

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5期 2024年5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 | 新时期工业废水监测工作存在的问题及应对措施 | 孙鹏 |
| | Problems and Countermeasures of Industrial Wastewater Monitoring in the New Era | Sun Peng |
| 008 | 水利工程对区域经济发展的影响分析 | 孙新, 李毅, 孙思, 顾浩然, 朱昊 |
| | Analysis of the Impact of Water Conservancy Projects on Regional Economic Development | Sun Xin, Li Yi, Sun Si, Gu Haoran, Zhu Hao |
| 011 | 防汛抗旱与水旱灾害风险管理的探讨 | 章梅, 屠建 |
| | Discussion on Flood Control, Drought Relief and Risk Management of Flood and Drought Disasters | Zhang Mei, Tu Jian |
| 014 | 水利工程施工安全管理的现状分析与改进建议 | 庄敏, 张耀, 汤秀文, 朱峰, 赵慧 |
| | Current Situation Analysis and Improvement Suggestions for Safety Management in Water Conservancy Construction | Zhuang Min, Zhang Yao, Tang Xiuwen, Zhu Feng, Zhao Hui |
| 017 | 磁粉探伤原理及其在水利工程检测中的质量控制因素 | 王银军 |
| | Principle of Magnetic Powder Flaw Detection and Its Quality Control Factors in Water Conservancy Engineering Detection | Wang Yinjun |
| 020 | 中小型水利工程围堰设计与施工的优化 | 黎汝婷, 刘玄 |
| | Optimization of Cofferdam Design and Construction in Small and Medium-sized Water Conservancy Projects | Li Ruting, Liu Xuan |
| 023 | 水利工程河道治理技术 | 李乔 |
| | River Control Technology of Water Conservancy Project | Li Qiao |
| 026 | 大堤治理工程护坡防护形式选择与施工技术 | 刘玄, 黎汝婷 |
| | Selection of Slope Protection Forms and Construction Techniques in Large Dike Treatment Projects | Liu Xuan, Li Ruting |
| 029 | 充填灌浆在小(2)型水库大坝坝体防渗中的应用 | 郑明林 |
| | Application of Filling Grouting in Seepage Control of Small (2) Reservoir Dam | Zheng Minglin |
| 032 | 沿海挡潮闸下游河道淤积机理及防淤减淤研究 | 袁堂林 |
| | Study on the Siltation Mechanism and Silt Prevention Measures in the Downstream Channel of Coastal Tide Gates | Yuan Tanglin |
| 036 | 水库大坝沥青混凝土心墙工程施工技术探讨 | 陈红元 |
| | Discussion on Construction Technology of Asphalt Concrete Core Wall Engineering in Reservoir Dam | Chen Hongyuan |
| 039 | 基于风险管理的水利施工安全管理体系构建与优化 | 李姗姗, 支立 |
| | Construction and Optimization of Water Conservancy Construction Safety Management System Based on Risk Management | Li Shanshan, Zhi Li |
| 042 | 水利水电工程河道堤防施工质量控制要点探析 | 刘玮豪, 孙颖 |
| | Analysis of the Quality Control Points of River Embankment Construction in Water Conservancy and Hydropower Projects | Liu Weihao, Sun Ying |
| 046 | 测绘勘查在水利水电选址科学决策中的应用价值研究 | 乃廷康 |
| | Research on the Application Value of Surveying and Mapping Exploration in Scientific Decision making of Water Resources and Hydropower Site Selection | Nai Tingkang |

049	水利水电工程测量技术分析 Analysis of Measurement Technology for Water Conservancy and Hydropower Engineering	李素婷 Li Suting
052	水利水电项目施工中的施工技术与施工难点分析 Analysis of Construction Technology and Difficulties in Water Conservancy and Hydropower Projects	卜崇财 Bu Chongcai
055	环境检测中地表水监测现状与发展对策分析 Analysis of the Current Situation and Development Countermeasures of Surface Water Monitoring in Environmental Detection	温锦辉 Wen Jinhui

电力工程 | POWER ENGINEERING

058	平原风电项目水土保持措施及效益分析 Water and Soil Conservation Measures and Benefit Analysis of Wind Power Projects in Plains	吴杰 Wu Jie
061	电力二次设备在线带电清洗安全技术及运用分析 Safety Technology and Application Analysis of Online Live Cleaning for Secondary Power Equipment	明亮, 王强, 王飞飞, 李万里, 赵利国, 李斐, 李珍, 郝威 Ming Liang, Wang Qiang , Wang Feifei , Li Wanli , Zhao Liguo, Li Fei , Li Zhen , Hao Wei
063	煤改电工程项目水土流失影响因素及分区防治措施研究 Study on Influencing Factors of Soil And Water Loss and Zoning Control Measures of Coal to Electricity Project	陈奎 Chen Kui
066	宁波溪口抽水蓄能电站 1 号机组盘车工艺综述 Summary of Turning Process for Unit 1 of Ningbo Xikou Pumped Storage Power Station	张思远, 张咏 Zhang Siyuan, Zhang Yong
072	电力系统自动化中的智能保护技术研究 Research on Intelligent Protection Technology in Power System Automation	邓鹏 Deng Peng
075	深度学习算法与人工智能在电力安全监测中的应用 Application of Deep Learning Algorithms and Artificial Intelligence in Power Safety Monitoring	孙婧 Sun Jing
078	新型电力系统下分布式能源聚合优化运行策略 Optimization Operation Strategy of Distributed Energy Aggregation under New Power System	王金勇 Wang Jinyong
081	电气工程及其自动化技术在变电站中的应用策略 Application Strategies of Electrical Engineering and Automation Technology in Substations	陈里鸿 Chen Lihong
084	继电保护自动化中的装置及其故障检修措施 Device and Its Fault Maintenance Measures in Relay Protection Automation	贺全武 He Quanwu
087	高低压成套开关柜电气设计及智能化发展分析 Analysis of Electrical Design and Intelligent Development of High and Low Voltage Switchgear Assemblies	阮祥龙 Ruan Xianglong
090	电力系统扩产增效策略在优化营商环境中的应用与实践 Application and Practice of Power System Expansion and Efficiency Improvement Strategies in Optimizing Business Environment	李丽 Li Li
093	工业 4.0 背景下的电气自动化发展：挑战与机遇 Development of Electrical Automation in the Context of Industry 4.0: Challenges and Opportunities	桑生福 Sang Shengfu

新时期工业废水监测工作存在的问题及应对措施

孙鹏

广东省广州生态环境监测中心站，广东 广州 510006

摘 要： 为了传统的监测技术无法满足当前日益复杂多变的环境监测要求，以及分析其中 COD、BOD、TN 等水质指标是衡量污水排放是否达标的重要依据，本文首先阐述了工业废水监测的重要性以及存在的问题，然后提出了具体的解决措施，最后结合案例分析了生物监测技术在工业废水监测工作的应用，结果表明，生物监测技术能有效去除 COD、NH₃-N 等污染物，但部分细菌种类的数量较少且存在一定的波动，可能与进水水质变化有关，因此还需进一步加强管理，提高废水处理效率。

关 键 词： 新时期；工业废水监测；问题；生物监测技术

Problems and Countermeasures of Industrial Wastewater Monitoring in the New Era

Sun Peng

Guangdong Guangzhou Ecological and Environmental Monitoring Center Station, Guangzhou, Guangdong 510006

Abstract： Traditional monitoring techniques cannot meet the increasingly complex and changing environmental monitoring requirements of today. The analysis of water quality indicators such as COD, BOD, and TN is an important basis for measuring whether sewage discharge meets standards. This article first explains the importance of industrial wastewater monitoring and the existing problems, then proposes specific solutions, and finally analyzes the application of biological monitoring technology in industrial wastewater monitoring work with case studies. The results show that biological monitoring technology can effectively remove pollutants such as COD and NH₃-N, but the number of some bacterial species is relatively small and there are certain fluctuations, which may be related to changes in inlet water quality. Therefore, further management is needed to improve wastewater treatment efficiency.

Keywords： new era; industrial wastewater monitoring; problems; biological monitoring technology

引言

工业废水具有排放量大、成分复杂和难降解等特点，是我国水污染防治工作的重点。目前，污水处理厂已成为工业生产中产生废水最主要的场所，并逐步向规模化、集中化方向发展，在提供城市基础设施服务的同时也对环境造成了巨大压力。因此，需要对工业废水进行严格处理，以减少其对生态环境的影响。近年来，随着环保政策日趋严格，工业企业对于废水处理效果的要求也不断提高。为了更好地掌握废水的处理效果，相关部门需要对企业废水处理系统的水质指标进行监测与分析，以便及时发现问题并采取相应措施。但由于技术手段限制，传统的水质分析方法无法全面反映出水体中微生物群落结构的变化情况，难以准确评估出废水处理的效果。而利用生物监测技术则可以实现这一目的，它不仅能够直接测定出水中溶解性化学物质的含量，还能从侧面揭示出微生物的种类和数量，为水环境保护和管理提供科学数据支撑。目前，国内外研究人员已经开发出多种基于生物技术的废水监测方法，如高通量测序、荧光定量 PCR（qPCR）、比色法等，这些技术各有优势，适用于不同的监测场景，能够满足不同的应用需求，因此，加强对工业废水的监测十分必要，只有通过废水污染物进行实时监控，才能及时发现并解决各种污染问题。

一、工业废水监测重要性

（一）预防和控制水污染，改善生态环境质量

首先，工业废水中含有大量的污染物，如果随意排放到自然水体中，会对水环境造成严重污染，导致水质恶化。其次，一些企业在生产过程中会产生大量有毒有害物质，如重金属、有机化

合物等，这些污染物会通过废水排入河流、湖泊等水体中，使其受到严重污染，影响水中生物生存。此外，工业活动还会释放出大量的温室气体，如二氧化碳、甲烷等，这些温室气体不仅会加剧全球气候变化，还会对大气环境造成破坏。因此，通过加强工业废水监测工作，可以及时掌握水污染情况，采取相应措施加以防治，防止环境污染进一步恶化。

（二）工业废水处理技术研究的基础

水污染问题与人们的生命安全息息相关，为了实现水资源的可持续利用，需要开展水污染治理工作。而要想实现这一目标，必须进行水污染治理技术的研究，以提高废水的处理效率和效果。例如，对于高浓度的工业废水，可以采用生化处理、膜分离等先进技术进行治理，以达到净化水质的目的。同时，还可以利用活性污泥法、高级氧化法、生物滴滤法等多种工艺对废水进行综合处理，从而提高废水处理效率和质量，减少废水排放量，减轻对生态环境的影响^[1]。

（三）科学制定环保政策，推动生态文明建设

随着社会发展水平的提高，人们的环境保护意识逐渐增强，政府也更加重视环境保护工作，颁布了一系列环保法律法规，要求企业严格遵守相关规定，依法排污。然而，由于部分企业缺乏环保意识，违规操作，导致环境污染问题日益严重，给人民群众的生命安全带来了巨大威胁。因此，为解决这一问题，必须加强环保法律法规的宣传和执行力度，强化企业的环保责任，促使其自觉遵守环保法律法规，从而减少污染物排放，保护生态环境^[2]。同时，还要加强对企业排污行为的监测，对违法排污行为予以严厉打击，并根据监测结果采取措施，确保企业能够按照环保标准进行生产，从根本上解决环境污染问题。

（四）提升企业竞争力，促进经济社会发展

水污染问题已经成为制约我国经济社会发展的重要因素之一，尤其是对沿海城市来说，水污染问题尤为突出。随着水资源短缺问题的日益凸显，国家加大了对工业用水的监管力度，并制定了相应的奖惩制度。此外，一些地区还出台了鼓励企业节水的优惠政策，积极推进清洁能源的开发和利用，以期降低工业用水量，缓解水资源供需矛盾^[3]。因此，只有不断提升企业自身的环保意识，才能在激烈的市场竞争中脱颖而出，取得良好的经济效益和社会效益。

二、新时期工业废水监测工作存在的问题

（一）监测设备落后

随着经济社会的快速发展，各种新型技术的不断涌现，导致现有的监测仪器已经不能满足当前工业废水监测的需要，部分企业仍然在使用传统监测方法，而且所用仪器大多是20世纪七八十年代生产制造的，存在着数据误差大、操作复杂等问题^[4]。同时，由于工业废水成分较为复杂，对水质进行测量时必须借助专门的水质分析仪，而目前大部分企业没有配备此类设备，这就导致了监测结果不够精准。

（二）监测人员综合素质偏低

与其他行业相比，工业废水监测工作对从业人员的专业水平要求较高，不仅要具备相应的理论知识，还应该掌握一定的实践经验。然而，从当前的情况来看，相关部门并未对从业人员开展系统性培训工作，导致其整体素质偏低，无法适应新时期监测工作的需求。此外，由于部分工作人员缺乏责任意识，在进行废水监测过程中不会严格按照规范要求执行，造成监测结果出现偏

差，影响到后续工作的开展。

（三）监测方式相对落后

虽然近年来我国政府加大了对工业废水排放的监管力度，但仍然存在一些问题，例如：有些企业为了降低成本，偷逃排污费；部分地方的环保部门存在懒政现象，对于违规排放的企业睁一只眼闭一只眼，甚至采取包庇纵容的态度。这些问题的存在都会给工业废水的监测工作带来影响，使监测数据失去准确性和可靠性。

（四）监测经费不足

受多种因素的影响，部分地区的工业企业本身经济效益较差，缺乏足够资金用于废水监测。在这种情况下，如果还要承担高昂的人工、材料等费用，势必会加重企业负担，进而导致更多企业逃避监测。所以，要想确保工业废水监测工作顺利开展，必须加强经费投入，切实解决这一难题。

三、新时期工业废水监测问题应对措施

为解决工业废水监测工作中存在的问题，需要从以下几个方面入手，通过强化监测质量、加大监管力度等措施，从而提高工业废水监测的有效性。

（一）建立健全废水监测体系，保证监测数据的准确性和真实性

首先，要根据实际情况制定完善的监测标准，并按照规定对监测结果进行分析，如果发现不合理之处则需及时调整，不断优化监测标准。其次，要加强对监测人员的培训，使其掌握先进的技术和方法，确保监测工作能够顺利开展。最后，还要明确监测机构的责任，由相关部门对监测机构进行监督管理，确保监测人员能够依法开展工作。只有这样，才能保证监测数据的准确性和真实性。

（二）加大执法力度，严厉打击非法排污行为

首先，政府应加大对工业废水监测违法行为的处罚力度，同时在经济上给予重罚，让违法者付出沉重代价；其次，政府还应联合有关部门定期开展检查活动，加强信息共享，及时发现问题并迅速处理，从而形成长效机制；最后，对于监测单位而言，也应该严格遵守国家法律法规，积极配合政府部门工作，并提供真实可靠的数据资料，以供政府部门决策参考。

（三）引入先进的监测设备，提高监测的科学性和准确性

随着科学技术的飞速发展，各种高科技仪器设备不断被应用到废水监测工作之中，大大提升了监测的效率和精度。因此，相关企业必须更新观念，加大投入，引进先进的监测仪器，从而提高监测数据的准确性和可靠性。此外，还可以借助信息化平台，构建智能化监测系统，通过计算机网络实现信息的快速传递与处理，以便工作人员能够随时随地获取监测数据，并进行全面分析，进而制定更加科学合理的应对方案。

（四）建立完整的数据库，便于对监测数据进行综合分析

一方面，要做好数据记录工作，将收集到的所有监测数据统一保存，并且按照时间顺序排列，方便日后查询；另一方面，要

建立完善的数据分析模型，将各种数据整合在一起，深入挖掘其中蕴含的规律，为后续工作的开展奠定坚实基础。

（五）强化公众参与意识，营造良好的社会氛围

首先，应鼓励公众参与到工业废水监测工作之中，通过设立举报电话或者网站等方式，让广大群众积极参与其中，主动揭露污染现象，这样不仅有利于环境保护工作的开展，同时也能增强公民的环境意识，有利于培养他们良好的环保习惯，从而达到“人人都是保护者”的效果；其次，要利用电视、广播、报刊等媒体，向大众普及环保知识，让人们了解环境保护的重要性，从而自觉加入环保事业当中。

四、生物监测技术在工业废水监测中的具体应用

生物监测技术主要是指利用微生物的代谢活动来实现对水质污染状况进行监测的技术。在水环境监测过程中，传统监测技术大多采用物理和化学方法，但由于这类技术需要借助大型设备才能够实现监测目的，所以无法达到实时监测废水质量的要求。

（一）项目概况

某化工公司位于上海市松江区，始建于1956年，占地面积约10万 m²，拥有员工800余人，主营业务为石油化工产品的生产、销售和经营。目前，该公司拥有年产500万吨PTA的生产能力，是国内主要的PTA生产商之一。2020年，该公司新建一套污水处理系统，总投资374.4万元，设计规模为2万 t/d，其中含化学需氧量（COD）、NH₃-N、SS、TP、TN五项常规水质指标，出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）一级A标准。根据设计方案，该系统采用活性污泥法，污水先经过预处理后进入生化池，再由好氧区、缺氧区和二沉池区分别完成对有机物、氮、磷等污染物的处理。系统每天处理水量约8000m³，出水经检测达标后排入市政管网。由于该项目处于试运行阶段，实际出水指标不稳定，因此需要对系统出水指标进行持续跟踪监测，及时发现系统运行过程中存在的问题，确保达标排放。但由于污水处理系统长期停运，缺乏有效的现场取样和检测条件，使得常规水质指标的监测结果不够准确。为此，有必要借助其他生物监测技术，进一步了解生化系统对各种污染物的处理效果。

（二）生物监测技术的应用

（1）废水从进水端开始采集，首先在3个不同的位置（进水

端、中段和出水端）取10L水样。然后将水分别移入1个250mL烧杯中，用玻璃棒搅拌混合均匀，加入4~6滴乙酸锌指示剂，再静置10min后观察颜色变化，此时可以明显看出上层溶液呈橙黄色；下层溶液呈绿色。通过比色法测定该水样的COD值，结果显示该水样COD浓度为29.37mg/L。然后采用滤膜过滤法收集活性污泥，并将其分成三部分进行取样。一部分用于总细菌计数，另一部分则用于总氮、氨氮、硝态氮、亚硝态氮以及溶解氧含量的监测，最后一部分作为基质分析用来检测总磷和总有机碳。实验结束后对滤膜进行冲洗，用蒸馏水反复清洗至无任何颜色残留为止，而后在通风橱内将滤膜自然晾干后保存备用。

（2）在生物传感器应用之前，首先要对所需检测的废水进行取样。为了避免污染样品，可以采用多次采集方式。每次采样之后需要及时对滤膜进行清洗。根据污染物检测需求，选择合适的仪器设备，并对其进行安装调试，保证其功能正常、运行稳定。①将传感器安装到反应器中，一般情况下是将其固定于反应器侧面^[5]。②对传感器进行校准，确保其能够正确反映出污水中实际含有的有机物含量。③设定好培养温度和湿度，维持在25~30℃左右，湿度控制在40%左右。④培养期间定期取出分析，若发现有死细胞等现象出现则表示试验失败，应重新培养。⑤建立数据库，针对不同废水进行对比分析，从而确定出最佳的水质参数值。⑥对装置进行维护，及时清理过滤器中的杂质，防止堵塞管道^[6]。⑦制定严格的规章制度，做好安全防护措施，确保监测人员的人身安全。⑧定期开展培训工作，帮助监测人员熟悉掌握相关理论知识及操作技能，提高工作效率，确保监测工作顺利完成。

五、结语

综上所述，工业废水是污染环境的主要原因之一，要想改善生态环境质量、提高人们的生活质量，必须加强对工业废水的监测工作。在实际工作中，应当结合当地实际情况，因地制宜地制定符合本地实情的监测方案，并在此基础上采用先进的监测仪器和监测方法进行检测。同时还要加大对专业人才培养力度，充分发挥其积极作用，为监测工作提供技术支撑。另外，还应当加强社会监督，不断完善相关法律法规，明确各方责任，共同维护生态环境安全。

参考文献

[1] 谭淑娟, 张巍. 探析废水环境监测的质量问题 [J]. 资源节约与环保, 2019, (05): 58.
[2] 孟林华. 简述城市废水环境监测的治理措施及对策 [J]. 皮革制作与环保科技, 2023, 4(23): 139-141.
[3] 崔庆帅, 公立军, 段良俊. 环境监测视角下现代工业废水废气的治理方法探究 [J]. 皮革制作与环保科技, 2023, 4(12): 12-14.
[4] 刘爱萍, 马亚娟. 生物监测技术在工业废水监测工作中的作用及实践运用 [J]. 皮革制作与环保科技, 2022, 3(16): 9-11.
[5] 修海霞. 工业废水监测工作中的生物监测技术分析 [J]. 中国高科技, 2022, (09): 121-123.
[6] 施启峰. 工业废水监测面临的问题及其应对策略探讨 [J]. 农家参谋, 2020, (11): 143.

水利工程对区域经济发展的影响分析

孙新¹, 李毅², 孙思³, 顾浩然⁴, 朱昊⁵

1. 江苏淮阴水利建设有限公司, 江苏 淮安 223000
2. 淮安市水利勘测设计研究院有限公司, 江苏 淮安 223000
3. 江苏淮阴水利建设有限公司, 江苏 淮安 223000
4. 淮安市水利勘测设计研究院有限公司, 江苏 淮安 223000
5. 淮安市水利工程建设管理服务中心, 江苏 淮安 223000

摘 要： 水利工程通过改善灌溉条件、防洪减灾和优化水资源配置，对区域经济发展起到了重要的推动作用。完善的水利设施不仅提高了农业生产效率，还促进了工业和服务业的发展，带动了区域经济的整体提升。同时，水利工程的建设和运营也提供了大量就业机会，改善了当地居民的生活水平。研究探讨了水利工程对区域经济发展的具体影响机制，并分析了不同类型水利工程的经济效益差异，为政策制定提供了科学依据。

关 键 词： 水利工程；区域经济；灌溉条件；防洪减灾；水资源配置

Analysis of the Impact of Water Conservancy Projects on Regional Economic Development

Sun Xin¹, Li Yi², Sun Si³, Gu Haoran⁴, Zhu Hao⁵

1. Jiangsu Huaiyin Water Conservancy Construction Co., Ltd. Huai'an, Jiangsu 223000
2. Huai'an Water Conservancy Survey and Design Research Institute Co., Ltd. Huai'an, Jiangsu 223000
3. Jiangsu Huaiyin Water Conservancy Construction Co., Ltd. Huai'an, Jiangsu 223000
4. Huai'an Water Conservancy Survey and Design Research Institute Co., Ltd. Huai'an, Jiangsu 223000
5. Huai'an Water Conservancy Construction Management and Service Center, Huai'an, Jiangsu 223000

Abstract： Water conservancy projects play a crucial role in promoting regional economic development by improving irrigation conditions, preventing and reducing floods, and optimizing water resource allocation. Well-designed water conservancy facilities not only enhance agricultural production efficiency but also facilitate the growth of the industrial and service sectors, driving overall regional economic improvement. Additionally, the construction and operation of these projects provide numerous job opportunities and improve the living standards of local residents. This study explores the specific impact mechanisms of water conservancy projects on regional economic development and analyzes the economic benefit differences among various types of water conservancy projects, providing a scientific basis for policymaking.

Keywords： water conservancy projects; regional economy; irrigation conditions; flood prevention and disaster reduction; water resource allocation

引言

水利工程作为基础设施建设的重要组成部分，对区域经济的发展具有深远影响。在全球气候变化和水资源短缺日益严峻的背景下，合理规划和建设水利工程变得尤为重要。水利工程不仅能提高农业生产效率，还能有效防控洪涝灾害，保障人们的生命财产安全。同时，水利工程的建设和运营带动了区域内相关产业的发展，提供了大量就业机会，提升了居民的生活质量。本篇将深入探讨水利工程对区域经济发展的多方面影响，旨在为相关政策制定提供理论依据^[1]。

一、水利工程与区域经济发展的关系

（一）水利工程对农业生产效率的提升

水利工程在农业生产中发挥了关键作用。通过修建灌溉系

统、蓄水工程和排水设施，水利工程有效地解决了农田水资源短缺和水土流失等问题，显著提高了农业生产效率。例如，灌溉系统能够保证农作物在干旱季节得到足够的水分供应，减少干旱对农业生产的不利影响。此外，合理的排水设施能够防止农田积

水，减少涝灾损失。水利工程还促进了农业现代化进程，使得农业生产更加高效和可持续。

（二）水利工程在防洪减灾中的经济效益

防洪减灾是水利工程的重要功能之一，对区域经济发展具有重要意义。洪水灾害不仅会造成严重的经济损失，还会对居民生活和社会稳定产生负面影响。通过建设堤坝、水库和防洪渠道等水利工程，可以有效地调节河流水量，控制洪水泛滥，减少洪涝灾害对区域经济的冲击。例如，在洪水多发的地区，水库可以在汛期蓄水，减少下游洪水压力，在旱季则可以补充水源，保障农业和工业用水需求。

（三）水利工程对工业和服务业发展的促进作用

水利工程的建设和运营不仅对农业产生积极影响，还对工业和服务业的发展起到了重要的推动作用。首先，水利工程提供了充足的工业用水，保障了工业生产的正常进行，特别是在水资源匮乏的地区，水利工程的重要性更加突出。其次，水利工程建设带动了区域内基础设施的改善，吸引了更多的投资，促进了地方经济的繁荣发展。水利工程在旅游业中的应用也是一个显著的例子，通过建设水库、人工湖和水上娱乐设施，水利工程丰富了旅游资源，吸引了大量游客，带动了地方服务业的发展。

二、水利工程对农业生产效率的提升作用

（一）灌溉系统的建设与农田水资源管理

灌溉系统是水利工程中最为关键的组成部分之一，对农业生产效率的提升具有直接影响。通过建设高效的灌溉系统，可以确保农田在干旱季节得到充足的水分供应，保障作物的正常生长。传统的灌溉方式往往存在水资源浪费和分配不均的问题，而现代灌溉技术，如滴灌和喷灌系统，则能够精确控制水量，最大限度地利用水资源。这不仅减少了水资源的浪费，还提高了作物的产量和质量。例如，在一些干旱半干旱地区，通过推广现代灌溉技术，农田灌溉效率显著提升，粮食产量也随之增加，为区域农业经济发展提供了坚实的基础^[2]。

（二）水利工程在防洪减灾中的农业效益

水利工程在防洪减灾方面的作用同样不可忽视。洪涝灾害对农业生产的破坏性极大，往往导致作物减产甚至绝收，给农民带来巨大的经济损失。通过建设堤坝、水库和防洪渠道等水利工程，可以有效调节河流水量，防止洪水泛滥，保护农田免受洪水侵害。例如，在汛期，通过水库的调蓄功能，可以减缓洪峰流量，降低下游农田被淹的风险^[3]。

（三）水土保持与农业生态环境改善

水利工程在水土保持和农业生态环境改善方面也起到了重要作用。水土流失是许多农业地区面临的严峻问题，不仅导致土地肥力下降，还引发了一系列生态环境问题。通过建设梯田、修建拦水坝和植被恢复等水利工程措施，可以有效控制水土流失，保护耕地资源。例如，梯田建设可以有效地减少坡地水土流失，提高土地利用率和生产能力。拦水坝和植被恢复则有助于保持水土，改善土壤结构，提高土壤肥力。这些措施不仅改善了农业生态环境，还促进了农业生产的可持续发展，增强了农田的生产力和抗逆性。如表1所示。

表1 不同水利工程措施的具体效益

水利工程措施	目的	农业生产的影响
现代灌溉技术（滴灌、喷灌）	精确控制水量，最大化水资源利用率	提高作物产量和质量，减少水资源浪费
堤坝、水库建设	调节河流水量，防洪控制	降低农田被洪水侵害的风险，保障旱季灌溉需求
梯田建设、拦水坝和植被恢复	控制水土流失，保护耕地和改善生态环境	提高土地利用效率，改善土壤结构和肥力，增强农田生产力

水利工程在提升农业生产效率方面的关键作用，并通过具体措施揭示了对农业生产带来的正面影响。通过这样的展示方式，可以帮助读者更加直观地理解水利工程的多重益处及其在农业发展中的重要性。

三、水利工程在防洪减灾中的经济效益分析

（一）减少洪涝灾害带来的直接经济损失

洪涝灾害对区域经济的破坏性极大，尤其是在农业、基础设施和居民生活等方面。水利工程通过建设堤坝、水库、蓄洪区等设施，有效地调节和控制洪水流量，减少了洪涝灾害发生的频率和强度，从而降低了直接经济损失。例如，堤坝的修建能够防止河水泛滥，保护沿河农田、居民区和工厂免受洪水侵袭。水库则可以在洪水期间蓄水，减缓下游的洪峰流量，防止洪水对下游地区造成的冲击。此外，蓄洪区的规划和建设，使得洪水有了暂时存放的地方，避免了洪水无序泛滥，减少了灾害造成的直接损失^[4]。

（二）提高区域经济发展的稳定性

水利工程在防洪减灾中的作用不仅体现在减少直接经济损失，还在于提高区域经济发展的稳定性。洪涝灾害的频繁发生往往导致区域经济发展不稳定，阻碍了长期的经济增长。通过科学规划和建设水利工程，可以有效预防和控制洪水灾害，保障区域经济的稳定运行。例如，在农业生产方面，稳定的防洪设施能够确保农田不受洪水侵袭，提高农业产量和收入，进而促进农业经济的持续发展。在工业和商业方面，可靠的防洪措施保障了企业的正常生产和经营活动，减少了因洪灾造成的停工和损失，提高了企业的经济效益。同时，稳定的经济环境也吸引了更多的投资，推动了区域经济的全面发展^[5]。

（三）增加就业机会与社会福利

水利工程的建设和维护不仅具有显著的防洪减灾功能，还为当地居民提供了大量的就业机会，提升了社会福利水平。水利工程项目通常需要大量的劳动力，从工程设计、施工到日常维护，涉及多个环节，为当地居民提供了长期稳定的就业机会。例如，在水库建设过程中，工程施工、设备安装和后期管理等环节都需要大量的劳动力，这不仅解决了部分地区的就业问题，还提高了居民的收入水平。此外，水利工程的实施还带动了相关产业的发展，如建筑材料供应、机械设备制造等，进一步增加了就业机会，促进了地方经济的繁荣发展。

四、水利工程对工业和服务业发展的促进作用

（一）提供充足的工业用水保障

水利工程通过建设水库、引水工程和供水网络，为工业生产提供了充足而稳定的水资源保障。工业用水是许多生产过程中的关键要素，尤其是在化工、冶金、造纸等高耗水行业。稳定的水资源供应不仅确保了生产的连续性，还提高了生产效率和产品质量。例如，在一些干旱缺水地区，通过建设水利工程引入外部水源，解决了当地工业发展的瓶颈问题，推动了区域工业化进程。同时，水利工程在保障工业用水的同时，也为企业节约了水资源调度和管理成本，提高了经济效益^[6]。

（二）改善基础设施和投资环境

水利工程的建设和完善显著改善了区域内的基础设施，提升了投资环境，吸引了更多企业和资本进入。水利工程不仅仅是单纯的水利设施，它们往往伴随着公路、桥梁和电力等基础设施的同步建设，这些综合性的基础设施建设极大地改善了区域的交通运输和能源供应条件，降低了企业的运营成本。例如，通过水利工程的综合开发，某些偏远地区的交通条件得到了极大改善，物流成本降低，产品市场竞争力提升，吸引了更多企业前来投资设厂，带动了地方经济的快速发展。良好的基础设施和投资环境成为吸引外资和促进本地企业发展的重要因素^[7]。

（三）促进服务业的多元化发展

水利工程不仅对工业发展有促进作用，对服务业的多元化发展也具有重要推动作用。以水库和人工湖为例，这些水利工程不仅提供了农业和工业用水，还创造了丰富的旅游资源，带动了旅游业的发展。例如，通过开发水利景观、建设水上娱乐设施和度假村，吸引了大量游客，促进了酒店、餐饮、交通等相关服务业的繁荣。此外，水利工程的建设和管理也带动了工程咨询、设计、监理等专业服务行业的发展，为区域经济注入了新的活力。水利工程通过推动服务业的多元化发展，不仅增加了经济效益，还提升了居民的生活质量。如表2所示。

表2 水利工程对工业和服务业的主要贡献

水利工程措施	目的	对工业和服务业的影响
水库、引水工程和供水网络建设	提供稳定的工业用水资源	保障高耗水行业如化工、冶金的生产连续性；提高生产效率和产品质量
基础设施同步建设（公路、桥梁等）	改善区域交通运输和能源供应条件	降低运营成本，提升地区的投资吸引力，促进地方经济发展
水库和人工湖的开发	创造旅游资源和提供多元化服务业的机会	促进旅游业及相关服务业（如酒店、餐饮）的繁荣；推动专业服务行业如工程咨询的发展

水利工程在促进工业和服务业方面的多重角色和益处，帮助读者更全面理解这些工程在经济发展中的关键作用。通过这样的展示方式，可以有效地传达水利工程如何通过多个途径支持和加强地区的工业化和服务业多元化发展。

五、水利工程建设与区域就业和生活水平的改善

（一）提供大量就业机会

水利工程的建设和运营为当地居民提供了大量的就业机会，从工程设计、施工到日常维护，涉及多个环节，创造了多种类型

的岗位。例如，在水库和堤坝建设过程中，需要大量的工人、技术人员和管理人员，这些岗位为当地居民提供了稳定的收入来源。同时，水利工程的运营和维护也需要持续的劳动力投入，如水质监测、设备维护和管理工作，这些都为当地劳动力市场提供了长久的就业机会。通过解决就业问题，水利工程有效地改善了当地居民的经济状况和生活水平^[8]。

（二）带动相关产业发展

水利工程不仅直接创造了就业机会，还通过带动相关产业的发展，间接增加了就业岗位。例如，水利工程建设需要大量的建筑材料、机械设备和技术服务，这些需求推动了建筑材料供应、机械制造和工程咨询等相关产业的发展。此外，水利工程建设往往伴随着基础设施的改善，如道路、桥梁和电力设施的建设，这些综合性的基础设施建设进一步带动了区域内的经济活动，创造了更多的就业机会。通过促进相关产业的发展，水利工程为区域经济的繁荣提供了重要支撑。

（三）提升居民生活水平

水利工程的建设和运营不仅直接带动了就业，还通过改善基础设施和生活条件，提高了居民的生活水平。水利工程改善了农业灌溉条件，保障了粮食生产，提高了农民的收入水平。同时，水利工程还改善了居民的饮水条件，提供了更加稳定和优质的生活用水，提升了居民的健康水平。此外，水利工程带来的防洪减灾效益，减少了自然灾害对居民生活的影响，保障了生命财产安全^[9]。

六、结语

水利工程对区域经济和社会发展的影响深远。通过提供大量就业机会、带动相关产业发展和提升居民生活水平，水利工程在改善当地经济状况和社会福利方面发挥了关键作用。同时，水利工程的建设和运营也为农业、工业和服务业提供了坚实的支持，促进了区域经济的全面繁荣。科学规划和合理建设水利工程，不仅能够有效应对水资源短缺和洪涝灾害，还能显著提升区域的综合竞争力^[10]。

参考文献

[1]刘本琪,李满营.水利工程对于区域经济发展的影响研究[J].水利水电科技进展,2022,42(01):105-106.
[2]王亚迪.区域水资源与经济社会均衡发展及市场机制研究[D].郑州大学,2017.
[3]唐建国.滹沱水库建设对区域发展的影响研究[D].湖南农业大学,2014.
[4]巨栋.水资源约束下我国南北地区经济增长差异研究[D].四川大学,2022. DOI:10.27342/d.cnki.gsedu.2022.000012.
[5]高镜.西部经济发展中的水资源承载力研究[D].西南财经大学,2009.
[6]杜鹏.宁夏经济空间结构与用水空间结构耦合关系研究[D].西北师范大学,2005.
[7]戴琨.开发性移民投资对库区区域经济促进作用研究[D].湖北省社会科学院,2016.
[8]巨栋.水资源约束下我国南北地区经济增长差异研究[D].四川大学,2022. DOI:10.27342/d.cnki.gsedu.2022.000012.
[9]刘义龙.加快水利建设对区域协调发展的促进研究[J].灌溉排水学报,2023,42(02):150.
[10]陈媛媛.西部地区经济发展与水利建设投资的关系研究[D].西安理工大学,2019.

防汛抗旱与水旱灾害风险管理的探讨

章梅¹, 屠建²

1. 汉中市南郑区防汛抗旱指挥部办公室, 陕西 汉中 723102

2. 汉中市南郑区水利工作队, 陕西 汉中 723102

摘 要 : 自然灾害是危害人民生命财产安全的重点威胁, 以洪水和旱涝等灾害最为严重, 这也为防汛抗旱工作提出了新的挑战。聚焦现实情况, 当前防汛抗旱与水旱灾害风险管理工作中, 依然存在诸多问题, 可能对灾情的排除带来不利影响。本文将结合相关问题, 针对性提出提高防汛抗旱与水旱灾害风险管理的策略, 希望为相关人士带来切实帮助。

关 键 词 : 防汛抗旱; 水旱灾害; 风险管理; 存在问题; 提高策略

Discussion on Flood Control, Drought Relief and Risk Management of Flood and Drought Disasters

Zhang Mei¹, Tu Jian²

1. Office of Flood Control and Drought Relief Command, Nanzheng District, Hanzhong City, Hanzhong, Shaanxi 723102

2. Water Conservancy Work Team, Nanzheng District, Hanzhong City, Hanzhong, Shaanxi 723100

Abstract : Natural disasters are the key threats to the safety of people's lives and property, with floods and droughts being the most severe, which poses new challenges for flood control and drought resistance work. Focusing on the current situation, there are still many problems in the current flood control and drought resistance and water and drought disaster risk management, which may bring adverse effects on the elimination of disasters. This article will combine the relevant problems and put forward targeted strategies to improve flood and drought resistance and waterlogging and drought disaster risk management, hoping to bring practical help to relevant people.

Keywords : flood control and drought resistance; waterlogging and drought disasters; risk management; existing problems; improvement strategies

一、当前防汛抗旱和水旱灾害风险管理存在的问题

(一) 作人员防汛抗旱意识不强

工作人员防汛抗旱意识, 会在一定程度上影响防汛抗旱工作的落实。当前正是气候变化相对不稳定的年代, 极端天气出现的频率也逐渐增加, 即使从历史记录上看, 一些地区并没有较大汛情灾害, 工作人员也同样需要引起高度重视。但是聚焦于实际情况, 一些工作人员做了诸多工作, 但是由于没有切实见到汛情灾害, 导致未能深刻体会每项工作的重要意义。时间一长, 一些工作人员会感觉自身工作走形式特点相对明显, 没有树立防汛抗旱的应有意识。真正遇到汛情灾害时, 也无法在短时间内做出正确应对, 自救能力也难以达到应有标准^[1]。

(二) 防汛抗旱制度不完善

一些防汛抗旱单位即使依照上级单位要求, 落实相关工作, 但是在长久工作中, 未能加强对工作的总结, 也没有细化防汛抗旱工作要求, 相关工作要求依然是一片空白。也存在一些单位, 未能重视防汛抗旱工作要求的转变, 对人员工作综合素质的提升重视程度不足, 导致一些工作制度, 在现代化工作要求面前, 显得过于陈旧。与此同时, 一些单位尽管能够意识到制度完善的作

用, 但是在制度制定层面过于想当然, 未能结合本单位可调配力量, 以及其他条件的限制, 导致制度可执行性大打折扣。

(三) 防汛抗旱信息化程度不足

信息化技术既能有效预警即将到来的汛情, 也能够方便工作人员相关工作的开展, 提高防汛抗旱工作效率。但是一些防汛抗旱单位, 由于区域经济发展水平不高, 上级部门无法拨出足够资金, 用以支持信息化系统的建设和完善。且在工作方式上, 一些单位人员未能认识到信息化技术的价值, 学习技术操作的意愿不强, 单位内部一些部门之间的信息交换渠道也并不畅通, 难以保证信息沟通的统一性。一些单位也并没有同步落实信息化人员培养工作, 导致防汛抗旱工作难以真正发挥信息化优势^[2]。

二、提高防汛抗旱与水旱灾害风险管理的策略

(一) 强化工作人员防汛抗旱意识

防汛抗旱单位应当注重宣传教育, 通过报纸、电视和广播等媒介, 开展宣传活动, 宣传并普及各类防汛抗旱知识, 使群众能够掌握防汛抗旱技能, 进而充分配合管理工作的开展。单位内部需要每隔一段时间, 组织抗灾的针对性演练, 使抗灾意识深入人

心。同时,防汛抗旱单位需要加强和社区的联系,组织居民,提高居民自救和互相救助的能力。

此外,为提高工作人员防汛抗旱积极性,单位需要重视奖励机制的构建,针对积极配合并取得成绩的个人和团队,应当不吝表彰,并在单位内树立榜样作用,引导其他工作人员。反之,对于引发严重后果,或者对防汛抗旱不重视的个人和团队,应当多加问责,树立工作人员较强的抗灾意识^[3]。

(二) 针对性完善防汛抗旱制度

防汛抗旱制度是各项工作的指导性文件,有助于防汛抗旱水平的提升。制度需要落实各方防汛抗旱工作主体的协调和调度,这样在灾情预警的第一时间,工作人员能够快速反应,并做出正确处置决策。与此同时,防汛抗旱制度需将队伍建设,以及群众宣传教育纳入到基本要求之中,令应急处置水平针对性提升,并重视群众宣传教育,使群众自救能力与灾害防范意识得到全面强化。制度需明确不同级组织结构,包括工作领导小组、指挥部、有关部门和具体执行队伍。各级组织人员需要各司其职,具体而言,工作领导小组需做好不同方面工作的统筹协调,完成总体工作计划制定的同时,对计划执行情况进行监督^[4]。工作指挥部除了对灾害监测预警进行负责,还需要对现场工作进行处置和调度。有关部门需要结合岗位要求,对专业工作负责,并对指挥部下达的工作指令,给予高度配合。抗旱队伍则需要落实具体处置工作,着力排除灾害隐患。

工作流程方面,制度需要对灾害监测预警、预案制定、预案响应及启动、调度协调和整改总结等做出明确规定。具体而言,工作人员应当每隔一段时间,对旱季、汛期水文、气象信息进行整理和汇总,判断后续灾情走势以及灾情可能带来的严重影响,并结合预测趋势和监测结果,完成防汛抗旱预案的制定。灾情一旦出现,应当第一时间将预案启动,并依照预案内容要求,组建抗旱队伍,落实物资调配。调度协调方面,工作人员应当结合灾情排除现场情况,合理配置各项资源,并对救援措施进行调整。救援工作结束之后,相关人员应当重视经验教训的总结,以及预案的后续完善,再遇到下次类似的灾情,可以做到快速反应,实现救灾效率的全方位提升。针对不同灾害,应急处置的重点方向也会存在一定差异。如果是干旱或暴雨导致的水污染,应当重视水源的净化。如果是河面水位上涨或暴雨导致的洪涝灾害,应快速进行排涝和抗洪工作。如果是气候干旱导致的森林火灾,应当准备足够的消防设备,方便救火工作的有序开展^[5]。

制度同样规定对防汛抗旱单位工作的监督检查要求,单位每隔一段时间需要进行系统考核评估,一旦发现问题,应当第一时间整改。同时需要对防汛抗旱单位的应急处置情况进行抽查,保证各项工作能够妥善落实。此外,防汛抗旱单位应当组织专家督导防汛抗旱工作的开展,并参考专家意见和建议,对防汛抗旱工作进行改进。

物资方面,防汛抗旱单位应当结合防汛抢险的工作需求,足

额储备防汛物资,并建立物资管理制度。防汛抗旱阶段各项工作所需的物资,都需要由领导小组集中管理和负责。所有用到的物资,都应当做入库记录,设置专门的仓库保管员,起到妥善保管的效果。仓库管理应保证账物一一对应,并依照规格、种类和用途等整齐堆放,保证存取的便利性和可靠性。若在防汛抗旱阶段需要追加物资,涉及物资增减等,需要由防汛小组统一整理并申请领导批准。所有防汛抗旱物资都应当有专门用途,不能随意更改用途。物资的使用应当提前申请领导小组批准,领导小组需在书面文件上签字,个人或科室在未经允许的情况下不得擅自使用。如果涉及物资调用,仓库应当基于领导小组的指令,保证发放工作的统一进行^[6]。发放之后应当对数量进行充分核对,对于遗漏情况应及时补充,避免数量和品种出现错误。在紧急情况下,可以先通过电话联系,后续再补办书面申请记录,方便后续结算。防汛抗旱工作结束之后,仓库应当统计物资发放情况,并尽力做好物资的回收工作,并注重手续办理,以便于后续结算。防汛储备物资应当以年度为单位进行核算和结算,结合实际需求,以及当年余留的物资情况,做好下年度物资添置计划^[7]。

(三) 着力提升防汛抗旱信息化水平

当前技术发展背景下,各类信息技术,包括人工智能、物联网、大数据、云计算等,也能够为防汛抗旱技术的优化带来新的契机。防汛抗旱单位应当树立高度信息化意识,建设并完善防汛抗旱工作系统,涵盖更多内容,保证技术的先进性,从而全方位提升防汛抗旱工作的智能化水平。建设目标旨在实现技术资源到实际应用方向的转变,从原有顶层设计转变到底层构建,令信息化系统可以增强自身问题处理和解决的能力,达到自主学习的效果,从而满足防汛抗旱工作的现代化要求。

信息化建设的工作具体而言,主要包括以下几方面:首先,需要树立对信息技术的重视程度,依托于人工智能、大数据、云计算等技术的优势,做好信息化建设规划,对当前防汛抗旱工作重点和难点进行梳理,落实智能化顶层设计,依照顶层设计,完成智能化应用方案的制定。其次,在传统识别方法的基础上,应重点建设符合智能化要求的识别和感知体系。这就需要相关人员,能够发现并活用各类信息技术优势,提高信息采集的智能化水平,一旦遇到汛情,暴雨天等,系统可以从速对相关信息做出判断,并通过数据库收集和储存信息,强化预警和识别险情的能力^[8]。另外,在传统防汛抗旱工作基础上,还需要重视各类信息化设施的建设。在有线监测设备的基础上,还需要发挥卫星网络的监测优势,集成技术,保证应急通信通道通畅。针对各类洪水灾害,包括泥石流、山洪、暴雨等,需要建立智能感知系统,系统需要参考历年数据,明确即将要采取的防汛抗旱方法。同时需要基于大数据技术模型,做智能化预测,完成洪涝计算模型的建立,从而达到准确预警的目的。最后,在汛情灾害易于出现的区域,应当针对性开展试点工作,收集试点灾害防治的相关信息,以供后续同类型灾害防治工作的开展,保证防汛抗旱工作质

量^[9]。

需要注意的是，技术的应用主体始终是人，因此在引进和使用信息化技术的同时，也不能忽视对人员的培养。培养重点需提高工作人员的信息素养，工作人员需树立较强的信息意识，提高学习各类信息化技术，以及操作信息化系统的积极性。防汛抗旱单位也需要树立人才观念，构建并完善现有人才选拔机制，如果需要外部招聘，则需要将人才的信息化素质，作为重要考核点。久而久之，就可以实现人才团队的建设，扩充人才数量^[10]。

三、结束语

综上所述，当前防汛抗旱与水旱灾害风险管理存在的问题，主要集中于人员意识不强，制度不够完善，以及信息化程度不足等方面，值得相关单位高度重视。防汛抗旱单位应当加强宣传，树立人员较强的防治观念，并着重完善制度，引进信息技术，培养信息化人才，从而提高防汛抗旱与水旱灾害风险管理水平。

参考文献

[1] 郑社余. 高质量做好新时期水旱灾害防御工作探讨 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2022(34): 127-129.

[2] 刘业森, 陈胜, 刘媛媛, 等. 近年国内防洪减灾信息技术应用综述 [J]. 中国防汛抗旱, 2021, 31(1): 48-57.

[3] 刘洪伟, 霍风霖, 马丰斌. 牢记水旱灾害防御时代使命 秉承防洪抗旱减灾为民初心 ——首都水旱灾害防御工作实践与展望 [J]. 北京水务, 2021(3): 32-36.

[4] 吴继元. 基于云南省水旱灾害风险普查成果和经验的水旱灾害防御工作建议 [J]. 中国防汛抗旱, 2024, 34(2): 79-83.

[5] 牛芳鹏, 张江辉, 白云岗, 等. 新疆洪水灾害风险区划编制实践与思考 [J]. 水利规划与设计, 2024(3): 19-23.

[6] 何伟. 新形势下防汛抗旱及水旱灾害防御信息化建设探讨——以秦州区天水镇为例 [J]. 农业灾害研究, 2023, 13(7): 314-316.

[7] 孙皓, 张扬, 陈洪飞. 山洪灾害预警预报手机指令集成策略研究——以浙江省金华市金华江流域为例 [J]. 江西水利科技, 2022, 48(5): 351-353.

[8] 刘业森, 刘昌军, 郝苗, 等. 面向防洪“四预”的数字孪生流域数据底板建设 [J]. 中国防汛抗旱, 2022, 32(6): 6-14.

[9] 黄瑞, 顾小林, 苟胜国, 等. 基于数字孪生的水库运行管理技术研究及应用——以茶园水库为例 [J]. 绿色科技, 2022, 24(24): 251-257.

[10] 孟庆庆, 王军良, 薄伟伟, 等. 基于云河地球平台的数字孪生小浪底水利枢纽工程防汛调度系统建设 [J]. 水利信息化, 2024(2): 80-86.

水利工程施工安全管理的现状分析与改进建议

庄敏¹, 张耀², 汤秀文³, 朱峰⁴, 赵慧⁵

1. 盱眙县水利工程建设管理服务中心, 江苏 淮安 211700
2. 盱眙县官滩水利服务站, 江苏 淮安 211707
3. 盱眙县官滩水利服务站, 江苏 淮安 211707
4. 清江浦区节约用水管理服务中心, 江苏 淮安 223000
5. 淮安市清江浦区杨庙电力排涝站, 江苏 淮安 223000

摘 要 : 水利工程施工安全管理在近年来取得了一定进展, 但依然面临许多挑战, 如安全管理体系不健全、施工现场安全隐患多、技术措施落实不到位等问题。随着新技术、新材料的不断应用, 传统的管理模式已无法满足现代水利工程安全管理的需求。因此, 亟需通过加强安全风险评估、提升施工人员的安全意识、加大新技术应用以及完善应急管理机制等手段, 推动水利工程施工安全管理的持续改进, 确保施工过程中的安全可控, 减少事故发生, 保障项目顺利进行。

关 键 词 : 水利工程; 施工安全; 安全管理; 风险评估; 新技术

Current Situation Analysis and Improvement Suggestions for Safety Management in Water Conservancy Construction

Zhuang Min¹, Zhang Yao², Tang Xiuwen³, Zhu Feng⁴, Zhao Hui⁵

1. Xuyi County Water Conservancy Engineering Construction Management Service Center, Huai'an, Jiangsu 211700
2. Xuyi County Guantan Water Conservancy Service Station, Huai'an, Jiangsu 211707
3. Xuyi County Guantan Water Conservancy Service Station, Huai'an, Jiangsu 211707
4. Qingjiangpu District Water Saving Management Service Center, Huai'an, Jiangsu 223000
5. Huaian Qingjiangpu District Yangmiao Electric Drainage Station, Huai'an, Jiangsu 223000

Abstract : Although safety management in water conservancy construction has made some progress in recent years, it still faces many challenges, such as inadequate safety management systems, numerous safety hazards on construction sites, and inadequate implementation of technical measures. With the continuous application of new technologies and materials, the traditional management model can no longer meet the needs of modern water conservancy project safety management. Therefore, it is urgent to promote continuous improvement of safety management in water conservancy construction by strengthening safety risk assessment, enhancing the safety awareness of construction personnel, increasing the application of new technologies, and improving emergency management mechanisms. This will ensure that safety is controllable during the construction process, reduce accidents, and ensure the smooth progress of the project.

