渗材料的性能评估和适应性研究，从而实现最佳的材料选择与组合。

生态友好型防渗技术的兴起也将成为未来的重要方向。传统防渗材料在使用过程中可能对环境造成一定的负面影响，因此，发展可持续、环保的防渗材料尤为重要。例如，采用生物基材料和可再生资源的防渗技术，不仅能减少环境污染，还能在一定程度上降低材料成本。将生态工程理念与防渗技术相结合，如通过植被覆盖和土壤改良，增强土壤的自然防渗能力，既能保护环境，又能提高水利工程的生态适应性^[10]。

加强对防渗技术的政策支持与标准化建设也是未来发展的重要环节。随着防渗技术的不断发展，亟需制定相应的行业标准与规范，以确保材料的质量和施工的安全。同时，政府应鼓励科研机构与企业合作，加大对防渗技术创新的投入，为行业的可持续发展提供强有力的支持。通过不断创新和改进，防渗技术将在水利工程中发挥更加重要的作用，为可持续水资源管理贡献更大力量。

六、结语

综上所述，防渗技术在水利工程中发挥着至关重要的作用，其未来发展将朝着智能化、材料多样化和生态友好型方向迈进。通过引入先进的监测手段与新型材料，提升防渗效果，降低维护成本，同时兼顾环境保护。未来，随着政策支持与标准化建设的加强，防渗技术将为水资源的可持续管理提供更为坚实的保障，推动水利工程的安全与效益提升。

参考文献

- [1] 迟晓平, 彭小明. 水利水电工程金属结构制作安装细节质量控制 [J]. 水利水电快报, 2023, 44(S2): 24–26. DOI: 10.15974/j.cnki.slsdkb.2023.S2.007.
- [2] 张亚鹏. 水利水电工程施工质量控制的要点分析 [J]. 工程与建设, 2022, 36(6): 1744–1746.
- [3] 吴文伟, 苏昭辉, 王峰, 等. 非正规垃圾填埋场危害风险评估与治理 [J]. 环境卫生工程. 2013, (5).
- [4] 李庭坚, 刘显虎, 林建振. 高落差漂石砂卵河床围堰合龙及防渗技术研究 [A]. 中国大坝工程学会、巴西大坝委员会、西班牙大坝委员会、美国大坝委员会. 建造安全韧性绿色的国家水网之“结” [C]. 中国大坝工程学会、巴西大坝委员会、西班牙大坝委员会、美国大坝委员会: 中国大坝工程学会, 2024: 6. DOI: 10.26914/c.cnkihy.2024.030915.
- [5] 杨积喜. 浅谈农田灌溉防渗渠道衬砌施工技术 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2012(4).
- [6] 钟玉华. 论述深基坑支护技术在水利工程中的应用 [J]. 珠江水运. 2015, (16).
- [7] 董翠翠. 水利工程堤防防渗施工技术的应用探讨 [J]. 数码 – 移动生活. 2023, (7).
- [8] 崔天义, 张博, 赵博生, 等. 相邻深基坑不同开挖方式对所夹地下综合管廊的影响分析 [J]. 建筑施工. 2023, 45(8).
- [9] 蒲红霞, 贺实月, 胡沪丹, 张旭晨, 张志军, 魏新庆. HDPE柔性垂直防渗技术在历史遗留废渣原位风险管控中的应用 [J]. 环境卫生工程, 2024, 32(03): 100–104. DOI: 10.19841/j.cnki.hjwsgc.2024.03.016.
- [10] 甄玉龙. 西北寒旱区渠道新型防冻防渗结构研究 [J]. 水利技术监督. 2021, (9).

GNSS技术在工程中的应用

苏鹏, 柳郁青, 吕涛

中国水利水电建设工程咨询西北有限公司, 陕西 西安 710000

摘 要 : 随着科学技术的不断进步, 全球导航卫星系统 (GNSS) 测量技术已经成为现代工程测量领域中不可或缺的关键工具。与传统测量方法相比, GNSS技术在覆盖范围广泛、全天候作业能力、实时性强以及高精度等方面展现了显著的优势。在基础设施建设、土地测绘、交通规划、灾害监测等多个关键领域, GNSS技术的应用显著提升了工作效率和测量精度。基于此, 本文旨在深入探讨 GNSS测量技术在工程测量领域的具体应用情况。

关 键 词 : GNSS技术; 工程测量; 变形监测; GNSS连续运行基准站; 精度; 效率

Application of GNSS Technology in Engineering

Su Peng, Liu Yuqing, Lv Tao

China hydro Construction Engineering Consulting Northwest Co., LTD. Xi'an, Shaanxi 710000

Abstract : With the continuous progress of science and technology, the global navigation satellite system (GNSS) measurement technology has become an indispensable key tool in the field of modern engineering measurement. Compared with traditional measurement methods, GNSS technology shows significant advantages in terms of wide coverage, all-weather operation capability, strong real-time performance and high precision. In infrastructure construction, land mapping, traffic planning, disaster monitoring and other key fields, the application of GNSS technology has significantly improved work efficiency and measurement accuracy. Based on this, this paper aims to discuss the specific application of GNSS measurement technology in the field of engineering survey.

Keywords : GNSS technology; engineering measurement; deformation monitoring; GNSS continuous operation datum station; accuracy; efficiency

一、GNSS系统的概述

GNSS系统由卫星、地面控制系统和接收系统组成, 其基本原理是根据卫星与接收机之间的距离, 采用空间距离后方交会的方式, 获得接收机所在位置。GNSS卫星是连续在太空中运行, 为地面控制系统播发星历数据、卫星运行速度等信息的设备。部署在地面的控制系统主要用于收集卫星信号、贮存数据、处理卫星发送的观测数据, 计算卫星星历与地面的相对距离、校正电离层、对流层等大气层影响造成的误差, 并为卫星输入修正参数, 控制卫星稳定运行。接收系统是指用户使用 GNSS信号接收机 (RTK), 通过接收卫星信号和地面控制中心发送的改正参数, 获得坐标位置信息^[1]。

二、GNSS在工程测量中的应用

(一) 基础设施建设项目

在全球基础设施建设领域, 诸如道路、桥梁、隧道等重大工程的建设中, 全球导航卫星系统 (GNSS) 技术得到了广泛而深入的应用。该技术在施工放样阶段发挥着至关重要的作用, 同时在施工监测和竣工测量过程中展现出其独特的优势。通过应用实时动态测量 (RTK) 技术, 工程师们能够迅速且精确地确定施工的确切坐标, 确保整个工程严格遵循设计图纸的要求进行精确施工, 以满足既定的精度和质量标准。具体而言, 全球导航卫星系

统 (GNSS) 技术通过接收多颗卫星的信号, 提供高精度的三维坐标信息。在施工放样阶段, 工程师利用这些坐标信息, 能够迅速在施工现场标定出各个关键点的位置, 为后续施工活动提供精确的参考依据。此外, GNSS技术还可应用于施工监测, 实时监控施工过程中结构的变形和位移情况, 确保施工安全和工程质量。在竣工测量阶段, GNSS技术同样能够提供高精度的测量数据, 帮助工程师对工程的最终成果进行精确的评估和验收^[2]。

(二) 土地测绘与管理

在土地测量与管理领域, 全球导航卫星系统 (GNSS) 测量技术发挥着至关重要的作用。土地测量作为获取土地资源信息、进行土地规划和管理的基础性工作, 其效率和精度的提升对于国土资源的合理利用和保护具有重大意义。GNSS技术的应用, 使得测量人员能够在广阔的野外环境中迅速获取精确的地理坐标信息, 极大地提升了工作效率, 同时确保了数据的准确性和可靠性。以土地边界测量为例, 全球导航卫星系统 (GNSS) 技术能够迅速且精确地确定边界点的位置, 有效降低因地形复杂或视线受阻等因素导致的测量误差。此外, GNSS技术在土地资源调查、土地利用规划、土地变更测量等多个领域均展现出广泛的应用潜力。在土地资源调查中, GNSS技术能够迅速获取地形地貌的三维坐标, 为土地资源的分类和评估提供坚实的数据支持。在土地利用规划中, GNSS技术协助规划人员精确绘制土地利用现状图和规划图, 为土地资源的合理配置提供了科学依据。在土地变更测量中, GNSS技术能够实时监测土地使用情况的变化, 为土地管理提供了动态的数据支持^[3]。

（三）交通规划与管理

在全球交通规划与管理的宏伟蓝图中，全球导航卫星系统（GNSS）技术凭借其卓越性能，发挥着至关重要的核心作用。GNSS技术提供的精确地理位置信息，为规划者绘制道路网络布局 and 结构提供了强有力的技术支持。这不仅为新道路的规划与建设提供了坚实基础，更为现有道路的维护与升级提供了宝贵的参考依据。同时，GNSS技术在实时监测交通流量方面展现出显著优势，能够精确捕捉交通高峰时段的拥堵状况，深入分析交通流量的分布与变化规律，为交通流量调控提供了坚实的数据支持。在车辆导航系统领域，GNSS技术的应用使得导航设备能够提供实时路线规划与导航服务，助力驾驶员规避拥堵路段，选择最优行驶路径。这不仅极大地提升了驾驶的便捷性和安全性，还显著提高了整体交通系统的运行效率。通过优化路线选择，GNSS技术有助于减少车辆在道路上的停留时间，降低燃油消耗和尾气排放，从而在环保和节能方面也展现了其积极的贡献^[4]。

（四）灾害监测与应急响应

全球导航卫星系统（GNSS）技术在变形监测、灾害监测与应急响应领域扮演着至关重要的角色。得益于其精确的定位和时间同步能力，GNSS技术能够实时捕捉地表的细微变化，从而及时识别潜在的灾害迹象。以地震频发地区为例，GNSS系统能够实时监测地壳的微小位移，科学家通过分析这些数据，能够预测地震的发生，并采取相应的预防措施。全球导航卫星系统（GNSS）技术在地质灾害监测领域扮演着至关重要的角色，尤其在滑坡和泥石流的预警与监测方面。在地质灾害频发区域部署GNSS接收器，能够实现对地表位移的实时监控。一旦发现异常位移，系统将立即启动预警机制，为当地居民和相关部门提供宝贵的撤离时间，有效降低人员伤亡和财产损失。灾害发生后，GNSS技术同样发挥着关键作用。救援人员可以利用GNSS设备进行精准定位，迅速确定受灾最严重的区域，从而制定出最有效的救援方案。同时，GNSS技术还能救援队伍提供实时导航服务，确保他们能在复杂多变的灾害现场中迅速找到最佳救援路线。此外，GNSS技术亦可用于灾后重建的规划与实施。通过精确测量受灾区域的地形地貌变化，救援人员能够更准确地评估灾情，制定出科学合理重建计划，为灾区的恢复与重建提供强有力的技术支持。

三、GNSS技术的发展趋势

（一）高精度与实时性

随着全球导航卫星系统（GNSS）技术的不断进步，高精度和实时性已成为其发展的主要趋势之一。展望未来，GNSS测量设备将变得更加轻便、高效，能够提供更高精度的定位数据，以满足各种工程测量的需求。与此同时，实时数据传输技术的提升将使得测量结果能够实时反馈给施工人员和管理人员，从而提升工程效率和质量。

（二）多系统融合

为深入贯彻科学发展观，进一步提高全球导航卫星系统（GNSS）测量技术的定位精度与可靠性，多系统融合技术将成为该领域发展的战略方向。通过深度整合全球定位系统（GPS）、俄罗斯GLONASS系统、欧洲伽利略（Galileo）系统以及我国自

主研发的北斗（BDS）系统等多元卫星导航系统数据资源，能够有效避免单一系统潜在的误差问题，显著提升测量成果的精确度和可靠性，为测绘地理信息事业的发展提供坚实的技术支持^[5]。

（三）人工智能与机器学习

人工智能（AI）与机器学习技术的引入，将为全球导航卫星系统（GNSS）测量技术带来前所未有的革新。通过运用AI算法对海量测量数据进行深入分析与处理，能够实现更为智能化的测量结果评估与精准预测。同时，机器学习技术亦将助力于测量设备性能的优化，进一步提升数据处理的效率与精确度。

四、工程应用

（一）工程概述

双江口水电站枢纽区建立GNSS连续运行基准站，目的是为应用GNSS技术进行自动化监测建立基准；该基准站的技术原理为：GNSS基准站建设在地质条件良好的基准上，使用GNSS设备采集并修正相关卫星数据，然后利用通讯链路传回控制中心，在监测软件（T4D Control）内进行结算处理，通过三个基准点之间的基线后进行解算，独立解算出各个天线坐标及位移变化量，并设置报警阈值及报警方式，这样；既实现对基准站进行有效的监测，同时也为监测站建立后的整体自动化监测提供基准。

（二）组成

GNSS基准站系统包括：GNSS数据接收系统、供电系统、通讯系统、防雷系统和数据处理系统构成。

（三）数据处理

利用整理好的静态数据导入Trimble Business Center软件进行基线处理，同步异步闭合环检测、无约束平差，最后利用枢纽区平面监测控制网坐标系统下的TN01、TN04、TN09控制点坐标进行工地校正，最终求得GNSS连续运行基准站点在双江口水电站独立坐标系下的坐标。

（1）基线处理

根据全球定位系统（GPS）测量规范E级网要求，要求水平分量20mm，垂直分量40mm。经过处理基线处理结果完全满足规范要求详见基线处理报告（图1）。

（2）闭合差检验

经过基线处理完成后，进行同步环、异步环闭合差检验，按照规范要求水平+垂直分量小于0.5m，经过检验满足规范要求。详见控制网同步闭合环计算表、控制网异步环计算表（图2、3）。

（3）网平差计算

进行无约束平差，平面和高程小于±10mm。无约束平差后，利用双江口水电站独立坐标系下的坐标进行工地校正，通过已知点坐标解算出3个基准点在双江口水电站独立坐标系下的坐标（图3）。

（四）结论

双江口水电站枢纽区山高谷深、气象条件复杂多变，交通极为不便，GNSS连续运行基准站选点、埋设等工作难度大。经过接收信号测试，综合考虑地质、地形条件以及点位分布因素，3个GNSS连续运行基准站分别选择在相对条件较好的可尔因沟口下游侧山脊（GTB01）、下游临时桥左岸山脊（GTB01）、高尔达村

加常数a(米)		0.008		PPM		1.000		
序号	起点	终点	DX(米)	DY(米)	DZ(米)	测球距离(米)	测球距离差(毫米)	限差(毫米)
B1	GTB2	GTB1	1685.150	639.427	-257.943	1817.293	-0.835	23.204
B2	GTB2	GTB1	1685.150	639.434	-257.942	1817.294	0.835	23.204
B7	GTB3	TN01	7592.348	-642.662	2808.577	8107.651	-3.428	32.216
B8	GTB2	TN01	1508.951	182.129	370.122	1561.586	-1.208	23.054
B9	GTB1	TN01	-176.196	-457.309	628.062	796.107	-0.474	22.739
B10	GTB3	TN01	7592.352	-642.674	2808.586	8107.658	3.428	32.216
B11	GTB2	TN01	1508.954	182.117	370.121	1561.588	1.208	23.054
B12	GTB1	TN01	-176.195	-457.310	628.063	796.108	0.474	22.739
B14	GTB3	TN04	6853.449	-461.152	2016.137	7136.114	-0.041	30.321
B15	GTB2	TN04	770.049	363.657	-422.306	948.580	1.223	22.786
B16	GTB1	TN04	-915.098	-275.794	-164.375	956.903	-0.737	22.789
B18	GTB3	TN04	6853.445	-461.144	2016.151	7136.115	0.041	30.321
B19	GTB2	TN04	770.050	363.640	-422.316	948.578	-1.223	22.786
B20	GTB1	TN04	-915.100	-275.786	-164.375	956.904	0.737	22.789
B23	GTB3	TN09	5526.908	-838.551	2060.769	5926.497	1.604	28.160
B24	GTB2	TN09	-556.498	-13.757	-377.685	662.956	-0.597	22.705
B25	GTB1	TN09	-2241.637	-653.193	-119.743	2327.366	-0.294	23.566
B28	GTB3	TN09	5526.901	-838.540	2060.780	5926.493	-1.604	28.160
B29	GTB2	TN09	-556.491	-13.757	-377.684	662.957	0.597	22.705
B30	GTB1	TN09	-2241.639	-653.189	-119.745	2327.366	0.294	23.566

图1控制网重复性基线较差计算表

加常数 a(米)		0.008		PPM		1.000		
合格与不合格判定标准		水平差+垂直差		闭合环边数		3		
序号	线路点号	DX 闭合差(毫米)	DY 闭合差(毫米)	DZ 闭合差(毫米)	长度闭合差(毫米)	环总长度(米)	相对闭合差(ppm)	备注
1	TN04-GTB2-GTB1	-0.1	0.5	-1.2	1.3	3741.091	0.35	合格
	闭合差限差(毫米)	1.8	1.8	1.8	3.1			
2	TN01-GTB1-GTB2	0.9	0.7	-1.4	1.8	4181.720	0.2	合格
	闭合差限差(毫米)	1.8	1.8	1.8	3.1			
3	TN09-GTB1-GTB2	1.5	-1.5	-0.4	3.1	4831.367	2.4	合格
	闭合差限差(毫米)	1.8	1.8	1.8	3.2			
4	GTB1-GTB2-GTB3	2.4	-2.1	-2.1	3.9	16497.247	2.5	合格
	闭合差限差(毫米)	2.6	2.6	2.6	4.5			
5	TN04-GTB2-GTB3	2.9	-3.5	-3.3	4.2	14714.876	2.5	合格
	闭合差限差(毫米)	3.5	3.5	3.5	4.6			
6	TN01-GTB2-GTB3	2.4	2.4	4.1	3.7	16290.581	0.3	合格
	闭合差限差(毫米)	4.6	4.6	4.6	4.4			
7	TN09-GTB2-GTB3	3.0	-2.9	-2.9	2.8	13236.192	2.4	合格
	闭合差限差(毫米)	3.3	3.3	3.3	4.1			
8	TN09-GTB2-TN04	1.8	1.6	1.7	2.8	3003.141	2.0	合格
	闭合差限差(毫米)	1.8	1.8	1.8	3.1			
9	TN04-GTB2-	-0.6	-1.0	0.9	1.5	3613.463	0.41	合格

图2控制网同步闭合环计算表

(GTB03)。GNSS连续运行基准站位置选择合理,观测墩和保护房的修建满足设计要求;按B级网精度要求,将3个基准站与6个IGS永久跟踪站(CHAN长春、TWTF台湾、BJFS北京、JFNG武汉九峰、HKWS香港、LHAZ拉萨)进行联测,在ITRF框架下进行三维约束平差获得ITRF框架下坐标。将新建的3个GNSS

参考文献

[1]张盟. GNSS测绘技术的特点及其在工程测绘中的运用[J]. 科技资讯. 2021,19(36).
[2]王辉. GNSS测量技术在地下水监测工程中的应用探讨[J]. 内蒙古水利. 2023,(5).39-40.
[3]堵景林, 卢金存, 刘海南, 等. 基于GNSS的工程测量方法研究[J]. 黑龙江科学. 2022,13(10).
[4]杨龙. GPS技术在建筑测绘领域中的应用探索[J]. 智能建筑与工程机械. 2022,4(6).
[5]郑一涛. GNSS测绘技术在工程测绘中的应用[J]. 中国建筑金属结构, 2023,(02): 99-101.

后处理矢量统计
参考因子: 1.00
冗余号: 75.00
先验验量: 1.74

控制坐标比较

显示的值是控制坐标减去平差坐标。

点ID	Δ东坐标(米)	Δ北坐标(米)	Δ高程(米)	Δ高度(米)
GTB1	0.005	0.002	?	-0.059
GTB2	-0.003	-0.002	?	0.032
GTB3	0.005	0.004	?	-0.070

控制点约束

点ID	类型	东σ(米)	北σ(米)	高度σ(米)	高程σ(米)
固定 = 0.000001(米)					

已平差网格坐标

点ID	东坐标(米)	东坐标 误差(米)	北坐标(米)	北坐标 误差(米)	高程(米)	高程 误差(米)	约束
GTB1	0.047	0.001	-0.001	0.001	?	?	
GTB2	1780.232	0.001	365.367	0.001	?	?	
GTB3	7559.361	0.001	-2792.827	0.001	?	?	
TN01	266.778	0.001	750.094	0.001	?	?	
TN04	952.013	0.001	-97.077	0.001	?	?	
TN09	2327.396	0.001	-8.962	0.001	?	?	

通过自由平差得到的坐标仅用于网内部精度分析,不应用作最终结果。

file:///C:/Users/libao/AppData/Local/Temp/TBCTemporal/a1jhhghg.gcg/a391f6cd.html 2019/11/6

图3无约束网平差报告

连续运行基准站点与双江口水电站枢纽区3个平面监测控制网点TN01、TN04、TN09进行组网联测,获取GNSS连续运行基准站点在双江口水电站独立坐标系下的坐标(与枢纽区平面监测控制网坐标系一致)。

综上所述,双江口水电站枢纽区GNSS连续运行基准站建设过程中,点位选择合理,使用仪器设备先进可靠,作业过程规范,相关内业数据处理科学、严密,系统经过调试、试运行,总体运行情况良好,没有故障发生,在技术、功能等方面达到了设计和规范要求,成果质量合格,满足双江口水电站枢纽区GNSS自动化监测的需要。

五、结语

全球导航卫星系统(GNSS)测量技术在工程测量领域的广泛应用,显著推动了测绘行业的技术革新与进步。随着技术的持续优化与创新,GNSS技术必将持续提升测量精度、提高工作效率以及降低相关成本方面发挥其关键作用,为我国工程建设和社会发展提供坚实的技术支持。

浅析做好水务企业中纪检工作的重点与面临的挑战

刘杰

天津水务集团滨海水务有限公司，天津 300456

摘要： 水务企业在保障公众用水安全与环境保护中扮演重要角色，然而，行业内的腐败与不正之风对企业的可持续发展造成威胁。因此，强化纪检工作显得尤为重要。文章探讨了水务企业纪检工作的现状、重点及面临的挑战，分析了如何通过加强廉政教育、完善监督机制和强化执纪问责，提升纪检工作效果。同时，识别了外部环境复杂性、内部管理薄弱和资源不足等挑战，旨在为水务企业的纪检工作提供有效的对策与建议。研究结果为提升水务企业的廉洁治理提供了理论支持与实践参考。

关键词： 水务企业；纪检工作；腐败治理；监督机制；廉政教育

Analysis on the Key Points and Challenges of Discipline Inspection in Water Enterprises

Liu Jie

Tianjin Water Group Binhai Water Co., Ltd. Tianjin 300456

Abstract： Water enterprises play an important role in ensuring public water safety and environmental protection. However, corruption and malpractices in the industry pose a threat to the sustainable development of enterprises. Therefore, it is particularly important to strengthen discipline inspection work. This article explores the current status, key points, and challenges of discipline inspection work in water enterprises. It analyzes how to enhance the effectiveness of discipline inspection by strengthening anti-corruption education, improving the supervision mechanism, and strengthening discipline execution and accountability. Simultaneously, it identifies challenges such as the complexity of the external environment, weak internal management, and insufficient resources, aiming to provide effective countermeasures and suggestions for the discipline inspection work of water enterprises. The research results provide theoretical support and practical reference for improving the integrity governance of water enterprises.

Keywords： water enterprise; discipline inspection work; corruption governance; supervisory mechanism; anti-corruption education

引言

水务企业在提供安全、可靠的水资源服务中具有关键作用，然而，行业内腐败现象的出现严重影响了企业的声誉和运营效率。因此，强化纪检工作成为当务之急。纪检工作不仅有助于维护企业的清廉形象，还能提升管理效能与公众信任。文章旨在探讨水务企业中纪检工作的重点及其面临的挑战，通过分析现状、提出对策，为水务企业的廉洁治理提供实用建议。研究方法包括文献分析与案例研究，确保理论与实践相结合。

一、水务企业中纪检工作的现状

水务企业在社会经济发展中扮演着至关重要的角色，纪检组织更是要充分发挥监督保障执行，促进完善发展作用，明确工作定位、系统谋划工作，通过对本企业管理人员和部门履行职责情况进行监督检查，发现问题、提高企业的管理水平和在市场竞争中的竞争力，确保水资源的安全、稳定和高效供应，以获取最大的经济效益。对水务企业中纪检工作的现状进行分析，可以帮助识别问题并制定有效的改进措施。

1. 纪检工作的发展历程

改革开放初期，水务行业的管理体制较为松散，廉政建设缺

乏系统性。随着国家对反腐败工作的重视，尤其是近十年来，水务企业的纪检工作逐渐走向规范化和制度化。通过设立专门的纪检机构，明确其职责和权限，逐步形成了以自查与互查相结合的监督机制。此外，国家出台了一系列反腐败法规和政策，为水务企业的纪检工作提供了法律依据和制度保障^[1]。

2. 当前纪检工作的基本模式

目前，水务企业的纪检工作基本模式可以概括为以下几个方面：

（1）制度建设：水务企业普遍建立了完善的廉政制度，明确了各级管理者和工作人员的廉洁从业要求。这些制度涵盖了招投标、采购、工程、财务管理等多个方面，有效降低了腐败发生的风险。

(2) 监督机制：企业内部普遍设立纪检监察机构，立足“监督的再监督”职责定位，聚焦中心任务、围绕主责主业关键环节，找准服务保障切入点着力点，坚持问题导向、精准监督、靶向发力，持续提升监督质效，充分发挥监督保障执行、促进完善发展作用。同时，还通过外部审计、群众监督等多种方式，形成多层次的监督网络，聚焦监督合力，构建以党内监督为主导，促进各类监督贯通协调的制度机制，强化对权力监督的全覆盖、有效性，把监督之“制”的制度优势不断转化为监督之“治”的治理效能。

(3) 教育培训：水务企业通过开展警示教育、业务培训以及组织开展廉洁文化活动等方式，提升员工业务素养、筑牢思想防线、强化风险防控、自觉增强廉洁自律意识，通过案例分析和警示教育，增强员工对腐败行为的警惕^[2]。进而达到以案为鉴、以案促改、以案促治。

3. 存在的主要问题

尽管水务企业的纪检工作取得了一定成效，但仍面临诸多挑战和问题：

(1) 执行力度不足：一些企业在制度执行过程中存在选择性执纪现象，导致纪检工作流于形式，未能真正形成有效的制约。

(2) 资源配置不均：部分中小水务企业由于人力、物力资源不足，纪检工作开展难度较大，缺乏专业的纪检人员和必要的技术支持，影响了监督的有效性。

(3) 内部管理不规范：水务企业内部管理机制尚不健全，部分岗位职责不明、流程不顺畅，导致纪检工作难以全面覆盖，监督盲区较多。

综上所述，水务企业的纪检工作虽有进展，但在制度执行、资源配置和内部管理方面仍需加强。持续改革与创新是提升纪检效果的关键，确保行业健康发展的重要保障。

二、水务企业中纪检工作的重点

在水务企业中，纪检工作的有效开展对预防和治理腐败具有重要意义。为了提升纪检工作效果，应重点关注以下几个方面：

1. 加强廉政教育与意识提升

廉政教育是水务企业纪检工作的重要基础。首先，企业应定期组织针对全体员工的廉政培训，通过案例分析、政策解读等方式，提高员工的反腐意识和法律素养。培训不仅要关注理论知识，还应结合实际案例，使员工能够认识到腐败行为对企业和社会的危害。其次，建立健全廉政文化，营造良好的工作氛围。通过宣传典型的反腐倡廉事例和优秀的廉洁从业榜样，引导员工树立正确的价值观和职业道德，增强其自我约束能力。此外，企业应鼓励员工对不正之风进行监督与举报，为其提供安全的反馈渠道，提升其参与反腐败的积极性^[3]。

2. 完善监督机制与制度建设

有效的监督机制是纪检工作的核心。首先，水务企业应根据自身实际情况，建立健全内部监督机制，确保各项业务和管理活动受到有效监管。这包括制定明确的监督流程，设立专门的监察岗位，定期对重要环节进行审计和检查。同时，企业应加强与外

部监管机构的合作，形成信息共享和联合监督的合力。此外，完善的制度建设是监督机制有效运作的保障。水务企业应定期审视和更新各项规章制度，确保其与时俱进、科学合理，切实降低腐败风险。特别是在招投标、采购等关键环节，需建立透明、公正的流程，防止利益输送和腐败现象的发生。

3. 强化执纪问责与惩治腐败

强化执纪问责是落实纪检工作的重要手段。水务企业应建立健全问责机制，对违规行为坚决追责，形成“有责必问、问责必严”的良好氛围。首先，企业应明确各级管理者的责任，设立相应的绩效考核指标，将廉洁从业情况纳入考核体系，促使管理者自觉履行党风廉政建设和反腐败责任。其次，建立快速反应机制，对举报的腐败行为及时调查和处理，确保问题得到有效解决。此外，水务企业应通过公开曝光典型案例，震慑潜在的腐败分子，增强全体员工的敬畏意识和自律意识^[4]。

三、水务企业面临的主要挑战

水务企业在推进纪检工作中，面临着多重挑战，这些挑战既来源于外部环境的复杂性，也与内部管理的薄弱环节及纪检力量的不足密切相关。

1. 外部环境的复杂性

水务企业的运营环境充满不确定性和复杂性。首先，随着经济全球化和市场化进程的加快，水务行业面临着多方面的竞争和压力。企业在追求经济效益的过程中，可能会因为盲目追求短期利益而忽视了合规经营和廉洁自律，从而为腐败行为提供了滋生的土壤。其次，水务企业在与政府、社会及其他利益相关者的关系中，常常面临利益冲突。这种情况下，如何在维护企业利益与遵守廉洁原则之间找到平衡，成为了一大挑战。此外，社会对水务企业的监督意识逐渐增强，公众对企业透明度和责任感的要求日益提高，企业若未能及时回应和适应这种变化，将面临声誉受损的风险^[5]。

2. 企业内部管理的薄弱环节

水务企业内部管理的薄弱环节是制约纪检工作有效开展的另一大难题。首先，部分企业在管理体系上尚不完善，岗位职责不够明确，导致在一些关键环节缺乏必要的监督和制衡机制。例如，在招投标和采购环节，内部审核和监督程序的不健全，容易引发权力寻租和利益输送。其次，企业内部管理人员的廉政意识和专业素养参差不齐，部分员工对纪检工作的重要性认识不足，导致监督执行不到位。此外，企业在绩效考核方面未能充分将廉洁从业纳入考核标准，造成管理者在追求业绩时对廉洁问题的漠视，这无疑为腐败行为的发生提供了可乘之机。

3. 纪检力量与资源的不足

纪检力量与资源的不足是水务企业在开展纪检工作时常遇到的现实问题。许多中小型水务企业由于规模和财力的限制，缺乏专门的纪检人员和相应的技术支持，导致纪检工作无法深入开展。此外，即使在一些大型企业，纪检机构的设置也往往相对薄弱，难以承担起全面监督和审查的职责。其次，纪检人员的专业培训和知识更新不够及时，导致其在面对新情况、新问题

乏足够的应对能力。此外，部分企业对纪检工作的重视程度不够，未能为纪检工作提供足够的经费和资源保障，直接影响了纪检工作的开展效果^[6]。

综上所述，水务企业在纪检工作中面临的主要挑战包括外部环境的复杂性、内部管理的薄弱环节以及纪检力量与资源的不足。正视挑战并采取针对性措施，是提升水务企业纪检工作水平、促进健康可持续发展的关键。

四、提升水务企业纪检工作效果的对策

为有效提升水务企业的纪检工作效果，需要从多个维度入手，采取切实可行的对策。

1. 增强纪检工作的独立性与权威性

水务企业应明确纪检机构的独立性，确保其不受其他部门的干扰。通过设立独立的纪检监察部门，明确其职责和权力，使其能够对管理层进行有效监督。此外，要保障纪检人员的专业性与权威性，定期开展培训，提升其业务能力和职业素养。在执纪过程中，坚决落实“有责必问、问责必严”的原则，确保对违规行为进行严格追责，以树立纪检工作的权威性和公信力^[7]。

2. 建立健全信息共享机制

信息共享机制是提升纪检工作效率的重要保障。水务企业应建立内部信息平台，将各部门的业务流程、廉政风险点及相关数据进行整合和共享。这不仅有助于提高对腐败行为的预警能力，也能促进不同部门间的协同工作。此外，企业还应加强与外部监管机构的沟通与合作，定期交流工作经验和信息，以形成合力，共同打击腐败行为^[8]。

3. 推动技术手段与纪检工作的融合

在数字化时代，技术手段的应用为纪检工作带来了新的机遇。水务企业可以利用大数据、人工智能等技术，提升对财务数据和业务流程的监测和分析能力。例如，利用数据挖掘技术，实时监控交易活动，识别异常行为，从而提前发现潜在的腐败风险。此外，建立在线举报平台，使员工能够匿名举报，保障其信息安全和隐私。这不仅提高了举报的积极性，也增强了对腐败行为的打击力度^[9]。

五、案例分析与经验借鉴

在水务企业的纪检工作中，成功案例与失败案例都为行业提供了宝贵的经验与教训，通过对这些案例的分析，可以更好地指导后续的反腐败工作。

1. 成功案例分析

以某省级水务集团为例，该企业在近年来建立了一套完善的纪检工作体系。通过设立独立的纪检监察部门，该集团明确了纪检工作的职责与权限，确保其在企业决策和管理中拥有足够的独立性和权威性。此外，该企业定期开展廉政教育，通过线上与线下结合的方式，提高员工的反腐意识。尤其是在招投标和项目审批过程中，企业实施了电子化管理，确保全过程透明可查。结

果，该企业在近两年内未发生重大腐败案件，内部员工的满意度和公众的信任度显著提升。

2. 失败案例反思

与上述成功案例形成鲜明对比的是某地水务公司在招投标过程中出现的腐败案件。该公司由于对纪检工作的重视不够，未能建立有效的监督机制。在一次大型供水工程的招投标中，因内部管理混乱，相关负责人利用职务之便，与投标方串通，通过不正当手段获取巨额利益。事发后，该公司受到严厉查处，涉案人员被依法追责，企业形象遭受重创。这一案件暴露出企业在监督机制、透明度和廉政教育方面的缺失，教训深刻。

3. 经验总结与启示

从成功与失败的案例中，可以总结出几个关键经验。首先，建立独立、权威的纪检监察机构是保障反腐败工作有效性的基础。其次，透明的管理流程与信息共享机制能够有效防范腐败行为的发生，确保各项业务操作的公开性和公正性。再次，定期的廉政教育与培训不可或缺，可以增强员工的法律意识和道德责任感，形成良好的企业文化。最后，要及时总结反腐败工作的成效与不足，借鉴成功经验，反思失败教训，持续改进纪检工作，推动水务企业的健康、可持续发展^[10]。

通过对这些案例的深入分析，水务企业可以更加有效地制定纪检工作策略，从而在反腐败斗争中取得更大的成效。

六、结语

文章研究了水务企业中纪检工作的重点及面临的挑战，发现增强独立性、完善监督机制和应用技术手段是提升纪检效果的关键。成功案例展示了有效纪检对企业发展的积极影响，而失败案例则提醒我们反腐工作的复杂性和重要性。展望未来，水务企业应持续优化纪检体系，加强廉政教育与信息透明度，以实现更高水平的反腐败工作，促进行业的健康可持续发展。

参考文献

- [1] 朱永珍. 抓好水务企业党风廉政建设 打造纪检监察新局面[J]. 东方企业文化, 2015(17):325-326.
- [2] 孙军, 白莹莹. 运用效能监督推动水务企业高质量发展成效[J]. 现代企业, 2022(11):124-126.
- [3] 郭清科. 智慧水务建设及应用[J]. 机电技术, 2024,(1).
- [4] 侯亚芹, 司建伟, 喻秋丰. 城市污水热能利用方式的探讨[J]. 科技创新导报, 2010,(29).
- [5] 张金松, 李旭, 张炜博, 等. 智慧水务视角下水务数字化转型的挑战与实践[J]. 给水排水, 2021,(6):1-8.
- [6] 庞晓莹, 李七顺. 智慧水务在供水企业管理中的应用[J]. 陕西水利, 2022(10):104-105.
- [7] 王爱杰, 许冬件, 钱志敏, 等. 我国智慧水务发展现状及趋势[J]. 环境工程, 2023,41(9).
- [8] 熊雄. 企业财务管理与内部控制问题应对策略[J]. 中国集体经济, 2022(34):57-59.
- [9] 王雪松. 循环经济背景下水务企业价值链优化研究 -- 以北控水务为例[D]. 湖北: 湖北工业大学, 2024.
- [10] 任海静, 马一伟. 我国智慧水务的发展现状及前景[J]. 建设科技, 2021,(6).

大型水利工程全过程工程咨询管理实践与探讨

丘锋

楚雄州大海波水库管理处, 云南 楚雄 675000

摘 要 : 水利工程前期工作和建设管理运营, 咨询服务提供的技术、智力支持, 可以高效推动完善工程策划、设计工作, 解决建设施工过程中的技术难题。本文针对大型水利工程各管理阶段的特点及要求, 总结其对全过程咨询管理的需求, 分析咨询管理体系的构建, 如何开展好咨询服务, 全过程工程咨询管理在水利工程中的优化应用进行探讨。

关 键 词 : 大型水利工程; 全过程咨询管理; 实践应用

Large Water Conservancy Project Full-process Engineering Consulting Management Practice and Discussion

Qiu Feng

Dabaipo Reservoir Management Office, Chuxiong, Yunnan 675000

Abstract : Technical and intellectual support provided by consulting services can efficiently promote the improvement of engineering planning and design work, and solve technical problems in the construction process. This paper summarizes the demand for full-process consulting management for each management stage of large water conservancy projects, analyzes the construction of the consulting management system, and discusses how to provide good consulting services and optimize the application of full-process engineering consulting management in water conservancy projects.

Keywords : large water conservancy project; full-process consulting management; practical application

引言

全过程工程咨询管理, 让工程的每个环节都可以得到专业性的技术支持保障, 使工程建设能提前规避风险, 及时解决问题。大型水利工程规模巨大、建设时间周期长、社会影响广、与民生关系紧密, 对工程策划、决策、施工、验收、运营都有着十分严格的要求, 近年来全过程工程咨询管理在大型水利工程项目中得到了广泛应用和发展, 对提升工程质量, 确保工程顺利竣工发挥了关键作用^[1]。本文结合实践, 在大型水利工程中如何进行全过程工程咨询管理, 推动工程咨询管理模式的优化, 完善咨询管理的工作方法, 提升大型水利工程建设水平进行探讨。

一、大型水利工程项目对全过程工程咨询管理需求

(一) 全过程工程咨询管理内涵

全过程工程咨询管理是对工程咨询采取全过程管理, 是将过去项目统筹管理的监理、招标代理、环境统筹影响咨询等咨询项目, 按照不同阶段需求进行打包, 为工程规划、设计、经济管理、安全管理等方面提供智力支持, 实现工程全生命周期指导。从管理角度, 全过程工程咨询管理实现了多种工程咨询服务的融合, 可以为工程提供全面、集成的咨询服务。

(二) 全过程工程咨询管理在大型水利工程中的优势

1. 传统咨询方式的问题

大型水利工程具有参建单位众多、工程规模体量巨大、工程建设工期紧、管理协调任务繁重的特点, 在工程建设的每个

阶段, 都有十分复杂的咨询需求。由于工程不同阶段的专业性分类多, 采用碎片化的工程咨询管理方式, 会消耗巨大的金钱、时间、人力成本^[2]。水利工程项目单一咨询服务的模式下, 参与咨询服务的单位增多, 在组织协调统筹不力, 资源整合不足的情况下, 容易出现管理漏洞和管理缺陷, 不利于推动工程建设。同时, 大型水利工程一般由政府出资建设, 承担着较强的社会责任, 其产生的社会效益、经济效益和环境效益都会受到广泛关注, 而传统的服务模式下, 分散的咨询服务机构在整体角度分析工程建设的内外部因素方面普遍存在系统性整体性思维不足, 导致提供的咨询比较片面, 对高效推动工程建设不利。

2. 全过程工程咨询管理优势

工程咨询管理与工程建设的管理、决策关系密切, 通过采取

全过程工程咨询管理，咨询服务可以从工程建设全生命周期出发提供服务，并实现过去不同类型咨询服务的整合，提供集约化的咨询服务管理。全过程工程咨询管理应用于大型水利工程，可以通过一次招标确定咨询管理企业，就能够获得全方位的技术支持，减少了工程施工建设中的不确定性因素。在服务流程上，通过联合体方式建立的项目咨询团队，以总咨询师牵头、专业咨询师辅助管理的咨询服务框架，能够形成咨询服务人员之间的高效衔接，既控制了大方向，同时也保证了扁平化，从宏观和微观角度都优化了服务品质，更能让咨询师在充分信息分享的支持下，提供更为科学合理完善的咨询建议^[3]。

（三）工程建设各阶段具体业务需求

1. 决策阶段

决策阶段负责对大型水利工程的体量规划、投资估算、预算编制进行方案比选，工程咨询管理人员需要提供包括环境效益、造价、社会效益等方面的咨询报告，方便建设方完成科学决策。

2. 设计阶段

工程咨询管理单位应对设计方案展开分析，论证不同方案的可行性、提出优化建议等，同时还需要计算不同设计方案的造价和有效性。解决设计方案中的问题和不足，减少工程施工建设期间的设计变更，为工程施工的顺利开展，提供良好基础。

3. 招标阶段

全过程咨询单位需要根据工程施工特点开展项目的招标策划，确定施工资质需求、设备需求，完成对招标活动的规划^[4]。针对工程中存在边界难以区分、工作面重叠的情况，根据施工的要求进行打包，明确技术要求和施工标准，减少招标工作量，提升工程建设整体效益。

4. 施工阶段

咨询管理机构需要对施工的进度、质量、成本、安全进行管理，同时也要监督合同的监督合同履行情况，减少工程施工建设的纠纷，为高质量工程施工提供基础，保证施工的顺利进行。因此，咨询单位需要深入施工现场，时刻了解工程施工进度，确定施工现场状况，有效解决施工期间的技术问题。

二、大型水利工程全过程工程咨询管理组织结构

针对全过程工程咨询管理内容多、专业性强、覆盖广的特点，管理层级设计需要面向所有参建单位，确保工程施工的各个单位能够紧密配合，形成管理合力，通过统一部署和统筹协调，推动工程建设顺利进行。为此，顶层设计中应将管理分为三层，自上而下分别是项目决策层、项目管理层和项目执行层。

项目决策层负责项目在决策方面的咨询，帮助大型水利工程项目建设方进行策划和设计，参与工程项目论证，提供周围环境、经济、社会等信息，对大型水利工程建设后，对当地的生态、气候、农业、经济等长期作用进行预测，提供有关建议；项目管理层获得决策层授权后，对工程技术提供咨询，包括项目设计、造价、监理等方面；项目执行层为具体的负责人员，在工程建设期间直接负责工程施工建设的各项事务^[5]。

三、不同阶段工程咨询管理重点

（一）决策阶段

1. 管理勘察单位

工程咨询管理单位需要根据水利工程建设项目的具体内容、设计方案、质量、进度、成本方面的要求，确定勘察设计任务书，明确勘察工作的要求，从而有效地管理勘察单位，确保勘察工作的高效和质量。为此，首先要明确可行性研究阶段、设计阶段、施工阶段的勘察内容，然后根据具体要求审查勘察单位的资质和经验，完成对勘察单位的筛选，同时制定详细的勘察计划，确定勘察工作中的详细技术要求，定期开展针对中间成果的专题咨询会，解决勘察中的技术问题，推动勘察作业的执行。在每个阶段的勘察工作结束后，咨询服务单位还要审核勘察报告的准确性和完整性，保证勘察结果能够为项目的设计和施工提供充分准确的地质、地形、水文等基础数据和信息，保证工程建设方案的实施，提升工程的科学依据。

2. 确定工程外部边界条件

工程外部的边界条件包括项目的用地范围、环境影响、水资源利用、相邻关系等，大型水利工程具有跨度大、工程关键点多等特征，对周围影响较大，因此确定工程的边界条件有助于减少工程建设过程中和周围的冲突。咨询单位需要充分分析和了解与周围的设施冲突，比如铁路、公路、各类管线等，其次还要通过市政规划部门分析与城市规划的冲突，例如当地土地规划、绿地规划，避免影响城市的发展^[6]。因此，咨询单位需要收集周边的各类信息，并与政府部门、地方社区、环境保护机构等多方进行沟通协调，确定各类用地的属性，必要时还要开展走访调研，充分了解现场状况，根据信息完成对方案的优化和修正，确保项目用地许可的顺利获取，为项目的有序开展建立基础。

3. 针对关键技术进行实验研究

大型水利工程技术较为复杂，因此在建设阶段会面临有关技术问题，咨询单位需要分析关键技术问题，并开展技术创新活动，解决关键技术问题，保证工程质量。针对问题的探究中，需要以功能可靠、安全运营为出发点，制定技术应用课题，例如分析水工结构的稳定性、探究新材料应用的必要性和方法、试验全新的施工工艺等^[7]。针对复杂问题，应专门开展数值模拟和水工模型试验，确定设计方案和关键技术，形成可以指导后续的设计和施工的结果，降低工程技术风险。另外，各类评估、试验不仅需要从技术角度考虑还要从成本效益方面进行分析，在满足技术、安全方面要求的同时，也要确保在成本方面的可行性。

（二）设计阶段

1. 功能结构优化

咨询单位应根据工程的建设目标、要求对设计图纸和说明书开展审查工作，分析设计方案是否能够满足既定需求，指出其中存在的不足，并进行功能、结构的优化。例如需要分析关键工程结构的安全性、稳定性和美观性，结合施工对结构设计进行优化，保证大型水利工程各个系统的效率和协同性。比如需要关注

输水管道的过渡过程,针对存在的水锤问题进行防护,对工作井将进行必要的调整,有效推动设计创新,采用新技术和新材料降低施工难度,提升工程的整体性能和寿命周期成本^[8]。

2. 投资控制

投资控制工作中,咨询单位需要做好投资内容的细化,综合考虑工程施工现场的地质条件、运行安全、采购价格等优化投资方案^[9]。在设备的选型中,应该考虑施工难度、施工效率、施工风险,选择价格合理、性能满足要求的施工设备,还可以结合设备优化设计,减少施工成本,节约工程项目的总体投资。同时,咨询单位,咨询单位还需要密切关注设计变更对项目总投资的影响,加强对设计变更的审核,避免工程建设投资超出预算范围。因此咨询单位在分析成本效益时,应该坚持面向全生命周期的原则,提出合理的成本控制措施。

3. 优化进度管理

进度控制中,咨询单位应该结合技术、施工方案流程优化完善进度管理,有效缩短工程的施工工期,优化设计进度计划设计。通过开展设计方案的审查,识别可能导致延误的因素,增加和更换施工设备实现调整,提升工程项目施工的进度。同时,咨询单位应强化设计单位和其他单位之间的协调性,保证设计方案合理,为施工阶段打下良好的基础^[9]。

(三) 施工、竣工阶段

1. 监督工程质量控制

工程质量是工程项目的生命线,尤其对于大型水利工程而言,工程质量决定着工程安全,因此咨询单位需要在施工阶段需要加强对工程质量的监督和控制。结合设计方案,咨询单位需要帮助建设单位制定严格的质量管理体系,包括开展施工材料、工艺的审核,确定质量检查标准、工程施工验收标准等。咨询单位的监理人员需要在监理工作中充分贯彻相关质量标准,对发现的问题及时提出整改建议,互动跟踪整改结果,确保工程施工满足质量和技术规范要求。

2. 加强现场安全管理

由于大型水利工程施工现场高空作业较多,会大量使用各类重型设备,咨询单位需要制定完善的施工现场安全管理制度,由监理人员负责,推动安全规定的执行。施工期间,监理需要对关键风险点定期进行安全检查,发现安全隐患后及时处理。为了提升施工人员的整体安全意识,咨询单位还要专门组织施工人员进行安全教育和培训,明确施工中的主要安全风险和防范方法,确定工程施工中的安全管理要求,增强施工人员的安全意识,确保施工现场的人员安全和设备安全。

3. 强化施工费用管理

大型水利工程的建设规模较大,合理的施工费用管理可以极大程度上降低工程建设成本,提升工程的综合效益。为此,咨询单位应该在施工阶段需要加强对施工费用的监控,确保费用支出在预算范围内。为此,首先要加强对工程施工的施工合同管理,严格管理回款情况,确保工程施工拥有可靠的现金流;加强设计变更审核,减少额外工程量导致的成本增加。还可以通过优化管理模式降低工程施工的管理费用,最大程度控制施工成本。竣工验收期间,应该对不同工程费用管理完成状况进行汇总,分析超支、正常、结余的情况,做好费控数据的统计工作^[10]。

四、结论

全过程工程咨询管理覆盖项目决策、设计、施工、竣工多个阶段,实现对工程全生命周期的支持,对项目的顺利推进具有重要意义。大型水利工程投资规模大、建设周期长、技术复杂、现场人员协调量大,使用全过程工程咨询管理能够推动大型水利工程的顺利建设,减少工程建设风险。工程咨询单位应合理进行服务模式的设计,深入工程建设的不同阶段和环节,加强对技术、法律、合同方面的支持,强化不同单位协调,减少施工过程中的问题和阻碍,提升工程建设的整体水平。

参考文献

- [1]高前进,杨文,周军国.推行全过程水利工程咨询服务的思考及建议[J].山东水利,2020(10):56-57..
- [2]李正焜,叶飞,李尚.基于BIM5D技术的工程项目全过程管理研究[J].浙江水利水电学院学报,2020,32(6):53-58.
- [3]黄东杰,吕呈欢,张健焯.大型水利工程全过程工程咨询管理实践与探讨[J].人民长江,2023,54(S2):179-184.
- [4]祁宝奎,任泽俭,景胜.水利工程项目全过程咨询服务的思考与建议[J].山东水利,2022,(11):47-48+51.
- [5]王鹏.全过程工程咨询服务在重大水利建设项目中的运用与探索[J].甘肃科技,2022,38(10):22-24+28.
- [6]叶锦峰,鲁新生,黄东杰,等.大中型水利水电项目全过程工程咨询创新理论与实践[M].北京:中国建筑工业出版社,2023.
- [7]汪才华.全过程工程咨询的发展问题与解决对策[J].招标采购管理,2020(1):48-51.
- [8]陈金海,陈曼文,杨远哲,等.建设项目全过程工程咨询指南[M].北京:中国建筑工业出版社,2018.
- [9]丁士昭.全过程工程咨询的概念和核心理念[J].中国勘察设计,2018(9):31-33.
- [10]贺春雷,孙正东.重大水利项目推行全过程工程咨询探讨[J].中国水利.2019(8):35-36.