Keywords : water conservancy engineering; construction safety; safety management; risk assessment; new technology

引言

水利工程作为基础设施建设中的重要组成部分, 其施工安全直接关系到工程质量、社会稳定以及人民生命财产安全。然而, 随着工程规模和施工环境的日益复杂, 传统的安全管理方式已无法适应新的挑战。施工过程中的安全隐患、技术手段的局限性及人员管理的不足, 成为亟待解决的问题。如何在现代化的水利工程中实现更高效、更安全的施工管理, 成为当前亟需探讨的课题。通过深入分析现状和寻找解决方案, 可有效提升施工安全水平, 确保工程顺利推进。

一、水利工程施工安全管理现状分析

水利工程施工安全管理现状存在诸多问题，亟待改进。首先，传统的管理体系尚未完全适应现代化水利工程的需求。当前，许多水利工程施工单位仍沿用过时的管理模式，依赖人工巡查和简单的安全检查，未能建立起系统化、信息化的安全管理平台。施工现场的安全隐患未能得到及时、有效的排查和解决，导致安全事故的发生率较高^[1]。

施工现场的安全管理存在不规范的现象。许多项目由于管理层对安全重视不足，导致安全制度的执行不到位，甚至出现了安全责任推卸和监管失职的情况。在一些大型水利工程中，项目部虽然制定了详细的安全管理方案，但在实际执行过程中往往由于资源、时间等因素的限制，缺乏严格的监督与跟踪，导致各项安全措施难以落实到位。

施工人员的安全意识普遍较低。尽管一些项目会定期开展安全培训，但多数培训内容较为形式化，难以在实际施工中发挥实际作用。施工人员由于缺乏足够的安全教育和风险意识，往往在高风险作业环境下忽视自身的安全防护，甚至在紧急情况下缺乏应急处理能力。另一方面，许多施工人员并未完全掌握现代安全技术和防护手段，依赖传统的操作方式，增加了发生事故的风险。

施工过程中技术措施的应用与安全管理的衔接不够紧密。随着科技进步，新型安全技术如智能监控系统、风险预警技术等逐渐在其他领域得到应用，但在水利工程施工中，许多项目仍旧缺乏先进技术的支持，未能有效利用现代信息技术来提升安全管理水平。尽管个别项目尝试应用新技术，但由于技术培训不到位或设备更新滞后，导致技术的应用效果未能达到预期。

施工单位的应急管理较为薄弱。尽管各地水利工程普遍设有应急预案，但在实际操作中，预案的执行力度不够，且应急响应速度慢，往往难以及时应对突发事件。缺乏对突发事件的高效处置能力，也大大增加了事故的后果。

二、影响水利工程施工安全的主要因素

影响水利工程施工安全的主要因素可以从多个角度进行分析，其中最为关键的因素包括管理体系、技术手段、人员素质和施工环境等。

水利工程施工安全管理体系不完善是影响安全的一个重要因素。许多施工单位存在安全管理机制不健全、职责划分不明确等问题。尽管部分项目制定了安全管理制度，但由于缺乏有效的监管和执行，导致各项安全措施无法落实到位。此外，部分项目的安全管理者缺乏足够的专业知识和管理经验，无法及时发现和应对施工过程中潜在的安全隐患，管理层对安全的重视程度不足，也让施工现场安全得不到有效保障^[2]。

施工现场技术手段的不足也是影响施工安全的一个重要因素。现代水利工程施工往往涉及复杂的土木、机械、电气等多个领域，但由于技术更新的滞后，许多项目仍未采用先进的安全技术手段，导致在施工过程中无法实现实时监控和风险预警。例如，智能监控系统、无人机巡查等现代技术在一些项目中得不到应用，安全数据的收集与分析也存在滞后现象，施工单位无法

第一时间掌握施工现场的安全状况，难以及时发现并消除安全隐患。

施工人员的素质直接影响到水利工程施工的安全性。施工人员的安全意识普遍较低，许多人对安全防护措施的重要性认识不足，尤其是在面对复杂危险的作业环境时，容易产生麻痹心理。一些人员未经过系统的安全培训，对现代安全技术的应用掌握不够，对各种安全防护设备的正确使用存在误解或操作不当的现象。此外，施工人员的流动性较大，新招工人员缺乏足够的安全教育，易造成安全管理漏洞，进一步增加了施工风险。

施工环境的复杂性也会对施工安全产生较大影响。水利工程通常涉及到高风险的作业环境，如大坝、泵站、隧道等区域的施工，这些作业环境对施工人员的安全要求极高，稍有疏忽就可能引发重大事故^[3]。例如，地下水位变化、施工区域的地质条件、气候变化等因素，都会对施工现场安全产生直接影响。施工中涉及的水土工程、爆破作业等也增加了施工的难度和危险性，这些环境因素往往容易被忽视，成为潜在的安全隐患。

施工过程中外部环境的不确定性，如天气变化、自然灾害等，也可能对施工安全造成影响。大雨、洪水、地震等极端天气或自然灾害的发生，往往会使得原本计划中的施工进度和安全措施受到干扰，增加了施工现场的危险。

三、新技术在水利工程施工安全中的应用

新技术在水利工程施工安全中的应用为提高安全管理水平和减少事故发生提供了强有力的支持。随着科技的不断进步，智能化、信息化技术逐渐渗透到水利工程施工中，为施工安全管理带来了显著的提升^[4]。

智能监控系统的应用极大地改善了施工现场的安全管理。通过安装智能摄像头、传感器等设备，施工单位能够实时监测施工环境的各项数据，如气候变化、地质条件、施工机械的运行状态等。智能监控系统能够对可能的安全隐患进行自动识别，并及时发出预警，提醒管理人员采取应急措施，防止事故的发生。尤其是在复杂的水利工程施工现场，智能监控系统能够有效弥补人工巡查的不足，保障安全管理的实时性和精准性。

无人机技术在水利工程中的应用为施工安全带来了全新的视角。无人机可以高效地进行空中巡查，特别是在高风险或不易接近的施工区域，利用无人机对工程进度、施工质量以及安全隐患进行检查，既避免了施工人员的高风险作业，又能及时发现潜在的安全问题。例如，在大坝、隧道等高危环境中，无人机能够实时传回高清图像和视频，帮助工程师快速评估现场状况并作出决策，从而有效降低施工风险^[5]。

建筑信息模型（BIM）技术在施工安全管理中的应用也逐步普及。通过 BIM 技术，施工单位能够在工程实施前对项目进行三维建模，精确模拟施工过程中的各类风险和隐患，提前制定应对措施。这一技术不仅帮助管理人员全面了解施工过程中的潜在安全问题，还能在施工阶段进行动态监控，确保安全管理措施的有效落实。同时，BIM 技术能够对施工现场的人员、设备进行实时调度和管理，减少因资源配置不当而引发的安全隐患。

四、水利工程施工安全管理体系的优化路径

水利工程施工安全管理体系的优化是确保施工安全、降低风险的关键。当前的安全管理体系虽然有所进展，但依旧存在不完善之处。通过从管理体制、技术应用、人员培训和监督机制等多个方面进行优化，可以有效提升安全管理水平，减少安全事故的发生^[6]。

优化管理体制是提升安全管理效率的基础。应建立健全以安全为核心的管理体系，确保施工全过程的安全责任明确，层级清晰。项目管理团队需要制定系统的安全管理方案，明确每一环节的安全职责，并通过现代信息技术手段建立施工安全数据平台，对施工现场的安全状况进行实时监控和数据分析。通过数据化管理，使得安全风险的识别和预防更加科学，管理层可以依据实时数据做出及时决策，提前排除安全隐患。

提升技术手段的应用是优化安全管理的重要路径。智能化技术的引入，如监控系统、无人机巡查、建筑信息模型（BIM）等，可大大增强安全管理的预见性和实时性。智能监控系统能够自动检测施工现场的异常情况，实时预警潜在的安全风险；无人机技术可以高效地检查难以到达的高风险区域^[9]，避免人工巡查带来的安全隐患；BIM技术则能够通过三维建模对工程进行风险模拟，提前识别施工过程中可能出现的安全问题，从而优化施工方案，降低安全风险。

强化施工人员的安全意识和技能培训至关重要。安全管理不仅仅依靠制度和科技，更需要施工人员的积极参与。应定期开展安全培训，通过理论学习与实操演练相结合，提高员工的安全素质和应急处置能力。利用虚拟现实（VR）技术进行模拟训练，使施工人员在虚拟环境中体验复杂危险的操作场景，提前熟悉应急预案，增强其实际操作能力。此外，施工现场的安全员要定期参与专业培训，提升他们对新技术和管理方法的掌握，确保能够有效落实安全管理措施^[7]。

建立完善的监督与考核机制是保障安全管理措施落地的关键。施工单位应建立多层次的安全检查制度，从项目管理人员到施工一线工人，每一个环节都要进行严格的安全检查与审核。定期开展第三方安全评估，及时发现安全管理中的漏洞和不足。通过建立奖惩制度，激励各方落实安全责任，提高全员的安全责任感和执行力。

五、提升水利工程施工安全的策略与措施

提升水利工程施工安全的策略与措施需要从多方面着手，结合管理创新、技术升级、人员素质提升以及现场监管等措施，构建全方位的安全保障体系^[8]。

建立健全的安全管理制度是提升施工安全的核心。安全管理必须贯穿整个施工周期，确保从项目立项到竣工验收的每个阶段都有严格的安全规范。在制度建设上，应完善安全责任制，明确各级管理人员、施工人员和承包商的安全责任，并确保责任落实到人。项目管理层应定期召开安全管理会议，评估施工现场的安全风险和隐患，及时制定相应的安全应对方案。此外，安全管理制度还需与时俱进，结合现代化技术手段，实时更新和调整，以应对不断变化的施工环境和潜在风险^[9]。

推广新技术的应用是提升施工安全的重要途径。随着信息化技术的快速发展，水利工程施工安全管理可以借助智能监控、无人机巡查、建筑信息模型（BIM）等技术手段，实现施工安全的可视化、动态化和精准化。智能监控系统通过实时数据采集和分析，能够及时预警施工过程中出现的安全隐患，减少安全事故的发生；无人机巡查不仅能高效监测高风险区域，还能减少人工巡查带来的危险；BIM技术可以在施工前进行三维建模，模拟施工过程中的潜在风险，并在施工过程中对每个环节进行实时监控与优化。这些技术手段的结合，提升了施工现场的安全管理水平，减少了人为疏忽和安全隐患^[10]。

强化施工人员的安全教育和培训，是提高施工安全的基础。施工人员是施工安全的直接执行者，他们的安全意识和技能水平直接影响到安全管理的效果。应定期组织全员安全培训，内容不仅涵盖基本的安全操作规程，还应加入新技术、新设备的使用培训，如智能监控设备、无人机操作等。此外，利用虚拟现实（VR）技术开展应急演练，使施工人员能够在模拟环境中体验复杂高风险作业，从而提高他们的应急响应能力和实际操作能力。加强安全教育和培训，能够有效提高施工人员的风险意识，确保其在复杂环境中能够正确识别和应对安全隐患。

六、结语

水利工程施工安全管理是确保工程顺利推进和人民生命财产安全的重要保障。通过完善管理体制、引入先进技术、提升施工人员的安全素质以及加强现场监管，可以显著提高施工安全水平。持续优化安全管理体系和采取有效的安全策略，不仅能降低事故发生率，还能提高工程施工的整体质量和效率。随着技术的不断进步和管理方法的创新，水利工程的施工安全将得到更加有力的保障，为社会经济发展做出积极贡献。

参考文献

- [1] 顾明. 浅谈水利工程施工安全管理 [J]. 现代职业安全, 2024(01): 52-53.
- [2] 耿娟. 水利工程施工安全管理标准化体系构建研究 [J]. 水上安全, 2023(15): 43-45.
- [3] 王彦. 水利工程施工安全管理分析 [J]. 水上安全, 2023(10): 163-165.
- [4] 何彦兵. 水利工程施工安全管理标准化探究 [J]. 大众标准化, 2023(03): 156-158.
- [5] 王晓晓. 农田水利工程施工安全管理措施研究 [J]. 黑龙江粮食, 2023(01): 54-56.
- [6] 余临颖. 水利工程施工安全管理分析 [J]. 工程建设与设计, 2022(18): 242-244.
- [7] 孟天琦. 水利工程施工安全管理问题探讨 [J]. 四川建材, 2022, 48(01): 222-223.
- [8] 蔡运明, 孟宪令, 秦夏辉. 水利工程施工安全管理实施 OHSMS 的基本理论初探 [J]. 水利水电快报, 2021, 42(S1): 64-66.
- [9] 李仲茂. 水利工程施工安全管理与控制 [J]. 中国高科技, 2021(04): 78-79.
- [10] 马小千. 水利工程施工安全管理的相关问题及应用策略 [J]. 智能城市, 2020, 6(22): 99-100.

磁粉探伤原理及其在水利工程检测中的质量控制因素

王银军

新疆水利水电勘测设计研究院有限责任公司，新疆 乌鲁木齐 830000

摘 要： 磁粉探伤检测是一种常用的无损检测方法，在水利工程质量检测中发挥着重要的作用。本文从磁粉探伤的基本原理出发，分析该技术的优势，阐述水利工程中磁粉探伤的基本步骤，并重点探讨影响水利工程磁粉探伤检测质量的各种因素，包括人员资格、设备质量、材料质量、检测工艺以及检测环境等方面的控制要点，为进一步提高水利工程磁粉探伤检测质量提供参考。

关 键 词： 磁粉探伤；无损检测；水利工程；质量控制

Principle of Magnetic Powder Flaw Detection and Its Quality Control Factors in Water Conservancy Engineering Detection

Wang Yinjun

Xinjiang Water Conservancy and Hydropower Survey and Design Research Institute Co., Ltd. Urumqi, Xinjiang 830000

Abstract： Magnetic particle flaw detection is a commonly used nondestructive testing method, which plays an important role in the quality detection of water conservancy projects. Starting from the basic principle of magnetic particle detection, analyzing the advantages of the technology, expounds the basic steps of magnetic particle detection in water conservancy project, and discusses the various factors affecting the quality of hydraulic engineering magnetic particle detection, including personnel qualification, equipment quality, material quality, testing process and detection environment, and provide reference for further improving the quality of magnetic particle detection in water conservancy project.

Keywords： magnetic powder flaw detection; non-destructive testing; water conservancy project; quality control

引言

水利工程作为国家基础设施建设的重要组成部分，其质量直接关系到工程的安全运行和使用寿命。为保障水利工程质量，在建设和运维过程中需要采用各种检测手段对工程的关键部位和薄弱环节进行全面检测。磁粉探伤作为一种常用的无损检测方法，凭借其直观、快速、灵敏度高等优点，在水利工程质量检测中得到广泛应用。本文将系统阐述磁粉探伤技术的原理和优势，介绍水利工程磁粉探伤的具体步骤，并重点分析影响检测质量的各种控制因素，为提高水利工程磁粉探伤检测质量提供有益参考。

一、磁粉探伤原理及优势

（一）磁粉探伤的原理

磁粉探伤是利用铁磁性材料的漏磁现象来检测材料表面和近表面缺陷的一种无损检测方法。当含有缺陷的铁磁性工件被磁化时，在缺陷处因磁阻增大而使磁力线发生畸变，在缺陷两端形成磁极，产生磁粉吸附。通过在工件表面喷洒磁粉或磁悬液，磁粉会在缺陷处聚集形成可见的磁痕指示，从而实现缺陷的检出。通过观察磁痕的形状、大小、方向等特征，可对缺陷的性质和严重程度做出判断^[1]。

（二）磁粉探伤的优势

1. 直观性强

磁粉探伤技术最显著的优点之一就是检测结果具有极强的直

观性。当工件存在表面或近表面缺陷时，施加磁场后，缺陷处因磁导率的不连续性而产生磁漏场，吸附磁粉形成可见磁痕。通过肉眼或放大镜观察磁痕的形状、尺寸、方向和分布特征，即可直接判断缺陷的类型、位置、大小和延伸方向等关键信息，为缺陷的定性定量分析提供直观依据^[2]。与其他一些无损检测方法相比，磁粉探伤不需要复杂的信号处理和数据分析，检测结果判读直截了当，大大降低对操作人员专业技能的要求，提高检测效率和可靠性。

2. 适用性广

磁粉探伤技术具有良好的适应性，对被检工件的材质、形状和尺寸要求相对宽松。只要是铁磁性材料制成的工件，如碳钢、低合金钢、铸铁等，都可以采用磁粉探伤进行有效检测。同时，由于磁粉探伤是一种无接触检测方法，对工件表面的粗糙度不敏

感,即便存在一定的锈蚀、氧化皮或应力集中,也不会显著影响检测效果。此外,磁粉探伤设备轻便灵活,现场实施方便,特别适合用于大型构件和复杂部件的抽样检验或全面检查,如水利工程中的闸门、启闭机、压力钢管、钢板桩等关键结构,都能方便地开展现场磁粉无损检测,满足不同工程对象和检测需求的适用性要求。

3. 安全性高

与射线探伤等其他无损检测方法相比,磁粉探伤的安全性能更为突出。磁粉探伤所使用的磁粉材料和悬浮液对人体无毒无害,不会对作业人员的身心健康造成危害。在检测过程中也不会产生放射性物质、有毒气体或其他危险品,对作业环境无污染。磁粉探伤设备所采用的磁化方式通常为低压电流通过线圈产生磁场,安全可靠,不会引发漏电、起火等安全事故。对被检工件而言,磁粉探伤属于真正的无损检测,不会对工件的组织结构和性能产生任何损伤和不利影响,检后工件可直接投入使用而不必修复^[3]。因此,在各种工程检测场合,尤其是现场作业环境,磁粉探伤凭借其高度的安全性和无损性,正越来越多地得到应用。

二、水利工程中磁粉探伤检测的基本步骤

(一) 检测准备

磁粉探伤检测的首要步骤是做好充分的准备工作。首先要对被检工件进行必要的表面处理,清除影响磁粉运动和观察的各种污物,如油脂、锈蚀、焊渣、氧化皮等。处理后的待检表面应洁净光滑,无明显凹凸,同时保持一定的粗糙度,以利于磁粉吸附。对于焊缝探伤,需要将焊缝及其两侧至少25mm范围内打磨到金属光泽。同时要认真分析工件的材质、形状、尺寸特点,预判可能存在的缺陷类型、方位、数量,据此选择合适的磁化方式、磁粉类型和探伤器材,制定周详的检测方案。通过前期准备,为后续高效、高质地开展探伤工作奠定基础。

(二) 磁化过程

选定磁化方式后,就要对工件施加磁场,使其磁化到接近或达到磁饱和状态。具体施磁时,要严格控制电流、频率、极距等参数,提供足够强度的磁场。对于几何形状复杂的工件,磁化布置要因地制宜,必要时可采用多组线圈配合。需要注意的是,施磁时要同步喷施磁粉悬液,使其均匀覆盖工件表面并充分渗透缝隙。喷粉时间一般持续1~3秒,磁化开始后继续喷粉,直至磁粉运动停止。观察磁粉在液体载体中的运动情况,如呈现规则的定向流线,且能在缺陷处快速聚集束,则表明磁化效果理想。如果磁粉杂乱无章或聚集缓慢,则要考虑是否存在欠磁或过磁,及时调整施磁参数。反复几个循环后,仔细观察工件各处的磁痕分布情况,初步判断是否存在可疑缺陷指示。

(三) 缺陷观察与记录

待磁粉运动基本停止后,就要在良好的光照条件下,借助放大镜等工具,仔细检查工件表面的磁痕分布情况,判断其是否预示着真正的缺陷。首先要满足照明的基本要求,一般自然光照度

不低于1000lx。然后要对照图谱,观察磁痕的形态、尺寸、数量、位置等特征,初步判别缺陷类型。除观察缺陷的定性特征外,还要尝试测量缺陷的定量参数,如长度、宽度、深度等,用于判定缺陷的严重程度。一旦发现可疑磁痕,都要如实记录下来,绘制磁痕分布图并拍照存档,必要时可使用不同颜色笔在工件上描绘和标注,以备复查。记录内容要完整规范,至少包括工件编号、材质、规格、检测日期、检测人员、检测设备、检测参数、缺陷类型、缺陷数量、最大缺陷尺寸、缺陷分布位置、现场环境等要素^[4]。

(四) 结果评估与后续处理

缺陷观察和记录完成后,并非检测过程的终点。探伤人员还需要对照验收标准和图谱,对观察到的磁痕进行分级评定。评定结果要及时反馈给工艺、设计、制造等相关部门,商讨后续改进措施。检测报告应详细记录缺陷情况和质量评定结果,可作为产品质量的重要依据。检测完成后还要及时清理工件表面残留的磁粉等污物,必要时进行消磁处理。探伤设备和器材也要复位、清洁、维护,为下一轮检测做好准备。定期对探伤过程开展复盘分析,查找薄弱环节,优化工艺流程,才能不断提高探伤质量,更好地服务于水利工程质量安全。

三、磁粉探伤在水利工程检测中的质量控制因素

(一) 人员资格的控制

磁粉探伤质量的稳定与提升离不开一支素质过硬、技术精湛的检测队伍。检测人员是磁粉探伤的直接实施者和判断者,其专业水平和职业素养直接影响检测过程的规范性和检测结果的可靠性。为保证检测人员具备相应的理论知识和实践技能,必须建立健全的人员资格管理制度。

一般来说,磁粉探伤人员可分为初级、中级、高级三个等级^[5]。初级人员经培训合格后,可在有经验人员指导下从事设备操作、磁粉施加、磁痕观察等辅助性工作;中级人员需要具备一定的的工作经验,能够独立完成常规检测任务,判读和记录检测结果;高级人员要求具有丰富的一线检测和管理经验,能够制定和优化检测工艺,指导和审核检测报告,处理疑难问题等。为保证检测人员持续符合资格要求,应定期组织理论学习、技能训练和资格复审,同时配合做好职业健康管理,每年至少进行一次视力检查,对色觉、视敏度等指标提出硬性要求,发现问题及时调整工作岗位,确保人员素质满足检测工作需要。

(二) 设备的质量控制

磁粉探伤设备是开展检测工作的物质基础,其性能的优劣直接关系到检测质量的高低。因此,必须加强对磁粉探伤设备及其附属装置的质量控制,定期开展计量检定和性能校验,及时淘汰落后设备,更新先进装备,为检测工作提供可靠保障。根据有关标准和规范要求,磁粉探伤机应定期测试饱和电流、剩磁强度、通电时间、紫外光辐照度等关键参数,偏差超出允许范围的要及时调整或维修。

用于缺陷评估的尺寸测量工具应送有资质的计量机构校准,

并在检测前进行验证。对磁轭、线圈等附件进行定期检查和性能确认，及时更换磨损或损坏部件。值得一提的是，对于测量磁场强度的高斯计等专用仪器，要严格管控使用环境条件，每半年校准一次，控制示值误差不超过10%^[6]。通过建立设备台账和维护记录，规范设备操作和维护流程，可有效延长设备使用寿命，降低检测成本，提高检测质量，为水利工程安全提供坚实保障。

（三）材料的质量控制

磁粉探伤质量的稳定性还与检测耗材的质量密切相关。磁粉是显示缺陷的关键物质，其粒度、颜色、磁性能等直接影响缺陷检出的灵敏度和可靠性。悬浮液则是磁粉赖以搬运和分散的载体，其粘度、润湿性、耐蚀性等也与检测质量休戚相关。因此，必须加强对磁粉和悬浮液的质量控制，建立可靠的供应链管理机制。

供货时，要向厂家索取质量合格证明和相关检测报告，进行全项验收或抽样复检。入库前，质检人员要对磁粉的外观、流动性、颜色、磁性等感官指标进行目测，并留存样品，作为后续质量跟踪和污染对比的基准。对于悬浮液，要采用目视法、比重计法等手段检查其浓度、稳定性、抗蒸发性等性能指标，必要时送专业机构进行成分分析和性能测试^[7]。对于使用中的耗材，要定期评估其检测效果，通过使用对比试块测试磁痕质量，对照验收标准确认是否需要更换。通过严把采购关、储存关、使用关，确保检测材料始终处于最佳状态，从源头上控制检测质量。

（四）检测工艺的控制

磁粉探伤的质量控制还体现在严谨规范的检测工艺和操作规程上。由于水利工程构件种类繁多，缺陷特征各异，需要针对不同检测对象和目的，制定个性化的检测方案和质量控制措施^[8]。检测工艺文件的编制要符合相关标准规范，由有资质、有经验的工程技术人员主持，经审核批准后组织实施，并根据实际情况持续优化改进。

现场检测时，要严格遵照规程要求进行每一道工序，将影响检测质量的各项因素控制在合理范围内。如磁化方式的选择要综合考虑工件的材质、形状、尺寸以及缺陷的类型、方位等因素，

合理设置磁化电流、频率、角度、时间等参数，避免欠磁或过磁。两次检测之间应留有一定的重叠区，但重叠度不宜过大，以提高检出概率和检测效率。唯有如此，才能切实提高检测效率和检出率，规避或减少漏检误判，为工程质量安全提供可靠的判断依据。

（五）检测环境的控制

检测环境条件的优劣直接制约着磁粉探伤的灵敏度和可靠性，是影响检测质量的又一重要因素。照明和温湿度是环境控制的两大核心要素^[9]。照明方面，要根据采用的磁粉类型，合理设置光源种类、数量、功率和布局方式，提供均匀充足的可见光或紫外光照明，避免眩光和阴影的干扰。一般要求白光照度不低于1000lx，紫外光在距表面380mm处的辐照度不低于1200 μ W/cm²。要定期检查和更换光源，确保其亮度和性能达标。

温湿度方面，要尽量将检测场所设置在温度适宜、湿度适中、洁净卫生的环境中，必要时配备恒温恒湿设施^[10]。定期开展环境综合治理，及时清扫积尘，去除杂物，消除噪音，改善通风，为检测工作营造安全文明、规范有序的环境氛围。同时加强对环境条件的在线监测和考核，对偏离控制指标的情况及时预警和处置，把环境因素引起的检测质量问题消除在萌芽状态，切实维护检测工作的科学性和公正性。

四、结束语

磁粉探伤作为一种直观、快速、灵敏的无损检测方法，在水利工程质量检测中具有广阔的应用前景。但是，要充分发挥磁粉探伤的优势，必须严格控制检测的各个环节和影响因素，形成规范、完善的质量保证体系。这需要检测单位增强质量意识，完善管理制度，加强人员培训，改进工艺装备，优化作业环境，切实提高检测数据的准确性、可靠性和可追溯性。只有不断提升磁粉探伤的检测水平和质量控制能力，才能更好地服务于水利工程建设，为保障工程安全和促进国民经济发展做出应有贡献。

参考文献

- [1] 甘仲文. 磁粉探伤原理及其在水利工程检测中的质量控制因素 [J]. 大众标准化, 2023(13): 172-174.
- [2] 邓娟丽. 水利工程检测中的管理问题及改善对策分析 [J]. 2023(19): 150-152.
- [3] 张涛. 关于水利工程检测中的管理问题及改善对策分析 [J]. 中文科技期刊数据库 (全文版) 工程技术, 2021(7): 2.
- [4] 王春燕. 水利工程检测中的管理问题及对策 [J]. 水电水利, 2021, 5(5): 1-2.
- [5] 王金锋. 水利工程进度管理的影响因素及改善策略 [J]. 水上安全, 2023(4): 191-193.
- [6] 潘付忠. 水利工程进度管理的影响因素及改善策略 [J]. 砖瓦世界, 2020(60): 0194-0194.
- [7] 代世超, 刘婷. 水利工程施工管理现状和改善策略 [J]. 水电水利, 2022, 6(2): 146-148.
- [8] 黄泽光. 水利工程中无损检测技术的应用探究 [J]. 水上安全, 2023, (08): 157-159.
- [9] 赵鹏飞. 无损检测技术在水利工程质量检测中的应用研究 [J]. 低碳世界, 2022, 12(12): 76-78.
- [10] 葛祥凯, 张悦, 杨昊, 等. 磁粉检测技术应用及发展 [J]. 无损探伤, 2022, 46(02): 18-22.

中小型水利工程围堰设计与施工的优化

黎汝婷¹, 刘玄²

1. 湘阴城发勘察设计院有限公司, 湖南 岳阳 414600

2. 湖南省湘阴立业水利建筑安装有限责任公司, 湖南 岳阳 414600

摘 要： 中小型水利工程正逐步成为社会经济发展的核心驱动力。本研究立足于实际工程项目，致力于在提升工程质量与效率的同时，兼顾生态可持续性需求，深入探索围堰设计与施工的高效方法。从围堰的功能定位、规模设计至材料选择，每一环节均经过精心打磨与优化。通过引入系统工程理论，我们构建了一种目标导向的施工优化模型，将围堰施工视为一个连贯的整体过程，而非孤立的施工活动。实际工程对比验证显示，该方法不仅显著提高了围堰工程质量，还有效缩短了施工周期并降低了成本。这一成果不仅彰显了设计与施工融合的成功实践，也为我国中小型水利工程在设计

关 键 词： 中小型水利工程；围堰设计；一体化优化；系统工程理论；综合成本降低

Optimization of Cofferdam Design and Construction in Small and Medium-sized Water Conservancy Projects

Li Ruting¹, Liu Xuan²

1. Xiangyin Chengfa Survey and Design Institute Co., Ltd. Yueyang, Hunan 414600

2. Hunan Xiangyin Liye Water Conservancy Construction and Installation Co., Ltd. Yueyang, Hunan 414600

Abstract： Small and medium-sized water conservancy projects are gradually becoming the core driving force of social and economic development. Based on actual engineering projects, this study aims to explore efficient methods for cofferdam design and construction, while improving engineering quality and efficiency, and taking into account the needs of ecological sustainability. Every aspect, from the functional positioning and scale design of the cofferdam to the selection of materials, has undergone careful refinement and optimization. By introducing systems engineering theory, we have constructed a goal-oriented construction optimization model that treats cofferdam construction as a coherent, integrated process rather than isolated construction activities. Comparative verification through actual engineering projects shows that this method not only significantly improves the quality of cofferdam engineering but also effectively shortens the construction period and reduces costs. This achievement not only demonstrates the successful practice of integrating design and construction but also opens up a new path for the simultaneous improvement of design and construction in China's small and medium-sized water conservancy projects.

Keywords： small and medium-sized water conservancy projects; cofferdam design; integrated optimization; systems engineering theory; comprehensive cost reduction

引言

中小型水利工程在经济社会发展中扮演着至关重要的角色，为经济发展提供必要的物质资源，保护生态环境，维护社会稳定。围堰作为此类工程中常见的设施，其设计与施工的优化对于提升工程质量与效率至关重要。然而，当前围堰设计与施工优化方法多聚焦于单一环节，缺乏整体优化与协同性的考量。本研究以实际工程案例为基础，聚焦于围堰设计的关键环节，探索围堰设计与施工的一体化优化方法。借助系统工程理论，提出目标导向的施工优化模型，旨在将围堰施工转化为有序且连续的过程。本研究旨在为中小型水利工程的设计与施工提供新的理论与实践指导，促进工程质量的全面提升。

一、中小型水利工程的重要性与挑战

(一) 中小型水利工程在国家经济发展中的作用

小型水利工程在推进乡村经济发展中日益凸显其重要性。灌

溉渠道等水利设施不仅显著提升了农田的灌溉效率，为粮食稳产提供了有力保障，还直接促进了农民收入的稳步增长。这些水利工程在改善农村生态环境方面也发挥着积极作用。通过修建水库和水渠，优化了水资源的分配，有效缓解了因缺水或水患带来的

作者简介：黎汝婷（1989.02-），女，本科，中级职称，研究方向：中小型水利工程围堰设计与施工的一体化优化。

困扰，使农业在面对自然灾害时更具韧性。尤为重要的是，随着这些水利工程的实施，乡村经济展现出了新的活力。水产养殖和旅游等行业逐渐兴起，为农村经济带来了更多元的发展机遇。这种多维度的正面效应，使得中小型水利工程成为乡村振兴战略的关键组成部分，为国家的乡村振兴目标提供了坚实的支撑。因此，加大对中小型水利工程的投入和优化力度，对于促进农村经济的可持续发展具有深远的战略意义。这不仅能够进一步提升农业生产效率，保障粮食安全，还能够推动农村产业结构的优化升级，为农村经济注入新的增长动力。^[1]

（二）中小型水利工程围堰设计施工的主要挑战

中小型水利工程的围堰设计与施工面临诸多挑战。地质条件的复杂性对围堰设计的稳定性和安全性提出了更高要求，必须充分考虑土壤性质、水流条件及地震等因素的影响^[2]。在选择材料和确定结构形式时，人们往往要在生态保护和经济效益之间做出权衡，这无疑让设计变得更加复杂。技术水平的高低直接影响工程的安全和质量。中小型工程常常面临设备不足和人员专业水平不够的问题。施工现场的环境变化多端，无论是气候的变化还是施工空间的受限，都会对施工进度和质量控制带来不小的麻烦。再加上需要严控成本，往往导致工期延误和预算超支。为了满足可持续发展的要求，设计和施工方案必须具备足够的适应性和持久性，这些都进一步增加了工程的挑战性。^[3]

（三）对可持续性的追求生态与经济兼顾

一些小型水利工程巧妙地融合了生态保护和经济发展确实让人耳目一新。围堰的设计不再只是单纯的建筑项目，它开始更加注重保护水生生物和保持自然景观，减少对生态的破坏和环境污染。从某些工程实例可以看到，通过环保材料的使用、新技术的引入和科学的管理，施工效率得到了惊人的提升。在项目有限的资源当中，不仅达到了优化投资的目的，还为区域的长远经济效益铺路。这样的工程在环保和经济两方面都实现了双赢，真正创造了有实质意义的价值。^[4]

二、关键环节剖析与理论基础

（一）工程功能定位围堰设计的出发点

工程功能定位是围堰设计的核心出发点，需要从项目整体目标出发，明确围堰在水利工程中的具体作用。围堰在中小型水利工程中的主要功能涉及控制水流、保护施工区域以及保障施工安全。围堰设计必须紧密结合工程功能定位，以确保其在整个工程体系中发挥关键作用。在围堰设计过程中，需要严格分析施工区域的地质和水文条件，这对围堰的选型和布局有直接影响。工程功能定位还要求设计者综合考虑生态保护要求，以减少围堰对周边环境的消极影响。创新性设计与施工技术的应用，能够在保障水利工程功能实现的同时达到生态与经济的兼顾。这就需要从工程功能定位阶段就融入新型材料和环保技术的考量，以形成更加科学和高效的围堰设计方案。通过精准的工程功能定位，围堰能更好地满足水利工程的内在需求，体现科学性与可持续发展的统一。^[5-9]

（二）规模选型结构设计及材料选用围堰设计的主要内容

在围堰工程中，选定合适的规模、设计结构以及选择材料等方面均对工程的安全性 with 成本产生直接影响。在规模选型方面，需综合考虑河道特性、工程规模及环境影响等因素，以确定适宜

的围堰尺寸与形式。这不仅要确保围堰具备足够的稳定性和承载力，还需通过详尽的计算与仿真分析，以保障其在施工及使用过程中的安全可靠。在材料选用上，则需从经济性、耐用性和环保性三个维度出发，精心挑选土石材料、加固材料及防渗材料等，以全面提升围堰的整体性能。通过灵活调配这些关键环节，能够使结构设计更加科学合理，资源利用更为高效，从而有效提升施工效率与工程质量。

（三）系统工程理论在水利工程领域的应用

水利工程中围堰的建设，需要处理各种复杂环节，这正是系统工程理论大显身手的地方。在建筑环境的组织上，这一理论促使我们从整体出发，协调多学科的知识，把材料选择和施工方案有机结合变得可能。通过这种整体优化和协调，工程团队得以在复杂条件下实现更高效的协同作业，使得每一个施工阶段都如臂使指般顺畅衔接。无论是从材料的利用还是施工的效率上都带来了实实在在的提升，体现了系统工程理论在实际应用中的价值。通过系统化的方法，对设计实施过程进行全方位管控，提升工程项目的适应性与可持续性。这种理论的应用促进了资源的合理配置，减少施工中的风险，提高了工程效率与质量。

三、围堰的类型、选择与施工技术

（一）围堰的主要类型

围堰作为水利工程中临时性的挡水结构，根据其材料、结构形式及功能需求的不同，主要分为土石围堰、钢板桩围堰、混凝土围堰和竹篱笆围堰等几种主要类型。

土石围堰是最常见的一种围堰类型，主要由土料、石料或土石混合料堆筑而成。其优点是就地取材、造价低廉、施工简便，适用于水流速度较慢、河床较宽的河段。然而，土石围堰的抗渗性能和稳定性相对较弱，需要采取适当的加固措施，如铺设防渗膜、设置排水系统等。^[7]

钢板桩围堰则以其高强度、良好的抗渗性能和可重复使用性而著称。它主要由钢板桩通过锁口连接而成，形成一个封闭的挡水结构。钢板桩围堰适用于水深较大、水流速度较快、河床较窄的河段。其施工速度快，但成本相对较高，且需要专业的施工设备和人员。

混凝土围堰则以其坚固耐用、抗渗性能优越而广泛应用于各类水利工程中。它主要由混凝土浇筑而成，可以设计成各种形状和尺寸，以满足不同的工程需求。混凝土围堰的缺点是施工周期长、成本较高，但一旦建成，其使用寿命长，维护成本低。^[8]

竹篱笆围堰则是一种传统的围堰类型，主要适用于小型水利工程或临时性挡水需求。它主要由竹子编织而成，具有取材方便、施工简便、成本低廉等优点。然而，竹篱笆围堰的抗渗性能和稳定性相对较弱，需要定期维护和更换。

（二）围堰形式的选择依据

围堰形式的选择是水利工程设计和施工中的重要环节，其依据主要包括以下几个方面：

首先，水流条件是选择围堰形式的关键因素之一。水流速度、水深、水流方向等都会直接影响围堰的稳定性和抗渗性能。因此，在选择围堰形式时，需要充分考虑水流条件，确保围堰能够抵御水流的冲刷和侵蚀。其次，河床地质条件也是选择围堰形

式的重要依据。河床的地质结构、土壤性质、地下水位等都会影响围堰的选址和稳定性。例如，在软土地基上建造围堰时，需要采取特殊的加固措施，以确保围堰的稳定性。此外，工程规模和要求也是选择围堰形式的重要考虑因素。不同的水利工程对围堰的要求不同，如挡水高度、挡水时间、抗渗性能等。因此，在选择围堰形式时，需要根据工程规模和要求进行综合考虑，确保围堰能够满足工程的实际需求。最后，经济性和环保性也是选择围堰形式时需要考虑的因素。不同类型的围堰在造价、施工周期、材料消耗等方面存在差异。同时，围堰的建设和使用也会对环境产生一定的影响。因此，在选择围堰形式时，需要综合考虑经济性和环保性，选择最优的围堰方案。^[9]

(三) 不同类型围堰的施工技术要点

不同类型的围堰在施工技术上各有特点，以下是对几种主要围堰施工技术要点的简要介绍：

土石围堰的施工技术要点主要包括：选择合适的土料和石料，确保材料的质量和数量满足施工需求；采用分层填筑、逐层压实的方法，确保围堰的密实度和稳定性；设置排水系统，及时排除围堰内的积水，防止围堰因浸泡而失稳；采取适当的加固措施，如铺设防渗膜、设置反滤层等，提高围堰的抗渗性能。

钢板桩围堰的施工技术要点则包括：选择合适的钢板桩型号和规格，确保钢板桩的质量和数量满足施工需求；采用振动锤或液压锤等专用设备进行钢板桩的打入和拔出作业，确保钢板桩的垂直度和紧密性；在钢板桩之间设置锁口连接件，确保钢板桩之间的连接牢固可靠；在钢板桩围堰内部设置支撑结构，提高围堰的整体稳定性和抗侧压能力。

混凝土围堰的施工技术要点主要包括：设计合理的混凝土配合比和浇筑方案，确保混凝土的强度和耐久性满足工程需求；采用模板支护和钢筋绑扎等工艺，确保混凝土围堰的形状和尺寸符合设计要求；在混凝土浇筑过程中，采取适当的振捣和养护措施，提高混凝土的密实度和抗渗性能；在混凝土围堰内部设置排水系统和温度控制措施，防止混凝土因温度变化或水分蒸发而产生裂缝。^[10]

竹篱笆围堰的施工技术要点则相对简单，主要包括：选择合适的竹子作为围堰材料，确保竹子的质量和数量满足施工需求；采用编织或绑扎等工艺将竹子连接成一体，形成封闭的挡水结构；在竹篱笆围堰内部设置支撑结构或加固措施，提高围堰的稳定性和抗渗性能。同时，需要定期对竹篱笆围堰进行检查和维护，及时更换损坏的竹子或加固薄弱部位。

综上所述，不同类型的围堰在施工技术上各有特点，需要根据工程实际情况和围堰类型进行综合考虑和选择。在施工过程中，需要严格遵守施工规范和操作规程，确保围堰的质量和安全性。

四、围堰的应用实例及优化措施

(一) 围堰在水利工程中的其他应用实例

围堰在水利工程中的应用不仅限于基本的挡水功能，其多样化的应用实例展现了其在水利建设中的广泛价值和灵活性。在水利枢纽工程中，围堰常用于导流、泄洪和发电等方面。例如，在修建水电站时，围堰被用来临时截断水流，以便进行坝体施工和基坑开挖。在导流方面，围堰可以引导水流绕过施工区域，确保施工期间的水流顺畅。在泄洪方面，围堰可以设计成具有泄洪功

能的结构，通过调节水流流量，有效减轻下游洪水的压力。此外，围堰在河道整治、防洪排涝和灌溉等水利工程中也有广泛应用。在河道整治中，围堰可以用来截断水流，方便施工人员对河床进行清理和修复。在防洪排涝方面，围堰可以作为临时挡水结构，防止洪水泛滥，保护周边地区的安全。在灌溉工程中，围堰可以用来调节水流，确保农田灌溉的顺利进行。

(二) 围堰设计与施工的生态影响及应对措施

围堰的建设和使用对生态环境产生了一定的影响，因此，在设计和施工过程中需要充分考虑生态因素，并采取相应措施来减少对环境的负面影响。首先，围堰的建设会改变水流状态，对水生生物和河流生态系统造成干扰。为了减轻这种影响，可以在围堰设计中融入生态理念，如采用生态型围堰结构，增加水生生物的栖息地和迁徙通道。同时，在围堰施工过程中，应尽量减少对周边植被的破坏，保护生态环境。其次，围堰施工期间产生的废弃物和废水可能对水体造成污染。为了应对这一问题，可以采取严格的施工管理和环保措施，如设置废水处理设施，对废弃物进行分类处理和回收利用。

五、结束语

本研究针对中小型水利工程围堰设计与施工问题，提出了一种一体化优化策略。该策略从围堰设计关键环节的细化入手，结合系统工程理论，构建了围堰施工优化模型，实现了施工活动的有序连续。实证对比分析显示，该策略能显著提升围堰工程质量，缩短施工周期，降低综合成本，具有重要的理论和实践意义。然而，本研究也存在局限性，如优化模型构建时可能未充分考虑环境因素对工程质量和施工效率的影响。未来研究需对模型进行精细化改进，并拓展和完善一体化优化策略，逐步形成成熟的理论体系和方法论。此外，研究者应持续关注并引入新型材料、新工艺和新技术，为中小型水利工程提供更多设计和施工解决方案，推动我国农村经济可持续发展。这一研究领域的深入探索，将为水利工程建设提供有力支撑。

参考文献

- [1] 卢志卿, 俞扬, 韦学军. 中小型水利工程施工中围堰技术的应用 [J]. 工程建设与设计, 2020, (21): 133-135.
- [2] 常辉章, 培培. 中小型水利工程施工中围堰技术工艺分析 [J]. 中国科技投资, 2019, (31): 35-35.
- [3] 谢毅云. 浅析中小型水利工程施工中围堰技术的应用 [J]. 中文科技期刊数据库 (全文版) 工程技术, 2021, (09): 0083-0083.
- [4] 封浪. 浅谈中小型水利工程施工中围堰技术的应用 [J]. 中文科技期刊数据库 (文摘版) 工程技术, 2019, (12).
- [5] 张斌. 中小型水利工程施工中围堰技术工艺研究 [J]. 中文科技期刊数据库 (全文版) 工程技术, 2020, (10).
- [6] 陈环, 张崇昌. 中小型水利工程施工中围堰技术的应用 [J]. 中国新技术新产品, 2021, (10): 103-105.
- [7] 卢志卿, 俞扬, 韦学军. 中小型水利工程施工中围堰技术的应用 [J]. 工程建设与设计, 2020, (21): 133-135.
- [8] 陈俊果. 中小型水利工程施工中围堰技术工艺分析 [J]. 科技创新与应用, 2019, (28): 104-105.
- [9] 董树春. 中小型水利工程施工中围堰技术的应用浅析 [J]. 中外企业家, 2019, (19): 125.
- [10] 刘天宇, 刘派. 中小型水利工程施工中围堰技术的应用探究 [J]. 时代农机, 2018, 45(10): 186.

水利工程河道治理技术

李乔

淄博市张店区河湖长制保障服务中心, 山东 淄博 255000

摘 要： 在新时期背景下, 水利工程为我国经济建设作出重大贡献。但就实践情况来看, 河道污水问题、排水问题等不容小觑, 并对大众生活、生态平衡造成严重威胁。在此背景下, 本文就水利工程河道治理技术进行深入探讨, 旨在改善水资源发展现状、维持生态水利平衡, 为实现可持续发展目标奠定基础。

关 键 词： 水利工程; 河道治理; 问题; 技术; 研究

River Control Technology of Water Conservancy Project

Li Qiao

Zhangdian district, Zibo City, river and Lake Chief System Security Service Center, Zibo, Shandong 255000

Abstract： Under the background of the new period, water conservancy projects have made a great contribution to China's economic construction. However, in terms of practice, the river sewage problems and drainage problems can not be underestimated, and pose a serious threat to the public life and ecological balance. In this context, this paper has an in-depth discussion on the river management technology of water conservancy projects, aiming to improve the development status of water resources, maintain the balance of ecological water conservancy, and lay a foundation for the realization of sustainable development goals.