建筑给排水节能节水措施探析

宋永建

中铁工程设计咨询集团有限公司济南设计院，山东 济南 250002

摘 要： 当今全球资源愈发稀缺，环境问题日益突显。建筑行业是能源、水资源消耗的重头领域，其中给排水系统的节能节水重要性与之俱增。它贯穿建筑从建造到使用的全阶段，既影响居民生活体验，又左右运营成本。当下，超定额用水极为常见，日常洗漱、清洁时大量水被浪费；管网因质量差、老化等频繁漏损，水资源默默漏掉；供水系统因选型不合理、调控不佳，能耗一直降不下来，严重阻碍建筑绿色发展。所以，找出行之有效的节能节水办法极为紧迫，这关联经济收益，更是助力环保与资源可持续利用的关键行动。基于此，本文章对建筑给排水节能节水措施进行探讨，以供相关从业人员参考。

关 键 词： 建筑给排水；节能节水；具体措施

Analysis of Energy-Saving Measures of Building Water Supply and Drainage

Song Yongjian

China Railway Engineering Design Consulting Group Co., LTD. Jinan Design Institute, Jinan, Shandong 250002

Abstract： Nowadays, the global resources are becoming increasingly scarce, and the environmental problems are becoming increasingly prominent. The construction industry is the main field of energy and water consumption, in which the importance of energy saving in the water supply and drainage system is increasing. It runs through the whole stage from construction to use, which not only affects the residents' living experience, but also affects the operating costs. At present, excessive water is extremely common, and a large amount of water is wasted during daily washing and cleaning; due to poor quality and aging; the water supply system, the energy consumption is poor, which seriously hinders the green development of buildings. Therefore, it is extremely urgent to find out the effective ways to save energy and water, which is related to economic benefits, and is a key action to help environmental protection and sustainable utilization of resources. Based on this, this article discusses the energy saving and water saving measures of building water supply and drainage for the reference of relevant practitioners.

Keywords： building water supply and drainage; energy saving and water saving; specific measures

引言

建筑给排水系统作为城市水资源消耗的重要组成部分，其节能节水措施对于提高水资源利用效率、减少能源消耗具有重要意义。当前，我国城市水资源短缺问题日益严重，而建筑给排水系统中存在的水资源浪费现象不容忽视。

一、建筑给排水节能节水的重要性

节水能缓解水资源紧张局势，随着城市化进程加快，用水需求攀升，建筑作为用水大户，减少浪费、提升用水效率，可保障居民生活及生产用水的稳定供应。节能效果显著，给排水系统能耗在建筑能耗里占比不小，优化水泵运行、管网输送等环节，降低电力消耗，削减运营成本，助力建筑达成节能减排目标，契合可持续发展理念，也为应对气候变化、建设绿色生态城市贡献关键力量^[1]。

二、建筑给排水现存的问题

（一）超定额用水现象严重

在众多建筑场景里超定额用水极为突出，居民住宅方面部分家庭节水意识淡薄，日常洗漱、洗衣时水龙头常开，洗浴时长无节制，大量清水白白流走。公共场所更是重灾区，学校、商场卫生间，常有学生、顾客洗漱后不关紧水龙头，水流长时间淌出。商业建筑的景观用水未遵循科学补水计划，过量补充新水维持景观效果，使得用水量远超定额标准^[2]。

作者简介：宋永建（1971.01-），男，汉族，江苏省连云港市东海县，大学本科，副高，研究方向：建筑给排水及消防、市政给排水、水处理方面设计工作。

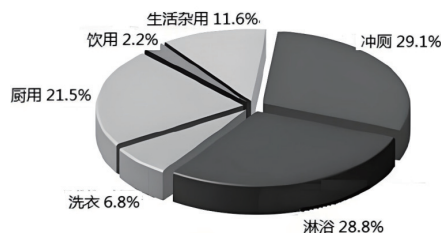


图1 居民日常用水分配比例

（二）给排水管网漏损

管材质量参差不齐，部分劣质管材投入使用，抗腐蚀、抗压性能差，短时间就出现裂缝、砂眼，致使管道渗漏。管道接口处理不当也很常见，施工中工人技艺不精，密封材料涂抹不均、接口衔接不紧实，水流顺势渗出^[3]。老旧建筑管网老化严重，长期受水流冲刷、土壤腐蚀，管壁变薄，微小破损不断累积，漏水点增多。一些埋地管道受地面沉降、车辆碾压影响，出现破裂，而地下管网检修难度大，难以及时发现并修复，造成水资源持续流失^[4]。

（三）供水系统能耗大

水泵选型不合理是主因之一，常出现“大马拉小车”状况，实际用水需求远低于水泵额定流量、扬程，水泵长期低效运行，空耗电能。供水压力调控不精准，为保证远端用水点水压，供水端压力普遍设置过高，近端用户水压超需求，多余压力消耗在阀门节流上，徒增能耗。二次供水设施缺乏有效节能管理，水箱水位控制粗放，水泵频繁启停，不仅耗能，还加速设备磨损。而且部分供水设备老化，电机等关键部件能效低，运行时耗电量远超正常标准^[5]。

三、建筑给排水节能节水的具体措施

（一）优化给水系统设计

精准计算建筑用水定额是关键起始点，依据建筑类型综合考量人员数量、用水器具配置，科学确定日均、高峰用水需求，避免设计供水能力冗余。合理分区供水能显著节能，高层住宅依楼层压力需求分低、中、高区，采用不同扬程水泵或减压阀，减少高压供水覆盖范围，降低能耗。推广使用变频调速水泵，能依据实时用水量智能调节转速，用水量少则低速运转，避免传统定速泵全天满负荷运行浪费电能。在管材选用上倾向内壁光滑的管材，降低水流阻力，减少输送能耗，而且耐用抗腐蚀，长期维持良好输水性能，配合合理管径设计，让水流速处于经济区间，进一步削减能耗^[6]。



图2 变频调速水泵

（二）强化管网检漏与维护

建立定期巡检机制，组建专业管网巡检团队，按照既定路线与周期，排查地上可见管网，重点查看管道连接处、阀门部位有无渗漏迹象，及时标记异常点。利用听漏仪等专业设备检测地下管网，选在夜间安静时段，沿管道走向精准捕捉漏水声，定位隐蔽漏点^[7]。对于老旧管网，要制定分批更新计划，依据管材寿命、破损频率评估更换优先级，换上优质耐用管材，减少渗漏隐患。施工环节把控好管道安装质量，管道接口严格按规范操作，密封材料涂抹均匀饱满，做好打压试验，测试管网承压与密封性能，验收合格才能交付使用。搭建管网监测系统，在关键节点安装流量、压力传感器，实时数据传输至管理平台，一旦出现流量突变、压力骤降，迅速排查漏损情况^[8]。



图3 管道试压现场图

（三）雨水收集与利用

屋面雨水收集系统建设较为普遍，在建筑屋面设置合适坡度与导流槽，搭配初期弃流装置，降雨初期含杂质较多的雨水先排走，后续洁净雨水导入储水池，储水池材质需防腐防渗，池体容量依据当地降雨特征、建筑用水需求计算。收集的雨水经沉淀、过滤、消毒处理，可用于景观补水，小区景观湖、喷泉定时补充雨水，替代自来水，维持景观生机^[9]。也能用于绿化灌溉，铺设滴灌、微喷灌系统，精准输送雨水滋养绿植，降低绿化用水成本。在建筑周边设置雨水渗透池、下凹式绿地，让多余雨水自然渗透回地下补充地下水，削减地表径流，还能缓解城市内涝，形成雨水收集、利用、生态调节的良性循环，节省水资源^[10]。

（四）中水回用系统构建

优先选取沐浴排水、洗衣排水这类污染程度较低的优质杂排水，因其所含污染物少，后续处理难度低。处理工艺要适配，采用生物处理搭配物化处理流程，先是生物接触氧化，利用微生物分解有机物，再经混凝沉淀去除悬浮物、色度，后续过滤、消毒保障中水水质达标。中水管道系统独立铺设，采用不同颜色管材与标识，区分于自来水管，防止误接误用，管道材质选耐蚀、耐老化的，保障长期稳定输水。中水用途规划清晰，用于冲厕是常见方向，写字楼、商场卫生间马桶连接中水管道，大幅减少优质水消耗；也可用于建筑内洗车、拖地等杂用，在满足卫生标准下，替代自来水，挖掘水资源重复利用潜力，实现节水节能^[11]。

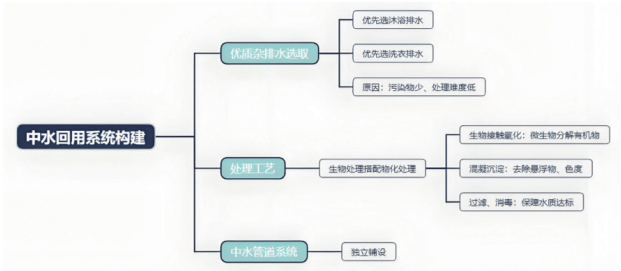


图4 中水回用系统构建示意图

（五）智能管控与用水量

安装智能水表实现精准计量，分户、分区水表数据实时上传，涵盖居民家庭、楼层、建筑区域，管理者能远程监控各单元用水量，异常用水波动及时察觉，排查跑冒滴漏或超量用水行为。搭建用水管理平台整合数据，关联不同用水单元信息，绘制用水趋势

图，分析用水高峰低谷，辅助优化供水调度，按需调整水泵运行策略，削峰填谷降低能耗。引入智能控制阀门，依据设定程序与实时数据自动开关，如定时关闭景观用水阀门，非灌溉时段截断绿化用水；在用水超限时，远程操控关阀警示，避免浪费持续^[12]。

四、结束语

总而言之，建筑给排水的节能节水是一项综合性、系统性工程，每一项措施都紧密关联，不可或缺。从精准设计到精细运维，从资源回收再利用到智能化管控，各环节协同发力，方能收获成效。在未来，随着技术迭代、理念更新，建筑给排水节能节水还有极大提升空间，需要从业者持续钻研、积极落实，为构建资源节约型、环境友好型社会持续添砖加瓦。

参考文献

[1] 李志军. 建筑给排水节能节水措施探析 [J]. 安徽建筑, 2022, 29(07): 80-81+122.
[2] 王传德. 建筑给排水工程中节水节能技术措施分析 [J]. 江西建材, 2021, (07): 129-130.
[3] 何瑜. 绿色建筑给排水系统节水节能技术措施浅析 [J]. 江西建材, 2021, (02): 33-34.
[4] 刘美强. 建筑给排水设计中的节能节水措施研究 [J]. 建材与装饰, 2020, (21): 86-87.
[5] 黄春华. 建筑给排水节能节水技术措施 [J]. 居舍, 2019, (34): 78.
[6] 建筑给排水节能节水措施探析 [J]. 李志军. 安徽建筑, 2022(07): 80-81+122.
[7] 建筑给排水设计的节能节水措施 [J]. 仲继业. 房地产世界, 2021(15): 48-50.
[8] 建筑给排水设计中节能节水措施的应用分析 [J]. 杨顺鹏. 砖瓦, 2021(08): 113-114.
[9] 建筑给排水工程中节水节能技术措施分析 [J]. 王传德. 江西建材, 2021(07): 129-130.
[10] 建筑给排水设计中的节能节水措施研究 [J]. 张呈. 中国住宅设施, 2020(07): 48-49.
[11] 康元五; 白玲. 试述建筑给排水工程中节能节水技术的有效应用 [J]. 中小企业管理与科技 (下旬刊), 2021(10): 185-187.
[12] 仲继业. 建筑给排水设计的节能节水措施 [J]. 房地产世界, 2021(15): 48-50.

不同采样方法对地表水中亚硝酸盐氮检测结果的影响分析

热依扎·金恩斯

新疆维吾尔自治区阿勒泰水文勘测中心, 新疆 阿勒泰 836500

摘 要： 本研究重点比较了纳海姆斯酸砌块显色法与重氮-偶联反应法在亚硝酸盐氮测定中的应用及其检测精度并探讨了采样时间、频次及样品保存处理等因素对结果的干扰。实验设计中采用了分光光度法对亚硝酸盐氮进行定量分析并利用精密度与偏性试验评估了各采样方法的误差来源及其对测量结果的影响。研究表明, 合理的采样方式和标准化的实验流程能显著提高亚硝酸盐氮的测定精度。为进一步提高测量结果的可靠性, 研究建议优化样品处理与分析方法并结合现有检测技术进行改进来为地表水环境监测提供更为精确的技术支持。

关 键 词： 亚硝酸盐氮; 采样方法; 分光光度法; 纳海姆斯酸砌块显色法; 重氮-偶联反应法; 水质监测

Analysis of the Influence of Different Sampling Methods on the Detection Results of Nitrite Nitrogen in Surface Water

Reyizha · Jinensi

Altay Hydrologic Survey Center, Xinjiang Uygur Autonomous Region, Aletai, Xinjiang 836500

Abstract： In this study, the application and accuracy of Naheimic acid block color development method and diazo-coupling reaction method in the determination of nitrite nitrogen were compared, and the interference of sampling time, frequency and sample preservation treatment was discussed. In the experimental design, spectrophotometric method was used to quantitatively analyze nitrite nitrogen and precision and bias tests were used to evaluate the error sources of each sampling method and its influence on the measurement results. The results show that reasonable sampling methods and standardized experimental procedures can significantly improve the accuracy of nitrite nitrogen determination. In order to further improve the reliability of the measurement results, it is suggested to optimize the sample processing and analysis methods and improve the existing detection technology to provide more accurate technical support for surface water environmental monitoring.

Keywords： nitrite nitrogen; sampling method; spectrophotometry; naheims acid block color development method; diazo-coupling reaction method; water quality monitoring

引言

（一）研究背景与意义

亚硝酸盐氮 ($\text{NO}_2\text{-N}$) 作为一种常见的水体污染物, 其高浓度存在会导致水体富营养化并严重影响水质和生态环境以及会对人体产生毒害作用。分光光度法应用于亚硝酸盐氮的检测, 但由于影响测定结果的因素较为复杂, 且在不同实验环境下可能导致结果的不一致并影响水质监测的准确性和可靠性。所以研究不同采样方法对亚硝酸盐氮检测结果具有重要的科学价值和应用意义。

（二）研究目的与任务

本研究探讨不同采样方法对地表水中亚硝酸盐氮检测结果的影响并重点分析不同采样方法在测定精度、准确度、偏差等方面的差异。实验验证不同采样方式的优缺点来评估其对亚硝酸盐氮检测结果的影响并探索最适合的采样方法。研究任务包括: 1) 基于常用采样方法的选择与实验设置, 分析各方法在亚硝酸盐氮检测中的适用性与优劣; 2) 采用精密度与偏性试验来进行对比分析; 3) 结合统计方法对实验数据进行可靠性验证并提出优化的采样方法和检测方案。

（三）研究方法概述

本研究将亚硝酸根离子与 4-氨基苯磺胺反应生成重氮盐, 再与 N-(1-萘基)-乙二胺二盐酸盐偶联生成红色染料并借助测定 540 nm 波长下的吸光度值来有效测量亚硝酸盐氮的浓度。试验中将设置不同的标准溶液浓度、天然水样和加标水样, 分别采用不同的采样方法进行测试并利用 F 检验和方差分析来评估各方法在实际测定过程中的影响与精确度。实验数据的对比与分析将为亚硝酸盐氮的监测提供更加科学可靠的采样方法和测定方案并提升水质监测工作的准确性与效率。

作者简介: 热依扎·金恩斯 (1994.12—), 女, 哈萨克族, 新疆布尔津县人, 工作单位: 新疆维吾尔自治区阿勒泰水文勘测中心, 助理工程师, 毕业院校: 江西师范大学, 化学学士学位, 研究方向: 水质检测。

一、研究方法 with 实验设计

（一）采样方法的选择与影响因素

1. 阿勒泰地区水质特征

阿勒泰地区位于中国新疆北部，水资源主要来源于山区冰雪融水、河流、湖泊及地下水。但由于地形多样和气候条件特殊，阿勒泰的水质特点表现出明显的季节性变化。冬季水体中溶解氧含量较高，春夏季节由于降水增多和农业灌溉活动的加强导致水体中的亚硝酸盐氮会显著上升。

2. 采样时间与频次

水体中的亚硝酸盐氮浓度受温度、降水、农业灌溉和工厂排放等多种因素的影响，且随季节和日常变化表现出周期性波动。为确保采样数据的代表性，应在不同季节和气候条件下进行采样，反映浓度变化。在动态变化大的水体中，应增加采样频次，尤其在污染源频繁排放或环境压力大的地区，以获取足够的数据支持分析。建议在阿勒泰地区的水源区、农业灌溉区及污染排放口附近的主要水体进行不同时间段的采样。

3. 样品保存与处理

采样后的水样应冷藏于4℃以下，避免亚硝酸盐氮的挥发和分解。如果不能立即分析，可使用抑制剂如氯化钠或硫酸防止微生物生长，避免样品成分改变。样品容器应选择不易反应的塑料或玻璃容器，以防影响结果。长期保存的水样需进行质量控制，确保保存过程中的潜在误差被及时发现和纠正。不同水体类型有特殊要求，地下水样需避免氧化，湖泊水样应避免与氧气接触。长期储存的水样应尽量缩短储存时间，并定期分析，以确保数据的准确性。

（二）分光光度法的分析原理与操作

1. 亚硝酸盐氮的测定原理

亚硝酸盐氮检测采用分光光度法，通过水样中亚硝酸盐氮与试剂反应生成有色化合物，测量其在540nm波长下的吸光度来推算浓度。反应中，亚硝酸根离子与4-氨基苯磺酰胺生成重氮盐，再与N-(1-萘基)-乙二胺二盐酸盐反应形成红色化合物，吸光度越大表示亚硝酸盐氮浓度越高^[1]。此方法能测定低至0.003mg/L的亚硝酸盐氮，适用于环境水质监测，操作简便，设备要求低。

2. 纳海姆斯酸砌块显色法的原理与操作

纳海姆斯酸砌块显色法是一种常用的亚硝酸盐氮检测方法。该方法通过亚硝酸盐氮与纳海姆斯酸在酸性环境中反应生成红色显色剂，产生的红色化合物在540nm波长处具有吸光特性，其吸光度与亚硝酸盐氮浓度成线性关系^[2]。操作时，将水样与标准化的纳海姆斯酸溶液混合，加热反应后，在540nm处测量吸光度并与标准曲线比对，以确定亚硝酸盐氮浓度。该方法灵敏度高，适合低浓度检测，反应快速，操作简单，适用于现场环境监测。但需要注意，温度、pH值和试剂浓度等因素可能影响反应，复杂水质中的其他物质也可能干扰结果。

3. 相关仪器与试剂配置

在测定过程中，使用10mm光程比色皿提高灵敏度，适用于低浓度亚硝酸盐氮检测。实验需使用标准实验器具如容量瓶、移液管等，确保样品与试剂体积精准。标准溶液配制为1.00mg/L，

通过将5mL 100mg/L标准溶液稀释至500mL。显色剂由4-氨基苯磺酰胺和N-(1-萘基)-乙二胺二盐酸盐组成，需在磷酸介质中溶解，混匀后立即使用。显色反应时，pH值保持在1.8±0.3，反应后在540nm波长下测量吸光度。为确保实验精度，需进行精密密度偏性试验并通过回收率与标准差验证准确性。回收率应接近100%，总标准差小于5%。

（三）精密度与偏性试验设计

1. 试验设计与标准溶液配

本次实验设计依据分光光度法进行亚硝酸盐氮的测定以及采用了标准溶液浓度设定、仪器选择和操作流程的严格规定。在实验中，亚硝酸盐氮的测定需配制浓度为1.00 mg/L的标准溶液。将5 mL亚硝酸盐氮中间标准液（浓度100 mg/L）加入500 mL容量瓶中，加入约100 mL去离子水，摇匀后用水稀释至标线。还需特别注意容器清洁与溶液的彻底混匀，每个溶液的配制与使用都需要严格按照规定的程序进行来避免因操作失误导致的实验偏差。

2. 回收率与标准差检验方法

对不同浓度样品的回收率和标准差进行测试，能够判断分析方法是否存在偏差并帮助优化实验条件来提高检测结果的可信度。回收率是对加标水样和天然水样进行比对来反映测定方法对分析物的恢复能力。回收率计算公式为： $P = \left(\frac{(X-U) \times V_0}{C \times V} \right) \times 100\%$ ，其中的X为加标后水样的含量（mg/L），U为天然水样的含量（mg/L），V₀为测定水样所需的体积（mL），C为标准溶液的原始浓度（mg/L），V为样品体积（mL）。

标准差检验是对多个独立样品的检测结果进行统计分析，计算标准差来评估检测方法的精确性。若标准差较小，说明分析方法具有较高的精度并能够稳定地反映样品中亚硝酸盐氮的真实含量。标准差计算公式为： $St = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$ ，其中的x_i为第i次测量的结果， $\bar{x}$ 为所有测量结果的平均值，n为测量次数。标准差的大小反映了测量结果的波动范围。对于天然水样，因其浓度较低，标准差通常较大，但如果标准差超过所测浓度的5%，则说明该检测方法需要进一步优化。

二、采样方法对亚硝酸盐氮检测结果的影响分析

（一）不同采样方式的对比

传统的纳海姆斯酸砌块显色法简便，但容易受到样品处理过程中的变化或污染影响，从而降低分析结果的准确性。相比之下，重氮-偶联反应法具有更高的灵敏度和稳定性，能够有效减少外界干扰，提高测量精度。对比这两种方法时，关键要关注其精度、操作简便性及适应不同环境的能力。

纳海姆斯酸砌块显色法通常能在短时间内获得较为准确的结果，但其操作过程中容易受到人为因素和环境条件的影响。而重氮-偶联反应法则适用于长期监测和复杂样品的分析，能够提供较为稳定的检测结果，但其仪器要求较高，操作相对复杂。以下为使用这两种方法检测不同浓度水平水样的实验结果，见表1。

表1：不同采样方法对亚硝酸盐氮检测结果的影响

样品 编号	检测方法	测量浓度 (mg/L)	平均值 (mg/L)	标准差 (mg/L)	回收率 (%)	测量精 度 (%)
1	纳海姆斯酸 砌块显色法	0.015	0.014	0.001	98.2	4.4
2	重氮-偶联 反应法	0.017	0.016	0.001	99.1	3.8
3	纳海姆斯酸 砌块显色法	0.03	0.032	0.002	97.8	5.5
4	重氮-偶联 反应法	0.029	0.028	0.001	98.3	3.9

(二) 影响因素分析

水样在采集后若未能及时保存或处理，亚硝酸盐氮会由于自然降解而丧失其浓度，这使得最终测定结果无法反映水体的真实污染状况。水体中的溶解氧、PH值以及其他离子的浓度会对亚硝酸盐的稳定性产生重要影响^[3]。在较高PH值的环境下，亚硝酸盐氮可能会转化为其他形态并导致测量误差。分光光度计的波长准确性和灵敏度以及比色皿的清洁程度会影响亚硝酸盐氮测定的精度。显色剂的配制需严格按照规定步骤进行，标准溶液的浓度需要精确的计算来确保其准确性，否则会影响回收率的计算和数据的可靠性^[4]。

(三) 采样过程中常见误差来源与控制策略

(1) 采样误差的类型与原因

采样误差指的是在采样过程中由于各种外部和内部因素影响，导致的试样与实际样品存在偏差的现象，且可分为系统误差和随机误差两类^[4]。系统误差是由实验设计、操作方法或仪器校准不当引起的，这类误差表现出规律性和可预测性；随机误差源于无法预见和控制的偶然因素，在实验过程中无法完全避免且随着测量次数的增加。采样误差可能由操作人员在采样、配制标准溶液、加样等环节中的不规范操作所引起的。

(2) 如何减少或消除误差对检测结果的影响

在分光光度法测定中，应严格按照试剂配制和显色剂添加量操作，避免人为误差。所有设备需定期校准和维护，确保最佳工作状态并减少仪器误差。实验室温湿度应保持在范围，样品保存条件也要严格控制，以防降解或污染。为减少误差，可多次实验并计算平均值，减少随机误差。同时，定期对操作人员进行培训，确保掌握最新操作技巧和仪器维护方法。

(四) 统计分析与实验数据对比

(1) F检验与方差分析的应用

方差分析(ANOVA)是常用的统计工具，用于分解不同实验组之间的数据变异，揭示是否存在显著差异，评估实验方法的可靠性和可重复性。在亚硝酸盐氮分析实验中，通过F检验和方差分析对多个组别的数据进行比对，判断不同溶液的测量结果是否有显著差异。方差分析的关键在于分析组内变异、组间变异和实验误差，通过计算F值并与显著性水平对比，判断数据波动是否符合统计要求，明确水样或标准溶液的差异。以下是不同水样浓度下的标准差、回收率及实验数据的变异性，为进一步的统计分析提供了基础，见表2。

表2：亚硝酸盐氮测定中不同水样浓度的标准差与回收率分析

样品 编号	水样浓度 (mg/L)	加标浓度 (mg/L)	测定浓度 (mg/L)	标准差 (mg/L)	回收率 (%)	标准误 差 (%)
1	0.003	0.02	0.019	0.001	94.7	5.2
2	0.01	0.025	0.024	0.002	97.6	4.8
3	0.03	0.04	0.041	0.003	101.6	5.9
4	0.05	0.06	0.058	0.004	96.3	6.2

(2) 结果的可靠性与数据的波动范围

在环境监测中，对实验数据进行详细的波动范围分析，可以判断测量结果是否受到了外部环境或仪器设备故障的影响。在亚硝酸盐氮的精密度偏性试验中，方差分析显示总标准差St在不同浓度的水样中有所不同。在高浓度样品中，标准差较小且数据的波动范围较窄，表明实验方法具有较好的精确性。在低浓度水样的测定中，标准差较大，可能与试剂的灵敏度、样品浓度的接近检出限以及仪器的检测能力相关。

三、结果讨论与优化建议

(一) 采样方法优化建议

传统采样方案往往忽略水体流动和污染源分布等因素，可能无法全面反映污染物分布。为提高采样质量，应根据环境特点精确选择采样点并调整采样策略。水样采集时，应使用不锈钢或玻璃容器防止污染，合理安排采样时间，避免极端天气或污染源变化时采样。运输过程中，应保持样品适宜的温度和条件，避免有机物降解和性质变化，且样品应尽早送达实验室分析，以防数据失真。

(二) 检测精度提升的技术手段

在传统的水质分析中，样品前处理往往是影响检测精度的瓶颈。有机污染物的检测中，样品的提取、净化及浓缩步骤如果不规范，可能会导致目标物质的损失或引入干扰成分。所以，采用更高效的提取剂、更精准的净化方式等可以大幅提升检测的精确度并有效消除仪器误差。在数据处理环节，应用多元统计分析、模式识别等技术可以有效降低数据中的随机误差并识别潜在的系统误差。

(三) 对未来采样方法与检测技术研究的展望

检测技术的研究未来将更多地聚焦于集成不同分析方法和仪器技术，研究出可以同时检测多种污染物的综合性技术来提高检测效率以及提供全面的环境污染监测数据。基于生物传感器的检测技术和纳米探针技术，能够提供更高的灵敏度和选择性并帮助实现对极 trace 级污染物的精准检测。未来的研究还将更多地聚焦于无损检测技术和便携式检测设备的发展。

参考文献

[1]孙红宾,臧慧媛,张欣,等. 流动注射法测定咸水和半咸水中的硝酸盐氮和亚硝酸盐氮[J]. 岩矿测试, 2023,42(05):934-943.
[2]赵有政. 连续流动分析法测定海水中亚硝酸盐氮的测量不确定度评定[J]. 福建分析测试, 2023,32(01):59-62.
[3]李晶,孙炜,刘莉莹,等. 气相分子吸收光谱法测定水中亚硝酸盐氮的样品保存时间分析[J]. 中国资源综合利用, 2022,40(11):11-17.
[4]李嘉敬,韦明肯,卢勇杰,等. 小体系连续快速批量测定淡水亚硝酸盐氮分光光度法[J]. 中国环境监测, 2022,38(05):168-174.

昆仑山羌塘高原区湖泊变化与昆仑山北坡 气温、径流变化趋势分析

欧阳宏涛

身份证号: 6528011966****0557

摘 要： 昆仑山北坡区域地处新疆塔里木盆地南缘，包括新疆和田地区的7县1市（和田县、皮山县、墨玉县、洛浦县、策勒县、于田县、民丰县、和田市）、巴音郭楞蒙古自治州的且末县、若羌县、新疆兵团第十四师昆玉市下辖的5个农牧团场、第二师铁门关市下辖的3个团场^[1]。昆仑山北坡东西区域是维护国家安全的重要战略部署区，也是“丝绸之路经济带”核心区的重要通道，战略地位十分重要。

关 键 词： 湖泊；气温

Analysis of Lake Changes in the Qiangtang Plateau Region of Kunlun Mountains and Trends in Temperature and Runoff Changes on the Northern Slope of Kunlun Mountains

Ouyang Hongtao

ID: 6528011966****0557

Abstract： The northern slope of Kunlun Mountains is located on the southern edge of the Tarim Basin in Xinjiang, including 7 counties and 1 city in the Hetian region of Xinjiang (Hetian County, Pishan County, Moyu County, Luopu County, Cele County, Yutian County, Minfeng County, Hetian City), Qiemo County and Ruoqiang County in Bayingolin Mongolian Autonomous Prefecture, 5 farming and herding communities under the jurisdiction of Kunyu City, the 14th Division of Xinjiang Corps, and 3 communities under the jurisdiction of Tiemenguan City, the 2nd Division^[1]. The eastern and western regions of the northern slope of Kunlun Mountains are important strategic deployment areas for maintaining national security, as well as crucial passageways in the core area of the “Silk Road Economic Belt”, holding a very important strategic position.

Keywords： lakes; temperature

一、气候概况

昆仑山北坡地处欧亚大陆腹地，区域呈东西向展布（图1）。由于受帕米尔高原和天山在西、北方向的阻隔，西伯利亚的冷空气不易进入，南部绵亘的昆仑山和喀喇昆仑山，阻隔了来自印度洋的暖湿气流，因此形成了昆仑山北坡暖温带极端干旱的荒漠

气候特征^[2]。昆仑山北坡气候四季分明，夏季炎热，冬季冷而不寒，春季升温快而不稳定，常有倒春寒现象发生，多风沙天气，秋季降温快；降水稀少，蒸发能力大，年均蒸发量高达1800 – 2500毫米；光照充足，热量丰富，日照时数2500 – 3000小时，年平均日照百分率在60%左右，最高可达80%以上；无霜冻期长，达170 – 200天，且温差大。

昆仑山北坡地势南高北低，地貌上由山地、山前倾斜戈壁平原、绿洲平原和沙漠构成。山区属于温带或寒温带气候带，夏季短促，冬季漫长，冬季气温比平原区高1 – 2℃。海拔3000米以上属于寒带气候，冷季长于暖季，降水量分布极不均匀，一般年平均降水量在350毫米左右，海拔5000米以上分布有冰川积雪。山区降水和冰雪融水为昆仑山北坡诸河流的形成提供了重要水源。中部绿洲平原区属于暖温带极端干旱的荒漠气候，是人类主要经济活动区。多年年平均气温12 – 15℃，降水稀少，多年平均降水量在55毫米左右，蒸发强烈，年平均蒸发量2500毫米以上^[3-5]。

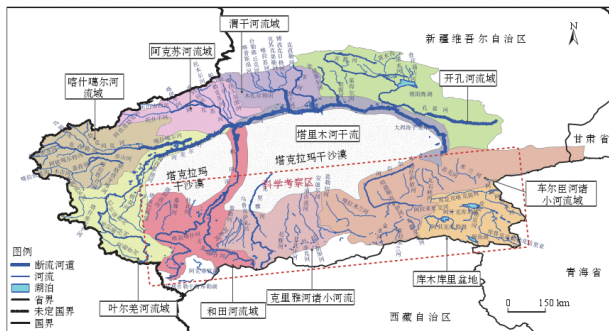


图1 昆仑山北坡研究区位置及范围

作者简介：欧阳宏涛（1966.04—），男，汉族，新疆和静县人，1986年2月参加水文工作，本科证书学历，高级工程师，主要从事水文工作方面的研究工作。

二、河流水系

昆仑山北坡的河流均发源于山区，由高山区冰雪融水和降水补给。河流大多沿昆仑山北坡自南向北流出山口，最后都逐渐消失在塔克拉玛干沙漠（图1）。主要流域包括和田河流域、克里雅河诸小河流域、车尔臣河诸小河流域和羌塘高原河区，总面积约35万平方公里。

新疆境内的羌塘高原内流河区地处羌塘高原区的西北部，位于新疆的东南部，自东向西依次被车尔臣河、克里雅河、和田河分割为东、中、西三个区域，地表水资源量约为24亿立方米^[6]。

东羌塘高原山间盆地主要为阿牙克库木湖水系，均在祁曼塔格山、阿尔金山等昆仑山支脉构成的东羌塘闭合盆地间，水系内所有河流均流入阿牙克库木湖、阿其克库勒湖、鲸鱼湖，主要河流有贝提力克河、库木开日河、赛斯克亚河、阿其克库勒河等，流域面积约4.3万平方公里。

中羌塘区位于新疆南部，巴州境内有且末县的一部分，和田地区境内有民丰县、于田县。中羌塘区东邻车尔臣河流域上游，西接克里雅河流域上游，南为昆仑山主脉。区域内小水系、小湖泊较为发育，主要水系有塔什库勒湖水系、确尔库勒湖水系、石漫湖水系等，面积约3.5万平方公里^[7]。

三、现状径流分布情况

昆仑山北坡位于新疆塔里木盆地西南部，地势南高北低，上游为高山区，中部为低山丘陵区，绿洲主要分布在冲积平原的中、下部，并延伸至塔里木盆地。受本身的地理位置、地形地貌、气候条件等影响，流域内地表径流的地区分布具有明显的特征，中、高山区是径流的形成区，出山口以下为径流散失区，较大的河流有车尔臣河、克里雅河和和田河，最终汇流入塔里木河和台特玛湖。河流在出山口后河道逐渐展宽，纵坡逐渐变缓，河川径流水量渗漏、蒸发强烈，地表水以潜流方式迅速转化为地下水，增加地下水的补给量^[8]。

四、羌塘高原年径流量变化

新疆境内的羌塘高原内流河区地处羌塘高原内流区西北部，位于新疆东南部，自东向西依次被车尔臣河、和田河、克里雅河分割为东、中、西三个区域。

东羌塘高原山间盆地主要为阿牙克库木湖水系，均在祁曼塔格山、阿尔金山等昆仑山支脉构成的东羌塘闭合盆地间，水系内所有河流均流入阿牙克库木湖、阿其克库勒湖、鲸鱼湖，主要河流有贝提力克河、库木开日河、赛斯克亚河、阿其克库勒河等，流域面积约4.3万平方公里^[9]。

中羌塘区位于新疆南部，跨巴州的且末县及和田地区民丰县、于田县。中羌塘区东邻车尔臣河流域上游，西接克里雅河流域上游，南为昆仑山主脉。区域内小水系、小湖泊较为发育，主要水系有塔什库勒湖水系、确尔库勒湖水系、石漫湖水系等，面

积约3.5万平方公里。

西羌塘区为半封闭山间盆地，位于和田地区和田县南端，西南与印控克什米尔地区以喀喇昆仑山山脊为邻，东南与西藏自治区阿里地区相连，北及东北与和田河流域接壤。区域内水系主要为阿克塞钦湖及其支流阿克塞钦河、萨利吉勒干南库勒湖、列腾格湖，面积约1.5万平方公里。

从巴州、和田地区的水文监测资料来看，自有实测水文资料的上世纪五十年代至今，径流总体呈明显增加趋势，特别是2000年开始，增加明显，2016年径流量为最大。从径流过程来看，比多年均值偏小的偏多，但2000年开始明显增加，2010年开始大幅波动增加。

五、羌塘高原湖泊水域变化与气温、径流变化的趋势分析

（一）湖泊变化

过去30年来，昆仑山羌塘高原区湖泊面积和数量都有显著增加。东羌塘以阿牙克库木湖和阿其克湖面积增加最为显著，阿牙克库木湖水域面积由1990年的669.2平方公里增加到2020年的1130.3平方公里，累计增幅68.9%，并于2009年以后其水域面积已经超过博斯腾湖，成为新疆水域面积最大的湖泊。同时段，阿其克库勒湖水域面积由386.7平方公里增加到611.8平方公里，累计增幅58.2%。鲸鱼湖水域面积由263.7平方公里增加到382.6平方公里，增幅45.1%。湖泊水域面积的扩大，充分说明入湖水量和区域地表水资源量的增加。

（二）湖泊面积变化与降水、气温的关系

点绘若羌县、且末县、且末水文站的降水、气温历年过程线，可以看出，巴州境内昆仑山北坡的降水和气温呈增加趋势，降水的增加速率为0.83毫米/年，气温的增加幅度0.27℃/年。东羌塘高原区湖泊水域面积的增加已经说明大区域的降水有所增加，实测气温资料过程则说明大区域的气温也有所增加。经实地踏勘，若羌河山区流域的雪线在明显上升^[8]。

（三）湖泊面积变化与径流的关系

2020年，车尔臣河大石门水库建成后，改变了车尔臣河天然来过程。本次点绘1994—2020年车尔臣河径流量过程线和同时段

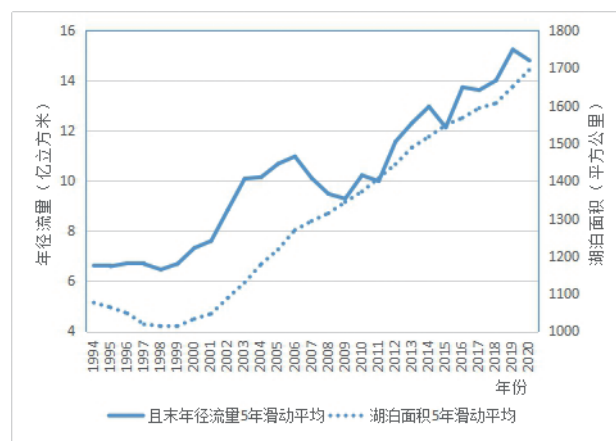


图6-4 且末年径流与湖泊面积关系图

阿牙克库木湖面积趋势曲线,可以看出,湖泊面积自1999年以后呈现稳步增加趋势,2016年以后增加幅度变大,两条曲线有明显的同步性。

六、初步结论与建议

(一)初步结论

过去30年来,昆仑山羌塘高原区湖泊面积和数量都有显著增加,湖泊面积变化趋势与气温、降水、径流变化趋势相近,相关曲线有明显的同步性^[9]。

(二)建议

一是逐步完善水文监测站网,建设水文、气象监测站点,收集实测基础资料。昆仑山北坡已经建有水文、气象部门的监测站点,但羌塘高原区监测站点稀缺,因此需要在羌塘高原区逐步建

设一些水文、气象监测站点。就巴州境内而言,在阿牙克库木湖、阿其克库勒湖、鲸鱼湖逐步建设水位站,观测水位、气温、降水、水质等要素,以便准确了解和把握高山无人区的气候及径流变化^[10]。

二是对入湖主要河流开展水文调查、水文巡测工作,掌握河流的径流变化过程。

三是在东羌塘相邻的阿特阿特坎河、玉素普阿勒克河建设水文站,监测从巴州流向柴达木盆地的地表径流。

四是充分利用水文、气象自动监测设备和先进的北斗通讯技术,实现水文、气象要素采集的自动化信息化。充分应用遥感技术河人工智能技术,定期分析湖泊水域面积变化情况,为分析径流变化提供科学依据。

五是开展阿牙克库木湖容积测量工作,为后期合理开发利用和保护该湖泊的水资源提供坚实的依据。

参考文献

[1]孟乘枫,仲涛,郑江华,等. 昆仑山冰湖分布时空特征及驱动力[J]. 干旱区研究. 2023,40(7).

[2]阿依夏木·买买提托合提,古扎丽奴尔·艾尼瓦尔,阿依夏木古丽·买买提,等. 和田地区昆仑山北坡年径流量对气候变化的响应[J]. 自然科学, 2022,10(5):809-820.

[3]许少辉. 2003-2018年喀喇昆仑-西昆仑地区积雪时空变化及影响因素分析[D]. 陕西:西北大学, 2021.

[4]丁永建,叶柏生,韩添丁,等. 过去50年中国西部气候和径流变化的区域差异[J]. 中国科学 D辑. 2007,(2).DOI:10.3969/j.issn.1674-7240.2007.02.008.

[5]张勇,刘时银,丁永建,等. 天山南坡科契卡尔巴西冰川物质平衡初步研究[J]. 冰川冻土. 2006,(4).DOI:10.3969/j.issn.1000-0240.2006.04.003.

[6]赵兵科,蔡承侠,杨莲梅,等. 新疆夏季变湿的大气环流异常特征[J]. 冰川冻土. 2006,(3).DOI:10.3969/j.issn.1000-0240.2006.03.021.

[7]李林,王振宇,汪青春. 黑河上游地区气候变化对径流量的影响研究[J]. 地理科学. 2006,(1).DOI:10.3969/j.issn.1000-0690.2006.01.007.

[8]叶柏生,丁永建,杨大庆,等. 近50a西北地区年径流变化反映的区域气候差异[J]. 冰川冻土. 2006,(3).DOI:10.3969/j.issn.1000-0240.2006.03.001.

[9]左海凤. 近50年汾河上中游流域径流对气候变化的响应分析[J]. 水文. 2006,(5).DOI:10.3969/j.issn.1000-0852.2006.05.019.

[10]韩添丁,丁永建,焦克勤,等. 天山乌鲁木齐河源冰雪径流的极值分析[J]. 冰川冻土. 2005,(2).DOI:10.3969/j.issn.1000-0240.2005.02.019.

阜平抽蓄电站泄水明渠行洪影响数值模拟 计算与土工模型试验研究

陈天城, 王健楠, 康天宇

深能阜平蓄能发电有限公司, 河北 保定 073200

摘 要 : 本文针对阜平抽水蓄能电站下水库泄水明渠裁弯取直工程, 采用数值模拟与土工模型试验相结合的形式对该整治工程进行了研究, 研究内容主要包括河道的水位线变化、流速分布, 整治工程明渠的纵坡、糙率变化敏感分析以及河道的冲淤变化分析。数值模拟结果与模型试验结果吻合度较高, 有力地验证了本文构建的数学模型的可靠性。研究结果为: 整治工程的实施后明渠行洪能力有较大提高; 其次, 为优化明渠整治段内流速分布、保持开挖过程河势稳定, 提出了综合考虑明渠纵坡和糙率的开挖方案(挖槽方案Ⅲ); 最后, 针对明渠内河岸局部淘刷问题, 开展动床模型冲刷试验, 基于试验结果给出了丁坝群的推荐布置方案。

关 键 词 : 阜平抽水蓄能电站; 河道型水库; 拦河坝; 泄水明渠; 裁弯取直; 水面线

Numerical Simulation Calculations and Hydraulic Modeling Tests on the Flooding Impact of the Discharge Nullah of Fuping Pumping and Storage Power Station

Chen Tiancheng, Wang Jiannan, Kang Tianyu

Shenneng Fuping Energy Storage Power Generation Co., Ltd. Fuping County, Baoding, Hebei 073200

Abstract : Abstract : In this paper, for the Fuping pumped storage power station under the reservoir discharge nullah straightening project, using numerical simulation and hydraulic model test form of the combination of the remediation of the project was studied, the study mainly includes the water level changes in the river channel, flow velocity distribution, remediation of the longitudinal slope of the nullah, the change of the roughness of the sensitivity of the analysis as well as the change of the siltation changes in the river channel analysis. The numerical simulation results have a high degree of agreement with the model test results, which strongly verifies the reliability of the mathematical model constructed in this paper. The results of the study are as follows: the flooding capacity of the nullah is greatly improved after the implementation of the remediation project; secondly, in order to optimize the distribution of flow velocity in the remediation section of the nullah and to maintain the stability of the river in the process of excavation, the excavation scheme (trenching scheme Ⅲ) is proposed to comprehensively take into account the longitudinal slopes and the brownness of the nullah; lastly, in view of the problem of local scouring of the river bank in the nullah, the scouring test of the moving bed model is carried out, and the recommended layout of the ding-dong dam group is given on the basis of the test results.