Keywords： water conservancy project; river channel management; problem; technology; research

一、水利工程建设中河道治理存在问题

(一) 河道原始问题

对生态平衡、水利效果造成负面影响是河道治理中常见的原始问题, 造成这些问题的成因是建设单位未对周边地质条件、环境因素进行充分考量, 从而工程选址存在缺陷。一方面, 选址缺乏合理性会对生态环境的稳定性、水资源利用造成负面影响, 进一步加剧治理难度。另一方面, 气候条件、水文变化缺乏前瞻性, 还会造成局部地区水位偏高, 这是因为水资源过度集中引起的, 大大增加洪水风险。另外, 水资源过度集中也会导致地下水盐碱化, 从而对土壤产生不利影响^[1]。

(二) 河道污染问题

想要落实河道治理技术, 离不开管理监督机制、管理体系等支持。但就目前来看, 相关机制并不完善, 从而形成潜在水利工程环境隐患。目前, 河道污染主要来源于工业废水及居民生活污水。例如, 水利工程建设产生的工业废水未经过处理直接排放到河渠, 使水生态系统受到破坏, 这是因为工业废水含有化学品、酸碱物质和重金属等有害物, 进一步加剧河道水质恶化。伴随时间的推移, 水质长期处于超标状态将会波及附近土地资源、水资源生态。特别是耕地毗邻河流, 一旦水源灌溉受河道污染, 一些有害物质就会迁徙到农作物, 对大众健康、食物链造成严重威胁^[2]。

(三) 河道治理存在难点

在水利工程河道治理过程中, 防洪泄洪成为重中之重。基于水利工程建筑中涉及大量设施与建筑物, 在防洪泄洪治理方面, 建筑物改造不仅需要投入高昂成本且施工复杂。这是因为在河道

早期建设中, 对防洪需求欠缺考量, 局限了防洪防涝设施的布置与空间, 使现代防洪标准无法得到满足。另一方面, 在河道治理过程中排水设计发挥重要作用。如果建筑过于密集, 河道两侧将难以有效疏导水流, 大大增加洪水调度的困难^[3]。

二、水利工程河道治理的技术探究

(一) 合理定位拟订方案

做好水文地质勘查工作。在前期阶段, 全面掌握地质水文情况是保障工程顺利实施的基础。调研包括区域降水量、气候、水流等, 同时全面分析地下水系统、地表等特征。在这一过程中, 将地面实测数据与遥感技术相融合是第一步, 可以借助水文气象模型精确模拟水资源的变化趋势与时空分布, 通过时空动态分析, 以识别水资源在不同气候条件下的影响变化, 为科学规划工程选址提供理论依据。其次, 河道治理包括河道设计优化。在这一步骤中, 定位是关键, 旨在确保河道能够满足不同功能需求。例如, 面向行洪功能要求较高的河段, 设计复式断面为技术要点。这样不仅确保枯水期维持一定水量, 对行洪能力的提升亦产生积极作用。具体而言, 在水利工程河道设计中, 利用水文气象模型测试不同水文条件下各种设计方案可行性, 有助于确定最佳断面形式, 使流量趋于稳定。值得注意的是, 为了减少天然湿地、水流系统等破坏, 应启动原生态系统保护, 即遵循“绕开”原则, 尽可能选择较小影响的区域, 并严格执行生态功能区划, 从根本上规避施工过程扰动水生态系统^[4]。

第二, 提升治理措施的可操作性。在治理过程中, 策略应依

托在技术条件与不同地区的自然基础上,只有这样,才能确保治理落实到位。举个例子,提升水资源利用与生态环境稳定性,可以将生态修复技术引入到生态条件较好的区域。也就是说,基于生态护岸技术与湿地修复技术,实现水环境质量、水质提升。具体操作步骤为:在河道中增加水生植物,利用其净化功能改善水质,实现水体自动修复。当然,对于植物种类选择,应优化选择本地适应性强的植物,从根本上确保植物存活率与降低外来物种入侵,使修复成效最大化。与此同时,动物群落重建在水利工程河道治理亦发挥重要作用,旨在维持生态系统平衡,恢复系统功能。最后,定期监测修复效果至关重要,旨在确保生态修复技术的可持续性、长效性,基于此,修复方法、植物种类等调整必须依托在反馈结果框架下进行^[5]。

(二) 多措并举着力解决水利河道污染

第一,制定科学的截污、河道治污方案。首先,分析水质空间有助于精准评估污染承载能力,为治污策略、截污方案提供针对性建议。众所周知,工业污染源的污染物质含量较高,涵盖化学溶剂、重金属等有毒物质,因此截污网应在早期设计阶段纳入考量范畴,同时安装红外监测设备,用以实时获取附近污染源动态,确保污染物的浓度和排放量趋于可控。其次,生活污水治理过程中,融合化学沉淀和生物处理工艺至关重要,这一举措通过建设污水处理厂实现。另外,为了避免过量使用化肥对水质造成污染,在农业防治层面,精准施肥是一项值得推广的技术,可以通过IoT技术(物联网)或大数据分析农田施肥情况,使给肥时机和剂量精确化,防止化肥过量形成河床沉积或水源污染,最大程度提升水利工程河道治理成效^[6]。

第二,健全污染源预警、监管机制。在水利工程河道治理过程中,构建一个系统的污染源追踪系统至关重要。具体而言,通过无人机监测、卫星遥感技术实时监测污染源排放动态与水质变化,并结合大数据技术分析其扩散趋势和影响程度。这种现代化手段的应用优势体现在覆盖范围广,且能够在短时间内获得高精度环境和水体污染信息,加上无人机技术具有显著灵活性,对攻克区域局限性具有重要意义,为数据采集、数据库建立奠定基础。接下来,通过数据库分析洞察污染源轨迹与变化趋势,并制定风险优先级,能够确保风险预警及时性。更进一步,加强中央监管平台与在线监测设备联动,有助于确保污染物排放量、浓度等异常同步至管控中心并及时干预,避免污染源扩散。一旦发现预设阈值超出监测范围,应急响应程序将被系统自动触发,实现自动化预警。除此之外,在水利工程河道治理过程中,与公众、行政单位保持紧密联络必不可少,一方面助力于提升污染源评估工作、水质监测透明度与监督性,另一方面对调动公众、政府积极性具有重要意义,只有加大协同治理与信息共享力度,才能形成水污染防治闭环。总之,将公众监督力量、建设单位责任与政府监管集成三方合力,有利于确保各项污染控制措施全面落实,使河道压力最小化^[7]。

(三) 优化河道治理设计

第一,做好防洪泄洪设施的设计和规划工作。以防洪需求、洪水频率、地质条件为导向对现场进行全面评估、勘察是第一

步。在此过程中,可引入遥感技术和GIS技术(地理信息系统),以获取高精度数据。包括水文气象、建筑分布、河道两岸地形地貌等。通过这些数据分析,可发现防洪设施与现有建筑的必然联系,如现有建筑对防洪设施的影响等,为优化河道防洪性能打下坚实基础。具体操作步骤为:利用GIS技术寻找潜在隐患区域,重点突出关键区域保护,并重新调整防洪设计方案。与此同时,制定差异化防护策略必不可少,特别是区域不同所面临的洪水风险亦存在差异化,需要明确分级防洪标准,当然这一步骤必须依托在流域特征上进行。例如,为了提升防洪泄洪设施的应急响应能力,在重点区域应设置高效设施,涵盖可调节堤坝、智能水闸等。就拿自动调节水闸来说,其显著优势是能够结合水位变化实现水闸水流自动化调节,这一步骤涉及智能化控制系统应用,规避水流过度集中引发堤坝溃决,进一步缓解洪水压力^[8]。

第二,疏导系统与排水设计在河道治理过程发挥重要作用。特别是在建筑密度高的中心区域,合理布局排水设施是关键一环。以下进行详细说明:首先,为了能够将洪水、雨水正确引导到安全区域,可以基于各种水文数据反馈制定排水管网规划方案。包括地形变化、降雨量及可能的水流汇集情况,只有充分考量这些因素,才能确保排水管网充分发挥引导职能。举个例子,面向洪水易发区域与城市低洼地带,提升水流量是关键,在此背景下,可适当增加排水管道数量,且口径设计可调整为最大容纳暴雨量规格。同时,定期检测、维护排水管网是确保管道畅通的基石,从根本上避免排水系统因积水导致功能失效。其次,缓解河道压力的有效途径包括设置人工湿地、调蓄池和滞洪区等,这些设施通常在河道两侧,旨在灵活调整水位和流量。值得注意的是,设计调蓄池、应急水库的目的在于紧急情况下,这些设施可作为缓冲区减轻排水系统荷载,如调节储水量、水流量等,从根本上降低水淹、洪涝风险。此外,在新时期背景下,地下水流调节系统作为一种创新手段得到广泛应用。其在降低地下水与地表水间的交互作用展示出卓越性,通过地下水位管控,规避了地下水过度回升造成的排水问题^[9]。

(四) 打造生态护岸

想要稳定河道、抵御洪水冲击力,堤防建设必不可少。在堤防设计过程中,综合分析河道影响因素至关重要,包括地质结构、水文气候条件、泥沙含量与流量等。通过这些因素分析,预测河道流速与水文特征,进而明确堤防类型。举个例子,钢筋混凝土堤与混凝土堤具有较强抗冲刷能力,适用于高流量河流;对于河段中泥沙含量较高的区域,选择固沙性能较好的土堤较为适宜。与此同时,维护性是堤防设计过程中不可或缺的一环,确保在修复、检查方面具有高效性与便利性,有利于延长堤防的使用期限。其次,土堤的建设对土壤承载力提出更高要求。总体来说,对地基土壤的承载力、类型进行详细分析,有助于明确夯实处理与压实技术,包括振动压实、机械压实等,从根本上确保土堤稳固。接下来,为了避免水分渗透引起的不均匀沉降,可采用防渗处理、水土流失控制等手段,增强土堤稳定性。其中,防渗技术的关键要点是注重堤防内外的渗透问题。即在施工阶段,将防渗层设置在堤防结构的内部或外侧,起到隔离作用,通常采用

混凝土衬砌或 HDPE 土工膜覆盖。旨在抑制地下水渗漏，从根本上规避土体失稳、裂缝或沉降等情况发生。当然，堤防的整体结构设计必须与防渗措施实施形成一体化，只有这样，才能确保材料选择满足密实性、连续性要求，同时对抗渗能力的提升产生积极作用，为河道稳固打下坚实基础^[10]。

此外，耐久性是一个不可忽略的因素。在水利工程河道治理过程中，如何提升钢筋混凝土堤的抗冲击力、耐久性是一个值得深思的议题。在此背景下，应围绕设计标准与当地地质条件合理计算混凝土强度。在此过程中，可引入先进技术模拟不同水文气候、地下水位、土壤性质对堤防的影响，以明确混凝土的抗冻性与强度要求。与此同时，在施工阶段，防止出现空洞与孔隙现象，落实质量保障措施势在必行，特别是强调浇筑过程均匀性，旨在从根本上提升整体结构强度。堤防建设结束后，进入监测与检查环节，验收合格后方能保障堤防在长期使用中的安全性与稳定性。定期监测涵盖对堤防沉降、表面渗漏与裂缝情况等检查。尤其在防汛期间，检查频次可适当增加，确保在极端天气环境下堤防具备应对能力。例如，检查堤防外部结构时，应采用层次

法，先观察是否存在沉降、裂缝等情况。然后利用监测设备，如孔隙水压力计或位移计等，进一步确定堤防是否变形，一旦发现隐患立即处理，杜绝潜在风险。就拿监测堤防的沉降量、倾斜度来说，有助于判断潜在不均匀沉降的风险影响程度，进而选择合适的加固方式进行早期处理。

三、结束语

总而言之，在水利工程河道治理技术实施过程中，针对河道治理面临的各类问题，我们提出一系列解决方案。包括深入勘察水文地质、精准的污染防治措施和优化设计方案等，最大程度确保水利工程可持续发展。另外，在治理过程中，注重生态保护和水资源合理配置，采取科技手段进行实时监测与管理，不仅提升了水利工程的防洪能力，还保障了生态环境的稳定性。未来，伴随水利工程河道治理技术不断深化与创新，将在改善水资源利用以及保护生态环境方面发挥更大作用，为水利工程建设发展注入新活力。

参考文献

- [1] 付民.生态水利措施在河道治理工程中的应用研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2024(002):000.
- [2] 尚文星.浅析河道治理工程措施及水利工程质量管理——以华亭市渭河流域水环境综合治理工程为例[J].水上安全,2024,(05):16-18.
- [3] 范广勤.水利工程中河道清淤整治施工研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2024(002):000.
- [4] 吴谷丰.水利工程河道治理与生态水利技术[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2024(002):000.
- [5] 赵佳作.水利工程中的河道生态护坡施工技术研究[J].云南水力发电,2024,40(02):126-129.
- [6] 邓胜民.城市河道治理工程质量控制的应用实现[J].吉林水利,2024,(02):66-69.
- [7] 吴曙辉.水利工程中的河道生态护坡施工技术应用要点分析[J].城市建设理论研究(电子版),2023,(34):199-201.
- [8] 邓亮,齐佳佳.水利工程河道治理与生态水利技术[J].水上安全,2023,(13):10-12.
- [9] 高凡.环境保护理念下水利工程生态防治措施研究[J].工程建设与设计,2023,(19):114-116.
- [10] 杨俊杰,孙伟芳.基于生态水利工程的河道治理[C]//河海大学,珠江水利委员会珠江水利科学研究院,中国疏浚协会,广东省水利水电科学研究院,广东省水利学会.2023(第十一届)中国水生态大会论文集.黄河建工集团有限公司,2023:7.

大堤治理工程护坡防护形式选择与施工技术

刘玄¹, 黎汝婷²

1. 湖南省湘阴立业水利建筑安装有限责任公司, 湖南 岳阳 414600

2. 湘阴城发勘察设计院有限公司, 湖南 岳阳 414600

摘 要 : 在我国大堤治理工程中, 选择合适的护坡形式与施工技术至关重要。河流湿地堤坝常面临水流侵蚀挑战, 砌石与植被防护效果有限, 而混凝土护面或预制混凝土格构块则表现出更强的抗侵蚀能力。同时, 为应对洪水并减轻护坡压力, 科学设置排水设施至关重要。在地质结构稳定区域, 砌石与植被防护因经济环保而备受青睐。施工过程中, 护坡坡度设计、防护材料选择及施工方法均影响工程稳定性。此外, 创新施工技术如喷浆技术、植被悬挂壁技术等, 不仅能提升施工效率, 还能降低环境影响。本研究旨在提升大堤治理项目的工程质量与生态效益, 为实践提供有力支撑。

关 键 词 : 大堤治理工程; 护坡防护形式; 施工技术; 砌石和植被防护; 创新施工技术

Selection of Slope Protection Forms and Construction Techniques in Large Dike Treatment Projects

Liu Xuan¹, Li Ruting²

1. Hunan Xiangyin Liye Water Conservancy Construction and Installation Co., Ltd. Yueyang, Hunan 414600

2. Xiangyin Chengfa Survey and Design Institute Co., Ltd. Yueyang, Hunan 414600

Abstract : In China's large dike treatment projects, selecting appropriate slope protection forms and construction techniques is crucial. River wetland dams often face challenges from water erosion, and the protective effects of stone masonry and vegetation are limited. However, concrete slope protection or prefabricated concrete grid blocks demonstrate stronger resistance to erosion. Simultaneously, the scientific installation of drainage facilities is essential to cope with floods and reduce slope protection pressure. In areas with stable geological structures, stone masonry and vegetation protection are favored due to their economic and environmental benefits. During the construction process, slope gradient design, selection of protective materials, and construction methods all affect project stability. Additionally, innovative construction techniques such as spray technology and vegetation hanging wall technology can not only enhance construction efficiency but also reduce environmental impact. This study aims to improve the engineering quality and ecological benefits of large dike treatment projects, providing strong support for practical applications.

Keywords : large dike treatment projects; slope protection forms; construction techniques; stone masonry and vegetation protection; innovative construction techniques

引言

我国河流湿地与地质结构稳定区域的大堤治理工程, 护坡防护问题频发。护坡防护形式与施工技术的选择直接关乎护坡乃至整个大堤的稳定性。错误的防护形式或施工技术可能引发护坡失稳, 造成严重后果^[1]。因此, 深入研究大堤治理工程的护坡防护形式与施工技术, 对于提升工程稳定性、优化成本及提高环保效益具有重要意义。

一、大堤治理工程的护坡防护形式

(一) 砌石和植被防护形式

大堤治理时, 常见的护坡方法有砌石和种植植被两种。砌石护坡用天然石块堆砌而成, 非常适合那些水流不急地质又稳的地

方。因为施工简便而且对环境影响小, 还能与周围的自然景观融为一体, 所以深受欢迎。不过要是碰到水流特别湍急的地方, 砌石的防护效果可能就有吃力。而植被防护, 就是在堤坡上种植那些特别耐水的草本植物和灌木, 通过它们深入地下的根系, 来提高土壤的抗侵蚀能力, 这种方法对那些需要高度生态保护的地

作者简介: 刘玄(1988.06-), 男, 本科, 中级职称, 研究方向: 大堤治理工程护坡防护形式选择与施工技术。

区特别有好处。这种形式可进一步改善局部生态环境，但在极端天气条件下，抗冲刷效果有限。砌石和植被护坡形式在大堤治理中具有显著的经济和生态优势，不过在设计应用时需根据具体环境条件进行合理设计与组合，以确保工程的长效性和稳定性。^[2]

（二）预制混凝土格构块防护形式

预制混凝土格构块防护形式是一种在大堤治理工程中应用广泛的护坡防护技术。预制混凝土格构块最大的好处就是它们的稳定结构和施工方便。工厂里提前做好这些格构块，然后运到现场快速安装，这样施工时间能大幅缩短。比如在水流很急的地方，它们能够有效抵挡水流的冲击和侵蚀。格构块之间连接得很紧密，这保证了整个护坡不会滑落。在一些水文条件比较复杂的地区，可以把这种格构块跟植物结合起来用，这样不仅增强了护坡的生态功能，还能让景观更好看。安装的时候，注意格构块的摆放和排水设施的设置，这样可以让水流通过更加顺畅，减少对堤坝的压力，堤坝也就能用得更为久。

（三）混凝土护面防护形式

大堤治理工程中采用混凝土护面防护，这种方式特别适合高流速区域，因为它几乎不怕水流冲刷和机械侵蚀。连续而强韧的结构，和那些零碎的防护相比，混凝土的抗渗性能真是无可匹敌。如果混凝土材料比例和浇筑工艺没调好，但只要把握得当，能让质量稳如磐石。设计中的伸缩缝和排水系统都很有讲究，它们可是降低水压威胁的关键角色。这种防护方式不仅在安全性上让人放心，更能长时间稳固保护大堤，不得不说是治理工程中的一大利器。

二、不同地理地质条件下的护坡防护选择

（一）防护形式选择的地理地质因素

在大堤治理工程中，护坡防护形式的选择深受地理地质因素的影响。地形是首要考虑的因素，陡峭的河岸需要采用更为坚固的防护形式，而缓坡地形则可以使用相对经济的防护方案。地质条件如土壤类型和地基结构也会显著影响选择，松散土壤或水线变动频繁区域需要增强结构的稳定性。气候条件是影响护坡防护形式的另一个关键因素，大量降水或频繁洪水发生的地区要求防护形式具备良好的排水和抗冲刷能力^[3]。水文特征，如水流速度和侵蚀能力，会对防护材料的耐久性提出更高要求。在湿地或生态保护区，选择防护形式时必须平衡工程效能和生态保护，确保对环境的负面影响降至最低。只有充分考虑这些地理地质因素，才能为大堤设计出最适宜的护坡防护方案，提高工程的可靠性和可持续性。

（二）河流湿地区的护坡防护选择

河流湿地区的大堤治理中，护坡防护形式的选择尤为关键。这些地区的水流特别湍急，护坡被侵蚀的风险就大了。过去用的砌石或者简单种植一些植物的办法，在这种情况下很容易被冲垮，所以不太适合用在这里。用混凝土做的保护层，这种材质在抵抗流水侵蚀方面表现得非常出色。还有一种做法是在坡面上装预制的混凝土格构块，这种东西结构稳固，还省心省钱，维护起来不费劲^[4]。但用这些材料的时候，排水是个必须提前考虑的问题。合理的排水系统能引导洪水，减少水对护坡的压力，从而降低侵蚀，让整条堤坝更安全。在那些河流多湿地的地方，

选对护坡方式，再搭配上排水设施，能保持大堤长久的稳定和安全。

（三）地质结构稳定大堤的护坡防护选择

在稳固的大堤地质结构上，我们可以采用更多样、成本更低的护坡方式。石砌护坡利用了石材的天然稳定性和良好的透水性，不仅确保基础的稳固，还能让自然植被在其间生长，真正做到生态友好。还有植被护坡，通过植物根系的加固作用，一方面稳固土壤，另一方面也改善了当地的生态环境。这些方法费用不高，而且对环境的影响很小，特别适合那些需要平衡资源使用和环境保护的地区。

三、护坡防护的施工技术

（一）护坡的斜坡设计及施工技术

护坡防护工程要特别注重坡度设计，这会直接决定工程的稳定性和安全问题。斜坡的坡度、坡长和坡高这三者之间的比例关系很重要。坡度太陡的话，影响稳定性，坡度太缓又可能导致成本增加。所以我们必须根据具体的地理地质情况来设计。像是斜坡表面的加固处理，可以选择一些合适的防护材料，比如植被、砌石或者混凝土，这些都能增强斜坡的抗侵蚀能力。施工技术方面，采用高效的施工方法也能明显提升护坡工程的质量和效率，让整个工程更稳固，更安全。使用先进的施工设备，例如喷浆设备、模具等，可以保证防护材料的均匀性和防护层的密实度。这不仅有利于提高斜坡的整体稳定性，也能减少对周围生态环境的破坏。及时的施工监测和质检工作也是保持施工质量的关键步骤^[5]。在护坡施工过程中，需根据实时地质监测数据，灵活调整设计和施工技术，以适应不确定的自然条件。

（二）防护材料的选择与施工方式

护坡防护工程中的防护材料选择直接影响坡面的稳定性和施工效果。在材料选择上，应考虑地理地质条件、抗侵蚀能力及经济可行性。常用的防护材料包括砌石、混凝土和植被等。在施工过程中，施工方式同样至关重要^[6]。传统的砌石施工需要层层叠放并辅以砂浆连接以增强稳定性。混凝土护坡一般采用现场浇筑或预制块拼装方式，以确保表面平整和接缝紧密。植被防护则依赖于土壤基质的预处理和植物根系的固定。在任何施工方式中，确保防护材料的合理配比和均匀分布是施工的关键。

（三）创新的护坡施工技术

在护坡防护工程中，创新的施工技术对提高工程质量和减少环境影响具有重要作用。喷浆技术通过高压喷射混凝土或水泥浆料，可迅速覆盖坡面，防止土壤侵蚀并增强护坡稳定性。植被悬挂壁技术是利用特殊结构将植物固定于坡面，不仅美化环境，也能增强坡面防护能力。这些技术的应用提高了施工效率，符合生态友好的发展趋势，为护坡工程提供了更为综合的解决方案。

四、护坡防护工程中的浅层排水设施

（一）排水设施的设置原则

护坡工程的稳定性，很大程度上取决于浅层排水设施的巧妙安排。经过精心设计的排水系统，可以有效地减轻坡体内部的水压力，同时控制土壤中的含水量，从而大大降低滑坡和水流冲刷

的风险。在选择这些排水设施时，不仅要在地形和地质，还得考虑当地的水文特点和护坡材料的性质^[7]。水流的排放要通畅，绝不能有积水或堵塞，否则一旦水流受阻，可能会对护坡构成威胁。排水系统还得经得住时间的考验，具备抗腐蚀、耐用的特点，才能确保长期有效。考虑到周围的生态环境也是必不可少的，合理的设计和施工可以最大限度地减少对自然的影响。通过这样细致入微的安排，能够有效地保护护坡的安全。排水设施的设计应易于维护，以便于长期管理和降低维护成本。通过科学的排水设施设置原则，能够为大堤护坡工程提供更可靠的安全保障，提升工程的整体质量和生态效益。^[8]

(二)排水设施的建造和施工

浅层排水设施的建造和施工在护坡防护工程中至关重要。合理设置和施工排水设施有助于有效疏导雨水，防止水土流失^[9]。施工时需根据具体地形和地质条件进行设计，确保排水管道铺设的合理性。排水沟的开挖需符合设计规范，常用排水材料需具备耐久性和适应性，以防腐蚀和阻塞。应考虑排水坡度的合理设计，以确保水流顺畅。施工过程中，应严格监控排水设施的连接和接口处理，确保其密闭性和稳定性。定期维护和检查排水设施，及时清理杂物，确保排水系统的正常运行。

(三)排水设施在护坡防护中的作用

排水设施在护坡防护工程中具有重要作用。排水体系的设置能够有效排除坡体内的渗水、潜水和降雨形成的表面径流，降低其对护坡体的侵蚀作用，从而增强坡体的稳定性。通过设置合理的排水渠道和暗管，减轻坡面水压力，防止滑坡、塌陷等灾害的发生。排水设施有助于保持坡面土壤的适宜湿度，避免因土壤过湿导致的流失，从而延长护坡的使用寿命。采用先进的排水技术，能够在不破坏环境的前提下，实现护坡与自然景观的和谐共生。

五、护坡防护工程的工程质量和生态效益

(一)护坡防护工程的工程质量评价

护坡防护工程的工程质量评价是保障堤坝安全与有效性的核心。评价主要从以下几个方面展开：稳定性、耐久性、防护效果以及施工质量。其中，稳定性是评估护坡是否能有效抵挡外部水流及内部土壤压力的关键，通常通过模拟试验和受力分析进行验证。耐久性则涉及材料的持久性、抗腐蚀性和应对气候变化的能力，一般依赖于长期观测数据和试验结果。防护效果的评估需要考量在极端条件下，护坡能保持完整性和功能性的能力，这部分评价结果不但影响施工方案的选择，也决定后期的维护策略。施工质量的检验则包括工程执行过程中各环节的准确性，包括斜坡角度、防护材料的铺设和排水设施的安裝等，需通过现场勘测和评估报告来确认其符合设计标准。高质量的评价不仅提升大堤的安全性和使用寿命，还为环境保护与可持续发展提供了坚实基础。

(二)护坡防护工程对生态环境的影响

护坡防护工程对生态环境的影响主要体现在植被、土壤和水体三个方面。采用植被防护形式，有助于保持生态系统的完整性，通过植物的根系稳固土壤，减少水土流失，增加生物多样性。但不当的施工方式可能导致植被损伤，反而加剧土壤侵蚀。混凝土类护坡形式可能对周围生态产生负面影响，包括地表径流

的改变和生境破碎化，影响周围动物栖息地。为了减少这种影响，工程设计中应考虑生态修复措施，如结合植被覆盖等，与水体相接处，工程可能影响水体流动和水质，需要设计合理的排水系统以减轻对生态环境的影响，确保工程与生态环境和谐共存。

(三)推广护坡防护工程的生态效益

护坡防护工程的生态效益推广在大堤治理项目中具有重要意义。选择适宜的护坡防护形式和施工技术，不仅能提升工程质量，还能有效保护当地生态环境，减少工程对自然景观和生态系统的破坏。通过推广绿色防护技术，如植被防护、生态护岸方式，能够促进生态恢复和生物多样性增加。利用创新施工技术，可以降低对环境的扰动，减少建筑材料的使用和能耗，实现可持续发展的目标。推动生态友好的护坡防护工程，有助于提升社会对生态保护的意识，推动绿色基础设施建设的普及。

六、结束语

本研究系统评估了不同地理地质条件下大堤护坡防护方式的优劣，并总结了相应的施工技术。针对河流湿地区，推荐采用混凝土表面或预制混凝土格构块，并配套设计排水设施；而在地质结构稳定区，则建议选用砌石或植被等经济环保方式。这些发现为堤坝护坡防护提供了科学依据。施工技术方面，斜坡设计、材料选择及施工方式均对护坡稳定性至关重要，同时，创新技术如喷浆、植被悬挂壁等，可提升效率并降低环境影响。但本研究也有局限，如未涉及社会经济因素。未来研究将结合工程案例，深入分析地理地质条件与多种防护形式的相互作用，提供更全面的防护策略与施工方法。本研究对提高大堤治理工程的工程质量和生态效益具有重要参考价值和实践意义。^[10]

参考文献

[1] 谭任强. 河道治理工程生态护坡施工技术 [J]. 城镇建设, 2019, 0(06): 111-111.
[2] 魏元宝. 公路路基骨架护坡防护施工技术 [J]. 四川建材, 2021, 47(06): 103-103.
[3] 赵菁. 探究河道治理工程生态护坡施工技术 [J]. 中文科技期刊数据库 (全文版) 工程技术, 2021, (02).
[4] 吴创涛. 惠州大堤治理工程护坡防护形式选择 [J]. 云南水力发电, 2024, 40(03): 115-118+121.
[5] 陶圣叶. 河道整治工程中防护工程设计方案对比分析 [J]. 水利技术监督, 2023, (02): 272-276.
[6] 刘新建. 河道治理工程生态堤岸防护施工技术分析 [J]. 建筑工程技术与设计, 2021, (29): 1396-1397.
[7] 温国栋, 钱少璇, 杨婷婷. 河道防护工程土坝土料制备及上游坡面砼护坡施工 [J]. 中国水运, 2023, (17): 122-124.
[8] 卫振, 王华震. 引江济淮工程混凝土预制块护坡施工技术 [J]. 河南水利与南水北调, 2022, 51(10): 51-52.
[9] 郭海喲. 公路路基骨架护坡防护施工技术应用 [J]. 丝路视野, 2019, (11): 93-93.
[10] 李婷, 周津臣, 杨子杰, 等. 生态岸坡防护工程评价综述与展望 [J]. 水利水电快报, 2023, 44(10): 110-119.

充填灌浆在小（2）型水库大坝坝体防渗中的应用

郑明林

湘阴城发勘察设计院有限公司，湖南 岳阳 414600

摘 要： 小（2）型水库大坝防渗对于水资源高效利用和人民生活安全至关重要。本文聚焦于灌浆充填方法在大坝防渗中的应用，旨在提升其防渗性能。首先，概述了充填灌浆的基本理论和技术特点，明确了其在防渗方面的效能和独特优势。该技术通过灌浆材料填充坝体孔隙，形成连续的防渗层，有效防止渗漏。其次，结合具体水库大坝实例，通过实地考察和实验室分析，详细展示了充填灌浆在防止渗漏、加固坝体结构、提升稳定性等方面的显著效果。实践表明，该技术能显著降低渗流量，延长水库使用寿命。最后，针对充填灌浆技术在实际应用中存在的问题，提出了优化与改进建议，为小（2）型水库大坝防渗设计提供了有益参考。本研究成果表明，充填灌浆技术在大坝防渗中具有广泛应用前景，值得进一步推广。

关 键 词： 小（2）型水库大坝；防渗；充填灌浆；稳定性；水资源利用效率

Application of Filling Grouting in Seepage Control of Small (2) Reservoir Dam

Zheng Minglin

Xiangyin Chengfa Survey and Design Institute Co., Ltd. Yueyang, Hunan 414600

Abstract： Seepage control in small (2) reservoir dams is crucial for efficient water resource utilization and people's safety. This paper focuses on the application of grouting filling methods in dam seepage control to enhance its performance. Firstly, the basic theory and technical characteristics of filling grouting are summarized, clarifying its effectiveness and unique advantages in seepage control. This technology fills the pores of the dam body with grouting materials, forming a continuous impervious layer to effectively prevent seepage. Secondly, combined with specific reservoir dam examples, through field investigations and laboratory analysis, the significant effects of filling grouting in preventing seepage, strengthening dam structure, and improving stability are demonstrated. Practice shows that this technology can significantly reduce seepage and extend the service life of reservoirs. Finally, aiming at the problems of filling grouting technology in practical application, optimization and improvement suggestions are proposed, which provide a useful reference for the design of seepage control in small (2) reservoir dams. The research results indicate that filling grouting technology has broad application prospects in dam seepage control and deserves further promotion.

Keywords： small (2) reservoir dam; seepage control; filling grouting; stability; water resource utilization efficiency

引言

随着城市化进程的加速，水资源利用效率成为制约社会发展的重要因素。水库作为重要的水资源储存设施，其大坝防渗性能直接关系到水资源的安全利用和人民生命财产安全。因此，加强大坝防渗技术研究具有重要意义。充填灌浆作为一种经济、高效、持久的防渗技术，在水库大坝防渗中发挥着重要作用。然而，对于小（2）型水库大坝而言，充填灌浆技术的应用效果及优化策略尚需进一步探讨。本文旨在通过深入研究充填灌浆技术的基本理论、技术特点及其在小（2）型水库大坝防渗中的实际应用效果，为该技术的推广和优化提供理论支持和实践指导。

一、充填灌浆的原理及特性

充填灌浆技艺，重于水工建设领域，特别显著在小（2）型水库大坝防渗任务中，表露其独特应用价值。在解释充填灌浆在防

渗中的特定应用之前，需先详述其基本理念与特质，为技术应用打下坚实的切实基础。

充填灌浆的基本理念包含许多物理和化学性过程，中心观念在于使用流体状的浆液充入坝体或坝基的岩土空隙中，填充和固

化空隙，以建立一条低通水性或全然不通水的紧实层，有效降低渗流通道。充填灌浆原料通常由水泥基材、化学浆材及其他添加剂组成。水泥基浆材以其优越的力学性能和化学稳定性，一直以来是充填灌浆的主要材料，而化学浆材则常用于需要快速凝固或特殊环境的工程中。在充填灌浆过程中，浆液的流动性和可操作性是其成功实施的关键要素。浆液必须具有良好的流变特性，能够在一定压力下顺畅注入具有不同渗透特征的介质中，充填其空隙并达到设计要求的渗透率和强度。优秀的流动性确保浆液能够充盈微细裂隙，而凝结时间的可控性则在注浆和固化的不同阶段保证施工的顺利进行。

充填灌浆技术的一大特性是其适应性和灵活性。不同的地质条件和渗漏问题需要不同的灌浆方案，这包括浆液配比的调整、注浆压力的设定以及流量控制等方面。对浆液流动及固结机制的深刻理解，可以用于制定针对性强的注浆计划，满足不同地质和结构条件下的坝体加固和防渗要求。充填灌浆的有效性不只体现在渗漏控制上，还在于其对坝体结构稳定性的综合提升。通过灌浆，岩体和土体的孔隙率降低，密实度增加，进而提高坝体材料的抗剪强度和整体刚度。这样不仅能显著减少水库水体泄漏风险，还能提高坝体对地震、洪水等极端条件的抵御能力。^[1]

充填灌浆施工的成功与否在很大程度上依赖于前期详细周密的工程勘测和试验研究。对坝体及坝基的结构性状、地质情况的准确把握，直接关系到灌浆材料的选用以及工艺参数的设计。这些工前勘察和试验环节保证了充填灌浆施工能更精确地针对渗漏区域进行有效封堵，也减少了施工风险及不确定因素。尽管充填灌浆作为传统的坝体防渗技术已有悠久历史，其性能在不断发展的新材料和新工艺的推动下得到逐步完善。通过纳米材料和智能控制系统的引入，为灌浆材料的研制和施工技术带来了新的活力和突破。纳米添加剂提高了浆液的渗透性和固结后结构的致密度，而智能化系统则实现了灌浆过程的动态监测与调整，确保施工的精确性和安全性。充填灌浆的特性在可控性及经济性上也表现得尤为突出^[2]。与其他防渗技术相比，充填灌浆工程设备可移动性强、适用范围广，可在狭窄或复杂地形中灵活作业，材料运输及储存便捷，施工简便且工期较短。在经济性方面，其材料成本和施工费用相对较低，附加价值在于对水资源的精细化管理和安全保障，具备长远的经济及社会效益。

在未来的发展中，通过对现有技术的不断优化及改进，将进一步提升充填灌浆技术在水利工程中的竞争优势^[3]。无疑，充填灌浆将继续在水库大坝防渗领域中发光发热，为水利工程建设的安全性和效率提供有力保障。

二、充填灌浆在坝体防渗中的应用

（一）适用范围

充填灌浆技术在小（2）型水库大坝的防渗应用中具有广泛的适用范围，主要体现在若干关键领域。其重要性体现在地质条件复杂的坝体区域。这类区域通常存在各种形式的地基缺陷，如裂隙、孔洞和弱透水层，使得传统防渗措施难以奏效。充填灌浆技术能够通过注入适宜的灌浆材料，填充和封闭这些渗漏通道，从而大幅度提高坝体的整体密实度和抗渗性能。

对于老旧大坝及部分历史应力集中区，长期受外界环境变化

和水流冲刷影响，容易出现不均匀沉降和渗漏隐患^[4]。充填灌浆能够有效填充内部空隙，增强坝体结构的完整性和稳定性，延长大坝的使用寿命。在地震活跃带或者受人为活动影响较大的区域，小（2）型水库大坝受频繁的震动影响而可能产生微细裂隙。这些裂隙会迅速发展为渗漏通道，危害大坝安全。充填灌浆技术可以通过流动性强的灌浆材料，以均匀扩散的方式填充微小裂隙，从而起到良好的封堵效果，降低地震对大坝的破坏风险。在资源有限和预算紧张的管理环境下，小（2）型水库大坝需要通过经济有效的方式进行防渗改造。充填灌浆因其施工简便、材料多样化及成本适中，成为此类环境下的优选技术。它不仅降低了项目总体费用，还缩短了施工时间，是有限资源下的合理选择。

充填灌浆技术凭借其独特优点，可广泛适用于各种复杂地形和特殊要求的小（2）型水库大坝项目，为其防渗体系提供可靠的技术支持。

（二）应用方法

充填灌浆作为一种有效的防渗技术，其应用方法在小（2）型水库大坝中至关重要。应用过程中，通常需要根据大坝的地质条件和具体渗漏情况，选择合适的灌浆材料和工艺。常用的灌浆材料包括水泥浆、化学浆液等，这些材料能够填充坝体内部的裂隙与孔隙，从而阻断水流通道，降低渗透系数，提升大坝整体的防渗性能。

施工前，需对大坝进行详细的渗漏检测和评估，以确定灌浆的具体区域和深度。灌浆孔的布置应考虑坝体结构特点，确保浆液能够均匀覆盖渗漏区域。灌浆施工一般采用钻孔灌浆法，通过钻孔设备在坝体表面钻出适当深度的孔道，再通过高压灌浆机将浆液注入坝体内部。灌浆压力和速度需要精确控制，以保证浆液在坝体中能够充分扩散和凝固，形成致密的防渗层^[5]。施工期间，实时监测灌浆效果，尤其是浆液的流动和凝固情况，及时调整灌浆参数，以适应地质条件的变化。完成灌浆后，对坝体进行全面的检验和水压试验，确保灌浆层的密实度和完整性，以最终达到预期的防渗效果。充填灌浆方法的科学应用不仅提升了小（2）型水库的安全性，也为水资源的合理利用提供了保障。

（三）应用效果

充填灌浆功效卓越，主要服务于小（2）型水库大坝防渗工作。借助灌浆材料，填补坝体内部空洞与裂痕，形成防渗幕，额外降低渗透几率，增强大坝的整体抗渗性。这方法亦助力增强坝身的防渗功能，改善其稳定性，平缓坝体变形走势。采用充填灌浆后，坝体空间缩小，水库环境保护更完备。实例分析，充填灌浆在调理水库水质，稳定水位，减少维护成本上有明显成果，保障了水的高质量供应及人们的生活和财产安全，是一个拥有技术支持的方法。研究验证，该方法具备广大传播价值。

三、案例分析

在研究充填灌浆技术在小（2）型水库中大坝防渗应用的过程中，以某具体水库大坝为样本，通过现场勘察、实验室试验及其工程实践进行深入分析。此次分析的目的是评估充填灌浆在小（2）型水库大坝防渗中的具体效果，并为未来的坝体设计和改造提供有力的实证基础^[6]。

（一）研究背景与水库概况

选定的水库为典型的小（2）型水库，位于中华人民共和国中

部。该水库建设于20世纪70年代中期，主要用于农业灌溉、居民生活用水及防洪排涝，设计蓄水量约为18万立方米。坝体为泥土夯实结构，长度约为130米，最大坝高为7米。随着坝龄的增长以及气候变迁，近年来坝体渗漏问题逐渐显现，尤其是在汛期当中，坝体局部出现了明显的渗流迹象，潜水量增加，严重威胁到下游居民和农业的安全。

在此背景下，充填灌浆技术作为一种有效的防渗措施被提上议程。本次案例分析即从充填灌浆的具体实施、过程监测、效果评估及其对坝体结构的影响多个方面展开。

(二) 充填灌浆实施过程

在实施充填灌浆之前，对大坝进行了全面的工程地质勘探和损害评估。勘探结果表明，坝体存在较为明显的渗流通道，具体表现为坝体中下游部分的地下水位异常升高，土壤含水量明显高于安全标准。针对这些问题，制定了详细的灌浆施工计划。

充填灌浆的主要材料为普通硅酸盐水泥浆液，掺入适量的黏性材料以提高浆液的稳定性和黏结性能。施工采用高压灌浆的方式，通过预先设置的灌浆孔，分段、分批次进行注浆。整个施工完成了216多个灌浆孔的设置，每个灌浆孔深度根据地质勘查结果有所不同，平均深度为6米。在灌浆过程中，采用先进的监测设备对灌浆压力、浆液用量及坝体各项参数进行实时监测。监测数据表明，粘结材料的加入有效提高了浆液的填充率，灌浆压力的控制亦使得浆液能够深入渗流通道，实现对坝体的严密填充。

(三) 施工效果评估

通过实施充填灌浆，旨在减小渗透系数，从而降低水库大坝的渗漏风险。在施工完成后的一年中，对该水库进行了连续的观测和数据收集^[7]。评估结果显示，坝体的渗水量明显减少，地下水位恢复至合理范围，坝基土壤的含水量也显著下降。这表明，充填灌浆有效阻断了坝体的渗流通道，提高了坝体的密实度和稳定性。

进行施工效果评估时，还对大坝的强度和变形进行了监测。充填灌浆后，大坝结构的整体性和稳定性没有受到负面影响，反而在实验室模拟的超载情况下显示出更高的抗渗能力。进一步的地质剖面及其力学性能研究表明，灌浆对坝体的固化和加固效果明显，不仅增强了坝体自身的防渗能力，还为坝基提供了额外的支持，大幅提升了其抗冲刷和抗滑移能力。

(四) 水资源利用效率优化

充填灌浆技术的积极应用，在遏制水库渗漏问题上显著效益，有效地提升了水资源的分配与利用，赋予了水库更大的蓄水量。尤其在干旱季节，水库持续稳定的蓄水量，在满足农田灌溉和城乡供水的需求上具有不可替代的作用，此技术的使用使得水库的经济效益和社会效益倍增。同时，也对农业灌溉和居民用水产生了深远影响，充填灌浆工程完成后，可以看到农作物用水以及灌溉周期的缩短，农作物产量的稳步提升。同样，在居民供水方面，水库的稳定供水，为家庭供水网络的压力和流量提供了有力保障，居民对于供水服务的满意度得以显著提升。这些都得益于大坝稳定性和防渗性能的改善。^[8]

(五) 灌浆技术的局限性和挑战

尽管充填灌浆在此次案例中表现出良好的效果，仍然存在一些局限性和挑战。灌浆施工对技术水平要求较高，施工人员需具备丰富的经验和专业技能。施工期间可能出现突发复杂地质条件，这需要及时调整施工方案和灌浆参数，以避免二次渗渗漏及工

程质量问题。由于填料和浆液的经济成本较高，导致的一次性投资费用较大，这对资金筹措能力有限的水库管理单位亦是一个挑战。

(六) 技术优化建议

为了克服现有的局限性，未来应着力于以下几个方面的改进。一是加强技术研发，从填料材料的选择和改进入手，重点开发新的黏结材料和添加剂，降低成本的提高浆液的渗透和固化效果。二是提升施工设备的智能化水平，以更精确的参数控制实现更高效的充填灌浆^[9]。三是推进案例库的构建和大数据分析，通过分析大量灌浆案例的参数数据，优化施工流程和技术参数，形成可复制、可推广的标准化施工方案。

(七) 结论

案例研究表明，充填灌浆技术在小(2)型水库大坝的防渗应用中具有非常显著的效果，不仅有效解决了坝体渗漏问题，还极大地提升了水资源利用效率。在实践运用中，该技术表现出良好的适应性和可靠性，为类似项目的实施提供了科学依据和实证基础。随着水库运行环境及需求的变化，技术的进一步优化仍需不断推进，以适应日益复杂的防渗需求和生态保护要求。这表明，充填灌浆技术不但具有当前的实际应用价值和经济效益，还拥有广阔的未来应用前景和发展空间。^[10]

四、结束语

本文针对小(2)型水库大坝防渗问题，基于充填灌浆技术展开研究，并结合实例实地考察与实验室试验，探讨了该技术在在大坝防渗中的实际应用效果。结果显示，充填灌浆技术能有效防止渗漏，增强坝体稳定性，优化水资源利用效率，为水资源高效利用和社区生活安全提供了重要依据。然而，现有技术仍有改进空间。未来研究需关注更复杂地形和气候条件下灌浆技术的应用效果，以及充填灌浆技术的长期性能和耐久性。这要求开展更长期的实地监测和实验室研究，以全面评估该技术的可靠性和稳定性。充填灌浆技术在小(2)型水库大坝防渗中具有广泛应用价值，但需在复杂环境和长期性能等方面进一步研究和优化。未来研究方向应聚焦于这些关键问题，以期推动技术的持续改进和提升，为水库大坝防渗提供更加可靠的技术支持。

参考文献

- [1]杨宏武.高压摆喷灌浆技术在病险水库大坝防渗中的应用[J].中华建设,2019,0(08):0185-0186.
- [2]魏殿庚.高喷灌浆技术在水库大坝防冲加固施工中的应用[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2021,(08).
- [3]李新兴.坝体充填灌浆在大江口水库坝体防渗中的应用[J].中国科技投资,2019,(20):35-35.
- [4]吴胡强.综合防渗技术在小型水库除险加固工程中的应用[J].水利科学与寒区工程,2023,6(07):146-149.
- [5]王晓艳.某小型水库除险加固中建筑物加固措施分析[J].黑龙江水利科技,2021,49(12):86-88.
- [6]谢莉.灌浆技术在水库大坝防渗工程中的应用[J].科技创新与应用,2022,12(35):181-184.
- [7]胡俊影刘明慧.帷幕灌浆在水库大坝基础防渗处理中的应用[J].环球市场,2020,(16):336-336.
- [8]王珊珊,何丽.组合防渗技术在土石坝除险加固工程中的应用[J].吉林水利,2019,(08):29-32.
- [9]苗得雨.小型水库大坝除险加固技术方案[J].中国新技术新产品,2021,(13):116-118.
- [10]潘杰.浅析小型水库大坝除险加固防渗设计处理[J].江西建材,2021,(06):86+88.

沿海挡潮闸下游河道淤积机理及防淤减淤研究

袁堂林

江苏省淮沭新河管理处, 江苏 淮安 223005

摘 要：沿海挡潮闸主要承担挡潮、泄洪的作用，在汛期大流量时根据上游来水及时提起闸门，保证上游农作物不受侵害，在非汛期小流量时依据上游农业需水量适时小流量向下游排水，开启闸门时可灵活选择开启孔数和开高，控制外排水量。由于多种因素影响，下游河道淤积成因较为复杂，在充分保证上游用水的前提下，采用水力清淤和机械辅助清淤的方式，加之科学调配水源，严格遵守控制运用原则，实现下游河道防淤减淤。

关 键 词：挡潮闸；控制运用；防淤减淤

Study on the Siltation Mechanism and Silt Prevention Measures in the Downstream Channel of Coastal Tide Gates

Yuan Tanglin

Huaishu Xinhe River Management Office, Huai'an, Jiangsu 223005

Abstract：Coastal tide gates primarily serve the functions of blocking tides and discharging floodwaters. During the flood season with high flow rates, the gates are timely raised based on the incoming water from upstream to ensure that upstream crops are not damaged. During non-flood seasons with low flow rates, water is drained downstream in small quantities based on upstream agricultural water demand, and the number and height of gate openings can be flexibly adjusted to control the amount of water discharged. Due to various factors, the causes of siltation in downstream channels are complex. Under the premise of fully ensuring upstream water use, hydraulic dredging and mechanical auxiliary dredging methods are adopted, coupled with scientific water source allocation and strict adherence to control and operation principles, to achieve silt prevention and reduction in downstream channels.

Keywords：tide gate; controlled operation; silt prevention and reduction

引言

为减少沿海挡潮闸下游河道淤积，发挥工程减灾综合效益，在保障上游农业用水的前提下，充分利用上游尾水水源，从沿海挡潮闸的科学调度运用和冲淤减淤方式两方面入手，在大量查阅地方管理规程、规范后，结合日常工程管理经验，先后对淤积成因、控制运用要求原则、水力冲淤和机械冲淤的主要内容进行阐释，构建了较为全面的沿海挡潮闸冲淤减淤方式方法研究体系。

一、淤积成因及冲淤目标原则

（一）淤积成因

以新沂河海口枢纽为例，新沂河海口枢纽工程距离灌河口约1.2km，属于短引河型闸下淤积类型。根据多年观测得知，三个深泓闸下潮水涨潮时间历时为5小时，落潮时间历时为7小时，涨潮流速大于落潮流速，促使涨潮时携带的泥沙量大于落潮时冲走的泥沙量，从而造成闸下河道淤积。

水流挟沙能力表达式： $S=KV^2/gH$

式中： S 表示水流挟沙能力（ kg/m^3 ）； V 为流速（ m/s ）；

H 为水深（ m ）； g 为重力加速度（ m/s^2 ）； K 为经验系数^[1]。

（二）冲淤原则

遵循“落平开闸、涨平关闸”原则，冲淤时控制上下游水位、单宽流量不超设计标准情况下，大开（开度大）冲远，小开（开度小）冲近，枯季保港槽，汛期保断面，顺风多冲、逆风少冲，大汛多冲、小汛少冲，大潮多冲、小潮少冲，有雨多冲，无雨少冲^[2]。

（三）冲淤目标

（1）丰水年：平均断面面积达设计标准；

（2）平水年：平均断面面积同比不减少；

(3) 枯水年：闸门不淤死；申请调水冲淤，维持泓道底高程不高于上游控制运用最低水位。

二、水源调配基本要求及调配原则

(一) 基本要求

(1) 水闸值班人员要了解工程的设计功能以及所在流域的作用，及时掌握近期当地气象情况、潮水涨落潮时间、上下游水位等工况，并能熟练操作各项设备，具有应急处置工程突发事件的能力。

(2) 根据工程现状，每年修订防洪预案和反事故预案，并报上级主管部门批准。

(二) 汛期水源调配

水源调配应遵循确保防汛防旱安全、优先保证人民群众生活和工农业生产需要、充分利用水源、冲淤效果最大化、成本最低的原则；

汛前预降上游水位或春季引淡排咸时，应充分利用水源进行小流量排水，尽可能维持下游河床通畅；

汛期是下游河道冲淤保港黄金时期，在洪水到来之前或预报有风暴潮时，应提前预排区间水，让清水和潮水前峰带来的浑水相互顶托，从而使涨潮流消减，减少河床淤量。

以新沂河海口枢纽为例，按照上游流量大小，分层次调度：

(1) 当上游行洪流量大于 $2000\text{m}^3/\text{s}$ 时，按照“落平开闸、涨平关闸”原则，抢抓落潮有利时机，全力排除上游洪水；

(2) 当上游行洪流量大于 $1000\text{m}^3/\text{s}$ ，小于 $2000\text{m}^3/\text{s}$ 时，根据上游汛情，综合研判，以排泄洪水为主，在不影响行洪的情况下，开启三座闸结合行洪冲淤，也可根据下游淤积情况，单独开启中深泓闸、南、北深泓闸三闸中两闸冲淤运行；

(3) 当上游行洪流量低于 $1000\text{m}^3/\text{s}$ 时，尤其进入行洪末期，按照闸下冲淤轻重缓急，开启一闸或两闸运行；

(4) 汛末应拦蓄部分水源，根据当地情况适当抬高区域上游水位，作为枯水期冲淤运行的水源。

(三) 非汛期水源调配

非汛期，沿海挡潮闸主要承担挡潮和排泄上游沿线尾水任务。

(1) 非汛期水力冲淤，应遵循先通后畅原则，即优先冲开主河槽，保证主河槽畅通，再逐渐扩大河槽断面；

(2) 当上来水量较多时，在上游尾水不漫滩情况下，适当蓄高上游水位，采用单孔或几孔高水位差（水头差宜控制在 $0.8 \sim 1.0\text{m}$ 左右）大流量运行，集中水头水量，使最初出闸水流获得较大的流速，充分发挥全部水量的冲刷作用，节约外泄水量，对淤积河道轮流冲淤；

(3) 当上来水量较少时，定期活动闸门，防止闸门淤死。在水位水量允许情况下，且达到起排水位时，宜在大潮期，

以较大水位差小流量短历时泄水冲淤，尽可能维持泓道淤积不加重^[3]。

(4) 遇到恶劣天气（如强热带风暴、特大暴雨、大雾等）条件下，应暂停大水位差冲淤。

在冲淤减淤运用时，应兼顾农田灌溉。为保障3月份小麦返青水、5月份小麦灌浆水能够及时灌溉，在排泄上游来水时，应适当控制上游水位，保障新沂河沿线农田灌溉用水；为保障小麦越冬水的灌溉，在11月底12月初，排泄上游尾水时，也应控制上游水位在 0.5m ，保障小麦安全越冬水得到充分灌溉^[4]。

(四) 区间水调配

(1) 当区间水水位达到起排水位时，结合河滩内农田灌溉需求，在确保防汛防旱安全的前提下，保障工农业生产需要、充分利用水源、冲淤效果最大化、成本最低的原则；

(2) 汛前预降上游水位时，应充分利用水源进行冲淤保港运行，尽可能维持下游主河床通畅；

(3) 汛期在满足防洪前提下，对闸下河道有冲淤需求的挡潮闸应优先调度，预报近期无较大降水时，宜分闸、分时段设置冲淤运行水位，延长泄水冲淤历时，增强冲淤减淤运用效果。

三、水力冲淤

(一) 水力冲淤方法

(1) 逢大潮，开闸冲。根据大潮大淤，小潮小淤的特点，在每月大潮水期间，开闸冲淤。

(2) 涨潮时，清顶洪。根据一般潮水前锋挟沙量大的特点，涨潮前（特别是大潮水前）开闸放水，顶住混水，使清水先充满闸下引河，减少潮水带来的淤积量。

(3) 低高潮，开闸冲。沿海潮汐基本是有两涨两落，其中一潮潮位高，另一潮潮位较低。由于低高潮落潮潮差大，落潮水位低，流速较大，选择大潮汛的低高潮后开闸，可以获得较小的河道水深，较大的流速，从而增强冲淤效果^[5]。

(4) 带落差，开闸冲。带水头差开闸，可以增加瞬时流速，加大瞬时流量，使闸下水流流速达到或超过泥沙的启动流速，达到更好的冲淤效果。

(二) 水力冲淤控制运用规定

(1) 非行洪期沿海挡潮闸的控制运用按照批复的控制运用原则根据上游水位自行控制；汛期严格遵照调度指令执行，冲淤保港运行要根据枢纽工程上下游水位差、下游潮水等实际情况适当调整。

(2) 工程如需超标准运行，应进行充分的分析论证和复核，提出可行的运用方案，批准后执行；必要时，应先进行安全鉴定。

(3) 优化调度水源，充分利用上游尾水冲淤保港，发挥工程综合效益。

(4) 枢纽水闸群泄流时, 应防止船舶漂浮物影响闸门启闭或危及闸门、建筑物安全。

(三) 闸门运行操作

(1) 闸门操作应由2名或2名以上熟悉业务的工作人员进行操作, 至少一人操作, 一人监护。

(2) 当排水量大时, 现场应派专人对上下游进行巡视检查, 发现异常情况及时停机处理。

(3) 当闸门开高较大时, 宜分次开启。闸门接近最大开度或接近关闭时, 要提前控制, 避免保护失灵造成事故。

(4) 当闸门启闭发生振动时, 应适当调整开启高度, 避开发生震动的位置, 发现闸门或启闭机有不正常响声时, 应立即停机检查, 待故障排除后, 方可继续启闭^[6]。

(5) 闸门启闭完成后, 应立即切断电源, 并检查启闭机的制动装置是否可靠。做好闸门启闭相关记录, 及时报告。

(6) 非行洪期, 闸门长期不需启闭时, 闸门每月至少活动一次, 以防淤死。

四、冲淤减淤控制运用方案

下面以新沂河海口枢纽工程为例, 阐述非汛期、汛期以及分淮入沂冲淤减淤控制运用方案。

(一) 非汛期冲淤运行方案

在非汛期, 南、中、北三闸主要承担上游沿线尾水排放。当上游来水量较多时, 在上游尾水不漫滩情况下, 结合每天两潮开闸, 采用轮流冲淤方式, 即在低潮期, 控制单宽流量不超设计标准(北闸 $20.27 \text{ m}^3/\text{sm}$, 中闸 $18.60 \text{ m}^3/\text{sm}$, 南闸 $20.21 \text{ m}^3/\text{sm}$)情况下, 采用单孔高水位差大流量对淤积河道轮流冲淤。当来水量较枯时, 定期活动闸门, 防止闸门淤死。在水位水量允许情况下, 宜在大潮期以较大水位差小流量短历时泄水冲淤, 尽可能维持泓道淤积不加重。遇到恶劣天气(如强热带风暴、特大暴雨、大雾等)条件下, 应暂停大水位差冲淤^[7]。

(二) 汛期冲淤运行方案

在汛期, 利用每天两潮开闸时机, 闸门启闭遵循“落平开闸、涨平关闸”, 不超设计标准运行原则, 对淤积严重的河道优先运行冲淤, 在大潮汛(农历初三、十八左右)低潮位和小潮汛(农历十、二十三左右)低潮期进行开闸冲淤。在天气预报区域有大的降水时, 利用提前预降上游水位时机, 轮流运行三闸, 开闸冲淤; 其次是沂沭泗地区来水行洪时, 在服从防汛要求的前提下, 充分利用拦截末段洪水开闸冲淤^[8]。

(三) 分淮入沂运行方案

当淮河流域行洪, 需要分淮入沂时, 南偏泓河道断面较好, 过水能力较强, 日常来水较中深泓多, 所以在 $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ 以下或小流量行洪, 采用南深泓闸行洪, 同时兼顾中深泓闸。

五、机械辅助冲淤

(一) 适用条件

(1) 闸下河道平均断面面积已小于设计断面的30%~40%, 严重影响泄洪排涝, 淤泥板结, 水力冲淤效果不明显。

(2) 上游来水少, 闸下河道回淤较快。

(3) 闸下河道边滩(浅滩)发育严重影响排水, 河道芦苇侵占河道较大断面现象。

(4) 开闸泄水流速小, 难以使床沙起动。

(二) 冲淤机械选择

(1) 应根据工况、下达的经费等相关技术要求, 选用符合安全、适用、经济、高效的冲淤机械设备。

(2) 在对闸下河道进行机械清淤时, 应重点拓浚主河槽(或主泓道)。在有必要调整流速、流向时, 可采用切除边滩或浅滩等方式。

(3) 有冲淤水源时, 视闸下河道水深, 应优先选用搅动式清淤机械施工, 如闸下河道水深不能满足搅动式清淤船清淤工作要求时, 可先选用挖泥船(机)挖出河槽, 再用搅动式清淤机械施工。

(4) 气动冲淤

①气动冲淤设备: 由空压机、气罐、高压防爆气管和水下气排组成。

②气动冲淤原理:

a. 气动冲淤是利用空气的密度小于水的密度, 在水中受到的浮力远远大于其受到的重力, 而必然上升的原理, 从而带动泥沙上扬, 在水流的带动下, 使泥沙得以远距离输送的方法。泥沙的粒径越细, 沉降速度越小, 气动冲淤的效果越好^[9];

b. 河床在埋设管道后, 管孔长久不堵, 压气既能扬沙, 主动冲淤, 随时进行, 不受潮汐变化影响;

c. 管道不怕淤积, 有气即可扬动淤积于管上的泥沙;

d. 冲淤时泥沙含量较大, 可以连续冲淤, 或者采用大储气罐瞬间同时较大范围冲淤, 可能造成“揭河底”的现象, 提高冲刷效果^[9]。

(5) 掺气耙冲淤设备: 由掺气耙、空压机、牵引机船组成

①掺气耙冲淤原理: 利用机船牵引掺气耙在河床上移动, 对下游河床进行搅动, 扰动淤泥使其悬浮, 靠落潮水流或开闸水流带走泥沙。

②搅动式清淤船(机)施工应与挡潮闸控制运用密切配合, 并注意开闸时的安全运行。可在开闸前1h左右开始作业, 在关闸前0.5h~1h停止作业^[10]。

(6) 绞吸式挖泥船清淤: 主要是用于河道的开挖、疏浚等。其中挖泥, 输泥, 卸泥都是由挖泥船自身的连续性完成, 具有生产效率高, 成本低等特点。但该法需要河道有较高水位, 满足船只移动, 并需要提供排泥场。

（7）高压水泵冲淤

高压水泵冲淤施工原理就是用高压水冲刷淤泥，使之变成泥浆，并充分和水混合，紊动水流，加大水力的夹沙能力，从而达到清淤的目的。主要用于切除边滩、河道水上淤泥。其施工方法为在船只上或木排上安装动力装置和高压水泵，直接用高压水泵对边滩、河道水上部分淤泥进行冲刷使其变陡坍塌，部分变成悬沙或淤泥，随开闸水流或退潮潮流流走，这样往复施工达到清淤目的。

（8）机械冲淤保港施工宜在每年7月上旬完成。

六、水力冲淤及机械辅助清淤适用条件

清淤方式	适合方位	适合时间段	备注
水力冲淤	河道清淤	上游水位达到要求或有流量行洪时	此方法只能对河道清淤，对两侧边滩冲淤效果较差，受上游水量制约因素较多
气动冲淤	局部清淤，例如导流墙后	落潮时	受潮汐影响，设备投入较多，维护成本大，局限性多
掺气耙冲淤	河道、边滩清淤	全年适用	
绞吸式挖泥船清淤	边滩及水下、河道清淤	缺水年份可采用此法	受潮汐涨落影响较大
高压水泵冲淤	边滩清淤	全年适用	无法水下冲淤

七、其他需要注意的情况

（1）遇有冲淤减淤作业时，应做好施工前、后引河断面测量。

（2）每年年底，收集整理冲淤减淤控制运行资料，及时分析、归档、总结。

（3）对闸下河道有无擅自围垦、筑坝、临水建筑等影响河势稳定的情况进行经常检查。^[11]

（4）充分利用新技术，加强上下游河道的淤积变化监测和冲淤减淤效果分析。

参考文献

[1]SL75-2014.水闸技术管理规程[S].北京：中国水利水电出版社，2014.