Keywords : Fuping pumped storage power station; riverine reservoirs; barrage; spillway nullah; short cutting; water line

一、概述

近些年来,为加快国家能源结构转型,构建安全稳定的社会电力系统,抽水蓄能电站的发展备受青睐。抽蓄电站的基本工作原理为在用电高峰时发电放水,用电低谷时抽水蓄能,其良好的动态效益能够提高电力系统运转效率、灵活性及可靠性,为构建安全稳定的电力系统提供保障^[1-3]。在抽蓄电站的建设过程中,下水库的泄水明渠的行洪影响尤为重要,明渠工程如何在兼顾生态

保护的同时,满足高标准洪水行洪安全要求,成为目前抽水蓄能电站河道性水库建设中亟待解决的技术难题。

本文的主要工作为通过数值模拟与土工模型试验相结合的方式论证了阜平抽水蓄能电站下水库泄水明渠天然河道优化布置方案;其次,为优化明渠整治段内流速分布、保持开挖前后河势稳定,提出了综合考虑明渠纵坡和糙率的开挖方案;最后,针对最优布置方案及其防护范围,依据格宾石笼等抗冲流速指标建立动床物理模型,开展河床冲淤变化试验研究,给出合理的上下游河道防护方案。

作者简介:陈天城(1966.12-),男,汉族,福建省福州市,博士研究生,高级工程师,研究方向:水工结构。

二、工程概况及研究方法

（一）工程概况

阜平抽水蓄能电站位于河北省保定市阜平县砂窝乡境内。上水库位于沙河右岸支沟上游的沟脑处，下水库位于阜平县砂窝乡龙王庄村陡岭台自然村，S203省道k156里程桩的沙河河道弯段内。下水库位于沙河上，修筑上下游拦河坝截取河道形成下水库，局部防渗，上、下游拦河坝采用沥青混凝土心墙堆石坝。正常蓄水位为432.00m，死水位408.00m。正常蓄水位以下库容925万 m^3 ，其中调节库容853万 m^3 。图1-1为阜平抽水蓄能电站下水库土石坝布置与天然河道裁弯取直工程示意图。

河道明渠截弯取直陡岭台形成下库，河道明渠平顺连接沙河上下游，为减缓河道明渠过流流速，对河道明渠进口上、下游侧进行河道整治及适当防护，河道明渠整体进口高程为416m、出口底板高程为398m，总长约760m，平均坡度约2.4%，宽90m，两岸开挖坡度采用1:0.75。开挖边坡分别于高程415m、435m、455m处设置3m宽马道。为防止水流对明渠出口下游河道造成冲刷破坏，明渠出口下游河道1.3km范围内设置格宾石笼防护，并在左岸位置布置丁坝。

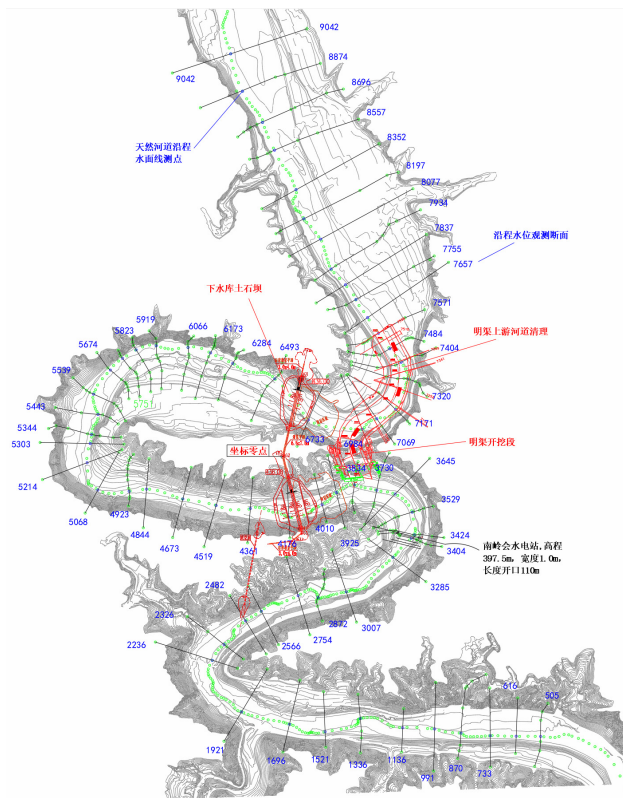


图2-1 阜平抽水蓄能电站天然河道裁弯取直工程

（二）计算模型

对天然河道进行建模，采用对于中小尺度复杂水域具有较好适应性的非结构化网格划分，计算域上游设置入流边界，桩号0+9042m，给定入流流量条件，计算域下游为出流边界，桩号0+505m，给定出口水位。河道主槽糙率取0.045；树木植被较多的滩地，糙率取0.1；河中滩地糙率取0.075。图2-2为计算域网格示意图，图2-3为沿程水位监测点分布^[4]。

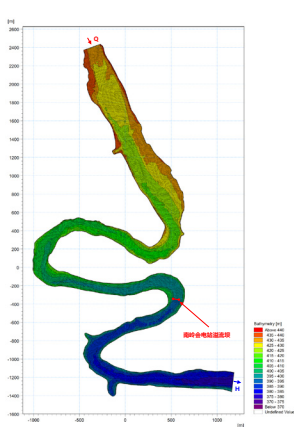


图2-2 计算域网格示意图



图2-3 沿程水位测点分布

三、原河道与整治工程数值模拟结果对比分析

整治工程实施后，上游河道整治段，水面线较之天然状态显著降低，明渠进口流速较之天然情况增大。明渠出口下游河道水面线则与天然情况一致，出口流量量级与天然情况相同，两者水面衔接良好。南岭会溢流坝位于明渠下游0+3414m桩号，自明渠出口至南岭会电站河段，水位、流速与天然情况趋于一致，未受到明渠出口流态的影响。南岭会电站溢流坝下游河段水位~流量关系不受整治工程影响。

四、物理模型试验结果分析

（一）物理模型的设计

为进一步验证整治方案的可行性，本节针对明渠整治工程设计方案，开展物理模型试验，模型具体布置参见图4-1。模拟范围包括整治段上游0+7787m断面~泄洪洞出口下游0+2236m断面。根据模型糙率比尺，整治段对应模型糙率0.0216；模型河道底面制作采用水泥砂浆抹面，采用正方形梅花加糙后糙率达到0.0201~0.0220，满足与原型相似；明渠出口下游，南岭会电站溢流坝采用有机玻璃制作，模型糙率为0.008。明渠整治段模型散粒体粒径在0.4~1.4mm，中值粒径1.0mm。明渠开挖段模型散粒体粒径9~15mm，中值粒径12mm。

模型比尺为1:80。模型按重力相似准则设计，并且满足几何相似、运动相似与阻力相似。试验工况选取同上文数值模拟工况。图4-2为明渠整治工程模型上游视图，图4-3为明渠开挖段模型下游南岭会溢流坝示意图^[5]。

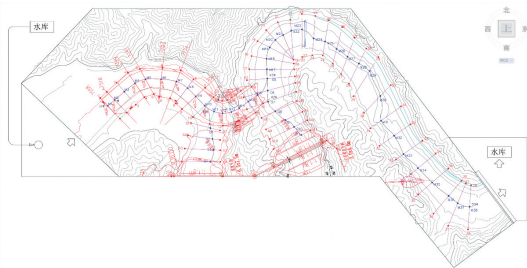


图4-1 明渠整治工程设计方案物理模型试验布置



图4-2 明渠整治工程模型上游视图



图4-3 明渠开挖段下游南岭会溢流坝

(二) 模型试验结果与数值模拟结果对比验证

图4-4、4-5为典型洪水条件下,整治河段水位与流速沿程分布试验点据。为便于比较,图中列出了对应测点的数学模型计算结果。对比分析表明:不同频率洪水条件下,河道沿程水位与流速分布规律的模型试验与数值计算值相吻合,证明了前述数学模型分析方法的可靠性。

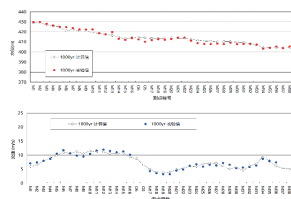


图4-4 1000年洪水河道水位与流速沿程分布

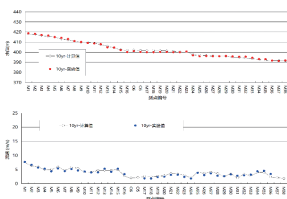
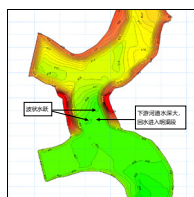


图4-5 10年洪水河道水位与流速沿程分布

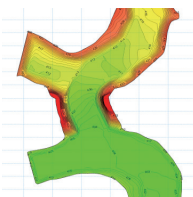
(三) 明渠开挖段流态分析

综合前述数学模型分析结果与物理模型试验数据,得到不同频率洪水条件下明渠开挖段在天然状态与整治工程实施后的流速指标。指标表明,各种频率洪水条件下,明渠工程进口流速,高于天然河道流速,相对而言,出口流速较之天然河道变化较小。在上游10年一遇以下洪水时,明渠出口流速与天然状态下河道流量值基本一致。各种频率洪水条件下,明渠进口流速较高,出口流速则降低,究其原因,与明渠内主流摆动、下游回水影响及流速测点位置选取等因素有关。

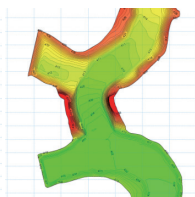
图4-6与图4-7分别为50年、20年、10年一遇洪水,明渠开挖段内水位与流速分布规律。分析表明:开挖明渠前半段内,水流顶冲右岸,该区域内水面陡降,流速相对较高,明渠后半段,水面坡降与流速迅速减小。明渠出口~南岭会河段,河道坡降小,水面平缓,在50年一遇洪水时,河道水深较大,回水进入明



(a) 50年洪水

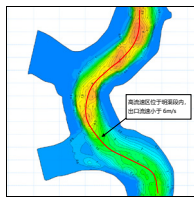


(b) 20年洪水

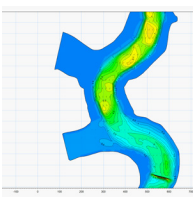


(c) 10年洪水

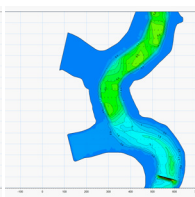
图4-7 50年~10年一遇洪水明渠水面线分布



(a) 50年洪水



(b) 20年洪水



(c) 10年洪水

图4-8 50年~10年一遇洪水明渠流速分布

渠段中部,两者衔接处水面发生波状水跃。在10年一遇洪水条件下,明渠段沿程流速下降至2~4m,明渠出口水流与下游河道平顺衔接,水面波状水跃消失^[6]。

综上所述,由于南岭会溢流坝产生壅水作用,使得明渠整治方案消能区位于基岩开挖段内,出口水流与下游河道衔接良好,流量级逐渐恢复天然状态。

(四) 整治工程设计方案行洪问题分析

综合前述数学模型分析结果与物理模型试验数据,可知裁弯取直工程实施后,上下游水流衔接较为平顺。在10年一遇洪水标准下,明渠上游河道整治段流速5~6m/s,明渠开挖段3~5m/s,下游河道天然流速3~4m/s,明渠出口~南岭会河段水位、流速与天然河道甚为一致,证明了整治工程设计方案切实可行。

此外,明渠上游整治段,水流沿程加速,至明渠开挖段内局部流速仍较高,而出口下游南岭会河段水面线坡降平缓,流速则相对较小。因此建议在明渠整治段、开挖段内采取格宾石笼抗冲保护^[7]。

五、整治工程设计方案纵坡与糙率影响敏感分析

本节建立河道数学模型,采用数值模拟方法,针对整治工程设计方案(挖槽方案I),进行纵坡调整(挖槽方案II)与糙率变化(挖槽方案III)影响的敏感分析。

(一) 整治工程明渠纵坡变化敏感分析

为了降低明渠整治段内流速,拟针对明渠纵坡进行微调,经计算表明:在10年一遇洪水条件下,明渠上游整治段内主流流速4~6m/s,在明渠开挖段下游桥墩附近流速较大,量值6~7m/s,但小于格宾石笼抗冲流速。在20年一遇洪水条件下,明渠上游整治段主流流速6~7m/s,左岸凸体附近流速超过8m/s,下游开挖段桥墩附近流速增大,量值8~9m/s,超过格宾石笼抗冲流速。在50年一遇洪水条件下,明渠沿程流速超过9~10m/s,下游开挖段桥墩附近流速量值10~11m/s。在100年一遇洪水条件下,明渠沿程流速10~11m/s,下游开挖段桥墩附近流速量值11~12m/s。

(二) 明渠糙率变化敏感分析

明渠开挖后,为保持河势稳定,沿程拟采用格宾石笼防护,抗冲流速指标7~8m/s,但沿程糙率较之挖槽方案I与II中糙率明显减小。因此在挖槽方案II的基础上,将明渠沿程糙率调整为0.025,形成挖槽方案III。表5-1为明渠挖槽方案I与方案III,开挖段内流速指标变化情况。挖槽方案III中流速较之挖槽方案I显著增大。分析表明:

明渠整治段位于砂砾石覆盖层上,抗冲流速仅为1~2m/s,因此采用格宾石笼防护是必要的,河床抗冲流速可提高到7~8m/s。明渠挖槽方案,河段采用格宾石笼防护,抗冲流速提高,但糙率下降,流速较之明渠挖槽方案I明显增大,调整明渠底坡亦无法抵消其影响。明渠挖槽方案III,整治段底坡变缓,开挖段起坡点上移,出口流速增大,与下游河道水流衔接位置下移,对下游河道防护不利。

表 5-1 明渠开挖段流速指标

洪水频率 频率	泄洪流量 (m ³ /s)	进口流速 (M12)		出口流速 (M16)	
		方案 I	方案 III	方案 I	方案 III
100yr	5470	8.9	12.6	6.7	9.3
50yr	3860	7.8	11.8	5.7	9.1
30yr	2800	6.9	11.1	4.7	8.7
20yr	2040	6.2	10.6	4.0	8.0
10yr	996	4.7	8.6	2.8	7.0
5yr	364	3.2	6.7	2.0	4.4
2yr	163	2.2	4.9	1.6	2.9

六、整治工程方案河道冲淤变化分析

本节针对明渠开挖布置方案，依据格宾石笼抗冲流速指标，开展了动床冲刷试验研究，模型比尺 1:80。基于试验研究结果，提出了 20 年一遇洪水标准与 100 年一遇洪水标准下，明渠整治工程丁坝布置方式与格宾石笼防护范围。图 6-1 和图 6-2 分别为 20

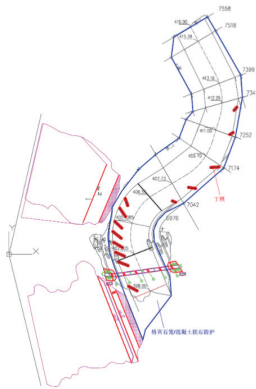


图 6-1 20 年洪水丁坝及格宾石笼防护范围



图 6-2 100 年洪水丁坝及格宾石笼防护范围

年、100 年洪水的丁坝布局及格宾石笼防护范围。丁坝坝头基础深度建议按照 100 年一遇洪水标准冲刷高程，下挖 2~3m，坝顶高出当地高程 3~4m，可保证行洪过程中坝体稳定安全。格宾石笼的防护范围，应当涵盖明渠全长。

七、结语

本文通过数学模型与物理模型相结合的方法，针对阜平抽蓄电站下水库裁弯取直整治工程设计方案进行研究。主要内容与结论如下：

- 1.通过构建数学模型对比分析了整治工程实施前后的水位、流速变化，结果表明整治工程方案实施后，明渠内水流沿程加速，水位较之天然状态显著下降，行洪能力增大。
- 2.对整治方程开展了物理模型试验，试验与计算结果吻合度较高，验证了本文构建的数学模型的可靠性。
- 3.基于物理模型试验结果对整治工程开挖段的流态进行了分析，针对明渠整治工程（挖槽方案 I）的部分行洪问题，进行了纵坡调整（挖槽方案 II）与糙率变化（挖槽方案 III）的敏感分析，当挖槽方案整治段坡度变缓后，由于上下游水位差不变，而开挖段坡度较陡，明渠水流沿程加速，如无防护措施，自下而上将发生溯源冲刷，使得整治段底坡逐渐变陡。此外，当挖槽方案采用格宾石笼防护后，糙率较之天然情况有所降低，沿程流速显著增加，其影响无法通过减小整治段比降加以抵消，因此，需要通过动床模型试验确定整治方案底部高程与沿程坡降。
- 4.为进一步明确明渠设计底坡，在挖槽设计方案基础上，基于格宾石笼防护条件，开展动床模型冲刷试验，针对明渠内河岸局部淘刷问题，给出了丁坝群的推荐布置方案，对于明渠上下游流态调整与冲淤变化具有全局影响。

参考文献

[1] KONG Y, KONG Z, LIU Z, et al. Pumped storage power stations in China: The past, the present, and the future [J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2017, 71: 720-731.

[2] REHMAN S, Al-HADHRAMI L M, ALAM M M. Pumped hydro energy storage system: A technological review [J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2015, 44: 586-598.

[3] 邱彬如, 刘连希. 抽水蓄能电站工程技术 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2008.

[4] 冷超勤, 周俊毅, 罗永钦, 等. 某水电站泄洪明渠水力学原型观测与分析 [J]. 云南水力发电, 2022, 38(02): 37-40.

[5] 李乃稳, 何孟, 刘超, 等. 陡坡粗糙矩形明渠中自由跌流的水力特性 [J]. 工程科学与技术, 2019, 51(06): 83-89.

[6] 戚蓝, 徐彭强, 杨波. 基于原始河道分流比下的导流明渠的设计论证 [J]. 水力发电, 2019, 45(11): 67-73+100.

[7] 孙东坡, 王书会, 李全家, 等. 某水库泄洪明渠末端扩散段急流控制试验研究 [J]. 水利水电技术, 2015, 46(04): 134-138.

淤地坝设计参数优化及其防洪效益分析

张霞

子洲县水利工程建设中心, 陕西 榆林 718499

摘 要 : 本文围绕淤地坝展开研究, 阐述了其定义、分类、功能与效益、建设管理及发展背景。通过对淤地坝设计参数进行敏感性分析, 基于多目标优化确定设计参数, 采用 NSGA-II 算法实现优化, 得出坝高 25m、库容 50 万 m³ 时拦沙与防洪效益达到最优平衡的结论。同时, 从不同设计参数下的防洪能力、对下游防洪压力的缓解作用以及防洪经济效益评估三方面分析了淤地坝的防洪效益, 结果表明优化后的淤地坝防洪能力显著提升, 能有效减少下游经济损失, 为区域生态安全 and 经济稳定发展提供有力支持。

关 键 词 : 淤地坝; 设计参数优化; 防洪效益; 多目标优化; NSGA-II 算法

Optimization of Design Parameters and Analysis of Flood Control Benefits for Warping Dams

Zhang Xia

Zizhou County Water Conservancy Construction Center, Yulin, Shaanxi 718499

Abstract : This paper focuses on the research of warping dams, elaborating on their definition, classification, functions and benefits, construction management, and development background. Through sensitivity analysis of the design parameters of the warping dam, multi-objective optimization is used to determine the design parameters, and the NSGA-II algorithm is adopted to achieve optimization. It is concluded that when the dam height is 25m and the storage capacity is 500,000 m³, the optimal balance between sand retention and flood control benefits is achieved. Simultaneously, the flood control benefits of the warping dam are analyzed from three aspects: flood control capability under different design parameters, relief of downstream flood control pressure, and evaluation of flood control economic benefits. The results indicate that the optimized warping dam significantly improves flood control capability, effectively reduces downstream economic losses, and provides strong support for regional ecological safety and stable economic development.

Keywords : warping dam; design parameter optimization; flood control benefits; multi-objective optimization; NSGA-II algorithm

引言

在水土流失严重地区, 生态环境脆弱, 洪水灾害频发, 给当地的生态安全和经济发展带来了巨大威胁。淤地坝作为一种重要的水利设施, 集拦泥淤地、防洪减灾、改善生态环境等多种功能于一体, 在防治水土流失、促进区域可持续发展中发挥着关键作用。然而, 要充分发挥淤地坝的功能, 科学合理地确定其设计参数至关重要。不同的设计参数会直接影响淤地坝的防洪能力和综合效益。因此, 深入研究淤地坝设计参数优化及其防洪效益分析, 对于提升淤地坝工程建设质量、保障区域生态安全 and 经济稳定发展具有重要的现实意义。

一、淤地坝的相关内容

(一) 淤地坝的定义与分类

在水土流失严重地区, 为了实现拦泥淤地、防洪减灾以及改善生态环境的目的, 人们修建了淤地坝这种坝工建筑物。依据筑坝材料的差异, 淤地坝分为土坝、石坝和土石混合坝。土坝是最

为常见的类型, 它由当地土料填筑而成; 石坝则是用块石、卵石等石料砌筑而成, 主要用于石料丰富的地区; 土石混合坝是将土料和石料混合填筑, 兼具了土坝和石坝的优点。而按照坝高和库容的不同, 淤地坝又可分为小型、中型和大型^[1]。小型淤地坝坝高一般小于 15 米, 库容小于 10 万立方米; 中型淤地坝坝高一般在 15-30 米, 库容为 10-100 万立方米; 大型淤地坝坝高一般大于

作者简介: 张霞, 女, 本科, 陕西榆林人, 助理工程师, 研究方向: 淤地坝、堤防、饮水工程。

30米，库容大于100万立方米。

（二）淤地坝的功能与效益

淤地坝在防治水土流失、促进区域发展方面发挥着重要作用。其主要功能包含多个关键方面：拦泥淤地，能够拦截泥沙并淤积成地，既增加了宝贵的耕地面积，又改善了农业生产条件；防洪减灾，通过拦蓄洪水、削减洪峰，有效减轻了下游地区的防洪压力；改善生态环境，减少泥沙入河，进而改善水质，还能调节小气候，促进生态修复。淤地坝所带来的效益也是多维度的。从经济效益来看，它增加了耕地面积，提高了粮食产量，成为促进农民增收的有效途径。社会效益方面，淤地坝改善了农业生产条件，有力地推动了农村经济发展，同时保障了人民生命财产安全。在生态效益上，淤地坝减少了水土流失，让生态环境得到显著改善，助力实现人与自然是和谐共生。

（三）淤地坝的建设管理与发展背景

淤地坝在防治水土流失、推动区域发展中至关重要。它能拦泥淤地，增加耕地，改善农业条件；防洪减灾，拦蓄洪水，减轻下游防洪压力；改善生态，减少泥沙入河，调节小气候。淤地坝效益显著，经济上，增耕地、提粮产、促增收；社会层面，改善生产条件，保障民生；生态角度，减少水土流失，助力人与自然和谐。建设淤地坝需遵循科学原则，因地制宜选坝址、坝型和规模，科学规划做好勘察设计，精心施工确保质量。建成后，加强巡查监测，及时排除隐患，做好维修养护，利用信息技术实现信息化管理。

淤地坝作为治理水土流失的关键措施之一，迫切需要人们全面认识淤地坝建设的实际效益，其中，淤地坝拦截泥沙量是衡量淤地坝减沙效益的重要指标。以往的淤地坝或坝系建设大都在建设完成后进行一次性验收或鉴定，很难全面评价其真实成效，尤其减沙效益需要长期的监测才可进行评价。通过建立科学、高效的淤地坝监测体系，利用现代信息技术、3S技术，快速获取淤地坝拦沙淤积量及所在区域小流域径流泥沙等信息，可为正确评价淤地坝建设的真实拦沙成效提供科学依据^[2]。

二、淤地坝设计参数优化

（一）淤地坝设计参数敏感性分析

在对淤地坝设计参数进行优化的过程中，敏感性分析是不可或缺的重要环节。通过运用科学的分析方法，对坝高、库容、泄洪能力等关键设计参数展开深入研究，以此来确定各参数对防洪效益的影响程度。在实际的模拟和分析中发现，坝高和库容这两个参数对防洪效益的影响最为显著。坝高的增加意味着淤地坝能够拦蓄更多的洪水，在洪水来临时起到更为有效的缓冲作用，从而极大地削减洪峰流量，减轻下游地区的防洪压力。然而，坝高的增加并非毫无限制，过高的坝高不仅会大幅增加工程建设成本，还可能因坝体承受的压力过大而引发稳定性问题。库容同样对防洪效益有着关键影响，较大的库容能够储存更多的洪水，为洪水的安全调控提供更大的空间^[3]。但如果库容设计过大，超出了当地实际的洪水来量和需求，就会造成资源的浪费和建设成本

的不必要增加。

（二）基于多目标优化的淤地坝设计参数确定

在基于淤地坝核心功能需求构建目标函数时，精心构造了两个关键目标。最大化拦沙效益至关重要，因为拦沙是淤地坝的重要任务，科学合理设计能使它在使用周期内拦截尽可能多泥沙，这对减少流入下游河道泥沙量、改善河流水质、缓解河道淤积以及促进区域生态环境稳定与改善意义重大；同时，最大化防洪效益也不容忽视，防洪减灾是淤地坝核心功能之一，通过精准设计和规划，确保其在洪水期高效拦蓄洪水、最大程度削减洪峰，为下游地区人民生命财产安全提供坚实保障^[4]。

在构建目标函数的同时，一系列约束条件也必须明确。坝高和库容受到当地地形、地质条件以及工程技术水平等多方面因素制约，存在物理限制；泄洪能力方面，必须符合设计标准，这样才能在洪水来临时安全排泄多余水量，避免洪水漫顶导致坝体溃坝；而在实际工程建设中，工程造价的限制也不容忽视，要充分考虑经济因素，确保工程总造价在合理预算范围内，保障项目的可行性与可持续性。为实现多目标的有效优化，本文选用了NSGA-II算法。该算法凭借收敛速度快、解集分布均匀的显著优势，在众多优化算法中脱颖而出。其快速收敛的特性可以让计算过程高效完成，减少不必要的计算资源浪费，而解集分布均匀又能为决策者提供更丰富的选择方案，涵盖不同侧重的设计参数组合，方便根据实际情况权衡和抉择。

（三）优化结果分析

通过一系列严谨的计算过程，研究团队运用先进的数据分析方法和专业的水利模型，对淤地坝的各项设计参数进行了反复核算与推导。同时，基于实地考察、历史数据研究以及多学科交叉的深入分析，最终得出的优化结果具有极高的实践指导价值。当坝高精准确定为25m，库容达到50万m³时，淤地坝在拦沙效益和防洪效益上实现了完美的平衡。从拦沙角度来看，在该参数组合下，淤地坝宛如一个高效的泥沙拦截器，能够最大限度地将随水流而下的泥沙阻拦在坝内^[5]。这不仅显著减少了流入下游河道的泥沙量，有效缓解了河道淤积问题，还使得周边地区的水土流失状况得到极大改善，为生态环境的修复和稳定奠定了坚实基础。

在防洪方面，这样的设计参数让淤地坝在洪水来临时展现出卓越的防洪能力。它能够高效地拦蓄洪水，极大地削减洪峰流量，为下游地区争取到宝贵的防洪准备时间。以某一经常遭受洪水侵袭的流域为例，在按照此优化参数建设淤地坝后，成功抵御了多次洪水灾害，下游的农田、村庄和基础设施得到了有效保护，避免了因洪水泛滥造成的巨大损失。

三、淤地坝防洪效益分析

（一）不同设计参数下淤地坝防洪能力分析

为了精确且全面地评估淤地坝在不同设计参数下的防洪能力，研究团队精心选用了先进的水文模型，对丰富多样的设计参数组合下的洪水过程展开了严谨且系统的模拟工作。该水文模型

的构建绝非易事，它深度融合了研究区域详细的地形地貌特征，包括山地的起伏、河流的走向与坡度等，这些地形因素对洪水的流速、流向有着关键影响。同时，还充分考量了当地复杂多变的气象条件，如多年平均降水量、降水强度以及降水的时空分布等，因为气象因素直接决定了洪水的来源与规模^[6]。此外，海量的历史洪水数据也是模型构建的重要依据，通过对过往洪水事件的深度剖析，能更好地把握洪水的变化规律。在模拟过程中，研究团队严格按照科学流程，将不同的设计参数，如坝高、库容、泄洪口尺寸等逐一输入模型，全面模拟洪水在不同情景下的演进路径、水位变化以及流量波动等。

以某一典型洪水情景的模拟为例，在优化之前，淤地坝面对特定规模洪水时，洪峰流量高达500立方米/秒，洪水总量达到100万立方米，下游地区面临着巨大的防洪压力。而当坝高、库容等关键参数经过科学调整后，奇迹发生了，洪峰流量大幅降低至300立方米/秒，洪水总量也减少至60万立方米^[7]。这一鲜明的对比，清晰地彰显出优化后的设计参数极大地增强了淤地坝的洪水调蓄能力，使其在面对洪水灾害时能够游刃有余，有力地减轻了洪水对下游地区的冲击，为保障下游地区的安全提供了坚实的支撑。

（二）淤地坝对下游防洪压力的缓解作用分析

在水土流失严重的区域，洪水灾害往往是威胁下游地区安全与稳定的一大隐患。而淤地坝的建设，无疑成为了缓解下游防洪压力的关键防线。当暴雨引发洪水汹涌来袭时，淤地坝宛如一座坚固且庞大的缓冲堡垒，发挥着至关重要的调节作用。洪水奔腾进入淤地坝后，坝体凭借自身的拦蓄能力，迅速将洪水拦截。在坝内，洪水逐渐积聚，形成一定规模的蓄水量^[8]。此后，这些被储存的洪水并不会一股脑地快速下泄，而是以较为缓慢且稳定的流速排出。

以某河流为例，在未修建淤地坝之前，每逢暴雨，上游的洪水如同脱缰野马，短短两三个小时便能直扑下游。下游河道瞬间被巨大的水量冲击，水位急剧攀升，防洪压力达到极限，稍有不慎就可能引发洪水漫溢，冲毁周边的农田、冲垮房屋、破坏基础

设施，严重威胁居民的生命财产安全。而在修建淤地坝之后，情况发生了极大的转变^[9]。如今，洪水的汇流时间被成功延长至十多个小时，下游河道有了充足的时间来应对洪水，水位上涨速度大幅减缓，有效降低了洪涝灾害发生的风险，切实保障了下游地区的安全与稳定。

（三）淤地坝防洪经济效益评估

为了全面衡量淤地坝的防洪效益，采用了科学的经济效益评估方法。通过量化分析，精确计算出了淤地坝在防洪方面所带来的经济价值。评估过程中，综合考虑了洪水可能造成的下游地区农田淹没损失、房屋损坏损失、基础设施损毁修复费用以及因洪涝灾害导致的停工停产损失等多个方面。经评估，优化后的淤地坝能够显著减少下游地区的经济损失，每年约达到500万元。这一数据直观地体现了淤地坝在防洪减灾方面的巨大经济效益。例如，在一次洪水灾害中，由于有优化后的淤地坝发挥作用，原本可能遭受严重洪涝灾害的下游地区，避免了大量农田被淹，减少了农作物减产损失；同时，房屋和基础设施也得到了有效保护，减少了修复和重建费用^[10]。此外，由于洪水对工业生产和商业活动的影响降低，避免了因停工停产造成的经济损失。

四、结束语

总而言之，本文全面且深入地探讨了淤地坝设计参数优化及其防洪效益。明确了淤地坝的多种分类、重要功能与效益，以及建设管理的要点和发展前景。通过科学的分析方法，确定了对防洪效益影响显著的设计参数，并基于多目标优化构建目标函数、明确约束条件，利用NSGA-II算法实现了设计参数的优化，找到了拦沙与防洪效益的最优平衡点。在防洪效益分析方面，充分展示了优化后的淤地坝在降低洪峰流量、缓解下游防洪压力和减少经济损失等方面的卓越表现。未来，随着科技的不断进步和研究的深入开展，相信淤地坝在设计、建设和管理等方面将不断完善，在水土流失治理和区域可持续发展中发挥更为重要的作用，为实现人与自然的和谐共生做出更大贡献。

参考文献

- [1]王楠,樊晓华,王英顺.黄土高原淤地坝建设中有关问题探讨及对策[J].中国水土保持,2022,(11):9-11.DOI:10.14123/j.cnki.swcc.2022.0253.
- [2]张建国,董亚维,李晶晶,等.黄土高原地区淤地坝拦沙淤积监测中存在的问题及方法探讨[J].水土保持通报,2022,42(06):387-392+399.DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2022.06.046.
- [3]王底云.吴家山大型淤地坝工程调洪演算与坝体设计[J].山西水土保持科技,2022,(04):29-33.
- [4]官晓华,张强,李枫.模糊层次分析法在淤地坝风险评价中的应用[J].水资源与水工程学报,2022,33(05):131-137+147.
- [5]张红武,刘广全,侯琳,等.创新完善淤地坝结构是根治黄河的必由之路[J].人民黄河,2022,44(09):17-23.
- [6]赵晔.考虑漫滩风险的淤地坝设计坝高优化研究[D].西安理工大学,2022.DOI:10.27398/d.cnki.gxalu.2022.001798.
- [7]祖强.极端降雨条件下小流域淤地坝系级联溃决风险分析[D].西安理工大学,2022.DOI:10.27398/d.cnki.gxalu.2022.001076.
- [8]刘力玮,张攀,肖培青,等.黄丘区小流域暴雨径流动力特征对淤地坝配置的响应[J].农业工程学报,2022,38(10):119-127.
- [9]党恬敏,党维勤,李小兵,等.新时期淤地坝及其坝系高质量发展的新路径[J].水利发展研究,2022,22(02):58-65.DOI:10.13928/j.cnki.wrdr.2022.02.011.
- [10]刘华亮.某淤地坝除险加固中新建溢洪道设计方案探究[J].陕西水利,2021,(12):176-178.DOI:10.16747/j.cnki.cn61-1109/tv.2021.12.065.

峡江水文站缆道雷达波比测分析报告

周洲, 王文艺, 朱小琪

赣江中游水文水资源监测中心, 江西 吉安 343000

摘要: 峡江水文站开展了缆道雷达波测速系统与流速仪的比测分析, 验证了缆道雷达波测速系统的精度和稳定性。试验结果表明, 缆道雷达波测速系统在中高水位级可作为常规测流仪器使用, 测验结果精度高, 数据稳定。同时, 提出了设备优化和功能改进的建议, 以提高操作便利性和数据处理效率。

关键词: 峡江水文站; 缆道雷达波测速系统; 流速仪; 比测分析; 水文测验

Analysis Report on the Comparison of Cableway Radar Wave Measurement at Xiajiang Hydrological Station

Zhou Zhou, Wang Wenyi, Zhu Xiaoqi

Hydrology and Water Resources Monitoring Center in the Middle Reaches of the Ganjiang River, Ji'an, Jiangxi 343000

Abstract: Xiajiang Hydrological Station conducted a comparative analysis between the cableway radar wave velocity measurement system and the flow velocity meter, verifying the accuracy and stability of the cableway radar wave velocity measurement system. The experimental results show that the cableway radar wave velocity measurement system can be used as a conventional flow measurement instrument at medium and high water levels, with high accuracy and stable data. At the same time, suggestions for equipment optimization and functional improvement are proposed to enhance operational convenience and data processing efficiency.

Keywords: Xiajiang Hydrological Station; cableway radar wave velocity measurement system; flow velocity meter; comparative measurement analysis; hydrological test

前言

为推进水文测验技术的进步, 提高水文信息采集的时效性, 进一步增强水资源开发及管理能力, 加大水环境监测与保护力度, 全面服务于经济社会和防汛抗旱减灾。2023年2月, 赣江中游中心为我大队配备了一台铅鱼缆道雷达波测速系统(简称“缆道雷达波”)。

为探求其适用性, 按照《河流流量测验规范》(GB 50179-2015)要求, 峡江水文站进行了缆道雷达波与缆道流速仪法定点流速比测试验。

一、编制依据

- 《水位观测标准》(GB/T 50138-2010)
- 《河流流量测验规范》(GB 50179-2015)
- 《声学多普勒流量测验规范》(TCHES 61-2021)
- 《水文资料整编规范》(SL 247-2020)

二、测站基本情况

(一) 测站概况

峡江水文站是长江流域赣江中游的主要控制站, 位于峡江县巴邱镇, 东经115° 09', 北纬27° 33', 流域面积62724km², 距河口174km, 属国家重要水文站。1957年1月设站, 1976年1月基本水尺断面下迁1076m, 更名为峡江(二)水文站。本站流量测验精度为一类站, 泥沙测验精度为二类。主要测验项目有: 水位、流量、悬移质输沙率、水温、降水量、水质。

(二) 测验河段情况

测验河段顺直长约800m, 河槽呈U型, 中高水位主槽宽约400m。河床由岩石、卵石、粗沙、细沙组成, 左岸为居民住房和菜地, 右岸为高山、岩石陡岸, 生长树木、杂草。基本水尺断面上游约4km处有峡江水利枢纽工程, 每天都有蓄放水过程, 对水位影响极大, 增加了流量测验的难度; 下游约770m处左岸有航运拦水坝, 下游约1km处有一大沙洲, 将水流分为两股, 下游约3km处有峡江赣江大桥, 下游53km处有新干航电枢纽。

(三) 断面稳定情况

2020年, 峡江水文站进行了一次大断面稳定性分析(分析情况见《峡江水文站测验方式方法分析报告》)。分析结论为: 峡江站大断面总体属于不经常性冲淤, 基本以局部冲淤为主, 位置在50m ~ 240m之间, 除大水前后冲淤严重外, 年际之间面积变幅均在3% ~ 6%之间。水位在40.00m以下面积相对偏差大于6%, 断面属不稳定; 水位在40.00以上面积相对偏差在3% ~ 6%之间, 断面较稳定。

点绘2020年至2024年断面图(图1),从历年断面图中可以看出主槽位置基本上位于中泓。右岸河床以岩石、卵石为断面基本没有变化,低水流速较小;左岸河床有粗沙、细沙组成,受断面冲淤影响水下部分变化较大,流速大。



图1 峡江水文站大断面图

(四) 影响因素分析

本站洪水来源主要受上游万安水电站、泰和石虎塘航电枢纽、峡江水利枢纽调节以及暴雨影响,洪峰持续时间有时长达3~4天。较大洪水过程一般持续3~5天。受断面冲淤和洪水涨落影响,历年水位流量关系为临时曲线和绳套曲线,2021年开始受上游峡江水利枢纽、下游新干航电枢纽调节影响,无法进行定线推流,2021年至2023年表内流量采用实时在线流量监测数据、连实测流量过程线法推求。

(五) 测验方法现状

本站流量测验方法为:水位在33.40m~43.50m范围内采用浮标 ADCP 监测数据进行整编,在高、中、低水位级采用流速仪或走航式 ADCP 各施测3~5次流量对浮标 ADCP 监测数据进行校对,并进行分析评定。在线设备出现故障及时加密测次,当校核流量与关系式计算流量发生较大偏离时,要及时对关系式进行重新分析,验证关系的稳定性。

三、试验目的与内容

(一) 试验目的

峡江水文站位于赣江中游,上游4km处有峡江水利枢纽,下游53km处有新干航电枢纽。本站主要受上游峡江水利枢纽发电蓄水影响,水位易发生明显变化,水位陡涨陡落,为更能快速准确测验数据,对流量测验工作提出了更高的要求。

通过开展缆道雷达波与流速仪比测分析,达到以下目的。

①检验不同测验环境下缆道雷达波测验精度,缩短测流时间,发挥新仪器设备的作用。

②检验缆道雷达波的稳定性。通过实测比较分析,在满足规范要求下,可作为常规测流仪器使用,进行流量测验。

③保障水上作业安全性。减少仪器受漂浮物和水流冲击影响与人员在水上作业发生的安全事故。

(二) 技术路线与内容

为探索在赣江不同水力条件和水流特性下,缆道雷达波在峡江水文站的精度可靠性、环境适用性和运行稳定性,主要技术路线和内容为:

1. 流速仪相对位置流速分析

①收集流速仪相对位置0.0与0.6流速比测资料。②比测资料数据分析处理。③对流速仪相对位置流速测验成果精度进行分析评定。

2. 缆道雷达波与流速仪流速比测分析

①缆道雷达波数据处理。②收集缆道雷达波与流速仪比测资

料。③对缆道雷达波测验成果精度进行分析评定。④对缆道雷达波稳定性和适用性进行评估。⑤综合提出缆道雷达波在峡江水文站的可靠性、适用性和稳定性。⑥针对存在的问题提出解决方案。⑦根据分析成果提出峡江水文站流量测验指标任务。

四、仪器设备情况

比测试验仪器设备主要有:缆道雷达波、缆道和旋桨式流速仪、笔记本电脑。

(一) 缆道雷达波仪器简介

缆道雷达波测速主要是应用多普勒原理,通过铅鱼缆道控制系统将设备运送到指定的垂线位置。雷达测速控制器可根据测速垂线起点距位置、当前水位等数据完成对当前测速垂线上方的水面流速的实测,系统控制器收到雷达测速控制器发送的实测水面流速后,通过无线电台将现场预设的水位数据一并发送给流量计算终端从而实时的计算出当前流量。

仪器配置:主机+无线电台+天线+安装支架+配套专用的自动化接收处理软件。

(二) 流速仪简介

本站使用的是LS25-3A型流速仪。

工作原理:当水流作用于仪器感应部分——旋桨时,旋桨即产生回转运动,水流速度越快,旋桨转速也越快。它们之间存在一定的函数关系,此关系是通过水槽检定而得出的。实验表明:起转速度 V_0 到临界速度 V_k 之间,函数呈曲线形式,而临界流速 V_k 以上则为一线性关系。

五、流速仪相对位置流速分析

为验证流速仪相对位置流速的关系,采用流速仪相对位置0.6与0.0流速并对数据进行分析点绘相关图,即可得到流速仪相对位置0.6与0.0流速之间的关系。

(一) 资料样本

本次分析样本共收集流速仪相对位置0.6与0.0流速资料共31次,本流速资料采用全断面流速方法收集资料。样本系列流速范围在0.60~2.50(m/s)之间。

(二) 流速仪

相对位置0.6与0.0流速分析根据31次比测样本资料,建立垂线流速 $V_{0.6} \sim V_{0.0}$ 关系图,进行流速数据进行分析,最优关系式为: $V_{0.6} = 0.8943(V_{0.0})$ $R^2 = 0.9909$,函数关系良好。

$V_{0.6} \sim V_{0.0}$ 关系图,见图2。

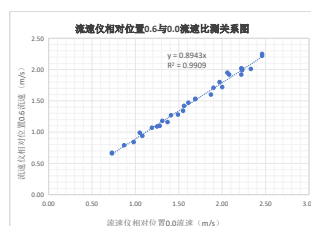


图2 峡江站流速仪法 $V_{0.6} \sim V_{0.0}$ 关系图

(四) 关系式验证

将 $V_{0.0}$ 与线上流速数据进行系统误差、标准差、随机不确定

度及三个检验，三检计算成果表见表6.2。计算公式如下：

①系统误差： $P=\frac{1}{n}\sum P_i$ ；

②标准差： $S_e=\left[\frac{1}{n-2}\sum\left(\frac{V_i-V_d}{V_d}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}}$ （式中： V_i —缆道雷达

波流速 V_d —线上流速）；

③随机不确定度： $2 S_e$ 。

系统误差（%）	0.19	<1%	合理
标准差（%）	3.07		合理
随机不确定度（%）	6.14	<8%	合理
符号检验 u=	1.08	<1.15	合理
适线检验 u=	-0.18	<1.28	合理
偏离数值检验 t=	0.35	<1.34	合理

通过计算，系统误差为0.19%，标准差为3.07%，随机不确定度为6.14%。

根据《水文资料整编规范》（SL247-2020）规定，一类精度站单一线三检的总随机不确定度±8%，系统误差在±1%内。本次流速仪相对位置比测经过换算后（ $V_{0.0}=0.8943*V_{0.0}$ ），三检均能满足要求，比测关系稳定，故本次分析的关系式可靠，能满足规范要求。

（五）比测分析结论

①峡江水文站流速仪实测流速原始分析资料准确、可靠，垂线平均流速与水面流速关系式为 $V_{流速仪0.0}=0.8943*V_{缆道雷达波}$ 。

②通过对流速仪表面流速与垂线平均实测流速进行误差分析，系统误差、随机不确定度以及单次测验精度误差符合规范要求。水面系数可应用于实际工作中。

六、缆道雷达波与流速仪比测实验分析

为验证缆道雷达波测验精度，点绘缆道雷达波与流速仪同步测点流速关系图，即可得到缆道雷达波与流速仪测点流速之间的关系。

（一）资料样本

本次分析样本共收集缆道雷达波与流速仪实测流速资料共58次。比测时，在水位平缓期，先采用转子式流速仪固定在铅鱼下端，进行垂线0.0法逐一测量，再将雷达波流速仪固定在缆道铅鱼上进行表面流速测定。样本系列流速范围在1.00～2.40（m/s）之间，水位在中、高水位级。

（二）缆道雷达波与流速仪相对位置0.0流速分析

根据58次比测样本资料，建立测点流速 $V_{流速仪0.0} \sim V_{缆道雷达波}$ 关系图，进行流速数据进行分析，最优关系式为：

$V_{流速仪0.0}=0.9764*V_{缆道雷达波}$ $R^2=0.9596$ ，函数关系良好。

$V_{流速仪0.0} \sim V_{缆道雷达波}$ 关系图，见图3。

（四）关系式验证

将 $V_{缆道雷达波}$ 与线上查算流速数据进行系统误差、标准差、随机不确定度及三个检验，三检计算表见表7.2。计算公式如下：

系统误差（%）	0.27	<1%	合理
标准差（%）	3.98		合理

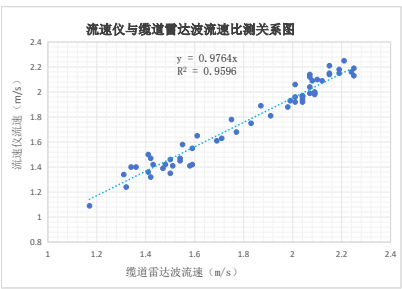


图3: $V_{流速仪0.0} \sim V_{缆道雷达波}$ 关系图

系统误差（%）	0.27	<1%	合理
随机不确定度（%）	7.96	<8%	合理
符号检验 u=	1.05	<1.15	合理
适线检验 u=	0.00	<1.28	合理
偏离数值检验 t=	0.52	<1.34	合理

通过以上公式计算，系统误差为0.27%，相对标准差为3.98%，随机不确定度为7.96%。

根据《水文资料整编规范》（SL247-2020）规定，一类精度站单一线三检的总随机不确定度±8%，系统误差在±1%内。本次缆道雷达波经过比测分析后关系式 $V_{流速仪0.0}=0.9764*V_{缆道雷达波}$ 合理，三检均能满足要求，比测关系稳定，故本次相关关系式可靠。

（五）比测分析结论

①缆道雷达波与流速仪实测流速原始分析资料准确、可靠，比测成果为 $V_{流速仪0.0}=0.9764*V_{缆道雷达波}$ 。

②峡江水文站对缆道雷达波与流速仪实测流速误差分析，系统误差、随机不确定度以及单次测验精度误差符合规范要求。可作为常规测验测流速，保障水上作业安全性。

③综合上述分析得出结论，缆道雷达波可以在峡江水文站中高水位级作常规仪器使用。

七、存在问题和建议

设备与配套软件安装上比较复杂，操作界面不直观，数据后期处理功能不方便，还需与厂家跟进改进各项功能。

八、结论与建议

（一）结论

通过分析，由缆道雷达波测流系统测得流速经过 $V_{流速仪0.0}=0.9764*V_{缆道雷达波}$ 换算后，在根据本站0.0水面系数分析值为0.89进行换算，得到垂线平均流速： $V_{流速仪}=0.8686*V_{缆道雷达波}$ 在本站进行应用。缆道雷达波可以在峡江水文站中高水位级作常规仪器使用，缆道雷达波可在强降雨期间正常使用，无法在风速和风浪大的条件下测验。

（二）建议

缆道雷达波适合用于流量测验、测验结果精度高，数据稳定，性能良好，但是设备与配套软件安装上还需进行优化。缆道雷达波测流在测验质量核定指标里可作为峡江站常规测验方案。

水利工程施工现场管理技术要点探析

苟春妍

云南省大理州鹤庆县黄坪镇水务工作站, 云南 大理 671508

摘 要 : 本文探讨了水利工程施工现场管理的技术要点, 包括施工准备、过程管理、技术要点、现场协调、成本控制和后期管理。分析了现场勘察、施工方案、人员与设备准备等环节, 提出了进度控制、质量监督、安全生产管理策略。讨论了土石方、混凝土、排水防渗等关键施工技术措施。强调了组织结构、信息管理、物料设备调度的重要性, 并阐述了成本预算、节约优化、风险评估管理。最后, 总结了工程验收标准、质量后期评估维护、文档整理归档等后期管理内容。本文旨在提供理论指导和实践参考, 提高水利工程施工管理水平, 确保工程质量和安全, 促进水利事业健康发展。

关 键 词 : 水利工程施工; 现场管理; 技术要点; 施工质量

Analysis of the Key Technical Points of Hydraulic Engineering Construction Site Management

Gou Chunyan

Huangping Town Water Work Station, Heqing County, Dali, Yunnan 671508

Abstract : Water is an important basic resource of human society, and the shortage of water resources in China has become one of the key factors restricting the sustainable development of economy. Therefore, how to effectively avoid the waste of water resources, and constantly improve the efficiency of water resources recycling has become an important issue in the development of water supply industry. This paper mainly analyzes the practical application of water-saving metering automatic control system in water supply engineering, hoping to provide reference for promoting the development of water-saving and environmental protection in our country.

Keywords : hydraulic engineering construction; site management; technical points; construction quality

一、施工准备阶段

(一) 现场勘察与评估

现场勘察与评估这一阶段的工作不仅涉及对施工地点的自然环境、地质条件、水文状况的详细调查, 还包括对施工区域的社会经济背景、法律法规要求以及潜在风险的全面评估。通过地质勘探获取的数据可以揭示土壤类型、地下水位和地震活动等关键信息, 这些信息对于设计合理的地基和结构至关重要。现场勘察与评估还应运用现代技术手段, 如 GIS (地理信息系统) 和遥感技术, 以提高评估的准确性和效率。

(二) 施工方案的制定与优化

一个科学合理的施工方案不仅需要基于现场勘察与评估的结果, 还应结合施工人员的专业技能和施工设备的性能, 以及施工材料的特性进行综合考量。通过采用先进的 BIM (建筑信息模型) 技术, 可以对施工过程进行模拟, 提前发现潜在问题并进行优化调整, 从而提高施工效率和工程质量。施工方案的制定还应考虑到环境保护和可持续施工的要求, 确保施工活动对周边环境的影响降到最低^[1]。

(三) 施工人员与设备的准备

在施工人员与设备的准备阶段, 首先需要对施工团队进行精

心组织和配置。这包括对施工人员进行专业技能的培训, 确保他们具备完成工程任务所需的技术知识和操作能力。根据工程特点和施工方案的要求, 合理安排施工人员的工作岗位和职责, 以提高团队的整体工作效率。

二、施工过程管理

(一) 施工进度的控制与调整

施工进度的控制不仅涉及到工程的按时交付, 还直接影响到施工成本和工程质量。通过采用关键路径法 (CPM) 和计划评审技术 (PERT) 等项目管理工具, 可以对施工进度进行精确的预测和监控。关键路径法通过识别项目中的关键活动和路径, 帮助管理者确定哪些活动的延误将直接影响整个项目的完成时间。计划评审技术则通过概率分析, 为施工进度的不确定性提供了一定的缓冲时间。

(二) 施工质量的监督与保证

质量监督不仅涉及对施工过程的实时监控, 还包括对施工成果的最终评估。通过引入 ISO 质量管理体系, 可以对施工过程中各个环节进行标准化管理, 确保每一步骤都符合既定的质量标准。采用 PDCA (计划-执行-检查-行动) 循环模型, 可以持

姓名: 苟春妍 (1969.06-), 男, 彝族, 籍云南省大理白族自治州鹤庆县人, 大专, 中级, 研究方向: 水利工程施工或管理。

续改进施工质量。

（三）安全生产管理与风险控制

水利工程项目由于其特殊性，安全事故的发生率较其他行业高出约20%，因此强化安全生产管理显得尤为重要。在施工准备阶段，应通过现场勘察与评估，识别潜在的安全风险，并制定相应的预防措施。施工方案的制定与优化过程中，应融入安全设计理念，确保施工方案既经济又安全^[2]。施工过程中，安全生产管理与风险控制要求建立一套完整的安全管理体系，包括但不限于定期的安全教育培训、现场安全检查、应急预案的制定与演练。通过引入SWOT分析模型，对施工现场的安全隐患进行系统分析，识别优势（Strengths）、劣势（Weaknesses）、机会（Opportunities）和威胁（Threats），从而制定针对性的改进措施。施工现场应配备必要的安全设施，如安全网、防护栏杆、警示标志等，以降低事故发生的风险。

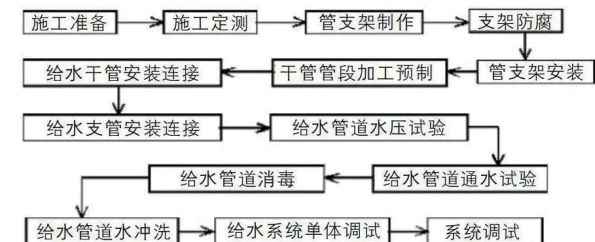


图1 给水工程流程

三、施工技术要点

（一）土石方工程的技术要点

土石方工程不仅涉及大量的物理劳动和机械操作，而且对施工精度和效率有着严格的要求。在某大型水库建设项目中，土石方工程量达到了数百万立方米，这就要求施工团队必须采用先进的测量技术和机械设备，以确保土石方的准确开挖和填筑。施工过程中对土石方的稳定性和承载力进行科学评估，采用适当的支护措施，如锚杆和喷射混凝土，以防止滑坡和塌方，保障施工安全。

（二）混凝土浇筑与养护的技术要点

混凝土浇筑过程中，温度控制是影响混凝土性能的重要因素之一。当环境温度低于5℃时，应采取保温措施，以防止混凝土因温度过低而产生裂缝。浇筑速度和顺序也需精心规划，以避免因浇筑速度过快导致的混凝土离析和冷缝问题。根据美国混凝土协会（ACI）的建议，混凝土的养护温度应保持在5℃至30℃之间，以确保混凝土强度的正常发展和减少收缩裂缝的发生。混凝土养护阶段，养护不当可能导致混凝土表面干燥过快，从而引起裂缝和强度不足^[3]。适当的湿养护可以将混凝土的抗压强度提高20%以上。因此施工现场应采用覆盖、喷水或使用养护剂等方法，确保混凝土表面保持湿润状态。

（三）排水与防渗工程的技术要点

排水系统的设计不仅要考虑常规的水文条件，还必须能够应对极端天气事件，如暴雨或洪水。通过采用三维水文模型，可以更准确地预测不同降雨情景下的水流路径和排水需求，从而优化

排水系统的设计。防渗工程则要求使用高质量的防渗材料，如高密度聚乙烯（HDPE）膜，以及确保防渗层的连续性和完整性，防止地下水污染和土壤侵蚀。施工过程中对防渗层的施工质量进行实时监控和评估，结合PDCA（计划-执行-检查-行动）循环模型，可以持续改进施工工艺，确保防渗效果达到设计要求。这些技术要点的实施，不仅提升了水利工程施工现场管理的科学性和系统性，也为工程的长期稳定运行提供了坚实保障。

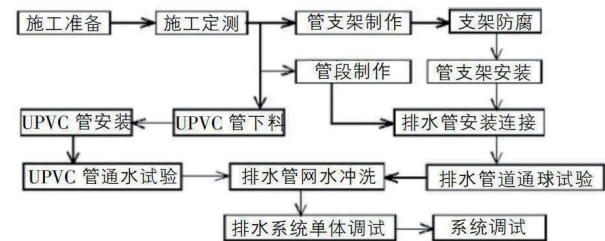


图2 排水工程流程

四、施工现场协调

（一）施工现场的组织结构与协调

一个高效的组织结构能够明确各参与方的职责与权限，从而促进资源的合理分配和任务的有效执行。某大型水利工程通过建立项目管理办公室（PMO），实现了对项目全生命周期的统筹规划和监控，显著提升了施工效率和质量。协调机制的建立则需要依赖于有效的沟通渠道和信息共享平台，如采用BIM（建筑信息模型）技术，可以实现设计、施工和运维阶段的信息集成，减少因信息孤岛导致的误解和冲突。

（二）施工现场信息管理与沟通

有效的信息管理能够确保施工过程中的各项决策基于准确和及时的数据。通过实时监控系统收集的数据，可以对施工进度进行精确控制，及时调整施工计划以应对突发状况。沟通方面，项目团队成员之间的日常会议和定期汇报是必不可少的，它们有助于确保信息的透明度和团队成员之间的协作。采用敏捷项目管理方法中的每日站会，可以快速解决施工中出现的问题，提高团队的响应速度和效率。

（三）施工现场物料与设备调度

物料与设备调度的效率直接影响到工程成本和施工安全。混凝土浇筑过程中，若调度不当，可能导致材料浪费或施工延误，进而影响整个工程的进度。通过采用先进的项目管理软件，如Primavera P6或Microsoft Project，可以实现对物料与设备需求的精确预测和实时监控。应用BIM（建筑信息模型）技术，可以对施工过程中的物料需求进行三维模拟，优化物料的存储和运输路径，减少不必要的搬运和等待时间。

五、施工成本控制

（一）施工成本预算与控制策略

成本预算的制定需要基于详尽的市场调研和历史数据分析，结合工程规模、施工难度、材料价格波动等因素，制定出科学合

理的预算方案。某大型水利工程在预算编制阶段，通过采用挣值管理（Earned Value Management, EVM）方法，对工程进度和成本进行实时监控，确保项目按预算执行。控制策略的实施应贯穿于整个施工过程，包括成本的动态监控、偏差分析和纠正措施的制定。通过引入关键绩效指标（KPIs）来衡量施工效率和成本效益，如单位立方米土石方工程的成本、单位立方米混凝土浇筑的成本等，从而实现对成本的有效控制。采用先进的成本管理软件，如 Primavera P6 或 Microsoft Project，可以提高成本控制的精确度和效率。通过建立风险矩阵，对不同风险因素进行分类和优先级排序，制定相应的风险应对措施。

（二）施工成本节约与优化措施

通过精细化管理，可以有效降低不必要的开支，提高资源利用效率。采用先进的成本控制模型，如挣值管理（Earned Value Management, EVM），可以实时监控项目成本与进度，确保两者之间的平衡。通过优化采购策略，比如批量采购和长期合作协议，可以降低材料成本。采用新技术、新材料和新工艺，可以提高施工效率，减少人工成本。应用自密实混凝土技术，减少了振捣工序，不仅提高了施工速度，还降低了人工成本。在某大型水坝项目中，通过引入这项技术，施工效率提高了 20%，人工成本降低了 15%。通过采用节能设备和优化施工工艺，可以有效降低能源消耗。使用节能型施工机械和照明系统，不仅减少了能源消耗，还降低了运营成本^[5]。

（三）施工成本风险评估与管理

成本风险评估涉及对潜在成本超支因素的识别、量化和优先级排序，这要求项目管理者运用科学的分析模型和工具，如蒙特卡洛模拟、决策树分析等，来预测和评估成本风险。通过历史数据分析，某水利工程项目发现材料成本占总成本的 60%，其中水泥价格波动对项目成本影响最大。因此项目团队采取了期货合约锁定价格的策略，有效规避了价格波动风险。项目管理者还应建立成本风险预警机制，当成本偏差超过预定阈值时，及时采取纠正措施。

六、施工后期管理

（一）工程验收的标准与流程

验收标准通常依据国家及行业规范，结合工程特点制定，涵

盖结构安全、功能实现、环境保护等多个维度。对于大坝工程，验收标准可能包括坝体结构的稳定性、防渗性能、泄洪能力等关键指标。在实际操作中，验收流程包括自检、互检、专检三个层次，确保每一环节都符合设计要求和规范标准。以某大型水利工程为例，其验收流程中采用了 PDCA（计划-执行-检查-行动）循环模型，通过不断优化施工方案，实现了成本节约与质量提升的双重目标。验收过程中还应重视对施工文档的整理与归档，确保所有施工记录、检测报告和变更资料的完整性，为后续的工程质量评估与维护提供可靠依据^[6]。

（二）工程质量的后期评估与维护

通过对工程质量进行科学的后期评估，可以及时发现潜在的问题并采取相应的维护措施。根据美国土木工程师协会（ASCE）发布的《基础设施报告卡》，对水利设施的评估通常采用 1 至 4 级的评分系统，其中 1 级代表“优秀”，4 级代表“差”。若某水利工程项目在评估中得到 3 级或 4 级的评分，表明存在显著的结构或功能缺陷，需要立即采取维护或修复措施。维护工作不仅包括对物理结构的修复，还应涵盖对整个水利系统的持续监控和优化。通过引入物联网（IoT）技术，可以实现对水库、堤坝、水闸等关键部位的实时数据采集，利用大数据分析模型预测潜在风险，从而实现预防性维护。定期的维护工作应遵循相关法规和标准，如《水利工程质量管理条例》等，确保维护活动的合规性和有效性。

（三）施工文档的整理与归档

文档管理不仅涉及日常施工记录的保存，还包括施工方案、进度报告、质量检查报告、安全记录以及环境影响评估等多方面资料。一份详尽的施工方案文档应包含工程设计图纸、施工方法说明、材料清单、设备配置计划以及施工进度表等，这些资料在施工过程中需要不断更新和维护，以反映实际施工情况。施工文档的归档应遵循标准化流程，确保资料的完整性和可追溯性，便于在工程验收和后期维护时快速检索所需信息^[7]。

七、总结

水利工程施工现场管理是一个复杂的系统工程，需要综合考虑技术、管理、经济和环境等多方面因素。通过不断探索和实践，结合现代科技手段和管理理念，可以有效提升水利工程施工现场管理水平，确保工程项目的成功实施和长期稳定运行。

参考文献

[1]张继永,刘霞.水利工程施工现场管理技术要点分析[J].水上安全,2023,(15):133-135.
[2]郭金国.探究 TOFD 技术在电站锅炉钢结构检测中的应用[J].中国新技术新产品,2022,(08):81-83.
[3]刘勋.水利工程施工现场管理技术要点分析[J].水利水电快报,2021,42(S1):58-59.
[4]宋朝峰.水利工程施工现场管理技术要点研究[J].黑龙江水利科技,2020,48(07):195-196.
[5]冯朗天.刍议水利工程施工现场管理技术要点[J].建材与装饰,2020,(20):282+284.
[6]刘黔贤.如何做好水利工程施工现场管理技术的思考与实践[J].建材与装饰,2020,(15):295-296.
[7]原国栋.水利工程施工现场管理技术要点探析[J].门窗,2019,(22):140.