[2]陈犇，丁磊，丁跃，等.气动冲沙技术在新沂河海口枢纽挡潮闸的应用[J].江苏水利，2023,(11):8-12.

[3]朱庆华，周亚军，江伟，万勇.新沂河海口枢纽冲淤保港运行调度实施方案[R].扬州，江苏水利勘测设计研究院有限公司，2022.

[4]周成洋，杨啸宇，王逸飞，等.江苏省车轴河感潮河段建闸调水减淤方案优化研究[J].人民长江，2023.07.023.

[5]张应奎，孙承坪，周亚明，等.某沿海挡潮闸设计难点及解决对策[J].水利技术监督，2024,(04):52-54+63.

[6]陈犇，丁磊，汪卫军，等.气动冲沙减淤防淤技术在高桩码头的应用研究[C]//中国海洋学会海洋工程分会.第二十一届中国海洋（岸）工程学术讨论会论文集（下），2024:5.

[7]孙洪滨，黄敏，曹恒军，等.沿海挡潮闸冲淤减淤调度运用关键技术研究[J].水利水电技术，2015,46(03):97-100.

[8]周宇伟，肖娟，吴文勇.引黄渠道水沙输移及冲淤规律研究[J].水电能源科学，2023,41(03):165-167+64.

[9]方国华，黄显峰，杨子桐，等.水利工程运行管理技术标准体系建设与对策分析[J].江苏水利，2020,(10):45-49.

[10]韩晓维，周文文，史斌.双层挡潮闸水力冲淤试验研究[J].中国农村水利水电，2022,(06):60-65+75.

[11]吴瑞霖，王鑫，林蓉璇.关于伦敦街街道防洪排涝方案的初步探究[J].广东水利水电，2023,(01):72-77.

水库大坝沥青混凝土心墙工程施工技术探讨

陈红元

云南华禹水利水电勘察设计有限公司, 云南 昆明 650000

摘 要 : 水库大坝作为水资源调配与防洪减灾的关键设施, 其安全性与稳定性至关重要。沥青混凝土心墙凭借其良好的防渗性能、适应变形能力以及耐久性, 在水库大坝建设中得到广泛应用。因此, 本文深入探讨水库大坝沥青混凝土心墙工程施工技术。阐述了沥青混凝土心墙在水利工程中的重要性, 详细介绍了沥青混凝土原材料选择、配合比设计, 全面解析施工流程, 包括基础处理、沥青混凝土铺设、碾压等环节, 同时强调了施工过程中的质量控制要点, 旨在为提升水库大坝沥青混凝土心墙工程施工质量提供技术参考。

关 键 词 : 水库大坝; 沥青混凝土心墙; 施工技术; 质量控制

Discussion on Construction Technology of Asphalt Concrete Core Wall Engineering in Reservoir Dam

Chen Hongyuan

Yunnan Huayu Water Resources and Hydropower Survey and Design Co., Ltd. Kunming, Yunnan 650000

Abstract : As a key facility for water resource allocation, flood control, and disaster reduction, the safety and stability of reservoir dams are crucial. Asphalt concrete core walls are widely used in the construction of reservoir dams due to their excellent impermeability, adaptability to deformation, and durability. Therefore, this article delves into the construction technology of asphalt concrete core walls in reservoir dams. It elaborates on the importance of asphalt concrete core walls in hydraulic engineering, introduces the selection of raw materials and mix design for asphalt concrete, and comprehensively analyzes the construction process, including foundation treatment, asphalt concrete laying, rolling, and other links. Simultaneously, it emphasizes the key points of quality control during the construction process, aiming to provide technical references for improving the construction quality of asphalt concrete core walls in reservoir dams.

Keywords : reservoir dam; asphalt concrete core wall; construction technology; quality control

一、沥青混凝土心墙在水利工程中的重要性

(一) 卓越的防渗性能

沥青混凝土具有密实的结构, 其孔隙率低, 能够有效阻止水分渗透。在水库大坝中, 沥青混凝土心墙作为主要防渗体, 可大幅降低坝体的渗流量, 减少水资源损失, 防止因渗漏导致的坝体内部结构破坏, 保障大坝的安全稳定运行。研究表明, 采用沥青混凝土心墙的大坝, 其渗流量可比传统土石坝减少80%以上, 极大地提高了大坝的防渗效果。^[1]

(二) 良好的适应变形能力

水库大坝在运行过程中会受到多种因素影响, 如地基沉降、温度变化、地震作用等, 导致坝体产生一定变形。沥青混凝土心墙具有良好的柔性和黏弹性, 能够适应坝体的变形而不产生裂缝, 保持其防渗性能, 有效延长大坝的使用寿命。在一些地震多发地区的水利工程中, 沥青混凝土心墙在经历地震后, 依然能保持良好的防渗性能, 保障大坝安全, 充分体现了其适应变形的优势。

二、沥青混凝土原材料选择

(一) 沥青材料选择

(1) 性能要求: 用于水库大坝沥青混凝土心墙的沥青, 需具备高软化点、低针入度、良好的黏附性和抗老化性能。高软化点可保证沥青在高温环境下不流淌, 维持心墙结构稳定; 低针入度使沥青具有一定硬度, 增强沥青混凝土的承载能力; 良好的黏附性确保沥青与骨料紧密结合, 提高沥青混凝土的整体性; 抗老化性能则保证沥青在长期使用过程中性能稳定。一般来说, 用于水利工程的沥青软化点应不低于60℃, 针入度在50~80 (0.1mm) 之间, 以满足工程对沥青性能的严格要求。(2) 常见沥青类型: 通常选用道路石油沥青或水工沥青。道路石油沥青来源广泛, 价格相对较低, 经过适当改性后可满足水利工程要求; 水工沥青专门为水利工程研发, 在性能上更贴合水库大坝的运行环境, 但其成本较高。在实际工程中, 需综合考虑工程需求、成本等因素选择合适的沥青类型。例如, 对于一些小型水利工程, 在满足性能要求的前提下, 可优先选用经过改性的道路石油沥青, 以降低工

程成本；而对于大型、重要的水利工程，为确保工程质量和长期稳定性，可选用水工沥青。^[2]

（二）骨料选择

（1）粗骨料：粗骨料应质地坚硬、清洁、级配良好。其粒径范围一般根据工程设计确定，通常为5-25mm。粗骨料的抗压强度、压碎值等力学性能指标需满足相关标准要求，以保证沥青混凝土的强度。同时，粗骨料的形状应尽量接近立方体，减少针片状颗粒含量，提高沥青混凝土的施工和易性。一般要求粗骨料的抗压强度不低于80MPa，压碎值不大于15%，针片状颗粒含量不超过15%，以确保其在沥青混凝土中发挥良好作用。（2）细骨料：细骨料宜采用天然砂或机制砂，要求其颗粒坚硬、洁净、级配合理。细骨料的细度模数一般控制在2.4-3.0之间，以保证沥青混凝土的和易性与密实度。细骨料中含泥量、泥块含量应严格控制，避免影响沥青与骨料的黏附性能。细骨料的含泥量应不超过3%，泥块含量应不超过1%，以保障沥青混凝土的质量。^[3]

（三）填料选择

（1）性能要求：填料在沥青混凝土中起填充孔隙、增强黏结的作用。常用的填料有石灰岩矿粉等，要求其干燥、洁净，无团粒结块。填料的亲水系数应小于1，以保证其在沥青中良好的分散性和与沥青的亲合力。亲水系数过大的填料，会导致沥青与骨料之间的黏附力下降，影响沥青混凝土的性能，因此严格控制填料的亲水系数至关重要。（2）质量控制：在填料采购过程中，需对其各项性能指标进行严格检验，确保符合设计要求。在储存和使用过程中，要采取防潮、防雨措施，防止填料受潮变质影响沥青混凝土性能。例如，可在仓库地面铺设防潮层，对填料进行密封储存，在使用前检查其是否有结块现象，如有问题及时处理。

三、沥青混凝土配合比设计

（一）目标配合比设计

（1）确定矿料级配：根据工程设计要求和骨料特性，通过筛分试验确定粗骨料、细骨料和填料的比例，形成连续级配的矿料级配曲线。矿料级配应满足沥青混凝土的强度、和易性以及防渗性能要求，同时考虑施工工艺的可行性。在确定矿料级配时，需综合考虑骨料的粒径分布、形状等因素，通过多次试验调整，使矿料级配达到最优状态，以保证沥青混凝土的各项性能。（2）确定沥青用量：采用马歇尔试验等方法，以不同沥青用量制备沥青混凝土试件，测定其密度、稳定度、流值等物理力学性能指标。绘制沥青用量与各性能指标的关系曲线，根据设计要求的性能指标范围，确定最佳沥青用量。一般来说，沥青用量的微小变化会对沥青混凝土的性能产生显著影响，因此需精确测定最佳沥青用量，以确保沥青混凝土的性能满足工程要求。^[4]

（二）生产配合比设计

（1）热料仓筛分：在沥青混凝土搅拌设备生产过程中，对各热料仓的骨料进行筛分，了解热料仓骨料的实际级配情况。根据热料仓筛分结果，调整冷料仓的进料比例，使热料仓骨料级配接近目标配合比的矿料级配。由于热料仓骨料在生产过程中可能会

出现级配波动，通过及时的筛分和调整，可保证生产出的沥青混凝土质量稳定。（2）确定生产配合比：按照调整后的热料仓骨料比例，结合目标配合比确定的最佳沥青用量，进行试拌。对试拌的沥青混凝土进行性能检测，根据检测结果微调沥青用量和矿料级配，确定最终的生产配合比，以保证生产出的沥青混凝土满足工程质量要求。在试拌过程中，需对沥青混凝土的各项性能进行全面检测，包括密度、孔隙率、强度等，根据检测结果对生产配合比进行优化。^[5]

四、水库大坝沥青混凝土心墙施工流程

（一）基础处理

（1）坝基清理：在沥青混凝土心墙施工前，需对坝基进行全面清理，清除坝基表面的浮土、杂物、松散岩石等，确保坝基表面平整、坚实。对于坝基中的软弱夹层、断层等地质缺陷，应按照规定要求进行处理，如采用灌浆、置换等方法进行加固。坝基清理的质量直接影响沥青混凝土心墙与坝基的结合效果，因此必须严格按照设计和规范要求进行操作，确保坝基清理彻底。（2）结合层施工：在清理后的坝基表面铺设一层结合层，通常采用水泥砂浆或乳化沥青等材料。结合层的作用是增强沥青混凝土心墙与坝基之间的黏结力，防止渗水。结合层应均匀铺设，厚度符合设计要求，并保证其平整度和压实度。结合层的厚度一般控制在2-3cm，通过严格控制铺设厚度和施工质量，可有效提高沥青混凝土心墙与坝基的黏结强度。^[6]

（二）沥青混凝土铺设

（1）沥青混凝土运输：采用专用的沥青混凝土运输车辆，对运输车辆进行保温处理，防止沥青混凝土在运输过程中温度降低过快。运输车辆在装料前应涂刷隔离剂，防止沥青混凝土黏附在车厢上。运输过程中，车辆应平稳行驶，避免急刹车和颠簸，减少沥青混凝土的离析现象。一般要求运输车辆的保温性能能够保证沥青混凝土在运输过程中的温度损失不超过10℃，以确保沥青混凝土的施工性能。（2）沥青混凝土摊铺：采用摊铺机进行沥青混凝土摊铺作业。摊铺机的摊铺速度应根据沥青混凝土的类型、温度以及铺筑厚度等因素合理确定，一般控制在2-6m/min。在摊铺过程中，要保证摊铺机的匀速行驶，避免中途停顿，确保沥青混凝土摊铺的平整度和连续性。同时，要控制好沥青混凝土的摊铺温度，一般要求在140-160℃之间，以保证沥青混凝土的和易性和压实效果。通过安装自动找平装置和温度传感器等设备，可精确控制摊铺机的摊铺速度和沥青混凝土的摊铺温度，提高摊铺质量。^[7]

（三）沥青混凝土碾压

（1）初压：初压的目的是使沥青混凝土初步稳定。采用轻型钢轮压路机或轮胎压路机进行初压，碾压速度一般控制在2-3km/h。初压应紧跟摊铺机进行，碾压遍数一般为2-3遍，初压后沥青混凝土的压实度应达到85%-90%。初压过程中，应注意压路机的行驶轨迹和碾压顺序，确保沥青混凝土均匀受压，初步形成稳定结构。（2）复压：复压是沥青混凝土压实的关键环节，主要目的

是提高沥青混凝土的密实度。采用重型钢轮压路机或振动压路机进行复压，碾压速度一般为3~5km/h。复压遍数根据沥青混凝土的类型和压实度要求确定，一般为4~6遍，复压后沥青混凝土的压实度应达到设计要求的98%以上。在复压过程中，可根据沥青混凝土的压实情况调整压路机的振动频率和振幅，以提高压实效果。（3）终压：终压的作用是消除沥青混凝土表面的轮迹，使表面平整。采用轻型钢轮压路机进行终压，碾压速度一般为2~3km/h，碾压遍数为1~2遍。终压应在沥青混凝土温度降至规定的终压温度之前完成，一般终压温度不低于110℃。终压时，应缓慢匀速行驶，确保沥青混凝土表面平整光滑，无明显轮迹。^[8]

五、水库大坝沥青混凝土心墙施工质量控制要点

（一）原材料质量控制

（1）进场检验：对每一批次进场的沥青、骨料、填料等原材料，均需按照相关标准进行严格的质量检验。检验项目包括沥青的三大指标（针入度、软化点、延度）、骨料的物理力学性能指标、填料的亲水系数等。只有检验合格的原材料方可用于工程施工。在进场检验过程中，应建立严格的检验记录制度，对每一批次原材料的检验结果进行详细记录，以便追溯和管理。（2）储存管理：原材料的储存条件对其质量有重要影响。沥青应储存在专用的沥青储罐中，保持储罐的温度稳定，防止沥青老化。骨料应分类堆放，防止不同规格骨料混杂，同时采取防雨、防尘措施，避免骨料含水率变化和污染。填料应储存在干燥、通风的仓库中，防止受潮结块。例如，沥青储罐可配备加热和保温装置，确保沥青储存温度在规定范围内；骨料堆放场地应设置排水系统，避免雨水积聚影响骨料质量。^[9]

（二）施工过程质量控制

（1）温度控制：沥青混凝土施工过程中的温度控制至关重要。从沥青混凝土的搅拌、运输、摊铺到碾压，各个环节都要严格控制温度。搅拌温度一般控制在160~180℃，运输过程中温度损失应控制在10~20℃以内，摊铺温度不低于140℃，碾压温度根据不同碾压阶段有相应要求。通过安装温度传感器、使用红外测温仪等手段，实时监测沥青混凝土的温度，确保施工温度符合要

求。在施工现场，应设置专门的温度监测点，对各个施工环节的温度进行实时记录和监控，如发现温度异常及时调整施工工艺。

（2）压实度控制：压实度是沥青混凝土心墙质量的关键指标。在碾压过程中，采用核子密度仪等设备对沥青混凝土的压实度进行实时检测。根据检测结果，及时调整碾压参数，如碾压遍数、碾压速度、压路机类型等，确保沥青混凝土的压实度达到设计要求。同时，要注意碾压的均匀性，避免出现漏压或过压现象。在压实度检测过程中，应按照规定的检测频率进行抽样检测，确保检测数据的代表性和准确性。^[10]

（三）质量检测与验收

（1）常规检测项目：在沥青混凝土心墙施工过程中，需进行多项常规质量检测，包括沥青混凝土的密度、孔隙率、渗透系数、抗压强度等。按照规定的检测频率，对沥青混凝土进行抽样检测，确保各项性能指标符合设计和规范要求。例如，沥青混凝土的密度应控制在2.3~2.4g/cm³之间，孔隙率不超过3%，渗透系数不大于1×10⁻⁷cm/s，抗压强度不低于3MPa，通过严格的常规检测，保证沥青混凝土心墙的质量。（2）无损检测技术应用：采用无损检测技术，如地质雷达、超声波检测等，对沥青混凝土心墙的内部质量进行检测。地质雷达可检测沥青混凝土心墙内部的空洞、裂缝等缺陷，超声波检测可评估沥青混凝土的均匀性和强度。通过无损检测技术，及时发现心墙内部潜在的质量问题，采取相应措施进行处理，保障沥青混凝土心墙的质量。在无损检测过程中，应根据工程实际情况选择合适的检测方法和参数，确保检测结果的准确性和可靠性。

六、结论

总之，水库大坝沥青混凝土心墙工程施工技术涵盖原材料选择、配合比设计、施工流程以及质量控制等多个关键环节。通过合理选择原材料、科学设计配合比、严格控制施工流程以及加强质量控制，能够确保沥青混凝土心墙的施工质量，充分发挥其在水库大坝中的防渗、适应变形和耐久性等优势。在未来的水利工程建设中，应持续关注沥青混凝土心墙施工技术的发展，不断优化施工工艺，提高工程质量，为水利事业的可持续发展提供坚实保障。

参考文献

- [1] 李翔. 水库大坝碾压式沥青混凝土心墙施工工艺 [J]. 中国高新科技, 2023, (07): 146-148.
- [2] 王瑞乐. 水库大坝碾压式沥青混凝土心墙施工及质量控制 [J]. 河南水利与南水北调, 2022, 51 (06): 52-53.
- [3] 胡育, 华钢. 阿拉沟大坝碾压式沥青混凝土防渗心墙冬季施工技术 [J]. 长江工程职业技术学院学报, 2021, 38 (01): 20-24.
- [4] 吴小军. 振捣式沥青混凝土心墙施工技术在 reservoir 大坝施工中的应用 [J]. 农业科技与信息, 2020, (23): 114-115+118.
- [5] 鲁浦吐拉·木提里浦. 水库碾压式沥青混凝土心墙施工技术 [J]. 河南水利与南水北调, 2017, 46 (08): 37-38.
- [6] 郭惠明. 大坝碾压式沥青混凝土心墙施工技术探析 [J]. 黑龙江水利科技, 2016, 44 (10): 102-104.
- [7] 赵靖伟. 水利大坝工程混凝土防渗加固措施研究 [J]. 陕西水利, 2020, (10): 174-175.
- [8] 刘冬华. 浅析水库大坝帷幕灌浆试验施工 [J]. 长江技术经济, 2020, 4 (S2): 203-204+207.
- [9] 童朝波. 水库沥青心墙工程施工技术研究 [J]. 河南建材, 2019, (06): 62+64.
- [10] 蒋晓云. 关峡水库沥青心墙砂砾石坝心墙设计 [J]. 甘肃农业, 2017, (20): 42-44.

基于风险管理的水利施工安全管理体系构建与优化

李姗姗，支立

北京市北运河管理处，北京 101100

摘 要： 本文聚焦水利施工安全管理的现实痛点，以风险管理理论为基石探索安全管理体系的创新重构路径。不同于既有研究多集中于单一风险因素或静态管理框架的局限性，本研究强调风险管理的动态耦合性与技术赋能价值，旨在通过多源数据融合、智能算法嵌入和全链条协同机制的整合，构建“识别-评估-控制-监控”一体化的安全管理体系。同时，文章结合各种前沿技术，提出安全管理体系的优化策略，力求突破传统管理中的信息孤岛、响应滞后与责任模糊等问题。

关 键 词： 风险管理；水利施工；安全管理体系

Construction and Optimization of Water Conservancy Construction Safety Management System Based on Risk Management

Li Shanshan, Zhi Li

Beijing North Canal Management Office, Beijing 101100

Abstract： This paper focuses on the realistic pain points of water conservancy construction safety management, and explores the innovative reconstruction path of safety management system with the risk management theory as the cornerstone. Different from the existing research focus on a single risk factors or static management framework limitations, this study emphasizes the dynamic coupling of risk management and technology can assign value, aims at through multi-source data fusion, intelligent algorithm embedded and the integration of the whole chain coordination mechanism, build "identification-assessment-control-monitoring" integration of safety management system. At the same time, the article combines with various cutting-edge technologies, puts forward the optimization strategy of safety management system, and strives to break through the traditional management of information island, response lag and responsibility fuzzy and other problems.

Keywords： risk management; water conservancy construction; safety management system

引言

作为国家基础设施建设的重要支柱，水利工程承载着防洪减灾、水资源调配、能源开发等多重使命，其施工过程往往面临复杂的地质条件、极端气候环境以及高强度的技术挑战。近年来，随着大型水利项目如抽水蓄能电站、跨流域调水工程的加速推进，施工安全管理的复杂性与不确定性显著增加^[1]。我国水利工程中的大多数事故与风险预控不足直接相关，传统“事后整改”式的安全管理模式已难以适应动态化、系统化的工程需求。如何在施工全周期中实现风险的精准识别、科学评估与高效控制，构建一套以风险管理为核心的安全管理体系，成为行业亟待突破的瓶颈。

一、水利施工安全风险的特征与分类

（一）水利施工安全风险的动态演化特征

水利工程施工安全风险呈现显著的非线性演化规律。从时空维度分析，风险状态随工程阶段推进呈现动态叠加效应。在基础开挖阶段，地质条件不确定性占主导地位^[2]。初期面临高边坡稳定性风险，温度应力控制风险逐步凸显，风险类型与等级随施工

时序动态演变。风险传播具有链式反应特征，某单一风险点的失控可能触发系统性事故。2020年某引水隧洞塌方事故即由局部岩爆引发支护失效，最终导致涌水突泥的连锁灾害，印证了风险传导的级联效应。

（二）多维度风险分类体系

基于风险源作用机理差异，可将水利施工风险解构为四大类属：自然风险、技术风险和社会风险。自然风险源于不可控环境

作者简介：

李姗姗（1987-），女，籍贯：北京密云，汉族，工程师，本科，研究方向：水工建筑物运行与维护；

支立（1983-），男，籍贯：河北衡水，汉族，助理工程师，本科，研究方向：水工建筑物运行与维护。

因素，包含极端气象、地质灾害与生态敏感区干扰三类。例如，滇中引水工程遭遇的喀斯特地貌突水问题，本质属于地质构造风险与施工技术风险的耦合作用。技术风险聚焦工程实施环节，涵盖设计缺陷、工艺失当及设备故障等维度，比如抽水蓄能电站压力钢管焊接中出现的冷裂纹缺陷^[3]。管理风险体现为组织体系缺陷，包括安全制度虚置、资源配置失衡与监管流程断裂。社会风险涉及利益相关者冲突，征地移民矛盾与舆情危机成为新型风险增长点，如某水库扩建工程因移民安置补偿纠纷导致工期延误。

二、基于风险管理的水利施工安全管理体系构建

（一）四位一体安全管理体系框架设计

水利施工安全管理体系的构建需突破传统线性管理范式，建立“风险识别-风险评估-风险控制-风险监控”四位一体的闭环系统。该框架以风险数据流为驱动，通过模块化功能集成实现管理效能的螺旋式提升。在体系运行机制上，风险识别模块负责多维度数据采集与特征提取，评估模块完成风险量化与优先级排序，控制模块实施差异化干预策略，监控模块则通过实时反馈优化系统参数^[4]。体系创新性主要体现在动态耦合机制：监控数据反向输入识别模型实现知识迭代，风险评估结果实时修正控制阈值，形成“监测-决策-执行-验证”的智能闭环。

（二）多源数据融合的风险识别模型

针对水利工程风险源的隐蔽性与关联性特征，构建基于多源异构数据融合的识别模型。模型架构包含数据感知层、特征提取层和决策输出层三个层级。数据感知层集成北斗变形监测、无人机巡检影像、环境传感器与人员定位数据，形成空天地一体化的监测网络^[5]。特征提取层采用改进的LSTM-Attention算法，通过时序特征提取与空间关联分析，捕捉风险演化规律。决策输出层借助贝叶斯网络实现风险耦合效应分析，突破传统单因素识别模式的局限性。在南水北调中线工程穿黄隧洞施工中，该模型成功识别出复合风险场景。通过融合地质雷达探测数据、施工机械运行状态监测信息及水文气象预报，系统提前预警了掌子面突水风险。相较于人工巡检方式，模型显著提升了风险识别覆盖率，误报率也得到了控制，验证了多源数据融合的技术优势。

（三）动态风险评估模型构建

为解决风险不确定性量化难题，引入模糊综合评价法与蒙特卡洛模拟的混合评估模型。评估体系包含5个一级指标和18个二级指标，采用改进的G1法确定权重分布，既考虑专家经验又融入数据驱动要素。模糊评价处理定性指标的模糊性特征，蒙特卡洛模拟通过大规模迭代计算揭示风险损失的概率分布特征，两者结合实现定性与定量评估的有机统一。在雅砻江两河口水电站大坝填筑工程中，该模型动态评估了暴雨工况下的边坡稳定性风险。通过实时接入物联网监测数据，系统每15分钟更新渗流压力、位移速率等关键参数，自动触发风险评估流程^[6]。评估结果显示高风险区域与后期实际发生浅层滑坡的位置高度吻合，证明模型具有较强工程适用性。动态评估机制使风险管控从定期检查转向实时响应，显著提升管理时效性。

（四）分级风险控制策略设计

基于风险评估结果实施四级管控策略，建立风险等级与管控强度的映射关系。红色级风险触发工程暂停机制，橙色级启动专项应急预案，黄色级实施工序优化调整，蓝色级维持常规监测^[7]。控制措施与工程阶段深度耦合，针对围堰施工、混凝土浇筑等关键环节设计差异化管控方案，实现资源优化配置。在滇中引水工程香炉山隧洞施工中，系统根据围岩类别变化动态调整管控等级。当TBM掘进至断层破碎带时，自动升级为橙色管控级别，该级别会降低掘进速度，加强超前支护措施，同步启动应急物资调配。

（五）物联网驱动的风险监控平台

设计基于边缘计算架构的智能监控平台，构建“终端感知-边缘计算-云端决策”三级协同体系^[8]。终端层部署高精度智能传感器，实现毫米级形变监测与微秒级响应。边缘节点运行轻量化识别算法，完成数据预处理与初级风险判断。云端中心集成数字孪生模型，支持多场景仿真推演与策略优化。平台创新性体现在预警规则的自适应进化机制，通过机器学习持续优化预警阈值与响应逻辑。在大藤峡水利枢纽船闸工程中，该平台成功预警左岸边坡位移异常。系统通过融合微震监测、倾斜仪数据与图像识别结果，提前发现潜在滑动面发育迹象，及时启动加固措施避免重大损失。平台的应用大幅降低了监控成本，预警准确率也得到了提升。

三、水利施工安全管理体系的优化路径

（一）动态适应原则的实践转化

水利施工安全管理的动态优化需贯穿工程全生命周期。在深基坑施工阶段，需建立地质条件与支护参数的动态匹配机制，通过实时监测地下水位、土体位移等关键指标，自动调整降水井运行频率与支护结构预应力。高边坡作业场景中，结合气象预报数据与岩体稳定性监测结果，动态切换开挖方案与防护等级。混凝土浇筑期则需构建“温度场-应力场”的双向反馈机制，根据传感器数据实时调整冷却水流量与养护方案^[9]。动态适应的本质在于将静态安全阈值转化为与施工进度、环境变量联动的函数关系，其技术支撑来源于物联网监测网络与智能决策算法的深度融合。

（二）技术协同的落地场景

BIM技术在复杂施工场景中展现多维管控价值。对于地下厂房交叉作业区域，通过4D施工模拟提前发现施工机械路径冲突，优化设备调度时序。在导流隧洞衬砌施工中，基于BIM模型自动校核钢筋间距与混凝土浇筑量，规避质量缺陷引发的结构风险。数字孪生技术在水库大坝施工中构建虚拟映射系统，实时反演渗流场变化趋势，为防渗墙施工质量提供预判依据。区块链技术应用于工程验收环节，建立不可篡改的电子档案链，实现检测报告、材料合格证等关键数据的全流程追溯。技术集成的突破点在于构建统一数据中台，打通设计参数、施工记录与监测数据的交互壁垒。

（三）安全文化的具象化建设

人员安全素养培育应与施工场景深度结合。文化建设的核心是将抽象的安全理念转化为可执行的操作规程与可视化管控界面。针对高空作业人员开发 VR 沉浸式培训系统，模拟脚手架搭设失误引发的坠落场景，强化肌肉记忆与风险条件反射。在隧洞掘进作业班组推行“安全行为画像”制度，通过智能安全帽采集操作规范性数据，生成个性化改进方案^[10]。工序交接环节实施风险传递清单管理，明确围堰拆除向主体结构施工过渡时的渗流控制、结构应力监测等12项责任交接要点。设备管理维度建立健康状态指数评价体系，基于振动频谱分析、油液检测数据预测机械故障概率，实现预防性维护。

四、水利施工安全管理体系的未来发展方向

（一）标准体系的动态重构机制

水利安全标准体系需建立与技术创新同步的进化能力。针对TBM掘进施工，制定动态调整的标准框架。在硬岩地层设定刀具磨损量的预警阈值，破碎带区域明确超前注浆压力与支护时机的量化指标。设备管理标准引入健康度评价体系，基于振动频谱分析建立液压系统故障预警模型，将维修策略从“故障后抢修”转向“预测性维护”。标准验证环节构建双轨机制：数字孪生平台模拟标准适用性，现场实测数据反馈修正参数阈值。在生态敏感区域，标准体系需集成环境承载力指标，例如规定施工活动强度与植被恢复进度的量化关系，实现工程安全与生态保护的动态平衡。

（二）国际经验的本土化融合路径

国际先进技术的引进需完成适应性改造四部曲。在参数校准阶段，建立地质相似性评价模型，筛选适配技术类型；在功能优化阶段，改进设备接口标准，比如调整盾构机刀盘转速参数以适应本地岩体强度特征；在工艺重构阶段，融合传统工法，在高地

应力隧洞施工中组合新奥法监测体系与北欧支护技术；在人员培训阶段，开发虚实结合的实训系统，通过增强现实技术模拟国际设备的操作流程。引进技术时需建立标准互认机制，既要构建中外规范参数的转换公式库，又要开发智能解释系统自动匹配条款差异。输出技术时采用模块化封装策略，将核心算法与硬件适配方案分离设计，确保在不同地质条件下的快速部署能力。

（三）绿色安全协同的价值创造

生态技术创新正在重塑安全管理的价值维度。在库岸防护中，柔性生态挡墙通过植物根系加筋作用提升结构稳定性，较传统混凝土护坡减少碳排放42%。在施工过程中的绿色化改造也能形成风险防控新路径。各种新型电动工程机械可以消除燃油泄漏隐患，其低噪音特性也能同步降低工人听力损伤风险；装配式临建设施可以减少场地开挖量，从源头控制边坡失稳概率。在评价体系中将生态环境纳入考虑。采用层次分析法确定工程生态效益、安全效益、经济成本的量化关系。这种协同模式将环境外部成本内部化，通过碳交易机制使安全投入转化为可量化的经济效益。

五、结束语

水利施工安全管理是保障工程质量和人员安全的核心环节，而基于风险管理的管理体系构建与优化为行业提供了全新的解决思路。本文通过分析水利施工风险的动态演化特征和多维度分类，提出了“识别-评估-控制-监控”四位一体的安全管理体系框架，并结合各种前沿技术实现了从静态管理向动态智能管控的转变。未来，随着智能化技术的深度应用，水利施工安全将迈向精准感知、科学决策和高效响应的新阶段。同时，标准化体系的完善和国际经验的融合将进一步提升管理效能，推动绿色安全协同发展的转型目标。

参考文献

- [1]王海升,石洪娥.水利工程施工中的质量控制与安全管理体系[J].葡萄酒,2023(15):0025-0027.
- [2]周花兰.水利施工安全风险及风险控制措施[J].建筑工程技术与设计,2018.
- [3]吉祖湛.强化水利工程施工安全管理措施[J].水利规划与设计,2016(2):4.
- [4]陶丽霞.水利施工安全风险管控措施分析[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2021(11):3.
- [5]陆启庆.水利施工管理中的安全风险与改进对策[J].工程设计与设计,2019,(15):298-300.
- [6]罗黎.刍议水利施工安全风险控制措施[J].建筑工程技术与设计,2017,000(034):824.
- [7]任继锋.水利工程安全生产风险管理体系建设[J].云南水力发电,2023,39(11):300-303.
- [8]陈世庆.水利工程施工安全管理存在的主要问题与对策探微[J].建筑工程技术与设计,2017(5).
- [9]杨晓华,李盛,曾朝文.浅谈水利水电施工企业的项目风险管理[J].江西水利科技,2013,039(001):71-74.
- [10]李卓兰.水利施工管理中存在的安全风险及改进措施[J].工程技术:文摘版,2016:00121-00121.

水利水电工程河道堤防施工质量控制要点探析

刘玮豪，孙颖

长江水利水电开发集团（湖北）有限公司，湖北 武汉 430000

摘 要： 水利水电工程是我国基础设施建设的重要组成部分，其中，河道堤防施工是工程的核心环节。然而，河道堤防的施工质量直接影响到工程的使用期限，乃至可能引发安全风险。因此，本文从实际工程出发，系统地探析了河道堤防施工质量的控制要点。主要包括选择合适的施工方案，反复实地勘察以确保施工质量保证；对施工环境进行动态调整，保持稳定的施工状态以降低质量风险；采取严谨的施工技术和工艺保障系统，进行细致的质量检测和锐意的反馈优化，确保施工质量的持续性和稳定性。通过实践验证，采取以上措施能显著提高河道堤防施工的质量，有益于提升水利水电工程的总体质量和使用寿命，远离安全风险。研究结果对于指导实地施工，提高建设质量具有重要的参考价值。

关 键 词： 水利水电工程；河道堤防施工质量；施工方案与技术

Analysis of the Quality Control Points of River Embankment Construction in Water Conservancy and Hydropower Projects

Liu Weihao, Sun Ying

Changjiang Water Resources and Hydropower Development Group (Hubei) Co., Ltd. Wuhan, Hubei 430000

Abstract： Water conservancy and hydropower project is an important part of China's infrastructure construction, among which, river embankment construction is the core link of the project. However, the construction quality of river embankment directly affects the service life of the project, and even may cause safety risks. Therefore, from the actual engineering, systematically explore the control points of river embankment construction quality. Mainly includes selecting the appropriate construction scheme, repeated field investigation to ensure construction quality assurance; dynamically adjust the construction environment, maintaining the stable construction state to reduce quality risk; adopting rigorous construction technology and process guarantee system, detailed quality inspection and feedback optimization to ensure the sustainability and stability of construction quality. Through practice verification, the above measures can significantly improve the quality of river embankment construction, be beneficial to improve the overall quality and service period of water conservancy and hydropower projects, and stay away from safety risks. The research results have an important reference value for guiding the field construction and improving the construction quality.

Keywords： water conservancy and hydropower project; construction quality of river embankment; construction scheme and technology

引言

水利水电工程始终是我国基础建设的主要力量之一，其建设的质量、效率直接关系到我国经济的发展与人民生活的改善。尤其是其中的河道堤防施工环节，作为整个工程建设过程的关键部分，质量的高低直接决定了整个工程质量的好坏，影响着后续的工程运行及维护。然而，当前在河道堤防的施工过程中，出现一系列的质量问题，如施工方案选择不合理、施工环境调整不及时、施工技术工艺及质量检测和反馈优化的不严谨，这些问题严重制约了施工质量的提升，甚至给人们的生命财产安全带来威胁。

尽管研究者在很长一段时期里一直致力于探寻有效的控制和优化方法，但这些努力还缺乏系统性和细致性，未能从根本上解决问题。因此，本文旨在系统地探析如何更好地进行河道堤防施工质量的控制，具有实际的指导意义。

一、概述

（一）水利水电工程的重要性

水利水电工程在国家基础建设中具有不可或缺的位置，其重要性体现在多个方面^[1]。水利水电工程不仅涵盖广泛的领域，包括防洪、抗旱、灌溉、供水、电力生产等，而且其建设与运营直接关系到国民经济的可持续发展和生态环境的保护。

水利水电工程能够有效调控水资源，保障农田灌溉和城乡供水需求。对于中国这样的农业大国而言，水资源调配和保护是农业生产乃至整个国民经济的基础保障。通过科学合理的水资源管理，确保农业生产的稳定和高效，进而保持农产品供给的持续稳定。

水利水电工程在防洪减灾中发挥着关键作用。洪灾不仅会对人民生命财产安全造成直接威胁，还会对国民经济带来长远不利影响^[2]。水利工程能够通过调蓄洪水、疏导河流等手段，有效减轻洪水灾害，保障社会安全稳定。

水利水电工程也是实现绿色能源发展的重要途径。随着全球气候变化问题日益严峻，清洁能源的开发利用成为必然趋势^[3]。水电作为可再生能源，具有清洁环保、资源丰富等特点，水电站的建设与运行可减少化石能源消耗、降低温室气体排放提供了重要支持。

水利水电工程对生态环境具有修复和保护功能^[4]。合理的水利工程规划与建设，有助于改善河湖水系生态环境，促进生态系统良性循环，实现人与自然的和谐共生。

水利水电工程在保障国家水安全、促进经济社会发展、推动能源转型和保护生态环境等方面，具有重要的战略意义，成为现代化建设不可或缺的组成部分。

（二）河道堤防施工的核心地位

河道堤防施工在水利水电工程中扮演着举足轻重的角色，其质量直接决定了工程的安全性与使用寿命。堤防作为防洪减灾的关键屏障，对周边区域的防护能力至关重要。在水流冲击、泥沙淤积、地质条件等复杂因素的作用下，河道堤防的施工质量成为工程稳定运行的核心保障。高标准的施工能够有效抵御洪水侵袭，确保区域生态安全和社会经济的可持续发展。堤防建设过程中，各环节的质量控制不仅事关工程整体效能，还与防灾减灾措施的可靠性密切相关。施工过程中的任何质量隐患，都可能带来不可估量的安全风险和经济损失。确保堤防施工的科学性和精准性，是实现水利水电工程长效运行的重要前提。

二、施工方案选择与施工前勘察

（一）合理选择施工方案

合理选择施工方案在河道堤防施工中至关重要，因为其直接关系到工程施工的质量和效益。从多方面综合考虑，科学、合理地选择施工方案能够有效提高施工效率，降低施工风险，实现工程的最佳效果。

要全面分析工程实际情况，包括地理位置、水文条件、地质

情况等要素。通过对这些要素的详细了解，能够准确判断施工环境，进而在制定施工方案时充分考虑其影响^[5]。对于水文条件复杂的河段，应选择适应性强的施工方法，如在洪水可能发生的季节，优先选择快速有效、抗冲刷能力强的施工技术。

结合工程的具体要求，选择符合规范标准的施工技术与材料。例如，在砂石料选择上，应严格筛选粒径大小合适、含泥量低的砂石材料，以保证堤防的稳定性和持久性。对于特殊地质条件，应考虑采用加固或防渗技术，如铺设防渗膜或加设截水沟等措施，以防止因地基沉降或渗漏而影响工程质量。

施工工艺设计也尤为重要，需要综合各种施工方法的优缺点，制定详细的施工步骤和流程，确保施工过程顺畅有序。还应充分考虑工程设备的选择与配置，合理安排资源，确保各项施工任务的高效完成。例如，在大规模土石方工程中，机械化施工能够显著提高效率和精度，而在小规模、精细化作业中，手工操作可能更具灵活性和适应性^[6]。

选择合理的施工方案还需充分考虑经济效益与生态环境影响。应在成本控制与环保要求之间寻求平衡，力求实现经济和社会效益最大化。通过科学合理地选择施工方案，不仅能够确保河道堤防施工的质量和安全性，还能提升工程的整体效益，确保水利水电工程的长期稳定运行。

（二）反复进行实地勘察以确保施工质量

实地勘察是保证河道堤防施工质量的关键环节。通过多次实地勘察，能够深入了解施工区域的地质条件、水文特性及环境特点，进而为施工方案的优化提供科学依据。在勘察过程中，应重点分析土壤结构和地下水位，以便在施工中采取相应的技术措施。应结合天气、地形等外部因素，调整施工计划，避免可能的不可控风险。通过综合分析勘察数据，有助于提高工程设计的精确性和施工的安全性，确保河道堤防的结构稳定性和耐久性。

三、施工环境的动态调整与质量风险管理

（一）施工环境的动态调整

施工环境的动态调整是确保水利水电工程中河道堤防施工质量的重要环节。河道堤防施工过程中，施工环境会受到地质条件、气候变化、水文特性以及周边生态环境的影响，这使得施工过程充满了不确定性。通过动态调整施工环境，可以在应对外界不利因素的保持施工的稳定性和连续性，从而降低质量风险。

在施工前期，需要根据施工区域的地质勘探与水文分析结果制定动态调整的预案。施工区域的土壤强度与结构特性直接影响堤防的稳定性，针对不同的土质条件，应选用相应的支护措施和加固手段。当施工过程中遇到突发地质变化或异常水文状况时，及时调整施工组织与工艺流程，可以有效应对环境变化对工程质量的不利影响。

气候条件也是决定施工环境的重要因素，尤其在降雨频繁或温度波动较大的区域，其对施工材料性能、机械设备状态及人员作业的影响不容忽视。为此，应设置气象监控系统，实时掌握天气动态，并根据监测数据决定施工工序的推进节奏。在特定时

期,合理布置防汛排水设备与保温防护措施,有助于减小极端天气对施工流程的干扰。

动态调整的另一个重要方面是生态环境的保护与协调。施工期间可能对周边植被、水流及生物多样性造成影响,在河道清理、土方开挖等环节,应在满足施工需求的采取生态恢复措施。这不仅有助于创造稳定的施工环境,也为长远的环境安全提供保障。

通过动态调整施工环境,可以有效提高河道堤防施工的适应能力,为施工质量控制提供有力支持^[7]。

（二）施工质量风险识别与管理

施工质量风险识别与管理是确保河道堤防施工质量的重要环节。需要建立全面的质量风险识别体系,通过对地质、水文、气象等基础数据的详尽分析,识别潜在的质量风险,评估风险等级,并制定对应的控制措施。在施工过程中,应加强对关键施工节点和高风险环节的监控,实施动态风险评估,及时发现和处理异常情况,减小质量风险对工程的影响^[8]。需建立严密的质量管理和监督机制,制定严格的质量标准和检验措施,确保各个环节均满足施工质量要求,从而保障河道堤防施工的稳定性与安全性。

四、施工技术和工艺保障系统

（一）采用严谨的施工技术

在水利水电工程的河道堤防施工中,严谨的施工技术是确保工程质量的关键环节之一。合理运用施工技术既能有效提升施工效率,也能增强堤防的结构稳定性和安全性。

河道堤防的施工技术应根据工程属性和环境条件的不同而精细化选择。高填方堤防施工中,应采用分层回填压实技术,确保每一层土方具有均匀的密实度和承载能力,从而增强堤防抗渗性和整体稳定性。在软弱地基或不良地质区域,需应用改良土质技术,如掺加适量的石灰、水泥或粉煤灰进行地基加固,提高地基承载能力^[9]。在砌石或混凝土堤防施工中,应严格依据设计规范控制材料质量并采用精确的装模板技术和浇筑工艺,防止产生裂缝和空洞,保证堤防的整体强度。

施工过程中,针对不同施工阶段,需采用先进的机械化施工技术和动态监测系统,确保施工偏差及时反馈与修正。动水施工条件下,可采用围堰、截流等技术,保证施工区水流环境的可控性和稳定性。焊接技术和搭接工艺在金属结构施工中也具有重要作用,焊接质量需通过无损检测手段进行严格把关,保障连接的强度和耐久性。

通过采用科学合理的施工技术,不仅能够有效降低施工过程中潜在的质量隐患,还能进一步确保河道堤防系统具备长期、稳定的防汛抗灾能力,为整个水利水电工程的安全运行奠定坚实基础。

（二）实施细致的质量检测与反馈优化

实施细致的质量检测是保障河道堤防施工质量的一项关键举措。施工过程中,应建立全面的质量检测体系,对施工的各关键

环节进行全方位监测,包括土石方填筑、护坡材料的压实度、混凝土质量以及防渗设施的安装等,确保每一道工序符合设计规范和质量标准。使用现代化检测设备和技术,能够提高检测精度与效率。实时监测施工数据,并对偏离标准的情况及时采取修正措施,以避免次生质量问题的累积。

反馈优化是质量控制的核心环节。通过质量检测所获取的数据,及时分析施工工艺中的不足,并结合现场实际情况调整技术参数和施工流程。建立动态反馈机制以及多方协同工作模式,能够对施工中发现的问题迅速作出反应,以保证质量的持续提升^[10]。质量检测与反馈优化的协同实施,不仅提升了河道堤防工程的整体质量水平,还为类似工程的质量控制提供了可借鉴的对策和依据。

五、结论与实践应用

（一）提高施工质量的重要措施

提高河道堤防施工质量的措施是确保水利水电工程顺利实施的关键。选择科学合理的施工方案对施工质量起着至关重要的作用。在方案选择阶段,应充分考虑工程所在地区的地质条件、水文特征和环境影响等因素,以此制定出符合实际需求的施工策略。反复进行实地勘察极为重要,这是掌握现场真实情况、及时发现潜在风险的有效途径。通过对施工现场的详细调查,可确保设计方案与现场条件高度匹配,从而避免不必要的工程变更和质量问题。

施工环境的动态调整与管理亦不可忽视。施工过程中,环境因素不可避免地发生变化,工程管理人员需具备敏锐的判断力和应变能力,根据环境变化及时调整施工进度和工艺流程,保持工程的稳定性和安全性。采用先进的施工技术和工艺保障系统是提高施工质量的技术支撑。严谨的技术流程和工艺标准的实施,确保了施工各环节的精确控制,减少了人为误差的可能性。质检程序也是质量管理的核心之一,施工过程中应设置严格的质量检测节点,通过持续的反馈优化,提升施工过程的质量标准。

通过以上措施的综合运用,不仅能够显著提高河道堤防施工质量,还能延长水利水电工程的使用寿命,减少后期维护的成本,为国家的基础设施建设提供坚实保障。这些措施在实际应用中证明了其重要性和有效性,具有广泛的实践指导价值。

（二）实践应用的价值与成效

在河道堤防施工质量控制的实践应用中,通过优化施工方案选择、动态调整施工环境、严格技术和细致的质量检测,能够显著提升施工质量和效率。合理选择施工方案确保了在不同环境条件下的施工适应性,减少了施工过程中的返工率和资源浪费。针对施工环境的动态调整,有助于施工过程中的问题及时得到解决,从而避免潜在的风险加剧。通过严谨的技术应用和有效的质量检测机制,保障了施工过程中每一个环节的质量稳定性和连贯性。反馈优化措施在实践中积累的数据和经验,形成了持续改进的良性循环机制,奠定了施工标准化的基础。结合上述控制措施的实施,可以有效延长水利水电工程的使用寿命,提高其整体安

全性和可靠性，为相关工程的建设提供了科学指导和借鉴作用，具有显著的经济和社会效益。

六、结束语

本文从实地工程出发，对水利水电工程河道堤防施工质量的控制要点进行系统的探析和讨论，以期在今后的实际操作中，更好的提高工程质量。通过选择合理的施工方案，反复实地勘察以保证施工质量；动态地调整施工环境，保持稳定的施工状态以最

小化质量风险；采取严格的施工技术和工艺保障系统，进行细致的质量检查和反馈优化，可以确保施工质量的持续和稳定。实践证明，这些方法可以显著提高河道堤防施工的质量，有助于提升水利水电工程的整体质量和使用寿命，降低安全风险。未来的研究中，可以进一步探讨如何根据不同的工程特性，对施工质量控制策略进行个性化调整，以不断优化施工效果。本研究的成果为实地施工提供了重要的参考，对于提升建设质量具有重要的实际意义。

参考文献

[1] 葛亚辉. 水利水电工程施工质量控制要点分析 [J]. 精品·健康, 2020, (24): 175-175.
[2] 韦宜佟. 水利水电工程管理与施工质量控制 [J]. 中文科技期刊数据库 (文摘版) 工程技术, 2021, (05): 0127-0127.
[3] 吉双. 水利水电工程施工质量控制要点研讨 [J]. 中文科技期刊数据库 (全文版) 工程技术, 2020, (10): 0099-0100.
[4] 董嘉文. 水利水电工程施工质量控制要点研究 [J]. 百科论坛电子杂志, 2020, (09): 232-232.
[5] 许红新. 水利水电工程施工质量控制的要点 [J]. 电脑乐园, 2021, (06): 0063-0063.
[6] 李建军马飞燕. 水利水电工程施工质量控制的要点探析 [J]. 中国科技期刊数据库 工业 A, 2023, (06): 0021-0024.
[7] 陈宏慧. 水利水电工程的施工质量控制要点分析 [J]. 中国科技期刊数据库 工业 A, 2023, (07): 0022-0025.
[8] 张雷. 分析水利水电工程施工质量控制要点 [J]. 中文科技期刊数据库 (引文版) 工程技术, 2021, (04).
[9] 王辉徐友彩. 水利水电工程施工质量控制要点探讨 [J]. 中文科技期刊数据库 (文摘版) 工程技术, 2020, (08).
[10] 卢明周. 浅析水利水电工程施工质量控制要点 [J]. 中文科技期刊数据库 (全文版) 工程技术, 2021, (12): 0097-0099.