国家电网电力安全事故应急响应机制的现状、问题与对策

张龙飞

国网青海省电力公司海南供电公司，青海 海南州 813000

摘 要： 随着我国电力事业的快速发展，电力系统规模不断扩大，电力设施日益复杂，电力事故的风险也随之增加。为了有效预防和应对电力事故，最大限度地减少事故造成的损失，国家电网公司制定了电力安全事故应急响应机制。本文旨在分析国家电网电力安全事故应急响应机制的现状，指出存在的问题，并提出相应的解决对策。通过优化信息传递机制、应急资源调配、应急预案内容和应急培训等，提高应急响应速度和效率，确保电网安全稳定运行。

关 键 词： 国家电网；电力安全事故；应急响应机制；信息传递；应急资源调配

The Current Situation, Problems and Countermeasures of the Emergency Response Mechanism of the State Grid Power Safety Accident

Zhang Longfei

State Grid Qinghai Electric Power Company, Hainan Power Supply Company, Hainan Prefecture, Qinghai 813300

Abstract： With the rapid development of China's electric power industry, the scale of the power system continues to expand, the power facilities become more and more complex, and the risk of power accidents also increases. In order to effectively prevent and respond to power accidents and minimize the losses caused by accidents, the State Grid Corporation of China has formulated an emergency response mechanism for power safety accidents. The purpose of this paper is to analyze the current situation of the emergency response mechanism of power safety accidents in the State Grid, point out the existing problems, and put forward corresponding countermeasures. By optimizing the information transmission mechanism, emergency resource allocation, emergency plan content and emergency training, etc., the speed and efficiency of emergency response will be improved to ensure the safe and stable operation of the power grid.

Keywords： state grid; electrical safety accidents; emergency response mechanisms; information transfer; emergency resource allocation

引言

电网是现代社会基础设施的重要组成部分，其平稳运行对于国家经济社会的发展至关重要。然而，由于各种因素的影响，电网事故时有发生，给社会和经济带来严重损失。为了更好地应对未来可能发生的电网事故，减少事故对社会和经济的损失，国家电网公司制定并不断完善电力安全事故应急响应机制。

一、国家电网电力安全事故应急响应机制的现状

（一）应急响应机制体系化

国家电网公司电力安全事故应急响应机制的体系化建设，是确保应急响应高效有序进行的基础。该机制涵盖了应急预案的制定、应急资源的储备和调配、应急队伍的组建和培训、应急演练的开展等多个方面，形成了一个完整的应急响应链条。在应急预案的制定方面，国家电网公司紧密结合电力行业特点和电网实

际，坚持“统一指挥、结构合理、功能齐全、反应灵敏、运转高效、资源共享、保障有力”的原则，制定了全面覆盖各类电力安全事故的应急预案^[1]。这些预案不仅涵盖了事故预防、事故处理、事故恢复和应急响应等多个方面，还注重与其他相关部门的协同配合，确保在事故发生时能够迅速调动各方力量，形成合力进行应急处置。在应急资源的储备和调配方面，国家电网公司建立了完善的应急物资储备体系，包括抢险救援设备、应急通讯设备、应急照明设备、安全防护装备等，确保在事故发生时能够迅

作者简介：张龙飞（1990.01—），男，汉族，陕西省咸阳市旬邑县人，大专，助理工程师，安全检查，国网青海省电力公司海南供电公司。

速调拨应急物资。同时，公司还注重应急资源的优化配置和动态管理，确保应急资源能够根据实际情况进行灵活调配。在应急队伍的组建和培训方面，国家电网公司注重选拔具备专业技能和处置能力的应急队员，组建了专业化的应急队伍^[3]。同时，公司还加强对应急队员的培训和演练，提高他们的应急处置能力和实战水平。此外，公司还注重与地方政府、公安部门、消防部门等相关部门的协调配合，形成了联动机制，共同应对电力安全事故。

（二）应急预案的实用性和可操作性

国家电网公司注重应急预案的实用性和可操作性，确保在电力安全事故发生时能够迅速、有效地进行应急处置。公司充分考虑了电网运行的特点和可能发生的各类事故类型，制定了针对性的应急措施和处置方案。同时，公司还注重应急预案的更新和完善，根据电网发展和外部环境的变化，及时调整和优化应急预案。在应急预案的实用性和可操作性方面，国家电网公司采取了多项措施。首先，公司注重应急预案的演练和检验，通过定期或不定期的应急演练，检验应急预案的实用性和可操作性，发现问题及时整改。其次，公司注重应急预案的宣传和培训，提高全员对应急预案的认识和了解，增强应急处置的意识和能力。最后，公司还注重应急预案的评估和反馈，通过对应急预案实施情况的评估和反馈，不断优化和完善应急预案。

（三）应急响应能力有一定的提升

近年来，国家电网公司在应急响应能力方面取得了一定提升。通过加强应急队伍建设、完善应急资源储备、开展应急演练等措施，提高了应急响应的速度和效率。在应急队伍建设方面，国家电网公司注重选拔和培养具备专业技能和处置能力的应急队员，加强了对应急队员的培训和演练^[3]。同时，公司还注重与地方政府、公安部门、消防部门等相关部门的协调配合，形成了联动机制，共同应对电力安全事故。在应急资源储备方面，国家电网公司建立了完善的应急物资储备体系，确保在事故发生时能够迅速调拨应急物资。同时，公司还注重应急资源的优化配置和动态管理，确保应急资源能够根据实际情况进行灵活调配。在应急演练方面，国家电网公司定期开展应急演练活动，检验应急预案的实用性和可操作性，提高应急响应能力。同时，公司还注重对应急演练的总结和评估，发现问题及时整改和优化。

二、国家电网电力安全事故应急响应机制存在的问题

（一）应急响应速度有待提升

尽管国家电网公司在应急响应能力方面取得了一定提升，但在应急响应速度方面仍有待提高。由于信息传递机制不完善、应急资源调配不够灵活等原因，导致在事故发生时应急响应速度较慢，无法迅速有效地进行应急处置^[4]。在信息传递方面，国家电网公司需要进一步完善信息传递机制，确保在事故发生时能够迅速准确地传递信息。同时，还需要加强与相关部门的协同配合，形成联动机制，提高信息传递的效率和准确性。在应急资源调配方面，国家电网公司需要优化应急资源储备和调配机制，确保在事故发生时能够迅速调拨应急资源，提高应急响应的速度和

效率。

（二）应急资源调配不够灵活

国家电网公司在应急资源调配方面存在的问题，主要表现为应急资源调配不够灵活。由于应急资源储备和调配机制不够完善，导致在事故发生时无法迅速调拨应急资源，影响了应急处置的效果^[5]。在应急资源储备方面，国家电网公司需要进一步完善应急物资储备体系，合理规划应急物资的种类、数量和布局。同时，还需要加强应急物资储备库的建设和管理，确保应急物资的质量和数量能够满足实际需要。在应急资源调配方面，国家电网公司需要优化应急资源调配机制，加强与相关部门的协同配合，形成联动机制。通过完善应急资源储备和调配机制，提高应急资源调配的灵活性和效率。

（三）应急预案的针对性和可操作性有待加强

尽管国家电网公司已经制定了较为完善的应急预案，但在预案的针对性和可操作性方面仍有待加强。部分预案内容过于笼统，缺乏针对性和可操作性，无法有效应对各类电力安全事故。在应急预案的制定过程中，国家电网公司需要充分考虑电网运行的特点和可能发生的各类事故类型，制定针对性的应急措施和处置方案^[6]。同时，还需要加强与相关部门的协同配合，形成联动机制。通过细化预案内容，提高预案的针对性和可操作性，确保在事故发生时能够迅速有效地进行应急处置。

（四）应急培训和演练的实效性不足

国家电网公司在应急培训和演练方面存在的问题，主要表现为培训和演练的实效性不足。部分应急培训和演练内容过于简单，缺乏实战性和针对性，无法有效提高应急队伍的应急处置能力^[7]。在应急培训方面，国家电网公司需要注重培训内容的实战性和针对性，加强对应急队伍的专业技能和应急处置能力的培训。同时，还需要加强对培训效果的评估和考核，确保培训质量。在应急演练方面，国家电网公司需要注重演练的实战性和针对性，模拟真实的事故场景和应急处置过程。通过加强应急培训和演练，提高应急队伍的应急处置能力和实战水平。

三、国家电网电力安全事故应急响应机制问题的解决对策

（一）优化信息传递机制 提升应急响应速度

面对电网运行中可能出现的各种突发事故，一个高效、准确的信息传递体系是确保快速响应、有效处置的关键。国家电网公司需构建多元化的信息传递渠道。这包括但不限于电话通讯、短信提醒、电子邮件通知等传统方式，同时还应积极探索和利用现代科技手段，如即时通讯软件、移动应用等，以实现信息的即时传递与共享^[8]。这些渠道应相互补充，确保在任何情况下都能迅速、准确地传递关键信息。加强跨部门、跨机构的协同配合至关重要。国家电网公司需与相关部门建立紧密的联动机制，通过定期沟通、信息共享和联合演练等方式，提升整体应急响应能力。这种协同不仅限于信息传递层面，更应深入到应急处置的各个环节，确保各方能够迅速响应、协同作战。建立完善的信息监测系

统也是优化信息传递机制的重要一环。通过实时监测电网运行状态和事故信息，系统能够及时发现并预警潜在的安全隐患，为应急响应提供宝贵的时间窗口。同时，监测系统还能为应急处置提供准确的数据支持，帮助决策者做出更加科学合理的决策。

（二）优化应急资源储备 增强应急资源调配灵活性

合理规划应急物资的种类、数量和布局是基础。国家电网公司需根据历史事故数据、电网运行特点以及潜在风险，科学预测应急物资的需求，确保所储备的物资既能满足实际需求，又不会造成资源浪费。同时，应急物资的布局也应考虑到地域分布、交通条件等因素，确保在紧急情况下能够快速调拨。加强应急物资储备库的建设和管理至关重要^[9]。储备库不仅要具备足够的容量和合理的布局，还应配备先进的仓储管理系统，实现物资的智能化管理。此外，定期对储备物资进行检查、维护和更新，确保其质量和可用性，也是保障应急响应能力的重要一环。在优化应急资源调配流程方面，国家电网公司需加强与相关部门的协同配合，形成高效的联动机制。通过建立信息共享平台，实时掌握应急资源的需求和分布情况，为快速、准确的资源调配提供有力支持。同时，简化调配流程，减少不必要的审批环节，提高资源调配的效率。

（三）细化预案内容 加强应急预案的针对性和可操作性

全面分析电网运行的特点和可能发生的各类事故类型是基础。国家电网公司需结合电网结构、运行环境以及历史事故数据，对各类潜在风险进行细致梳理和评估。在此基础上，制定针对性的应急措施和处置方案，确保预案能够精准应对不同类型的电网事故。同时，加强与相关部门的协同配合，形成高效的联动机制，确保在紧急情况下能够迅速调动各方资源，共同应对挑战。注重预案的实用性和可操作性至关重要^[10]。预案内容应简明扼要、易于理解，避免使用过于专业或晦涩的术语。同时，预案中的应急措施和处置方案应具体明确，具有可操作性，确保一线

人员在紧急情况下能够迅速准确地执行预案。此外，国家电网公司还应定期组织预案演练和培训，提高员工的应急处置能力和对预案的熟悉程度。

（四）丰富培训内容 提高应急培训和演练的实效性

培训内容的实战性和针对性是核心。国家电网公司应紧密结合电网运行的实际需求和可能面临的各类紧急状况，设计具有实战意义的培训课程。通过邀请行业内的专家进行授课，分享他们在应急处置中的宝贵经验，为应急队伍提供理论支持和实践指导。同时，开展实战演练，模拟真实的事事故场景和应急处置过程，让应急队伍在模拟环境中进行实际操作，从而提高他们的应急处置能力和实战水平。对培训效果的评估和考核同样重要。国家电网公司应建立一套完善的培训效果评估体系，通过定期考核和评估，了解应急队伍在培训中的表现和进步。这不仅可以及时发现和解决培训中存在的问题，还可以为后续的培训提供有针对性的改进建议。同时，将培训效果与绩效考核相结合，激励应急队伍积极参与培训，提升他们的学习动力。此外，应急演练的实战性和针对性也不容忽视。国家电网公司应精心策划和组织应急演练，确保演练内容贴近实际、贴近实战。通过模拟真实的事事故场景和应急处置过程，检验应急队伍的应急处置能力和实战水平，同时发现存在的问题和不足，为后续的培训提供改进方向。

四、结论

国家电网电力安全事故应急响应机制在保障电网安全稳定运行方面发挥着重要作用。在未来的发展中，国家电网公司将继续加强应急响应机制建设，不断提高应急响应能力和水平。同时，还需要加强与相关部门的协同配合，形成联动机制，共同应对各类电力安全事故。通过全社会的共同努力，确保电网安全稳定运行，为人民群众的生产生活提供可靠保障。

参考文献

[1] 刘书琪. 电力技术在电网调度运行中的应用分析 [J]. 光源与照明, 2024, (02): 225-227.
[2] 闫朝阳, 杨康, 丁超杰, 等. 电力调度与电网运行安全策略分析 [J]. 电子技术, 2024, 53(02): 98-99.
[3] 虞明标. 基于智能照明系统的电力网络安全监测与控制 [J]. 灯与照明, 2023, 47(04): 63-66.
[5] 刘帮, 饶渝泽. 国网湖北电力开发应用复杂耦合下的受端电网安全主动防御关键技术 [N]. 国家电网报, 2023-12-06(002).
[6] 张水鑫. 变电运行管理与电网安全运行探讨 [J]. 电气技术与经济, 2023, (09): 262-264.
[7] 沈毅. 强化电网企业安全管理工作探讨 [J]. 电力安全技术, 2021, 23(10): 4-7.
[8] 刘秉军, 胡诗秒, 李红发, 等. 电力应急管理培训机制建立的研究 [J]. 电力设备管理, 2021, (09): 154-155+158.
[9] 安高翔. 湖北电力: 提高应急能力, 确保电网安全运行 [J]. 中国安全生产, 2021, 16(06): 48-49.
[10] 王强, 黄志刚. 超大型城市电网智能化防御机制建设 [J]. 企业管理, 2017, (S2): 284-285.

基于无人机遥感技术的电力杆塔倾斜检测研究

刘建蓝

福建永福电力设计股份有限公司, 福建 福州 350108

摘 要： 我国比较常见的电力设施巡检方式仍停留在人工爬塔巡检、仪器架设或肉眼观察等形式，整体劳动强度相对较高，巡视效率相对偏低；更重要的是，难以切实维护巡检人员的人身安全。随着电网系统的现代化、智能化发展，传统的巡检方法已难以满足行业要求，电力设施、高压输电线路巡检工作中引入智能技术已成为行业发展的必然趋势。文章将以电力系统中的杆塔倾斜巡检为重点，选择无人机遥感技术为主要手段，探究该技术在杆塔倾斜检测中的应用方式。

关 键 词： 电力杆塔；倾斜检测；无人机遥感技术

Research on Tilt Detection of Power Tower Based on Unmanned Aerial Vehicle Remote Sensing Technology

Liu Jianlan

Fujian Yongfu Power Design Co., Ltd. Fuzhou, Fujian 350108

Abstract： The common inspection methods for power facilities in China still remain in the form of manual tower climbing inspection, instrument installation, or visual observation. The overall labor intensity is relatively high, and the inspection efficiency is relatively low; More importantly, it is difficult to effectively maintain the personal safety of inspection personnel. With the modernization and intelligent development of the power grid system, traditional inspection methods are no longer able to meet industry requirements. The introduction of intelligent technology in the inspection of power facilities and high-voltage transmission lines has become an inevitable trend in industry development. The article will focus on tower tilt inspection in the power system, using unmanned aerial vehicle remote sensing technology as the main means to explore the application of this technology in tower tilt detection.

Keywords： power tower; tilt detection; unmanned aerial vehicle remote sensing technology

前言

电力行业与国民经济之间有着极为紧密的关联，两者相互依存。当前，我国电网系统规模在不断扩大，发展体系也日益成熟。作为电能输送中的核心载体，输电线路的运行稳定性至关重要。然而，随着我国用电普及范围的不断扩展，输电线路逐渐延伸至越来越恶劣的环境中，电力杆塔所处的条件也相对较严苛，加大了电力设施的巡视运维难度。结合无人机遥感技术发展趋势分析来看，将其作为飞行平台引入电力行业巡检工作也有较高的可行性。

一、基于无人机遥感技术的电力杆塔倾斜检测数据获取

（一）架构系统框架

基于无人机遥感技术的电力杆塔倾斜检测系统中共包括四部分，分别为飞行平台、传感器数据采集系统、数传系统以及地面站系统。

首先，作为整个系统中的基本组成单元，飞行平台的运行状态会直接影响检测结果。为切实提升平台运行稳定性及检测精准性，检测人员可以优先选择多旋翼无人机设备。

其次，在传感器数据采集系统方面，整体架构可以参考图1。其中，惯性稳定云台中，需要加入减震器器件。通过这一方式，降低拍摄过程中动力系统造成的振动影响，提升拍摄质量，确保采集的数据精准有效。并且，在云台中，检测人员可以根据不同的检测对象，安装不同的采集设备，如相机、红外、紫外以及激光雷达

等^[1]。为避免无人机遥感设备自身造成的数据影响，检测人员还可以在设备中安装自稳定控制系统；POS系统可以辅助检测人员实时了解测量的位置信息与姿态信息。借助云台控制器的存储与处理，明确电力杆塔的运动量误差，进而初步判断其倾斜状态。

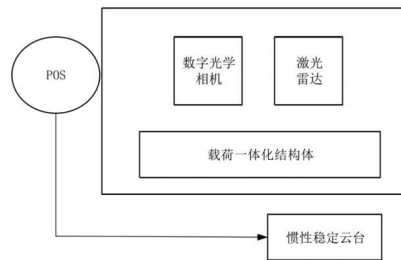


图1 传感器数据采集系统图

再者，在数传系统方面，主要包括三部分，分别为机载数据终端、中继设备以及地面数据终端。在电力杆塔倾斜检测工作

作者简介：刘建蓝（1984.10—），男，汉族，河南省潢川县人，高级工程师，大学本科，研究方向：遥感、测绘技术及在电力领域的应用。

中,检测人员可以通过这一系统,实现检测数据的实时传输,充分满足野外巡检工作要求。此外,在传输系统中,包含数字图传模块。检测人员可以利用其实时传输高分辨率的图像信息,稳定传输状态,提升传输速率。

最后,在地面数据处理方面,所建立的处理系统主要功能在于处理无人机遥感设备采集输送的各类电力杆塔数据,如图片信息、飞行姿态、激光点云等^[2]。借助该系统,检测人员可以对电力杆塔的缺陷形成精准识别,及时察觉杆塔中存在的倾斜隐患,并精准界定其位置,及时进行运维处理,确保系统稳定运行。

(二) 搭建遥感平台

基于无人机遥感技术的电力杆塔倾斜检测实践中,常用无人机飞行平台为小型多旋翼无人机飞行平台。其整体的系统建构可以参考图2。选择的无人机设备为大疆 M300RTK,无人机设备的基础参数可以参考下表。此外,具体操作中,检测人员还可以结合实际情况,酌情安装激光雷达测量系统,通过其与自稳云台的配合,充分满足巡检要求,提升巡检高效性^[3]。

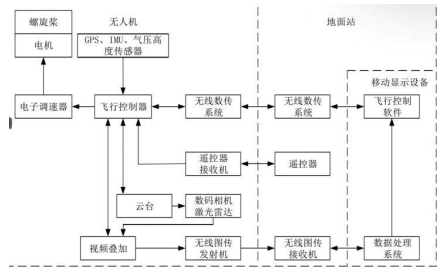


图2 无人机飞行平台系统架构

表1 大疆 M300RTK 无人机设备的基础参数

项目	指标
尺寸	810×670×430mm
重量	(三) kg
最大载重	2.7kg
悬停精度	垂直: ±0.1m; 水平: ±0.1m
RTK 位置精度	垂直1.5cm+1ppm; 水平: 1cm+1ppm
障碍物感知范围	(一) -8m

(三) 获取遥感数据

第一,明确任务与目标。正式利用无人机遥感技术进行塔杆倾斜数据检测任务前,检测人员需要生成清晰可行的工作计划,明确以下几点重要信息:检测区域内电力杆塔的输电线路走廊情况、航测规模、航测高度、作业日期、无人机设备的升起位置、降落位置。此外,在正式进行检测前,检测人员还需到达现场,对检测范围内的现场条件形成充分了解,明确划定起降场地。必要时,也需进行提前试飞,合理规划无人机设备的航迹,确保其飞行高度以及安全距离充足。

第二,布设像控点。为切实提高电力杆塔倾斜检测数据及三维模型的精准度,正式操控无人机设备前,需合理布设图面控制点。具体操作中,检测人员可根据现场情况,合理选择相控点的样式,如十字形、圆形或L型。不同像控点样式的像素有一定区别,以较为常见的L型为例,其长宽像素分别为15-20cm、3-4cm^[4]。布设像控点时,检测人员需遵循均匀性原则。而后,需要在航测区域内,获取像控点的坐标数据。传统工作环境中,检测人员可使用全站仪设备,但该设备对于可见光及视线有较为严格的要求,也需要

检测人员多次移动,极容易累积误差。所以,在无人机遥感技术的配合下,检测人员可替换为 RTK 设备,切实提高测量的便捷性、高效性与直观性。测量期间,检测人员也要随时调整气泡,并保持仪器的铅直状态,进行多次测量,求取多结果中的平均值,控制测量误差。实验中,所布设的相控点共7个,其中有3个围墙顶面像控点及4个地面像控点,其坐标如表2所示。

表2 实验坐标数据

点号	X/m	Y/m	Z/m
RTK-01	***783.403	***3906.163	173.892
RTK-02	***843.334	***3899.742	173.938
RTK-03	***950.852	***3889.379	174.255
RTK-04	***847.507	***3972.765	172.402
RTK-05	***926.148	***3924.823	173.043
RTK-06	***874.786	***4009.601	171.927
RTK-07	***963.150	***3972.884	172.918

第三,设计航线并进行飞行作业。进行无人机航飞之前,检测人员需进一步了解任务要求及技术规范,能够合理设定飞行的具体参数,确保获取的影像数据精准、可靠。在电力杆塔倾斜度检测工作中,检测人员可以以倾斜摄影测量航线设计为主,着重关注航高、影像重叠度、航线参数的设计^[5]。完成基础准备工作后,需按照特定要求,选择天气较好的时间进行操作,全面开展数据采集,具体流程如下。首先,检测人员需提前到达航测区域,组装自稳定云台、飞行平台、激光雷达扫描仪及倾斜摄影相机;同时,需对无人机设备的质量、电池电量进行检测,着重检查桨叶安装情况,并进行简单试飞;然后,在飞行平台导航控制系统中,输入提前设置好的无人机航迹参数,明确航高与航线。最后,以手动操作的方式,运行无人机系统,并于地面控制系统发送各类命令,按照既定流程,利用无人机采集传输相关数据。

第四,数据检查。在利用无人机遥感技术检测电力杆塔的倾斜情况时,所采集的数据通常会受到外界客观因素的影响,如风力因素、温差因素、环境因素。所以,初步完成数据采集工作后,检测人员需对影像数据进行检查,判断影像质量是否能够满足检测工作要求。一般情况下,在影像检查中,检测人员需关注以下几大标准。第一,图像是否清晰;第二,图像中的光线是否充足;第三,图像中是否存在反光问题或阴影问题。在确保图像不存在以上几类问题的情况下,将其导入到检测系统,用于后续的倾斜度检测参考。

第五,数据获取。确保采集数据、信息准确且具备参考价值的前提下,将其存储于检测系统中。此外,检测人员需要着重关注航测数据。在明确采集范围、采集航线的基础上,合理操控无人机设备,确保激光雷达不会出现漏扫问题。为保证倾斜影像数据质量,检测人员还需要设定多个检测方向,以“井”字航线操控无人机,在航线不变的状态下进行多次航飞,最终结合对比数据建立三维模型,并对倾斜度进行对比分析。

二、基于无人机遥感技术的电力杆塔倾斜检测实践分析

(一) 电力杆塔倾斜检测原理

在电力系统巡检方面,电力杆塔的倾斜可以被理解为杆塔中

心偏离铅锤位置的现象。其倾斜度的计算方式如下：

$$q = \frac{S}{H} \times 100\%$$

其中，q代指电力杆塔的倾斜程度；S代指杆塔的倾斜值；H代指巡检过程中杆塔测量点距离地面的高度。

客观来看，在当前的杆塔倾斜检测工作中，我国并未建立统一、明确的规定要求，不同地区、不同高度的电力杆塔倾斜度要求并不相同。如钢筋混凝土类的杆塔最大允许倾斜度为1.5%；钢管材料杆塔的最大允许倾斜度为0.5%^[6]。具体检测工作中，检测人员需要根据实际情况合理划分检测标准。

传统检测工作中，检测人员可以应用的主要技术设备为全站仪。具体操作流程如下：首先，找准杆塔中心，在距其塔高1.5倍的位置处架设全站仪设备。完成设备的安装以及调平操作后，转动设备镜筒，分别从顺线路位置与横线路位置进行检测。

（二）电力杆塔倾斜检测流程

利用无人机遥感技术检测电力杆塔倾斜情况的过程中，检测人员需要选择正确的检测方法，并架构完善的检测流程。

正式进行测量工作前，检测人员需要明确杆塔的结构框架，将其设定为完整的刚性体。在此基础上，转化杆塔倾斜度，将其理解为顶面对角线与底面对角线交点处形成的空间投影偏离值与中心点高度之间的比值。而后，需要利用无人机遥感技术确定关键参数，如底面中心点、位移中心点、顶面中心点、杆塔测量高度等^[7]。基于关键参数的整合与计算，对电力杆塔的倾斜情况形成直接展示。

具体来看，在利用无人机遥感技术进行倾斜检测时，可以参考如下流程。

第一，需要建立绝对水平面。基于无人机遥感技术的辅助，建立虚拟化实景模型。并从这一模型依托中，明确较高塔身的坐标。完成这一操作后，从中选择高程数值的最小值，并建立绝对水平面；明确塔脚坐标，并从中选择高程数值的最大值，建立绝对水平面。

第二，需要求取空间直线方程。假设经过无人机遥感技术测量后，选择的塔身坐标以及塔脚坐标分别为o（ x_o ， y_o ， z_o ）以及O（ X_o ， Y_o ， Z_o ），那么检测人员需要建立的空间直线方程如下：

$$\frac{X-x_o}{X_o-x_o} = \frac{Y-y_o}{Y_o-y_o} = \frac{Z-z_o}{Z_o-z_o}$$

第三，需要对塔脚的坐标进行修正。完成空间直线方程的建立与计算后，检测人员需要对其他三条棱的方程进行推导计算，并关联于绝对水平面方程，以此明确其他塔脚点的修正值，提升检测结果精准性。

第四，需要对上下位置的绝对水平面中心点进行检测。在利用无人机遥感技术完成基础检测工作后，检测人员需要依次连接经过修正后的各个顶点坐标，建立完整的四棱台顶面结构。在此基础上，明确顶部与底部的中心点位置。

需要对塔杆的倾斜值与高度进行计算。在明确顶部与底部的中心点位置后，检测人员可以将得到的数据、坐标参数代入到公式 $\frac{X-x_o}{X_o-x_o} = \frac{Y-y_o}{Y_o-y_o} = \frac{Z-z_o}{Z_o-z_o}$ 中，通过这一方式重新推导生成新的空间直线方程，对电力杆塔的法向量以及夹角度数进行计算，最

终生成明确倾斜度结果^[8]。

（三）电力杆塔倾斜检测结果

在利用无人机遥感技术测量电力杆塔的倾斜度过程中，检测人员需同步使用激光雷达技术与无人机倾斜摄影技术，在技术的辅助下明确模型坐标，而后逐步推进倾斜度的计算工作。在此期间，检测人员也可合理导入智能化软件Acute3D Viewer，利用该软件提取实景三维模型中的坐标点，并自动化生成明确坐标数据。为便于后续倾斜度的计算与测量，检测工作中检测人员还可以以2000国家大地坐标系CGCS2000为塔干坐标点的提取基础^[9]。

完成这一操作后，检测人员需要合理规划无人机遥感设备的航线，并合理设定架次。完成无人机遥感设备操控任务后，将采集到的信息进行预处理，并通过导入参数的方式建立三维模型，从中提取坐标。在此过程中，检测人员需要重点关注的内容为，尽量提升高程数值的相近性，从而控制倾斜度的测量与计算误差。最后，检测人员可以将各个架次获得的坐标信息整理归纳，结合前文所建立的流程体系进行进一步的推导分析，输出的数值便是整个塔杆不同架次的倾斜度。

对比传统工作环境中常用的全站仪检测技术分析来看，无人机遥感技术辅助下形成的检测结果最大误差更低，前者误差处在0.16%范围内，后者误差则可以控制在0.06%左右^[10]。由此可见，在电力杆塔倾斜检测中，无人机遥感技术具备较高的应用价值与应用可行性，可以减少单次测量、传统测量形成的偶然误差，大大提升检测效率。

三、结论

综上所述，作为一种安全效益、经济效益相对较高的方式，利用无人机遥感技术进行电力杆塔倾斜检测，逐渐发展成为电力行业技术人员需重点关注及掌握的一项技术手段。结合文本分析来看，运用技术推进倾斜检测工作时，需选择合适的电力杆塔三维模型建构技术、获取丰富检测数据。此外，需深入把握以无人机遥感技术为依托的电力杆塔倾斜检测原理，建立完善模型、合理流程，精准界定检测算法，并充分运用检测结果，以实现电力巡检工作的现代化发展。

参考文献

- [1] 韩冰，尚方. 面向无人机输电线路巡检的电力杆塔检测框架模型[J]. 浙江电力，2022, 35 (04): 6-11.
- [2] 王榆夫，韩军，赵庆喜，等. 基于无人机图像的电力杆塔倾斜检测[J]. 计算机仿真，2022, 34 (07): 426-431.
- [3] 江亮，郑恩辉，童景哲. 基于电力杆塔巡检的无人机重定位拍照系统设计[J]. 科技通报，2020, 36 (10): 33-35.
- [4] 芦竹茂，龚浩，金秋衡，等. 无人机激光雷达点云电力杆塔倾斜状态测量[J]. 应用科学学报，2022, 40 (03): 389-399.
- [5] 徐思. 基于北斗的电力杆塔倾斜度监测装置的研制[D]. 合肥工业大学，2021.
- [6] 姚煜. 基于无人机遥感技术的电力杆塔倾斜检测[D]. 东北农业大学，2021.
- [7] 徐全. 基于无人机巡检的电力杆塔识别与测量[D]. 中国矿业大学，2023.
- [8] 林琦. 基于无人机激光点云的电力杆塔倾斜检测算法研究[D]. 广西大学，2023.
- [9] 李法斌. 基于机载可见光与激光雷达技术的电力杆塔倾斜测量[D]. 东北农业大学，2022.
- [10] 胡霞，仲林林. 基于改进R3det的无人机电力杆塔倾斜程度检测[J]. 仪器仪表学报，2023, 44 (10): 189-200.

国网单位光伏储能一体化的可行性分析

陈春梅, 章燕, 成先平

荆州三新供电服务有限公司, 湖北 荆州 434000

摘要： 本文对国网单位推行光伏储能一体化建设可行性进行深入探究，通过总结光伏储能一体化技术来分析该技术对于提高电网稳定性和实现能源优化配置的需求；同时对光伏与储能技术成熟度、成本效益及相关政策扶持等方面开展技术、经济与政策三个维度可行性研究。并且对实施中所遇到的挑战进行了剖析来给出了相应的解决措施，研究显示国网单位光伏储能一体化发展是可行的，但是需要面对多方面的挑战才能获得可持续发展。

关键词： 国网单位；光伏储能一体化；可行性分析；技术；经济；政策

Feasibility Analysis of Photovoltaic Energy Storage Integration in State Grid Units

Chen Chunmei, Zhang Yan, Cheng Xianping

Jingzhou Sanxin Power Supply Service Co., Ltd. Hubei, Jingzhou 434000

Abstract： This delves into the feasibility of implementing integrated photovoltaic energy storage in State Grid units. By summarizing the technology of photovoltaic energy storage integration, the analyzes how this technology meets the needs of improving grid stability and achieving optimal energy configuration. Meanwhile, the paper carries out a three-dimensional feasibility study from the aspects of, economy, and policy, including the maturity of photovoltaic and energy storage technologies, cost-benefit analysis, and relevant policy support. Additionally, the paper the challenges encountered during implementation and provides corresponding solutions. The research shows that the development of integrated photovoltaic energy storage in State Grid units is feasible, but various challenges is necessary to achieve sustainable development.

Keywords： state grid units; integrated photovoltaic energy storage; feasibility analysis; technology; economy; policy

引言

在全球能源需求不断增加、环境问题日益严重的今天，开发利用可再生能源已成为当今能源领域一个重要的发展方向。光伏发电是近年来被广泛应用与开发的清洁可持续能源，但是光伏发电存在间歇性、波动性等特性给电网稳定性和可靠性提出一定的挑战，同时储能技术的进步给这一难题的解决带来了可能性，光伏储能一体化系统结合光伏发电及储能技术实现对能量的储存及优化利用前景广阔。并且对国网单位来说开展光伏储能一体化可行性研究有实际意义，可为能源转型与可持续发展提供决策支持。

一、国网单位实施光伏储能一体化的必要性分析

（一）提高电网稳定性与可靠性

光伏发电间歇性与波动性易引起电网电压、频率的波动，从而影响电网平稳运行，储能系统能够在光伏发电功率波动情况下适时充放电并平滑功率输出，从而有效减轻对电网的影响，增强电网稳定性与可靠性。同时当电网发生故障或者断电后储能系统可以快速地提供备用电源以保证重要用户用电，增加了供电连续性与可靠性^[1]。

（二）优化能源资源配置

国网单位覆盖范围较广，各区域能源资源分布及电力需求也有所差别，通过光伏储能一体化系统实现太阳能资源就地消纳与

储存来降低能源传输损耗。同时在太阳能资源充足而用电需求少的区域能够储存多余电能，并在用电需求峰值后释放利用，进而实现能源资源时空优化配置和能源利用效率。

二、国网单位实施光伏储能一体化的可行性分析

（一）技术可行性

1. 光伏和储能技术的成熟度与可靠性评估

光伏发电技术在今天已经比较成熟，其中晶硅太阳能电池转换效率节节攀高、成本越来越低，它的制造工艺越来越精、设备质量越来越靠前、安装调试越来越规范、运行维护越来越有经验并能够在多种环境中稳定地产生电能^[2]。同时储能技术亦有了

作者简介：陈春梅（1980.03-），女，汉族，湖北公安人，大学本科，研究方向：供电所营销。

明显的发展，锂离子电池和其他电化学储能技术的性能得到了很大的改善，不但充放电效率更高而且循环寿命更长；所有这一切为光伏储能一体化发展奠定了扎实的技术基础并保障了系统可靠性。

2. 系统集成与兼容性技术

光伏储能一体化系统在集成技术方面已经比较成熟，本实用新型可针对不同的场景与需求有机集成光伏发电、储能、能量转换与控制单元。通过标准化的接口与通信协议实现了设备之间无缝连接与协同工作，比如在将大型光伏电站融入储能系统时能够实现功率与容量的精准匹配以及系统配置的最优化。同时兼容性技术要确保不同品牌和机型设备互联互通，以便于系统扩展与升级，在减少运维难度的同时增强整体系统稳定性与可靠性^[3]。

（二）经济可行性

1. 投资成本分析

国网各单位开展光伏储能一体化工程的投资费用涉及到诸多方面，光伏发电设备的成本受到技术和规模的影响，虽然整体上有降低的趋势但是仍然占有相当大的比例。其中储能设备的造价特别是高性能电池的造价昂贵，而且各种电池的价格相差很大；并且安装调试需要专业的团队来完成，其费用也不容忽视。与此同时土建工程及其配套设施的造价随工程的位置和大小而变化，规模较大的工程也需要考虑土地租赁和接入电网的成本，对各种费用进行全面评价需要精细测算才能保证项目投资合理、经济。

2. 运营成本与收益分析

运营成本主要由设备维护、能源消耗、人工构成，其中光伏发电设备的保养比较简单，以定期的清洗与巡检为主；储能设备的维修复杂且费用昂贵，对电池的检测、维修及更换的费用也大。而能源消耗成本关系到系统的效率，人工成本主要由运营模式及规模决定；从收益来看电力销售为主要的收入来源，电价政策会对收益水平产生影响。与此同时参加电网的辅助服务可以得到补偿，例如调峰调频等；在此基础上节能减排的回报也是不容低估的，可以获得相应的补助，这种成本和收益的全面分析需要对市场的变化进行准确的预测和运营策略的优化^[4]。

（三）政策可行性

1. 国家能源政策与发展规划支持

我国正在积极推进可再生能源的开发，国家能源政策及发展规划都明确提出要扶持光伏发电及储能，国家能源战略重视太阳能发电的发展并推出补贴政策等多项鼓励政策以促进光伏发电的扩张，对技术研发的扶持则有利于效率的提高与成本的下降。与此同时储能技术被列入科技创新规划、鼓励研发示范等政策氛围的形成，为国网各单位光伏储能一体化项目的开展提供政策导向与发展契机，有利于能源结构转型与可持续发展。

2. 地方政府配套政策与激励机制

地方政府在推动当地可再生能源开发方面制定了大量配套政策及激励机制，许多地区都给予光伏发电项目补贴资金以鼓励其投资兴建。同时对于储能，通过投资补贴和税收优惠的扶持促进储能项目的落地，有的地方也启动了示范工程的建设来重点确保工程并网接入等等。另外国网各单位可以充分利用上述政策并根

据本地实际积极布局光伏储能一体化工程，以提升工程经济性与可行性，推动本地能源结构优化与经济发展。

三、国网单位实施光伏储能一体化面临的挑战与对策

（一）技术挑战与解决方案

1. 光伏储能系统性能优化难题

光伏电池转换效率会受到光照强度和温度等诸多因素的影响而出现衰减问题，储能电池充放电效率、循环寿命等性能指标还需要进一步提升；与此同时光伏储能一体化系统各个部件之间的匹配及协同工作受到了挑战，例如光伏发电功率和储能容量之间的匹配问题以及能量转换单元效率优化问题。针对上述问题需要增加研发投入并探索新的光伏电池材料与结构以提升光电转换效率与稳定性，并且针对储能电池研究开发高性能的电极材料及电解液并对电池管理系统进行优化，促进电池充放电效率及循环寿命的提高。另外采用智能控制算法对系统中各个部件进行动态优化配置并依据实时工况对运行参数进行调节，以改善整体性能^[5]。

2. 系统安全与可靠性保障

光伏储能系统主要存在电气安全和电池安全隐患，其中电气设备会因为过载或短路而导致火灾或者触电事故的发生。当储能电池处于过充、过放和过热状态时会出现热失控甚至爆炸的现象，所以为了保证系统安全可靠地运行就必须制定严格的安全标准与规范，对设备选型、安装调试直至运行维护等整个过程严格把关。同时要使用先进的电池管理系统来实时监控电池的各种状态，如电压、电流和温度等，一旦检测到任何异常就要立即采取相应的应对措施。在此基础上还要配备健全的消防系统及应急处理机制来强化人员安全培训，以便能够增强突发事件的处置能力。

（二）经济挑战与应对策略

1. 初始投资成本高

国网单位开展光伏储能一体化工程所需经费投入巨大，其中光伏发电设备、储能设备及配套设施建设和安装调试所需经费较大，其中储能设备费用比重较大，而现有储能技术费用还比较昂贵导致工程初期投资费用偏高。另外项目的建设规模和地理位置也影响投资成本，针对初始投资成本过高的现状可以采取如下策略：首先是大规模采购以集中购置设备来降低采购成本；同时与设备供应商进行长期的合作，以获得更加优惠的价格及服务。其次是对项目设计与施工方案进行优化来使设备配置与工程建设成本得到合理减少并且达到技术要求，比如利用高效光伏组件及储能系统来提高能量转换效率、减少器件数量等。在此基础上要积极寻求国家及地方政府补贴资金、税收优惠及其他政策扶持，政府支持可再生能源及储能项目政策能有效减轻项目资金压力并降低投资成本^[6]。除此之外还要探索多元化的融资渠道，如银行贷款、债券融资、股权融资等方式来合理地安排融资结构，以便能够降低融资成本并给项目以足够资金保障。

2. 储能成本占比较大

在光伏储能一体化工程中储能成本是经济性最主要的因素。当前储能技术虽有所进步但其成本依然居高不下，特别是电池成

本,其储能电池在寿命、能量密度、充放电效率等性能指标上也会显着影响其成本。同时储能系统运行和维护成本不可忽略,为了降低储能成本可以从如下几方面着手:第一,促进储能技术不断创新与进步,开发新型储能技术与材料以改善储能电池性能并降低成本,如新一代锂离子电池的开发与新型液流电池的研制等,在降低制造成本的前提下增加了能量密度并且延长了循环寿命^[7]。第二,对储能电池梯次利用进行研究,利用退役电动汽车电池等为储能领域提供能源使其充分利用剩余电能来减少储能成本;并且通过构建完整的电池评估与筛选体系保证梯次利用电池安全可靠。第三、对储能系统运行策略进行优化,针对电力市场价格波动及用户需求合理分配储能系统充放电时间以提高储能系统使用效率并降低运营成本,应强化储能产业链协同来推动上下游企业间协作,以规模效应与技术创新来降低成本。

（三）政策与市场挑战及解决措施

1. 政策支持力度有待加强

尽管国家及地方政府相继推出多项扶持光伏储能一体化的相关政策,但是在具体实施过程中还需要进一步强化政策扶持,其部分政策执行力度不够、补贴资金不能及时拨付,税收优惠政策难以落实都会影响企业投资积极性及项目进度^[8]。另外政策稳定性与持续性有待进一步提升,企业长期政策预期不确定不利于工程规划与建设;而针对政策支持不到位的情况,国网各单位要主动与政府部门进行沟通协调来及时反映工程实施中存在的难点问题,获得更大政策支持及资金补贴。在此基础上还要建立政策跟踪与反馈机制及时掌握政策实施情况并评价其实施效果,以期为政府部门政策调整与优化提供参考依据,政府部门要加大政策执行力度、明确责任部门、工作流程等来保证补贴资金按时足额到位、税收优惠政策得到平稳实施。除此之外还应提升政策稳定性与持续性,确立长远发展规划与政策目标,给企业一个稳定的政策环境以提升其投资信心^[9]。

2. 电力市场机制不完善

目前我国电力市场机制还不够健全,对光伏储能一体化系统

接入、运行及交易都有一定的制约与阻碍作用,同时电力市场交易规则不清晰、价格形成机制不尽合理等问题使得光伏储能一体化项目参与市场竞争面临着不公正的对待,很难实现自身应有的经济价值。另外我国电力辅助服务市场建设尚处在初级阶段,其市场机制不够完善、补偿标准不够清晰等问题影响着光伏储能一体化系统在辅助服务方面的参与热情,所以要完善电力市场机制就需要加快电力市场改革的步伐并且建立和健全电力市场交易规则与价格形成机制。在此基础上要明确光伏储能一体化系统进入电力市场的定位及准入条件并规范接入及运行管理,健全电力市场价格体系并充分考虑光伏发电间歇性、储能调节作用等因素,建立合理电价政策激励储能系统在用户侧进行配置^[10]。除此之外要强化电力辅助服务市场来确定辅助服务类型、标准及补偿机制等以增强辅助服务市场透明度与公平性;建立辅助服务市场考核评价机制来监督管理辅助服务相关企业,在保障服务质量的同时维护市场秩序,从而推动了该系统的健康成长。

四、结语

国网单位推行光伏储能一体化有利于提升电网稳定性和可靠性,在优化能源资源配置的同时迎接电力市场改革的诸多需求。在技术可行性方面,光伏及储能技术成熟度越来越高且系统集成及智能控制技术日臻完善,对工程实施起到技术支持作用。从经济可行性上看尽管初期投资成本较大,但是在技术进步与政策支持下预计运营成本将会下降其收益前景也会相当广阔;并且从经济效益评估指标与方法的合理分析来看该项目在经济上是可行的。另外在政策可行性方面,政府及地方政府推出多项支持政策为该项目的开展营造有利的政策环境,但在执行中还面临着来自技术、经济、政策及市场方面的诸多挑战,必须从强化技术研发来优化成本控制,寻求政策支持及健全市场机制等方面进行应对,才能实现可持续发展并对我国能源转型与电力事业的发展起到积极的推动作用。

参考文献

- [1] 吴建春. 光伏发电系统建设实用技术 [M]. 重庆大学出版社 :2015.04.196.
- [2] 杨彩梅, 辛星志, 石福浩. 基于光伏/储能的油田机采电气系统的仿真分析 [J]. 石油石化节能, 2021, 11(10): 19-23+I0004.DOI: 10.3969/j.issn.2095-1493.2021.10.006.
- [3] 宿小明. 光伏与储能一体化系统控制技术的研究 [D]. 黑龙江省: 哈尔滨工程大学, 2018.
- [4] 游广增, 陈宇, 陈孝元, 等. 考虑短时负荷调峰-长时光伏消纳的液化空气储能系统建模及经济性评估 [J]. 南方电网技术, 2023, 17(12): 90-100+118.DOI: 10.13648/j.cnki.issn1674-0629.2023.12.011.
- [5] 李嘉, 骆凯波, 郭宏磊, 等. 光储一体化微电网及其系统控制策略 [J]. 电力电子技术, 2022, 56(11): 101-105.
- [6] 史明明, 张宸宇, 陈杰, 等. 光储并一体化变换器的多模态控制与分析 [J]. 电力电子技术, 2021, 55(07): 88-92.
- [7] 田路遥. 光伏储能系统在零能耗建筑的应用 [J]. 智能建筑电气技术, 2024, 18(01): 93-99.
- [8] 谢方静, 李慧娟. 基于光伏储能的低碳校园技术研究 [J]. 广东化工, 2023, 50(21): 63-65.
- [9] 闫林, 郭海东, 卢耀锋. 光伏储能一体化自动发电控制研究 [J]. 中国高科技, 2023, (17): 108-109+146.DOI: 10.13535/j.cnki.10-1507/n.2023.17.33.
- [10] 张宇翔, 何海艳, 黄骏飞, 等. 基于平准化度电净现值模型的轨道交通光伏发电储能一体化项目的经济效益分析 [J]. 城市轨道交通研究, 2023, 26(10): 103-108+115.

无人机在配电线路巡视中的应用研究

张功华, 刘红, 肖阳波

国网湖北省电力有限公司潜江市供电公司广华供电所, 湖北 潜江 433124

摘 要 : 在当前的电网相关领域作业中, 无人机在配电线路巡视中的应用不仅能够提高电力系统的安全性和可靠性, 还能够促进相关技术的发展和 innovation, 具有广泛的应用前景和研究价值。针对于此本文是首先分析了无人机配电线路巡视的关键技术, 阐述了无人机技术在电力巡检中的优势, 并针对实际应用中存在的难点提出了相应的优化策略, 通过加强企业研发投入与寻求政府部门帮助等策略的实施, 期望能为无人机在配电线路巡视中的应用提供帮助。

关 键 词 : 无人机; 配电线路; 无人机巡视

Research on the Application of Drones in Distribution Line Inspection

Zhang Gonghua, Liu Hong, Xiao Yangbo

Guang Power Supply Office, Qianjiang City Power Supply Company, Hubei Province Electric Power Co., Ltd. Qianjiang, Hubei 433124

Abstract : In the current power grid-related field operations, the application of drones in distribution line inspection not only improves the safety and reliability of systems but also promotes the development and innovation of related technologies, with broad application prospects and research value. In this regard, this paper first analyzes the key technologies of distribution line inspection, elaborates on the advantages of drone technology in power inspection, and proposes corresponding optimization strategies for the difficulties encountered in actual applications. By implementing such as strengthening corporate R&D investment and seeking government department assistance, we hope to provide assistance for the application of drones in distribution line inspection.

Keywords : drones; distribution lines; drone inspection

引言

随着无人机技术的快速发展, 其在电力系统中的应用越来越广泛, 特别是在配电线路的巡检工作中, 无人机展现出了巨大的潜力。无人机能够快速、高效地完成对输电线路的巡检任务, 尤其在地形复杂、人迹罕至的区域, 无人机的优势尤为明显。然而无人机在配电线路巡视中的应用也面临着诸多挑战。例如无人机的飞行稳定性、图像识别技术的准确性、数据处理和分析能力等都需要进一步提升。

一、无人机配电线路巡视的关键技术

(一) 自动飞行控制技术

自动飞行控制技术能够确保无人机在复杂多变的电力线路环境中稳定、准确地飞行。在具体运行中无人机需要配备高精度的GPS定位系统, 以及惯性导航系统来确保在没有地面控制的情况下也能准确地定位和导航。此外视觉定位系统和激光雷达技术的应用, 可以进一步提高无人机在复杂环境中的自主导航能力。

(二) 高清图像采集与处理技术

随着无人机技术的不断进步, 其在电力系统中的应用也日益广泛, 特别是在配电线路的巡视工作中, 无人机展现出了无可比拟的优势。高清图像采集与处理技术是无人机配电线路巡视的关键技术之一。通过搭载高分辨率摄像头, 无人机能够捕捉到线路的高清图像, 为电力系统的安全运行提供了有力保障。高清图像

采集技术的应用之下, 就要求无人机具备稳定的飞行性能和精确的定位能力, 以此来进一步确保在飞行过程中能够准确地对准目标线路, 并在适当的高度和速度下进行图像采集。此外摄像头的性能也至关重要, 它需要具备高灵敏度和宽动态范围, 以便在不同的光照条件下都能获取清晰的图像^[1]。

(三) 数据传输与实时监控技术

除了高清图集采集技术之外, 在无人机在配电线路巡视中的数据传输与实时监控技术也是确保任务成功的关键。具体而言无人机搭载的高清摄像头和红外传感器等设备能够捕捉到线路的实时图像和热成像数据。这些数据通过无线通信技术, 如4G/5G网络或专用的无线数据链路, 传输回地面控制中心。而地面控制中心根据自身配备的专业监控软件, 能够对接收到的图像和数据进行分析。例如通过图像识别技术, 软件可以自动检测出线路的异常情况, 如绝缘子破损、导线磨损或异物挂线等。同时, 利

作者简介: 张功华 (1981.12-), 男, 汉族, 湖北省潜江市, 大学本科, 技师, 研究方向: 电力生产与营销服务。

用热成像数据，可以发现线路过热等潜在的火灾隐患^[2]。

二、无人机技术在电力巡检中的优势

（一）提高巡检效率与安全性

当前在配电线路的巡视工作中，无人机技术在电力巡检中的应用越来越广泛。其中的优势主要体现在提高巡检效率与安全性上。举例来说无人机可以快速覆盖大面积的输电线路，减少人力巡检所需的时间和劳动强度。无人机搭载的高清摄像头和红外热成像设备，能够实时捕捉输电线路和电力设备的图像信息，及时发现设备的异常情况，如绝缘子破损、导线磨损等问题。这些信息通过无线传输技术实时传送到地面控制中心，便于及时分析和处理，从而大大提高了巡检的效率^[3]。

（二）降低人力成本与风险

而在降低人力成本与作业风险方面，无人机技术在电力巡检中的优势尤为显著。例如某电力公司采用无人机进行高压输电线路的巡检工作，大大减少了传统人工巡检所需的人力资源。在以往的传统线路巡检中，往往需要专业人员穿戴防护装备，攀爬铁塔进行近距离检查，这些检查手段不仅耗时耗力，而且存在较高的安全风险。而无人机可以快速、高效地完成巡检任务，操作人员只需在地面控制无人机飞行，通过高清摄像头和传感器对电力设施进行详细检查，从而避免了人员直接接触高压设备的风险。

（三）实时数据获取与分析

随着科技的迅猛发展，使得无人机技术在各行各业的应用变得越来越广泛。特别是在电力巡检领域无人机技术凭借其独特的优势，正在逐步取代传统的人工巡检方式。在21世纪电力系统对巡检的实时性、准确性和安全性要求越来越高。因此无人机巡查技术应运而生，为电力巡检带来了革命性的变化。在无人机的具体应用中，其依靠搭载高清摄像头和多种传感器可以快速飞抵高压输电线路、变电站等难以接近的区域，进行全方位的巡检。通过高清摄像头，操作人员可以实时观察到电力设备的运行状态，及时发现设备的异常情况。与此同时无人机上的红外线传感器、激光扫描仪等先进设备能够对电力设备的温度、结构等进行精确测量，捕捉到肉眼难以察觉的隐患。更为重要的是，无人机采集到的大量数据可以与人工智能技术相结合，通过大数据分析和机器学习算法，对电力系统的运行状况进行深入分析和预测。这不仅提高了巡检的效率和准确性，还能够提前预警潜在的风险，从而实现电力系统的智能化管理^[4]。

（四）精准故障定位与快速响应

无人机技术在电力巡检中的另一大优势是其精准故障定位与快速响应能力。传统的人工巡检方式不仅耗时耗力，而且在遇到紧急故障时响应速度往往不够快，难以满足现代电网对高可靠性和高效率的要求。相比之下无人机搭载的高清摄像头和红外热成像设备可以迅速捕捉到电力设备的异常情况，如绝缘子破损、导线断裂、接头过热等故障以此可以将及时被发现，从而实现精准故障定位。例如在一次输电线路巡检中，无人机在飞行过程中通

过红外热成像技术发现了一处输电塔上的接头温度异常升高。巡检人员立即通过无人机传回的实时图像和数据，确认了故障位置，并迅速派遣维修团队前往现场。由于故障被及时发现并处理，避免了可能的电力中断和更大的经济损失^[5]。

三、无人机在配电线路巡视中应用的阻碍

（一）技术成熟度不足与操作复杂性

在工作人员应用无人机进行电路巡视中发现，由于无人机的电池续航能力有限，使得这在长距离或大规模的线路巡视中尤为明显。电池的频繁更换或充电会降低作业效率，影响巡视任务的连续性。其次无人机在恶劣天气条件下的稳定性和可靠性仍需提高。强风、暴雨、高温等极端天气条件可能会导致无人机失控或损坏，从而影响巡视任务的完成。此外无人机在飞行过程中可能会遇到信号干扰或GPS定位不准确的问题，这会增加飞行风险，甚至可能导致无人机坠毁^[6]。

（二）法规限制与监管框架不明确

当前法律法规与监管等问题也是限制无人机普及的重要因素之一。由于无人机技术的快速发展，使得现有的法律法规往往难以跟上技术进步的步伐，进一步导致无人机在实际应用中出现诸多法律空白和监管盲区。例如在配电线路巡视中，无人机的飞行高度、飞行区域、飞行时间等都可能受到现行航空法规的限制。此外无人机在电力设施周边的飞行可能涉及到国家安全和公共安全的问题，因此需要更为严格的监管框架来确保其安全合规的运行。目前许多国家和地区都在积极制定和完善无人机相关的法律法规，以适应无人机技术的快速发展和广泛应用。例如中国民航局发布的《民用无人驾驶航空器系统驾驶员管理规定》为无人机驾驶员的培训和考核提供了明确的指导。然而这些规定往往还处于起步阶段，需要在实践中不断完善^[7]。

（三）数据安全与隐私保护问题

随着无人机技术的快速发展，其在配电线路巡视中的应用越来越广泛。然而由于无人机在执行任务时会收集大量的图像和视频数据，而这些数据如果被未经授权的第三方获取，可能会对电力系统的安全运行造成威胁。例如不法分子可以通过分析这些数据了解电力设施的布局和运行状况，进而实施破坏活动。因此确保数据传输和存储过程中的安全性至关重要。其次无人机在飞行过程中可能会无意中拍摄到敏感区域或个人隐私信息，这涉及到隐私保护的问题^[8]。

（四）高昂成本与经济效益的不确定性

对于当前的电力企业来说，无人机的成本应用高昂也是一大难题。在企业管理者计划应用无人机进行作业前，进行购买和维护无人机需要大量的资金投入。一架性能良好的工业级无人机价格动辄数万甚至数十万元，而电力企业往往需要多架无人机以覆盖广阔的电网区域。此外无人机在使用过程中需要专业的操作人员，这些人员的培训和工资也是一笔不小的开支。电力企业还需要定期对无人机进行维护和升级，以确保其正常运行和数据采集的准确性。

四、无人机在配电线路巡视中应用的优化策略

（一）加大研发投入，推动无人机技术创新

企业为了进一步优化无人机进行电路巡查时的操作复杂难题，应持续增加在研发方面的投入。这一策略的实施应包括开发更先进的无人机硬件，如更长续航时间的电池、更稳定的飞行控制系统、以及更高分辨率的摄像头。同时研发团队应专注于软件算法的优化，比如图像识别和数据处理技术，以便无人机能够自动识别和记录线路的异常情况。此外企业可以与科研机构 and 高校合作，共同开发适用于电力巡检的定制化无人机。通过合作，企业能够利用学术界的最新研究成果，加速技术的创新和应用。同时企业还应关注无人机的智能化水平，例如通过集成人工智能技术，使无人机能够自主规划巡检路线，自动避障，并在发现潜在问题时及时通知地面控制中心^[9]。

（二）与政府相关部门合作，制定相应法规

无人机在配电线路巡视中的应用，除了技术层面的优化外还需要与政府相关部门紧密合作制定相应的法规和标准，以确保无人机巡视的安全性和合法性。例如可以与电力监管部门合作，制定无人机巡视操作规范，明确无人机飞行的高度、速度、航线以及在特定区域内的飞行权限。同时与民航管理部门合作，确保无人机的飞行活动不会影响到民航航线的安全。此外可以与地方政府合作，推动无人机在配电线路巡视中的应用纳入地方电力发展规划，为无人机巡视提供政策支持和资金扶持。例如地方政府可以出台补贴政策，鼓励电力企业使用无人机进行线路巡检，降低人工巡检成本，提高巡检效率。

（三）采用先进的加密技术

近些年来随着无人机技术的快速发展，使得越来越多的电力公司开始采用无人机进行配电线路的巡检工作。无人机在配电线路巡视中的应用不仅提高了巡检效率，还降低了人力成本和安全风险。然而随着无人机在电力行业的广泛应用，其数据传输和存储的安全性问题也日益凸显。因此采用先进的加密技术成为优化无人机配电线路巡视策略的重要一环。这就要求企业首先需要在

无人机在执行任务时，将拍摄到的高清图像和视频实时传输回控制中心后，为了防止数据在传输过程中被截获或篡改而采用端到端的加密技术。例如可以使用高级加密标准对数据进行加密，确保数据在传输过程中的安全性和完整性。其次企业工作人员需要在无人机在完成的任务后，拍摄到的图像和视频数据需要存储在控制中心的服务器上。为了防止数据被未经授权访问，应采用多层次的数据存储加密策略^[10]。

（四）优化无人机巡检的作业流程

为了进一步提高无人机在配电线路巡视中的效率和安全性，优化工作人员的作业流程是关键。这一策略对企业工作人员有了更高的要求，需要操作人员在巡检过程中熟练掌握无人机的操控技能，并能够根据实时情况灵活调整飞行计划。例如当无人机发现线路异常时，应立即进行低空悬停或绕行，以便获取更清晰的图像资料。同时利用无人机搭载的高清摄像头和红外热像仪等设备，可以对线路的绝缘子、接头、导线等关键部位进行详细检查，及时发现潜在的故障隐患。巡检完成后应迅速对采集的数据进行分析处理。利用图像识别和人工智能技术，可以自动识别出图像中的异常情况，如绝缘子污秽、导线磨损、异物挂线等，并生成巡检报告。通过对比历史数据，可以评估线路的健康状况，预测潜在风险，为线路的维护和检修提供科学依据。

五、结语

总之无人机在配电线路巡视中的应用虽然面临诸多挑战，但其带来的效率提升和成本节约是显而易见的。通过加大研发投入，推动技术创新，与政府合作制定法规，采用先进的加密技术，以及优化作业流程，电力企业可以有效解决当前面临的问题。未来随着技术的不断进步和政策环境的进一步完善，无人机在电力巡检领域的应用前景将更加广阔。企业应积极拥抱这一变革，不断提升无人机巡检的智能化和自动化水平，以实现电力系统的安全、高效和可持续发展。

参考文献

- [1]崔博涛,董瑞靖,邓良超,等. 无人机仿地飞行在同一路线自动化巡检中的应用与研究[J]. 现代信息科技, 2022,6(22):124-126+129.DOI:10.19850/j.cnki. 2096-4706.2022.22.031.
- [2]李永生,王艳冬,朱州. 智能断路器在配电线路中的应用[J]. 云南电力, 2022,(09):19-22.
- [3]同宇,祝铭悦. 无人机在输电线路运维检修中的应用研究[J]. 通信电源技术, 2022,39(15):181-184.DOI:10.19399/j.cnki.tpt.2022.15.055.
- [4]师倩,阮国杰. 无人机在高压输电线路巡视中的应用[J]. 中国高科技, 2023,(20):135-137.DOI:10.13535/j.cnki.10-1507/n.2023.20.46.
- [5]洪智勇,林青瑜. 无人机在配电线路运检中的应用[J]. 电子技术与软件工程, 2021,(20):217-218.
- [6]孙可可,张超,李晨,等. 无人机在架空输电线路中的应用综述[J]. 智能建筑与智慧城市, 2023,(10):25-27.DOI:10.13655/j.cnki.ibci.2023.10.007.
- [7]许家欢. 无人机巡检在配电网架空线路运维管理中的应用[J]. 通信电源技术, 2021,38(18):32-35.DOI:10.19399/j.cnki.tpt.2021.18.010.
- [8]龙涛. 无人机巡检技术在架空输电线路巡检中的应用研究[J]. 电力系统装备, 2022,(08):132-134.
- [9]谷广超,李金方. 信息化技术在电力工业配电线路微机保护中的应用[J]. 现代工业经济和信息化, 2023,13(12):155-157.DOI:10.16525/j.cnki.14-1362/n.2023.12.049.
- [10]刘开培,李博强,秦亮,等. 深度学习目标检测算法在架空输电线路绝缘子缺陷检测中的应用研究综述[J]. 高电压技术, 2023,49(09):3584-3595.DOI:10.13336/j.1003-6520.hve.20220273.

220kV 电力设备上的在线带电清洗技术分析

李万里¹, 明亮¹, 王强¹, 李斐², 李珍², 孔祥哲¹, 郝葳³

1. 国华（哈密）新能源有限公司, 新疆 哈密 839000

2. 世华中科（北京）科技股份有限公司, 北京 100071

3. 乌兰察布市生态环境综合保障中心兴和分中心, 内蒙古 乌兰察布 013650

摘要： 本文深入探讨了220kV电力设备上的在线带电清洗技术，针对电力设备因长期运行而积累的污染物导致的性能下降及安全隐患问题，分析了带电清洗技术的必要性。针对带电清洗过程中的安全风险，提出了有效的控制措施与应对措施。总结了带电清洗技术在提升电力设备运行质量与可靠性方面的显著作用，以期为提高在线带电清洗技术提供参考。

关键词： 220kV电力设备；在线带电清洗；清洗技术；安全控制

Analysis of Online Live Cleaning Technology on 220kV Power Equipment

Li Wanni¹, Ming Liang¹, Wang Qiang¹, Li Fei², Li Zhen², Kong Xiangzhe¹, Hao Wei³

1. Guohua (Hami) New Energy Co., Ltd. Hami, Xinjiang 839000

2. Huazhong Science and Technology (Beijing) Co., Ltd. Beijing 100071

3. Xinghe Sub center of Ulanqab City Ecological Environment Comprehensive Guarantee Center, Ulanqab, Inner Mongolia 013650

Abstract： This article deeply explores the online live cleaning technology on 220kV power equipment, and analyzes the necessity of live cleaning technology to address the performance degradation and safety hazards caused by pollutants accumulated during long-term operation of power equipment. Effective control and response measures have been proposed to address safety risks during the process of live cleaning. Summarized the significant role of live cleaning technology in improving the quality and reliability of power equipment operation, in order to provide reference for improving online live cleaning technology.

Keywords： 220kV power equipment; online live cleaning; cleaning technology; safety control

引言

在电力系统中，220kV 电力设备作为高压输电网络的重要组成部分，运行稳定性和安全性直接关系到整个电网的可靠供电。电力设备长时间暴露在自然环境中，遭受到各种污染物的侵袭，不仅影响设备的散热性能，还可能引发电气故障，导致设备损坏和电网事故^[1]。对220kV 电力设备进行定期清洗成为维护其正常运行、延长使用寿命的重要手段。传统的停电清洗方式频繁的停电不仅影响供电可靠性，带来巨大的经济损失。为此，带电清洗技术应运而生，它能够在设备不停电的情况下进行清洗作业，提高了清洗效率和供电可靠性。本研究旨在深入分析220kV 电力设备上的在线带电清洗技术，通过对其原理、方法、应用效果及安全措施的全面探讨，为电力行业提供一套科学、高效、安全的带电清洗解决方案。

一、带电清洗技术概述

（一）定义与分类

带电清洗技术，是指在电力设备带电状态下，采用特定的清洗剂和工具，对设备表面进行清洁处理的一种技术。根据清洗方式和所使用的清洗剂类型，带电清洗技术可以分为带电水冲洗、带电机械干清扫、带电干冰清洗以及带电绝缘清洗等，其中带电绝缘清洗因其高绝缘性能、低残留及环保特性，在220kV 电力设备的清洗中广泛应用。

（二）技术核心

带电清洗技术的核心在于清洗剂的选择和绝缘工具的使用。

高绝缘性能的清洗剂能够确保在清洗过程中不会引发设备短路或电气故障，同时具备良好的去污能力，能够有效去除设备表面的各类污染物。绝缘工具则用于保护操作人员免受电击危险，确保清洗作业的安全进行。

（三）国家标准与规范

为规范带电清洗技术的应用，确保清洗作业的安全性和有效性，我国制定了相关的国家标准与规范。《绝缘体带电清洗剂》标准（GB/T 25097-2010）对清洗剂的性能指标、测试方法、包装与标志等方面做出了明确规定。电力行业还根据自身特点，制定了相应的操作规程和安全规范，在进行带电清洗作业时，必须严格遵守这些规定。

二、220kV电力设备带电清洗技术具体应用

（一）适用设备类型

在220kV电力系统中，带电清洗技术广泛适用于各类高压电力设备，包括但不限于变压器、断路器、隔离开关、互感器、避雷器、绝缘子串及母线等。这些设备在长期运行中，其表面易积聚尘埃、油污、盐雾等污染物，严重影响设备的散热性能和绝缘强度。

（二）清洗前准备

对目标设备进行检查，确认其处于正常运行状态，无明显的电气故障或安全隐患。根据设备类型、污染程度及清洗要求，选择合适的清洗剂和清洗工具。清洗剂应具备良好的绝缘性能、去污能力和环保性，避免对设备材质造成腐蚀或损害。清洗工具选择绝缘性能良好的专用工具，确保操作过程中的安全^[2]。制定详细的清洗方案，明确清洗步骤、注意事项及应急措施，对操作人员进行必要的培训 and 安全教育。

（三）清洗步骤与方法

在清洗作业前，需对作业区域进行安全隔离，设置警示标志，防止非作业人员进入；操作人员需穿戴好绝缘防护服、绝缘手套、绝缘鞋等个人防护装备，确保人身安全。将选定的清洗剂按照一定比例稀释或调配，确保其具有良好的去污效果和绝缘性能，使用专用喷洒设备将清洗剂均匀地喷洒在设备表面，注意控制喷洒距离和角度，避免清洗剂溅入设备内部或接触带电部件。在清洗剂充分浸润设备表面后，使用绝缘刷或软质布料对设备进行刷洗，去除顽固的污渍和沉积物。清洗完成后，对设备进行自然干燥或加速干燥，设备完全干燥后，进行细致的检查，确认无清洗剂残留、无设备损坏或电气故障，记录清洗过程和结果^[3]。清洗作业结束后，及时清理作业现场，回收和处理废弃的清洗剂、清洗工具和防护装备，对清洗设备进行标记和记录，以便后续跟踪和维护。

（四）应用目标

第一，降低温度，降低设备的温度，使其温度保持在合理范围内。

第二，提高风速，提高设备构件的进出风口风速。

第三，降低噪音，降低风扇运行时的噪音。

第四，清除粉尘，彻底清除设备表面及深层污染物。

第五，恢复设备原有绝缘水平90%~95%。

第六，对设备进行防腐蚀保护，延缓设备清洗后被腐蚀的速度。

第七，促进因设备高温老化引发的火灾和爆炸发生率下降30%。

三、带电清洗技术的效果与优势

（一）效果分析

带电清洗技术在220kV电力设备上的应用，显著提升了设备的清洁度和运行效率。清洗后，设备表面的污染物得到有效清

除，散热性能显著改善，减少了因过热导致的设备故障风险。清洗恢复了设备的绝缘强度，降低了因绝缘降低而引发的电气故障概率。带电清洗技术还能有效延长设备的使用寿命，减少因频繁停电清洗带来的经济损失。

（二）优势总结

带电清洗技术无需停电作业，大大提高了清洗效率，减少了停电时间和经济损失。采用高绝缘性能的清洗剂和专用工具，确保清洗过程安全可控，避免了传统停电清洗可能带来的安全风险。现代清洗剂多具备环保特性，对环境无污染，符合绿色发展的要求^[4]。长期来看，带电清洗技术能减少因设备故障导致的停电损失和维修费用，具有显著的经济效益。适用于多种类型的220kV电力设备，具有广泛的应用前景。

四、在线带电清洗技术的效益分析

（一）经济效益

220kV电力设备上的在线带电清洗技术能够给企业带来一定的经济效益。比如，某风电场因设备积尘或静电问题导致220kV电力设备故障频发，需要通过更换备件来恢复正常运行，而更换备件的费用在30万元左右，再加上无功补偿装置非计划停运2次，不仅导致了维护成本的增加，同时还严重影响了发电效率。而通过引入在线带电清洗技术后，依靠该技术独特的优势，在有效消除了设备表面积累静电的同时，迅速恢复了设备表面的正常阻抗，进而从根本上消除了因静电或粉尘积累引发的软性故障。据有关人员统计表明，该技术的使用让设备因静电或粉尘导致的故障率大幅下降超过70%，这在很大程度上减少了由于故障停机而造成的发电量损失和维修成本^[5]。另外设备的使用寿命也延长了20%以上，这意味着设备的更换周期得到了延长，实现了购置设备费用的减少。与此同时，经过清洗后的设备能效也获得了提升，能耗平均降低约20%，能耗的降低会直接转化为运营成本的节约。总的来讲，220kV电力设备上的在线带电清洗技术的应用能够带来极为可观的经济效益，其中涵盖了减少备件费用、降低维护成本、提升发电效率和减少能源消耗，这给企业的可持续发展提供了有力支撑。

（二）社会效益

1. 有效提升运行效率

通过在线带电清洗技术在220kV电力设备上的应用，能够有效遏制粉尘和静电等污染物对电气参数的干扰，进而保障电阻、电压及电流的稳定性，更好的规避了因环境因素导致的设备性能下降。另外基于该技术的使用，也使得设备恢复了最佳的运行状态，这也直接提升了电力传输效率与供电可靠性。

2. 增长设备使用寿命

在220kV电力设备引入在线带电清洗技术，能够有效将各种污染清除，这能防止因高温环境下因尘埃积累所导致的设备过热情况，进而规避高温运行对于设备寿命的影响。同时这也能维持电阻稳定，防止电压、电流波动引发的早期故障，确保了设备的长期稳定运行^[6]。另外该技术的应用也能减轻污染腐蚀与静电积累对设备

的损害，进一步保障了设备安全并延长了它的更换周期。

3. 确保企业安全生产

通过使用在线带电清洗技术，能够帮助220kV电力设备更好的应对粉尘和静电的污染，从而避免了因污染而造成的安全事故。避免安全事故所带来的好处是巨大的，首先保障了工作人员的生命安全，预防了伤亡事故的发生。同时还能避免因安全事故所造成的业务中断、设备损坏等因素带来的经济损失，这在确保企业安全生产的同时，维护了企业的正常运营，保证了电力供应的稳定性和可靠性。

4. 实现清污节能降耗

通过应用在线带电清洗技术，可实现对220kV电力设备粉尘和静电的全面无死角清除，这能降低设备因污染产生的额外损耗的同时，恢复设备的正常敏感度与散热效率，减少了因过热而增加的电力消耗^[7]。并且这也能优化机房环境，降低了空调系统的额外负荷，实现了节能降耗的双重效益。

5. 避免出现断电停产

在220kV电力设备的清洗维护中，在线带电清洗技术的应用彻底革新了传统清洗维护模式。由于它能够实现在电力设备正常运行情况下展开清洗作业，这不但有效规避了由于停电维护而带来的巨大经济损失，而且还保障了电力供应的连续性与稳定性^[8]。另外通过应用该技术，还避免了因传统停电清洗可能导致设备损坏风险，使得设备的健康得到了保证，避免了因设备问题带来的一切影响。

五、安全风险控制与应对措施

（一）安全风险识别

在220kV电力设备上开展带电清洗作业时，主要面临的安

全风险包括电击风险、设备损坏风险以及环境污染风险等。电击风险源于清洗过程中可能发生的电流泄漏或误触带电部件；设备损坏风险则可能由清洗剂选择不当、清洗方法错误或操作失误导致；环境污染风险则与清洗剂的使用和废弃处理有关^[9]。

（二）应对措施

为有效控制这些安全风险，需采严格遵循安全规范，确保所有操作人员熟悉并严格遵守带电清洗作业的安全规范，包括个人防护装备的穿戴、清洗剂的选用与配比、清洗工具的使用等^[10]。定期对操作人员进行带电清洗技术的专业培训，提高其安全意识和操作技能，确保作业过程的安全可控。选择经过认证、具有高绝缘性能和环保特性的清洗剂，避免对设备和环境造成损害。在清洗作业前，对清洗剂、清洗工具及设备进行严格检查，确保无质量问题。在清洗过程中，实施全程监控，确保作业步骤正确无误。针对可能发生的紧急情况，制定详细的应急预案，包括人员疏散、设备隔离、紧急处理等，确保在发生意外时能够迅速响应并有效控制事态发展。在清洗作业结束后，妥善处理废弃的清洗剂和清洗工具，避免对环境造成污染。

六、结论

本研究深入分析了220kV电力设备上的在线带电清洗技术，全面展现了该技术的重要性和实际应用价值。带电清洗技术具有高效、安全、环保的特点，在保障设备安全稳定运行中发挥了不可替代的作用，不仅有效清除设备表面的污染物，恢复设备性能，还提高了电力系统的可靠性和安全性。电力行业及相关领域应高度重视并广泛推广带电清洗技术，通过加强技术培训、完善标准体系、加大研发投入等措施，不断提升技术水平，为电力系统的安全稳定运行保驾护航。

参考文献

- [1] 杨晓乐. 服务器带电清洗作业的应用分析 [C] // 中国电力技术市场协会. 2023年电力行业技术监督工作交流会暨专业技术论坛论文集 (上册). (国华 (赤城) 风电有限公司) 河北省张家口市赤城县云州乡虎龙沟村冰峰风电场, 2023:3.
- [2] 朱俊秋. 浅析风电齿轮箱零件清洁度控制与量化检测 [J]. 中国设备工程, 2021, (19): 177-179.
- [3] 周豪. 风力发电塔筒清洗机运动学分析与结构优化 [D]. 湖南大学, 2019.
- [4] 南京飞舟科技有限公司. 一种电气设备在线带电清洗装置: CN202021321146.3 [P]. 2021-03-16.
- [5] 朱航. 变电站绝缘子清洗机器人视觉识别与伺服控制方法研究 [D]. 长沙理工大学, 2021.
- [6] 刘嘉敏. 电子设备带电清洗剂的清洗效果研究 [J]. 合成材料老化与应用, 2023, 52(03): 65-67+153.
- [7] 曾能, 周龙, 潘士春, 等. 带电水冲洗无人机在高压电磁场中抗干扰技术研究 [J]. 自动化与仪器仪表, 2023, (06): 271-274.
- [8] 诸定生, 徐文辉, 陈一旻. 带电工器具的清洗检测维护系统设计 [J]. 集成电路应用, 2023, 40(03): 198-199.
- [9] 蔡忠良, 樊绍胜, 朱航. 变电站支柱绝缘子干冰清洗机器人的视觉伺服控制方法 [J]. 电力学报, 2022, 37(03): 219-231+256.
- [10] 任乔林, 杨发山, 冯冰, 等. 带电设备清洗机器人研制及其在泛在能源网感知层的应用 [J]. 电子质量, 2022, (01): 79-82.

电网物资库存管理中的智能化库存控制系统优化研究

刘志远, 刘颖, 陈芳慧

国网四川省电力公司眉山供电公司, 四川 眉山 620000

摘要： 本研究聚焦电网物资库存管理中的智能化库存控制系统优化。分析当前系统存在采购流程繁琐、信息化滞后等问题，提出技术创新与管理策略改进等优化方法。本文研究表明，智能化库存控制系统优化可提高电网物资库存管理效率和效益，降低库存成本和风险。

关键词： 电网物资库存管理；智能化库存控制系统；技术创新；管理策略改进

Research on the Optimization of Intelligent Inventory Control System in Power Grid Material Inventory Management

Liu Zhiyuan, Liu Ying, Chen Fanghui

State Grid Sichuan Electric Power Company Meishan Power Supply Company, Meishan, Sichuan 620000

Abstract： This study focuses on the optimization of intelligent inventory control system in power grid material inventory management. This paper analyzes the problems of cumbersome procurement process and lagging informatization in the current system, and proposes optimization methods such as technological innovation and management strategy improvement. The results of this paper show that the optimization of intelligent inventory control system can improve the efficiency and effectiveness of power grid material inventory management, and reduce inventory cost and risk.

Keywords： power grid material inventory management; intelligent inventory control system; technological innovation; management strategy improvement

引言

随着电网建设的加速，物资库存管理智能化需求日益凸显。当前系统仍存不足，亟待优化。电网物资库存管理作为电网建设和运营的重要环节，其管理水平直接关系到电网的安全稳定运行和经济效益。然而，目前电网物资库存管理中仍存在一些不足，如库存积压、缺货风险、管理效率低下等。这些问题不仅增加了企业的运营成本，还可能影响电网的正常运行。

近年来，随着智能化技术的不断发展，智能化库存控制系统在电网物资库存管理中的应用越来越广泛。然而，目前的智能化库存控制系统在实际应用中仍存在一些不足之处，如系统稳定性有待提高、数据分析能力不足、与其他管理系统的集成度不够等^[1]。这些问题的存在，限制了智能化库存控制系统在电网物资库存管理中的应用效果，亟待进一步优化和完善。

本研究旨在探索电网物资库存管理智能化系统的优化路径，以提高管理效率与效益。通过对现有智能化库存控制系统的深入分析，发现其存在的问题，并结合先进的技术和管理理念，提出针对性的优化措施。

一、电网物资库存管理智能化系统现状

（一）优势分析

1. 提高工作效率

智能收货发货柜在电网物资库存管理中发挥着重要作用。例如，在某电网企业的仓库中，使用智能收货发货柜后，补货时间从原来的几个小时缩短到几十分钟，大大提高了工作效率。同时，这种自动化的计数方式也为库存管理提供了更加准确的数据，方便管理人员及时掌握库存情况，做出合理的决策。

2. 增强数据准确性

通过 RFID 标签及通道门的应用，可以有效防止误拿、错拿等现象，确保数据的准确性。不仅可以保障物资的安全，还能及

时发现和纠正错误操作，保证库存数据的准确性。据统计，采用这种方式后，某电网企业的物资误拿错拿率降低了 80% 以上，大大提高了库存管理的准确性和可靠性^[2]。

（二）不足剖析

分析当前系统存在的问题，如采购与合同管理不规范、信息化程度低等。

1. 采购流程繁琐

物资审批流程耗费时间精力，影响业务办理效率。例如，某电网企业在进行一项物资采购时，需求计划的审批就需要经过多个部门的层层审核，每个部门的审核时间可能长达几天甚至一周，整个需求计划的审批过程可能需要数周时间。采购订单的审批同样繁琐，涉及到采购部门、财务部门、法务部门等多个部

门，每个部门都有自己的审核标准和流程，这使得采购订单的审批时间也很长。款项支付的审批更是复杂，需要经过严格的财务审核和领导审批，支付周期可能长达数月。这些繁琐的审批流程严重影响了物资管理业务的办理效率，增加了企业的运营成本^[3]。

2. 信息化滞后

人工管理导致信息更新慢，财务与库存部门沟通不畅。目前，电网物资库存管理中仍存在大量的人工管理环节，这导致信息更新速度慢，容易出现信息不准确的情况。例如，在库存盘点时，人工记录的方式容易出现错误，而且信息更新不及时，导致财务部门和库存部门之间的信息沟通不畅。财务部门无法及时了解库存的实际情况，可能会导致资金安排不合理；库存部门也无法及时了解财务部门的资金状况，可能会影响物资的采购和调配。此外，人工管理还容易受到人为因素的影响，如工作人员的疏忽、情绪等，进一步降低了信息的准确性和及时性。据统计，在一些电网企业中，由于信息化滞后，财务部门和库存部门之间的信息沟通不畅，导致物资采购和调配出现问题的情况时有发生，给企业带来了一定的经济损失。

二、智能化库存控制系统优化方法

（一）技术创新

探索新的技术手段，如物联网、人工智能在库存管理中的应用。

1. 物联网技术应用

物联网技术在电网物资库存管理中具有巨大潜力。通过在物资上安装传感器和射频识别（RFID）标签，可以实现物资的实时监控和追溯。例如，在电力企业物资库存管理中，物联网技术发展水平日益提高，被广泛应用。当物资进入仓库时，传感器会自动采集物资的信息，包括名称、规格、数量、入库时间等，并将这些信息上传到库存管理系统。在物资存储过程中，传感器可以实时监测物资的状态，如温度、湿度、压力等，确保物资的质量和安

全。当物资出库时，RFID 标签可以快速识别物资，减少出库时间，提高出库效率。同时，通过物联网技术，还可以实现物资的追溯，一旦发现物资存在质量问题，可以快速追溯到物资的来源和流向，及时采取措施，减少损失^[4]。

据统计，某电网企业引入物联网技术后，物资管理精度提高了 30% 以上，库存周转率提高了 20% 以上，大大降低了库存成本和风险。

2. 人工智能辅助管理

人工智能在电网物资库存管理中可以发挥重要作用。通过对历史库存数据的分析和学习，人工智能可以进行智能采购和预测，优化库存管理。例如，利用机器学习算法，可以对物资的需求进行预测，根据预测结果制定合理的采购计划，避免库存积压或缺货风险。同时，人工智能还可以对供应商进行评估和选择，提高采购质量和效率。

在智能采购方面，人工智能可以根据物资的历史消耗数据、

电网建设计划、季节因素等，预测未来一段时间内的物资需求。然后，根据预测结果和库存水平，自动生成采购订单，发送给供应商。在供应商选择方面，人工智能可以综合考虑供应商的信誉度、产品质量、价格、交货期等因素，选择最优的供应商。

此外，人工智能还可以进行库存优化。通过对库存数据的分析，人工智能可以确定合理的库存水平和补货策略，降低库存成本。例如，当库存水平过高时，人工智能可以自动调整采购计划，减少采购量；当库存水平过低时，人工智能可以及时发出补货提醒，确保物资的供应。

据统计，某电网企业引入人工智能辅助管理后，库存成本降低了 20% 以上，物资供应及时率提高了 15% 以上，大大提高了库存管理的效率和效益。

（二）管理策略改进

1. 确定需求类别

在电网物资库存管理中，准确确定物资需求类别对于制定有效的库存优化策略至关重要。可以借鉴现有研究成果，如南方电网数字电网研究院有限公司提出的一种电网物资库存优化策略的确定方法。该方法通过获取目标优化对象，在预设时间段内分析领料数据，包括领取日期和领取量。基于领取日期确定领料需求间隔，具体而言，将预设时间段内的所有领料数据按照领料日期排序，当相邻两组领料数据中包含的领料日期不相同且不相邻时，确定两组领料数据间存在一次间隔；获取预设时间段内领料数据中每一次间隔包含的间隔天数；再基于预设时间段内每一次间隔包含的间隔天数以及间隔次数确定领料需求间隔。同时，基于目标优化对象在预设时间段内的所有领取量和所有领取日期确定领料波动系数，包括基于领取日期确定领取次数，基于领取量和领取次数确定需求平均数，基于需求平均数、领取量以及领取次数确定需求方差，最终基于需求平均数和需求方差确定领料波动系数。

将领料需求间隔与第一预设值进行比较，生成第一比较结果；将领料波动系数与第二预设值进行比较，生成第二比较结果，基于这两个比较结果确定目标优化对象的需求类别，如平缓、波动、粘滞、慢速等。当目标优化对象在预设时间段内不存在至少两组领料数据时，则直接判断目标优化对象的需求类别为平缓，并直接基于需求类别确定目标优化对象的库存优化策略。通过这种科学的方法确定需求类别，可以为库存优化提供准确的依据。

2. 优化库存目标

为了实现企业运营效益的稳定增长，保持合理的库存量至关重要^[5]。一方面，库存量过大不仅会使资金成本加大，而且也会使企业承担更大的风险；另一方面，减少库存量风险是降低了，但同时也将影响企业的正常运营。因此，供电公司需要对库存管理进行改革优化，保持库存量的合理性，不要过剩也不要不足。

可以通过以下几个方面来优化库存目标。首先，建立科学的库存预警机制，根据不同的物资需求类别设定合理的库存上下限。当库存水平接近或超过上限时，及时采取措施减少采购量或

加快物资出库；当库存水平接近或低于下限时，及时发出补货提醒，确保物资的供应。其次，加强与供应商的合作，建立稳定的供应链关系。通过与供应商协商，制定合理的供货周期和供货数量，确保物资能够及时供应，同时降低库存成本。此外，还可以采用先进的库存管理方法，如 ABC 分类法、经济订货批量模型等，对不同类型的物资进行分类管理，确定最优的库存水平和补货策略。

例如，某电网企业通过采用 ABC 分类法，将物资分为 A、B、C 三类。A 类物资是价值高、重要性大的物资，对其进行严格的库存控制，保持较低的库存水平，采用小批量、多批次的采购方式；B 类物资是价值和重要性适中的物资，对其进行适度的库存控制，保持中等的库存水平，采用经济订货批量模型进行采购；C 类物资是价值低、重要性小的物资，对其进行宽松的库存控制，保持较高的库存水平，采用大批量、少批次的采购方式。

通过这种分类管理，该企业有效地优化了库存目标，实现了企业运营效益的稳定增长。

三、总结

本研究针对电网物资库存管理中的智能化库存控制系统进行了深入分析与优化研究，在技术创新方面，物联网技术的应用使得电网物资库存管理精度大幅提高，库存周转率显著提升。在管理策略改进方面，确定需求类别为库存优化提供了准确依据。优化库存目标实现了企业运营效益的稳定增长。总之，智能化库存控制系统的优化对于提高电网物资库存管理效率和效益具有重要意义。通过技术创新和管理策略改进，实现了物资的实时监控、精准预测和高效管理，降低了库存成本和风险，为电网的安全稳定运行提供了有力保障。

参考文献

-
- [1] 谢哲. 基于库存分类思想的电网工程物资需求预测研究 [D]. 广东: 广东工业大学, 2022.
 - [2] 张婉婷. 电能表库存及需求管理探究 [J]. 机电信息, 2017(33): 26-27.
 - [3] 钟婷. 国网四川管培中心物资管理系统的设计与实现 [D]. 四川: 电子科技大学, 2020.
 - [4] 朱颂仪, 许惠强. 库存物资动态监测管理软件的应用与实现 [J]. 自动化应用, 2017(12): 11-12, 15.
 - [5] 林宝华, 钱建勋, 董名芹. 基于业务全流程的库存物资实物常态管理 [J]. 科技经济导刊, 2021(5): 196-197.

火电厂热工自动化系统设计中节能减排技术的应用

孟宪鹏

天津国能津能热电有限公司, 天津 300304

摘要： 在全球能源结构转型与环保要求日益严格的大背景下，火电厂作为能源生产的重要力量，其节能减排任务艰巨且关键。热工自动化系统在火电厂的高效、清洁运行中扮演着举足轻重的角色。本文旨在深入分析我国火电厂热工自动化系统发展现状，详细探讨其节能减排技术的应用策略，并结合实际设备参数阐述应用效果，为火电厂进一步实现节能减排目标提供理论与实践参考。

关键词： 火电厂；热工自动化系统；节能减排；设备参数

Application of Energy Saving and Emission Reduction Technology in the Design of Thermal Automation System for Thermal Power Plants

Meng Xianpeng

Tianjin Guoneng Jinneng Thermal Power Co., Ltd. Tianjin 300304

Abstract： In the context of the global energy structure transformation and increasingly strict environmental protection requirements, thermal power plants, as an important force in energy production, face a daunting and critical task of energy conservation and emission reduction. The thermal automation system plays a pivotal role in the efficient and clean operation of thermal power plants. This article aims to deeply analyze the current development status of thermal automation systems in China's thermal power plants, discuss in detail the application strategies of energy conservation and emission reduction technologies, and elaborate on the application effects based on actual equipment parameters, providing theoretical and practical references for thermal power plants to further achieve energy conservation and emission reduction goals.

Keywords： thermal power plant; thermal automation system; energy conservation and emission reduction; equipment parameters

引言

随着经济的快速发展，能源消耗与环境污染问题愈发凸显。火电厂作为传统的能源供应基石，是节能减排的重点关注领域。热工自动化系统凭借其其对生产过程精准控制和优化的能力，成为实现火电厂节能减排目标的核心手段^[1]。通过合理应用该系统中的各类节能减排技术，不仅能提高能源利用效率，还能有效降低污染物排放，对推动火电厂可持续发展具有重要意义。

一、我国火电厂热工自动化系统发展现状剖析

（一）系统功能详述

热工自动化系统涵盖了多个关键功能，以保障火电厂生产的稳定与高效。首先，其具备强大的监测功能，通过各类传感器实时采集温度、压力、流量、液位等众多运行参数，为操作人员提供全面、准确的机组运行状态信息^[2]。同时，系统的控制功能可以依据预设的参数和控制策略，对机组的启停、负荷调节、燃烧过程等进行精准调控。如在负荷变化时，自动化系统能够快速协调汽轮机、锅炉等设备的运行状态，确保机组平稳过渡，维持高效的能源转换效率。而且，通过自动化的调节，能使燃烧过程保

持在最佳状态，实现燃料的充分燃烧，减少不完全燃烧带来的能源损失和污染物排放。此外，系统还具备报警与联锁保护功能。一旦监测到关键参数超出正常范围，会立即发出警报并触发相应的联锁保护动作，防止设备损坏，保障人员安全，同时避免因设备故障导致的大量能源损耗和环境影响。

（二）系统特性分析

热工自动化系统具备显著的智能化特性。凭借先进的人工智能算法与大数据分析技术，该系统可深度挖掘大量运行数据，进而实现故障预测、性能优化等功能。不仅如此，其在数据传输速度方面能实现大幅优化，同时有效提升资源共享效率，为火电厂的高效、稳定运行筑牢根基，助力整体生产流程更加顺畅有序^[3]。

作者简介：孟宪鹏（1990-），男，汉族，天津市人，毕业于华北电力大学，现任公司维护部热控班长，研究方向：测控技术与仪器。

二、基于节能减排的热力设备安全保障策略

（一）安全运行对节能减排的基础性作用

在火电厂生产中，任何设备故障或不稳定运行都会引发一系列连锁反应。例如，锅炉若出现燃烧不稳定情况，不仅会导致燃料燃烧不充分，能源利用率低，煤耗增加，还会造成污染物排放超标（CO、NO_x等）。再如汽轮机控制参数不合理，导致做功效率低，蒸汽能量不能有效转化为电能，则需要更多的能源投入来维持机组的运行，加剧能源浪费和环境污染。因此，只有确保热力设备始终处于安全稳定的运行状态，才能为节能减排工作的顺利开展创造良好的基础条件。

（二）设备状态监测与故障诊断的强化举措

为保障热力设备的安全运行，先进的状态监测技术被广泛应用。通过在设备关键部位安装温度、振动、压力等各类传感器，可以实时获取设备的运行状态数据^[4]。如在锅炉的管壁上安装温度传感器，能够连续监测管壁温度，及时发现超温现象，预防爆管事故的发生。利用大数据分析和机器学习算法，对采集到的海量数据进行分析处理，建立设备的健康评估模型，实现精准的故障诊断。在此基础上，制定合理的预防性维护计划，根据设备的实际运行状况和故障风险等级，安排针对性的维护保养工作，避免设备过度维修或维修不足的情况发生，延长设备使用寿命，确保设备长期高效、安全运行，从而最大程度地减少因设备故障导致的能源浪费和污染物排放，助力节能减排目标的实现。

三、火电厂热工自动化系统优化策略

（一）控制软件应用优化

控制软件是热工自动化系统的核心组成部分，其性能直接影响系统对机组的控制效果。应当选择适配性良好、功能先进的控制软件，例如，采用基于模型预测控制（MPC）算法的控制软件，它能够根据火电厂机组的动态模型，预测未来一段时间内机组的运行状态，并据此制定最优的控制策略。在实际应用中，通过优化控制软件的参数设置和控制逻辑，可以进一步提高控制精度。比如，对于锅炉的燃烧控制，精确调节风煤比，根据实时的负荷需求、燃料特性以及氧量反馈等信息，动态调整送风量和给煤量，使燃烧过程更加接近理想状态，提高燃烧效率，减少燃料消耗和污染物生成。对于设计人员而言，具备较高的设计能力以及良好的职业素养是必不可少的。在实际工作中，往往需要借助现代化的算法软件来开展控制工作，以此实现对整个系统全面且细致的调试，确保系统能够稳定、高效地运行^[5]。

（二）负荷经济分配策略实施

火电厂通常有多台机组并行运行，如何合理分配电网负荷到各台机组，实现整体能源利用效率的最大化，是节能减排可以拓展的重要环节。负荷经济分配需要综合考虑各机组的性能特点，如不同机组的热效率曲线、最小稳定负荷、最大出力限制等因素。运用优化算法，如动态规划算法、遗传算法等，建立负荷分配模型，以总发电成本最小或总能耗最低为目标函数，在满足电

网负荷需求和机组运行约束条件下，求解出各机组的最佳负荷分配方案。在对火电厂的各项数据予以深入分析之后，便可获取相应的机组运行负荷曲线图，借助这一曲线图的呈现形式，能够在一定程度上有效削减消耗，为火电厂的成本控制以及高效运营提供有力支持^[6]。

四、节能减排理念在热工自动化系统中的应用

（一）微油点火技术应用优势

微油点火技术是一种新型的节能点火技术，其原理是通过特殊的燃烧器设计和燃油雾化装置，将少量的燃油进行精细雾化，在高能点火装置的作用下形成稳定的火焰核心，然后利用煤粉的自热性，逐步引燃煤粉，实现锅炉的启动。与传统点火方式相比，微油点火技术能够显著降低点火过程中的燃油用量。在实际应用中，可将燃油消耗降低80%以上，大大减少了燃油成本，同时也降低了因燃油燃烧产生的二氧化硫、氮氧化物等污染物排放量。尤其对于频繁启停的机组，微油点火技术的节能减排效果更为突出，为火电厂的清洁启动提供了有效的技术手段。

（二）单元机组控制与脱硝、脱硫的协同策略

在火电厂运行中，脱硝、脱硫过程对于减少NO_x和二氧化硫等污染物排放至关重要。将单元机组控制与脱硝、脱硫过程有机结合，能够实现更好的节能减排效果。在控制策略上，通过热工自动化系统实现对机组负荷、燃烧工况、烟气流量等参数的协同调节，使脱硝、脱硫系统的运行与机组整体运行状态相匹配。例如，根据实时监测的NO_x浓度，自动调整燃烧器的运行参数，如改变燃烧器摆角、调整风量分配等，在保证机组稳定发电的同时，优化燃烧过程，降低NO_x的生成量。通过将旁路挡板以及烟气脱硫控制系统替换为换热器与增压风机的方式，来优化锅炉的燃烧性能，进而最大程度地减少对空气造成的污染，助力实现环保目标^[7]。

（三）变频技术规范应用要点

火电厂中有大量的辅机设备，如风机、水泵等，这些设备的能耗在厂用电中占比较大。变频技术的应用为降低辅机设备能耗提供了有效途径。其原理是通过改变电机的供电频率，进而调节电机的转速，实现对辅机设备流量、扬程等工作参数的按需调节。在实际应用中，对于送风机，根据锅炉的实际负荷需求，通过变频器调节风机转速，使送风量与燃烧所需风量精准匹配，避免了传统定速风机通过调节挡板开度来控制风量造成的大量节流损失，提高了风机的运行效率，降低了能耗。同样，对于给水泵等设备，采用变频调速技术也能实现根据实际工况精确供水，减少能源浪费。在进行技术规范编制的过程中，鉴于机组配备并使用了变频器，这一举措能够极大地优化机组的使用效果，使其在运行过程中展现出更优的性能表现，更好地满足生产等相关需求^[8]。然而，变频技术的应用需要规范操作，要合理选择变频器的容量、类型，确保其与电机和设备的匹配性，同时要做好变频器的散热、电磁兼容性等方面的维护工作，保障其稳定可靠运行，充分发挥其节能降耗的优势，助力火电厂节能减排目标的

实现。因此，在进行热工设计工作期间，应充分发挥变频器的作用，凭借与之相关的操作，切实有效地推动火电厂热工领域不断向前发展，同时促使相关编织技术朝着更加规范化的方向迈进，为热工系统整体的高效、稳定运行筑牢基础^[9]。

五、火电厂热工自动化系统相关设备概况

（一）锅炉设备特点与构造

美国燃烧工程公司(CE)技术设计和制造的锅炉呈现出诸多独特特点，是亚临界参数、一次中间再热、单炉膛、自然循环汽包炉，且采用固态干式排渣方式。炉膛内部的受热面布局精妙，上部的壁式再热器、分隔屏过热器、后屏过热器以及折焰角上方的屏式再热器，合理分布以充分吸纳炉膛热量，提升蒸汽温度与品质。水平烟道里，高温再热器和高温过热器有序排列，让蒸汽过热程度更契合汽轮机需求。尾部竖井烟道中，低温过热器和省煤器依次设置，省煤器借助烟气余热预热给水，有效提高锅炉热效率，其下方的脱硝装置更是为减少氮氧化物排放助力，契合节能减排要求。另外，尾部竖井外侧配备的两台三分仓回转式空气预热器，利用烟气余热预热进炉空气，优化燃烧，提升能源利用效率。

（二）锅炉的调温、制粉与燃烧系统

过热器系统设有两级喷水减温系统，一级减温器置于低过出口集箱至分隔屏进口集箱连接管，二级在后屏出口集箱至高温过热器进口集箱连接管上，能依蒸汽温度实时监测情况喷水，保障过热蒸汽温度稳定，确保汽轮机安全运行。再热蒸汽调温以燃烧器摆角调节为主，辅以壁式再热器进口管道的事事故喷水减温器，通过改变摆角调整火焰中心位置，影响再热蒸汽吸热量，实现温度调节，紧急时可喷水保护再热器。制粉系统采用MPS180HP-II型中速磨煤机、冷一次风机正压直吹式系统，5台磨煤机4用1备，保障煤粉供应并预留冗余。A磨煤机及B层燃烧器采用等离子点火，平时ABD磨优先运转，效果更优。煤粉细度 $R_{90} \leq 23\%$ ，利于充分燃烧。燃烧器采用四角切向、直流摆动式，正四角布置形成双切圆燃烧，独特的14层喷口布局，一、二次风合理分配，能营造良好燃烧工况，提高燃烧效率，减少排放，契合节能减排理念。

（三）锅炉的吹灰、保护与排渣系统

该锅炉各类吹灰器数量众多，墙式、长吹灰器、半长吹灰器等合理分布，空预器也配有吹灰器，吹灰汽源选取过热蒸汽，定期吹灰可清除受热面积灰，维持传热效率，保障锅炉高效运行，实现节能减排。SCR每层催化剂的8台吹灰器以压缩空气为汽源，能维持催化剂脱硝活性，控制氮氧化物排放。炉膛两侧墙的可伸缩式烟温探针，在锅炉启停时监测烟温，避免超温损坏受热面，保障安全与操作平稳，减少能源损耗与设备损伤风险。同时，10套安全阀和1套PCV阀作为超压保护，在压力异常时自动开启释压，防止爆炸等事故，守护人员、设备安全及火电厂稳定清洁运行。锅炉的干式排渣机连续除渣系统，运行出力合理且有裕量，渣斗能储存一定量灰渣。干式排渣避免水资源浪费与湿渣处理问题，还能实现干渣综合利用，体现节能减排与可持续发展理念。

（四）汽轮机主要技术规范

型号为C330/262-16.7/0.3/538/538型（合缸）的汽轮机，属于亚临界中间再热两缸两排汽抽汽凝汽式，在能量转换中至关重要。额定功率330MW（ECR工况），最大功率360.16MW（VWO工况），额定蒸汽参数明确了不同工况蒸汽输入与能量转换范围，是热力系统设计和运行优化依据^[10]。采暖抽汽压力在0.2~0.55MPa间，通过合理抽汽实现热电联产，提高能源综合利用效率，挖掘节能减排潜力。全电调配汽方式可精准控制阀门开度调节蒸汽流量，维持高热效率，减少能量损失，保障运行安全稳定。在额定供热和最大供热工况下，各参数变化体现发电与供热关联及调节情况，借助热工自动化系统精准调配，能实现发电与供热协同高效运行，发挥能源利用效益，达成节能减排目标。

六、结论与展望

热工自动化系统对火电厂节能减排意义重大，保障安全生产的基础上，热力设备安全策略、系统优化策略及具体节能减排技术的应用，从多方面提升能源利用效率、降低污染物排放。未来，随着科技发展，热工自动化系统有望深度融合新兴技术，控制软件将更智能，节能减排技术应用会持续优化拓展。通过这些进步，火电厂节能减排水平将进一步提升，更好地应对能源与环境挑战，实现可持续发展。

参考文献

- [1]李家海. 火电厂热工自动化设计中节能减排分析[J]. 黑龙江科学, 2017, 8(04): 160-161.
- [2]梁雪. 火电厂热工自动化DCS控制系统的应用浅析[J]. 中国设备工程, 2023, (14): 53-55.
- [3]江顺斌. 浅析智能控制在电厂热工自动化中的应用[J]. 新型工业化, 2021, 11(07): 142-143.
- [4]高飞. 发电厂热工自动化系统中的新技术应用[J]. 集成电路应用, 2023, 40(08): 236-237.
- [5]邹子锋. 自动控制理论在火电厂热工自动化中的应用研究[J]. 中国设备工程, 2021(01): 217-219.
- [6]林兆乐, 王宝文, 葛树俊, 等. 发电厂自动化系统电源切换装置可靠性测试方法研究[J]. 山东电力技术, 2019, 46(12): 60-64.
- [7]王冬生. 火电厂热工自动化中自动控制理论及实际应用研究[J]. 应用能源技术, 2020(10): 14-16.
- [8]陈亚凯. 自动控制理论在火电厂热工自动化中的有效运用分析[J]. 科学技术创新, 2019(34): 195-196.
- [9]李延. 燃煤发电厂热工自动化设备及系统风险分析及对策措施[J]. 价值工程, 2019, 38(25): 120-121.
- [10]赵磊. 燃煤发电厂热工自动化设备及系统风险分析及对策措施[J]. 建筑工程技术与设计, 2020(5): 3262.