测绘勘查在水利水电选址科学决策中的应用价值研究

乃廷康

广西华南岩土工程集团有限公司贺州分公司, 广西 贺州 542800

摘 要 : 测绘勘查技术于水利水电工程选址里有着极为关键的作用, 是科学决策的核心关键所在, 研究借助剖析测绘勘查技术在水利水电选址当中的运用, 剖析其于提升选址科学性、削减工程风险及成本、推动可持续发展等层面的价值, 研究得出, 测绘勘查技术可给出精准的地理、地质以及水文数据, 给选址决策给予科学依据, 优化工程方案, 降低潜在风险, 推动水利水电工程实现可持续发展。本文从测绘勘查技术的概述、水利水电选址的科学决策流程等方面着手论述, 为水利水电工程的选址决策提供理论支撑与实践指引。

关 键 词 : 测绘勘查; 水利水电; 选址决策; 科学决策; 可持续发展

Research on the Application Value of Surveying and Mapping Exploration in Scientific Decision making of Water Resources and Hydropower Site Selection

Nai Tingkang

Hezhou Branch of Guangxi South China Geotechnical Engineering Group Co., Ltd. Hezhou, Guangxi 542800

Abstract : Surveying and mapping technology plays a crucial role in the site selection of water conservancy and hydropower projects, and is the core of scientific decision-making. By analyzing the application of surveying and mapping technology in water conservancy and hydropower site selection, this study analyzes its value in improving the scientificity of site selection, reducing engineering risks and costs, and promoting sustainable development. It is concluded that surveying and mapping technology can provide accurate geographical, geological, and hydrological data, provide scientific basis for site selection decisions, optimize engineering plans, reduce potential risks, and promote sustainable development of water conservancy and hydropower projects. This article discusses the overview of surveying and mapping techniques, the scientific decision-making process for water conservancy and hydropower site selection, and provides theoretical support and practical guidance for site selection decisions in water conservancy and hydropower projects.

Keywords : surveying and mapping survey; water conservancy and hydropower; site selection decision; scientific decision-making; sustainable development

引言

水利水电工程属于国家基础设施中相当关键的一部分, 它的选址决策跟工程的安全性、经济性以及可持续性直接相关联, 随着科技不断进步, 测绘勘查技术在水利水电工程选址方面的应用变得越来越广泛, 成了科学决策的关键支撑力量, 测绘勘查技术借助获取精准的地理、地质以及水文数据, 给选址决策供给科学依据, 优化工程方案, 降低潜在风险, 推动水利水电工程实现可持续发展。本文要剖析测绘勘查技术在水利水电选址中的应用以及其在科学决策中的价值, 为水利水电工程的选址决策给予理论支撑和实践指引。

一、测绘勘查在工程选址中的关键作用

测绘勘查技术于工程选址而言有着不可替代的关键作用, 其一测绘技术借助高精度测量办法, 去获取工程区域囊括地形、地貌以及水文等地理信息数据, 以此为选址给予基础资料, 其二勘查技术依靠地质勘探、水文地质调查等手段, 深入知晓工程区域

的地质构造、岩土性质以及地下水分布等状况, 为选址决策供给科学依据。测绘勘查技术还可凭借遥感、地理信息系统 (GIS) 等先进技术, 对工程区域开展全面监测与分析, 提升选址决策的准确程度以及可靠程度, 测绘勘查技术在工程选址中的关键作用表现为能提供全面且精确的数据支撑, 为选址决策提供科学依据, 优化工程方案, 降低潜在风险^[1]。

作者简介: 乃廷康 (1988.04-), 男, 壮族, 籍贯: 广西南宁市, 专科, 主要从事测绘与地理信息、地质与岩土工程、水利水电工程、水利水电工程等工作。

二、测绘勘查技术概述

（一）测绘技术

测绘技术乃是获取地理信息的关键途径，其主要覆盖大地测量、地形测量、摄影测量与遥感等方面，大地测量借助精确测量地球表面的形态以及重力场，可为工程选址给予基础地理信息，地形测量依靠对地表高程、坡度、坡向等特征展开测量，可为选址提供详尽的地形数据，摄影测量与遥感技术依靠航空摄影以及遥感手段，得以获取大范围的地理信息，为选址提供全面的地理数据。全球定位系统（GPS）和地理信息系统（GIS）等技术的运用，提升了测绘技术的精准度与效率，为工程选址提供了有力的技术支撑。

（二）勘查技术

勘查技术作为获取地质信息的关键途径，主要囊括地质勘探、水文地质调查以及地球物理勘探等方面，地质勘探借助钻探、坑探等方式，来获取工程区域的地质构造、岩土性质等相关信息，以此为选址提供地质方面的依据，水文地质勘查依靠对地下水分布、水质、水量等情况的观测与分析，为选址提供水文地质方面的依据。地球物理勘探凭借地震勘探、电法勘探等手段，获取地下地质结构、岩土性质等信息，为选址提供地球物理方面的依据，环境地质调查和地质灾害评估等技术的运用，使勘查技术的全面性与科学性得到提升，为工程选址提供了全面的地质支撑^[2]。

（三）测绘勘查技术的发展趋势

随着科技逐步向前迈进，测绘勘查技术持续朝着高精度、高效率以及智能化的方向演进，起初高精度测量技术得以运用，像激光扫描、无人机测量等，提升了测绘数据的精准度与分辨率，大数据和人工智能技术被应用，提高了测绘勘查数据的处理和分析能力，给选址决策给予了更为科学的依据。另外遥感技术与地理信息系统（GIS）进行集成应用，达成了对工程区域的全面监测与分析，提升了选址决策的准确性和可靠性，测绘勘查技术的发展趋势呈现于其不断朝着高精度、高效率、智能化方向发展，为工程选址提供了更为全面、更为科学的支撑^[3]。

三、水利水电选址的科学决策

（一）水利水电选址的基本原则

水利水电工程选址所遵循的基本准则涉及了安全性、经济性以及可持续性等方面，其中安全性在选址过程中占据首要地位，进行选址操作时要避开如地质灾害容易发生的区域以及地震活动较为频繁的地带这类存在高风险的区域，以此保障工程可以安全稳定地运行，经济性同样是选址过程中极为关键的一项原则，在选址期间需要对工程的建设成本以及运行成本等诸多因素给予考量，挑选出经济合理的方案。可持续性也是选址时不容忽视的关键原则，选址工作应当将工程对环境所产生的影响纳入考虑范畴，选取对环境造成影响较小的方案，以此保证工程可以实现可持续发展，水利水电选址的基本准则在于切实保障工程安全性、经济性以及可持续性，为选址决策给予科学的依据^[4]。

（二）选址决策的流程与方法

水利水电工程选址决策所涉及的流程包含前期调研、方案比选以及风险评估等方面，首先来讲，前期调研借助勘查技术来获

取工程区域的地理、地质以及水文等相关数据，以此为选址提供基础资料，方案比选会对多个方案展开比较，从中挑选出最优的选址方案，保证工程有安全性、经济性以及可持续性。风险评估会对选址方案存在的风险进行分析，选择风险较小的方案，以保障工程可安全运行，水利水电工程选址决策的流程与方法借助科学的调研、比选以及评估，挑选出最优的选址方案，保证工程的安全性、经济性以及可持续性^[5]。

（三）选址决策中的关键问题

水电选址决策里存在着诸多关键问题，其中涉及地质灾害风险、环境影响以及社会经济影响等方面，首先来讲，地质灾害风险属于选址决策的关键要点之一，在进行选址时应当避开如地质灾害易发区、地震活动带这类高风险区域，以此来保障工程可安全运行，环境影响也是选址决策的关键问题所在，选址过程中需要对工程可能给环境带来的影响加以考量，挑选出对环境影响相对较小的方案，以保证工程的可持续发展。另外社会经济影响同样是选址决策的关键问题，选址时要考虑工程对社会经济所产生的影响，选择对社会经济影响较小的方案，来保障工程实现可持续发展，总而言之，水电选址决策的关键问题是借助科学的调研、对比以及评估，选出最为合适的选址方案，保证工程有安全性、经济性以及可持续性。

四、测绘勘查在水利水电选址中的应用

（一）测绘技术在选址中的应用

测绘技术于水利水电选址当中的应用主要呈现在地理信息的获取以及分析方面，以此为选址决策给予了科学依据，首先来讲，大地测量借助精确测量地球表面的几何形状以及重力场，为选址提供基础地理信息，大地测量技术囊括全球定位系统（GPS）、水准测量以及重力测量等，可明确工程区域的地理坐标、高程以及重力分布状况，为后续的工程设计以及施工提供精确的基准数据。地形测量依靠测量地表的高程、坡度、坡向等地形特征，为选址提供详细的地形数据，地形测量一般采用全站仪、激光扫描仪等设备，可生成高精度的数字地形模型（DTM），帮助工程师分析地形的起伏变化，评估工程建设的可行性与经济性，摄影测量与遥感技术依靠航空摄影以及卫星遥感，获取大范围的地理信息，为选址提供全面的地理数据。摄影测量利用航空影像生成三维地形模型，而遥感技术则借助卫星图像监测地表特征、植被覆盖以及水体分布等，为选址提供宏观的地理信息，这些技术相互结合可全面呈现工程区域的地理环境，为选址决策提供多维度、多层次的数据支撑，测绘技术在水利水电选址中的应用是依靠获取和分析地理信息，为选址决策提供科学依据，保障工程的安全性、经济性以及可持续性^[6]。

（二）勘查技术在选址中的应用

勘查技术于水利水电选址当中的应用主要呈现于地质信息的获取与剖析方面，以此为选址决策给予科学的依据，地质勘探借助钻探、坑探等方式，获取工程区域的地质构造以及岩土性质等相关信息，为选址提供地质方面的依据，钻探技术可获取地下岩石的样本，对其物理力学性质展开分析，评估地基的稳定性以及承载能力，坑探则是依靠开挖探坑直接去观察地质构造，为工程设计提供直观的地质资料。水文地质调查借助对地下水分布、水

质、水量等进行观测与分析,为选址提供水文地质方面的依据,水文地质调查涉及地下水位的监测、水质的采样分析以及地下水流动模型的建立,可评估地下水对工程的影响,保障工程的安全性以及可持续性,地球物理勘探借助地震勘探、电法勘探等手段,获取地下地质结构、岩土性质等信息,为选址提供地球物理方面的依据。地震勘探依靠剖析地震波的传播特性,确定地下岩层的分布与性质,电法勘探则是借助测量地层的电阻率,评估地下水的分布以及岩土的性质,这些技术相结合可全面地反映工程区域的地质环境,为选址决策提供多维度、多层次的数据支撑,勘查技术在水利水电选址中的应用是借助获取并分析地质信息,为选址决策提供科学依据,保证工程的安全性、经济性以及可持续性^[7]。

五、测绘勘查在科学决策中的应用价值

(一) 提高选址决策的科学性

测绘勘查技术运用于水利水电选址工作时,可提供全面且精确的地理、地质以及水文数据,为选址决策给予科学依据,提升选址决策的科学性,起初测绘技术借助高精度测量手段,获取工程区域的地理信息,为选址提供基础资料,大地测量、地形测量与摄影测量及遥感技术相结合,可生成高精度数字地形模型与三维地理信息系统,为选址提供多维度、多层次的地理数据。勘查技术依靠地质勘探、水文地质调查以及地球物理勘探等手段,深入知晓工程区域的地质构造、岩土性质、地下水分布等情况,为选址决策提供科学依据,这些技术结合可全面呈现工程区域的地质环境,为选址决策提供多维度、多层次的数据支撑,遥感技术和地理信息系统即 GIS 的集成应用,达成了对工程区域的全面监测与分析,提高了选址决策的准确性和可靠性。GIS 技术能把地理、地质和水文数据整合于一个平台,开展空间分析与模拟,为选址决策提供科学的可视化工具,测绘勘查技术在水利水电选址中的应用,可提高选址决策的科学性,保障工程的安全性、经济性与可持续性^[8]。

(二) 降低工程风险与成本

测绘勘查技术运用于水利水电选址时,可凭借提供周全且精确的地理、地质以及水文数据,来降低工程风险与成本,测绘技

术借助高精度测量方式,获取工程区域地理信息,为选址提供基础资料,防止因地理信息有误引发工程风险,像地形测量能精准呈现地表起伏变化,帮工程师挑选最适宜的坝址与水库位置,避免因地形复杂致使施工难度与成本增加。勘查技术借助地质勘探、水文地质调查以及地球物理勘探等手段,深入知晓工程区域地质构造、岩土性质、地下水分布等情况,为选址决策提供科学依据,防止因地质信息不准确造成工程风险,例如地质勘探可评估地基稳定性与承载能力,避免因地基问题引发工程事故及产生额外成本。遥感技术与地理信息系统(GIS)的集成应用,达成了对工程区域的全面监测与分析,提升了选址决策的准确性和可靠性,降低工程风险与成本,GIS 技术可开展空间分析与模拟,协助工程师优化设计方案,减少不必要的工程量与成本,总之测绘勘查技术在水利水电选址中的应用,可降低工程风险和成本,保障工程的安全性、经济性以及可持续性^[9]。

(三) 促进可持续发展

测绘勘查技术应用于水利水电选址时,可借助提供全面且精确的地理、地质以及水文数据,推动工程实现可持续发展,其一测绘技术借助高精度测量手段来获取工程区域的地理信息,以此为选址提供基础资料,挑选出对环境影响较小的方案,保障工程的可持续发展,比如地形测量与遥感技术可精准反映地表的植被覆盖状况以及水体分布情况,帮工程师挑选出对生态环境影响较小的坝址与水库位置。其二勘查技术借助地质勘探、水文地质调查以及地球物理勘探等方式,深入了解工程区域的地质构造、岩土性质以及地下水分布等,为选址决策提供科学依据,选定对环境影响较小的方案,保证工程的可持续发展^[10]。

六、结论

勘查技术于水利水电工程选址里起着极为关键的作用,是科学决策的核心支撑要素,借助获取精准的地理、地质以及水文数据,勘查技术给选址决策给予了科学依据,优化方案,降低风险,推动水利水电工程实现可持续发展,本文围绕勘查技术概述、水利水电选址的科学决策流程、测绘勘查技术的具体应用及其在科学决策中的价值等方面来展开论述,为水利水电工程的选址决策提供理论支持与实践指导。

参考文献

- [1] 孙少楠,张瑞,于景波,杨仲洪.倾斜摄影技术与 BIM 技术结合在水利工程地形处理中的研究[J].中州大学学报,2018,35(06):100-105.
- [2] 王殿斌.数字化测绘技术在水利工程测量中的应用研究[J].居舍,2018(33):65.
- [3] 张耀文.测绘影像定位在现代地质工作中的发展与应用[J].智能城市,2018,4(21):31-32.
- [4] 张光军,苗琦超.无人机遥感技术在测绘测量工程中的运用[J].电子测试,2022,36(11):123-125.
- [5] 王美丽,李建英,王琪,等.水工环地质勘察及遥感技术在地质工作中的应用[J].中国金属通报,2022,38(2):154-156.
- [6] 王松,刘鉴,刘志龙.试析遥感技术在水利水电工程测绘中的应用[J].资源节约与环保,2015(03):170.
- [7] 陈宇.遥感技术在水利水电工程地质勘查中的应用研究[J].居舍,2018(22):37.
- [8] 陈剑峰.遥感技术在水利水电工程地质勘察中的应用研究[J].江西建材,2016(12):127.
- [9] 袁媛.遥感技术在水利水电工程地质勘查中的应用探究[J].陕西水利,2018(S1):188-189.
- [10] 刘庆光.测绘新技术在地质测绘工程中的运用研究[J].山东工业技术,2019,290(12):98.

水利水电工程测量技术分析

李素婷

鸿儒勘测设计有限公司广西分公司, 广西 南宁 530000

摘 要： 水利水电工程测量技术在水利水电工程建设里属于关键部分，其主要任务是运用精准测量方式获取工程区域的地理、地形以及地质等方面信息，为工程设计、施工以及运营给予科学依据，随着科技不断进步，测量技术由传统的经纬仪、水准仪逐渐发展至全球定位系统（GPS）、遥感技术（RS）、地理信息系统（GIS）等现代技术，测量的精度和效率有了较大提升。本文先对水利水电工程测量技术的定义、分类、特点以及应用领域做了概括，接着深入剖析了其基本原理，覆盖测量学、大地测量学和工程测量学的基本理论，本文还探讨了传统测量方法、现代测量技术以及特殊测量技术在水利水电工程中的具体运用情况。

关 键 词： 水利水电工程；测量技术；GPS；遥感技术；地理信息系统

Analysis of Measurement Technology for Water Conservancy and Hydropower Engineering

Li Suting

Hongru Survey and Design Co., Ltd. Guangxi Branch, Nanning, Guangxi 530000

Abstract： The measurement technology of water conservancy and hydropower engineering is a key part of water conservancy and hydropower engineering construction. Its main task is to use precise measurement methods to obtain geographical, topographical, and geological information of the engineering area, providing scientific basis for engineering design, construction, and operation. With the continuous progress of technology, measurement technology has gradually developed from traditional theodolites and level gauges to modern technologies such as global positioning system (GPS), remote sensing technology (RS), and geographic information system (GIS), and the accuracy and efficiency of measurement have been greatly improved. This article first summarizes the definition, classification, characteristics, and application fields of measurement technology in water conservancy and hydropower engineering, and then deeply analyzes its basic principles, covering the basic theories of surveying, geodesy, and engineering surveying. This article also explores the specific application of traditional measurement methods, modern measurement technologies, and special measurement technologies in water conservancy and hydropower engineering.

Keywords： water conservancy and hydropower engineering; surveying technology; GPS; remote sensing technology; geographic information systems

引言

水利水电工程属于国家基础设施建设里颇为关键的一部分，在其建设进程当中会涉及诸多测量工作，以此来保障工程有科学性、安全性以及经济性，测量技术作为水利水电工程的一项基础技术，在工程的规划、设计、施工以及运营等各个阶段都有贯穿，随着科技持续进步，测量技术也处于不断更新换代状态，从以往传统的人工测量逐渐发展至现代化的自动化、智能化测量，这大幅度提升了工程建设的效率与质量。本文凭借对水利水电工程测量技术展开全面剖析，剖析其基本原理、主要方法以及未来的发展趋向，为相关领域的研究与实践给予参考。

一、水利水电工程测量技术概述

（一）测量技术的定义与分类

测量技术乃是借助特定的仪器以及相应的方法，获取物体的

位置状况、形状特征、大小尺寸等方面信息的一种技术手段，在水利水电工程领域当中，测量技术主要被划分成大地测量、工程测量以及摄影测量等几个类别，大地测量主要发挥着确定地球表面形状与大小的作用，工程测量则着重围绕建设的实际需求展

开,像是地形测量、施工放样等方面。摄影测量则是依靠航空或者影像来获取地理信息,随着科技不断向前发展,测量技术的分类也持续朝着细化的方向发展,涌现出了像GPS测量、遥感测量这类新兴技术。

(二) 水利水电工程测量的特点

水利水电工程测量有复杂性以及多样性等特征,首先来讲,水利水电工程大多时候会涉及到较大范围的地理区域,测量的工作量比较大,而且地形地貌复杂且变化多端,这就使得测量的难度有所增加,水利水电工程对于测量精度有着非常高的要求,在大坝、隧洞等关键部位,任何细微的误差都有可能引发严重的工程事故。另外水利水电工程测量还需要将水文、气象等自然因素的影响考虑在内,像水位变化、降雨等情况,这些因素都会对测量结果产生一定程度的影响。

(三) 测量技术在水利水电工程中的应用领域

测量技术在水利水电工程里的应用范围颇为宽广,主要覆盖了地形测量、地质测量、施工测量以及变形监测等方面,地形测量作为水利水电工程的基础性工作,借助对地形地貌展开测量,为工程设计给予依据,地质测量是针对工程区域的地质状况展开细致调查,以此来评估工程的地质风险。施工测量是在工程建设进程中,针对建筑物的位置、形状以及尺寸等实施精确控制,以此保障施工质量,变形监测是对已建成的工程开展长期监测,用以评估其稳定性与安全性。

(四) 测量技术的发展历程

测量技术的发展历程可追溯至古代,那时人们借助像绳尺、罗盘这类简单工具来开展测量工作,随着科技不断进步,测量技术朝着现代化以及自动化的方向迈进,在20世纪初期,经纬仪、水准仪等传统测量仪器得到广泛运用,到了20世纪中期,因电子技术发展,电子测距仪、全站仪等新型测量仪器接连出现。步入21世纪,GPS、遥感技术、地理信息系统等现代测量技术渐渐成为主流,较大提升了测量的精度与效率,未来随着人工智能、大数据等技术发展,测量技术会朝着更智能化、自动化的方向发展。

二、水利水电工程测量技术的基本原理

(一) 测量学基本原理

测量学这门学科所研究的是地球表面以及其空间位置之间的关系,它的基本原理涉及了几何测量以及物理测量两个方面,几何测量主要借助对物体几何形状以及位置关系展开测量,以此来获取物体的空间信息,在水利水电工程领域当中,几何测量属于主要的测量方式,依靠对地形地貌、建筑物的位置以及形状等进行测量,可为工程设计提供相应依据。几何测量的基本原理包含角度测量、距离测量以及高程测量,角度测量是凭借测量两个方向之间所形成的夹角,确定物体的位置关系,距离测量是凭借测量两点之间的直线距离,确定物体的位置所在,高程测量是依靠测量点与基准面之间的垂直距离,以此来确定物体的高程数值,而物理测量是凭借对物体的物理特性加以测量,像是重力、磁场

等方面,获取物体的空间信息。在水利水电工程里,物理测量主要应用于地质勘探以及地下水位监测工作,物理测量的基本原理有重力测量、磁场测量以及电场测量,重力测量是依靠对地球表面的重力场进行测量,获取地球内部的结构信息情况,磁场测量是依靠测量地球表面的磁场,以此来获取地下的矿产资源信息状况。电场测量是依靠测量地球表面的电场,获取地下的水文地质信息情形,在水利水电工程中,几何测量和物理测量相互补充,凭借综合运用这两种测量手段,可全面地获取工程区域的空间信息,为工程设计提供科学的依据支撑^[1]。

(二) 大地测量学原理

大地测量学乃是一门专门研究地球形状、大小以及其重力场的学科,它所覆盖的基本原理有大地坐标系、地球椭球体、重力测量等等,大地坐标系作为确定地球表面点位置的根基所在,借助经纬度以及高程来明确点在空间中的位置,大地坐标系的基本原理之中包含地理坐标系与投影坐标系。地理坐标系依靠经纬度去确定点的位置,在全球范围的测量里较为适用,而投影坐标系是把地球表面投射到平面上确定点的位置,适用于局部范围的测量工作,地球椭球体是对地球形状的一种近似模型,凭借测量地球表面的曲率,以此来确定地球的形状和大小,地球椭球体的基本原理囊括椭球体参数和椭球体变换。椭球体参数依靠测量地球表面的曲率,确定椭球体的形状和大小,椭球体变换是将地球表面从一个椭球体转变到另一个椭球体,以此来确定点的位置,重力测量是凭借对地球表面的重力场展开测量,获取地球内部的结构信息,重力测量的基本原理有重力仪测量和重力场模型,重力仪测量是凭借测量地球表面的重力场,获取地球内部的结构信息^[2]。

(三) 工程测量学原理

工程测量学所剖析的是工程建设过程中测量技术的相关科学知识,它的基本原理覆盖了施工放样、变形监测以及工程控制网等方面内容,施工放样是在开展工程建设工作时,依据设计图纸的要求,把建筑物的具体位置、形态以及尺寸等准确无误地放样至施工现场,施工放样的基本原理主要有放样方法和放样精度这两部分。放样方法是借助测量以及计算的手段,将建筑物的位置、形状、尺寸等精准地放样到施工现场当中,而放样精度是依靠对测量误差加以控制,以此来保证放样可达到相应的精度要求,变形监测指的是针对已经建成的工程展开长期的监测工作,目的在于评估该工程的稳定性以及安全性,变形监测的基本原理包含监测方法和监测精度。监测方法是凭借测量和计算,对已建工程进行长时间的监测,评估其稳定性和安全性,监测精度是借助控制测量误差,来保证监测所达到的精度标准。

(四) 测量误差理论与数据处理

测量误差在测量过程中是难以避免出现的现象,其来源囊括了仪器误差、人为误差以及环境误差等方面,测量误差理论属于研究测量误差分布规律以及消除方法的一门科学,它的基本原理包含误差传播定律、最小二乘法等内容,误差传播定律主要是研究测量误差于测量过程中的传播规律,借助对误差来源展开分析,采取对应的措施,减少误差所带来的影响。误差传播定律的

基本原理有误差来源以及误差传播这两部分，误差来源是经过对测量误差的来源加以分析，以此确定误差的类型以及大小，误差传播是借助剖析测量误差在测量过程中的传播规律，确定误差的影响，最小二乘法则是凭借将测量误差的平方和进行最小化处理，获取最为接近真实值的测量结果^[3]。

三、水利水电工程测量技术的主要方法

（一）传统测量方法

传统测量方法构成了水利水电工程测量技术的根基，主要涉及经纬仪测量、水准仪测量以及钢尺测量等，经纬仪测量乃是借助测量水平角与垂直角以明确点的空间位置的办法，经纬仪主要由望远镜、水平度盘以及垂直度盘所构成，测量期间借助转动望远镜去对准目标点，读取水平角与垂直角，算出目标点的坐标。水准仪测量是经由测量两点之间的高差来确定点的高程，水准仪主要由望远镜、水准管和支架组成，测量时借助调节水准管让望远镜处于水平状态，接着读取标尺上的刻度，算出高差，钢尺测量是依靠直接测量两点之间的距离来确定点的位置，钢尺是带有刻度的金属尺，测量时把钢尺拉直，读取刻度，计算出距离。传统测量方法有操作简便、成本较低的优势，然而其精度与效率相对偏低，在大范围、地形复杂的测量当中，传统测量方法的局限性较为较大，比如在山区或者森林地带，鉴于地形复杂，经纬仪和水准仪的测量会受到视线遮挡的影响，使得测量精度降低，而且钢尺测量在长距离测量中容易产生误差，并且测量速度较慢。传统测量方法在小范围、地形简单的测量中比较适用，但是在大范围、地形复杂的测量中，其应用受到限制^[4]。

（二）现代测量技术

现代测量技术作为水利水电工程测量技术里颇为关键的一部分，主要囊括了GPS测量、遥感测量以及地理信息系统等方面，GPS测量乃是一种借助接收卫星信号去确定点的空间位置的办法，GPS系统是由卫星、地面控制站以及用户接收机共同构成的，在测量期间，用户接收机接收来自多颗卫星的信号，依靠计算信号传播时间来明确接收机的位置。GPS测量有高精度与高效率的特性，被广泛应用于水利水电工程的地形测量、施工放样等工作当中，比如在大坝建设进程里，GPS测量可快速且准确地确定坝体的位置与形状，提升施工效率，遥感测量是一种凭借航空

或卫星影像来获取地理信息的手段，遥感系统由传感器、平台以及数据处理系统所组成，测量之时，传感器借助接收地面反射或者发射的电磁波，生成影像数据，再经由数据处理系统提取地理信息。遥感测量有着大范围、高效率的优势，广泛运用于水利水电工程的地形测量、地质调查等工作中，例如在河流域规划之际，遥感测量可快速获取流域的地形、植被以及水文信息，为规划给予科学依据，地理信息系统是一种借助计算机技术对地理信息展开存储、分析以及展示的方式，地理信息系统由硬件、软件以及数据组成，测量时把地理信息输入系统，凭借软件进行分析与处理，生成地图和报告。

（三）特殊测量技术

特殊测量技术在水利水电工程测量技术里扮演着关键的补充角色，其主要覆盖激光扫描测量、水下测量以及变形监测等方面，激光扫描测量仪是借助激光束对物体表面给予扫描，获取其三维形状以及位置信息的一种方式，激光扫描仪由激光发射器、接收器以及数据处理系统共同构成，在进行测量工作时，激光发射器负责发射激光束，接收器接收反射回来的光线，经由数据处理系统最终生成三维模型。激光扫描测量有高精度与高效率的特性，在水利水电工程的地形测量、建筑物测量等领域有着广泛的应用，比如说，在大坝安全监测工作中，激光扫描测量可迅速获取坝体的三维形状，为安全评估提供相应的数据支撑，水下测量是运用声纳、激光等技术，来获取水下地形以及建筑物信息的一种手段^[5]。

四、结论

水利水电工程测量技术在水利水电工程建设里占据着关键地位，它的发展进程经历了从传统人工测量到现代化自动化、智能化测量的转变，很大程度上提升了工程建设的效率与质量，本文借助对水利水电工程测量技术展开深入剖析，剖析了其基本原理、主要方法以及未来的发展走向，未来随着人工智能、大数据等技术不断发展，测量技术会朝着更智能化、自动化的方向迈进，提高水利水电工程测量的技术水准。测量技术在水利水电工程中的应用范围也会拓展，为工程建设给予更为全面、精准的测量服务。

参考文献

- [1] 徐南标. 现代工程测量新技术在水利工程的应用 [J]. 装饰装修天地, 2018(16):377.
- [2] 李磊. 水利工程测量技术运用发展 [J]. 建筑工程技术与设计, 2018(8):285.
- [3] 于思博. 数字化测绘技术在水利工程测量中的应用探讨 [J]. 黑龙江水利科技, 2019, 46(11):138-139.
- [4] 徐剑. 水利水电工程施工测量技术探讨 [J]. 建筑工程技术与设计, 2018, (17):3507
- [5] 刘丹, 李波. 关于水利水电工程测量应用技术分析 [J]. 建筑工程技术与设计, 2018, (14):3815.

水利水电项目施工中的施工技术与施工难点分析

卜崇财

中国水利水电第四工程局有限公司, 青海 西宁 810000

摘 要 : 水利水电项目施工涉及复杂的技术和多方面的施工难点。施工技术的选择直接关系到项目的质量和进度, 尤其是在特殊地质条件下, 施工技术的合理应用尤为重要。施工难点主要表现在工程量庞大、环境复杂、材料运输困难等方面。通过对施工工艺的创新和管理手段的优化, 可以有效克服这些困难, 确保项目的顺利进行。加强施工技术的研究与实践, 对于提升水利水电工程施工的效率和质量具有重要意义。

关 键 词 : 水利水电项目; 施工技术; 施工难点; 工程管理; 施工工艺

Analysis of Construction Technology and Difficulties in Water Conservancy and Hydropower Projects

Bu Chongcai

China Water Conservancy and Hydropower Fourth Engineering Bureau Co., Ltd. Xining, Qinghai 810000

Abstract : The construction of water conservancy and hydropower projects involves complex techniques and various construction difficulties. The choice of construction technology is directly related to the quality and progress of the project, especially under special geological conditions, where the rational application of construction technology is particularly important. The main construction difficulties lie in the huge engineering volume, complex environment, and difficulties in material transportation. Through innovation in construction technology and optimization of management methods, these difficulties can be effectively overcome to ensure the smooth progress of the project. Strengthening research and practice in construction technology is of great significance for improving the efficiency and quality of water conservancy and hydropower engineering construction.

Keywords : water conservancy and hydropower projects; construction technology; construction difficulties; engineering management; construction technology

引言

水利水电项目作为国家基础设施建设的重要组成部分, 承载着巨大的社会与经济价值。然而, 在施工过程中, 面临着复杂的技术挑战和施工难点, 尤其是在多变的自然环境和严苛的工程条件下。施工技术的合理选择与施工难点的有效应对, 不仅关乎项目的顺利推进, 也直接影响到工程质量和安全。因此, 探讨水利水电项目施工中的技术应用与难点分析, 对于提高工程效率、保障施工安全具有重要意义。

一、水利水电项目施工技术的关键要素分析

水利水电项目施工技术的选择与应用是确保工程质量、进度与安全的基础。在施工过程中, 技术的合理应用能够有效克服复杂环境中的困难, 提升整体施工效率。在水利水电项目中, 施工技术的关键要素主要体现在施工方案的合理性、工艺流程的精确控制以及施工设备的选用等方面。首先, 施工方案的合理性是确保项目顺利进行的根本, 尤其是在不同地质条件下, 需要针对具体情况制定科学的施工计划。这要求对项目所在区域的地质、水文等自然条件进行充分评估, 制定相应的技术对策。合理的施工方案能够有效规避施工中可能出现的风险, 提高施工的安全性与稳定性^[1]。

施工工艺的控制也是项目施工技术中的关键要素。水利水电项目施工工艺涉及多个环节, 如土方开挖、混凝土浇筑、坝体建设等。每一个环节的工艺都需要严格把控, 确保工程质量。例如, 在混凝土施工过程中, 需要确保混凝土的配比、浇筑顺序以及养护等环节的精细管理, 以避免出现裂缝或结构强度不足等问题。对于水利水电项目来说, 任何一个工艺环节的疏漏都可能导致整个项目的失败, 因此, 每一项技术细节都需认真执行, 确保施工过程的精度与高效。

施工设备的选用和管理在项目施工技术中起着至关重要的作用。水利水电工程通常涉及大规模的土方作业和混凝土浇筑, 因此, 设备的选择与合理配置直接影响到施工的进度与质量。大型施工设备如起重机、挖掘机等必须满足工程的负荷要求, 并且需

要定期检修与维护，以确保设备的正常运转。除此之外，现代化的信息技术手段在施工过程中的应用也逐渐成为提升施工效率的重要工具。通过 BIM 技术和施工管理软件的运用，可以实现对施工进度、成本与质量的全面监控，从而提高施工管理的精度与效率^[2]。

水利水电项目施工技术的关键要素包括合理的施工方案、严格控制的施工工艺以及高效的施工设备管理。只有在这些方面做到科学合理，才能确保项目顺利实施，克服施工中面临的各种困难与挑战，最终实现工程目标。

二、复杂地质条件下的施工技术应用与挑战

复杂地质条件下的施工技术应用是水利水电项目中不可忽视的核心部分。地质条件的复杂性不仅影响到施工的难度，还直接关系到施工安全和项目进度。在水利水电项目施工中，常见的复杂地质条件包括软土、断层、溶洞、岩石裂隙等。这些地质特征常常导致施工中的不确定性，增加了施工技术的难度^[3]。例如，软土地区的地基承载力较弱，容易发生沉降现象，而断层区域的施工则可能因岩层不稳定而导致塌方或滑坡。在这些复杂的地质环境中，传统的施工技术常常难以适应，必须依赖更加先进的技术手段和施工方法。

针对复杂地质条件下的施工挑战，技术的创新和改进是克服难题的关键。首先，针对软土地区的施工，常采用地基加固技术，如灌浆加固、换填土法等，这些技术可以有效提升地基的承载力，确保上部结构的稳定性。在断层带等不稳定区域，则需要通过深基坑支护、锚固技术等手段来防止岩土层的滑移或坍塌。这些施工技术的应用能够在一定程度上解决复杂地质条件带来的不利影响，但也对施工的技术要求提出了更高的挑战。技术人员需要在项目实施前对地质条件进行详细勘察，根据地质调查结果合理选择适合的施工方案，并且在施工过程中实时调整施工策略，以应对可能出现的新问题。

复杂地质条件下的施工难点还体现在施工过程中可能出现的安全隐患。施工人员在遇到软土、岩层破碎等情况时，必须做好应急预案，并采取严格的安全措施来保证施工的安全性。在这些条件下，施工速度往往会受到一定程度的限制，因为技术和安全因素需要优先考虑。这时，施工过程中对施工设备的选择与调度也显得尤为重要。例如，在地质较为松软的地区，应选择适应性强、稳定性好的设备，并且确保设备的维护与检修。与此同时，现代技术的应用，如地质雷达探测技术和三维地质建模等，能够为施工提供更精确的地质信息，从而提高施工方案的针对性和安全性^[4]。

复杂地质条件下的施工技术应用面临挑战，但通过创新施工技术、合理选择方案及严格的安全管理，可有效克服这些困难。对于水利水电项目，准确评估地质条件并采用合适的施工技术，是确保项目顺利实施的关键。

三、施工难点的识别与应对策略

在水利水电项目施工过程中，识别施工难点并制定相应的应

对策略至关重要。施工难点的识别通常依赖于对项目所在地的地质、气候、材料等多方面因素的综合分析。水利水电项目的施工往往涉及复杂的地形地质条件，如山区、河流或湿地等，这些环境的特殊性使得施工面临着诸多不确定性。此外，项目规模庞大，涉及的施工环节众多，各环节之间的协调与配合往往决定了项目的整体进度与质量。施工难点不仅体现在物理环境上，还包括施工过程中可能出现的技术问题、人力资源的调配、设备的使用效率等。因此，识别这些难点需要施工团队具备综合的分析能力和经验^[5]。

面对这些施工难点，必须采用科学合理的应对策略。首先，充分的前期勘察和设计是应对施工难点的关键。在项目开始前，应通过详细的地质勘查和水文分析，了解施工区域的自然条件，特别是在水土流失严重或地下水丰富的地区，及时制定针对性强的设计方案。这些方案不仅要考虑施工过程中的技术实施，还要考虑到施工后的长期稳定性与安全性。对于复杂的地质条件，可以采用定向钻探、深基坑支护等先进施工技术来确保施工过程的顺利进行，避免因地质问题导致工程延期或质量问题。

在施工过程中，实时监控与灵活调整施工方案是应对施工难点的另一个重要策略。施工过程中，难点的出现往往是不可预见的，例如天气变化、突发的自然灾害或施工设备故障等，这些都可能影响施工进度。因此，施工团队应建立完善的应急响应机制和及时的反馈机制，确保在出现问题时，能够迅速调整施工策略并采取有效措施进行应对^[6]。例如，在遇到强降雨或洪水等自然灾害时，应暂停施工或采取加固措施，以防止施工现场的损失。在设备出现故障时，应及时维修或调配备用设备，确保施工的持续性和安全性。

施工难点的识别与应对策略需要充分依赖前期的精细规划与设计，同时加强施工过程中的实时监控与灵活应变。在复杂的环境条件下，技术创新、设备管理与施工人员的高效协作是克服施工难点、确保项目顺利完成的重要保障。

四、施工技术创新对提高工程效率的作用

施工技术创新在水利水电项目中具有至关重要的作用，能够显著提高工程效率，缩短施工周期，降低成本，并提升施工质量。随着科技的进步，新型施工技术和设备不断涌现，为工程施工提供了更为高效、安全的手段。例如，信息化技术在施工中的应用，使得项目管理更加精细化，施工过程中的问题能够实时监控和反馈，从而提高了整个项目的工作效率。在水利水电工程中，施工技术创新不仅能够加速工期，还能有效解决传统施工技术无法解决的一些难题，如复杂地质条件、环境保护要求以及施工安全等问题。

施工技术的创新往往集中在两方面：一是施工工艺的革新，二是施工设备的更新。工艺的创新可以大幅提高施工的精度与效率。例如，在混凝土浇筑过程中，传统的人工浇筑方式往往效率较低且质量不易控制，而现代的自动化浇筑系统和连续浇筑技术能够大幅提高施工速度，确保浇筑过程的均匀性和稳定性。此

外,采用新型材料如高性能混凝土、预应力混凝土等,不仅能够提高施工质量,还能有效延长建筑结构的使用寿命,减少后期维护成本。施工设备方面,现代机械化施工设备如大型挖掘机、塔吊、混凝土泵车等,不仅提高了施工效率,还能在一定程度上减小劳动强度,降低事故发生率^[7]。

在施工现场,信息技术的应用对提高施工效率发挥着越来越重要的作用。以BIM(建筑信息模型)技术为例,它通过数字化转型可以在施工前精确模拟施工过程,提前识别可能的施工冲突和技术难题,从而优化施工方案,节约施工时间和成本。通过BIM技术,施工团队能够实时跟踪项目进度,进行资源调配和协调,避免了因信息不对称而产生的施工延误和成本浪费。此外,采用无人机进行现场勘测和监控,也使得项目管理更加高效。无人机不仅能够提供实时的地形数据,还能进行高精度的施工质量检测,帮助管理人员更好地把控施工质量和进度^[8]。

施工技术创新为水利水电项目的高效实施提供了强有力的支撑。通过持续引进新技术、新设备,不仅能在施工中提高工作效率,缩短工期,还能减少资源浪费和环境影响,从而实现项目的高质量、低成本建设。创新施工技术提升生产力,同时为施工人员提供更安全、舒适的工作环境。

五、工程管理与施工技术协同优化路径分析

工程管理与施工技术的协同优化是确保水利水电项目顺利推进的关键。项目施工过程中,工程管理和施工技术通常是相辅相成的,二者的有机结合能够提升项目的整体效率和质量。首先科学的工程管理为施工技术的应用提供了有效的支持。在项目规划阶段,工程管理团队通过对项目的全面调研和规划,能够为施工技术的选择提供理论依据,确保施工技术方案能够满足项目的实际需求。项目管理中的任务分配、资源调度和风险控制等环节,也为施工技术的创新和实施提供了保障^[9]。通过优化资源配置和

合理调度,能够确保施工技术的最大化应用,减少施工过程中可能出现的浪费和拖延。

施工技术的创新为工程管理提供了更加高效的手段。随着施工技术的不断进步,现代化施工设备和信息化工具的引入,使得工程管理能够更加精准和高效。采用BIM技术、无人机监测、物联网技术等先进手段,能够实时获取施工现场的数据,从而为工程管理人员提供即时的反馈和决策支持。这些技术不仅能实时监控施工进度和质量,还能及时识别潜在的风险因素,帮助管理人员迅速调整施工方案,确保项目按时完成。此外,施工技术的进步还提高了施工人员的工作效率,减少了人为操作失误,从而降低了项目管理中的风险和不确定性。

工程管理与施工技术的协同优化需要在项目执行阶段持续调整和改进。在施工过程中,管理者需要根据现场施工情况,灵活调整管理策略与施工技术的结合方式,确保二者的有机融合。例如,在遇到复杂地质条件时,管理者应根据施工技术的变化,及时调整施工工艺,确保项目的高效实施。通过协同优化,工程管理和施工技术可以形成良性循环,不断提升项目施工效率,确保项目的质量和安全,最终实现工程的预期目标^[10]。因此,工程管理与施工技术的协同优化是推动水利水电项目高效、顺利实施的关键路径。

六、结语

水利水电项目的施工过程中,施工技术的创新与工程管理的协同优化至关重要。通过合理选择施工技术、精细化的工程管理和技术创新,可以有效应对复杂地质条件和施工难点,提高施工效率,确保项目顺利完成。未来,持续推动施工技术的革新和管理优化,将为水利水电工程的高效实施提供更强有力的支持,为实现工程的高质量、低成本建设奠定坚实基础。

参考文献

[1] 李长勇. 分析水利水电工程施工难点及施工技术要点 [J]. 江西建材, 2016(18): 151.
[2] 冯源. 分析水利水电工程施工难点及施工技术要点 [J]. 科学技术创新, 2017(36): 144-145.
[3] 尹晶. 水利水电项目施工技术及管理控制分析 [J]. 决策探索 (中), 2019(01): 64-65.
[4] 吴刚. 水利水电工程施工难点及技术要点分析 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2019(18): 180. DOI: 10.19569/j.cnki.cn119313/tu.201918162.
[5] 靳飞. 水利水电项目施工技术及管理控制分析 [J]. 住宅与房地产, 2020(24): 206-207.
[6] 李锋. 水利水电项目施工技术及管理控制分析 [J]. 技术与市场, 2021, 28(02): 187-188.
[7] 蔡国森. 分析水利水电工程施工难点及施工技术要点 [J]. 中国住宅设施, 2022(09): 133-135.
[8] 唐铁. 水利水电项目施工技术与工程管理分析 [J]. 中国设备工程, 2022(24): 195-197.
[9] 李雄. 水利水电工程施工难点及施工技术要点分析 [J]. 水利科学与寒区工程, 2022, 5(12): 146-149.
[10] 余文兴. 水利水电工程施工难点及施工技术要点分析 [J]. 水上安全, 2023(04): 176-178.

环境检测中地表水监测现状与发展对策分析

温锦辉

广东省广州生态环境监测中心站, 广东 广州 510006

摘要：针对当前环境检测中地表水监测在技术、管理及人才等多方面的关键问题,本研究深入剖析了地表水监测现状,系统梳理了现存问题,并探究出具有针对性的解决策略。通过全面分析,文章旨在全面提升地表水监测水平,以更加精准、及时地反映地表水环境质量,为环境保护和水资源管理提供坚实的科学依据,助力水环境的有效治理与可持续发展。

关键词：地表水监测; 现状分析; 发展对策

Analysis of the Current Situation and Development Countermeasures of Surface Water Monitoring in Environmental Detection

Wen Jinhui

Guangdong Guangzhou Ecological Environment Monitoring Center, Guangzhou, Guangdong 510006

Abstract： Targeting the key issues in surface water monitoring in current environmental detection, such as technology, management, and talent, this study deeply analyzes the current status of surface water monitoring, systematically sorts out existing problems, and explores targeted solutions. Through comprehensive analysis, the article aims to comprehensively improve the level of surface water monitoring, to reflect the environmental quality of surface water more accurately and timely, provide solid scientific evidence for environmental protection and water resource management, and assist in effective governance and sustainable development of the water environment.

Keywords： surface water monitoring; current situation analysis; development countermeasures

引言

地表水是水资源的核心组成部分,与人类生活、生产活动以及生态系统的稳定运行息息相关。准确、全面地掌握地表水的水质状况、水量变化以及生态特征,是评估区域环境质量、有效防控水污染、实现水资源可持续利用的重要前提。随着工业化、城市化进程的加速,环境污染问题日益凸显,水环境面临着前所未有的压力。水污染事件频发,不仅威胁到人类健康和生态安全,也制约了经济社会的可持续发展。在这样的背景下,地表水监测作为水环境管理的重要基础,其重要性愈发凸显。因此,深入研究地表水监测的现状与发展对策,具有紧迫的现实意义和深远的战略价值。

一、环境检测中地表水监测现状分析

(一) 监测技术与方法

地表水监测技术与方法历经多年发展,已形成较为丰富的体系。传统监测方法在部分场景中仍广泛应用,容量分析法基于化学反应的计量关系,通过滴定等操作测定化学需氧量、氨氮等污染物含量,其操作相对简便,成本较低,对实验条件要求不高,适用于常规污染物的批量检测。酸碱滴定法用于测定地表水的酸碱度,依据酸碱中和原理,借助指示剂变色来确定滴定终点,操作流程成熟,结果较为可靠。

在现代监测技术领域,光谱分析技术凭借物质对特定波长光的吸收特性,能够快速、准确地测定多种污染物浓度。如紫外-可见分光光度法,可用于测定水中的硝酸盐、亚硝酸盐等无机污染物,以及某些具有共轭双键结构的有机污染物;原子吸收光谱

法和原子发射光谱法,则主要用于重金属元素的检测,具有灵敏度高、选择性好的优点。色谱分析技术在复杂有机污染物检测方面优势显著,气相色谱-质谱联用仪能够将气相色谱的高效分离能力与质谱的高灵敏度定性能力相结合,实现对挥发性和半挥发性有机污染物的精准检测;液相色谱-质谱联用仪则适用于难挥发、热不稳定有机污染物的分析^[1]。

(二) 监测网络与布局

我国已初步构建起覆盖全国的地表水监测网络,在国家级层面,针对主要江河湖泊,设置了大量重点监测断面,这些断面分布广泛,涵盖了长江、黄河、珠江等七大流域以及重要湖泊,旨在从宏观层面把握全国地表水环境质量状况。省级及地方层面,根据各自区域的水系分布、地形地貌、人口密度以及经济发展状况等因素,进一步加密监测点位,确保对区域内地表水进行全面、细致的监测。

监测点位的布局遵循科学合理的原则，充分考虑水系分布特点，在不同河流的干支流交汇处、入湖河口、水库进出口等关键节点设置监测点，以准确捕捉水流变化对水质的影响。在人口密集区和工业集中区周边，由于人类活动对地表水的影响较大，相应增加监测点位，以便及时发现潜在的污染问题。对于重要水源地，更是设立了严格的水质监测保护圈，确保饮用水源的安全。

（三）监测标准与法规

在监测标准方面，我国制定了一系列详细、规范的标准体系，涵盖了各类污染物的监测分析方法标准。这些标准明确规定了不同污染物的采样方法、样品保存与运输要求、实验室分析步骤以及质量控制措施，保证了监测数据的准确性和可比性。

在法规层面，《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国水污染防治法》等法律法规对地表水监测工作的职责分工、监测行为规范、数据管理与信息公开等方面作出了明确规定。这些法规为地表水监测工作提供了法律保障，确保监测工作在法治轨道上有序开展^[2]。

（四）监测设施与设备

监测设施与设备不断更新换代，实验室配备了先进的分析仪器。电感耦合等离子体质谱仪能够精确测定痕量重金属元素，具有极低的检测限和高分辨率，可同时分析多种元素；气相色谱-质谱联用仪在有机污染物分析中发挥着重要作用，能够准确鉴定和定量分析复杂样品中的有机化合物。

野外监测站点配备了自动化监测设备，实现了数据的自动采集、传输和存储。部分设备还具备远程控制功能，操作人员可通过网络远程调整监测参数、启动或停止监测任务，大大提高了监测效率和灵活性。

二、环境检测中地表水监测存在的问题

（一）技术层面的问题

部分监测技术在准确性和灵敏度方面存在不足，难以满足对新兴污染物的检测需求。如内分泌干扰物、抗生素等新兴污染物，由于其在环境中的浓度极低，且化学结构复杂，现有的监测技术在样品前处理、分离检测等环节面临诸多挑战，科研人员难以实现高效、准确的检测。监测技术的时效性也有待提高，传统监测方法从现场采样到实验室分析，再到获取最终结果，周期较长，一般需要数天甚至数周时间，无法及时反映水质的突发变化，在应对突发水污染事件时，监测人员难以及时提供有效的数据支持。

不同监测技术之间的兼容性和协同性较差，导致监测数据的综合分析与应用受到限制。例如，在线监测数据与实验室分析数据在数据格式、精度、时间尺度等方面存在差异，科研人员和监测人员难以直接进行整合和对比分析；光谱分析技术和色谱分析技术在对某些复杂样品的检测中，由于各自的检测原理和适用范围不同，所得数据之间缺乏有效的关联和互补，影响了对环境质量的全面评估。

（二）管理层面的问题

管理体制存在条块分割现象，不同部门在地表水监测工作中

的职责划分不够清晰。环保、水利、农业等多个部门都涉及地表水监测工作，但各部门之间缺乏有效的协调与沟通机制，导致监测工作存在重复或空白区域^[3]。部分区域可能存在多个部门对同一断面进行重复监测，造成资源浪费；而一些偏远地区或特殊水域，由于部门职责不清，可能出现监测空白，相关部门无法及时掌握水质状况。

监测数据管理缺乏统一规范，数据格式、存储方式不统一，给数据整合与共享带来困难。不同监测机构使用的监测设备、数据采集软件不同，导致数据格式多样，有的以文本文件存储，有的以数据库格式存储，且数据字段定义、编码规则不一致，增加了数据整合的难度。同时，由于缺乏统一的数据共享平台和数据交换标准，各部门之间的数据难以实现高效共享，限制了数据的综合利用价值。

监测质量管理体系有待完善，部分监测机构存在质量控制措施执行不严格的情况。在采样环节，可能存在采样方法不规范、采样器具未校准等问题，影响样品的代表性；在实验室分析环节，仪器设备的校准维护不及时、分析人员操作不熟练、质量控制样品使用不当等，都可能导致分析结果的偏差，影响监测数据的可靠性^[4]。

（三）人才培养与队伍建设的问题

专业监测人才短缺，尤其是具备多学科知识背景、掌握先进监测技术的复合型人才匮乏。地表水监测涉及环境科学、化学、生物学、仪器分析等多个学科领域，需要监测人员具备扎实的专业知识和综合分析能力。然而，目前高校相关专业的人才培养模式相对单一，课程设置与实际工作需求存在一定脱节，导致毕业生难以快速适应复杂多变的监测工作。

监测人员培训体系不完善，现有人员知识更新不及时。随着监测技术的不断进步和监测标准的更新，监测人员需要不断学习新的知识和技能。但目前部分监测机构缺乏系统的培训计划和长效的培训机制，监测人员参加培训的机会较少，导致知识结构老化，难以掌握新技术、新方法，影响监测工作的质量和效率。

人才激励机制不健全，导致监测人员工作积极性不高。在薪酬待遇方面，监测人员的工资水平相对较低，与工作的专业性和复杂性不匹配；在职业发展方面，晋升渠道不够畅通，缺乏明确的职业发展规划和激励措施，使得监测人员的工作积极性和创造性受到抑制，影响了监测队伍的稳定性和整体素质的提升。

三、环境检测中地表水监测发展对策分析

（一）加强技术创新与升级

政府和相关科研基金应加大对地表水监测技术研发的投入力度，鼓励科研机构、高校与企业开展产学研合作，共同攻克监测技术难题。针对新兴污染物的监测需求，科研团队应研发新型的样品前处理技术和高灵敏度、高选择性的检测方法，提高对痕量污染物的检测能力。探索基于纳米材料的吸附、分离技术，用于样品中新兴污染物的富集和净化；研发新型的生物传感器、免疫分析技术，实现对特定污染物的快速、准确检测。

科研人员应持续优化在线监测技术，提高监测数据的准确性和稳定性。加强传感器技术研发，提高传感器的灵敏度、可靠性和抗干扰能力；完善数据传输和处理系统，实现监测数据的实时、准确传输与分析，提升监测时效性。建立在线监测数据与实验室分析数据的比对验证机制，及时发现和纠正数据偏差，确保数据的一致性和可靠性^[5]。

推动不同监测技术的融合与协同发展，建立综合监测技术体系。科研人员将光谱分析、色谱分析、质谱分析等技术有机结合，充分发挥各自的优势，实现对复杂样品中多种污染物的全面、准确检测。利用大数据、人工智能等技术，对不同监测技术获取的数据进行深度挖掘和分析，建立水质预测模型，提前预警水质变化趋势，为环境管理决策提供科学依据。

（二）推进管理优化与标准化

政府应明确各部门在地表水监测工作中的职责，建立统一协调的管理机制。通过制定详细的职责清单和 workflows，厘清环保、水利、农业等部门在监测规划、站点建设、数据采集、分析评价等方面的职责分工，避免职责交叉和空白。建立部门间的定期沟通协调机制，加强信息共享和工作协同，共同推进地表水监测工作的顺利开展。

相关标准制定部门应制定统一的数据管理标准，规范数据格式、存储和传输方式。建立全国统一的地表水监测数据平台，采用标准化的数据格式和编码规则，实现数据的集中存储和管理。制定数据共享政策和技术规范，明确数据共享的范围、方式和权限，搭建数据共享接口，促进各部门、各地区之间的数据高效共享与利用。

监测机构应完善监测质量管理体系，加强对监测全过程的质量控制。制定严格的采样、分析、数据审核等环节的质量控制标准和操作规程，加强对监测人员的培训和考核，确保质量控制措施得到有效执行。定期开展监测机构的资质认定和能力验证工作，加强对监测设备的校准维护和计量管理，建立质量追溯机制，对监测数据的质量问题进行及时追溯和整改，确保监测数据真实可靠。

（三）加强人才培养与队伍建设

高校应加强相关专业建设，优化课程设置。根据地表水监测工作的实际需求，调整专业课程体系，增加跨学科课程的比重，培养学生的综合知识素养和实践能力。加强实践教学环节，建立实习实训基地，让学生在实际工作中积累经验，提高解决实际问题的能力。

监测机构应建立健全监测人员培训机制，定期开展业务培训和和技术交流活动。制定系统的培训计划，根据监测人员的岗位需求和技术水平，开展有针对性地培训，包括新技术、新方法的应用，监测标准和操作规程的解读，质量控制与数据管理等方面的内容。鼓励监测人员参加国内外学术交流活动，了解行业最新动态和发展趋势，促进知识更新和技术创新。

监测机构应完善人才激励机制，提高监测人员工作积极性和主动性。在薪酬待遇方面，建立合理的薪酬体系，根据监测人员的工作业绩、专业技能和岗位贡献，给予相应的薪酬待遇，提高监测人员的收入水平。在职业发展方面，建立明确的职业晋升通道，为监测人员提供广阔的发展空间。设立科研项目和技术创新奖励基金，对在监测技术研发、工作创新等方面取得突出成绩的人员给予表彰和奖励，激发监测人员的工作热情和创新精神。

四、结语

地表水监测作为环境保护和水资源管理的重要基础工作，对于维护生态平衡、保障人类健康和促进经济社会可持续发展具有不可替代的作用。尽管当前我国在地表水监测技术、监测网络布局、监测标准法规以及监测设施设备等方面取得了一定的成绩，但在技术创新、管理体制、法规政策以及人才队伍建设等方面仍存在诸多问题。通过一系列针对性措施，能够有效解决现存问题，全面提升地表水监测水平。未来，随着科技的不断进步和管理的持续完善，地表水监测工作将在水环境治理和水资源保护中发挥更为关键的作用，为实现美丽中国的建设目标提供有力支撑。

参考文献

- [1] 王亦伟, 朱小红. 环境监测中监测水环境存在的问题及对策 [J]. 清洗世界, 2022, 38(05): 79-81.
- [2] 李业芳. 环境监测中地表水监测对策分析 [J]. 皮革制作与环保科技, 2022, 3(17): 45-47.
- [3] 郑小妹. 环境监测质量控制及其在地表水监测分析中的运用解析 [J]. 皮革制作与环保科技, 2022, 3(18): 89-91.
- [4] 谢圣娟. 地表水资源环境监测存在的问题及处理对策 [J]. 皮革制作与环保科技, 2023, 4(01): 32-35.
- [5] 苏雅莉. 环境监测中地表水监测存在的问题及对策研究 [J]. 皮革制作与环保科技, 2022, 3(09): 60-62.

平原风电项目水土保持措施及效益分析

吴杰

宜春市水利局, 江西 宜春 336300

摘 要： 本文聚焦平原风电项目，全面探究其建设中引发水土流失的各类因素，详细阐述对应的水土保持策略，并结合实例量化评估水土保持效益。研究表明，工程与植物等多种措施协同运用，能切实防控水土流失，助力生态环境优化，为平原风电项目可持续推进及类似工程水土保持实践提供有力支撑。

关 键 词： 平原风电项目；水土流失；水土保持措施；效益分析

Water and Soil Conservation Measures and Benefit Analysis of Wind Power Projects in Plains

Wu Jie

Yichun Water Resources Bureau, Yichun, Jiangxi 336300

Abstract： This article focuses on wind power projects in plains, comprehensively explores various factors that cause soil erosion during construction, elaborates on corresponding soil and water conservation strategies, and quantitatively evaluates the benefits of soil and water conservation through practical examples. The research shows that the coordinated application of various measures such as engineering and plant measures can effectively prevent and control soil erosion, promote ecological environment optimization, and provide strong support for the sustainable promotion of wind power projects in plains and soil and water conservation practices in similar projects.

Keywords： plain wind power project; soil erosion; soil and water conservation measures; benefit analysis

在全球能源转型加速、环境问题备受瞩目的当下，风电作为清洁、可再生能源迎来蓬勃发展契机。平原地区以其地势平坦、风能资源分布相对集中等优势，成为风电项目布局的重点区域。然而，风电项目从前期场地平整、基础施工，到后期运维阶段，一系列建设活动不可避免地扰动地表，改变原有土壤结构与植被覆盖状态，若缺乏系统有效的水土保持规划与实施，极易引发水土流失问题，对周边生态系统、农业生产以及工程设施自身安全与寿命构成威胁。深入研究平原风电项目水土保持，既是保障项目顺利落地运营的现实需求，也是践行生态优先、绿色发展理念的必然选择。

一、平原风电项目建设特点与水土流失成因

（一）项目建设特点

平原风电项目基础设施涵盖风电机组、箱式变压器、集电线路以及场内道路等核心部分。风电机组作为核心发电单元，其基础多为大型混凝土结构，为确保稳定性，开挖深度可达数米，土方开挖量可观；箱式变压器紧密配合机组运行，相应的基础建设也涉及一定土地开挖与填方作业；集电线路为实现电能汇集与传输，常以架空线穿梭于风机之间，或采用地埋电缆形式，线路延展距离长，施工过程涉及狭长地带的土地扰动；场内道路为满足大型风电机组部件运输、施工设备通行以及后续运维车辆往来需求，路面宽度一般在4-6米，部分路段因地势起伏需进行大规模填方或挖方处理，以保障道路坡度符合通行标准^[1]。

（二）水土流失成因

1. 扰动地表

施工前期场地平整阶段，推平原始地形、清理地表杂物与植被，直接破坏了地表长期形成的植被防护层以及稳定的土壤结

构^[2]。原本紧密结合的土壤颗粒被打散，土壤团聚体遭到破坏，土壤的抗侵蚀能力瞬间大幅降低，大面积表土裸露在外，在自然降水、风力等外力作用下，水土流失风险急剧攀升。

2. 土方堆置

项目建设过程中挖填方作业频繁，大量土方临时或长期堆放。这些弃土弃渣往往只是简单堆积，未进行合理整形与压实，结构松散、孔隙率大^[3]。而且堆置场地选址若缺乏考量，常处于地势较高或坡面等易受冲刷位置，堆体坡度自然状态下较陡且不稳定，一旦遭遇降雨，坡面径流迅速汇聚，极易裹挟堆土形成泥石流或泥流，造成严重的土壤流失，还可能淤塞周边排水系统与河道。

3. 植被破坏

施工区域原有自然植被或人工植被被彻底清除，土地失去植被根系的固持作用^[4]。植被根系不仅能够机械性地锚定土壤颗粒，增强土壤整体性，其生长代谢过程还能改善土壤结构、增加土壤有机质含量，提升土壤抗蚀性能。施工结束后，若未能及时跟进植被恢复措施，地表将长期处于裸露状态，任由雨水直接冲击、溅蚀表土，加速土壤侵蚀进程。

4.降水与大风

平原地区气候条件具有鲜明特点，降水多集中于特定季节，短时间内降雨量较大，雨滴降落地面时具有较强的动能，对裸露表土产生溅蚀作用，打散土壤颗粒，使其更易被坡面径流携带流失。同时，平原地形开阔，大风天气较为频繁，强劲风力直接吹蚀裸露地表，将细小土壤颗粒卷扬至空中形成扬尘，不仅造成土壤肥力损失，还会在风力减弱处沉降堆积，扩大水土流失影响范围，进一步恶化生态环境^[5]。

二、平原风电项目水土保持措施

（一）工程措施

1.表土剥离与回填

在项目破土动工前，精准划定风电机组、场内道路、施工场地等占地范围，运用专业机械设备将表层肥沃土壤按一定厚度（通常20-30厘米）有序剥离。剥离后的表土集中堆放在预先规划、防护到位的临时堆土场，采用装土编织袋修筑挡墙围挡，表面苫盖密目网，防止雨水冲刷与大风扬尘。待项目主体工程完工，场地进入收尾阶段，再将保存良好的表土按照设计要求均匀回填至风电机组基础周边、道路绿化带、临时占地复垦区域等，为后续植被恢复提供优质的土壤基质，奠定植被生长根基。

2.边坡防护

针对填方与挖方形成的边坡，依据边坡高度、坡度以及地质条件因地制宜采取防护手段。对于高度较低、坡度较缓（一般坡高小于3米、坡度小于30°）的边坡，优先采用生态友好型的撒播草籽护坡方式，选择狗牙根、黑麦草等耐瘠薄、耐旱、生根快的草种，按合理密度均匀播撒，借助草种萌发后的根系固土与茎叶覆盖，减轻坡面水土流失；对于高度较高（3-10米）、坡度较陡（30°-60°）的边坡，采用浆砌石护坡、混凝土护坡增强边坡结构强度，以抵抗坡面径流冲刷与土体自重下滑力，同时在坡面适当位置预留排水孔，排除坡体积水；部分高陡土质边坡还可结合土工格栅护坡技术，利用土工格栅的加筋作用，提升边坡土体稳定性，防止崩塌、滑坡等地质灾害诱发的水土流失加剧^[6]。

3.排水工程

依循项目区整体地形走势，在道路两侧、风电机组基础周边等关键汇水区域规划布局排水沟渠系统。排水沟多采用梯形或矩形断面，底部与边坡用混凝土预制板或浆砌石衬砌，增强渠道耐久性与抗冲刷能力，确保排水顺畅。各级排水沟相互连通，将雨水有序汇集后引入沉沙池，利用沉沙池的沉淀作用，使雨水中携带的泥沙颗粒沉降，净化后的雨水再排入周边自然水系，有效防控因雨水漫流引发的坡面冲刷与水土流失，维护区域水系生态稳定。

4.土地整治

施工末期，对风电机组施工场地、材料堆放场、临时道路等临时占地以及因施工造成局部地形改变的区域开展全面土地整治。运用平地机、推土机等设备平整土地，消除施工遗留的坑洼、凸起，使地形恢复至适宜后续利用状态；同时，通过翻耕、松土等措施改善土壤通气性、透水性等理化性质，为植被恢复或土地复垦为农田、草地等用途创造有利条件，促进土地资源可持续利用。

（二）植物措施

1.风电机组区绿化

环绕风电机组基础、箱变设施周边空闲地带，精心规划绿化布局。选取紫穗槐、柠条等低矮灌木，呈环状或带状栽植，株行距依据植物生长特性合理设定，一般灌木株距0.5-1米。在灌木行间及基础外围空地撒播三叶草、早熟禾等草本植物种子，构建乔灌木结合的立体绿化模式^[7]。所选植物既要适应风电场地的光照、风力、土壤肥力等环境条件，具备耐干旱、耐瘠薄、抗风倒伏能力，又要兼顾景观美化效果，减少工程设施突兀感，在发挥水土保持功能的同时，打造生态友好型风电场景观。

2.道路绿化

场内道路两侧规划宽度适宜（一般1-3米）的绿化带，按一定株距（3-5米）种植杨树、柳树等速生、高大乔木作为行道树，其发达根系可稳固路基，树冠枝叶能有效降低风速、拦截雨水，减少雨滴对路面及边坡的直接冲击侵蚀。在路肩及边坡坡面，撒播披碱草、高羊茅等草种，配合适量灌木种植，形成连续的道路绿化带，将道路施工区域与周边生态环境有机融合，提升道路生态防护效能。

3.临时占地植被恢复

施工营地、材料堆放场等临时占地在完成使用使命后，迅速拆除临时建筑、清理杂物，对场地进行深耕细耙，依据原土地类型与周边生态环境，优先选用当地乡土草种、灌木种子进行混播。如在原农田区域可播撒小麦、苜蓿等混合种子，促进植被快速恢复，还原土地生态功能，防止土地撂荒引发的水土流失，推动临时占地生态修复回归自然状态。

（三）临时措施

1.临时排水

施工期间，为应对频繁降雨干扰，沿施工场地周边、临时道路路边迅速开挖临时土质排水沟，沟底与边坡铺设塑料薄膜，提升沟道防渗与抗冲刷性能。定期巡查清理沟内淤积物，保障排水路径畅通，及时排除场地内积水，避免积水长时间浸泡土壤导致结构破坏、强度降低，进而引发水土流失，为施工营造相对稳定的土壤条件。

2.临时苫盖

针对临时堆放的土方、砂石料等易受侵蚀物料，采用高密度聚乙烯密目网进行全面苫盖，苫盖面积需超出物料堆边缘一定范围（一般0.5-1米），并用沙袋、石块压实网角，防止大风掀开。对于粉状物料如水泥，还需增设防风抑尘网围挡，双重防护降低扬尘污染，减少物料因风吹雨淋造成的损失与水土流失风险。

3.临时拦挡

在弃土场、临时堆土坡脚四周，利用装满土的编织袋堆砌临时挡土墙，墙高依据堆土高度合理设计，一般0.5-1米，墙体坡度保持稳定，底部宽度适当大于顶部，确保墙体具备足够抗滑、抗倾覆能力。挡土墙能够有效拦截堆土坡面径流，阻挡松散土料随水流外溢，在临时堆土存续期间为其提供稳固边界防护，降低水土流失突发危害。

三、案例分析

（一）项目概况

高安祥符平价风电场项目位于长江中下游平原，规划总装机容量100MW，共安装20台单机容量5MW的风电机组，配套构建

35kV 集电线路 27.58km、场内交通道路体系以及 1 座 110kV 升压站。项目所在区域地势极为平坦开阔，属典型亚热带季风气候，年平均降水量 1672.3 毫米，降水集中于夏季，多暴雨天气；土壤类型以粉质黏土为主，颗粒组成相对均匀，保水保肥能力一般；原生植被多为农田防护林网与季节性农作物，生态系统相对单一且脆弱，易受工程建设扰动影响。

（二）水土保持方案实施

项目筹备初期，即委托编制详尽水土保持方案，并在施工全过程严格遵循方案落实各项措施。施工前，动用大型挖掘机、装载机等设备精细剥离表土约 4.1 万立方米，转运至设置规范的临时堆土场，堆土场四周用双层编织袋挡墙防护，高度 1 米，表面满铺密目网，防风、防雨、防扬尘。风电机组基础施工阶段，针对 10 余处深挖方边坡（总计约 2 万平方米），依据坡高、坡比采用不同护坡形式，其中 1-3 米低边坡撒播草籽护坡，3 米以上高边坡采用混凝土护坡，累计浇筑混凝土 0.8 万余立方米；场内道路修筑中，同步开展边坡防护，撒播草籽面积达 3 万平方米。沿道路与风机基础周边共修筑排水沟 8 千米，配套建设沉沙池 20 座，形成完善排水网络。道路绿化方面，种植松树 1 万株，株距 3 米，风电机组区绿化 3 万平方米，选用紫穗槐、狗牙根搭配种植。施工全程严格实施临时排水、苫盖、拦挡措施，动态监管，确保水土保持工作无死角。

（三）水土保持效益监测

1. 监测方法

构建定位监测与调查监测有机结合的综合监测体系。在风电机组、道路边坡等典型水土流失易发区域设置 5 处径流小区，通过收集、测量小区出口径流泥沙含量与径流量，精准量化土壤流失数据；在各级排水沟出口、沉沙池安装自动采样监测设备，实时记录泥沙淤积动态；同时，定期组织专业人员深入项目区开展实地调查，运用无人机航拍、卫星遥感影像对比分析土地扰动范围、植被覆盖度变化，结合样方调查统计植被种类、数量、生长状况等指标，全面掌握水土保持措施实施成效。

2. 监测结果

施工初期，场地大面积扰动，土壤侵蚀模数一度飙升至峰值 1500 吨/平方千米·年，随着水土保持措施逐步落地生效，侵蚀模数呈稳步下降趋势。至施工末期，降至 500 吨/平方千米·年左右，项目进入稳定运行期后第二年，土壤侵蚀模数已稳定控制在 350 吨/平方千米·年以下，远低于当地土壤容许侵蚀模数 500 吨/平方千米·年标准。植被覆盖度监测显示，施工前项目区平均植被覆盖度约 28%，施工过程中受扰动区域植被骤减，随着绿化工程推进，运行期第一年植被覆盖度回升至 40%，第二年进一步提升至 70%，区域生态环境逐步向良性发展，水土流失得到有效遏制^[9]。

（四）效益分析

1. 生态效益

大规模植被恢复显著增加项目区绿地面积，改变局地小气候，通过植物蒸腾与遮荫作用，调节空气温湿度，缓解热岛效应，为鸟类、昆虫等野生动植物营造栖息繁衍空间，生物多样性逐步丰富。有效拦蓄的泥沙减少入河入库泥沙量，减轻下游河道淤积与水体浑浊度，维护河流水生生态系统健康，保障水生生物生存环境稳定，促进生态系统正向演替。

2. 经济效益

水土保持措施降低水土流失危害，避免土壤肥力随泥沙大量

流失，周边农田得以持续高产稳产，保障农业经济收益；风电场内植被防护减少风沙对风电机组、输电线路、道路等设施侵蚀磨损，降低设备故障率与维修成本，延长设施使用寿命，间接产生显著经济效益，据估算每年节省运维成本超百万元^[9]。

3. 社会效益

项目作为当地水土保持工程，通过举办现场观摩、技术培训等活动，带动周边企业、村镇生态保护意识觉醒，掀起生态建设热潮；优化的绿化景观吸引游客，催生乡村生态旅游、休闲观光等新业态，创造就业岗位数百个，助力乡村振兴，提升生活品质，促进社会和谐发展。

四、结论与展望

（一）结论

平原风电项目建设虽对地表扰动强烈，但通过科学规划、精准实施工程、植物与临时相结合的多元水土保持措施，水土流失问题能够得到有效防控。案例实践充分证明，从项目前期筹备到后期运维，始终将水土保持贯穿全过程，严格落实各项策略，不仅能将工程建设对生态环境的负面影响降至最低，还能收获生态、经济、社会效益的多重红利，实现风电开发与生态保护协同共进，为平原地区清洁能源产业可持续发展筑牢根基^[10]。

（二）展望

面向未来，平原风电产业持续扩张，水土保持工作任重道远。需进一步强化项目前期水土保持专项规划，深度融合生态设计理念，从风机选型、布局到施工工艺优化，全方位探索更高效、更生态友好的水土保持路径；加大科研投入，研发适应平原风电环境的新型生态修复技术、材料，提升植被恢复质量与效率；充分利用物联网、大数据、卫星遥感等前沿技术，搭建智慧水土保持监测平台，实现水土流失动态实时管控；同时，政府应持续完善政策法规，加强监管执法力度，压实企业主体责任，多方合力保障平原风电项目全生命周期水土保持成效显著，推动绿色风电照亮可持续未来。

参考文献

- [1] 李智广，刘秉正，赵方莹等. 水土保持学. 北京：中国林业出版社，2016.
- [2] 刘霞. 水土保持监测技术指标体系. 北京：中国水利水电出版社，2017.
- [3] 赵永军，王云琦，刘宝元等. 中国水土保持监测技术与应用. 北京：中国水利水电出版社，2018.
- [4] 张伟伟，雷东. 华北平原区风电场项目水土保持措施配置探讨[J]. 河南建材，2016(01):125-127.DOI:10.16053/j.cnki.hnjc.2016.01.056.
- [5] 邓香平，张晓亮. 长江冲积平原区风电场工程水土保持措施研究[J]. 绿色科技，2016(20):17-19+24.DOI:10.16663/j.cnki.lskj.2016.20.008.
- [6] 李远，杨慧. 平原风电场与山地风电场环境影响重点问题研究[J]. 风能，2021(05):74-76.
- [7] 蒋丹丹，葛亮，冷慧梅，施丹. 浅谈江苏平原地区风电场水土保持方案编制及后续设计优化——以盐城某县 150MW 风电场工程为例[J]. 亚热带水土保持，2021, 33(02):50-54.
- [8] 程艳辉. 南方平原风电建设项目水土保持措施设计初探[J]. 绿色科技，2021, 23(18):190-192.DOI:10.16663/j.cnki.lskj.2021.18.056.
- [9] 王鹤鸣. 平原区风电项目水土保持方案编制技术要点分析[J]. 河北水利，2024(07):24+35.
- [10] 陈璐. 长江冲积平原风电开发建设管理与思考[J]. 智能城市，2018, 4(23):115-116. DOI:10.19301/j.cnki.zncc.2018.23.071.

电力二次设备在线带电清洗安全技术及运用分析

明亮¹, 王强¹, 王飞飞¹, 李万里¹, 赵利国¹, 李斐², 李珍², 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, 内蒙古 呼和浩特 010010

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 : 本文深入探讨了电力二次设备在线带电清洗的安全技术及其实际运用。首先明确了电力二次设备在电力系统中的重要性及其运行环境面临的挑战。随后, 对电力二次设备进行了概述分析。文章重点论述了带电清洗安全技术方面的内容, 针对带电清洗技术面临的挑战, 提出了相应的对策与建议。最后文章总结了带电清洗技术在电力二次设备维护中的重要性, 旨在为提高电力二次设备的安全稳定运行提供技术支持和参考。

关 键 词 : 电力二次设备; 在线带电清洗; 安全技术; 运用分析

Safety Technology and Application Analysis of Online Live Cleaning for Secondary Power Equipment

Ming Liang¹, Wang Qiang¹, Wang Feifei¹, Li Wanli¹, Zhao Liguang¹, Li Fei², Li Zhen², Hao Wei³

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

2. Huazhong Science and Technology (Beijing) Co., Ltd. Hohhot, Inner Mongolia 010010

3. Ulanqab Ecological Environment Comprehensive Security Center Xinghe Branch, Ulanqab, Inner Mongolia 013650

Abstract : This article deeply explores the safety technology and practical application of online live cleaning of secondary power equipment. Firstly, the importance of secondary power equipment in the power system and the challenges it faces in its operating environment were clarified. Subsequently, an overview and analysis of secondary power equipment were conducted. The article focuses on the safety technology of live cleaning, and proposes corresponding countermeasures and suggestions for the challenges faced by live cleaning technology. Finally, the article summarizes the importance of live cleaning technology in the maintenance of secondary power equipment, aiming to provide technical support and reference for improving the safe and stable operation of secondary power equipment.

Keywords : power secondary equipment; online live cleaning; security technology; apply analysis

引言

随着电力工业的快速发展, 电力系统中的二次设备作为保障电网安全、稳定运行的重要组成部分, 其可靠性与稳定性直接关系到整个电网的运行效率与供电质量。在实际运行环境中, 电力二次设备往往因长期暴露在复杂多变的气候条件和电磁环境中, 导致表面沉积污染物, 这些污染物不仅影响设备的散热性能, 还可能引发短路、绝缘降低等安全隐患, 严重威胁电力系统的稳定运行^[1]。因此, 电力二次设备的在线带电清洗技术成为保障电力系统安全、高效运行的关键技术之一。本文旨在深入探讨电力二次设备在线带电清洗的安全技术及其在实际应用中的效果分析。通过系统梳理带电清洗技术的理论基础、安全操作规程、绝缘保护技术、接地保护与泄漏电流控制等关键技术环节, 全面剖析当前带电清洗技术面临的挑战, 并提出相应的解决对策。^[2]

一、电力二次设备概述

(一) 定义与分类

电力二次设备, 作为电力系统中的重要组成部分, 是指对一次设备(如发电机、变压器、断路器等)进行监控、测量、保护、调节和控制的设备集合。它们不直接参与电能的转换和传输过程, 但通过对一次设备的运行状态进行实时监测和控制, 确保电力系统的安全、稳定和经济运行。^[3]根据功能不同, 电力二次设备可分为保护设备(如继电保护装置)、测量设备(如电能表、

电压表、电流表等)、控制设备(如自动装置、遥控装置)以及通信设备等几大类。

(二) 运行环境分析

电力二次设备通常安装在变电站、发电厂等电力设施内部, 其运行环境复杂多变, 面临多种挑战。首先, 电磁环境复杂, 由于电力系统中存在大量的电磁设备, 产生的电磁干扰可能对二次设备的正常运行造成干扰, 影响其测量精度和控制性能^[4]。其次, 气候条件恶劣, 特别是在户外安装的二次设备, 需承受高温、严寒、潮湿、盐雾等极端天气条件, 这些环境因素易导致设

备老化、腐蚀，进而影响其使用寿命和可靠性。此外，灰尘、油污等污染物的积累也是不可忽视的问题，它们不仅影响设备的散热效果，还可能引起短路故障，威胁电力系统的安全。

二、带电清洗安全技术

(一) 安全操作规程

在电力二次设备上进行在线带电清洗作业，首要的是制定并执行严格的安全操作规程，应涵盖从前期准备到清洗作业实施，再到后期检查与评估的全过程。前期准备要明确清洗对象和清洗区域，制定详细的清洗计划，确保所有参与人员了解清洗流程、安全风险和应对措施^[5]。在清洗作业前，进行全面的风险评估，识别可能存在的安全隐患，并制定相应的风险控制措施。在清洗过程中，严格按照操作规程进行，避免使用可能产生火花的工具或方法，应密切关注设备运行状态，一旦发现异常情况，立即停止清洗作业并采取相应措施。清洗作业完成后，对设备进行全面检查，确保设备表面无残留清洗剂，且设备功能正常。

(二) 绝缘保护技术

绝缘保护是带电清洗技术的核心之一。在清洗过程中，必须确保设备与清洗工具之间、设备与周围环境之间保持足够的绝缘强度，以防止电流泄漏和电击事故的发生。这要求选用具有高绝缘性能的清洗剂和清洗工具，采用有效的绝缘措施，在清洗区域周围设置绝缘屏障、使用绝缘垫。^[6]

(三) 接地保护与泄漏电流控制

接地保护是防止电击事故的重要措施之一。在带电清洗作业中，应确保所有可能带电的设备部件均可靠接地，以将泄漏电流引入大地，降低电击风险。同时，还需采用泄漏电流监测装置，实时监测清洗过程中的泄漏电流情况，一旦发现泄漏电流超过安全限值，应立即停止清洗作业并查明原因。

(四) 环境控制

环境控制对于带电清洗作业的安全性和有效性至关重要。在清洗作业前，应对作业环境进行全面检查，确保无易燃易爆物品、无腐蚀性气体等危险因素存在。同时，还需控制作业环境的温湿度、风速等参数，以保证清洗剂的稳定性和清洗效果。在清洗过程中，应采取措施防止清洗剂挥发对周围环境造成污染，如使用密封性好的清洗设备、设置局部排风系统等。

三、带电清洗技术的挑战与对策

(一) 技术挑战

电力二次设备种类繁多，结构复杂，不同设备之间的电气特性和运行要求差异较大。这要求清洗技术必须具备高度的灵活性和适应性，能够针对不同的设备类型制定个性化的清洗方案。

电力二次设备通常运行在电磁环境复杂、气候条件恶劣的环境中。这些环境因素不仅增加了清洗作业的难度，还可能对清洗效果和设备安全造成不利影响。因此，如何在这种环境下保证清洗作业的安全性和有效性，是一个亟待解决的问题。^[7]

带电清洗作业本身存在一定的风险，如电流泄漏、设备损坏、环境污染等。这些风险可能由清洗剂的选择不当、清洗方法的不合理或操作人员的疏忽等原因引起^[8]。因此，如何有效控制这些风险，确保清洗作业的安全进行，是带电清洗技术面临的重要挑战。

清洗剂的选择对于清洗效果和设备安全至关重要。目前市场上的清洗剂种类繁多，性能各异，如何根据具体设备的需求和清洗环境的特点选择合适的清洗剂，并在使用后妥善处理废弃物，避免对环境造成污染，是带电清洗技术需要解决的重要问题。

(二) 对策与建议

针对电力二次设备的复杂性和多样性，加强技术研发与创新，开发出更加高效、安全、环保的清洗剂和清洗技术。加强与材料科学、化学工程等学科的交叉融合，为带电清洗技术的发展提供有力支持。

结合电力二次设备的运行特点和清洗作业的实际需求，制定完善的安全操作规程。这些规程应涵盖清洗作业的全过程，包括前期准备、风险评估、作业实施、后期检查等各个环节，确保清洗作业的安全进行^[9]。

提高操作人员的专业技能和安全意识是保障清洗作业安全的重要措施。加强对操作人员的培训和管理，使其熟悉设备结构、了解清洗流程、掌握安全操作规程和应急处理措施。建立健全的考核机制，确保操作人员具备上岗资格。

针对不同类型的电力二次设备和不同的清洗环境，制定个性化的清洗方案与策略。这些方案应充分考虑设备的电气特性和运行要求，以及清洗剂的选择与处理等因素，确保清洗作业的有效性和安全性^[10]。

四、结语

电力二次设备作为保障电力系统安全稳定运行的关键环节，其运行状态的维护至关重要。在线带电清洗技术作为一种高效、便捷的维护手段，在提升设备运行效率和可靠性方面展现出巨大潜力。然而，该技术在实施过程中也面临着设备复杂性、运行环境苛刻、清洗过程风险等多重挑战。通过制定完善的安全操作规程、加强绝缘保护与接地控制、优化环境控制以及加强技术研发与创新等措施，我们可以有效应对这些挑战，确保带电清洗作业的安全性和有效性。未来，随着技术的不断进步和应用的深入，带电清洗技术将在电力二次设备的维护中发挥更加重要的作用，为电力系统的安全稳定运行提供更加坚实的保障。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 文昌斌, 刘鉴鑫, 李涛, 等. 远距离激光清洗技术在高压带电设备中的应用分析[J]. 河北电力技术, 2023, 42(04): 62-67.
- [3] 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.
- [4] 邓立晨, 余嘉彦, 胡旭东. 探讨电力二次设备检修中存在的问题和对策[J]. 中国设备工程, 2023(24): 82-84.
- [5] 袁文胜. 可见光通信设备带电清洗技术应用研究[J]. 光源与照明, 2023, (10): 91-93.
- [6] 赵华, 段媛媛. 电力二次设备带电清洗技术在220kV江川变电站的应用[C]//云南电网公司, 云南省电机工程学会. 2011年云南电力技术论坛论文集(入选部分). 云南电网公司玉溪供电局, 2011: 7.
- [7] 刘伟才. 油浸式变压器自动清洗系统设计[D]. 佛山科学技术学院, 2021.
- [8] 文昌斌, 刘鉴鑫, 李涛, 等. 远距离激光清洗技术在高压带电设备中的应用分析[J]. 河北电力技术, 2023, 42(04): 62-67.
- [9] 黄德明. 浅谈带电化学清洗技术在高压电力设备中的运用[J]. 福建建材, 2021, (01): 102-103+116.
- [10] 郎长璐. 带电清洗技术的实践与应用[J]. 冶金动力, 2017, (06): 8-9.

煤改电工程项目水土流失影响因素及分区防治措施研究

陈奎

新疆水利水电项目管理有限公司, 新疆 乌鲁木齐 830000

摘 要： 我国电力能源供给结构持续变化, 风力及太阳能发电占比不断提升, 电网安全稳定运行不断提升背景下, 必须要全面优化电力系统整体运行体系。在电力工程建设中, 需要坚持生态环境保护根本性原则, 加强对项目周边及沿线水土流失治理的重视程度。本文以某煤改电工程项目为例, 说明工程项目建设所导致水土流失的主要影响因素, 并提出分区治理防治措施和水土保持监测方案, 以此为同类工程项目建设提供参考, 为提升电力产业综合效益起到积极促进作用。

关 键 词： 电力工程; 水土流失; 分区防治

Study on Influencing Factors of Soil And Water Loss and Zoning Control Measures of Coal to Electricity Project

Chen Kui

Xinjiang Water Resources and Hydropower Project Management Co., LTD. Urumqi, Xinjiang 830000

Abstract： As the power energy supply structure in China continues to change, the proportion of wind and solar power generation is constantly increasing, and the safe and stable operation of the power grid is constantly improving, it is necessary to comprehensively optimize the overall operation system of the power system. In the construction of electric power engineering projects, it is necessary to adhere to the fundamental principle of ecological and environmental protection, and strengthen the attention to the control of soil erosion around and along the project. This paper takes a coal to electricity project as an example to explain the main influencing factors of soil erosion caused by the construction of the project, and puts forward the zoning management and control measures and soil and water conservation monitoring scheme, so as to provide reference for the construction of similar projects and play a positive role in promoting the comprehensive benefit of the power industry.

Keywords： electric power engineering; soil erosion; zoning control

水土流失是各类工程项目建设中的常见问题, 尤其是在生态承载力较为薄弱的地区, 受施工活动影响, 会出现地形改变、植被破坏、土壤扰动等形式的水土流失现象, 给区域生态平衡产生影响。水土流失的发生, 不仅会对当地经济社会发展带来负面影响, 还显著影响项目建设整体效益, 因此必须根据实际情况做好水土流失预测和危害分析, 采取针对性水土保持措施, 加大水土保持监测力度, 积极推动水土保持智慧化发展, 以此在尽量提升工程项目经济效益的同时, 为区域经济社会高质量发展奠定坚实基础。

一、工程概况

(一) 项目建设概况

新疆地区某输变电工程项目, 属于煤改电二期工程, 重点在于解决南疆四州地新能源装机容量增长速度过快, 当地消纳能力有限, 富裕新能源电力送至主网消纳水平低的问题。通过本工程建设, 还能够有效增强当地供电电网可靠性, 结合远期主变项目建设, 为未来分区供电奠定基础。工程项目建设主要包括750千伏线路工程和750千伏输变电工程两个子线项目, 工程项目整体建设内容复杂, 线路覆盖范围广, 对周边及沿线水土保持影响显著, 因此必须全面做好水土流失影响因素分析, 采取有效的治理措施, 提升水土保持水平, 确保工程项目建设经济效益、社会

效益和生态效益综合目标达成。

(二) 沿线自然环境概况

本工程项目沿线地貌主要包括戈壁荒漠、地山丘陵、绿洲平原和沙漠地貌等类型, 土壤主要以棕漠土、风沙土和灌淤土为主, 自然植被较少, 主要以少量旱生和沙生的草本和小灌木植物为主, 沿线林草覆盖率约为3~15%之间。项目所处区域属温带大陆性极干旱气候, 具有四季分明, 冬多严寒, 夏少酷热、雨量稍多特征, 风季为4月~7月, 雨季为6月~9月。沿线水土流失类型及强度以轻度风力侵蚀为主, 兼有微度水力侵蚀, 依据相关规范划分标准, 沿线地区包括水土流失重点预防区、流域重点治理区 and 水土流失重点治理区等, 不涉及饮用水水源保护区等敏感区。

二、水土流失防治目标及影响因素

（一）水土流失防治目标

综合项目建设和相关规范要求，本工程项目中水土流失防治责任范围为590.29hm²，其中永久占地49.46hm²，临时占地540.83hm²。依据水利部及新疆维吾尔自治区水利厅相关通知要求，确定水土流失防治执行标准。在此基础上，确定水土流失防治基本目标为：（1）确保项目建设范围内新增水土流失得以有效控制，原有水土流失得以有效治理；（2）确保水土保持设施安全有效；（3）确保水土资源、林草植被得以最大限度的保护和恢复；（4）确保水土流失治理度、土壤流失控制比、渣土防护率、表土保护率、林草植被恢复率、林草覆盖率等指标符合现行国家标准。

在综合考虑上述防治目标要求，综合分析沿线各市县所执行的生态环境保护标准、穿越水土保持敏感区及自然环境特征，结合地形地貌进行加权确定设计水平综合防治目标值^[1]。整体确定防治目标为：水土流失治理度85%，土壤流失控制比1.0，渣土防护率87%，表土保护率85%，林草植被回复率，林草覆盖率7%。

（二）水土流失的影响因素

本工程项目选址及方案设计中，就综合考虑资源节约和环境保护友好因素，从整体上做好优化，但受建设活动客观存在及技术条件限制，水土流失主要受如下几方面因素影响：

首先是施工场地和设施布置需要占用范围内土地，将原有植被消除，以此导致土地表面失去保护，增加水土流失概率。在部分建筑物及基础工程建设中，需要进行大量的挖方和填方作业，各个施工工序操作时间和空间存在一定差异，由于土壤堆积及暴露等负面现象，更会导致显著的水土流失问题^[2]。同时在项目施工完成后，也会有少量水土流失现象发生。例如本工程项目施工阶段，在变电站区、输电线路塔基施工场区及施工道路区等场景中，都会产生不同程度的水土流失现象。

其次是在建筑材料堆放、牵张场区及跨越施工区，由于机械施工作业、张力牵张放线及紧线、建筑材料堆放等作业活动中，会出现点状化的地表扰乱、植被破坏等现象，虽然不会产生集中性的水土流失现象，但对沿线区域生态环境也会产生一定影响，尤其是在施工作业完成后，由于已经造成了人为扰动，仍有水土流失现象发生^[3]。

最后是作业不规范现象，也会导致不同程度的水土流失现象，例如在运输车辆运行中，没有依照指定线路作业，车辆超载等对施工道路产生破坏；在部分施工区域的土石方开挖中存在超挖风险，对原来的土体结构产生破坏，极为容易导致边坡失稳现象，如没有依照规范采取相应的保护措施，也会导致水土流失超出设计要求。

在输变电工程项目建设中，水土流失危害主要表现为对现有生态环境产生破坏，生态循环受到破坏，导致土地生产力降低、对农业生产带来负面影响，工程效益难以体现出来^[4]。以本工程项目为例，多处于生态环境薄弱区域，多年形成的地表粗颗粒及

地表结皮等保护层一旦受到破坏，极难在短时间内恢复至当前水平，土壤侵蚀不断加剧。因此在工程项目建设中，必须要构建完善的水土流失防治体系，根据实际情况采取有效的防治措施，以有效提升工程项目建设效益。

三、水土流失分区防治措施

（一）分区防治体系构建

本工程项目建设活动开展中，为尽量减少建设活动开展对生态环境的影响，根据地形地貌分为4个一级防治分区，具体包括戈壁荒漠防治区、绿洲平原防治区、沙漠放置区、低山丘陵防治区。在一级防治分区内，依据项目组成划分为变电站防治区、输电线路防治区、站用电源线路防治区等二级分区。最后是依据项目布局、施工扰动特征，再细分为间隔扩建防治区、塔基及施工场地防治区、牵张场防治区、跨越施工场区、施工道路防治区、站外供排水设施防治区、施工生产生活防治区、站外供水管线防治区等。本研究中，依一级防治分区为标准，结合施工子项目中涉及的二级和三级分区内容，说明水土流失的具体防治措施。

（二）间隔防治区的水土流失防治措施

针对绿洲平原区、戈壁荒漠区等一级分区中变电站防治区中需要建设的间隔扩建区，使用密目网苫盖开挖作业时的临时堆土，在扰动区域做好临时洒水；在施工结束后开关设备及配电装置场地，采用砾石压盖地坪方式进行处理。所采取的苫盖及砾石压盖等措施，需根据工程施工设计和现场测量，合理确定施工面积；合理计算洒水量，以在满足水土保持要求基础上，实现施工进度和施工成本的有效控制。

（三）塔基及施工场地区的水土流失防治措施

在绿洲平原区分区中，针对塔基及施工场地区中容易出现的水土流失现象，在施工前使用彩条布铺垫；将开挖区域的表土剥离，单独堆放；在灌注桩施工中，设置泥浆沉淀池，将基础开挖的临时堆土表面使用密布网苫盖，塔基施工场地四周用彩条旗做好围护；在施工作业结束后，及时回覆表土，在做好土地整治后，恢复耕地或植被；在塔基周围，需根据防洪要求设置混凝土挡水墙。在采取的工程措施中，应当准确计算表土剥离面积、表土回覆面积、土地整治面积、耕地恢复面积。在采取植物措施时，应准确计算撒播草籽面积、草籽量，撒播灌木籽面积、灌木籽量；植被抚育面积等。在沙漠防治区的塔基及施工场地施工中，除采取上述围护及土地平整措施外，还应当在塔基设置草方格进行固沙处理。

（四）牵张场的水土流失防治措施

在绿洲平原区、戈壁荒漠区的牵张场施工作业中，使用金属围栏限制施工扰动范围，场地内铺垫彩条布；在施工作业完成后，及时采取土地整治措施，便于恢复耕地或植被。在采取的工程措施、植物措施及临时措施中，应准确计算相关施工材料及工程量。

（五）跨越施工场地区的水土流失防治措施

在跨越施工场地，布设彩条旗限定施工范围，在施工结束后

及时采取土地整治措施，便于恢复耕地或植被。在具体防治时，需准确计算土地平整面积和彩条旗围护长度。

（六）施工道路区域的水土流失防治措施

在绿洲平原区的施工道路区域，需合理布设彩条布，限制施工机械和人员活动范围，采用铺设钢板方式减轻对现有地貌的扰动；如施工过程中有大风天气，及时进行洒水；在施工结束后及时对扰动区域进行土地整治，以便于恢复耕地或植被。在戈壁荒漠区的进站道路区域，在道路两侧布设彩条旗，并结合现场情况，合理设置混凝土护坡，如遇大风天气，需进行合适的洒水处理。在施工作业完成后，对两侧空地地进行土地平整处理。

（七）站区的水土流失防治措施

在戈壁荒漠区的变电站区施工中，需要在站区施工区域内采取有效的防治措施。以本工程项目为例，在站外设置雨水收集池、在站内设置排水沟，对扰动区域采取洒水措施，在开挖的临时堆土周边设置编织袋土进行拦挡，堆土表面采用密目网进行苫盖。在施工结束后，需对站区围墙外扰动范围进行土地平整，配电装置场地采取砾石压盖地坪方式进行处理^[5]。

（八）其他分区的水土流失防治措施

本工程项目中，除做好上述各分区的水土流失防治外，还结合施工情况对其他分区采取必要的水土流失防治措施。例如在戈壁荒漠区的站外供排水设施区，将站区排水沟顺接至站外排水管，最终输送至站外雨水收集池；站外设置供排水设施管沟开挖产生的临时堆土，使用密目网进行苫盖，在施工结束后，对扰动区域做好土地平整处理。在施工生产生活区范围内，使用密目网做好临时堆料的苫盖，扰动区域做好洒水处理，并在施工结束后，做好扰动区域的土地平整。在绿洲平原区的电缆工程区范围内，需要对耕地开挖区进行表土剥离，临时堆土压占扰动区域铺设彩条布，表面采取密目网苫盖。在施工作业完成后，及时对占用耕地的扰动区域做好表土回覆，采取合适的耕地恢复措施^[6-8]。

四、水土保持监测方案

水土保持监测是确保水土保持措施效果充分显现的重要保障，依照相关标准和规范要求制定完善的水土保持监测方案，能够准确评估输变电工程项目建设全流程及后续水土流失情况，及时调整优化水土保持措施，有效提升工程项目影响区域范围内生态保护水平^[9-10]。以本工程项目为例，监测范围需覆盖工程的水土流失防治责任范围，共计590.29hm²，监测内容需涵盖主体工程建设和进度、工程建设扰动土地面积、水土流失灾害隐患、水土流失量及造成的危害、水土保持工程建设情况、水土流失防治效果、水土保持工程设计、水土保持管理等各个方面。监测时段需从施工准备期至设计水平年，实现在项目建设全流程的贯穿，除采取常规监测方式外，还应当在风蚀区做好大风期间的加密监测。

水土保持具体监测方法，在整体上采取定点监测、调查监测和遥感监测相结合的方式进行。风蚀区定点监测采用测钎法；调查监测则包括实地量测、线路调查、地形测量、抽样调查等具体方法；遥感监测则是以无人机量测及购买卫片解译方式为主，以此实现对水土保持情况的全面、精准监测^[11]。

五、结束语

输变电工程是煤改电工程的重要组成部分，对优化区域电网结构，推动我国新能源电力产业发展、区域经济社会高质量发展都有显著促进意义，在工程项目建设中，必须要以绿色低碳循环高质量发展理念为导向，准确评估工程项目建设对周边水土流失的影响，结合实际采取针对性分区防治措施，以此才能够将工程项目建设对生态环境的影响控制在最低水平，确保工程项目建设经济效益、社会效益和生态效益目标达成。

参考文献

[1] 郑务. 谈谈开发建设项目的水土流失及防治 [J]. 山西水土保持科技, 2012, (1): 41-42.
[2] 陈桂荣, 董亚维, 朱少卿. 浅谈热电厂建设项目的水土保持监测问题 [J]. 山西水土保持科技, 2011, (3): 34-36.
[3] 程方奎. 煤矿开采塌陷区土壤裂隙优先流对地表水土流失控制作用模拟研究 [D]. 安徽: 安徽理工大学, 2016.
[4] 陈卓鑫, 李魁, 王文龙, 等. 不同类型山丘区输变电路程水土流失的来源、影响因素及措施体系配置 [J]. 水土保持通报, 2021, 41(4): 151-157, 240.
[5] 王怀志, 郭振, 杨春峰, 等. 流域治理项目水土保持防治特点及防护措施 [J]. 水利技术监督, 2023(8): 79-81, 176.
[6] 张国兰. 风电项目水土流失的特点分析及防治对策 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2016, 6(8): 2552-2552.
[7] 兰勇. 电力建设项目水土保持现状与建议分析 [J]. 通讯界, 2019, 26(08): 293-294.
[8] 郭明凡, 裴华, 徐成, 等. 电力工程水土保持准入条件 [J]. 中国水土保持科学, 2010, 8(03): 67-73+77.
[9] 原海红, 张仕艳. 大型水电站建设中不同施工区水土流失特征研究 [J]. 有色金属设计, 2018, 45(04): 113-116.
[10] 王珂. 风电工程项目水土保持技术创新思考 [J]. 绿色环保建材, 2021, (07): 195-196.
[11] 刘凯, 王栋. 送变电工程水土流失特点及水土保持监测探讨 [J]. 吉林农业, 2019, (20): 66.