电力系统故障诊断与恢复策略研究

周琳爽, 戚亚晖, 皇甫敬亭, 曹程洋

陕西公众电气股份有限公司, 陕西 西安 710000

摘 要 : 电力系统故障往往事发突然, 如果不及及时处理可能会引发一系列严重的系统、设备故障。为应对此类问题, 电力行业不断探索和发展新的技术和方法来提高故障诊断的速度和准确性, 以及优化故障后的快速恢复机制。本文主要探讨基于继电保护动作信息、故障录波器分析及人工智能与机器学习技术的电力系统故障诊断方法, 并深入分析快速隔离与局部恢复策略的应用效果。通过结合实际案例和技术细节的分析来为电力系统的故障检测和恢复提供支持, 促进电力系统的智能化管理和维护。

关 键 词 : 电力系统; 故障诊断; 继电保护动作信息; 故障录波器

Research on the Fault Diagnosis and Recovery Strategy of Electric Power System

Zhou Linshuang, Qi Yahui, Huangfu Minting, Cao Chengyang

Shaanxi Public Electric Co., Ltd. Xi'an, Shaanxi 710000

Abstract : Power system failures are often sudden, if not dealt with in time may cause a series of serious system and equipment failures. To cope with such problems, the power industry continues to explore and develop new technologies and methods to improve the speed and accuracy of fault diagnosis, as well as to optimize the rapid recovery mechanism after failure. This paper mainly discusses the fault diagnosis method of power system based on relay protection action information, fault recorder analysis and artificial intelligence and machine learning technology, and deeply analyzes the application effect of rapid isolation and local recovery strategy. By combining the analysis of actual cases and technical details to provide support for the fault detection and recovery of power system, and promote the intelligent management and maintenance of power system.

Keywords : power system; fault diagnosis; relay protection action information; fault recorder

引言

电力系统故障可能由设备老化、外力破坏、恶劣天气条件等多种因素引起, 这些故障如果不及及时处理, 可能会导致电流急剧增大、电压骤降、系统稳定性受损等一系列问题, 进而引发更广泛的连锁反应, 造成巨大的经济损失和社会影响。因此探究电力系统故障诊断与恢复策略的研究对于提升电力系统的可靠性和安全性来说有着积极意义。

一、电力系统故障的危害性

电力系统故障的危害是多方面的, 会对电流、电压、系统稳定性以及设备人身安全等带来风险。当电力系统发生短路故障时, 电流会急剧增大并超出设备的正常工作电流范围, 过大的电流会产生巨大冲击力, 使电气设备受到机械应力影响, 导致设备出现变形、损坏、烧毁^[1]。短路电流同时还会产生大量热能, 使设备局部或整体过热, 加速设备绝缘材料的老化, 降低设备的使用寿命, 如大型发电机出线端的三相短路电流可达几万甚至几十万安培, 这样的电流足以直接烧坏设备。电力系统发生短路故障, 还会导致电压大幅下降, 在三相短路中, 短路点的电压几乎为零, 短路点附近的电压也会明显下降, 这种电压的波动将直接影响用电设备的正常工作, 像异步电动机在电压降低时, 其转速会下降, 甚至停转, 会严重影响线路的稳定运行。

此外, 电力系统故障还会导致发电机输出的电磁功率降低,

原动机输入的机械功率如果无法快速适应变化, 就会出现不平衡功率, 这种不平衡功率会导致发电机转子加速, 但由于各发电机的加速速度不同, 发电机相互间的角度差会越来越, 最终可能引起并列运行的发电机失去同步, 破坏电力系统的稳定性, 一旦系统稳定性被破坏, 就可能引发大面积停电^[2]。在故障发生时, 短路故障带来的电弧可能会烧毁电力设备, 甚至引发火灾、触电事故。在电力运维工作中, 由于故障设备、人员操作不当或者安全措施不到位而导致的设备损失、触电事故时有发生, 给事故人员家庭, 以及企业、社会都带来的不同程度的损失。

二、电力系统故障诊断方法分析

(一) 基于继电保护的動作信息

继电保护装置能在检测到异常情况时迅速作出反应, 通过切断电源或隔离故障部分来防止故障扩大化, 基于继电保护的動作

作者简介: 周琳爽 (1996.06-), 女, 汉族, 陕西省西安市人, 本科, 初级工程师, 研究方向: 电力相关。

信息来进行故障诊断，是电力系统故障处理中较为直接有效的方法。继电保护的核心在于监测电力系统的运行参数（如电流、电压、频率等），并与预设的阈值进行比较^[3]。一旦这些参数偏离正常范围，超过设定的安全界限，继电保护装置就会根据内置逻辑快速判断是否存在故障，并决定是否需要采取行动。比如在检测到过电流或短路的情况下，断路器会被立即触发以中断电路，阻止故障进一步发展。当继电保护装置动作后，会产生一系列记录，如动作时间、动作类型（比如过流保护、差动保护等）、涉及元件及当时电网状态。这些信息可以作为后续故障的分析依据。技术人员可以利用这些数据来重建故障发生的场景，确定故障的具体位置和性质。此外，通过对不同保护装置之间动作顺序的研究，还可以了解故障传播路径，这对于复杂电网尤其有用。

基于继电保护动作信息的故障诊断与修复。河南某城市电网傍晚高峰时段（18:00–21:00），一个关键变电站内的110kV线路突然发生故障，故障发生后，变电站内安装的继电保护装置立即启动，检测到了异常高的电流值，远超正常运行范围，触发了过流保护机制。与此同时，差动保护也识别出了线路两侧电流不平衡的现象，这进一步证实了短路的存在。继电保护装置按照预设逻辑快速切断了故障线路，并记录下了详细的动作信息，具体如下表1所示。

表1 继电保护装置动作记录

动作时间	动作类型	涉及元件	当时电网状态	电流峰值 (A)	预设阈值 (A)
20:15	过流保护 + 差动保护	110kV线路 A相断路器	负载高峰期	3500	2000

根据继电保护装置提供的信息，技术人员首先重建了故障发生的场景，结合历史负荷曲线和实时监控数据，确定了故障发生在负载高峰期，可能是由于设备老化或外力破坏（如树枝掉落）引起的。为了精确定位故障位置，技术人员调用了其他相关保护装置的动作记录，尤其是上下游站点的数据，通过对比不同保护装置的动作顺序（如表2所示），发现故障沿着特定路径传播，最终锁定在一段靠近山区的线路上。随后技术人员利用 SCADA 系统获取的历史负荷曲线，以及实时监控数据进行比对，评估事故发生前后电网的状态变化，并派遣维修人员前往疑似故障区域进行实地勘查，确认故障是否存在。

表2 上下游保护装置动作顺序

站点名称	动作时间	动作类型	涉及元件	动作延迟 (ms)
上游站	20:14:59	差动保护	110kV线路 B相断路器	1
中间站	20:15:00	过流保护	110kV线路 A相断路器	0
下游站	20:15:01	过流保护	110kV线路 C相断路器	2

明确了故障原因和具体位置后，电力公司迅速制定了抢修方案。考虑到故障地点的特殊性，决定先采用无人机巡检的方式快速抵达现场，同时派遣地面维修队伍携带必要的工具和材料进行准备。经过无人机实时传输的画面，技术人员确实发现有断树倒在电线上导致此次短路故障。维修人员清理断树和杂物并对受损的绝缘子进行了更换，整个修复过程严格遵循安全操作规程，完成修复工作后，技术人员重新检查了所有受影响的设备，确认无

误后逐步恢复了供电。

（二）故障录波器分析

故障录波器是电力系统中用于捕捉和记录故障发生时电气参数变化的重要工具，能够在毫秒级的时间分辨率上记录电压、电流、频率等关键参数的变化。将故障录波器通过连接到变电站内的电压互感器（PTs）、电流互感器（CTs）等测量设备上，实时监测电网运行状态^[4]。当检测到异常情况时，录波器会自动启动并保存一段时间内的历史数据，一般为故障前几秒钟至故障后几十秒的数据。再借助故障录波器的远程通信能力，可以将收集到的信息传输到中央监控中心或云端平台进行集中管理和分析^[5]。

某城市电网中某条110kV输电线路就安装有故障录波器，该线路总长13.4km，共计设有26个故障录波器，分别标号gz201–gz226。在2022年2月–2024年3月期间，共辅助运维人员诊断线路故障共14起，提升了电力故障响应速度。表3是在2023年8月发生的一起电力线路故障，由gz-214故障录波器捕获的关键参数^[6]。

表3 故障录波器捕获的关键参数

参数	正常值范围	故障时刻读数	变化趋势
线路电压 (kV)	106–114	0	急剧下降至零
线路电流 (A)	< 200	3500	突然升高
频率 (Hz)	49.8–50.2	49.5	轻微下降

从表中可以看出，在故障发生的瞬间，线路电压骤降至零，而电流则急剧上升至3500安培，远超正常工作范围。同时电网频率也出现了轻微下降，表明线路发生故障。进一步分析后，故障发生在20:37（属于负载高峰期），持续时间非常短暂，仅约100毫秒，通过对不同位置录波器记录的数据进行对比后，技术人员成功锁定了gz-214故障的具体位置，并安排维修人员快速赶往现场勘查修复^[7]。

（三）人工智能与机器学习技术

利用人工智能与机器学习技术对电力系统的历史数据进行训练，建立预测模型来识别潜在的故障模式，这种方法通过处理大量来自传感器、继电保护装置、故障录波器等设备的非结构化数据，以及天气预报信息和历史维护记录等外部数据源，能够显著提高故障诊断的准确性和效率，对于复杂多变的电力系统具有极佳的适应性。具体来说，实施这一方法的过程涉及数据收集、预处理、特征提取、模型选择与训练、验证与优化等多个步骤，并最终实现智能化的故障预测和诊断^[8]。

第一，在数据收集阶段，需要从多个渠道获取数据集。数据具体涵盖电压、电流、功率因数等电力系统内部的各种运行参数，以及温度、湿度、风速等可能影响电力设施正常运作的环境因素信息。同时还应考虑纳入过往故障案例及其对应的维修记录，为模型提供更加丰富的训练素材。数据收集阶段还需进行严格的清洗工作，去除噪声点或异常值，填补缺失数据。

第二，特征提取环节，这是将原始数据转换成可用于建模的有效表示形式的关键步骤。通过对原始数据进行统计分析、时域频域变换、小波分解等操作，可以挖掘出隐藏在数据背后的模式和规律。比如某些特定频率下的谐波成分可能是设备老化或局部

放电的早期迹象；而不同时间段内的负荷曲线变化趋势则有助于判断电网是否存在过载风险。同时，还可以采用主成分分析（PCA）、独立成分分析（ICA）等降维技术，减少冗余信息，突出最具代表性的特征向量，从而简化后续计算任务并提升模型性能。

第三，根据问题性质和预期目标选取合适的机器学习算法构建预测模型。对于分类任务，如区分正常状态与故障类型，支持向量机（SVM）、随机森林（RF）、卷积神经网络（CNN）等监督式学习方法表现出色；对于回归分析，则可以使用线性回归、岭回归或者长短期记忆网络（LSTM）。深度学习框架因其强大的表达能力和自动特征学习能力，在处理复杂非线性关系方面展现出独特优势。特别是在面对大规模时空序列数据时，基于 RNN 或 Transformer 架构的时间序列预测模型能够捕捉到长期依赖关系，能一定程度上预测未来可能出现的问题^[9]。

三、故障快速隔离与局部恢复策略

快速隔离与局部恢复策略的核心在于在最短时间内定位并隔离故障区域，防止故障影响范围扩大，同时尽可能保持非故障区域的正常供电。因此该措施可配合上文提到的继电保护动作信息与故障录波器分析技术，案例所在的电力公司就结合此类技术搭建了一个具备高度灵敏性和响应速度的故障检测系统。该系统能够实时监测电力系统的各项参数，包括电流、电压、频率等，并与预设的安全阈值进行比较。一旦发现电流突然增大或电压骤降等异常情况，系统将立即触发警报并向相关控制中心发送通知^[10]。

通过继电保护和智能断路器，系统可以在检测到故障后迅速切断故障线路或设备，而不必关闭整个变电站或更大范围的电网^[11]。一旦故障被有效隔离，可以立即恢复对未受影响部分用户的供电。对于那些配备了分布式能源资源（DERs）的局部电网，还可以利用这些资源来支持临时供电，进一步提高恢复速度^[12]。当故障发生时，继电保护装置会根据内置逻辑算法自动作出反应，选择性地切断故障点附近的电路连接，避免故障蔓延至其他健康部分。现代智能断路器不仅能够实现毫秒级的动作响应，还支持远程操作和状态监控功能，使得运维人员可以在远离现场的情况下执行必要的控制指令。与此同时，借助地理信息系统（GIS）平台，技术人员可以通过可视化界面直观地查看电网拓扑结构及各节点的工作状况，快速确定最佳隔离方案，最大限度减少停电范围。

四、结语

本文展示多种有效的故障诊断方法，并探讨了快速隔离与局部恢复策略的应用及其带来的显著效果。继电保护装置能够迅速响应异常情况，切断故障部分，防止故障扩大化；故障录波器则提供毫秒级时间分辨率的关键参数变化记录，为故障定位和原因分析提供数据支持^[13]。结合快速隔离与局部恢复策略，可以最大限度保障电力故障区域的系统稳定性。未来电力系统故障诊断与恢复领域仍有许多值得探索的方向，如开发更先进的算法模型，推动微电网和储能技术的发展等，能帮助电力企业构建一个更加智能、可靠的现代电力系统。

参考文献

- [1] 罗卿. 基于多源信息融合的电力系统快速故障诊断方法研究 [J]. 微型电脑应用, 2023, 39(10): 161-163+180.
- [2] 徐婷婷. 电力系统继电保护隐藏故障诊断方法与系统重构研究 [J]. 电气技术与经济, 2023, (08): 32-34.
- [3] 张友. 电力系统及其自动化中变压器故障诊断研究 [J]. 模具制造, 2023, 23(10): 166-168.
- [4] 高陆军, 陈洁, 王新雷, 等. 基于多任务学习的新型电力系统故障诊断方法 [J]. 现代电子技术, 2023, 46(15): 155-160.
- [5] 焦炜贤. 电力系统设备状态监测与故障诊断技术分析 [J]. 集成电路应用, 2023, 40(05): 112-113.
- [6] 张平, 王鹏展, 龚宁, 等. 基于窥孔结构 LSTM 的电力系统跳闸故障诊断 [J]. 南京信息工程大学学报 (自然科学版), 2023, 15(06): 712-722.
- [7] 汪琳. 电力系统中 6 kV 变压器短路故障诊断与维修 [J]. 设备管理与维修, 2022, (20): 149-150.
- [8] 白宇, 王云飞, 刘艳茹, 等. 基于容错机制的电力系统故障诊断方法研究 [J]. 电工技术, 2022, (20): 204-207.
- [9] 秦译为, 张蓬鹤, 宋如楠, 等. 新型电力系统下电弧故障诊断技术及发展趋势 [J]. 电测与仪表, 2024, 61(02): 1-9.
- [10] 帕力旦·乌休尔. 电力系统电气设备的故障诊断与检修对策 [J]. 中国高新科技, 2022, (16): 23-25.
- [11] 代家罗, 胡海浪. 超声波技术在电力系统故障诊断中的应用 [J]. 光源与照明, 2022, (07): 186-188.
- [12] 朱赖红, 王娟. 基于神经网络的船舶电力系统故障诊断方法 [J]. 舰船科学技术, 2022, 44(11): 132-135.
- [13] 杨湛鸿. 人工智能在电力系统故障诊断中的应用 [C] // 中国电力设备管理协会. 中国电力设备管理协会第二届第一次会员代表大会论文集 (2). 广东电网有限责任公司湛江供电局, 2022: 5.

电子信息工程中电源管理技术的创新与应用

郑华

中邮通建设咨询有限公司，江苏 南京 210000

摘 要： 电源管理技术在电子信息工程中扮演着至关重要的角色，尤其在提高系统能效、延长设备使用寿命和优化功耗方面具有显著作用。随着智能化设备和高性能系统需求的不断增长，电源管理技术不断创新，涵盖了集成电路、功率转换器、能量回收等多个方面。这些技术的进步不仅推动了电力电子学的发展，也提升了各类电子产品的稳定性和可靠性。通过采用先进的电源管理算法和硬件设计，能有效降低能源消耗，提升系统性能，实现更智能、更高效的能源管理。

关 键 词： 电源管理技术；能效优化；集成电路；功率转换器；能量回收

Innovation and Application of Power Management Technology in Electronic Information Engineering

Zheng Hua

China Postcom Construction Consulting Corporation, Nanjing, Jiangsu 210000

Abstract: Power management technology plays a crucial role in electronic information engineering, especially in improving system energy efficiency, extending equipment lifespan, and optimizing power consumption. With the continuous growth in demand for smart devices and high-performance systems, power management technology has undergone continuous innovation, covering various aspects such as integrated circuits, power converters, and energy recovery. Advances in these technologies have not only driven the development of power electronics but also improved the stability and reliability of various electronic products. By adopting advanced power management algorithms and hardware designs, energy consumption can be effectively reduced, system performance can be improved, and smarter, more efficient energy management can be achieved.

Keywords: power management technology; energy efficiency optimization; integrated circuits; power converters; energy recovery

引言

随着电子设备的日益普及与智能化发展，电源管理技术已成为推动电子信息工程进步的关键因素。高效的电源管理不仅直接影响系统的性能与稳定性，还决定着设备的能耗表现和使用寿命。尤其在智能设备、可穿戴技术、汽车电子等领域，精确、高效的电源管理技术已成为提高整体性能的核心要素。当前，电源管理技术的创新突破，不仅提升了能源利用效率，还为未来更复杂、智能的电子系统提供了坚实的基础。

一、电源管理技术的发展现状与趋势

电源管理技术在电子信息工程中起着至关重要的作用，尤其在优化系统性能和延长设备使用寿命方面，已成为不可或缺的核心技术之一。随着信息技术的快速发展，智能化设备和高性能系统对电源管理的需求不断增加，推动了该领域技术的持续创新与进步。电源管理技术的核心任务是高效地管理和调控系统中的电能流动，以达到能效最优化、功耗最小化以及设备稳定性和可靠性的提升^[1]。

近年来，随着集成电路（IC）技术的快速发展，电源管理技术已不再仅限于传统的电池供电系统和简单的电源转换。新一代

电源管理 IC 通过集成化设计，不仅使电源管理变得更加高效和精密，而且还大大缩小了电源管理模块的体积，为便携式设备、可穿戴设备等领域的发展提供了有力支持。此外，集成电路在功率转换、能量回收、负载调节等方面的应用，使得电源管理更加智能化，能够自动调整工作状态和能量分配，达到最佳的能源使用效率。

在功率转换器技术方面，近年来，随着对高效率、低损耗电源转换器的需求不断增长，相关技术也得到了显著突破。高效的功率转换器不仅能够提高电源管理系统的整体性能，还能够多种工作环境下保持稳定输出，尤其在高负载情况下的电力转换效率尤为重要。目前，广泛应用的包括 DC-DC 转换器、AC-DC

转换器等多种类型，这些转换器采用了新型的半导体材料和优化的拓扑结构，能够更好地应对高频、高功率的电能转换需求。此外，数字化控制和智能调节技术的引入，使得功率转换器的适应性和效率得到了进一步提高^[2]。

能量回收技术的应用是电源管理技术的重要创新之一。在许多电子设备和系统中，能量的浪费是不可避免的，尤其在机械设备和电动汽车等领域，能量回收技术的引入有效地提升了系统的总体能效。例如，混合动力汽车中的制动能量回收系统可以在制动过程中将动能转化为电能，回馈到电池中，减少了能量的损失。在电源管理中，能量回收技术通过高效的能量转化和存储方案，实现了对系统中剩余能量的有效利用，不仅减少了能源消耗，还延长了设备的使用寿命^[3]。

随着绿色环保意识的提升和节能减排政策的出台，电源管理技术的创新方向逐渐趋向于更高效、环保和智能化的方向。未来，随着物联网、人工智能等新兴技术的发展，电源管理系统将不仅仅依赖传统的硬件设计和算法优化，还将融入更多的智能算法与自动化调控技术，以实现自适应、智能化的电源管理解决方案。此外，能源密度更高的电池技术、低功耗设计理念以及更高效的热管理技术也将成为未来电源管理技术发展的重要趋势^[4]。

二、集成电路在电源管理中的应用与创新

集成电路（IC）在电源管理中的应用与创新是推动现代电子信息系统向高效、稳定、智能化发展的关键因素。随着集成电路技术的不断进步，电源管理的设计和实现变得更加精密，功能也得到了极大的拓展。传统的电源管理系统主要依赖于独立的电源模块，而如今集成电路的广泛应用使得电源管理功能高度集成在一个芯片内，极大提高了系统的效率和可靠性。

在电源管理中，集成电路的主要作用是实现电源的稳定输出、负载调节和功率转换等关键功能。现代集成电路能够通过精密的控制算法调节电流和电压的输出，保证电源系统在不同工作负载下都能维持稳定的性能。尤其在高效电源转换方面，集成电路的创新使得电源管理系统可以有效地处理复杂的电能流动和负载需求，达到最佳的电源输出状态。通过集成电路的优化，电源管理系统能够在保证稳定性的同时，降低功耗，减少能量浪费^[5]。

集成电路技术的进步还使得电源管理系统的体积大大缩小。传统的电源管理系统通常需要多个独立的元器件来完成不同的功能，导致整体设计复杂且占用空间较大。如今，随着集成电路的高集成度和高性能，电源管理模块得以将多个功能集成到一个小巧的芯片中，从而实现了更紧凑的系统设计。这对于便携式设备、智能硬件和可穿戴设备等对空间和体积有严格要求的应用领域至关重要。

集成电路在电源管理中的创新还表现在功率转换和调节效率的提升。以DC-DC转换器为例，传统的转换器采用模拟控制方式，效率较低，且难以适应快速变化的负载需求。现代集成电路采用数字控制技术，能够通过精确的算法和智能调节，优化功率

转换过程，显著提升了转换效率。数字化控制不仅使得电源管理系统能够实时响应负载变化，还可以根据需求动态调整电压、电流等参数，从而实现更加灵活和高效的电源管理^[6]。

集成电路在能量回收和再利用方面的创新也是一个重要方向。在一些系统中，尤其是电动汽车和可再生能源系统中，能量回收技术发挥着重要作用。集成电路可以通过高效的控制策略，优化能量回收过程。例如，在电动汽车的制动能量回收系统中，集成电路能够智能调节制动过程中的能量回馈，确保能源的最大化利用，从而提升整体系统的能效。

随着技术的不断进步，集成电路在电源管理中的创新将持续扩展，特别是在集成度、智能化、效率和自适应调节等方面。未来，集成电路将不仅仅是电源管理的核心组件，还将与人工智能、物联网等技术相结合，推动电源管理系统向更加智能化和自动化的方向发展。

三、功率转换器技术的优化与挑战

功率转换器技术在电源管理系统中占据着重要地位，尤其在提升电能转换效率和稳定性方面发挥着关键作用。随着对高效电源管理需求的不断增长，功率转换器技术经历了显著的优化，成为提升电子设备性能和降低能耗的核心组件。然而，尽管技术取得了显著进展，功率转换器仍面临着一些挑战，特别是在高频、高功率转换和复杂负载适应性等方面。

在功率转换器的优化方面，首先是转换效率的提升。传统的功率转换器通常采用较为简单的模拟控制方式，导致在高负载条件下出现较大的能量损耗。而现代功率转换器则广泛采用数字控制技术，通过更精确的调节算法和更先进的半导体材料（如碳化硅和氮化镓），实现了更高的转换效率。这些新材料具有更高的开关频率和更低的导通损耗，从而显著提升了功率转换器的整体效率。尤其是在高频、高功率的工作条件下，这些优化使得功率转换器能够在更高的效率水平下运行，减少了能源浪费，并降低了系统的热负载^[7]。

智能化控制技术也推动了功率转换器的进一步优化。现代功率转换器采用了基于反馈的数字控制系统，能够实时调整输出电压和电流，响应负载变化。这使得功率转换器在各种负载条件下都能保持稳定的性能，避免了因负载变化导致的效率下降和电能浪费。通过动态调节电源的输出参数，智能控制系统可以有效地减少能量的浪费，提升电源系统的整体能效。此外，智能控制还能够提高系统的可靠性和安全性，通过对工作状态的实时监控与保护，防止因过载、过压等问题导致设备损坏。

功率转换器的优化仍面临着一些挑战。首先是高频开关技术的挑战。随着开关频率的不断提升，功率转换器的开关损耗和电磁干扰（EMI）问题变得愈加严重。在高频条件下，开关器件和电磁波的相互作用可能导致转换器效率下降，并影响整个系统的稳定性。因此，如何平衡开关频率和效率之间的关系，降低开关损耗并减少电磁干扰，仍是功率转换器设计中的一个重要难题^[8]。

高功率密度的实现也是功率转换器面临的挑战之一。随着电子设备体积的不断缩小，功率转换器需要在有限的空间内提供更高的功率输出。这对散热系统和元器件的选择提出了更高要求。高功率密度不仅意味着需要更紧凑的设计，还需要更高效的热管理方案，以防止因过热导致系统故障。

随着能源利用效率要求的不断提高，功率转换器在适应不同工作条件和复杂负载方面也面临挑战。尤其在可再生能源系统、电动汽车和智能电网等应用中，功率转换器需要处理更加复杂的负载变化，如何设计出更加灵活、智能的控制系统，满足不同工作场景下的需求，仍是未来功率转换器发展的一个关键问题。

四、能量回收技术在电子信息系统中的实践与前景

能量回收技术作为一种提升能源利用效率、减少能源浪费的重要手段，在电子信息系统中的应用日益广泛。通过回收系统中本来会损失的能量并加以利用，能量回收技术不仅能够有效降低设备的能耗，还能提升系统的整体效率和可持续性。在许多领域，尤其是电动汽车、可穿戴设备、智能电网和可再生能源系统中，能量回收技术已经成为提升能效和减少环境负担的重要手段。

在电动汽车领域，能量回收技术的应用最为典型。电动汽车的制动能量回收系统通过将车辆在制动过程中产生的动能转化为电能，回馈到电池中，避免了这部分能量的浪费。这种技术大大提升了电动汽车的能效和续航能力，尤其在城市拥堵的交通环境中，频繁的刹车过程成为了能量回收的一个重要来源。通过高效的能量回收系统，电动汽车可以实现更长的行驶距离，同时减少对电池的频繁充电，延长电池寿命。此外，随着电池技术和功率电子技术的进步，制动能量回收系统的效率也在不断提高，未来将能够更好地适应复杂的道路条件和驾驶需求^[9]。

在可再生能源系统中，能量回收技术的应用也具有重要意

义。以太阳能和风能为代表的可再生能源系统，在能源的获取和转化过程中往往存在一定的能量损失。能量回收技术通过智能化的电力管理系统，将这些损失的能量回收并重新利用，从而提升整个系统的能源转化效率。例如，在风能发电系统中，利用智能控制技术优化风机的运行模式，使得每一次风能的转换都能够最大限度地发挥效益，并通过系统设计回收风机运行过程中的能量浪费，提高整体能效。在太阳能发电系统中，通过更高效的逆变器和储能装置的配合，能够在光照条件变化时稳定输出电能，并回收和存储多余的能量^[10]。

在智能电网和建筑能效管理领域，能量回收技术的前景同样十分广阔。智能电网通过对电力流动的实时监控和调度，能够实现电能的最优化分配和能量回收。例如，在电力传输和分配过程中，由于线路损耗、设备故障等原因会产生一定的能量损失。智能电网系统通过高效的监控与管理技术，可以识别这些损失并通过能量回收装置将部分电能回收到系统中，从而减少浪费。

展望未来，能量回收技术将在智能化、集成化和高效化方面继续发展。随着人工智能、物联网等技术的发展，能量回收系统将不仅仅是对能量的被动捕捉和转换，还将能够通过智能算法预测系统运行状态，动态调整能量回收策略，最大化地提升系统的整体能效。

五、结语

能量回收技术在电子信息系统中的应用与创新为提高能效、减少能源浪费提供了强有力的支持。从电动汽车到可再生能源系统，能量回收技术的广泛应用不仅提升了系统效率，还促进了环保与可持续发展。尽管面临技术优化与成本控制的挑战，随着智能化和高效化技术的发展，能量回收技术将持续突破现有瓶颈，为未来的能源管理和绿色科技贡献更多力量。

参考文献：

[1] 雷伯南. 面向双模微能量复合的电源管理技术研究 [D]. 电子科技大学, 2024.DOI:10.27005/d.cnki.gdzku.2024.001171.
[2] 陈铁年, 王闯, 刘佳伟. 煤矿输送机变频器控制单元电源管理技术 [J]. 煤矿机械, 2023, 44(12): 49–51.DOI: 10.13436/j.mkjx.202312015.
[3] 汤孝. 飞机主电源系统健康管理技术研究 [D]. 西北工业大学, 2021.
[4] 徐树. 应用于便携式设备的电源管理技术研究 [D]. 合肥工业大学, 2021.DOI:10.27101/d.cnki.ghfgu.2021.000869.
[5] 芦潇静. TI 电源管理技术为工业设计提供创新动力 [J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2020, 20(08): 93.
[6] 黄梓亮. 电液外骨骼机器人电源能量管理技术研究 [D]. 浙江大学, 2019.
[7] 苑春迎, 王仁兵, 耿家锐, 张晓伟, 何正峰, 王中玖, 郭昌祥. 模块化功率转换器非线性分散控制研究 [J]. 电气技术与经济, 2023(07): 17–19+23.
[8] 赵亮. DC–DC 功率转换器辐射电磁干扰建模与抑制方法研究 [D]. 电子科技大学, 2021.DOI: 10.27005/d.cnki.gdzku.2021.002948.
[9] 马春明. 多轮毂电机电动汽车动力系统匹配及制动能量回收控制策略研究 [D]. 长安大学, 2021.
[10] 李素月; 刘军怀; 郝鹏昇; 闫森; 王安红; Sami Muhaidat. 基于自能量回收的全双工用户协作 NOMA 系统性能分析 [J]. 电子学报, 2022(02).

PLC控制在电力设备故障诊断中的应用案例分析

袁大江

宁夏中房实业集团有限公司，宁夏 银川 750000

摘 要： 本文主要探讨了PLC控制在电力设备故障诊断中的应用。首先介绍了PLC的基本原理和特点，然后通过具体案例详细分析了其在电力设备故障诊断中的应用，并结合实际数据说明了PLC控制在提高故障诊断效率、准确性和保障电力系统稳定运行方面的显著效果，最后对PLC控制在电力设备故障诊断中的应用前景进行了展望。

关 键 词： PLC控制；电力设备；故障诊断；应用案例；发电机组故障

Application Case Analysis of PLC Control in Fault Diagnosis of Electric Power Equipment

Yuan Dajiang

Ningxia Zhongfang Industrial Group Co., Ltd. Yinchuan, Ningxia 750000

Abstract： This paper mainly explores the application of PLC control in the fault diagnosis of electrical equipment. Firstly, it introduces the basic principles and characteristics of PLC. Then, through specific cases, it analyzes its application in the fault diagnosis of electrical equipment in detail, and illustrates the significant effect of PLC control in improving the efficiency and accuracy of fault diagnosis and ensuring the stable operation of the power system with actual data. Finally, the application prospects of PLC control in the fault diagnosis of electrical equipment are prospected.

Keywords： PLC control; electrical equipment; fault diagnosis; application case; generator set fault

引言

在当今时代，电力已然成为现代社会运转不可或缺的核心能源支撑。随着社会经济的迅猛发展以及各类高新技术产业的蓬勃兴起，电力系统的规模呈现出持续扩张的态势，其内部结构与运行机制的复杂性也在急剧增加。在这样的大背景下，电力设备的稳定运行面临着前所未有的严峻挑战，而电力设备的故障诊断工作则顺势成为保障电力系统能够安全、稳定运行的关键环节。一旦电力设备出现故障且未能及时察觉与处理，可能会引发连锁反应，导致局部甚至大面积停电事故，对工业生产、商业活动以及居民生活造成难以估量的损失。

PLC，即可编程逻辑控制器，作为工业控制领域的一项卓越技术成果，具备高性能与强可靠性的显著特质。它拥有强大的逻辑运算能力、精准的数据处理能力以及高效的指令执行速度，能够在复杂多变的工业环境中稳定运行。其独特的优势，如高度的灵活性、良好的扩展性、易于编程与调试等，使其在电力设备故障诊断领域迅速崭露头角并得到了极为广泛的应用。通过与各类传感器、执行器紧密协作，PLC能够实时采集电力设备的运行参数，依据预设的诊断逻辑对这些数据进行深度分析与精准判断，从而及时、准确地发现潜在故障隐患，并为后续的故障处理提供关键的决策依据与控制指令，为电力系统的安全稳定运行筑牢坚实防线。

一、PLC的基本原理及特点

在现代电力设备故障诊断领域，PLC（可编程逻辑控制器）作为一种关键技术手段，其基本原理与特点构成了深入理解其应用价值的基石。本章节将深入探讨PLC的基本原理，详细阐述其显著特点，揭示其在电力设备故障诊断中发挥核心作用的内在逻辑。

（一）PLC的基本原理

PLC是一种专门为在工业环境下应用而设计的数字运算操作的电子装置，它采用可以编制程序的存储器，用来在其内部存

储执行逻辑运算、顺序运算、计时、计数和算术运算等操作的指令，并能通过数字式或模拟式的输入和输出，控制各种类型的机械或生产过程^[1]。PLC以微处理器为核心，运行存储于存储器中的用户程序来实现控制功能。其工作过程基于循环扫描机制，即从输入采样阶段起始，PLC按顺序读取所有输入端口的信号状态，并将这些数据存储于特定的输入映像寄存器。此阶段，PLC如同一位严谨的信息采集员，迅速且精准地捕捉外部设备的各种状态信息，为后续的处理奠定基础。

在程序执行阶段，PLC依据存储的用户程序指令，对输入映像寄存器中的数据进行逻辑运算与数据处理^[2]。它从程序的第

一条指令开始，按序执行，将输入数据与预设的逻辑条件进行比对、运算，逐步得出中间结果与最终输出状态。这一过程犹如一个精密的逻辑运算引擎，按照既定规则对输入信息进行深度加工。

最后进入输出刷新阶段，PLC将运算得出的输出结果传送到输出锁存器，从而驱动相应的外部输出设备，如继电器、电磁阀等，使其按照程序设定的要求动作。通过这一循环往复的扫描过程，PLC持续监控并控制电力设备的运行，确保其始终处于正常工作状态或在故障发生时能及时响应。

(二) PLC的特点

PLC具有卓越的可靠性。其采用了先进的电子元件与制造工艺，具备强大的抗干扰能力，能够在复杂恶劣的电力环境中稳定运行。例如，在变电站等强电磁干扰场所，PLC可有效抵御电磁脉冲的冲击，保障数据采集与控制指令的准确无误。同时，其具备完善的自诊断功能，能实时监测自身硬件与软件的运行状况，一旦发现异常，立即启动报警或采取相应的纠错措施，犹如一位自我监督、自我修复的智能卫士。

PLC编程极为灵活。它支持多种编程语言，如梯形图、语句表、功能块图等，编程人员可根据实际需求与个人编程习惯灵活选用。以梯形图为例，其图形化的编程界面类似于电气控制原理图，直观易懂，便于电气工程师快速上手^[3]。即使面对复杂的控制逻辑，如大型发电机组的启停控制、变电站的倒闸操作逻辑等，编程人员也能借助这些丰富的编程语言轻松构建精准的控制程序，实现对电力设备的精细化管理与控制^[4]。

二、PLC在电力设备故障诊断中的应用案例分析

随着电力系统的日益复杂和对供电可靠性要求的不断提高，PLC在电力设备故障诊断中的应用愈发重要。通过实际案例分析PLC的应用，能够更直观地展现其在故障诊断中的优势与价值，为进一步优化电力设备故障诊断系统提供参考依据。以下将详细介绍一个典型的PLC在电力设备故障诊断中的应用案例。

(一) 案例一：型工厂的电力配电监测

在某大型工厂的电力配电监测系统中，为了确保供电的可靠性和安全性，摒弃了传统的开关配电柜和人工巡检方式，引入了PLC技术。

该系统中，PLC通过读取电力负荷传感器的信号，能够实时获取各个配电回路的电流、电压和功率等关键信息。例如，在某条主要生产线上的配电回路中，PLC每隔0.1秒采集一次电流数据，正常运行时电流值稳定在100A-120A之间。电压数据则保持在380V左右，功率在40kW-50kW的范围内波动。

PLC与上位机之间利用高效的网络技术搭建起稳定的通信链路，实时将采集到的各类数据上传至服务器，从而达成对电力负荷的远程实时监视与精细化管理。一旦系统运行过程中出现异常状况，PLC会立即依据预先精心设定的逻辑程序启动故障诊断机制，迅速且准确地判断故障类型及位置，并及时发出警报。不仅如此，PLC还具备远程控制功能，在故障发生时可远程操作相关

设备。

表1 故障诊断逻辑示例

故障现象	诊断条件	可能故障原因	处理措施
电流过高	电流值大于150A且持续时间超过5秒	负载短路或过载	切断该回路电源，发出报警信号，通知维修人员检查负载及线路
电压过低	电压值低于350V且持续时间超过3秒	电源故障或变压器故障	切换至备用电源，检查电源及变压器设备
功率异常波动	功率在1分钟内波动幅度超过20kW	设备故障或线路接触不良	检查相关设备运行状态及线路连接情况

在实际运行中，曾出现过一次电流过高的故障。当时，PLC监测到某配电回路的电流值迅速上升至180A，并持续了8秒，满足了上述表格中的故障诊断条件。PLC立即判定该回路出现故障，迅速切断了该回路的电源，同时向上位机发送报警信号。上位机接收到报警信息后，通知了维修人员。维修人员根据PLC提供的详细数据和故障诊断结果，快速定位倒是一台大型电机出现了短路故障，及时进行了修复，避免了故障的进一步扩大，保障了整个生产系统的正常运行。

由此可见，PLC在该电力配电监测系统中的应用，不仅提高了故障诊断的效率和准确性，还实现了对电力设备的远程监控和管理，大大降低了人工巡检的工作量和潜在风险，有效保障了电力供应的稳定性和可靠性，为工厂的安全生产提供了有力支持。

(二) 案例二：变电站设备故障诊断

某枢纽变电站为提升设备运行管理水平，引入PLC技术构建故障诊断系统。该系统包含变压器、断路器等一次设备，继电保护、测控装置等二次设备及PLC控制系统。PLC采用冗余配置保障可靠性，经RS485接口与二次设备相连获取数据，借以太网模块与上位机通信。

故障诊断运用阈值判断与趋势分析结合法。如变压器油温，正常范围50℃-70℃，且分析其变化趋势，若1小时内上升速率超5℃/小时，即便未超上限，PLC也预警。断路器故障诊断综合辅助触点状态与电流、电压参数，正常分合闸时，三者需匹配，否则判定可能故障。

一次运行中，变压器油温45分钟内从55℃升至75℃且持续上升，负载电流无明显变化，冷却系统正常。按预设逻辑，PLC判断内部可能铁芯多点接地或绕组局部短路，立即报警并传信息至监控中心。运维人员据此停电检修，发现铁芯一处接地不良致局部过热油温上升。修复后变压器恢复正常，避免了故障恶化。

PLC应用于变电站设备故障诊断，效果显著。它能实时监测和准确诊断，及时发现潜在故障，预防事故。该变电站采用后，设备故障率降约25%，维护周期优化，停电检修次数减少，供电可靠性和电网运行效率均提高。其成功经验为其他变电站智能化改造提供了宝贵范例，有助于推动整个变电站领域的技术升级与管理优化，让更多变电站在保障电力稳定供应上更具能力与信心，从而更好地适应现代电力系统对高效、安全、稳定运行的要求，为社会生产生活提供坚实的电力保障基础，进一步促进电力行业的可持续发展与进步。

三、PLC控制在电力设备故障诊断中的优势与应用前景

本章节聚焦 PLC 控制于电力设备故障诊断的应用，深入剖析其优势与前景。优势方面，PLC 以强大数据处理及精准诊断逻辑确保准确性，通信功能实现远程监控管理，维护电力系统稳定。前景上，随着技术发展，PLC 将融合人工智能，对接物联网，构建智能诊断体系，推动电力行业智能化变革，其应用价值不可限量。

（一）优势

PLC 在电力设备故障诊断中展现出极为卓越的性能与显著优势。它所具备的强大数据采集与处理能力使其能够在电力设备运行过程中，以极短的时间间隔持续地获取海量的运行数据，这些数据涵盖电压、电流、功率、温度等多方面参数。通过其内部高效的数据处理机制，能够对这些数据进行即时分析与运算，一旦数据出现异常波动或偏离预设正常范围，PLC 便能迅速启动故障诊断程序^[5-6]。在故障诊断环节，PLC 依靠预设得极为精准且复杂的故障诊断逻辑与算法，将从各类传感器收集而来的不同类型数据进行全面深入的综合剖析，并非简单地依据单一信号进行判断，这样就极大地降低了因某一传感器故障或信号干扰导致的误判风险，从而切实保障了故障诊断结果的高度精准性与可靠性。

同时，PLC 的通信功能为远程监控与管理提供了坚实支撑^[7]。它可以稳定且高效地把电力设备的实时运行数据以及所诊断出的故障信息通过网络远程传输至监控中心，运维人员无论身处何地，都能够借助相关终端设备及时接收并查看这些信息，全面且细致地掌握设备的运行状况，进而能够在第一时间做出响应与决策，大幅提升了运维管理工作的效率与质量，并且在面对故障时，快速而准确的诊断以及及时有效的处理措施能够有效阻止故障进一步恶化与扩散，有力维护电力系统的稳定运行秩序，显

著提升整个电力系统的可靠性与稳定性水平^[8]。

（二）应用前景

在当今科技迅猛发展的时代，PLC 控制在电力设备故障诊断领域展现出了极为广阔且极具潜力的应用前景。随着电力系统规模的持续扩张以及复杂度的不断攀升，对电力设备运行状态的精准监测和高效故障诊断愈发关键^[9]。

PLC 控制系统凭借其卓越的稳定性、高度的可靠性以及强大的抗干扰能力，在电力设备故障诊断中占据重要地位。它能够实时、不间断地采集电力设备运行过程中的各类关键参数，如电流、电压、温度、功率等^[10]。通过预先设定的逻辑判断规则和智能算法，对这些海量数据进行快速处理与深度分析，及时且精准地判断设备是否存在故障隐患。

在未来，PLC 控制有望与先进的人工智能技术深度融合。借助机器学习算法，它可以对历史故障数据进行学习和总结，不断优化故障诊断模型，从而大幅提高诊断的准确性和效率。随着工业物联网的蓬勃发展，PLC 控制能够实现与其他智能设备的无缝对接与协同工作，构建起更为全面、智能的电力设备故障诊断体系，为电力系统的安全稳定运行提供坚实有力的保障，有力推动电力行业迈向智能化、高效化的新时代。

四、结束语

PLC 控制在电力设备故障诊断中具有显著的优势和广阔的应用前景，通过上述案例分析可以看出，其能够有效提高故障诊断的效率和准确性，保障电力系统的安全稳定运行。然而，随着电力系统的不断发展和智能化水平的提高，PLC 控制也面临着诸多挑战，需要在网络安全、数据处理、系统兼容性以及人员培训等方面不断加强和完善。总之，PLC 控制在电力设备故障诊断领域的不断创新和发展，将为电力行业的发展注入新的活力。

参考文献

- [1] 张东明, 文友先. PLC 的发展历程及其在生产中的应用 [J]. 现代农业装备, 2007, (09): 60-64.
- [2] 何其川. 基于高低频特征融合的电力设备热故障模糊控制方法 [J]. 自动化应用, 2022, (08): 30-32.DOI: 10.19769/j.zdhy.2022.08.008.
- [3] 毕露月, 杨文琛. 基于智能信息融合的电力设备故障诊断技术探究 [J]. 科技与创新, 2014, (20): 21+25.DOI: 10.15913/j.cnki.kjycx.2014.20.135.
- [4] 孙卫东. 基于电力设备故障预测与诊断控制的研究 [J]. 自动化技术与应用, 2007, (11): 31-32+24.
- [5] 都洪基, 丁一. PLC 智能化电力设备故障诊断系统 [J]. 电力自动化设备, 2002, (07): 69-70.
- [6] 种衍俊. PLC 电气系统中故障与维护技术的运用 [J]. 电子技术与软件工程, 2019, (07): 116.
- [7] 侯云飞, 施伟锋, 杨义伟. 基于工控机和 PLC 的船舶电力系统故障报警装置设计 [J]. 船电技术, 2017, 37(06): 26-30.DOI: 10.13632/j.meee.2017.06.008.
- [8] 邓振利, 王显平, 涂雪芹. 基于 PLC 传输技术的电力故障信号采集 [J]. 电工技术, 2010, (11): 17-19.
- [9] 杜宗展. 应用 PLC 的故障模拟控制系统 [J]. 继电器, 2003, (07): 67-68.
- [10] 杨勇山. PLC 在中央空调系统控制中的应用及故障检修 [J]. 电工技术, 2023, (S1): 158-160.DOI: 10.19768/j.cnki.dgjs.2023.25.055.