宁波溪口抽水蓄能电站 1 号机组盘车工艺综述

张思远, 张咏

浙江江能建设有限公司, 浙江 杭州 310000

摘 要 : 在水电站机组的检修作业里, 机组盘车是一道有着严苛工艺要求的关键工序。机组盘车, 也就是机组轴线的调整, 其质量状况对机组运行的稳定性以及使用寿命起着决定性作用。特别是对于具备正反两个旋转方向的抽水蓄能机组而言, 盘车的重要性更是不言而喻。本文着重对宁波溪口抽水蓄能电站 1 号机组的盘车工艺展开阐述, 期望能为相似机组的盘车工作提供一定的参考借鉴。

关 键 词 : 抽水蓄能电站; 盘车; 工艺

Summary of Turning Process for Unit 1 of Ningbo Xikou Pumped Storage Power Station

Zhang Siyuan, Zhang Yong

Zhejiang Jiangneng Construction Co., Ltd. Hangzhou, Zhejiang 310000

Abstract : In the maintenance of hydropower station units, turning is a critical process with strict technological requirements. Unit turning, or the adjustment of the unit axis, plays a decisive role in the stability and service life of the unit. Especially for pumped storage units with forward and reverse rotation directions, the importance of turning is even more evident. This article focuses on the turning process of Unit 1 of Ningbo Xikou Pumped Storage Power Station, hoping to provide a reference for similar unit turning work.

Keywords : pumped storage power station; turning; process

一、概述

宁波溪口抽水蓄能电站采用半地下竖井式厂房, 该电站配备两台立轴可逆混流式水泵水轮机—发电电动机组, 单机容量为 40MW, 总装机容量达 80MW, 额定转速维持在 600r/min。机组轴线上分别设有上导、下导、水导这三部分轴承, 上导轴承分为 8 块导轴承及 8 块推力轴承, 推力轴承中心带有高压油孔, 以便机组开停机时高压顶起, 减小摩擦力, 下导分为 4 块导轴承, 水导为可拆解桶式免刮巴氏合金瓦。推力轴承与上导采用一个油槽, 机组在推力头及镜板安装到位后进行发电机单独盘车, 转子与中间轴承、水导轴承连轴后进行整体盘车^[1]。

二、盘车(轴线找正)目的

盘车是指采用人力、机械或电气的方式使机组轴系缓慢旋转, 测量轴系各特征部位的摆度以求得轴系空间位置状态的作业。

机组轴线是由机组转轴各段几何中心线连接而成, 同时还涉及该线与镜板工作面、法兰结合面所形成的空间角度关系。机组的转动部分由多段连接组成, 在每一个连接部位, 都存在着不垂直和不同心的情况, 进而导致轴线成为一条较为复杂的折线。机组轴线是用盘车的方式并通过测量机组各个位置的摆度值确定的。

当机组运行时, 若轴线存在曲折情况, 会导致各部件出现偏摆现象。由于机组轴线不垂直, 在运行过程中, 推力轴承会承受

周期性的不均匀负载。此外, 摆度过大对水导轴承及其密封也会产生显著影响, 进而使机组处于不稳定状态。因此, 应尽可能让轴线接近理想中心位置, 同时将机组轴线调整至与镜板工作面相互垂直的状态^[2]。

在测量位置, 摆度值 δ 指的是几何中心与旋转中心之间的差值。而摆度是由于转动部分的几何中心与旋转中心不重合造成的。我们进行盘车操作, 目的在于尽可能让转动部分的几何中心与旋转中心达到重合状态, 降低摆度数值, 提升安装品质, 确保机组能够稳定运行。其作用主要体现在以下三个方面:

- (1) 检查镜板的磨擦面相对于轴线的垂直度以及镜板水平度;
- (2) 检查机组轴线折弯情况及方向;
- (3) 确定机组旋转中心线, 依据旋转中心线与轴线的实际空间位置关系, 调整各导轴承间隙, 保证各导轴承和旋转中心线同心^[3]。

三、盘车方案

(一) 盘车前准备工作

(1) 机组在推力头及镜板安装完成, 确定卡环锁定到位, 检查空气间隙, 四周均匀, 转子上无异物, 与固定件无触碰点, 进行发电机单独盘车, 转子与中间轴承、水导轴承连轴后进行整体盘车;

(2) 上导、推力轴承回装结束转动重量转已换到推力轴

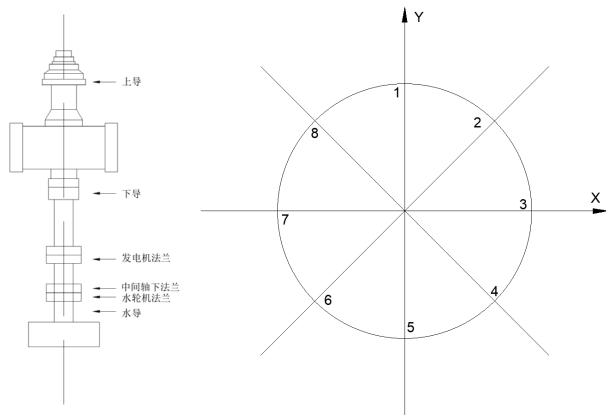
承上；

（3）推力轴承油槽内的油满足高压减载油泵启动的需要；

（4）高压油泵操作机构动作灵活；

（5）为有效避免转子在旋转过程中出现水平方向的位移，我们采用推力轴承处的导轴瓦进行限位，上导瓦盘车间隙 $\leq 0.02\text{mm}$ ；

（6）在机组轴线方向上设有6个监测断面：依照国标要求设上导轴颈、下导轴颈、水导轴颈3个监测断面，并增加发电机法兰、中间轴下法兰、水轮机轴法兰3个监测断面用于校检数据，将检测断面在对称方向上分成8等份，用于测量记录摆度值；（见图1、图2）



> 图1机组轴线6个监测断面示意 > 图2监测断面对称方向八等分示意

（7）盘车前检查水轮机迷宫环间隙、发动机空气间隙、制动环与制动闸板的间隙满足要求；

（8）盘车百分表安装时，要在上导轴颈、下导轴颈、发电机法兰、水轮机法兰、水导轴颈处的X、Y方向各装一块，互为校检，表针对零；（应当注意，此处设置X、Y两个方向的百分表目的是互为校检，理论上数据应当是一致的，根据百分表读数分别作出的净摆度坐标曲线形式应当一致^[4]。）

（9）机组整体盘车时检查主轴密封及检修密封已拆除。

（二）盘车操作

根据本机组的结构特点，采用人工方法盘车：

（1）把1号盘车点对准+Y方向百分表指针，3号盘车点对准+X表指针；

（2）分别做好各起始点相应记录；

（3）在机组启动环节，开启高压油顶起装置，高压油在推力瓦和镜板之间形成具有一定厚度和承载能力的油膜，该油膜能够有效隔开推力瓦和镜板，避免两者直接接触，且在转子旋转期间一直保持；

（4）在转子上方，通过人工扶着上机架，以上机架为支撑，推动盘车工具使转子沿顺时针方向转动，Y轴百分表指针与盘车2号点重合，此时X轴线百分表与4号盘车点重合，停止减载泵，解除外力，统一记录上导、下导、发电机法兰、水轮机法兰、水导轴承处百分表的读数；

（5）按上述方法依次完成各盘车点的测量；

（6）盘车结束后检查百分表的读数回零情况；

（7）确认盘车数据，可进行第二次盘车核对数据；

（8）上述工作结束后，再次启动高压减载泵，推动盘车工具使转子沿顺时针方向转动，随后停止施加外力，转子在惯性作用下平稳旋转一圈，在此过程中连续记录各盘车点通过百分表时的百分表读数，此盘车记录将对前两次盘车记录进行校核；

（9）计算出主轴倾斜值，对比盘车标准分析轴线情况，做出正弦曲线分析主轴摆度规律性；

（10）盘车轴线超差处理方法参考机组制造厂家提供的有关图纸、检修/维护使用手册等技术文件有关规定、参考安装时轴线调整方法。

（三）盘车标准

根据 GB/T8564-2023《水轮发电机组安装技术规范》10.5.7 检查调整机组轴线应当小于表1中规定的允许值。

本机组额定转速为600r/min，根据 GB/T8564-2023《水轮发电机组安装技术规范》发电机轴上、下导轴承处，轴颈相对摆度需严格控制在小于0.02mm/m，水轮机轴导轴承处轴颈相对摆度同样执行小于0.02mm/m的标准，绝对摆度的数值被限定在0.20mm以内，则数据合格。

表1 机组轴线各部允许盘车摆度值（双振幅）

轴名	测量部位	摆度类别	机组转速 n r/min				
			n < 150	150 ≤ n < 300	300 ≤ n < 500	500 ≤ n < 750	n ≥ 750
发电 机轴	上、 下导 轴承 处轴 颈	相对 摆度 mm/ m	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
水轮 机轴	导轴 承处 轴颈	相对 摆度 mm/ m	0.04	0.04	0.03	0.02	0.02
		绝对 摆度 mm	0.30		0.20		0.15
发电 机轴	集电 环	绝对 摆度 mm	0.30	0.20	0.15	0.12	0.10
轴流 式机 组受 油器	操作 油管	绝对 摆度 mm	0.20				
注1：绝对摆度，在测量部位测出的实测盘车摆度值。							
注2：相对摆度，绝对摆度（mm）与测量部位至镜板距离（m）之比值。							
注3：本处绝对摆度和相对摆度均指机组盘车摆度，并非运行摆度。							

（四）注意事项

（1）在转动转子的操作过程中，必须确保推力瓦与导轴瓦的润滑效果良好，避免盘车时损坏轴瓦或镜板，可用制动器顶起转子，先在油槽内注入少量的汽轮机油^[6]。

（2）在盘车过程中，要使转子实现转动，需在其切线方向施加作用力。然而，在实际操作中，让施加于转子两侧的力达到绝对相等是几乎难以做到的。当两边的力不平衡时，就会产生一个偏向一侧的合力，这一合力会对转子产生拉动作用，致使转子偏离原本理想的转动轴线，盘车时，应当在减载泵停止，外力完

全解除后读数^[6]。

四、第一次盘车记录

(一) 各部位测量数据 (见表2)

表2 盘车数据 (单位: 0.01mm)

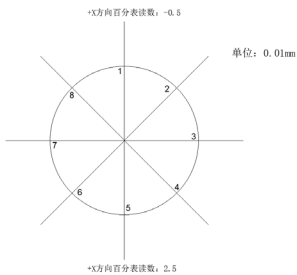
位置		1	2	3	4	5	6	7	8
上导	+X	0	0	0	0	0	0	0	0
	+Y	0	0	0	0	0	0	0	0
下导	+X	-0.5	-1.0	0	+1.0	+2.5	+2.0	+1.5	+0.5
	+Y	0	0	+0.5	+1.5	+2.0	+2.5	+1.5	+0.5
水导	+X	+9.0	+2.0	0	+5.0	+13.0	+19.0	+20.0	+15.0
	+Y	0	-5.0	-5.0	+1.0	+8.0	+14.0	+13.0	+7.0

(二) 各部位摆度计算

全摆渡: 同一测量部位对称两点的测量数值之差。

如图3中下导处X方向百分表在1号测点百分表读数为-0.5, 5号测点百分表读数为2.5, 则在1-5轴线上, 全摆渡为-3。(单位0.01mm)

净摆渡: 净摆渡是指同一测点上下两部位全摆渡数值之差。



>图3

表3 全摆渡计算表 (单位: 0.01mm)

全摆渡		1-5	2-6	3-7	4-8
上导	+X	0	0	0	0
	+Y	0	0	0	0
下导	+X	-3.0	-3.0	-1.5	+0.5
	+Y	-2.0	-2.5	-1.0	+1.0
水导	+X	-4.0	-17.0	-20.0	-10.0
	+Y	-8.0	-19.0	-18.0	-6.0

表4 净摆渡计算表 (单位: 0.01mm)

净摆渡		1-5	2-6	3-7	4-8
下导	+X	-3.0	-3.0	-1.5	+0.5
	+Y	-2.0	-2.5	-1.0	+1.0
水导	+X	-4.0	-17.0	-20.0	-10.0
	+Y	-8.0	-19.0	-18.0	-6.0
下导净摆渡 = 下导全摆 - 上导全摆					
水导净摆渡 = 水导全摆 - 上导全摆					

表5 最大相对摆渡计算表

	绝对摆度最大值 (mm)	相对镜板距离 (m)	最大相对摆度 (mm/m)
下导	0.03	3.10	0.010
水导	0.20	8.00	0.025
最大相对摆渡: 净摆渡最大值与测量部位至镜板距离之比值			

下导最大相对摆渡为 0.010mm/m < 0.02mm/m, 符合标准;

水导最大相对摆渡为 0.025mm/m > 0.02mm/m, 超出国家标准, 进行轴线处理后继续盘车。

五、轴线处理的方法

常规发电机组盘车不符合要求时, 可选择的轴线处理方法:

1. 对发电机轴线的处理, 磨削推力头卡环。
2. 对整机轴线的处理, 磨削推力头卡环。
3. 当水轮机轴线与发电机轴线弯折情况未达合格标准时, 磨削水轮机的上法兰面是一种可行的校正手段^[7]。(部分机组上法兰为摩擦面, 不可采用此方式)

(一) 轴线处理时磨削的最大方位确定

轴线处理时磨削的最大方位可由计算出的净摆度确定。

1. 当计算出的净摆度中, 只有一个的绝对值最大, 其它各值与它比较, 相差大于 0.03mm 以上。轴线的倾斜方位就是该净摆度对应的倾斜点, 磨削时 just 按该点进行, 并分区按比例磨削^[8]。

2. 当计算出的净摆度中, 有一个的绝对值最大, 但另有一个净摆度与之相差小于 0.02mm。则轴线的倾斜方位应介于该两个倾斜点之间, 则其实际最大净摆度按下述方法计算:

$$\beta = \arctan\left(\frac{\sqrt{2}T_2}{T_1} - 1\right)$$

$$T = \frac{T_1}{\cos \beta}$$

β ——实际最大倾斜方向与计算中的最大倾方向的夹角

T_1 ——计算出的最大净摆度

T_2 ——计算出的次最大净摆度

T ——实际最大净摆度

注意:

(1) 该公式是按照“两表八点法”盘车推导出来的, 如果采用其他方法, 则公式中的系数将发生变化。

(2) 在计算卡环磨削量时, 通常以水导处的摆度作为关键依据。卡环最大磨削量的方位应与水导最大摆度点的方位相同。

本机组此次盘车计算出水导净摆度中, 绝对值最大为 0.2mm, 绝对值次最大值为 0.19mm, 差值小于 0.02mm, 根据公式计算:

$$\beta = \arctan\left(\frac{\sqrt{2}T_2}{T_1} - 1\right) = \arctan \frac{19\sqrt{2}}{20} - 1 \approx 0.33 \approx 18.9^\circ$$

$$T = \frac{T_1}{\cos \beta} = \frac{20}{\cos 18.9^\circ} \approx 0.2114mm$$

卡环最大磨削方位见下图:

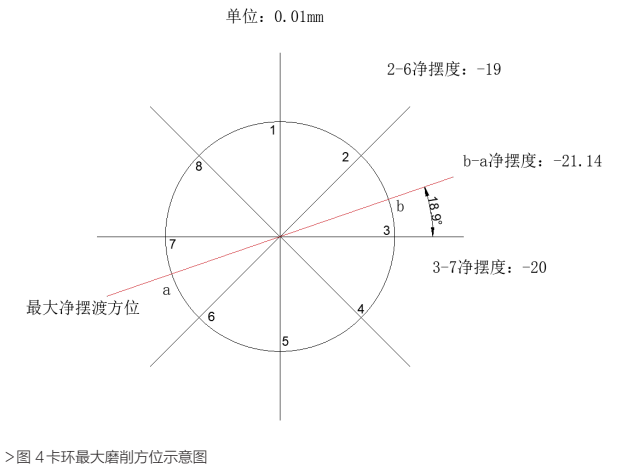
(二) 轴线处理时的最大磨削量的计算

(1) 发电机轴线纠正时, 卡环的最大磨削量计算:

$$\delta = \frac{D\phi_{ba}}{2L_1}$$

δ ——卡环上的轴线倾斜方向上的最大磨削量

D ——推力头的直径
 ϕ_{ba} ——轴线倾斜方向上的最大净摆度
 L_1 ——上导处百分表与法兰处百分表的轴长
(2) 整机轴线的处理，卡环最大磨削量计算：



>图 4 卡环最大磨削方位示意图

$$\delta = \frac{D\phi_{ba}}{2(L_1 + L_2)}$$

δ ——卡环上的轴线倾斜方向上的最大磨削量
 D ——推力头的直径
 ϕ_{ba} ——轴线倾斜方向上的最大净摆度
 L_1 ——上导处百分表与法兰处百分表的轴长
 L_2 ——法兰处和水导处百分表之间的轴长

(3) 当水轮机轴与发电机轴弯折较大时，水轮机法兰面的最大磨削量，常用公式为：

$$\delta = \frac{D\phi_{ba}}{2L_2}$$

δ ——卡环上的轴线倾斜方向上的最大磨削量
 D ——推力头的直径
 ϕ_{ba} ——轴线倾斜方向上的最大净摆度
 L_2 ——法兰处和水导处百分表之间的轴长
本机组此次轴线调整的最大磨削量：

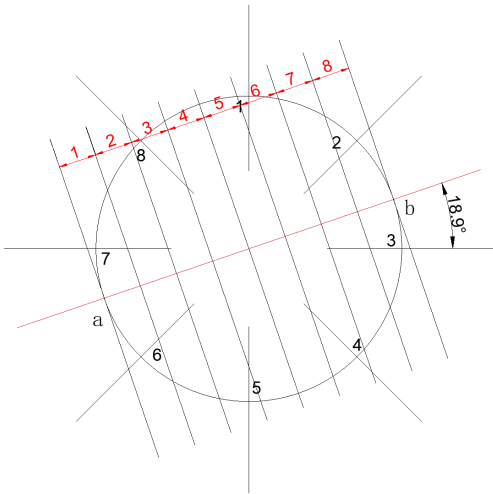
$$\delta = \frac{D\phi_{ba}}{2(L_1 + L_2)} = \frac{450 \times 21.14 / 100}{2 \times 8000} \approx 0.006mm$$

(三) 调整轴线

轴线调整通过磨削推力头与镜板之间的卡环来进行。盘车后得出正确数据，确定卡环的应磨削数据及方位。顶起转子，取出推力头卡环，按测点方位将卡环8等份，作出记号，并记好卡环与推力头的接触面。标记出磨削最大方位并按磨削最大方位直径均分8份，将卡环分成8个区域，并注意方位记号^[9]。（见图5）

将卡环放在平台上，用外包砂皮纸的小方板，在卡环上磨削。磨削时要注意最大磨削方向，左右要适当，用力大小要根据磨削量而定，磨削面应平整均匀，按楔形面磨削，实际磨削按台阶形进行。

例如：在本机组此次盘车中最大磨削量为0.006mm，可以将卡环分成8个区，从0.006mm开始，逐区减少，最后一个区不磨削。



>图 5 卡环分区示意图

表6 各分区磨削次数

分区	1区	2区	3区	4区	5区	6区	7区	8区
磨削次数（次）	64	32	16	8	4	2	1	0
采用240沙皮纸进行磨削								

完成磨削作业后，需严格依照原有的标记，将卡环精准复位。要特别注意卡环的方位，确保其安装方向准确无误，同时卡环的正反面也不能出现差错。安装前，务必保证卡环、推力头以及镜板之间的接触面干净整洁，不能有任何杂质残留。接着，缓慢落下转子，将所有螺栓均匀紧固，随后进行盘车操作。在盘车过程中，需密切监测摆度数值，持续调整直至摆度达到标准要求为止。

六、第二次盘车记录

各部位测量数据（见表2）

表7 盘车数据（单位0.01mm）

位置	1	2	3	4	5	6	7	8
上导	+X	0	0	0	0	0	0	0
	+Y	0	0	0	0	0	0	0
下导	+X	+1.0	+1.0	0	-1.0	-2.0	-2.0	-1.5
	+Y	0	0	-0.5	-2.0	-3.0	-3.0	-2.0
发电机法兰	+X	+1.0	-1.0	-1.0	-0.5	-6.5	-6.0	+2.5
	+Y	-1.0	0	-1.5	-4.0	-7.0	-4.5	+1.0
中间轴下法兰	+X	+2.0	+1.0	0	+4.0	+3.0	+4.0	+7.0
	+Y	0	0	+2.0	+1.0	+2.0	+5.0	+9.0
水轮机法兰	+X	+1.0	-2.0	0	-3.0	-2.0	+3.0	+7.0
	+Y	0	-2.5	-1.0	0	-2.0	+2.0	+6.0
水导	+X	+8.0	+3.0	0	0	+3.0	+7.0	+9.0
	+Y	0	-3.5	-6.0	-5.0	-3.0	+1.0	+3.0

各部位摆度计算

表8全摆度计算表（单位0.01mm）					
全摆度		1-5	2-6	3-7	4-8
上导	+X	0	0	0	0
	+Y	0	0	0	0
下导	+X	+3.0	+3.0	+1.5	-1.0
	+Y	+3.0	+3.0	+1.5	-1.0
发电机法兰	+X	+7.5	+5.0	-3.5	-4.5
	+Y	+6.0	+4.5	-2.5	-4.0
中间轴下法兰	+X	-1.0	-3.0	-7.0	-3.0
	+Y	-2.0	-5.0	-7.0	-3.0
水轮机法兰	+X	+3.0	-5.0	-7.0	-8.0
	+Y	+2.0	-4.5	-7.0	-7.0
水导	+X	+5.0	-4.0	-9.0	-9.0
	+Y	+3.0	-4.5	-9.0	-8.0

表9净摆度计算表（单位0.01mm）					
净摆度		1-5	2-6	3-7	4-8
下导	+X	+3.0	+3.0	+1.5	-1.0
	+Y	+3.0	+3.0	+1.5	-1.0
发电机法兰	+X	+7.5	+5.0	-3.5	-4.5
	+Y	+6.0	+4.5	-2.5	-4.0
中间轴下法兰	+X	-1.0	-3.0	-7.0	-3.0

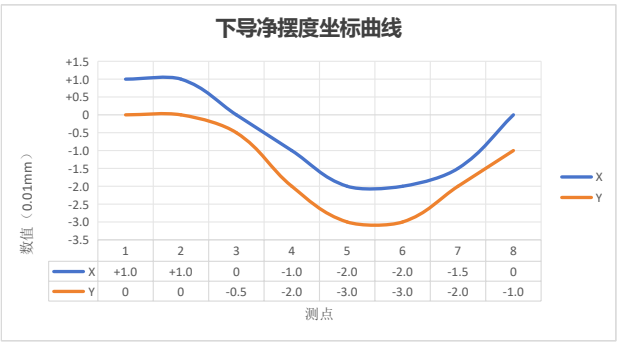
续表：

净摆度		1-5	2-6	3-7	4-8
水轮机法兰	+Y	-2.0	-5.0	-7.0	-3.0
	+X	+3.0	-5.0	-7.0	-8.0
水导	+Y	+2.0	-4.5	-7.0	-7.0
	+X	+5.0	-4.0	-9.0	-9.0
	+Y	+3.0	-4.5	-9.0	-8.0

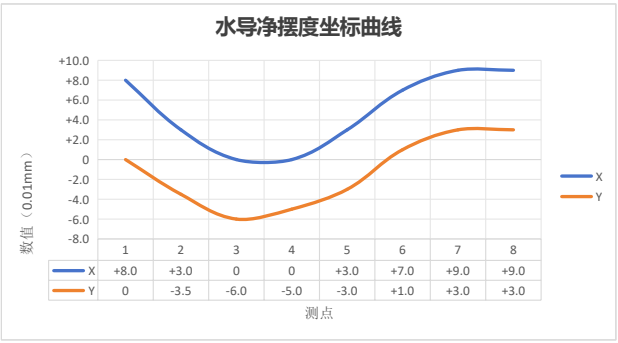
表10最大相对摆度计算表				
		绝对摆度最大值 (mm)	相对镜板距离 (m)	最大相对摆度 (mm/m)
下导		0.03	3.10	0.010
发电机法兰		0.075	4.95	0.015
中间轴下法兰		0.07	7.02	0.010
水轮机法兰		0.08	7.02	0.011
水导		0.09	8.00	0.011

各部位最大相对摆渡均小于0.02mm/m，水导绝对摆度小于0.20mm，符合标准。

基于各测点所获取的净摆度数值，采用平面坐标的方式来呈现，其中横坐标设定为测点位置，纵坐标则对应净摆度值，借此便能绘制出各部位的净摆度坐标曲线。正常状况下，这条曲线应大致呈现为正弦曲线的形态。通过对该曲线的观察与分析，能够直观地确定最大摆度值以及摆度所处的具体位置。然而，一旦坐标曲线并非趋近于正弦曲线，而是呈现出异常的畸形状态，此时就必须深入查找导致这一异常情况的原因，排查无误后重新进行盘车操作，以获取准确可靠的测量数据。



>图6下导净摆度坐标曲线



>图7水导净摆度坐标曲线

通过下导、水导净摆度座标曲线，可以看出本次盘车曲线近似正弦曲线，上述摆度符合标准，数据合格。

七、连续盘车

再次启动高压减载泵，推动盘车工具使转子沿顺时针方向转动，随后停止施加外力，转子在惯性作用下平稳旋转一圈，在此过程中连续记录各盘车点通过百分表时的百分表读数，此盘车记录将对前两次盘车记录进行校核。

表 11 连续盘车数据（单位 0.01mm）									
位置		1	2	3	4	5	6	7	8
上导	+X	0	0	0	0	0	0	0	0
	+Y	0	0	0	0	0	0	0	0
下导	+X	-3.5	-3.0	-3.5	-5.0	-6.0	-6.0	-5.0	-4.0
	+Y	+2.0	+2.0	+1.5	0	-1.0	-0.5	-0.5	+1.0
水导	+X	-2.0	-5.0	-7.0	-7.0	-5.0	-1.0	+1.0	+2.0
	+Y	+7.0	+4.0	+1.0	0	+2.0	+6.0	+9.0	+9.0

表12连续盘车全摆度计算表（单位0.01mm）					
全摆度		1-5	2-6	3-7	4-8
上导	+X	0	0	0	0
	+Y	0	0	0	0
下导	+X	2.5	3	1.5	-1
	+Y	3	2.5	2	-1
水导	+X	3	-4	-8	-9
	+Y	5	-2	-8	-9

表 13 连续盘车净摆度计算表（单位 0.01mm）

净摆度		1-5	2-6	3-7	4-8
下导	+X	2.5	3	1.5	-1
	+Y	3	2.5	2	-1
水导	+X	3	-4	-8	-9
	+Y	5	-2	-8	-9

表 14 连续盘车最大相对摆度计算表

	绝对摆度最大值 (mm)	相对镜板距离 (m)	最大相对摆度 (mm/m)
下导	0.03	3.10	0.010
水导	0.09	8.00	0.011

通过连续盘车模拟发电机运行态机组轴线摆度情况，并对之

前的盘车记录进行校核，通过对比数据，连续盘车绝对摆度最大值与相对摆渡最大值与前次盘车数据相吻合，摆度符合标准，数据合格，盘车结束^[10]。

八、结语

经过宁波溪口抽水蓄能电站 1 号机组盘车后数据验证，本盘车方法简便且行之有效，通过对本工程盘车工艺进行研究和总结，积累抽水蓄能机组盘车经验，以期在后续类似的工程项目中提供充分的参考。

参考文献

[1] 尤莉莎, 谷振富, 郑凯, 等. 张河湾抽水蓄能电站机组盘车工艺简介 [J]. 水电站机电技术, 2018, 41(12): 10-11+26. DOI: 10.13599/j.cnki.11-5130.2018.12.005.

[2] 徐海林. 大型抽水蓄能机组盘车工艺综述 [J]. 水电站机电技术, 2015, 38(02): 31-32+36. DOI: 10.13599/j.cnki.11-5130.2015.02.008.

[3] 徐刚, 刘健. 龙滩 1 号机组盘车数据处理的优化 [J]. 红水河, 2008, (02): 72-74+82.

[4] 于志忠. 大型立式机组轴线最大摆度及方位分析 [J]. 大电机技术, 1998, (06): 16-19.

[5] 吉拥平, 徐晓明, 黄怡. 对盘车数据优化处理方法的研究 [J]. 大电机技术, 1996, (01): 25-29.

[6] 贾德香; 韩净. 我国抽水蓄能电站发展与展望 [J]. 科技资讯, 2012(33).

[7] 刘玉方. 海河流域急需加快抽水蓄能电站的开发 [J]. 海河水利, 1994(02).

[8] 李如芳, 陈崇仁. 抽水蓄能电站综合经济效益分析计算 [J]. 河海大学学报, 1997(05).

[9] 雷显阳; 王樱峻; 孙檀坚; 柏正林. 句容抽水蓄能电站堆石坝岩溶基础处理措施研究 [J]. 人民长江, 2021(S2).

[10] 丁宁; 张杨. 抽水蓄能电站沥青混凝土心墙摊铺试验研究 [J]. 水利科学与寒区工程, 2021(03).

电力系统自动化中的智能保护技术研究

邓鹏

国网蕲春县供电公司, 湖北 蕲春 435300

摘 要： 伴随着电力系统规模的日益扩大与复杂度的提升，传统保护技术已不足以应对当前现代电力系统的挑战。智能保护技术作为电力系统自动化的关键元素，对于提升保护响应的精确度、稳定性和时效性具有至关重要的作用。本文深入探讨了电力系统自动化领域内智能保护技术的独特属性、紧迫需求、面临的挑战以及相应的解决办法，旨在为确保电力系统的安全与稳定运行奠定坚实基础。

关 键 词： 电力系统自动化；智能保护技术；人工智能；神经网络

Research on Intelligent Protection Technology in Power System Automation

Deng Peng

State Grid Qichun County Power Supply Company, Qichun, Hubei 435300

Abstract： With the increasing expansion and complexity of the power system scale, traditional protection technology is no longer sufficient to the challenges of modern power systems. As a key element of power system automation, intelligent protection technology plays a crucial role in enhancing the precision, stability, and tim of protection response. This paper deeply explores the unique attributes, urgent needs, challenges faced, and corresponding solutions of intelligent protection technology in the field of power system automation, to lay a solid foundation for ensuring the safe and stable operation of power systems.

Keywords： power system automation; intelligent protection technology; artificial intelligence; neural

引言

电力系统作为现代文明不可或缺的基础架构，其安全可靠的运作对于促进经济增长与维护社会和谐稳定具有举足轻重的意义。伴随电力系统规模的日益扩大与结构的日趋复杂，传统保护技术已不足以应对现代电力系统之需。智能防护技术作为电力系统自动化的核心元素，借助人工智能与神经网络等前沿科技，实现了对电力系统异常的高效、精确辨识与应对，显著增强了电力系统的安全性与稳定性。本文旨在深度剖析电力系统自动化领域内的智能保护技术。

一、电力系统自动化中智能保护技术的特点

（一）高度智能化

基于人工智能算法的智能保护技术对电力系统的实时监控与评估，能自动辨识故障性质与所在位置，并迅速执行保护措施。举例而言，基于专家系统的智能保护技术能够模仿人类专家的决策逻辑，对复杂的故障实现精确的识别与有效处置。此高度智能化特性使智能保护技术能有效应对多种复杂故障场景，进而提升电力系统的稳定性和可靠性^[1]。

（二）自适应性强

智能防护技术展现出卓越的自我适应性能，能够依据电力系统的实际运行情境及故障情形，自动优化并调整防护参数与策略。例如，在电力系统中，模糊控制技术能够基于模糊数据对系

统实施调控，从而有效地管理不确定性与非线性挑战。这种适应性特征使智能保护技术能够更有效地应对电力系统的变动，进而提升保护措施的精确度与稳定性^[2]。

（三）实时性好

智能保护技术借助高速计算与通信手段，能实现电力系统的即时监控及调控。例如，依赖神经网络的智能保护技术能迅速辨识故障迹象并执行保护措施，显著缩减故障断开时间。此优势使得智能保护技术能在故障瞬间作出快速响应，有效降低故障对电力系统的冲击^[3]。

（四）数据驱动

智能保护技术基于大量数据进行解析与判断。借助于采集电力系统的运作数据、故障事件数据等信息，智能保护技术能够构建精确的故障模型与预测框架，从而为故障的甄别与应对提供坚

实的技术支撑。举例而言，数据挖掘技术在电力系统中的应用能够揭示隐藏的故障模式与规律，从而为智能化保护系统提供关键的数据支撑^[4]。

二、电力系统自动化中智能保护技术的必要性

（一）提高保护动作的准确性

传统的保护技术通常基于静态的阈值与判断准则来辨识及处理故障，其灵活性不足，难以有效应对故障的多样性和不确定性。借助人工智能算法与数据分析手段，智能保护技术能够实现故障特征的精准辨识与应对，从而提升保护措施的执行精度。例如，在输电线路故障保护领域，智能保护技术能够精确辨识故障类别及其所在位置，有效防止误动作与拒动作情况的出现。

（二）增强电力系统的稳定性

在电力系统的运作中，其可能遭受多种干扰与故障，进而引发系统稳定性的削弱。智能防护机制透过即时监控与解析电力网络的操作状况，能有效侦测及应对可能的异常与波动，进而强化电力系统的稳固性。以发电机失磁保护为例，智能保护技术具备实时监控发电机运行状况的能力，能迅速识别失磁异常并实施恰当的防护策略，有效防止发电机受损及系统瘫痪^[5]。

（三）提高故障切除速度

故障切除速率是评估保护效能的关键指标之一。智能保护技术借助于高效计算与通信手段，能够迅速辨识并应对故障，显著提升故障隔离的速度。例如，针对变压器内部故障保护场景，智能保护技术展现出其优越性，能够迅速辨识故障标志，并即时触发断路指令，显著缩减故障隔离时间，从而降低故障事件对电力系统的冲击^[6]。

（四）降低运维成本

传统的保护技术通常要求周期性的维护与检修工作，由此产生的运营与维护成本相对较高。智能保护技术借助于实时监控与电力系统运作状况的解析，能有效识别潜在故障及风险，从而减少运营维护费用。举例而言，于输电线路的在线监测领域，智能保护技术具备即时监控线路运作状况与负载状态的能力，能迅速识别出线路过热、过载等潜在风险，并当即实施相应对策，以预防线路故障的产生及恶化。

（五）促进电力系统智能化发展

智能保护技术是电力系统智能化进程的关键要素之一。借助智能防护技术的融入，可以实现电力系统的智能化监控、调控与管理，进而显著提升电力系统的综合效能与运行效率。以智能电网建设为例，智能保护技术能实现对电力系统的即时监控与调控，显著提升电力系统的适应性和稳定性，从而为智能电网的构建与演进提供坚实保障。

三、电力系统自动化中智能保护技术的现存问题

（一）算法复杂度高

智能防护技术，作为确保各种系统安全平稳运作的核心手

段，高度依附于精巧的人工智能算法及前沿的数据分析工具。然而，该算法的复杂度显著，执行期间对计算与存储资源的消耗极其巨大。在实际应用中，该特性限制了智能保护技术的实时响应能力和稳定性。针对基于神经网络的智能保护技术而言，为了精确辨识系统的故障特性，必须训练大量的神经网络模型。从数据收集、预处理至模型构建、训练及优化的各个阶段均需大量计算资源投入，整个流程因而显得冗长耗时。在系统遭遇突发事件时，若先前投入的资源过度消耗，可能导致在危急关头反应迟缓，难以迅速且精确地识别故障，从而引发保护措施执行的滞后乃至错误，这对系统的平稳运作构成重大影响^[7]。

（二）数据质量问题

智能防护技术的效能显著依赖于数据的精确度与完整性。然而，在实际操作中，因种种因素（包括传感器故障、数据传输失误等），数据品质可能受损，进而影响智能保护技术的效能。举例而言，于输电线路的在线监测场景下，若传感器发生故障或是数据传输产生误差，则可能致使监测所得数据失真或遗漏，进而对智能保护技术的决策与执行效能造成不利影响。

（三）保护配合问题

智能防护技术需协同传统防护设备运作，以确保全方位的安全防护。然而，在实际操作中，由于各保护装置间的通信协议、数据格式各异，这可能引发配合难题。例如，在变电站的综合自动化系统内，智能保护技术需协同各类保护装置（包括但不限于过流保护、差动保护等），以确保全方位的保护功能。然而，因各种保护装置间通信协议与数据格式的异质性，可能引发数据传输与处理的障碍，从而损害智能保护技术的效能。

（四）标准化问题

目前，智能保护技术领域正经历快速的演进，但其在标准化与规范化层面仍显不足。当前，行业内部普遍缺失一致的标准与规范，导致不同制造商依据各自的技术路径与认知所开发的智能保护技术，在功能、接口设计以及数据格式等方面展现出明显的异质性。此外，由于各地的技术倾向与发展阶段存在差异，导致在智能防护技术的选择上呈现出多样性，进而产生了显著的兼容性挑战。这些问题在实际操作中引发了一系列障碍，从而限制了智能保护技术的普及与实施进程。以智能电网建设为例，因各地智能保护技术的异质性和互操作性挑战，导致区域间的设备协作受阻，数据交换面临困境，从而推延了建设进程，增加了成本，并对电网的运行稳定性与可靠性产生了不利影响，未能有效释放智能电网的潜能^[8]。

（五）安全性问题

在数字化时代背景下，智能防护技术普遍应用于电力系统等领域，其顺畅运作极其倚重计算机网络与通讯技术，以确保数据的高速流通与精确处理。然而，这亦不可避免地暴露于严重的网络安全与信息安全威胁之下。借助其卓越的技术能力，黑客能够实施精确打击，而病毒则常在非注意状态下暗中渗透至系统内部。若此类不当活动得以实现，智能防护机制所管理的数据则面临被非法篡改的威胁，关键信息亦存在外泄之虞，这将对电力系统的安全与稳定性构成直接挑战，甚至导致大规模断电等严重

事件的发生。此外，智能保护策略的安全评估不应仅限于网络与信息维度，物理安全亦需予以同等重视，包括但不限于设备的实体防护措施是否充分，以抵御恶意物理攻击；同时，设备自身的安全性亦不可或缺，旨在保障硬件的稳定性和可靠性，以防设备故障引发的安全风险。

四、电力系统自动化中智能保护技术的策略

（一）优化算法设计

在智能保护技术范畴内，算法复杂度的高昂始终是亟需克服的关键挑战。过高的算法复杂度不仅引发大量的计算资源消耗，还对存储资源构成重大压力。为实现有效的解决策略，优化算法设计被确立为核心路径。传统的穷举搜索算法在应对复杂任务时，需逐一考察所有潜在解决方案，由此引发计算耗时显著增长与资源占用加剧的问题。基于启发式搜索的算法利用特定的经验法则，能高效地识别出优质解决方案，显著降低计算时间与资源损耗。进一步地，通过应用分布式计算技术，将计算作业拆分至多个节点并行执行；抑或是借助云计算技术，依托云环境的高计算性能，均可大幅度提升计算效能与资源使用效率，为智能防护技术的进步提供强有力的支持^[9]。

（二）加强数据质量管理

在智能保护技术的实际应用领域，数据质量问题宛如一道屏障，显著制约了其效能的优化与提升。数据品质欠佳会导致智能防护技术的判断与解析产生偏差，进而妨碍其功能的正常发挥。因此，加强数据质量管理显得尤为重要。构建一个全面的数据质量监控及评价机制已迫在眉睫，借助此机制，能够对数据的精确度、完整性、一致性等核心参数进行即时检测与评价，从而有效地识别数据问题。与此并行，通过数据清洗技术剔除数据中的杂音与谬误；借助数据融合技术集成多元数据来源，旨在提升数据的精确度与完整性。此外，强化对传感器、数据传输装置等硬件设施的保养与故障排查，以确保其持续稳定运作，从初始阶段保证数据的精确度与可信度，为智能防护技术奠定坚实的数据基础。

（三）完善保护配合机制

于智能防护技术领域，保护协调问题是制约其效能的关键要素。在不同保护装置协同效能欠佳的情况下，面对复杂工作环境时，极有可能导致保护机制发生误动作或失效，从而无法确保

系统的安全与稳定运行。强化和完善协同保护机制，乃是克服此难题的核心策略。制定一致的通讯协议及数据格式规范，能确保各类品牌与型号的防护装置实现无缝交流，进而促进互操作性和数据互换的顺畅进行。通过部署分布式保护策略，将防护机制分散至各个网络节点，而协同保护机制则促使不同防护设备间相互协作，显著增强了整体保护系统的可靠性和精确度。此外，应周期性地对防护装置进行详尽的维护与检测，即时识别并处理潜在的技术缺陷，以确保防护装置始终维持在最优工作状态，促进各组件间的协调运作，进而全面增强智能防护技术的效能。

（四）推动标准化建设

为解决标准化挑战，促进智能保护技术的规范化发展与实践，应积极倡导并推进标准化建设。例如，可以建立一致的智能防护技术标准与指南，清晰界定智能防护技术在功能、效能及安全性等方面的期望与准则。此外，加强智能保护技术的测试与评估，以保证其质量和稳定性，亦是不可或缺的举措。此外，亦应强化与国际准则及机构的合作与互动，以促进智能防护技术的全球化进程。

（五）加强安全防护措施

为确保智能保护技术的安全稳定运行，强化安全防护措施是关键策略。举例而言，可以借助防火墙、入侵检测系统等网络安全技术，以抵御黑客攻击与病毒侵袭等潜在风险。此外，亦可借助数据加密、身份验证等信息安全策略，以确保智能保护技术中的数据安全与隐私得到妥善维护。此外，强化物理安全与设备安全管理及维护措施，对于保障智能防护技术的整体安全性至关重要^[10]。

五、结语

智能保护技术作为电力系统自动化的关键元素，显著提升了保护措施在准确性、可靠性与快速响应方面的性能。然而，在实际操作层面，智能保护技术依然面临算法复杂性高、数据质量不足、保护协同难题、标准化缺失以及安全风险等挑战。为了促进智能保护技术的深化发展与广泛实施，亟需在算法优化、数据质量提升、保护协同机制的健全、标准建设的推进以及安全防护体系的强化等关键领域加大投入与创新。预计在不远的未来，智能防护技术将在电力系统自动化领域扮演更为关键的角色，为确保电力系统的安全与稳定运行奠定坚实基础。

参考文献

- [1] 阮文青. 数字化智能技术在电力系统自动化中的应用 [J]. 自动化应用, 2023, 64(17): 32-34+38.
- [2] 同承山, 张立军, 郭琦, 等. 智能技术在电力系统自动化中的应用 [J]. 电子技术, 2023, 52(07): 274-275.
- [3] 于智强. 智能技术在电力系统自动化中的应用 [J]. 光源与照明, 2023, (07): 219-221.
- [4] 朱小勤. 电力系统自动化控制中的智能技术应用探讨 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2023, (31): 4-6. DOI: 10.19569/j.cnki.cn119313/tu.202331002.
- [5] 同宏伟, 陈贵凤, 吴群, 等. 电力系统自动化中的智能技术应用 [J]. 集成电路应用, 2022, 39(11): 248-249. DOI: 10.19339/j.issn.1674-2583.2022.11.113.
- [6] 李剑峰, 李岩. 智能技术在电力系统自动化中的应用 [J]. 现代工业经济和信化, 2022, 12(11): 224-225+228. DOI: 10.16525/j.cnki.14-1362/n.2022.11.090.
- [7] 陈贤哲. 智能技术在电力系统自动化中的应用研究 [J]. 现代制造技术与装备, 2022, 58(01): 194-196. DOI: 10.16107/j.cnki.mmte.2022.0060.
- [8] 厉超军. 电力智能技术在电力系统自动化中的应用 [J]. 数字技术与应用, 2023, 41(12): 49-51. DOI: 10.19695/j.cnki.cn12-1369.2023.12.15.
- [9] 王晟. 电力系统自动化中智能技术的应用研究 [J]. 光源与照明, 2023, (12): 210-212.
- [10] 李俊平. 电力系统自动化控制中的标准化智能技术应用探讨 [J]. 大众标准化, 2023, (21): 137-139.

深度学习算法与人工智能在电力安全监测中的应用

孙婧

吉林电力股份有限公司白城发电公司, 吉林 白城 137000

摘 要 : 深度学习算法与人工智能在电力安全监测中的应用具有重大的意义, 因为它们能够显著提高电力系统的可靠性和安全性。所以本文在此基础上展开研究, 首先针对于深度学习与人工智能技术基础进行分析, 随后说明了深度学习算法与人工智能在电力安全监测中应用的重要性, 并针对实际实施中存在的问题, 提出了针对性的优化策略, 期望能为深度学习算法与人工智能技术的应用提供帮助。

关 键 词 : 深度学习算法; 人工智能; 电力安全监测

Application of Deep Learning Algorithms and Artificial Intelligence in Power Safety Monitoring

Sun Jing

Jilin Electric Power Co., Ltd. Baicheng Power Generation Company, Baicheng, Jilin 137000

Abstract : The application of deep learning algorithms and artificial intelligence in power safety monitoring is of great significance, as they can significantly improve the reliability and safety of the power system. Therefore, this article conducts research based on this foundation. Firstly, it analyzes the foundation of deep learning and artificial intelligence technology, and then explains the importance of applying deep learning algorithms and artificial intelligence in power safety monitoring. In response to the problems that exist in practical implementation, targeted optimization strategies are proposed, hoping to provide assistance for the application of deep learning algorithms and artificial intelligence technology.