面向新能源消纳的电力调度控制模式创新

修富强

国网福建省电力有限公司武平县供电公司, 福建 武平 364300

摘 要： 随着新能源在电力系统中的占比不断增加，其消纳问题成为电力行业发展的关键挑战。本文深入研究了面向新能源消纳的电力调度控制模式创新，分析了新能源消纳面临的问题及传统调度控制模式的局限性，探讨了多种创新的调度控制模式，包括分布式电源与储能协同调度、跨区域电力互济与优化调度、智能电网技术支持下的精准调度以及需求响应参与的互动调度等，最后对未来电力调度控制模式的发展方向进行了展望，旨在为提高新能源消纳水平、促进电力系统安全稳定高效运行提供理论与实践参考。

关 键 词： 新能源消纳；电力调度控制；创新模式；分布式电源；储能

Innovation of Electric Power Dispatching Control Mode for Renewable Energy Accommodation

Xiu Fuqiang

Wuping County Power Supply Company of State Grid Fujian Electric Power Co., Ltd. Wuping, Fujian 364300

Abstract： With the increasing proportion of renewable energy in the power system, its accommodation has become a key challenge for the development of the power industry. This article delves into the innovation of power dispatching control modes for renewable energy accommodation, analyzes the problems faced by renewable energy accommodation and the limitations of traditional dispatching control modes, explores various innovative dispatching control modes, including collaborative dispatching of distributed generation and energy storage, cross-regional power mutual aid and optimized dispatching, precise dispatching supported by smart grid technology, and interactive dispatching involving demand response. Finally, the article looks ahead to the future development direction of power dispatching control modes, aiming to provide theoretical and practical references for improving the level of renewable energy accommodation and promoting the safe, stable, and efficient operation of the power system.

Keywords： renewable energy accommodation; electric power dispatching control; innovation mode; distributed generation; energy storage

一、研究背景

在全球能源转型的大浪潮中，新能源凭借其显著的清洁、低碳以及可持续发展特性，实现了飞跃式的增长。太阳能、风能等新能源发电装机容量呈现出持续上扬的态势，在电力系统架构中的角色愈发关键，已然成为推动能源结构优化变革的核心力量。然而，新能源与生俱来的间歇性、波动性以及随机性特质，犹如一把双刃剑，在为能源领域带来新机遇的同时，也给电力系统的稳健运行和电能的可可靠供应抛出了诸多棘手难题，其中新能源的消纳困境尤为突出，成为了限制其进一步拓展应用空间的关键瓶颈^[1]。

传统的电力调度控制模式在长期的实践过程中，是围绕火电等常规能源相对稳定的出力特性精心构建而成的。这种模式在过去的电力供应体系中发挥了重要作用，保障了电力系统的基本稳定运行和电能的持续可靠供应。但随着新能源大规模接入电力系统这一全新形势的出现，传统调度模式的短板逐渐暴露无遗。其难以有效应对新能源发电的不稳定特性，无法充分挖掘新能源的发电潜力，导致新能源在电力系统中的消纳面临重重阻碍。因此，积极探寻面向新能源消纳的电力调度控制模式创新路径，无

论是从保障当前电力系统安全稳定运行的现实角度出发，还是从推动能源行业可持续发展的长远战略高度考量，都具有不可估量的重要意义和深厚的理论价值，成为了当下电力领域亟待攻克的重要课题^[2]。

二、新能源消纳面临的问题

（一）新能源发电的间歇性和波动性

风能和太阳能发电紧密依赖于自然条件，风力的大小与方向变幻莫测，太阳光照强度也会随着时间、天气和季节等因素大幅波动，这些不稳定因素直接导致新能源发电功率呈现出显著的间歇性和波动性特征^[3]。例如，风力发电在风速不稳定的情况下，发电功率可能会在短时间内出现大幅升降；太阳能发电则在阴天、雨天或者早晚时段，发电功率会明显降低。这种不稳定的发电特性使得电力系统的供需平衡难以精准维持，极易出现功率缺额或过剩的现象，进而对电网的频率和电压稳定性产生严重的负面影响。当新能源发电功率突然大幅下降时，如果没有及时有效的补偿措施，电网频率可能会下降，影响电力设备的正常运行；

作者简介：修富强（1992.01—），男，汉族，福建省龙岩市武平县人，工程师，本科，研究方向：电力调度控制。

而发电功率突然上升，若不能合理疏导，可能会引发电压升高，对电网设备造成损害，威胁电力系统的安全稳定运行。

（二）新能源发电的预测精度有限

尽管当前在新能源发电预测领域已经涌现出多种方法和技术手段，涵盖了基于物理模型的预测方法、统计分析方法以及机器学习算法等，但由于气象条件的极端复杂性和高度多变性，加之预测模型本身存在一定的误差和局限性，使得新能源发电功率的预测精度至今仍无法满足电力调度对于高精度的严苛要求^[4]。不准确的发电预测会导致调度计划与实际发电情况之间出现较大偏差，这无疑大大增加了电力系统运行的不确定性和潜在风险。例如，在制定发电计划时，如果高估了新能源的发电功率，可能会导致其他备用电源的发电安排不足，当实际发电功率低于预期时，就可能出现电力短缺的情况；反之，如果低估了新能源发电功率，又可能造成其他电源的过度发电，造成能源浪费和发电成本的增加，同时也可能对电网的安全稳定运行带来不利影响。

（三）电网输送能力和灵活性不足

部分地区的电网基础设施建设未能跟上新能源发展的步伐，输电线路的输送能力存在瓶颈，难以将大量分散于各地的新能源电力安全、高效地输送到负荷中心，造成了新能源电力在源头的“拥堵”现象^[5]。此外，电网现有的灵活性调节手段相对匮乏，面对新能源发电的快速变化，难以迅速做出有效的响应和调整。例如，传统的电网调节手段主要依赖于火电的灵活性调节，但火电的调节速度相对较慢，无法及时适应新能源发电功率的快速波动。这种电网输送能力和灵活性的双重不足，极大地限制了新能源在电力系统中的消纳空间，使得大量的新能源电力无法得到充分利用，造成了能源的浪费和投资的低效。

三、传统电力调度控制模式的局限性

（一）发电计划制定方式单一

传统的电力调度模式在制定发电计划时，主要依据历史负荷数据和发电设备的固定参数进行简单的线性推算和经验判断^[6]。这种方式虽然在一定程度上能够满足常规能源为主的电力系统运行需求，但对于新能源发电的不确定性因素却缺乏足够的考量能力。新能源发电的间歇性和波动性使得其发电功率难以准确预测和用固定模式来规划，而传统调度模式往往对新能源发电采取较为保守的接纳策略，只是将其视为一种补充能源，在发电计划中预留的空间有限，这就极大地限制了新能源的发电潜力，无法实现新能源在电力系统中的最大化消纳，导致大量的新能源电力被浪费，无法充分发挥其在能源结构优化和环境保护方面的积极作用。

（二）缺乏有效的协同调度机制

在传统的电力调度模式下，火电、水电等不同类型电源之间以及电源与电网之间的协同调度缺乏紧密性和高效性。各发电企业通常从自身的利益出发，按照既定的调度指令独立运行，彼此之间的沟通协作相对有限，缺乏全局优化的协同意识和整体观念。这种分散的运行模式使得各类电源之间难以充分发挥互补优势，无法形成有机的协同运行体系。例如，在新能源发电充足

时，火电未能及时减少出力，导致能源的浪费；而在新能源发电不足时，水电又未能迅速补充电力缺额，影响了电力系统的供需平衡。同时，电源与电网之间的协调也不够顺畅，电网的运行方式调整往往滞后于电源发电情况的变化，难以充分发挥电网的调节作用，不利于新能源在电力系统中的有效消纳，降低了电力系统的整体运行效率和可靠性。

（三）实时调度响应速度慢

传统的电力调度系统在实时监测和控制能力方面存在明显的不足，对于新能源发电功率的实时变化响应速度较为迟缓。当新能源发电出现大幅波动时，调度系统由于监测数据的延迟和分析处理速度的限制，难以及时准确地掌握发电功率的变化情况，进而无法迅速调整其他电源的出力和电网的运行方式^[7]。这就使得电力系统的运行状态容易偏离最优状态，不仅降低了电力系统的运行效率，还可能引发一系列安全问题。例如，在新能源发电功率突然下降时，如果调度系统不能及时启动备用电源或调整电网的潮流分布，可能会导致局部地区的电压崩溃或频率失稳，严重威胁电力系统的安全稳定运行，甚至可能引发大面积停电事故，给社会经济生活带来巨大的损失和不便。

四、面向新能源消纳的电力调度控制模式创新

（一）分布式电源与储能协同调度模式

分布式电源由于其靠近负荷中心的地理位置优势，具备就地消纳新能源电力的天然便利性。通过与储能系统紧密结合并进行协同调度，可以有效地缓解新能源发电的间歇性和波动性难题。当新能源发电充足时，例如在阳光明媚的白天或风力强劲的时段，储能系统能够充分利用这一有利时机进行充电操作，将多余的电能储存起来，避免能源的浪费；而当新能源发电不足或者遭遇用电高峰时，储能系统则可以迅速放电，及时补充电力缺额，确保电力供应的稳定性和可靠性。

同时，在协同调度过程中，还可以对分布式电源的发电计划进行优化调整^[8]。根据当地的负荷需求变化规律、新能源发电的预测情况以及储能系统的充放电状态，合理安排分布式电源的发电时段和发电功率，提高其发电的可靠性和稳定性，进一步增强对新能源的消纳能力。例如，通过智能控制系统，在电价较低的时段优先使用储能系统供电，鼓励分布式电源在新能源发电效率较高且电价较高的时段多发电并储存起来，实现经济效益和能源利用效率的双提升。这种分布式电源与储能协同调度模式不仅能够提高新能源在本地的消纳比例，减少对电网的依赖和冲击，还能提升电力供应的质量和可靠性，为用户提供更加稳定、高效的电力服务。

（二）跨区域电力互济与优化调度模式

不同地区的新能源发电资源在时间和空间上存在着显著的互补性，这为跨区域电力互济提供了广阔的发展空间。通过构建先进的跨区域电力调度平台，能够实现区域间电力的灵活调配和优化调度，充分挖掘新能源发电资源的潜力，提高电力系统整体的新能源消纳水平。

例如，我国北方地区风能资源丰富，但当地的用电负荷相对

有限，在风力发电高峰期往往出现大量的风电无法就地消纳的情况；而南方地区太阳能资源较为充足，且用电需求较大。通过跨区域的输电网络，可以将北方的风电输送到南方地区，与南方的太阳能发电以及其他电源进行互补融合^[9]。在时间维度上，不同地区的新能源发电高峰时段可能有所差异，通过合理的调度安排，可以实现电力在不同时段的相互补充，使电力系统在一整天内都能保持相对稳定的新能源发电供应。在空间维度上，将能源富裕地区的新能源电力输送到能源短缺地区，优化了电力资源的配置，避免了能源的浪费和弃风弃光现象的发生。

这种跨区域电力互济与优化调度模式不仅有助于提高新能源的总体消纳率，还能增强电力系统的可靠性和稳定性，同时通过资源的优化配置，降低了电力系统的综合运行成本，促进了区域间的能源合作与经济协同发展，实现了能源效益、经济效益和社会效益的多赢局面。

（三）智能电网技术支持下的精准调度模式

智能电网技术的蓬勃发展为电力调度控制领域带来了革命性的变化，为实现精准调度提供了强大的技术支撑。通过在电力系统的各个环节广泛安装大量的智能监测设备和先进的通信系统，能够对电力系统的运行状态进行全方位、高精度的实时监测，获取海量的运行数据，包括新能源发电功率、负荷需求、电网电压电流等参数的实时变化情况。基于这些丰富的数据资源，利用大数据分析技术和人工智能算法，可以对新能源发电功率和负荷需求进行更加准确的预测和分析。通过深度挖掘历史数据中的潜在规律和关联关系，结合实时气象数据和电力系统运行状态信息，建立更加精准的预测模型，从而能够提前预知新能源发电的变化趋势和负荷的波动情况，为制定科学合理的调度计划提供坚实的数据基础。

在精准的预测结果指导下，调度部门可以制定出更加精细、灵活的调度计划，精确调控各类电源的出力和电网的运行参数，实现电力系统的优化运行。例如，根据新能源发电功率的预测变化，提前调整火电、水电等其他电源的发电计划，确保电力供需的实时平衡；通过智能电网的自动化控制技术，及时优化电网的潮流分布，降低电网损耗，提高电网的运行效率和稳定性。当新能源发电出现突发变化时，智能电网调度系统能够迅速做出响应，快速调整电网的运行方式和电源的出力分配，确保电力系统能够安全稳定地运行，有效提高了新能源消纳效率和系统的整体运行稳定性，为电力系统的智能化发展奠定了坚实的基础。

（四）需求响应参与的互动调度模式

将需求侧资源纳入电力调度的范畴，通过实施多样化的需求响应措施，积极引导用户调整用电行为，是一种创新的电力调度控制模式^[10]。在新能源发电高峰时段，例如在白天太阳能发电充足或者夜间风力发电较强时，通过峰谷电价、实时电价等价格信号或者激励补贴机制，鼓励用户增加用电负荷，如启动电动汽车充电、电热水器加热等可中断负荷设备，充分利用此时的廉价清洁能源，提高新能源的就地消纳能力。

而在电力供应紧张或者新能源发电不足的时段，则通过预先设定的协议或者智能控制系统，引导用户减少不必要的用电需求，如降低空调温度、暂停部分非关键电器设备的运行等，从而有效平衡

电力供需关系，缓解电力短缺压力。这种与用户互动的调度模式充分挖掘了需求侧的灵活性资源，将用户从传统的电力被动消费者转变为电力系统运行的积极参与者，为新能源消纳创造了更多的空间和机会。同时，需求响应参与的互动调度模式还能够提升用户在电力市场中的参与度和获得感。用户通过合理调整用电行为，不仅可以降低自身的用电成本，还能够为能源的可持续发展做出贡献，增强了用户对能源问题的关注度和责任感，促进了全社会节能意识的提高，形成了电力系统供需双方互利共赢的良好局面，推动了电力市场的健康发展和能源消费模式的绿色转型。

五、结论

随着新能源在电力系统中的占比持续攀升，传统电力调度控制模式已难以满足新能源消纳的迫切需求。通过分布式电源与储能协同调度、跨区域电力互济与优化调度、智能电网技术支持下的精准调度以及需求响应参与的互动调度等一系列创新模式的探索与实践，为有效解决新能源消纳问题提供了可行的途径和方法，显著提高了新能源的消纳水平，有力地增强了电力系统的稳定性、可靠性和经济性，推动了电力行业向绿色、智能方向的转型升级。

然而，这些创新模式在推广和完善过程中仍面临着诸多技术、经济和政策等方面的挑战。例如，储能技术的成本仍然较高，限制了其大规模应用；跨区域调度涉及多个地区和部门的协调，存在一定的管理难度和利益冲突；需求响应市场机制尚不完善，用户参与的积极性和持续性有待进一步提高等。未来，需要进一步加大在技术研发方面的投入，降低储能成本，提高新能源发电预测精度，提升智能电网的智能化水平；完善相关政策法规，加强对新能源消纳的政策支持和监管力度；积极促进市场机制建设，建立健全电力市场交易规则和价格机制，充分调动各方参与新能源消纳的积极性和主动性，持续推动电力调度控制模式的创新与发展，以更好地适应新能源大规模接入的电力系统发展趋势，实现能源的可持续发展和电力系统的绿色转型。

参考文献

- [1] 郑松. 新能源配电网电力调度优化方法分析 [J]. 通讯世界, 2023, 30(11).
- [2] 王德强. 新能源的电力调度分析 [J]. 现代工业经济和信息化, 2023, 13 (12): 256-257+260.
- [3] 何港港. 新能源配电网电力调度优化方法研究 [J]. 光源与照明, 2022, (10): 231-233.
- [4] 高洪洋. 考虑新能源接入的电力系统优化调度 [D]. 中原工学院, 2019.
- [5] 茅郭胤. 智能电力调度控制系统中的安全运行策略分析 [J]. 文渊 (中学版), 2023(3): 630-632.
- [6] 罗妹晨. 考虑风电消纳的暖通空调与储能频率响应及优化调度策略 [D]. 湖南大学, 2021.
- [7] 孙航. 电力自动化技术在电力工程中的应用研究 [J]. 中国高科技, 2023, (2).
- [8] 刘宪翔, 王云昊, 王原, 等. 电力系统调度监控一体化运行的分析 [J]. 山东工业技术, 2017(22): 180.
- [9] 赵莉娅. 人工智能技术在电力自动化控制中的运用 [J]. 科技与创新, 2022, (7).
- [10] 刘高吉. 智能控制技术在电力系统中的应用 [J]. 集成电路应用, 2023, 40(8): 416-417.

水溶纸在核电产品焊接中应用可行性研究

李树辉

哈电集团 秦皇岛 重型装备有限公司, 河北 秦皇岛 066206

摘 要 : 溶纸制品是一种遇水易溶胀变质分解的纸张, 利用水溶纸的特性, 可以在产品焊接前在待焊部位制成相应形状和尺寸的腔室用于充氩保护, 在焊后用水冲洗溶解而排出, 针对水溶纸开展了测试和焊接试验, 了解和掌握水溶纸的使用特性和使用方法, 确定相应操作和工艺规范, 论证了水溶纸在核电产品上应用的可行性。

关 键 词 : 水溶纸; 核电产品; 焊接

Feasibility Study on the Application of Water-Soluble Paper in Nuclear Power Product Welding

Li Shuhui

Harbin Electric Group Qinhuangdao Heavy Equipment Co., Ltd. Qinhuangdao, Hebei 066206

Abstract : Dissolved paper products are a type of paper that is prone to swelling, deterioration, and decomposition when exposed to water. By utilizing the characteristics of water-soluble paper, chambers of corresponding shapes and sizes can be made at the welding site for argon protection before welding. After welding, they can be washed with water to dissolve and discharged. Tests and welding experiments were conducted on water-soluble paper to understand and master its usage characteristics and methods, determine corresponding operation and process specifications, and demonstrate the feasibility of its application in nuclear power products.

Keywords : water-soluble paper; nuclear power products; welding

核电产品中经常采用不锈钢或镍基合金单面焊的设计结构, 上述材料单面焊时需要在焊缝背面进行气体保护, 焊缝背面的保护效果至关重要, 如保护不良容易造成焊缝成形不良, 影响焊缝质量, 为保证获得良好的焊缝背部保护效果和焊接质量, 通常需要进行背部充氩保护, 焊缝背部充氩保护的方式最常用的方法有整体充氩法、局部跟踪充氩法、造气室法。核电产品制造中经常存在尺寸较大且结构复杂特殊的产品, 当焊缝背部空间有限而不可达或焊后不便于对保护装置操作时只能采用整体充氩, 但所需要的氩气较多, 导致材料成本和工作量较大, 且密封效果不良会影响保护效果。

一、水溶纸制品

水溶纸制品是一种遇水易溶胀变质分解的纸张, 利用水溶纸的特性, 可以在产品焊接前在待焊部位制成相应形状和尺寸的腔室用于充氩保护, 在焊后用水冲洗溶解而排出, 采用此种方式可以解决以上问题, 但需要对水溶纸及水溶胶带的使用工艺性、溶解过程及其对核电产品清洁防腐等影响进行验证, 因此有必要开展相应试验研究, 掌握水溶纸制品的使用要求和方法, 确定相应操作和工艺规范, 论证水溶纸在核电产品上应用的可行性^[1]。

(一) 用途

水溶纸具有药用作用, 也可以用于保密文件以及金属焊接等, 不同的用途对质量指标有不同的要求, 在用于药用方面, 要强调无毒无害, 在用于保密用纸方面, 要注重白度, 除了方便书写外, 还要方便销毁, 放入水中便能够及时化解, 快速销毁。在用于焊接

上, 要求水溶纸具有易溶特点以外, 还需要保证不被腐蚀^[2]。

(二) 水溶纸使用条件

水溶纸用于金属焊接时, 需要注重预防高温氧化, 降低金属材料的机械强化, 并对水溶纸的耐腐蚀性造成一定影响。由此, 在实际使用中, 多采用氩弧焊方式。在管材上, 因其外壁有氩气保护, 如果此时内壁缺乏保护措施, 则会导致氧化危险发生。基于此, 在实际应用中, 可以选择利用水溶纸对管道两端位置进行封堵, 阻止管内的空气流动, 最大化降低内壁氧化, 从而对管道进行保护^[3]。

二、研究内容及过程

(一) 水溶纸(水溶胶带)固有特性分析研究

水溶纸制品是一种以羧甲基纤维素钠盐为主要成分的纸张,

作者简介: 李树辉(1985—), 男, 高级工程师, 主要从事核电设备及压力容器焊接技术工作, E-mail: lishuhui6408@163.com

偏碱性、白色。水溶纸遇水溶解分散的原理为：当将水溶纸放入水中时，由于纤维之间的氢键断裂，纤维素变得很容易分离，但是纤维素之间又存在着错综交织的物理结构，若不赋予机械分离作用，很难完全分散成单根纤维^[4]。一般水温越高、水流压力越大水溶纸的分散溶解性越好，碱性条件下分散溶解性变化很小，酸性溶液中就很难分散溶解。实物图片详见图1所示：



图1 水溶纸及水溶胶带实物

（二）水溶性试验及分析

经试验表明，水溶纸制品遇水可在5-10S内即可快速溶胀变质，在水流冲击或适当外力振动搅拌下分解成无强度、硬度的棉絮状细小纤维（虽不能完全溶解殆尽，但可用水流冲洗清除排除，即使有部分残留也易于清除。

水溶纸制品毛细浸润性不明显，使用过程中若需要完全通过水溶清除，应保证水溶纸制品能够充分与水接触。

（三）水溶纸制品温度影响试验分析

通过试验发现，当加热温度150℃左右时，外观和水溶性变化不大，对水溶纸及胶带性能没有影响可以正常使用，当加热到180℃时水溶纸制品颜色变黄，遇水可溶解但已明显不充分，当加热到250℃时，颜色变为褐色甚至是黑色，遇水已不能溶解，水溶胶带也失去粘性^[5]。

（四）接管类产品模拟水溶试验

选用常用焊接类接管进行水溶性模拟试验，为保证气体保护腔室的密封性，需采用水溶性胶带对水溶纸及产品侧壁进行粘合。

通过模拟试验表明，对于水溶纸溶解及清除必须使用充分流动状态的水流，特别是在制备氩气保护腔室需在产品侧壁使用水溶性胶带进行密封时，由于水溶胶带与产品接触面贴合相对较为密实，易在产品中有一定残留，水流冲洗时起到了冲刷效果，能够保证清除彻底。

在排除水溶纸时，当排水通道尺寸较小时易造成碎屑状水溶纸堆积堵塞，试验过程进行了验证试验，当排水通道相当于直径30mm以上时不易堵塞，当使用明显的水流时水溶纸溶解排除较为充分，产品侧壁部分不易残留，且不存在堵塞的风险^[6]。

在保证密封效果的前提下，为保证产品焊接后水溶纸的有效清除，避免残留和堵塞风险应避免水溶纸过量使用，通过试验发现一般情况使用单层水溶纸即可满足要求，特殊情况下不超过2层，且严格杜绝将水溶纸揉团使用。

（五）水溶纸制品焊接应用试验

按2.3条已对水溶纸制品温度影响进行了测试，将结合产品模拟焊接试验，进一步验证水溶纸的使用性能，在正常生产环境下

分别采用不锈钢管焊接试验和碳钢管件加热试验^[7]。

不锈钢管焊接试验，焊接保护气体腔室水溶纸位置距离焊接坡口约100mm，焊接过程正常，当水溶纸处最高温度达到了125-130℃，且略有变色，焊接后焊缝气体保护效果良好，水溶纸制品经自然水流状态溶解清除状态正常。

碳钢管件加热试验，焊接保护气体腔室水溶纸位置距加热坡口位置约120mm，当水溶纸位置温度达到130℃时开始变色，当温度达到180-190℃时开始整体变色且较为严重，水溶效果不良，溶解不充分。

按前期温度影响试验证明，当水溶纸受热温度较高导致颜色明显变化时会影响其水溶性，实际施焊环境下水溶纸变色温度与专门针对水溶纸进行的温度影响试验中水溶纸开始变色的温度不同（分别为130℃和180℃），分析可能是由于专项试验时是在室内加热炉内进行，与实际施焊环境存在差异^[8]。

（六）水溶纸使用要求及注意事项

1. 水溶纸用于制作焊接用的氩气室，根据其水溶特性，一般只能用在介质为水、蒸汽的系统管道。油、气等其他介质，因水溶纸无法溶解，无法使用，如在气体、油、碱性介质的系统设备上使用水溶纸，焊接工作完成之后必须清理水溶纸，并进行确认。

2. 水溶纸粘贴前，确认管道、设备的内表面无水、无穿堂风，以免影响水溶纸的使用效果。由于水溶胶带经过粘贴后相对水溶纸不易去除，溶解过程一般需要比较充分的水流，因此水溶胶带可选择使用，仅在当水溶纸自身无法有效形成密闭保护气体空间，需要在容器侧壁进行严密粘贴的情况下使用^[9]。

3. 根据管道、设备的口径大小，进行裁剪，切勿过量使用。粘贴时，水溶纸应展开平整，或用水溶胶纸将水溶纸贴好，贴紧管道内壁，且粘贴数量不得超过2层，禁止将水溶纸揉成一团塞入管道、设备，防止过量水溶纸无法溶解引起管道堵塞。

4. 由于水溶纸在施焊环境中处于120-130℃时易变质影响正常使用，因此使用时必须保证其与焊缝之间足够的距离，特别是需要进行焊前预热的情况下，则水溶纸的位置需要根据可能加热到的管道位置进行适当调整，确保水溶纸在溶解前的工作环境温度低于120℃。

5. 在焊接后采取措施将进行清理，如无法清理而采用水洗时，应尽量采用带有一定压力的水流，且保证排水通道足够大，以避免造成堵塞^[10]。

（七）水溶纸制品化学成分测试

核电产品对清洁度有明确的要求，RCC-M法规清洁防污染相关要求为：与一回路流体接触的设备耐腐蚀表面严禁受到可释放出氯化物或氟化物、含卤素 25ppm 以上的水、硫及硫化物、易分解出（Pb、Hg、P、Zn、Cd、Sn、Sb、Bi、As、Cu 及稀土元素）等物品造成的污染，与二回路的水和蒸汽接触的设备在最终清洁度后禁止使用含有Cl、F、Pb、Hg、S、As元素、亚硝酸盐、铬酸盐和磷酸盐的物品或工具，除上述要求外明确提出了对于保护焊缝背面用的可溶纸制品，其卤素或含硫量小于 0.10%（重量百分数）。研究过程对试验用水溶纸制品进行了化学分析详见

下表1。

表1 水溶纸制品化学成分分析

类别	化学元素 / 测定值 (μ g/g)						
	氯离子	氟离子	溴离子	硫	P	Zn	Cd
水溶纸	71.5	335.3	42.7	56.9	51.0	1.2	0.17
水溶胶带	423.3	256.7	113.3	172.5	159.8	2.5	0.83
	Sn	Sb	Bi	Cu	Hg、Pb、As、Ce、La、Cr		
水溶纸	10.8	35.0	8.3	2.3	未检出		
水溶胶带	66.7	141.7	58.3	5.8	未检出		
项目	硫酸根离子		亚硝酸根离子		磷酸根离子		
水溶纸	170.7		889.2		156.3		
水溶胶带	517.5		未检出		489.6		

经分析试验用水溶纸制品尚不能满足核电产品核级部件使用要求，但可以满足常规产品使用，实际使用过程应结合产品要求及水溶纸制品实际成分进行评估^[11]。

三、研究结论

针对水溶纸开展了水溶试验和高温测试等模拟测试和焊接试

验，了解和掌握水溶纸的使用特性、环境、使用方法，同时通过模拟产品采用水溶纸构建氩气保护腔室，进行单面焊背部保护焊接操作试验，进一步对水溶纸的使用方法、要求及注意事项进行试样验证，通过试验确定焊接温度适用范围、距离焊缝尺寸等操作规范和工艺参数，焊后采用清水冲洗，试验其溶解特性和排除效果。水溶纸高于150℃时，则不会溶解，需要进行粉碎，由此，在使用过程中，需要与焊缝之间保证足够的距离，由此，在溶解前需要保证工作环境温度不高于150℃，控制好温度。

通过焊接工艺试验研究证明了当水溶纸处于120-130℃时易变质影响正常使用，因此使用时必须保证其与焊缝之间足够的距离，特别是需要进行焊前预热的情况下，确保水溶纸在溶解前的工作环境温度低于120℃。

通过焊后水溶试验发现当采用水洗时应尽量采用具有明显流动状态的水流，且保证排水通道足够大，以避免造成残留和堵塞，产生异物。

水溶纸的使用对于常规产品能够满足使用要求，但对于核电产品对清洁度有明确的要求，特别是当焊后清理不当易造成残留的情况，因此对于特殊部件产品使用前应进行评估。由此，在实际应用中，要求相关部门安排专业人员在现场监督检查水溶纸使用情况，保证水溶纸能够被规范使用。

参考文献

[1] 侯立成. 水溶纸在核电厂焊接过程中的应用与研究 [J]. 中小企业管理与科技, 2020(24):170-171.

[2] 冯杰才, 刘树磊, 骆传万, 等. 核电异种金属焊接材料及方法研究现状 [J]. 焊接, 2022, (3).

[3] 孙清洁, 张清华, 赵永庆, 等. 核电厂定位销局部干法水下 TIG 焊接工艺 [J]. 焊接学报, 2024, 45(2):7-12.

[4] 吴晔华, 陈鹏, 刘一搏, 等. 核电 SC 结构模块拼装焊接变形量仿真研究 [J]. 金属加工 (热加工).2020, (6).

[5] 马新朝. 单因素分析法在核电设备管道典型焊接问题处理流程中的应用 [J]. 电焊机. 2023, 53(12).

[6] 吴镐东. 核电小直径衬管全位置自动化焊接设备研制 [D]. 广东: 华南理工大学, 2023.

[7] 许春雷. EPR 核电站安全壳内部换料水池天花板的焊接 [J]. 焊接, 2012, (02):65-68+71.

[8] 黄毓晖, 司晓法, 翁硕, 等. 疲劳损伤对核电汽轮机焊接转子接头应力腐蚀开裂敏感性的影响 [J]. 焊接学报, 2020, 41(4):12-19, 37.

[9] 周海涛, 徐连玉, 赵振亮, 等. 核电站大径厚壁不锈钢管道焊接技术探究 [J]. 电力设备管理, 2020, (06):148-150.

[10] 牟童, 陈威. 高温气冷堆核电厂主蒸汽管道焊接见证件不合格问题研究和经验反馈 [J]. 核安全, 2024, 23(1):14-19.

[11] 冯杰才, 刘树磊, 骆传万, 等. 核电异种金属焊接材料及方法研究现状 [J]. 焊接, 2022(3):52-57.

新能源背景下电力营销策略调整

邓晓伟

国网河南省宝丰县供电公司, 河南 平顶山 467400

摘 要： 在世界范围内积极促进可持续发展这一大背景之下，新能源产业快速兴起并成为了能源领域中的一个重要方向。太阳能、风能和水能这些新型能源，因其环保和可再生的特点都正在逐渐转变传统的能源配置，而电力行业作为能源转换和使用过程中至关重要的一环，受到新能源发展带来的冲击越来越明显。传统的电力营销模式受新能源发电特性，供需格局改变等因素的影响使其显露出许多不适应性，所以深入探究新能源背景下电力营销策略调整问题，对于电力企业适应能源变革趋势、增强市场竞争力和可持续发展具有紧迫的现实意义。

关 键 词： 新能源；电力营销；策略调整

Power Marketing Strategy Adjustment under the Background of New Energy

Deng Xiaowei

State Grid Baofeng County Power Supply Company in Henan, Pingdingshan, Henan 467400

Abstract： In the context of actively promoting sustainable development in the world, the rapid rise of the new energy industry has become an important direction in the energy field. Solar energy, wind energy and water energy, these new energy sources, are gradually changing the traditional energy allocation due to their environmental protection and renewable characteristics, and the power industry, as a crucial link in the process of energy conversion and use, is more and more impacted by the development of new energy. Traditional power marketing mode by new energy power generation characteristics, the influence of factors such as supply and demand pattern change make it revealed many inadaptability, so explore under the background of new energy power marketing strategy adjustment, for the electric power enterprise to adapt to the trend of energy change, enhance market competitiveness and sustainable development has urgent practical significance.

Keywords： new energy; power marketing; strategy adjustment

引言

在世界范围内积极应对气候变化和大力提倡可持续发展背景下，新能源因具有清洁环保和可再生的显著优点而逐渐成为能源领域中一支不可忽视的力量。这一深刻变革无疑给传统电力行业带来全方位和深层次的冲击，也促使电力企业不得不对其营销模式进行重新审视和调整。所以对新能源下电力营销策略调整问题进行深入的研究，对电力企业适应市场变化并实现可持续发展具有关键现实意义。

一、新能源发展对电力营销的影响

（一）新能源发电特性

新能源发电有著与传统发电方式显着不同的特点，对电力营销有着深远的意义。太阳能发电对光照条件有一定的依赖性，白天和有足够的光照条件下才能够有效地发电而晚上不能发电，表现出显着的间歇性特点，同时由于云层遮挡的影响以及其他因素的影响都会引起发电功率的波动。风能发电也是一样，风力不稳使风机转速及输出功率很难保持不变，这种间歇性和波动性对电力供应稳定性带来巨大的挑战。电力营销在面临常规电力供应任务的同时也需要处理新能源发电不确定因素所造成的冲击，比如在进行电力供应计划的时候就需要对新能源发电过程中存在的不同

稳定性因素进行充分的考虑，这样才不会因为电力供应波动对用户体验造成影响，从而对电力营销效果和形象造成影响^[1]。

（二）对电力供需格局的改变

新能源技术的进步，特别是分布式发电技术的普及，已经对传统的电力供应和需求模式产生了深远的影响。以往电力供应多由大型集中式发电厂负责，经电网统一分配后传输到用户端，而用户只充当用电消费者，而现在分布式太阳能和风能发电使很多用户拥有发电能力并成为“产消者”的一部分。大规模的分布式电源并入配电网后电力的流向不再是单调的，而是从传统的单一方向转向了双向，甚至是多方向的流动。这一变化使电力市场供需关系变得更加错综复杂，电力营销需要顺应这一新模式，在满足传统用户用电要求和兼顾分布式发电用户用电上网要求的同

作者简介：邓晓伟（1985.03-），女，汉族，河南省平顶山市宝丰县人，本科，工程师，研究方向：电力营销。

时协调好不同发电主体和用电主体间的均衡，从而达到电力资源优化配置和高效营销的目的。

（三）对传统电力营销模式的冲击

传统电力营销模式是以电源结构比较稳定，电力供需关系单向为前提，但是新能源的兴起使电力市场主体多元化，在传统发电企业与电力用户之外出现了许多新能源发电企业，如分布式发电个体与储能企业，这种多元化突破了传统模式的单纯市场结构。与此同时新能源发电自身的特点也要求电力营销更强调实时性与灵活性，在传统营销模式下电力企业应对市场反应慢，很难适应新能源背景下瞬息万变的市场需求。比如面对新能源发电间歇性造成电力价格的实时波动，传统营销模式并不能对价格策略与服务内容进行适时调整，所以传统的电力营销模式急需进行改变才能适应新能源所带来的错综复杂的市场环境。

二、新能源背景下电力营销面临的问题

（一）市场定位模糊

1. 对新能源相关客户群体界定不清

随着新能源不断向电力领域渗透，用户群体也更加复杂和多元，但目前电力企业并没有能够准确地解剖出不同种类新能源用户的特殊需求。以分布式光伏发电为例，单个用户在发电自用时可能会对电网售电，主要集中在余电收购价格和并网便利性方面。但作为企业客户的大型风力发电场则更加关注长期供电合同的稳定性和电网调度之间的配合，电力企业如果不能对这些客户群体进行明确的定义且所提供的服务与产品就会针对性不强就会很难达到顾客的预期，从而造成顾客满意度下降并阻碍市场拓展。

2. 与新能源企业竞争合作定位不明

新能源产业链上的电力企业和新能源企业之间既有竞争关系也有合作的空间，但是现阶段电力企业对此的定位比较模糊。竞争中没有明确自己和新能源企业电源开发、市场份额争夺的优势和劣势，也没有制定行之有效的差异化竞争战略。从合作的角度来看，双方对如何协同新能源企业开展储能技术研发和分布式能源项目共建缺乏清晰的计划，致使双方处于资源共享的状态、技术互补等问题很难实现深度合作而错过了发展机遇。

（二）营销手段单一

1. 数字化营销应用不足

数字化时代下电力营销仍然没有完全发挥出数字化技术带来的优势。大数据能够对用户的用电行为、喜好以及新能源的使用趋势进行深度分析来帮助企业准确推送节能套餐和新能源设备租赁，然而电力企业对此的发掘力度还不够。云计算可以实现电力营销系统的高效运维和数据存储、支持大范围的用户并发访问和海量数据处理等功能，但当前企业的应用水平有限就使得营销平台的智能化水平不高，不能及时的对用户的需求做出反应。另外线上服务功能的不足，比如 APP 界面设计不够友好、业务办理流程烦琐等也会造成用户体验差，导致很难吸引并保留顾客^[2]。

2. 缺乏跨界合作营销思维

电力行业和很多领域都有着密切的关系，特别是新能源浪潮

中跨界合作具有很大的潜力，但是目前电力企业跨界合作的营销思维比较欠缺，没有和新能源汽车行业共同进行宣传。比如没有推出电动汽车和充电桩捆绑销售和充电优惠套餐而错过了新能源汽车充电市场巨大商机。与此同时和智能家居企业之间缺乏合作，没有引入智能家电和电力套餐联动服务来满足用户在智能家居场景中的高效用电要求，这种隔离的营销模式制约着电力企业的市场拓展和潜在客户群体的发掘。

（三）价格机制不完善

1. 新能源电力成本核算难题

新能源电力成本核算工作面临着许多复杂的因素。一方面新能源技术更新迅速致使设备成本和运维成本变动频繁，例如太阳能光伏板转换效率得到了提高，前期投资成本有所下降但是新技术设备运行维护需求不一致导致费用很难精确估算。另一方面补贴政策的不稳定性和政府补贴对于新能源电力成本的巨大冲击以及补贴调整或者取消给电力企业成本核算带来了困难。另外由于自然条件等因素的影响，新能源电力的产量具有不稳定性而造成了单位发电成本的起伏，很难形成一个稳定的核算标准，对电力企业定价提出挑战的同时也影响了市场竞争力。

2. 峰谷电价等政策适应性差

传统的峰谷电价政策以削峰填谷为目标，而对新能源背景的适应性却远远不够。新能源发电的高峰时段与传统的高峰和低谷时段存在不匹配的情况，例如光伏发电的高峰通常出现在白天，而高峰则多出现在早晚。因此峰谷电价政策并不能有效地引导用户在新能源发电的高峰时段使用电力，从而促进新能源的消纳。与此同时由于分布式新能源的接入越来越多，目前的峰谷电价没有对分布式发电用户售电进行充分的考虑就无法刺激用户合理的安排发电和用电。另外各区域新能源发展水平以及用电特性存在差异，峰谷电价统一政策灵活性不强也就使其不能适应各区域的现实需要。

（四）服务体系不健全

1. 针对新能源接入的服务流程缺陷

新能源接入电网牵涉到复杂的技术和管理流程，但是目前的服务流程有很多不足。并网申请的环节中程序烦琐，需要提交的材料较多而且审核的标准也不清晰，用户往往会因为材料不完整而进行重复修改而花费了很多的时间和精力。在制定接入方案时电力企业和用户之间的交流不够顺畅，方案没有充分考虑到用户的实际需要和新能源项目的特点^[3]。另外在施工建设阶段协调不到位造成了工程进度的拖延，并且在接入网后验收环节中还存在着标准不够规范、验收耗时过长等问题，直接影响了用户按时并网发电和收入并且减少了用户对电力企业服务工作的信任。

2. 技术咨询与运维服务能力不足

新能源技术具有很强的专业性，用户需要对项目规划、设备选型和运行维护进行专业的技术咨询。但是电力企业的技术人员对于新能源的认识是有限的，很难给用户一个全面而又精准的意见。同时在运维服务中专业的运维团队和设备匮乏，新能源设备的故障反应不够及时导致维修技术相对滞后，尤其是分布式新能源项目具有分散性和运维难度较大等特点，目前电力企业还没有一套行之有效的远程监测和故障诊断系统来实时了解设备的运行

情况，造成故障修复的时间过长，影响了用户的正常生产并且限制了新能源电力市场的开发。

三、新能源背景下电力营销策略调整策略

（一）精准市场定位

1. 细分新能源客户市场类别

电力企业要深入调查研究，根据用户对新能源的利用途径和需求对市场进行细分，主要包括分布式发电用户、储能设备用户和新能源汽车充电用户。对于分布式发电的用户可以推出余电上网的优惠套餐帮助他们对发电设备进行优化调度以增加发电收益。针对储能设备用户设计了与之相匹配的储能充放电电价套餐以指导用户在电价低谷时充电和高峰时放电以达到削峰填谷的目的。另外还要为新能源汽车充电用户提供快慢充相结合的灵活计费方案以适应各种场景充电需求并提高客户粘性。

2. 明晰与新能源企业合作竞争定位

电力企业需要意识到自己和新能源企业之间既有竞争关系又有合作伙伴关系。从竞争的角度来看应提高自身的服务和技术水平，从电力供应的稳定性和价格的合理性等多方面占有优势。合作方面则通过电网企业和光伏企业等新能源企业分享资源，借助光伏企业技术优势对分布式光伏发电并网方案进行优化，联合发展分布式能源市场达到互利双赢^[4]。

（二）创新营销手段

1. 强化数字化营销平台建设

电力企业要加大投资力度以建立大数据分析、客户服务和营销推广为一体的数字化平台。通过对用户的用电习惯、新能源设备的使用情况等数据进行采集和分析，准确洞悉用户的需求。另外要采用大数据算法为用户定制个性化电力套餐，例如面向高耗能新能源制造企业提供以生产时段为主阶梯电价套餐等。与此同时在平台的帮助下还要实现线上便捷的缴费、故障报修和业务处理，英镑改善客户服务体验和营销效果。

2. 开展跨界融合营销活动

电力企业要突破传统营销的限制来跨界合作新能源汽车和智能家居，比如联合新能源汽车厂商共同发起购车送电额度活动，在激发新能源汽车消费时提高了充电桩频率。另外联合智能家居企业来大力推广智能用电设备和新能源电力联动方案，构建绿色智能家居生态，提供一站式用户解决方案以发掘潜在市场需求并扩展业务边界。

（三）完善价格策略

1. 优化新能源电力成本定价机制

鉴于新能源技术具有迭代迅速、成本变化剧烈等特点，电

力企业应该构建动态成本核算体系，并且与行业专家和科研机构共同对新能源发电的成本组成进行深入研究，充分考虑设备投资和运维成本以及技术进步而导致的成本下降。同时要注意原材料价格波动和政策补贴调整等因素的成本效应，通过科学合理的成本核算来制定出不仅能够体现新能源电力真正价值，而且在市场上有竞争力的定价，从而推动新能源电力的良性发展^[5]。

2. 灵活调整峰谷电价等政策

根据新能源电力间歇性、波动性等特点来结合各区域、各时段用电需求情况，对峰谷电价进行弹性调整。新能源发电高峰期适当下调谷段电价以激励用户加大用电力度来增加对新能源电力的消纳。对于新能源分布式发电的用户来说则在他们发电的高峰期进一步扩大峰谷价差以刺激用户把过剩的电量接入网络，同时根据季节和天气的变化对峰谷时段的划分进行动态的调整，以指导用户合理使用电力以实现电力资源的优化配置。

（四）优化服务体系

1. 构建新能源接入一站式服务流程

电力企业要整合内部资源、简化新能源的接入流程。可以通过建立新能源接入专项服务窗口，对用户从应用、勘测、设计、并网接入等全过程进行引导，还可以利用线上和线下结合的模式实现接入申请、资料提交和进度查询一站式处理。同时还要建立跨部门协同工作机制以减少各个环节审批时间，提高接入效率以便能够给新能源用户提供方便、有效的接入服务。

2. 提升技术服务与运维保障能力

建立技术服务专业队伍并强化新能源技术培训学习，以便能够使其熟练掌握新能源发电设备和储能设备运行维护技术，在此基础上对新能源用户进行定期巡检、故障诊断和应急维修的综合运维服务。同时要设置远程监控系统对新能源设备的运行状况进行实时监控，对可能存在的故障隐患进行提前排查并及时采取应对措施，以确保新能源设备的平稳运行。另外它还向用户提供技术咨询服务以协助其优化设备配置和提高能源利用效率。

四、结语

在新能源繁荣发展的大潮中电力行业的转型已经到来，电力营销在市场定位和服务体系上都面临诸多挑战，但是也有创新和扩张的契机。电力企业可以从准确定位市场、革新营销手段、改进价格策略、优化服务体系等方面来更好的适应新能源所带来的各种变革。今后还要不断探索和调整营销策略并加强和新能源产业融合发展，以便能够使电力企业实现可持续发展。

参考文献

- [1]蔡晓生. 新能源发展下的电力营销市场开拓策略分析[J]. 科技创新导报, 2019, 16(26):255-256.
- [2]王勇伟. 新能源背景下电力产品营销策略研究[J]. 中国战略新兴产业, 2022, (03):179-181.
- [3]张瀚. 新能源发展对电力企业营销的影响及应对分析[J]. 现代企业文化, 2023(25):69-72.
- [4]刘澄宇. 基于电力营销大数据的数字化管控应用探析[J]. 山东电力高等专科学校学报, 2022, 25(06):50-52.
- [5]李霖. 新能源发展下的电力营销市场开拓[J]. 大众标准化, 2023, (22):128-130.

电气工程自动化在电力系统运行中的应用

李志刚

建投国电准格尔旗能源有限公司，内蒙古 鄂尔多斯 010308

摘 要： 电气工程自动化技术作为现代电力工业不可或缺的关键要素，在显著提高电力系统运行效率、确保系统安全稳定方面发挥着至关重要的作用。随着计算机信息技术、网络通信技术和人工智能技术的快速发展，电气工程自动化技术在电力系统中的应用范围越来越广泛，从电网调度到变电站控制再到故障预测和处理，无不显示出其重要性，这些技术不仅推动了电力系统的智能化和自动化发展，也为实现更高效、更安全的供电提供了有力的技术支持和保障。

关 键 词： 电气工程自动化；电力系统；风险隐患；未来发展趋势

The Application of Electrical Engineering Automation in Electric Power System Operation

Li Zhigang

Construction investment Guodian Zhungeer Qi Energy Co., LTD. Ordos, Inner Mongolia 010308

Abstract： As an indispensable key element of the modern electric power industry, the electrical engineering automation technology plays a vital role in significantly improving the operation efficiency of the electric power system and ensuring the safety and stability of the system. With the computer information technology, network communication technology and the rapid development of artificial intelligence technology, power engineering automation technology in power system application is more and more widely, from the grid dispatching to substation control to fault prediction and processing, all show its importance, these technologies not only promote the development of intelligent electric power system and automation, also to achieve more efficient, more secure power supply provides a powerful technical support and guarantee.

Keywords： electrical engineering automation; power system; risk and hidden danger; future development trend

引言

随着科学技术的快速发展，电气工程自动化技术已经成为电力系统运行的重要支撑，探讨电气工程自动化技术在电力系统中的应用现状和优势，以及其在提高电力系统稳定性和效率方面的作用，揭示了电气工程自动化技术的巨大潜力和广阔前景。

一、电气工程自动化技术在电力系统中的应用现状

（一）电网调度自动化

电气工程自动化技术的深度融合，使电网调度更加高效、准确、智能，该技术通过在电网调度中心集成计算机、网络系统、服务器等高端设备，实现对整个电力系统的实时监控，包括对电压、电流、频率、功率因数等关键参数的精确测量和分析。这种全面、深入的数据采集和分析能力为电网调度员提供了丰富的决策支持，使其能够快速、准确地判断电力系统的供需情况，并据此发出调度指令，如调整发电机组出力、优化输电线路潮流分布等。自动调度系统不仅具有实时监控功能，而且具有很强的预测预警能力，通过对历史数据的深入学习和分析，系统可以预测未

来电力负荷的变化趋势，从而提前调整电力生产和输送计划，保证供电的稳定性和可靠性。^[1]同时，该系统还可以实时监测电网中的异常情况，如线路过载、电压波动等，一旦检测到潜在的安全风险，系统会立即发出预警信号，并自动启动相应的应急预案，如调整电网结构、切除故障设备等，从而有效预防事故发生，确保电网整体安全^[1]。

（二）变电站自动化控制

通过引入先进的网络通信技术和计算机技术，变电站内的各种设备，如变压器、开关柜、互感器等，都可以进行远程控制和监控，这不仅大大提高了变电站的运行效率，也降低了人工操作的风险和成本。远程控制和监视功能使运行人员可以在远离变电站的控制室通过电脑屏幕清楚地看到每台设备的实时运行状态，

作者简介：李志刚（1973.11-），男，汉族，河北省邢台市人，本科，工程师，研究方向：电力系统及其自动化。

包括设备的工作电压、电流、温度等关键参数，系统还可以根据预设的程序实现设备的远程启停和参数调整，大大减轻了操作人员的工作量。此外，自动控制系统还可以实时监测变电站内的环境参数，如温度、湿度等，确保设备运行在最佳工作状态，一旦检测到设备异常或故障，系统会立即报警并自动启动相应的故障处理程序，如隔离故障区域、启动备用电源等，有效防止了事故的扩大，提高了变电站的安全性和可靠性。

（三）故障处理和自检

一旦发现异常，系统会立即启动故障诊断程序，利用先进的算法和模型快速准确地定位故障点，并给出初步诊断结果和建议的处理措施。该故障诊断系统不仅具有实时监测和诊断的能力，还可以通过深度学习等技术手段不断提高其诊断精度和效率，自检机制可以定期对系统中的所有设备和软件进行自检，及时发现和修复潜在故障，保证系统的稳定运行，这种自动故障处理和自检能力不仅提高了故障处理的效率和质量，而且减少了故障造成的停电时间和经济损失，为电力系统的安全稳定运行提供了有力保障。

二、电力系统电气工程自动化技术的独特优势和深远影响

（一）精准控制、智能响应，构建高效电力生态

电气工程自动化技术在电力系统中的深入应用，给电力行业的运行效率带来了前所未有的提高，该技术通过集成先进的传感器、数据处理和智能控制算法，实现了电力系统各环节的精确控制。从发电端的智能调度到输电网的动态优化，再到用户端的智能计量和需求响应，电气工程自动化技术贯穿始终，构建了一个高效、灵活、反应灵敏的电力生态系统。在发电侧，自动化技术可以根据实时的电力需求和能源供应，智能调节发电机组的输出功率，实现资源的最大化利用，同时还可以预测未来电力需求趋势，为电力生产规划提供科学依据，减少能源浪费。在输配电网中，自动化技术可以通过实时监测线路负荷和电压，自动调整传输路径，降低线损，提高电力传输效率，此外，还能快速响应电网故障，自动隔离故障区域，恢复对非故障区域的供电，保障电网稳定运行。

（二）故障预警和自我修复，构筑安全电力防线

电气工程自动化技术在电力系统中的应用不仅提高了运行效率，而且对保证电力的安全稳定运行起到了关键作用，通过集成的故障诊断系统，该技术可以实时监测电力设备的运行状态，一旦发现异常或故障征兆，将立即触发预警机制，通知运维人员采取相应措施，这种预警能力大大减少了因设备故障造成的停电事故，减少了经济损失和社会影响。更值得一提的是，电气工程自动化技术还具有自修复能力，在某些情况下，当检测到设备故障或电网异常时，该技术可以自动切换到备用电源或调整电网结构以尽快恢复供电，这种智能自修复机制不仅提高了电力系统的可靠性，还保证了关键时刻供电的安全性和稳定性。

（三）远程监控和预防性维护，开启智能运维改革时代

电气工程自动化技术在电力系统运维领域的应用，为电力企

业带来了显著的成本节约效益，远程监控技术，运维人员无需亲临现场即可对电力设备进行实时监控和分析，这种远程监控的方式不仅降低了人力成本和时间成本，还提高了运维效率。同时，电气工程自动化技术还可以根据设备运行数据预测设备寿命和潜在故障点，实现预防性维护，这意味着在设备真正出现故障之前，运维人员可以提前介入，进行必要的维护或更换，这种预防性维护方式不仅避免了设备突发故障造成的应急维护和停机损失，而且延长了设备的使用寿命，降低了运维成本。^[2]此外，电气工程自动化技术还可以优化备件库存管理，通过准确预测备件需求，减少库存积压和资金占用，进一步降低运维成本，这种智能运维模式不仅提高了电力系统的运维效率，也给电力企业带来了显著的经济效益和社会效益。

三、电气工程自动化技术在电力系统中的潜在风险

（一）技术依赖与自主可控风险

电气工程自动化技术在电力系统中的广泛应用，无疑为电力系统的智能高效运行提供了强有力的技术支持，但该技术的高度依赖性也引发了一系列自主可控的风险，这些风险不仅关系到电力系统的稳定运行，也关系到国家能源安全和电力行业的长远发展。从技术更新的角度来看，电力系统对自动化技术的依赖使得技术更新迭代成为必然，但是，如果技术更新滞后或不能满足实际需求，就可能影响系统的稳定运行，甚至导致系统崩溃。更严重的是，如果核心技术或关键设备严重依赖国外进口，在复杂多变的国际形势下，可能面临被外部势力控制或制裁的风险，这种风险不仅会阻碍技术升级，还会威胁国家能源安全和电力供应的稳定性。此外，对技术的过度依赖也可能削弱国内电力行业的自主创新能力和核心竞争力，一旦发生国外技术封锁或制裁，国内电力行业将难以应对，影响整个行业的可持续发展，对技术的过度依赖也可能导致国内电力行业技术创新和人才培养投入不足，进一步削弱行业自主创新能力^[2]。

（二）数据安全和隐私泄露风险

电力系统中电气工程自动化技术的应用涉及海量数据的采集、传输和处理，这些数据涵盖了电力系统的方方面面，从设备状态监测到用户行为分析，随着数据的不断增加，数据安全和隐私泄露的风险也日益突出。从数据保护的角度来看，如果数据保护措施不到位，可能会面临非法访问、篡改或泄露的风险，这不仅可能威胁电力系统的安全稳定运行，还可能引发用户隐私泄露等社会问题，一旦用户隐私泄露，将严重损害用户利益，甚至可能引发社会恐慌和信任危机。此外，随着物联网、云计算等新技术的快速发展，数据的安全边界也在不断扩大，如何保证数据在采集、传输、存储和处理过程中的安全性成为一个亟待解决的问题。如果数据在传输过程中被截获或篡改，将严重影响电力系统的正常运行；如果数据在存储过程中被泄露或滥用，可能会导致严重的经济损失和社会影响。

（三）环境适应性和可靠性风险

电力系统中电气工程自动化技术的应用也面临着环境适应性

和可靠性的挑战，电力系统经常需要在各种复杂的环境下运行，如高温、低温、潮湿和电磁干扰等，这些环境因素对自动化技术设备的性能提出了更高的要求。如果设备不能很好地适应这些环境，就有可能出现故障或者性能下降，这不仅会影响电力系统的稳定运行，还会增加运行维护成本，比如在高温环境下，设备可能因过热而损坏；在潮湿的环境中，设备可能会因潮湿而短路，这些故障不仅会影响电力系统的正常运行，还会损坏设备，从而增加运行维护成本。自动化技术的可靠性也是一大风险点。如果设备在关键时刻出现故障或误操作，可能导致供电中断、设备损坏等严重后果，这种风险不仅影响电力系统的稳定，还可能对经济社会发展和人民生活产生严重影响，比如医疗、交通等关键领域，供电中断可能导致严重后果；在工业生产中，设备损坏可能导致生产停滞和经济损失。

四、电力系统电气工程自动化技术未来发展趋势

（一）技术集成与创新引领下的电气工程自动化发展

电力系统电气工程自动化技术未来发展趋势主要体现在技术集成与创新的深化，随着信息技术的快速发展，电气工程自动化技术正逐渐与大数据、云计算、物联网等前沿技术深度融合，形成更加智能、高效、可靠的电力系统。在这种趋势下，电气工程自动化技术将不再局限于传统的控制、监测和保护功能，而将更多地融入数据分析、预测和优化等高级功能。通过大数据技术，电力系统可以实现对海量数据的深度挖掘和分析，揭示数据背后的规律和趋势，为电力系统的优化运行提供有力支撑，随着云计算技术的引入，电力系统可以实现资源的灵活分配和高效利用，进一步提高系统的运行效率和可靠性。随着物联网技术的普及，电力系统中的设备、传感器和控制系统之间的联系和协调更加紧密，这种连接不仅提高了系统的智能化水平，也使电力系统的运行和管理更加方便和高效，比如通过物联网技术，电力系统可以

实现设备的远程监控和故障诊断，及时发现和解决潜在问题，降低运维成本。

（二）绿色发展和可持续发展理念下的电气工程自动化创新

在绿色发展和可持续发展理念已经深入人心的背景下，电力系统电气工程自动化技术的未来发展趋势也呈现出鲜明的绿色特征，这种趋势不仅体现在技术的创新和优化上，也体现在电力系统整体运行方式的深刻变革上。电气工程自动化技术将更加注重能源的高效利用和优化配置，通过先进的控制算法和优化策略，电力系统可以实现各种能源的精确调度和高效利用，降低能耗和排放，提高系统的环保性能，电气工程自动化技术也将促进可再生能源的大规模接入和高效利用，为电力系统的绿色发展提供有力支撑。^[3]电气工程自动化技术将有助于电力系统的智能化改造，通过引入智能技术，电力系统可以实现各类设备的远程监控和智能调度，进一步提高系统的运行效率和可靠性，这种智能化改造不仅有助于降低运维成本，还提高了电力系统的灵活性和适应性，为应对未来更加复杂多变的能源需求提供了有力保障。

此外，电气工程自动化技术也将促进电力系统的绿色运维和可持续发展，电力系统通过引入先进的运维理念和技术手段，实现设备全生命周期管理，降低运维过程中的能耗和排放，电气工程自动化技术也将有助于电力系统节能减排和资源循环利用，为建设绿色、低碳、可持续的电力系统做出贡献^[3]。

五、结语

在电力系统运行过程中，技术人员应重点针对电气工程自动化技术的应用优势、应用情况进行分析。在研究阶段，可以针对电气工程自动化在电力系统运行中的应用进行探究，由此确保技术人员在工作期间能够借助于自动化技术手段合理监控电气设备、电气系统的运行情况，减少故障发生的概率，保障电力系统稳定运行。

参考文献

-
- [1] 葛汶鑫. 电气工程自动化技术在电力系统运行中的应用 [J]. 光源与照明, 2023(04): 189-191.
[2] 覃川. 智能化技术在电力系统电气工程自动化中的应用 [J]. 大众用电, 2021, 36(09): 47-48.
[3] 朱泽宇. 基于电气工程自动化技术在电力系统运行中的应用探析 [J]. 自动化与仪器仪表, 2015(06): 34+37.

表面贴装（SMT）工艺中的回流焊接技术及其发展趋势

李林泽

电信科学技术仪表研究所有限公司，北京 100000

摘 要： 在电子制造领域中，表面贴装（SMT）工艺中的回流焊接技术是实现电子元器件高效、高质量组装的关键技术。本文基于此，从预热阶段、热激活阶段、回流阶段、冷却阶段系统阐述 SMT 回流焊技术基本原理和工艺流程，系统性论述 SMT 回流焊技术的应用领域，并立足于小型化和高密度、高性能材料、绿色环保、柔性化生产维度，探究其未来发展趋势，旨在为相关领域研究提供借鉴。

关 键 词： 表面贴装；回流焊接；电子元器件；焊接技术；技术发展

Reflow Welding Technology in Surface mount (SMT) Process and its Development Trend

Li Linze

Telecommunication Science and Technology Instrumentation Institute Co., LTD. Beijing 100000

Abstract： In the field of electronic manufacturing, reflow welding technology in surface mount (SMT) process is a key technology to achieve efficient and high-quality assembly of electronic components. Based on this, this paper expounds the basic principle and process flow of SMT reflow technology from the preheating stage, thermal activation stage, reflow stage and cooling stage, systematically discusses the application fields of SMT reflow technology, and explores its future development trend based on the dimensions of miniaturization, high density, high performance materials, green environmental protection and flexible production. It aims to provide reference for research in related fields.

Keywords： surface mounting; reflow welding; electronic components; welding technology; technological development

引言

自上世纪60年代开始，表面贴装（SMT）工艺已成为电子组装行业的关键技术。在电子产品日渐多功能化、小型化、性能要求不断提升的前提下，回流焊接技术在 SMT 工艺中的核心地位日臻凸显。回流焊接技术可实现对温度曲线的精准控制，熔化焊锡膏，连接电子组件与印刷电路板（PCB），强化组装成品的质量和效益^[1]。

一、SMT 回流焊技术的基本原理和工艺流程

（一）预热阶段

预热阶段是回流焊接技术的首要环节，也是关键步骤，主要将印刷电路板以及元器件温度温和提升到 150℃至 180℃。适宜温度区间要与焊膏成分和 PCB 材料特性相结合，从而做出针对性调整^[2]。某些焊膏成分在较低温度下，能激活助焊剂，而特定 PCB 材料需更高温度排除湿气。温度曲线设计要求缓慢平稳上升，避免热冲击损害元器件。现代回流焊炉利用计算机控制系统精确调控温度曲线上升速率及保持时间。预热区设计含多个加热段，使 PCB 及其组件均匀逐步受热，加热段间配置风扇或气流装置促进热量均匀分布^[3]。

（二）热激活阶段

热激活阶段是预热后的关键步骤，温度攀升至约 217℃，以使助焊剂达最佳活性状态，彻底清除金属表面氧化物，为焊接提供洁净界面。温度需精确控制在 217℃附近，避免过高导致助焊剂分解或过低无法清除氧化物。时间亦需严格控制，既要助焊剂充分作用，又要防止焊膏挥发性成分损失或氧化物清除不彻底。在特定条件下，热激活阶段于氮气或惰性气体保护中进行，减少氧化反应，提升焊接质量和接头可靠性^[4]。

（三）回流阶段

回流阶段是回流焊的核心，温度升至约 250℃峰值，峰值温度设定在 245℃至 260℃间，依据焊膏熔点和 PCB 热特性而定，以使焊膏完全熔化形成液态合金。温度曲线需迅速升至峰值并保

持，促进焊膏熔化与冶金结合；之后温度逐渐下降，避免元器件过热。回流中，液态焊料受表面张力引导对准元件引脚与PCB焊盘，要求焊料流动性和润湿性良好，以形成稳固焊接。焊接参数如温度、时间、气氛，需根据元件尺寸、密度及PCB设计调整^[5]。大尺寸或高密度元件需更高峰值温度和更长保持时间，以达到最佳焊接质量。回流阶段各参数如表1所示：

表1 回流阶段参数表

参数 / 项目	有铅锡膏	无铅锡膏
峰值温度范围	247℃ - 258℃	258℃ - 269℃
典型峰值温度设定	253℃	264℃
温度升至峰值时间	62秒	67秒
峰值温度保持时间	47秒	52秒
降温速率（每秒降温）	3.8℃	4.1℃
焊膏熔点	183℃	217℃
PCB热特性（热阻）	0.42° C/W	0.45° C/W

（四）冷却阶段

冷却阶段是回流焊的收尾环节，对焊接质量关键。此阶段目标在于使焊接材料凝固，形成稳固机械与电气连接。冷却速率需严格控制，避免焊点产生裂纹或应力，采取逐渐降低速率，确保焊点缓慢凝固并形成良好冶金结构。现代回流焊炉配备冷却风扇或水冷系统，实现快速均匀冷却。冷却阶段温度曲线需精心设计，逐渐下降并保持，直至焊点完全凝固。特定情境下，冷却过程在氮气或惰性气体气氛中进行，结束后综合应用目视、X射线及拉力测试全面检查外观、连接强度及电气性能等焊点质量^[6]。

二、SMT回流焊技术的应用领域

（一）通信领域

在通信行业中，SMT回流焊技术是高速、高密度电子组装的关键。手机为例，主板上的处理器、内存芯片及射频模块，均依赖回流焊技术精确高效焊接至电路板。元器件体积小、引脚密度高，要求焊接具备高精度与可靠性。回流焊炉精确控制温度曲线，使焊膏适温熔化并形成良好冶金结合，随后快速冷却固化，保障手机内部电路稳定耐用^[7]。无线路由器与通信基站同样应用SMT回流焊技术，即功率放大器、滤波器、信号处理芯片等关键组件，均需回流焊与电路板牢固连接。高频、高功率场景下，焊接质量直接影响设备性能稳定性及信号传输效率。

（二）计算机领域

个人电脑主板、显卡及服务器主板、存储模块，均依赖回流焊实现复杂电子系统的高效可靠组装。高性能计算（HPC）与数据中心领域，处理器速度提升、存储容量增加，对焊接质量要求日益严格。回流焊技术精确控制焊接过程中的温度、时间与气氛，确保元器件与电路板良好接触与电气连接^[8]。

（三）消费电子领域

消费电子产品更新迅速，对制造效率与成本控制要求高。SMT回流焊技术以其高效自动化特点，成为消费电子制造首选工艺。智能电视、平板电脑、可穿戴设备内部电子元器件，均通过

回流焊焊接至电路板。智能电视的显示屏驱动电路、音频处理电路、网络通信模块等，需回流焊精确组装。智能穿戴设备如智能手表、智能手环，体积小、功能复杂，对焊接技术要求极高。

（四）汽车电子领域

随着汽车电子化程度提升，SMT回流焊技术在汽车电子领域应用日益广泛。车载娱乐系统、导航系统至自动驾驶系统的传感器、控制器，均需回流焊实现元器件与电路板连接。电动汽车与智能网联汽车领域，电池管理系统（BMS）、电机控制器（MCU）等关键部件复杂化，对焊接质量要求更高。回流焊技术精确控制焊接过程，保障汽车电子部件可靠稳定。

（五）工业自动化与医疗设备领域

工业自动化与医疗设备领域，SMT回流焊技术同样重要。工业自动化系统的控制器、传感器、执行器等关键部件，以及医疗设备的心电图机、超声诊断仪、血液分析仪等高精度仪器，均需回流焊实现元器件精确组装。这些设备对焊接质量要求极高，微小焊接缺陷可能导致性能下降甚至失效。采用先进回流焊技术与严格焊接质量控制措施，对提高工业自动化与医疗设备的可靠性与安全性至关重要^[9]。

三、SMT回流焊技术的发展趋势

（一）小型化和高密度：回流焊技术的精准挑战

在电子产品日新月异的今天，小型化和高密度已成为不可逆转的发展趋势。智能手机、可穿戴设备、物联网传感器等产品尺寸不断缩小，功能却日益丰富，对电路板设计与制造提出了前所未有的挑战。回流焊技术作为电子组装的核心工艺，必须不断进化，适应这一趋势。0201、01005甚至更小尺寸的元器件出现，使得回流焊技术面临精度要求的极限。微小型元件引脚间距极小，焊接位置准确性极高，稍有偏差即导致焊接不良或元件短路。回流焊设备需配备高精度定位系统，如激光定位、机器视觉引导，实现元件焊接前的精确定位。高密度电路板（HDI）上，焊接点数量大幅增加且排列紧密，焊接质量控制难度提升。传统焊接方法因热影响区过大易导致相邻元件受损或焊接桥接。回流焊技术需采用精细温度控制策略，如分区加热、局部冷却，确保每个焊接点获得恰当热输入，形成高质量焊接接头。电子产品功能复杂化推动焊接材料性能要求不断提升^[10]。无铅焊膏因其环保性和良好润湿性成为主流选择。面对更小焊接空间和更高可靠性要求，研发低熔点、高导电性、强机械强度焊接材料成为关键。焊锡球微小化也是重要研究方向，减小焊锡球直径可缩小焊接点间距，提高焊接密度。

（二）高性能材料：焊接技术的未来之选

在高频、高速信号传输应用领域，焊接材料的导电性能制约信号传输效率和稳定性。5G通信、高性能计算等技术快速发展，对信号传输速度和质量要求提高，传统焊接材料难以满足需求。纳米银焊膏作为新型高导电率焊接材料，其优异的导电性能和良好润湿性，在高频、高速信号传输中展现潜力。纳米银颗粒微小尺寸与高度分散性，使焊膏焊接时形成致密、均匀接头，降

低信号传输的电阻和损耗。石墨烯增强焊锡是另一种高性能焊接材料^[11]。石墨烯作为二维碳材料，具有高导电性和机械强度，添加至焊锡中能提升其导电率和机械性能。此焊锡在承受大机械应力的电子产品，如汽车电子、航空航天设备中，有广泛应用前景。环保与可持续性为焊接材料研发的重要因素，未来回流焊技术将倾向使用可回收、低毒性焊接材料，如生物基焊锡、无卤素焊膏。

（三）绿色环保：回流焊技术的生态责任

推广无铅、无卤素、低挥发性有机化合物（VOC）焊接材料，是回流焊技术绿色环保的必由之路。铅、卤素及高 VOC 焊接材料在焊接中会产生有害物质，危害健康，污染环境。采用无铅焊锡、无卤素助焊剂、低 VOC 焊膏已成行业共识。完善绿色环保焊接体系，建立废弃物处理机制关键。焊锡回收站利用专业设备工艺，分离提纯废弃焊锡，实现资源再利用。助焊剂过滤与再利用系统，借精密过滤装置去除杂质有害物质，恢复助焊剂性能，减少浪费和污染。提升回流焊设备能效，高效加热元件能快速升温、稳定控温，提高焊接效率，缩短周期。智能温控系统使回流焊过程精准可控，避免温度波动导致的能耗浪费和质量问题。热能回收技术回收焊接废热，转化为可用热能，循环利用能源。

（四）柔性化生产：回流焊技术的灵活应对

面对多样化、个性化市场需求，回流焊技术正向柔性化生产转型，以适应市场变化。模块化设计是核心，赋予设备灵活性与可扩展性。设备划分为独立互换模块，如加热区、冷却区、传输系统，可根据焊接需求快速调整配置，实现产品快速切换，减少

闲置时间，提高生产效率和设备利用率。深入分析换线流程，识别消除非增值环节，如等待、运输、调试，大幅缩短换线时间，确保生产线连续高效运行。引入先进换线工具和辅助设备，如快速夹紧装置、自动定位系统，提升换线效率。物联网（IoT）技术实现设备互联互通，实时共享生产数据，支持生产调度和优化。大数据技术挖掘分析生产数据，发现潜在问题，预测趋势，为决策提供依据。人工智能技术引入，实现生产流程智能化调度和优化。AI 算法根据实时数据和历史经验，自动调整焊接参数，优化生产流程，保证产品质量稳定性和一致性。与客户紧密合作，深入了解产品特性和生产要求，不断优化焊接方案，包括材料选择、工艺设计、设备配置，确保产品满足客户需求。定制化服务模式提升客户满意度，增强企业市场竞争力。

四、结语

SMT 回流焊技术是电子制造领域的核心技术，其发展历程体现电子产品从简单到复杂、从粗放到精细的转变。科技进步促使回流焊技术持续创新与突破，以适应电子产品小型化、高密度、高性能、绿色环保等需求。高精度焊接、柔性化生产及智能化发展，提升了电子产品的制造质量与效率，为电子产业可持续发展注入动力。展望未来，SMT 回流焊技术将紧跟时代，融合纳米材料、人工智能、物联网等新兴技术，推动焊接技术在精度、效率与智能化上达到新高度。绿色环保理念将贯穿技术发展，引领回流焊技术向更环保、高效、可靠方向前进，为电子产业繁荣与进步贡献。

参考文献

[1] 伍艳琼, 陈思慧. 回流焊接工艺中的质量缺陷与改进措施 [J]. 集成电路应用, 2023, 40(09): 168-169.
[2] 李强, 吴昱昆, 汪锐. 芯片共晶模块高钎透率真空回流焊接工艺 [J]. 电子工艺技术, 2023, 44(03): 17-20.
[3] 隋远, 卜凡洋, 邵子龙, 闫伟. 基于区域中心温度场预测的回流焊接优化仿真 [J]. 计算机仿真, 2023, 40(05): 299-303+340.
[4] 王飞. 微电子表面贴装关键技术与装备分析 [J]. 现代工业经济和信息化, 2023, 13(01): 98-100.
[5] 刘颖, 吴瑛, 陈该青, 许春停. QFN 器件焊接缺陷分析与工艺优化 [J]. 电子与封装, 2022, 22(01): 22-26.
[6] 陈道武. 插装元件通孔回流焊接工艺 [J]. 中国新技术新产品, 2021, (24): 71-73.
[7] 李苗, 周自泉, 宋惠东, 程明生. 塑封 LGA 器件回流焊工艺的可靠性分析 [J]. 电子工艺技术, 2021, 42(06): 331-333+337.
[8] 王蕊, 骆健, 姚二现, 董长城, 刘旭光, 杨阳. 基于 Anand 模型的柔性直流输电 IGBT 模块焊接应力变形分析 [J]. 半导体技术, 2021, 46(11): 887-892+898.
[9] 田翠芳. 浅谈 SMT 贴装工艺及其行业趋势 [J]. 山西电子技术, 2021, (05): 41-42.
[10] 俞浩, 蒋甜. 电子元器件表面组装工艺质量改进及应用研究 [J]. 电子元器件与信息技术, 2021, 5(09): 70-71+73.
[11] 李苗, 孙晓伟, 宋惠东, 程明生. CBGA 器件焊接工艺与焊点失效分析 [J]. 电子与封装, 2021, 21(08): 25-31.

提高电气系统一次二次维护效率的研究与实践

李永兵

贵州黔西中水电有限公司，贵州 毕节 551500

摘 要： 本文分析了电气系统一次和二次设备的维护现状，并探讨了提高维护效率的研究与实践。针对一次设备，文章提出优化维护流程、制定标准化维护流程、实施质量控制等措施。对于二次设备，同样强调了维护流程优化、标准化检修流程制定和维护质量控制的重要性。此外，文章还讨论了自动化工具、信息化管理系统以及新技术、新材料在维护工作中的应用，并提出了维护人员培训与技能提升的策略。

关 键 词： 电气系统；一次设备；二次设备；维护效率；流程优化

Research and Practice on Improving the Maintenance Efficiency of Primary and Secondary Equipment in Electrical Systems

Li Yongbing

Guizhou Qianxi Zhongshui Power Generation Co., Ltd. Bijie, Guizhou 551500

Abstract： This article analyzes the current maintenance status of primary and secondary equipment in electrical systems and explores the research and practice of improving maintenance efficiency. For primary equipment, the article proposes measures such as optimizing maintenance processes, developing standardized maintenance procedures, and implementing quality control. For secondary equipment, the importance of maintenance process optimization, standardized maintenance procedure development, and maintenance quality control is also emphasized. Additionally, the article discusses the application of automation tools, information management systems, and new technologies and materials in maintenance work. It also proposes strategies for training and skill enhancement of maintenance personnel.

Keywords： electrical system; primary equipment; secondary equipment; maintenance efficiency; process optimization

引言

在当今社会经济的迅猛发展浪潮中，电力系统对于支撑人们的生产活动和生活品质扮演着越来越关键的角色。电气系统的稳定与可靠，是确保电力供应连续不断的基石，而这又离不开一次和二次设备的精心维护。面对电力系统日益增长的复杂性和技术挑战，传统的维护模式已逐渐显现出其局限性，难以满足现代电力系统的高标准要求。在这样的背景下，深入研究如何提升电气系统一次和二次设备的维护效率，不仅具有现实意义，而且显得尤为迫切。

本文将深入剖析当前电气系统一次和二次设备维护的实际状况，识别存在的问题与不足，并在此基础上，提出一系列旨在提高维护效率的创新研究与实践措施。这些措施旨在通过优化维护流程、制定标准化操作规程、强化质量控制、引入先进技术和工具，以及提升维护人员的专业技能，全方位地提升电气设备的维护水平。我们期望这些努力能够为电力系统的安全运行和稳定供应提供坚实的技术支撑，确保电力系统的可靠性与效能，为社会经济的发展注入持久动力。

一、电气系统一次二次维护现状分析

（一）一次设备维护现状

一次设备，作为电气系统中直接负责电能产生、传输和分配的关键组件，包括变压器、断路器、隔离开关、母线和电缆等，它们具备高电压、大电流和长期运行等特性，其可靠性是电力系统稳定运行的基础。这些设备根据功能可分为传输、配电和用电设备，根据电压等级则分为高压、中压和低压设备。一次设备的

特点在于其结构复杂、技术要求高，且运行于恶劣的环境中，需承受高温、高压和电磁干扰等挑战^[1]。一旦出现故障，不仅可能导致经济损失，还可能对社会造成广泛影响。在电气系统中，一次设备扮演着核心角色，它们确保电能的高效传输和分配，对于维持电力供应的连续性和可靠性发挥着至关重要的作用。

（二）电气二次设备的定义和功能

面对市场对电能供应需求不断提高的发展趋势，电力系统的运行压力也越来越大。电气一次设备故障问题是影响电力系统安

全运行的一项重要问题，电气二次设备继电保护能够在一定程度上帮助电力系统运行规避一次设备故障风险。在这一过程中，电气二次设备的检修和管理效果会直接对电气继电保护的效果产生影响^[2]。具体来说，这些设备具备以下功能和特点：实时监测电力系统的电压、电流、频率、功率等关键参数，为系统运行提供准确的数据支持；通过远程控制，对一次设备进行开关操作和负荷分配，确保电力系统的稳定性和可靠性；根据系统需求，自动或手动调节一次设备的运行参数，以优化电力系统的整体性能；在系统发生故障时，迅速识别并采取措施，如切断故障电路，有效保护一次设备，防止设备损坏，保障电力系统的安全运行。这些功能的协同作用，使得电气二次设备成为电力系统中不可或缺的组成部分。

二、提高电气系统一次设备维护效率的研究与实践

（一）一次设备维护流程优化

提升一次设备的维护效率，关键在于对维护流程的精细优化。这一过程涉及对现有流程的深入剖析，准确锁定那些制约效率的环节，并通过精简流程中的多余步骤和整合重复任务来压缩维护周期^[3]。先进的维护技术和工具的应用，进一步提高了维护自动化的水平，有效提高了工作效率。同时，采纳预防性维护策略，通过常规检查与预测性维护相结合，以减少设备突发故障的可能性。为了确保设备故障时的迅速应对，还建立了一套高效的响应机制，确保在任何情况下都能迅速采取维修行动，保障设备的持续可靠运行。

（二）一次设备维护标准化制定

标准化流程是提高设备维护效率和质量的关键策略，涉及从创立到实施的全面流程。详尽的维护标准得以确立，包括维护的频率、具体操作步骤、所需工具及验收准则，为维护作业提供了精准的导向。随后，维护手册和操作指南的编制，为执行维护的工作人员提供了条理分明的流程和需特别注意的要点。为了确保这些标准得到精准执行，维护团队接受了专业的培训，并通过考核来确认其对标准的熟练掌握。最终，建立了一个循环审查的程序，它依据设备的实际运行表现和维护结果，对维护标准进行适时的修订和优化，确保其始终符合实际需求并保持最佳效能。

（三）一次设备维护质量控制

维护质量控制对于保障一次设备的长期稳定运行至关重要，这一目标通过综合措施得以实现。构建了一个全方位的质量控制体系，该体系贯穿于维护活动的各个阶段，包括前期准备、过程监督以及后续的效果评估^[4]。在维护操作中，通过设置检查点，确保所有维护动作均符合既定标准。此外，借助尖端的监测技术，对设备状态进行实时跟踪，以便及时发现问题并采取措施。为了推动维护工作的不断进步，形成了一个闭环反馈机制，对维护中出现的任何问题进行详尽记录和深入分析。同时，定期对维护团队进行专业培训，不仅增强其技术能力，也提升了他们对质量控制的重视程度，从而在整体上提升维护工作的质量水平。

三、提高电气系统二次设备维护效率的研究与实践

（一）二次设备维护流程优化

为了提升二次设备维护的整体效率，采取了一系列优化措施，包括重新审视并重构现有维护流程，以消除不必要的步骤，确保流程的高效运行。同时，深入分析历史故障数据，识别出常见的故障点和维护难点，据此有针对性地调整流程。此外，制定合理的预防性维护计划，旨在降低突发故障的发生概率，并提升设备的可用率^[5]。在资源配置方面，对人力资源和工具设备进行优化，以保证维护工作的高效执行。建立了快速的应急响应机制，以缩短故障处理时间，减轻对电力系统的不利影响。

（二）二次设备标准化检修流程制定

标准化检修流程的建立对于确保维护标准的统一性和提升维护作业的质量扮演着关键角色。精心编制的二次设备检修指南包含了详尽的检修步骤、必要的安全警示以及具体的技术规范，为维护人员的操作提供了明确的指引。与此同时，一套标准化的操作流程被确立，保障了所有维护人员在执行检修任务时都能恪守一致的操作准则。对检修工具和材料的规范化使用，进一步提高了作业的效率与安全性。为了使维护人员能够熟练掌握这些标准化流程，实施了专业的培训计划，并通过考核来确认他们对相关知识和技能的掌握程度。这些综合措施的实施，有效确保了维护作业的规范性和高效率。

（三）二次设备维护质量控制

确保二次设备维护的高标准质量，依赖于一系列关键的质量控制措施。核心在于确立并维护一套严格的质量控制标准，保障检修作业达到预定的质量目标。检修过程中，实时监控成为常态，确保每一操作环节均符合既定程序。定期的质量评估环节不可或缺，它通过深入数据分析，揭示出维护工作中的提升空间^[6]。以此为基础，对维护流程及质量控制措施进行持续优化，以实现不断的改进。技术支持和专业指导地提供，旨在帮助维护人员有效应对复杂问题，进而提高维护的整体能力。这些措施融合成一个全方位的质量保障体系，确保了维护作业的品质与效率。

四、提高维护效率的技术与工具应用

（一）自动化工具在维护中的应用

自动化技术的融入，极大地提升了电气系统一次与二次设备维护的效率。借助先进的自动化检测设备，例如红外热像仪，能够在无需人工直接接触的情况下，准确完成温度检测并收集关键设备状态信息。在高处作业环境下，机器人技术的引入不仅大幅提升了清洁与维护工作的安全性，同时也提高了操作的效率。此外，智能化的故障诊断系统通过深入数据分析，能够自动识别潜在设备故障，并提供精准的维修指导^[7]。远程控制技术的采纳，使得设备操作和维护可以远程进行，大幅减少了现场作业人员的依赖，进一步推动了维护工作的智能化和高效率。这些技术的综合运用，为电气系统的稳定运行提供了强有力的支持。

（二）信息化管理系统在维护中的应用

信息化管理系统的融入，显著增强了维护工作的效能。该系统通过智能调度维护任务和优化人力资源分配，大幅提升了操作的效率。它还实现了维护记录的系统性管理，便于后续的分析与历史追溯，从而为预防性维护策略提供了可靠的数据支撑。在库存管理方面，信息系统的应用确保了维护所需备件和工具的即时可用性，同时有效控制了库存成本。系统还能自动输出维护数据的分析报告，为高层管理决策提供了关键的信息参考^[9]。这些综合功能的运用，使得维护流程更加流畅、透明，并且井然有序，极大地提升了整体维护工作的专业性和效率。

（三）新技术、新材料在维护中的应用

新技术和新材料的应用为提升维护效率开启了新的可能性。先进的维护技术，如预测性维护，通过深入数据分析预测设备的潜在故障，使得维护工作能够未雨绸缪，提前采取相应措施。同时，高性能的维护材料，例如新型绝缘材料和润滑剂，不仅提高了设备的可靠性和延长了维护周期，还进一步提升了维护效果。此外，节能技术的应用有效降低了设备能耗，减少了维护成本，而环保型维护工具 and 材料的使用则在维护过程中减少了环境污染，增强了企业的社会责任感，塑造了更加积极的形象。这些创新的应用共同推动了维护效率的全面提升。

五、维护人员培训与技能提升

（一）培训需求分析

为了确保培训内容能够精准对接维护人员的实际需求，并实现培训效果的最大化，开展了一项全面而深入的培训需求分析工作^[9]。这项分析的首要任务是明确不同维护岗位的具体职责，以及对应的技术能力标准，从而为培训内容的定制打下坚实的基础。在此基础上，对在岗维护人员的技能水平进行了全面的评估，旨在准确识别他们在实际工作中存在的技能短板和不足之处。进一步地，通过精心设计的问卷调查、一对一访谈等多种方式，广泛搜集了员工对于培训内容、形式以及方法的个人期望和具体需求，确保培训计划能够贴近员工的实际工作和学习偏好。同时，为了使培训内容不仅满足当前需求，还能适应未来发展的需要，分析工作还包括了

对行业未来发展趋势的深入研究和新技术应用的前瞻性分析。通过这一过程，预见未来维护工作可能面临的挑战以及对技能的新要求，从而确保培训内容既具有实用性，又具备前瞻性。

（二）培训需求分析

根据培训需求分析的深入洞察，制定了一套周密的培训计划。该计划立足于确保培训目标与组织的长远战略保持一致，同时满足短期和长期的发展需求。培训内容丰富多元，涵盖了从基础理论知识到实操技能，再到前沿新技术应用等各个层面，旨在全方位增强员工的专业能力。为了满足不同员工的学习偏好，采取了包括内部研讨会、外部专业机构培训，以及在线学习资源等灵活多样的培训形式^[10]。在安排培训时间时，充分考虑了员工的工作日程，力求培训与日常工作的和谐共存，以此提高员工的参与度和培训的整体成效。

（三）技能提升途径与方法

为了确保维护人员技能的不断提升，实施了多样化的提升策略和方法。定期的内部在职培训，由经验丰富的技术人员或行业专家领衔，为员工传授最新的技术动态和先进理念。同时，员工有机会参加专业机构提供的外部课程，以开阔技术视野。导师制度的推行，使得经验丰富的员工能够以师傅的角色，将专业技能传授给新入职的同事。自主学习也被大力倡导，员工可通过阅读专业文献、观看教学视频、参与网络课程等形式，自主提升技能。为激发学习热情，建立了技能考核与认证体系，这不仅肯定了员工的技能成长，也增强了他们的学习动力和职业满足感。

六、结束语

本文通过对电气系统一次和二次设备维护现状的分析，提出了一系列提高维护效率的措施，包括优化维护流程、制定标准化维护流程、实施质量控制、应用新技术与工具以及加强维护人员培训与技能提升。这些措施有助于提高电气系统的运行可靠性，降低故障率，从而保障电力供应的稳定性。然而，提高维护效率是一个持续的过程，需要我们在实践中不断探索、总结和优化。希望通过本文的研究，能为电力系统维护领域的发展提供有益的参考，为我国电力事业的繁荣做出贡献。

参考文献

- [1] 杨倩. 水电站电气一次设计方案的优化 [J]. 四川水力发电, 2023, 42(04): 114-118.
- [2] 王志雄, 韩晓瑞. 基于大数据分析的电气二次设备远程智慧管理平台研究 [J]. 中国设备工程, 2023, (22): 33-35.
- [3] 李佳林. 220kV 变电站电气一次改造技术方案研究 [J]. 电器工业, 2023, (02): 52-55.
- [4] 景万里. 解析火力发电厂电气一次设备预防性维护与管理 [J]. 中国设备工程, 2022, (03): 75-76.
- [5] 邢世爱. 变电站一次设备的运行维护分析 [J]. 电子技术, 2020, 49(10): 148-149.
- [6] 田宏明. 变电站二次设备运行维护与管理策略分析 [J]. 电子技术, 2023, 52(07): 417-421.
- [7] 张耀午. 变电站二次设备智能化监控与维护管理系统研究 [J]. 光源与照明, 2023, (06): 168-170.
- [8] 朱树云, 吕梦妮. 电力系统继电保护二次回路维护与检修对策分析 [J]. 光源与照明, 2023, (05): 234-236.
- [9] 秦海波. 电力系统中的电气二次及继电保护探讨 [J]. 科技资讯, 2023, 21(10): 25-28. DOI: 10.16661/j.cnki.1672-3791.2210-5042-3888.
- [10] 李岩. 变电站继电保护二次回路维护与检修技术 [J]. 现代工业经济和信息化, 2022, 12(10): 84-85. DOI: 10.16525/j.cnki.14-1362/n.2022.10.035.

电气工程及其自动化中智能化技术的应用实践

张俊强

中农国际钾盐开发有限公司, 北京 100089

摘 要： 随着科技的飞速发展，智能化技术在电气工程及其自动化领域中的应用越来越广泛。智能化技术的应用不仅能够推动电气工程及其自动化发展，还能够为未来的科技进步奠定坚实的基础。本文旨在分析智能化技术在电气工程及其自动化中的应用实践，并探讨其带来的效益和挑战，通过具体实例，阐述智能化技术在提高电气工程运行效率、安全性以及经济效益方面的作用，指出智能化技术应用中可能存在的问题，并提出相应的解决方案，以期为电气工程及其自动化更好发展提供一些参考借鉴。

关 键 词： 电气工程；自动化；智能化技术；应用实践；运行效率

Application and Practice of Intelligent Technology in Electrical Engineering and its Automation

Zhang Junqiang

Zhongnong International Potash Development Co., Ltd. Beijing 100089

Abstract： With the rapid development of science and technology, intelligent technology is more and more widely used in the field of electrical engineering and automation. The application of intelligent technology can not only promote the development of electrical engineering and its automation, but also lay a solid foundation for the future scientific and technological progress. This paper aims to analyze the application practice of intelligent technology in electrical engineering and automation, and discuss the benefits and challenges, through the specific example, expounds the role of intelligent technology in improving the operation efficiency, safety and economic benefits of electrical engineering, points out the possible problems in the application of intelligent technology, and put forward the corresponding solutions, in order to provide some reference for the better development of electrical engineering and its automation.

Keywords： electrical engineering; automation; intelligent technology; application practice; operation efficiency

电气工程及其自动化作为现代工业发展的关键支柱，其应用范围十分广泛，不仅限于电力系统，还包括自动化控制系统等多个领域。随着科技的不断进步，智能化技术在电气工程及其自动化领域的应用变得越来越普遍，为电气工程的发展带来了新的活力和创新。智能化技术以其高效、精确、可靠的特点，在提高电气工程运行效率、增强安全性以及优化资源配置等方面发挥着至关重要的作用，不仅能够提升生产过程的自动化水平，减少人为错误，还能够通过智能分析和决策支持，实现对复杂系统的精准控制^[1]。此外，智能化技术的应用还能促进能源的有效利用，降低运营成本，为可持续发展提供技术保障。

一、智能化技术的概述

（一）概念

智能化技术是指通过模拟人类大脑的思维和判断能力，实现自动化系统的智能化管理和控制。在电气工程及其自动化领域，智能化技术的应用主要包括人工智能、机器学习、神经网络、模糊控制等技术，这些技术通过对电气工程系统的数据进行分析和处理，实现对系统的智能监控、优化控制和故障诊断等功能。

（二）特点

其一是高效性，智能化技术能够快速处理大量数据，实现系

统的实时监控和优化控制，提高电气工程的运行效率。其二是精确性，通过精确的数据分析和处理，智能化技术能够实现对电气工程系统的精确控制，减少误差和故障的发生。其三是可靠性，智能化技术具有强大的自学习和自适应能力，能够根据系统的实际情况进行智能调整，确保系统的稳定运行。

二、智能化技术在电气工程及其自动化中的应用实践

（一）智能监控系统

智能监控系统作为智能化技术在电气工程及其自动化中的重

要应用之一，其重要性不言而喻。该系统通过引入一系列高精度、高稳定性的传感器，以及高效的数据采集模块和智能分析算法，能够实现对电气工程系统的全面、实时监测和预警。例如，在某大型园区中，厂房和办公楼为主要建筑物，均采用了智能化设计，包括动力电源、中央空调、安防设备等^[2]。每个变电站均配备了变压器，采用两进线一母联的结构，每个变电站系统都使用了电力监控系统，主通讯网采用100mTCP/IP光纤以太网，监控层采用了Modbus总线通信，这套现代化管理系统对于整个园区建筑物配电系统的全面管理具有重要的作用，不仅降低了园区管理运营的成本，也提高了智能建筑的效率和安全性。在电力系统中，智能监控系统发挥着至关重要的作用，不仅可以实时监测电压、电流、功率等关键参数，还能够通过复杂的算法分析，判断系统是否存在异常情况，如过载、短路等潜在风险。一旦检测到异常，系统会立即触发报警机制，通过声光电等多种方式提醒操作人员及时处理，从而有效避免事故的发生。此外，智能监控系统还具备强大的数据分析和预测能力，能够对电力系统的运行状态进行深度挖掘和预测，为系统的优化运行提供有力支持，进一步提高系统的稳定性和可靠性。

（二）智能电力调度系统

智能电力调度系统是电气工程及其自动化领域中的又一重要智能化应用，该系统通过引入先进的算法和优化模型，能够实现对电力资源的精准分配和高效调度。例如，某电力公司利用智能电力技术实现了对输电线路实时监测和智能调度，减少了电力供需不平衡问题，提高了电力传输的效率和稳定性。智能电力调度系统可以根据实时的负荷情况和电力供应情况，自动调整电力分配方案，确保电网的稳定运行，这种智能化的调度方式不仅提高了电力资源的利用效率，还大大减轻了调度人员的工作负担。同时，智能电力调度系统还具备远程监控和控制功能，能够实时监测电力设备的运行状态和参数变化情况，一旦发现异常情况，系统会立即发出预警信号，并采取相应的措施进行处理，确保设备的运行效率和可靠性。

（三）智能故障诊断系统

智能故障诊断系统在电气工程及其自动化领域中同样发挥着重要作用。该系统通过引入先进的算法和诊断模型，能够实现对电气工程系统的故障快速检测和精准诊断。例如，智能巡检机器人是人工智能在电力系统故障诊断中的一项重要应用，传统的电力系统巡检需要大量人力和时间，而且存在一定的安全隐患。智能巡检机器人通过搭载各种传感器和相机，可以实时对电力设备进行监测和检测，机器人可以自主巡检，通过人工智能算法分析数据，快速准确地检测和定位设备故障，并及时上报，进而大大提高故障检测的效率，降低人力成本，同时也减少巡检人员的工作强度和安全风险。智能故障诊断系统可以通过分析电流、电压等参数的变化情况，及时发现系统中的故障点，并精确定位故障位置，一旦检测到故障，系统会立即生成相应的解决方案，并通知操作人员进行处理^[3]。此外，智能故障诊断系统还具备故障预测和预防功能，能够通过对历史数据的分析和挖掘，预测系统可能出现的故障类型和概率，从而采取相应的预防措施，减少故障

的发生和损失。

（四）智能电网

智能电网是电气工程及其自动化领域中智能化技术应用的重要方向之一，智能电网通过引入先进的传感技术、通信技术、控制技术和信息技术，实现了对电力系统的全面智能化管理和控制。例如，Acrel-2000Z电力监控系统是安科瑞电气股份有限公司根据电力系统自动化及无人值守的要求，针对35kV及以下电压等级研发出的一套分层分布式变电站监控管理系统。该系统是应用电力自动化技术、计算机技术、网络技术和信息传输技术，集保护、监测、控制、通信等功能于一体的开放式、网络化、单元化、组态化的系统，适用于35kV及以下电压等级的城网、农网变电站和用户变电站，可实现对变电站全方位的控制和管理，满足变电站无人或少人值守的需求，为变电站安全、稳定、经济运行提供了坚实的保障^[4]。此外，智能电网还具备强大的自适应能力，能够根据系统的实际情况进行智能调整和优化，例如，在美国的智能电网建设中，通过引入先进的传感技术和通信技术，实现了对电力系统的实时监测和控制，提高了电力系统的稳定性和可靠性。同时，智能电网还提供了多种用电选择和服务，如分时电价、智能家居等，进一步提升了用户的用电体验和满意度。

（五）智能变电站

智能变电站是电气工程及其自动化领域中智能化技术应用的另一重要方向，智能变电站通过引入先进的传感器、数据采集模块和智能控制算法，实现了对变电站的智能化管理和控制。智能变电站不仅实现了变电站设备的高度自动化和远程监控，还提高了设备的运行效率和可靠性。同时，智能变电站还能够实时监测设备的运行状态和参数变化情况，一旦发现异常情况能够立即发出预警信号并采取相应的措施进行处理^[5]。此外，智能变电站还能够根据实际需求进行智能调度和优化，提高电能的利用效率。例如，在德国的智能变电站建设中，通过引入先进的传感器和智能控制算法，实现了对变电站设备的实时监测和控制。同时，智能变电站还提供了多种优化调度方案，如负荷预测、无功补偿等，进一步提高了电能的利用效率和变电站的运行效率。

（六）智能控制系统

在电气工程自动化控制系统中，智能化技术的应用同样广泛而深入，智能化技术通过引入先进的控制算法和优化模型，实现了对自动化控制系统的智能控制。例如，模糊控制算法能够根据系统的实际情况进行智能调整和优化，提高系统的稳定性和可靠性。同时，智能化技术还通过引入先进的传感器和执行器，实现了对自动化控制系统的实时监测和控制^[6]。例如，光敏传感器能够实时监测光照强度并根据实际需求调整照明系统的亮度；智能执行器能够根据控制信号精确调整设备的运行状态。此外，智能化技术还通过引入先进的人机交互界面和智能控制算法，提高了自动化控制系统的操作便捷性和用户体验。例如，触摸屏和语音识别技术能够使用户更方便地控制自动化设备的运行状态和参数设置，从而进一步提高了自动化控制系统的智能化水平和用户体验。

三、智能化技术应用中存在的问题与挑战及解决意见

（一）技术难题

智能化技术的应用确实需要依赖先进的传感器、数据采集模块和智能控制算法等技术，但目前这些技术仍面临一些难题和瓶颈。例如，传感器的精度和稳定性问题直接影响智能化系统的监测和控制效果，如果传感器无法提供准确、稳定的数据，那么整个智能化系统的性能将大打折扣。同样，数据采集模块的实时性和可靠性问题也是制约智能化技术发展的关键因素，如果数据采集模块无法实时、可靠地传输数据，那么智能化系统就无法及时响应和处理异常情况^[7]。针对技术难题，首先应当加大研发投入，推动传感器和数据采集模块的技术创新，提高其精度、稳定性和实时性。其次可以加强与高校、科研机构的合作，共同攻克技术难题，推动智能化技术的快速发展。此外还可以引入国际先进的技术和设备，借鉴其成功经验，提升国内智能化技术的整体水平。

（二）数据安全与隐私保护

智能化技术的应用需要采集和处理大量的数据和信息，这些数据和信息的安全性和隐私保护问题确实日益凸显。一旦数据泄露或被恶意攻击，将可能导致严重的后果和影响，如经济损失、声誉损害等，因此加强数据安全与隐私保护是智能化技术在电气工程及其自动化中应用的重要挑战之一。对于数据安全与隐私保护，首先需要建立完善的数据安全管理体系，包括数据加密、访问控制、安全审计等措施，确保数据的安全性和隐私性，加强网络安全防护，采用防火墙、入侵检测系统等网络安全设备和技术，防止数据泄露和恶意攻击^[8]。其次，需要增强员工的数据安全意识，定期进行数据安全培训和演练，确保员工能够正确处理和保护数据。

（三）人才短缺

智能化技术的应用需要具备相关专业知识和技能的人才，但

目前电气工程及其自动化领域的人才短缺问题确实日益严重。缺乏具备相关专业知识和技能的人才将限制智能化技术在电气工程及其自动化中的应用和发展^[9-10]。如何解决人才短缺问题是当前需要着重考虑的问题，首先可以加强人才培养，通过高校、培训机构等渠道培养更多的电气工程及其自动化专业人才，特别是具备智能化技术知识和技能的人才。其次鼓励企业加强内部培训，提升员工的专业技能和综合素质，培养一支具备智能化技术应用能力的专业团队。同时引进国际优秀人才，通过提供优厚的待遇和良好的工作环境，吸引更多的国际化人才加入电气工程及其自动化领域。

四、结语

智能化技术在电气工程及其自动化中的应用实践表明，智能化技术能够显著提高电气工程的运行效率、安全性和经济效益。通过引入先进的传感器、数据采集模块和智能控制算法等技术，智能化技术实现了对电气工程系统的实时监测、优化控制和故障诊断等功能。同时，智能化技术还推动了电气工程及其自动化的创新性发展。然而，智能化技术的应用仍存在一些问题和挑战，如技术难题、数据安全与隐私保护以及人才短缺等问题。因此，在推动智能化技术在电气工程及其自动化中的应用时，需要注重技术研发和人才培养，加强数据安全与隐私保护，以实现智能化技术的可持续发展。随着科技的不断进步和智能化技术的不断发展，智能化技术在电气工程及其自动化中的应用前景将更加广阔。未来，智能化技术将更加注重与人工智能、大数据、云计算等技术的融合和创新，推动电气工程及其自动化向更高层次的发展。同时，智能化技术还将更加注重用户体验和个性化需求，提供更加智能化和人性化的服务。相信在不久的将来，智能化技术将在电气工程及其自动化领域发挥更加重要的作用，为人类社会的发展和进步做出更大的贡献。

参考文献

- [1] 杨道贵, 成剑英. 电气工程及其自动化中智能化技术的运用分析 [J]. 水利电力技术与应用, 2022.
- [2] 张婷婷. 智能化技术在电气工程及其自动化控制中的特点及具体运用 [J]. 文渊 (高中版), 2022(8): 289-291.
- [3] 田承瑞. 人工智能技术在电气自动化控制中的具体应用分析 [J]. 中国科技期刊数据库 工业 A, 2023(4): 4.
- [4] 张玉成. 电气自动化融合技术在电气工程中的应用 [J]. Engineering Science Research & Application, 2023, 4(3).
- [5] 张玉栋. 电气工程及其自动化中智能化技术的运用分析 [J]. 时代汽车, 2022(7): 43-44.
- [6] 卞树威. 智能化技术在电气工程自动化控制中的应用探究 [J]. 2023(19): 184-186.
- [7] 黄建龙. 智能建筑中电气工程及其自动化技术的应用浅析 [J]. 中文科技期刊数据库 (全文版) 工程技术, 2023(2): 3.
- [8] 雷成秀. 探析电气工程及其自动化的智能化技术应用 [J]. 中国设备工程, 2023(24): 42-44.
- [9] 刘农业. 电气工程及其自动化的智能化技术运用探究 [J]. 葡萄酒, 2023(15): 0076-0078.
- [10] 田承瑞. 人工智能技术在电气自动化控制中的具体应用分析 [J]. 中国科技期刊数据库 工业 A, 2023(4): 4.