Keywords : deep learning algorithms; artificial intelligence; electricity safety monitoring

引言

随着全球能源需求的不断增长, 电力系统的稳定运行变得尤为重要。电力安全监测作为保障电力系统稳定性的关键环节, 其重要性不言而喻。传统的电力安全监测方法依赖于人工巡检和经验判断, 不仅效率低下, 而且难以应对日益复杂的电力系统。因此, 引入先进的技术手段, 特别是深度学习算法与人工智能技术, 已成为电力行业发展的必然趋势。

一、深度学习与人工智能技术基础

(一) 深度学习算法概述

深度学习是人工智能领域的一个重要分支, 它通过模拟人脑神经网络的工作方式, 构建多层的神经网络模型, 从而实现数据的高级抽象和特征学习。深度学习算法的核心在于其能够自动提取和学习数据中的特征, 无需人工设计特征, 这大大提高了机器学习任务的效率和准确性。深度学习算法的快速发展得益于计算能力的提升和大数据的普及。随着 GPU 等硬件设备的性能不断增强, 以及互联网上海量数据的积累, 深度学习模型得以在图像识别、语音识别、自然语言处理等多个领域取得突破性进展。

(二) 人工智能在电力系统中的应用现状

随着人工智能技术的飞速发展, 电力系统作为现代社会的命

脉, 其智能化水平也得到了显著提升。深度学习作为人工智能的一个重要分支, 通过模拟人脑神经网络的结构和功能, 使得机器能够自主学习和处理复杂的数据模式, 从而在电力系统的多个环节中发挥着越来越重要的作用。在电力需求预测方面, 深度学习算法能够处理大量的历史数据, 通过分析天气、经济活动、节假日等多种因素对电力需求的影响, 提供更为准确的短期和长期电力需求预测。这不仅有助于电力公司合理安排发电计划, 还能有效降低能源浪费和提高电网的运行效率。

其次, 在故障检测与诊断方面, 人工智能技术能够实时监控电网的运行状态, 通过深度学习模型分析电网中的异常信号, 快速定位故障点并预测可能发生的设备故障。这大大缩短了故障响应时间, 提高了电力系统的可靠性和安全性^[1]。

二、深度学习算法与人工智能在电力安全监测中的应用的意义

（一）提高电力系统故障检测的准确性与效率

深度学习算法与人工智能在电力安全监测中的应用，不仅提高了电力系统故障检测的准确性与效率，而且带来了诸多其他显著的好处。通过深度学习算法的自我学习和优化能力，系统能够不断适应新的故障模式和异常行为，从而实现持续改进的监测效果。这种自适应性意味着电力系统可以更好地应对未知的威胁和复杂多变的运行环境。同时，人工智能在电力安全监测中的应用极大地减少了人为错误和疏漏。由于电力系统的复杂性，人工监测往往难以做到面面俱到，而人工智能系统可以24小时不间断地监控电网状态，确保每一个环节都得到充分的关注。这不仅提高了监测的全面性，还降低了因人为疏忽导致事故风险^[2]。

（二）实现电力设备状态的实时监控与预测维护

现如今在人工智能技术的飞速发展，深度学习算法在电力安全监测领域的应用变得日益重要。深度学习算法能够处理和分析大量复杂的数据，这对于电力系统的稳定运行至关重要。在电力安全监测中，深度学习算法的应用意义深远，尤其在实现电力设备状态的实时监控与预测维护方面。其中实时监控是电力系统安全运行的基石。通过深度学习算法，可以对电力设备的运行状态进行实时分析，及时发现异常情况。例如，通过对变压器、输电线路等关键设备的温度、振动、电流等参数的实时监测，深度学习模型可以快速识别出潜在的风险点。这种实时监控能力大大提高了电力系统的预警能力，为电力安全提供了有力保障^[3]。

（三）优化电力资源分配，提升能源利用效率

深度学习算法与人工智能在电力安全监测中的应用，不仅能够实时监控电力系统的运行状态，预防和减少故障发生，还具有优化电力资源分配，提升能源利用效率的重要意义。在传统电力系统中，资源分配往往依赖于经验丰富的工程师和固定的调度计划，这种方式在面对复杂多变的电力需求时，往往难以做到最优配置。而深度学习算法能够通过分析历史数据和实时数据，预测电力需求和供应的动态变化，从而实现更加精细化和智能化的资源调度。深度学习算法能够对电力系统的运行数据进行深入分析，识别出用电高峰和低谷时段，预测未来电力需求的走势。基于这些预测，人工智能系统可以自动调整发电机组的运行状态，优化发电计划，减少不必要的能源浪费。例如，通过预测夜间低谷时段的电力需求，可以适当降低部分发电机组的功率输出，而在用电高峰时段则提前启动备用机组，确保电力供应的稳定^[4]。

三、深度学习算法与人工智能在电力安全监测中应用的阻碍

（一）深度学习算法在电力数据处理中的局限性

深度学习算法在电力安全监测中的应用虽然前景广阔，但在实际操作中仍面临诸多挑战和局限性。深度学习模型通常需要大量高质量的数据进行训练，而在电力系统中，获取这些数据往

往存在困难。电力系统的海量数据不仅量大而且复杂，包括各种传感器的实时数据、历史维护记录、故障日志等，这些数据的收集、清洗和整合工作量巨大，且需要专业知识来确保数据的准确性和完整性。纯粹曾志伟深度学习模型的“黑箱”特性使得其决策过程难以解释。在电力安全监测中，对于模型的预测结果需要有高度的可解释性，以便于运维人员理解和信任模型的判断。然而，深度学习模型的内部工作机制复杂，难以提供直观的解释，这在一定程度上限制了其在电力安全监测中的应用^[5]。

（二）深度学习模型对电力异常事件的识别误差

随着人工智能技术的飞速发展，深度学习算法在电力安全监测领域的应用越来越广泛。然而尽管这些技术带来了诸多便利，它们在实际应用中仍面临诸多挑战和阻碍。其中深度学习模型对电力异常事件的识别误差是一个不容忽视的问题。由于电力系统是一个极其复杂的网络，它包含多种设备和组件，每个环节都可能产生不同的异常信号。深度学习模型需要处理的数据量巨大，且数据类型多样，包括时间序列数据、图像数据、声音数据等。这些数据的特征提取和处理难度较大，容易导致模型在识别过程中出现误差。例如，模型可能无法准确区分设备老化引起的正常噪声与潜在的故障信号，从而产生误报或漏报。同时就当下而言，电力系统的运行环境复杂多变，受到天气、温度、湿度等多种因素的影响。深度学习模型在训练时往往难以覆盖所有可能的运行条件，这使得模型在实际应用中可能无法适应环境变化，导致识别准确率下降。例如，在极端天气条件下，电力设备的运行状态可能会出现异常，而模型如果没有在这些条件下进行充分训练，就可能无法准确识别出真正的异常事件^[6]。

（三）人工智能技术在电力安全监测中的实施难点

由于电力系统的复杂性和对安全性的极高要求，深度学习算法与人工智能在电力安全监测中的应用面临着诸多挑战。首先，数据的获取和处理是一个重大难题。电力系统产生的数据量巨大，且包含大量非结构化信息，如视频监控、声音信号等。深度学习模型需要大量的标注数据进行训练，而获取这些数据不仅耗时耗力，而且在实际操作中往往难以实现。此外，电力系统的海量数据往往具有高维度和高噪声的特点，这对算法的准确性和鲁棒性提出了更高的要求。同时当下的电力系统的实时性要求对算法的响应速度提出了挑战。电力安全监测需要在极短的时间内对潜在的危险进行识别和预警，而深度学习算法的计算复杂度较高，可能导致处理速度无法满足实时监测的需求。尽管硬件技术的进步为算法的加速提供了可能，但如何在保证准确性的前提下提高算法的运行效率，仍然是一个亟待解决的问题^[7]。

四、深度学习算法与人工智能在电力安全监测中应用的优化策略

（一）探索更高效的数据预处理方法

在电力安全监测领域，数据预处理是深度学习算法与人工智能应用的基础和关键。为了提高监测系统的准确性和效率，必须对原始数据进行有效的清洗、转换和归一化处理。可以采用自动

化工具来识别和剔除异常值和噪声，减少人工干预，提高数据处理速度。而通过模拟各种故障和异常情况，可以生成额外的训练样本，增强模型的泛化能力。例如，可以对正常运行数据进行微小的扰动，模拟设备老化、环境变化等因素对电力系统的影响。同时，采用时间序列分析方法，如长短期记忆网络（LSTM），可以更好地捕捉电力系统运行的动态特性^[8]。

（二）结合传统机器学习算法

在电力安全监测领域，深度学习算法虽然在模式识别和数据处理方面表现出色，但其对大量数据和计算资源的需求也限制了其在某些场景下的应用。因此结合传统机器学习算法，可以形成一种互补的优化策略，以提高监测系统的效率和准确性。在实施的过程中，可以利用传统机器学习算法对数据进行初步筛选和预处理。例如，使用支持向量机（SVM）或随机森林算法对电力系统中的异常数据进行初步识别，筛选出可能的异常信号。这些算法在小规模数据集上表现良好，且计算复杂度相对较低，能够快速地从大量数据中提取出潜在的异常特征。

其次深度学习算法可以在此基础上进一步分析和学习这些预处理后的数据。通过卷积神经网络（CNN）或循环神经网络（RNN）等深度学习模型，可以对电力系统的时序数据进行深入分析，识别出复杂的模式和长期依赖关系。这种分阶段的处理方式，既保证了数据处理的效率，又充分利用了深度学习在复杂模式识别上的优势^[9]。

（三）加强模型训练

为了解决电力系统中安全监测的挑战，深度学习算法与人工智能技术的融合应用显得尤为重要。然而，为了确保这些技术能够高效、准确地执行任务，必须采取一系列优化策略。数据质量是深度学习模型训练的基础。因此优化策略的第一步是确保数据的多样性和质量。电力系统产生的数据量巨大，但并非所有数据都具有同等价值。通过数据清洗和预处理，可以去除噪声和异常值，确保训练数据的准确性和代表性。此外采用数据增强技术，如模拟故障数据，可以进一步丰富训练集，提高模型的泛化能力。而模型结构的优化是提高监测效率的关键。针对电力系统的

特定需求，可以设计或选择适合的深度学习架构，如卷积神经网络（CNN）用于图像识别，循环神经网络（RNN）用于时间序列分析。同时，采用模型融合技术，结合多个模型的优点，可以进一步提升监测的准确性。例如，可以将CNN用于特征提取，再结合RNN进行故障预测^[10]。

（四）定制化开发符合其应用场景的 AI 解决方案

在电力安全监测领域，深度学习算法与人工智能的应用需要高度定制化，以确保解决方案能够精确地满足特定场景的需求。定制化开发涉及对电力系统运行的深入理解，包括电网结构、电力设备特性、监测数据类型以及潜在的安全风险。通过定制化开发，可以确保 AI 系统不仅能够高效地处理数据，而且能够提供准确的预测和实时的警报。定制化开发需要从数据采集开始。电力系统中各种传感器和监测设备产生的数据类型繁多，包括温度、压力、振动、电流、电压等。深度学习算法需要针对这些不同类型的数据进行优化，以提高数据处理的准确性和效率。例如，对于高压输电线路的监测，可以采用图像识别技术来分析输电塔的结构完整性，或者使用声音识别技术来检测设备运行时的异常声音。

五、结语

综上所述，随着人工智能技术的不断进步，电力安全监测领域正迎来前所未有的变革。深度学习算法与人工智能的结合，不仅提高了电力系统故障检测的准确性与效率，还实现了电力设备状态的实时监控与预测维护。然而这一进程并非一帆风顺，深度学习算法在电力数据处理中的局限性、模型对电力异常事件的识别误差以及实施难点等挑战，仍需我们不断探索和克服。为了应对这些挑战，优化策略的实施至关重要。探索更高效的数据预处理方法、结合传统机器学习算法、加强模型训练以及定制化开发符合其应用场景的 AI 解决方案，都是推动电力安全监测领域向前发展的关键步骤，最终实现电力系统的智能化升级。

参考文献

- [1] 盛安宁, 李东晓. 电网监控技术在智能电力系统中的应用与发展趋势 [J]. 中华纸业, 2023, 44(24): 63-65.
- [2] 杨春, 覃汐赫, 杨小帅. 深度学习算法在工业网络安全的应用及挑战 [J]. 工业信息安全, 2023, (06): 96-103.
- [3] 张超, 张海峰, 张宇, 等. 深度学习在土壤监测中的应用及展望 [J]. 农业展望, 2023, 19(12): 81-86.
- [4] 张超, 张海峰, 张宇, 等. 深度学习在土壤监测中的应用及展望 [J]. 农业展望, 2023, 19(12): 81-86.
- [5] 刘成山. 人工智能技术在电力系统优化中的应用 [J]. 科技创新与应用, 2023, 13(34): 172-175. DOI: 10.19981/j.CN23-1581/G3.2023.34.040.
- [6] 裴杰, 向子林, 许强, 等. 机器学习在滑坡智能防灾减灾中的应用与发展趋势 [J]. 地球科学, 2023, 48(05): 1657-1674. DOI: 10.3799/dqkx.2022.419.
- [7] 王文博, 刘绚, 林海, 等. 基于深度学习的电力工控流量应用层报文异常检测 [J]. 电力系统自动化, 2023, 47(11): 69-76. DOI: 10.7500/AEPS20220817001.
- [8] 黄睿茜, 赵俊芳, 霍治国, 等. 深度学习技术在农业干旱监测预测及风险评估中的应用 [J]. 中国农业气象, 2023, 44(10): 943-952. DOI: 10.3969/j.issn.1000-6362.2023.10.007.
- [9] 黄彩文. 人工智能算法在安全风险预测与预警系统中的应用优化 [J]. 葡萄酒, 2023, (17): 0127-0129.
- [10] 王秀燕. 人工智能在计算机视觉中的创新应用: 深度学习和自动特征识别的新趋势与挑战 [C]. 第七届创新教育学术会议论文集. 中国山西省太原市, 2023: 272-273. DOI: 10.26914/c.cnkihy.2023.025947.

新型电力系统下分布式能源聚合优化运行策略

王金勇

内蒙古霍煤鸿骏铝电公司, 内蒙古 通辽 029200

摘要： 新型电力系统下分布式能源聚合优化运行策略 摘要：全球能源转型，构建新型电力系统是必然。分布式能源在其中很重要。本文深入探讨新型电力系统下分布式能源聚合优化运行策略。先分析分布式能源的特点，再说它在新型电力系统中聚合优化运行的必要性，接着讲当前存在的问题，最后针对性地提出有效策略。研究发现，合理的聚合优化运行策略能提升分布式能源利用效率，增强电力系统稳定性，为新型电力系统的可持续发展提供有力支撑。

关键词： 新型电力系统；分布式能源；聚合优化；运行策略

Optimization Operation Strategy of Distributed Energy Aggregation under New Power System

Wang Jinyong

Inner Mongolia Huomei Hongjun Aluminum and Electric Company, Tongliao, Inner Mongolia 029200

Abstract： Optimization Operation Strategy of Distributed Energy Aggregation under New Power System
Abstract: Building a new power system is inevitable in the global energy transformation. Distributed energy is very important among them. This article explores in depth the optimization operation strategy of distributed energy aggregation under the new power system. Firstly, analyze the characteristics of distributed energy, then discuss the necessity of aggregating and optimizing its operation in the new power system, followed by the current problems, and finally propose targeted effective strategies. Research has found that a reasonable aggregation optimization operation strategy can improve the efficiency of distributed energy utilization, enhance the stability of the power system, and provide strong support for the sustainable development of the new power system.

Keywords： new power system; distributed energy; aggregation optimization; operational strategy

引言

全球对清洁能源需求不断增加，应对气候变化形势严峻，传统电力系统向新型电力系统转型很紧迫。新型电力系统以保障能源电力安全为前提，以满足经济社会发展的电力需求为目标，靠新型储能支撑，有清洁低碳、安全可控、灵活高效、智能友好等特点。分布式能源是新型电力系统的关键部分，有太阳能光伏发电、风力发电、生物质能发电、小型水电等。它分布广泛，城市屋顶、偏远乡村山区都能开发利用，实现能源利用多元化。对分布式能源进行聚合优化运行，能挖掘其潜力，提高能源利用效率，推动电力系统可持续发展。所以，深入研究其运行策略很有现实意义，能助力能源转型。

一、分布式能源特点

（一）分散性与广泛性

分布式能源设施分布广，分散性明显。居民住宅区很多家庭在屋顶装太阳能板，把太阳能转化为电能供自家使用，多余的电还能上网。小型商业建筑为降低用电成本，常配备风力发电机，利用周边风力资源发电。偏远地区的小型水电设施利用当地水资源，把水能转化为电能，供当地居民和产业使用。这种分散性让能源生产更靠近消费端，减少长距离输电的电量损耗。不管是城市还是乡村，只要有合适资源条件，就能方便地开发利用分布式

能源，拓宽能源获取途径，提高能源供应灵活性，满足不同地区多样的能源需求^[1]。

（二）能源种类多样化

分布式能源有太阳能、风能、水能、生物质能、地热能等多种能源形式。不同地区根据自身资源条件，能选择合适的分布式能源类型。光照资源好的地区，像我国西北地区，太阳能光伏发电是能源开发首选，有很多太阳能电站。风力资源丰富的沿海地区，如东部沿海省份，适合大规模发展风力发电，海边有很多风力发电机。水资源丰富的山区，小型水电项目利用水流落差发电，为当地提供稳定电力。多样的能源种类建立了多渠道能源供

应保障体系，降低对单一能源的依赖，增强能源供应稳定性和可靠性。

（三）输出功率的间歇性与波动性

分布式能源大多依赖自然能源，输出功率受自然条件影响大。比如太阳能光伏发电，白天光照强时能高效发电，夜晚太阳落山就停止发电，阴天时光照弱，发电量大幅下降。风力发电也一样，发电功率取决于风速和风向，风速不稳定，发电功率就波动。风速过小，风力发电机无法启动；风速过大，超出设备安全运行范围，要采取降载措施。这种间歇性和波动性给电力系统稳定运行带来很大挑战，需要制定特殊运行策略，确保电力供应持续稳定。

（四）环保低碳

和传统化石能源发电比，分布式能源运行时几乎不产生或很少产生温室气体排放及污染物，环保低碳优势突出。太阳能光伏发电和风力发电整个发电过程不排放二氧化碳、二氧化硫等污染物，不污染大气环境。生物质能发电若合理利用，生长过程吸收的二氧化碳和发电过程排放的二氧化碳可基本平衡。广泛使用分布式能源，能大幅减少环境污染，降低碳排放，符合全球可持续发展理念，是构建绿色能源体系、推动生态文明建设的重要组成部分，对改善地球生态环境有积极作用。

（五）可参与需求响应

分布式能源系统能根据电力系统需求变化，灵活调整自身发电功率或用电负荷，能积极参与需求响应。电力系统高峰负荷时段，用电需求大增，分布式能源可快速增加发电输出，缓解供电压力，保障电力系统稳定运行。负荷低谷期，电力需求减少，分布式能源可降低发电功率，或者把多余电能储存起来。比如一些分布式能源项目有储能设备，在电力低谷时储存电能，高峰时释放电能。这种参与需求响应的特性，有助于优化电力资源配置，提高电力系统运行效率和稳定性，实现电力供需精准匹配。

二、分布式能源聚合优化运行必要性

（一）提升能源利用效率

分布式能源分散且单个功率较小，单独运行时能源利用效率有限。通过聚合优化，把多个分布式能源系统整合为一个整体，统一调度和管理。能根据不同能源特性，像太阳能的光照依赖、风能的风速条件，以及发电成本，合理分配发电任务。比如光照充足且电价高时，优先安排太阳能光伏发电；风力稳定且发电成本低时，加大风力发电比重。这样能降低能源转换和输送过程中的损耗，挖掘分布式能源潜力，提高整体能源利用效率，实现能源高效利用和价值最大化^[9]。

（二）增强电力系统稳定性

分布式能源输出的间歇性和波动性威胁电力系统稳定性。聚合优化运行是解决办法，通过协调控制策略，把多个分布式能源的功率波动抵消或平滑处理。储能系统很关键，能源过剩时，如白天太阳能发电多余电能，储能系统储存起来；能源短缺时，如夜晚太阳能发电停止，储能系统释放电能，稳定电力输出。这能减少分布式能源对大电网的冲击，增强电力系统稳定性和可靠性，保障电力供应连续性，确保电力系统稳定运行。

（三）促进清洁能源消纳

清洁能源在能源结构中占比提高，如何高效消纳清洁能源是

关键问题。分布式能源聚合优化运行能整合各地清洁能源，根据电网负荷需求实时变化，灵活调整清洁能源发电输出。用电高峰时段，增加清洁能源发电功率；用电低谷时段，适当减少发电，避免能源浪费。这样能提高清洁能源在电力消费中的比重，推动能源结构向清洁低碳方向转型，助力实现能源可持续发展目标。

（四）降低投资与运营成本

单个分布式能源项目建设和运营成本较高，限制其发展。通过聚合优化，能实现资源共享和规模化效应。多个分布式能源项目可共享储能设施，避免单独建设储能的高额成本；共用一套监控系统，实时监测各能源项目运行状态，降低设备采购和维护成本。统一调度管理模式减少运营管理复杂性，不用每个项目配大量管理人员，降低人力成本，提高经济效益，让分布式能源项目更具投资吸引力，促进其大规模发展。

（五）满足用户多元化需求

不同用户对电力需求和质量要求不同。分布式能源聚合优化运行能根据用户个性化需求，提供定制化能源服务。对电能质量要求高的用户，如医院、数据中心等，优先调配稳定性好的能源供应，确保电力供应可靠，避免电力波动影响设备运行和业务。对有储能需求的用户，如一些工业企业，通过聚合的储能系统满足其在用电低谷期储存电能、高峰时使用的需求，降低用电成本。这样能提升用户满意度，拓展能源服务市场，推动能源服务行业多元化发展。

三、分布式能源聚合优化运行现存问题

（一）技术集成难度大

分布式能源有多种复杂技术类型，不同能源系统技术标准、接口规范不一样。把太阳能、风能、储能等技术集成到一个聚合系统中，有很多难题。通信协议方面，太阳能发电系统和风力发电系统可能用不同协议，导致通信不畅，信息传递受阻。控制策略上，太阳能发电受光照影响，风力发电受风速影响，统一两者控制策略很难。这些问题增加系统建设和调试难度，要投入大量时间和人力攻关，导致技术集成成本高，限制分布式能源聚合系统大规模推广应用，阻碍行业发展。

（二）预测精度不足

分布式能源输出受自然因素影响大，准确预测发电功率很有挑战。现在的预测技术，像基于历史数据的统计预测方法，虽能利用过去发电数据分析预测，但不能精准应对自然条件突然变化。数值天气预报结合的预测方法，考虑了天气因素，但因天气变化复杂，仍有误差。预测精度不足使聚合系统调度时难以精准匹配能源供需。比如预测失误可能在能源需求高峰时，分布式能源发电功率不足，无法满足需求；在能源需求低谷时，发电功率过剩，造成能源浪费，影响系统优化运行效果，降低能源利用率^[9]。

（三）缺乏统一调度平台

现有的分布式能源项目大多各自运行，缺统一、高效的调度平台。不同能源项目由不同主体运营管理，各有自己的运行数据，信息孤岛现象严重。没有统一调度平台，不能实时、全面掌握各分布式能源运行状态，难对聚合系统集中控制和优化调度。比如某区域电力需求突然增加，因无法及时获取各分布式能源项

目发电能力，不能迅速合理调度，导致电力供应不及时，降低系统运行效率和可靠性，影响电力系统稳定运行。

（四）市场机制不完善

分布式能源参与电力市场交易机制不完善。电量交易方面，交易规则不明确，流程不清晰，分布式能源电量难进入市场流通。辅助服务市场，对分布式能源提供的调频、调压等辅助服务，没有明确价格形成机制，价值难合理体现。这使投资者和运营者参与分布式能源项目时，收益没保障，影响积极性。市场机制不完善阻碍分布式能源聚合优化运行商业化发展，使其在电力市场缺乏竞争力，限制行业健康发展。

（五）储能发展滞后

储能是解决分布式能源间歇性和波动性问题的关键，但现在储能技术发展慢。储能设备成本高，像常见的锂离子电池储能系统，设备采购成本占项目投资比重大，很多分布式能源项目承受不了。而且储能设备寿命短，频繁充放电性能下降，增加后期更换成本。能量密度低限制储能设备储能容量，无法满足大规模储能需求。储能容量不足使分布式能源聚合系统调节能源供需平衡能力弱，不能充分发挥储能平滑功率波动、保障电力稳定供应的关键作用，制约分布式能源进一步发展。

四、分布式能源聚合优化运行策略

（一）加强技术研发与集成

要加大对分布式能源技术集成的研发投入。组织能源、电力、通信等领域科研力量，开展跨学科研究合作。通过研究，建立统一技术标准和接口规范，让不同能源系统能顺畅通信和协同工作。攻克通信协议兼容难题，开发通用通信协议，使太阳能、风能等能源系统能无障碍传输数据。同时，统一控制策略，根据不同能源特性，设计综合协调控制方案。研发新型分布式能源集成设备和系统，简化系统架构，降低技术集成难度和成本，提高聚合系统可靠性和稳定性，为分布式能源聚合优化运行打牢技术基础^[4]。

（二）提高预测技术水平

综合用大数据、人工智能、机器学习等先进技术，建更精准的分布式能源发电功率预测模型。收集多维度数据，包括历史发电数据、气象数据（光照强度、风速、风向、气温等）、地理信息（地理位置、地形地貌等），还有设备运行状态数据（设备老化程度、故障记录等），提高模型输入数据质量。实时更新数据，反映自然条件和设备状态变化，用先进算法优化模型参数，提升预测精度。用高精度预测结果，为聚合系统调度决策提供科学依

据，实现能源精准供应和高效利用，提高系统运行效率。

（三）构建统一调度平台

政府和相关企业要合作，推动分布式能源统一调度平台建设。整合各分布式能源项目数据信息，搭建集中监控和管理系统，实时监测和统一管理所有分布式能源设备。用先进通信技术，如5G通信，保证数据传输及时准确，实现对分布式能源设备远程控制。在调度平台嵌入优化算法，根据预测数据和实时运行情况，自动生成最优调度方案。通过统一调度平台，实现对聚合系统统一、高效调度，提高系统运行效率和可靠性，保障电力系统稳定运行。

（四）完善市场机制

政府部门要制定完善分布式能源参与电力市场交易政策和规则。明确电量交易准入条件、交易流程和价格机制，让分布式能源电量能公平、有序参与市场交易。辅助服务市场，界定分布式能源提供辅助服务标准和价格形成机制，合理体现其价值。建立合理补贴机制，对积极参与市场竞争的分布式能源项目给予补贴，激励投资者和运营者加大投入，提高分布式能源项目市场竞争力。通过完善市场机制，调动各方积极性，促进分布式能源聚合优化运行商业化发展，推动行业繁荣。

（五）推动储能技术发展

加大对储能技术研发支持力度，鼓励企业和科研机构投入研发，开展储能技术创新。通过技术创新，降低储能设备成本，提高能量密度，延长使用寿命。推广应用新型储能技术，如锂离子电池升级技术、液流电池、氢储能等，为分布式能源聚合系统提供更多好的储能选择。根据分布式能源分布和发电特性，合理规划储能容量配置，优化储能布局，让储能系统在能源供需调节、平滑功率波动等方面充分发挥作用，提升分布式能源聚合系统稳定性和灵活性，促进分布式能源高效利用^[5]。

五、结语

在新型电力系统的建设进程中，分布式能源聚合优化运行对于提高能源利用效率、增强电力系统稳定性、促进清洁能源消纳等方面具有不可替代的作用。尽管当前面临技术集成、预测精度、调度平台、市场机制、储能发展和人才等诸多问题，但通过加强技术研发、完善市场机制、培养专业人才等一系列策略的实施，能够有效解决现存问题，实现分布式能源的高效聚合优化运行。这将有力推动新型电力系统的发展，为全球能源转型和可持续发展做出积极贡献。未来，随着技术的不断进步和政策的持续完善，分布式能源聚合优化运行将展现出更大的潜力和活力。

参考文献

- [1] 杨文佳, 刘洋, 谢平平, 等. 新型电力系统下分布式能源大规模接入的并网调控省地管理研究——以广东电网为例 [J]. 企业改革与管理, 2023, (16): 157-161.
- [2] 孙改平. 新型电力系统下考虑灵活性支撑的分布式能源聚合优化运行研究 [D]. 上海交通大学, 2022.
- [3] 刘东冉. 区域分布式能源系统参与电力交易辅助决策模型研究 [D]. 华北电力大学 (北京), 2022.
- [4] 李博嵩. 高渗透分布式能源聚合运行优化及竞价策略研究 [D]. 上海交通大学, 2019.
- [5] 胡春潮. 分布式智能电网自动化关键技术研究与应用 [D]. 华南理工大学, 2022.

电气工程及其自动化技术在变电站中的应用策略

陈里鸿

国家电投集团江西电力有限公司高新清洁能源分公司，江西 南昌 331402

摘 要： 电力能源在现如今社会发展中发挥着重要的支撑作用，通过电气工程及其自动化技术在变电站中的应用，不单单有助于变电站运行效率的提升，同时还有助于变电站运行可靠性与安全性的增强，并且还有助于运维成本的降低。其在变电站多个场景中均发挥着重要的应用优势。本文针对电气工程及其自动化技术在变电站中的应用优势进行了探析，并提出了其在各种场景中的具体应用以及面临的挑战和具体的应用策略，希望本次研究对变电站的安全、稳定运行有所帮助。

关 键 词： 电气工程；自动化技术；变电站

Application Strategies of Electrical Engineering and Automation Technology in Substations

Chen Lihong

High-tech Clean Energy Branch, Jiangxi Electric Power Co., Ltd. of State Power Investment Corporation,
Nanchang, Jiangxi 331402

Abstract： Electric energy plays an important supporting role in today's social development. The application of electrical engineering and automation technology in substations not only helps improve the operating efficiency of substations but also enhances their operational reliability and safety. Additionally, it contributes to reducing operation and maintenance costs. This technology exhibits significant application advantages in multiple scenarios within substations. This article explores the application advantages of electrical engineering and automation technology in substations, proposes its specific applications in various scenarios, and discusses the challenges faced and specific application strategies. We hope this study will assist in the safe and stable operation of substations.

Keywords： electrical engineering; automation technology; substation

引言

电气工程及其自动化技术，集合了多个学科的知识与技术，像电机电器技术、计算机技术、信息与网络技术、电力电子技术等。随着电气工程及其自动化技术的不断发展与完善，其在变电站中的应用优势越来越突出，也使得其在变电站数据收集和处理系统中、计算机监控系统中、继电保护与自动化控制性系统中、智能巡检和状态监测系统中得以广泛的应用。

一、电气工程及其自动化技术在变电站中应用的优势

（一）有助于变电站运行效率的提升

以往变电站内各设备的操作和运行监测一般都是利用人工的方式进行，不仅流程较为繁杂，同时效率也比较低。但是通过电气工程及其自动化技术的应用，设备操作不再依赖于人工，实现了自动化操作。例如：借助自动化系统，可对隔离开关、断路器等远程进行分合闸操作，操作流程明显简化，工作人员的工作负担明显减轻。

另外，通过电气工程及其自动化技术的应用，还可以对大量数据信息进行快速的收集与处理。例如：利用传感器、通信技术全面的收集运行过程中产生的数据信息，像功率、电流和电压等，并利用高速网络快速的将收集的数据信息向监控中心传递，

监控中心的自动化系统将对这些数据信息进行全面分析，一旦发现异常，系统将立即预警，并为工作人员提供优化设备的建议，有效的提升了变电站设备的运行效率。

（二）有助于变电站运行可靠性与安全性的增强

变电站的安全、可靠运行十分的重要，电气工程及其自动化技术在其中的应用可以为变电站的安全运行提供强有力的保障。一方面，通过电气工程及其自动化技术的应用，可以24小时全天候实时监测站内设备的运行。例如：借助温度感应传感器对变压器运行过程中的油温进行监测，当实际油温高于预先设定的标准值时，系统将进行预警，提示工作人员及时进行处理，防止因为温度过高而导致变压器受损。另一方面，电气工程及其自动化技术还具有较强的预警与故障诊断功能。若设备存在故障隐患，自动化系统会快速的对引发故障的原因进行分析，判断出现故障

的具体部位。例如：借助继电保护装置全面的收集线路的电压、电流等，再通过故障诊断算法确定线路是否存在过载、短路或者其他类型的故障问题。并且自动化系统还会对故障的等级做出评估，并发出预警，为工作人员及时对故障做出正确的处理提供依据，防止故障进一步扩大，从而保障变电站的安全、可靠运行。

（三）有助于运维成本的降低

以往在对变电站进行运维时，需要投入较多的人力，除了需要定期安排工作人员对设备进行巡检以外，在设备发生故障时通常都是利用人工的方式进行维修，人力维修成本较高。而电气工程及其自动化技术在变电站中的应用，极大的减少了在设备巡检、设备维修中的人力投入。在自动化系统的支撑下可通过设备运行数据的全面收集与综合分析，对设备进行自动化巡检。例如：某变电站引进了智能巡检机器人，取代了以往人工方式的设备巡检，不单单实现了巡检效率与精准性的提升，同时还降低了运维成本，工作人员的工作负担明显减轻。

并且通过电气工程及其自动化技术的应用，还能够降低设备故障的发生的几率，自动化系统可对设备运行数据进行实时监测，及时发现异常和潜在的故障隐患，并对其进行修复和处理，以此有效的预防故障问题的出现。例如：某变电站通过自动化技术的运用，对变压器的运行数据进行实时监测，发现变压器即将面临绝缘老化的问题，及时对其进行更换，有效的防止了故障问题的出现，不仅降低了运维成本，同时还延长了变压器的使用寿命。

二、电气工程及其自动化技术的应用场景

（一）数据收集和处理

实现变电站自动化运行的一个关键就是数据的全面收集与快速处理。在收集数据的过程中，可利用各种传感器全方位的收集各种数据，像母线电压、电网频率、回路电流、变压器油温、变压器压力等，以此了解站内各个设备的运行状态。例如：借助电流互感器、电压互感器对电流信号、电压信号进行采集，然后借助转换器对模拟信号进行转换，转换成数字信号以此便于计算机对其做出处理。

在对数据进行处理和分析的过程中，可利用强大的数据处理算法、分析工具对收集的数据做出快速的处理和分析。例如：将实时收集的数据与预先设定的标准阈值进行比较，以此判断设备运行是否存在异常。另外，还可通过数据挖掘技术的应用，挖掘出可以为设备升级、维护提供重要参考的数据。例如：对变压器运行过程中的绕组温度、油温等进行长期的实时收集与分析，以此了解变压器绝缘的老化情况，在其老化引发故障前，提前做好处理，防止设备出现故障问题，从而为变电站的稳定运行提供重要保障。

（二）计算机监控

计算机监控系统是自动化变电站的一个主要控制系统，其构成部分主要包括人机界面、监控中心、数据通信、数据采集等，其中人机界面的主要功能是为工作人员的操作行为提供重要平

台，在人机界面显示有关于变电站运行的各方面数据信息，工作人员可在该界面远程控制变电站的各个设备。监控中心则是计算机监控系统的核心部分，其主要功能是对站内所有设备的运行进行监测。数据通信网主要功能为传输，可将收集的数据快速的向监控中心进行传输，同时还负责各个设备间的交互与通信。数据采集的主要功能为对变电站内所有设备运行中产生的数据进行全面收集，其中包括温度、湿度、电流、电压等。

电气工程及其自动化技术支撑下的计算机监控系统，可对站内各个设备的运行进行实时监测、故障预警、数据分析以及远程控制等^[1]。例如：某变电站的计算机监控系统，在24小时全天候监控中发现某一线路的电流突然变大，系统立即发出预警，运维人员接收到提示后，立即利用计算机监控系统的远程控制功能，对该线路的断路器进行了切断处理，有效的防止了故障的进一步扩大。计算机监控系统通过历史数据分析明确了导致电流突然增大的主要原因，为运维人员维护工作的开展提供了重要参考。

（三）继电保护和自动控制

继电保护的重要基础是电力系统在出现故障问题前和故障问题后电气物理量变化的特点。在电力系统出现故障问题时，像电力系统在出现短路故障问题后，电流会突然变大，电压会突然降低^[2]。继电保护装置检测到后，会对发生故障的位置做出判断，若出现在保护区域，装置会立即做出跳闸的保护动作反应，自动启动断路器，以此从电力系统中将出现故障问题的设备切除，从而达到保护整个电力系统的效果。

自动控制的实现主要依赖于自动化控制系统与自动化装置，变电站自动控制的一个主要构成部分为自动重合闸装置。一旦线路出现故障后，继电保护将对断路器发出跳闸的动作指令，短时间内自动重合闸装置会将断路器自动重新合上，如果出现的故障问题仅仅是瞬时性的，线路便可以恢复正常。如果出现的故障为永久性的，断路器将再次发出跳闸的指令，防止故障扩大^[3]。除此之外，自动控制系统还可以根据电力系统的运行情况，对变压器的分接头进行自动化的调节，以此维持电压的平稳性。

继电保护和自动控制之间的配合使用，在变电站出现故障问题时，可快速的做出反应，为电力系统运行的稳定性提供重要保障。

（四）智能巡检和状态监测

电气工程及其自动化技术在变电站中的有效应用，实现了智能化日常巡检和设备状态监测，支撑技术主要有智能巡检机器人、无人机巡检等^[4]。其中无人机巡检技术的应用，不仅极大的提高了巡检的效率，同时其还具有较高的灵活性，可以快速的完成室外设备的巡检，尤其是对于一些位于人工很难到达区域设备的巡检，其表现出的优势更为明显，像高压杆塔。智能巡检机器人上装置有多种传感器、像气体传感器、红外热成像仪、高清摄像头等，其可以全方位的对站内设别进行巡检。工作人员只需要事先在系统中规划好智能巡检机器人行驶的路线，其便可以自动化的按该路线行驶，并收集设备的各项运行数据，并将收集的数据向空间监控中心快速传递。

智能化状态监测的实现主要依赖于各种传感器的安装，其可

以实时监测设备运行的温度、绝缘性能、震动、局部放电等，以此判断其运行状态。例如：在对变压器运行状态进行监测时，传感器反馈的绕组温度、油温信息超出了预先设定的标准值，发现变压器存在过热的情况，实现了对变压器故障的提前预防。

三、电气工程及其自动化技术在变电站应用面临的挑战和应对策略

（一）电气工程及其自动化技术在变电站应用面临的挑战

电气工程及其自动化技术在变电站的应用，往往需要使用由多个厂家生产的系统与设备，这就导致系统、设备的接口规范、通信协议以及技术标准等通常也有所不同，这就给技术的集成带来了较大的困难^[4]。继电保护装置的厂家不同，采取的通信协议一般也存在差异。变电站的自动化系统在集成继电保护装置的过程中，通常需要对通信协议进行适配，显然这将导致系统集成成本增加，如果通信协议缺乏一致性，将会对电力系统运行的可靠性与稳定性造成一定的影响。

除此之外，变电站的环境一般都比较复杂，设备的运行可能会受到恶劣环境条件的影响，像强电磁、高湿、高温等，严重影响设备运行的稳定性与可靠性。例如：在温度较高的条件下，如果电气设备不具备良好的散热性，容易致使设备出现过热的情况，不仅会对其正常运行造成影响，还可能会导致其出现故障问题，一旦发生故障将造成变电站运维成本增加，甚至还可能造成大范围停电。

（二）电气工程及其自动化技术在变电站应用的应对策略

变电站在应用电气工程及其自动化技术时，为了对其应用进行进一步的规范，就需要构建统一的技术标准。有关部门可组织行业领域专家以及各大企业代表，协同制定统一的包含接口规

范、通信协议、系统集成以及设备制造等的技术标准和规范^[6]。例如：在制定统一的系统集成标准时，需对系统集成的技术要求、方式以及流程等做出明确的规定，以此实现系统的高效、稳定集成。通信协议、接口标准的统一，则可以实现各个设备和系统间的无缝对接与通信。在完成统一技术标准的制定后，还需加大宣传的力度，促使各个相关企业在研发和生产制造电力设备时能够严格的按照该统一的标准来执行。

为了促使电气工程及其自动化技术在变电站的应用价值得以充分发挥，就需要加强对设备的维护与管理。在对设备进行质量控制的过程中，需从源头上入手，在设计电力设备时，除了需要保障设备运行的稳定性与可靠性以外，还需要综合分析设备的兼容性。在制造设备的过程中，这需要做做好全程监督，保证制造设备时采取的技术工艺与质量与要求标准相符^[7]。

四、结束语

综上所述，电气工程及其自动化技术在变电站中的应用表现出了极大的优势，随着科技的不断发展与进步，其表现出的应用优势将越来越突出，尤其是随着人工智能技术、机器视觉技术的出现，其将给电气工程及其自动化技术在变电站中的应用带来更加广阔的前景。变电站一定要认识到电气工程及其自动化技术的应用优势，并加强对各种先进技术手段的引进，以此为变电站的稳定、可靠运行提供重要的技术保障。但是从电气工程及其自动化技术在变电站应用的实际情况来看，其依然面临着一些挑战，像技术的集成性和兼容性，设备运行的稳定性等。为此，一定要积极的构建统一的技术标准，并加强对设备的运维管理，从而更好的发挥电气工程及其自动化技术的应用价值。

参考文献

- [1]王冰寒. 电气工程及其自动化技术应用 [C]//2024 智慧施工与规划设计学术交流会议论文集. 2024:1-3.
- [2]胡勇. 电气工程及其自动化技术下的电气系统自动化发展分析 [C]//新技术与新方法学术研讨会论文集. 2024:1-3.
- [3]黄凯. 电气工程及其自动化技术下的电力系统自动化发展 [C]//2024 智慧施工与规划设计学术交流会议论文集. 2024:1-3.
- [4]邵兵. 电气工程及其自动化技术应用探究 [J]. 现代工程科技, 2024, 3(3): 101-104.
- [5]李腊. 智能电网建设中电气工程及其自动化的应用 [J]. 新型工业化, 2021, 11(08): 153-154.DOI:10.19335/j.cnki.2095-6649.2021.8.071.
- [6]李发森. 发电厂对电气工程及其自动化技术的应用分析 [J]. 中国高科技, 2023, (22): 33-35.
- [7]王然. 电气工程及其自动化技术下的电力系统自动化发展研究 [J]. 科技创新与应用, 2021, 11(16): 160-162.DOI:10.19981/j.cn23-1581/g3.2021.16.047.

继电保护自动化中的装置及其故障检修措施

贺全武

国家电投集团江西电力有限公司高新清洁能源分公司, 江西 南昌 331402

摘 要 : 电力能源目前已经成为保障社会正常运转的重要基石, 其直接关系到人们的正常生活和生产。而电力能源的稳定供应则取决于电力系统的安全、稳定运行, 当电力系统发生故障, 即便是短时间内的停电, 都可能会造成不可估量的后果, 继电保护自动化装置在电力系统运行中则发挥着重要的保护作用。本文针对继电保护自动化装置以及常见故障进行了探析, 并提出了继电保护自动化装置故障检修的有效措施, 希望本次研究有助于继电保护自动化装置价值的充分发挥。

关 键 词 : 继电保护自动化; 装置; 故障; 检修

Device and Its Fault Maintenance Measures in Relay Protection Automation

He Quanwu

High-tech Clean Energy Branch, Jiangxi Electric Power Co., Ltd., State Power Investment Corporation,
Nanchang, Jiangxi 331402

Abstract : Electric power has currently become an important cornerstone to ensure the normal operation of society, which is directly related to people's normal life and production. The stable supply of electric energy depends on the safe and stable operation of the power system. When the power system fails, even a short-term power outage may cause immeasurable consequences. Relay protection automation devices play an important role in protecting the operation of the power system. This article explores relay protection automation devices and common faults, and proposes effective measures for fault maintenance of relay protection automation devices. It is hoped that this study will help to fully utilize the value of relay protection automation devices.

Keywords : relay protection automation; device; fault; maintenance

引言

继电保护自动化装置可对电力系统的运行进行实时性的监测, 一旦电力系统出现故障问题或者异常, 其会立即做出反应, 及时对故障做出处理, 防止故障问题扩大, 对其他设备、线路的正常运行进行保护, 避免对整体电力系统的安全、稳定运行造成不利影响, 从而发挥对电力系统的保护作用。

一、继电保护自动化装置

(一) 电流保护装置

电流保护装置又分为电流速断保护、过电流保护。电流速断保护就是检测到线路电流突然增大, 该装置将立即做出反应, 第一时间将故障部分从线路中切除。部分场所对电力能源供应的可靠性有着较高的要求, 像数据中心、医院等, 电流速断保护装置则是必不可少的继电保护自动化装置。这类场所发生供电线路短路时, 电流速断保护装置可快速将故障线路切断, 不会对其他设备的运行造成影响, 可以防止因为停电而带来不可估量的后果。虽然电流速断保护装置具有较大的应用优势, 但是也存在一定的弊端, 其无法对线路进行全长保护, 如果故障不在其保护范围内, 它将不会做出反应。过电流保护装置就是当检测到线路电流大于预先设置的数值时, 便会自动启动。过电流保护装置又包

括反时限过电流保护、定时限过电流保护。反时限过电流保护装置做出反应动作的时间和电流大小有关, 电流越大, 做出反应动作花费的时间越少。定时限过电流保护装置做出反应动作的时间则是固定的, 只要电流超出预先设置的数值, 便会在一定时间内作出反应动作, 不管电流超出预先设置数值多少, 其反应动作的时间均不变。在工业领域中一些大型电动机通常会安装该继电保护自动化装置。

(二) 电压保护装置

电压保护装置又包括欠电压保护、过电压保护。电力系统运行中一旦线路遭到雷击或者出现过电压操作等情况, 就会导致线路电压快速上升, 超出正常值, 这时过电压保护装置就会快速做出反应, 切断电源或降低电压, 以此避免电气设备因为电压过大而发生损坏。部分高压输电线路上都配置有过电压保护装置, 像避雷器等, 当线路被雷击中后, 避雷器会将雷电快速的向

大地引入。

欠电压保护装置在检测到线路电压比预先设定的数值低时就会自动启动，避免因电压过低而致使设备发生损坏或者无法正常运行。工业领域的很多设备的运行都要求电压具有较高的稳定性。一旦电压低于正常值时，可能会导致这部分设备运行异常或者发生损坏等。欠电压保护装置能够对线路电压进行实时监测，当电压比预先设定值低时，其会迅速将线路切断，对设备进行保护。

（三）瓦斯保护装置

瓦斯继电器是瓦斯保护装置的一个主要构成部分，其位于油枕和变压器油箱间的连接通道上。一旦变压器内出现轻微的故障，产生气体的速度将变慢，气体在向储油柜上升的过程中，会先在瓦斯继电器的上部积存，导致油面降低，这时瓦斯保护装置将自动预警，提示工作人员及时进行检查和处理。当变压器内故障比较严重时，形成的瓦斯气体也会比较强烈，油箱内部压力突然增加，导致大量的油向油枕冲击，这时瓦斯保护装置通常会做出切断电网和变压器连接的动作，避免故障问题扩大，对变压器，乃至整个电力系统进行保护。

实际中，当变压器内出现故障问题时，瓦斯保护装置均可及时检测到，并快速做出保护动作，保障了变压器运行的安全性。尤其是在一些大型变压器中，瓦斯保护装置更是发挥着至关重要的保护作用。当变压器内发生绕组匝间短路故障时，短路电流值比较小，其他保护装置可能并不会做出响应动作，但是瓦斯保护装置可灵敏的检查到该故障，并做出跳闸的保护动作或者进行预警，防止故障进一步扩大。

二、继电保护自动化装置常见故障

随着继电保护自动化装置运行时间的不断延长，难免会有一些故障问题，一旦出现故障，很可能会影响整个电力系统运行的稳定性与安全性。其中较为常见并且对电力系统运行会产生较大影响的故障有电压互感器二次电压回路故障、电流互感器饱和故障。其中电压互感器二次电压回路故障出现的几率相对较高，故障表现具有多样化的特点。一旦电压互感器二次中性点发生多点接地或者虚接的情况，将对保护装置造成较大的影响^[1]。虚接情况的原因不单单在于变电站接地网，还可能是因为采用的接线工艺不当而导致的。该情况的出现，会导致电压互感器二次接地相和地网之间形成电压，其会向保护装置进行叠加，从而致使方向元件、抗阻元件发生误动或者拒动。对于一些设备比较老旧的变电站，在环境因素的长时间影响下，接线端子很容易发生氧化、松动等，可能会引发虚接，导致保护装置发出错误指令动作，严重影响电力系统的运行。

继电保护自动化装置另一个会影响电力系统运行的故障就是电流互感器饱和故障。当配电系统终端设备负荷的增容，一旦出现短路的故障，将会产生较大的电流。如果是距离终端设备比较近的位置短路，形成的电流可能会达到电流互感器单次额定电流的近100倍，甚至以上。线路发生短路后，电流互感器产生的误

差将随着短路电流的增大而逐渐的增大，电流速断保护装置的灵敏性不断下降，导致其无法及时的做出正确的保护动作，随着故障的不断扩大，很可能造成整个配电系统断电，严重影响用户的正常生活与生产^[2]。

三、继电保护自动化装置故障检修措施

（一）继电保护自动化装置的日常巡检

继电保护自动化装置故障检修的一项基础性工作就是日常巡检，定期的针对继电保护自动化装置进行细致化的巡检，可及时发现其存在的异常与故障隐患，像信号异常、外观受损等，对装置的稳定运行具有很好的保障作用^[3]。

检查装置的外观是日常巡检中必不可少的一个环节，工作人员需定期对装置的外观进行仔细的检查，检查内容主要包括：外观是否形变、破损和腐蚀等，同时查看显示屏是否存在异常、是否足够清晰以及指示灯是否存在异常。例如：某巡检人员在开展日常巡检工作时，发现一台继电保护自动化装置的外观存在破损，虽然较为轻微，但是该巡检人员依然对装置进行了全面检查，该处破损已经对电路板造成了一定的影响，并及时做出了处理。如果该处破损对电路板的影响未能够被及时发现，并得到正确的处理，随着装置的不断运行，很容易引发较大的故障问题。

信号监测也是继电保护自动化装置日常巡检工作中非常关键的一项内容，工作人员需对装置发出的动作信号、预警信号等引起足够的关注，判断其是否存在异常。并仔细的检查其和其他设备间的数据传输是否存在异常，其中包括数据传输的及时性与准确性^[4]。例如：某巡检人员在对继电保护自动化装置信号进行监测的过程中，发现其中一个装置发出的预警信号存在异常，通过进一步检查，了解到导致该问题的主要原因为通信线路接触不良，确定原因后及时通信线路进行修复，装置信号恢复了正常。

除此之外，在日常巡检工作中，工作人员还需要全面的检查装置所处的环境，其中包括环境的通风性、湿度、温度以及干扰源的存在等，保证装置始终处于良好的运行环境中，以此降低装置发生故障的几率。

（二）检测工具和技术的合理运用

在继电保护自动化装置故障检修工作中，不单单需要重视装置日常巡检工作的开展，同时还需要借助专业检测工具和技术，精细化、深入的检查装置是否存在故障和异常。检测工具和技术合理运用，除了可以提高检修的效率以外，同时还可以保证检修的准确度。

继电保护自动化装置测试仪是检测装置是否存在故障问题的一个专用工具，其能够对引发各种故障问题的条件进行模拟，测试装置保护工作的灵敏性以及精准性，了解装置各方面的性能是否存在异常^[5]。例如：某变电站引入了一台新的继电保护自动化装置，工作人员借助继电保护自动化装置测试仪对其进行了测试，在对该装置进行多项故障情况模拟时，发现其在一些情况下做出反应动作的时间比较长，与设计标准要求不符。通过优化与参数调整后，对其进行了重新检测，性能达到了设计要求标准。

红外测温技术是继电保护自动化装置检修中经常运用到的一种检测技术，其具有非接触式的特点，利用红外辐射即可判断物体的温度。可以用来检测继电保护自动化装置内部各个部件的连接处、电子元件以及电路板的温度是否过高，因为温度过高通常是装置出现故障问题的一个征兆。例如：某巡检人员借助红外测温仪检测继电保护自动化装置时，发现其中一处连接位置温度较高，于是展开了深度检查，发现是因为该位置的螺丝松动致使电阻增加，从而造成的温度上升，该巡检人员将螺丝紧固后，该连接处的温度逐渐恢复正常。

回路电阻测试技术也是继电保护自动化装置故障检修中经常采用的技术手段。其基本原理为对装置二次回路的电阻值进行测量，以此了解回路的连接情况。若测量电阻值不在正常范围内，不管是过大，还是过小，需要进一步检查回路是否存在断线、接触不良等故障隐患^[6]。例如：某巡检人员在利用回路电阻测试技术测试装置回路电阻时，发现电阻值比正常值超出很多，经进一步检查，发现该回路的一处接线端存在较为严重的氧化现象，其对接线端子进行更换后，对回路电阻重新进行了检测，发现已恢复正常。

（三）数据综合分析和故障预测

在信息技术的支撑下，数据综合分析已经成为继电保护自动化装置故障检修中的一个主要手段。其基本原理为，借助传感器以及大数据技术对继电保护自动化装置运行过程中产生的各项数据进行实时收集与分析，一旦发现数据存在异常，系统将自动发出预警，并对潜藏故障隐患的位置、引发的原因等进行预测，以便工作人员及时采取正确的措施进行处理，防止故障问题的出现。

数据综合分析的内容主要有以往装置运行的数据和通过实时

监测获得的当前装置运行状态的数据等，通过对这些数据的统计与分析，构建继电保护自动化装置数据分析模型，以此准确的了解装置的各项性能指标、故障出现的规律以及运行状态和趋势等^[7]。例如：某巡检人员对继电保护自动化装置运行的历史数据做出了综合分析，发现在夏季温度较高时该装置发生故障的几率较高，并且基本上都是电子元件温度过高受损。为了降低装置故障发生的几率，在炎热的夏季到来前，巡检人员就会对装置的散热问题引起足够的重视，并通过对散热布局的优化、通风设备的增加等，减少了装置故障问题的出现。

故障预测则是数据综合分析结果，借助预算模式与预测算法，预测装置运行的趋势，以此判断其在未来运行中可能会出现故障问题、故障的类型和故障出现的时间等。常用的故障预测法有机器学习法、专家系统法、神经网络法等。

四、结束语

综上所述，在科学技术不断进步的推动下，继电保护自动化装置的数字化、智能化水平将得到进一步的提高，虽然装置的性能以及运行的可靠性将会得到很大的提升，但是这也给装置故障检修工作带来了新的挑战。为了充分发挥继电保护自动化装置在电力系统中的保护作用，就需要全面的了解各种继电保护自动化装置的工作原理和性能等，并不断的对装置故障日常巡检工作进行优化，同时对装置检修工具以及技术进行不断的升级，以此更加及时、精准地发现装置的异常和故障问题。另外，还可在先进大数据技术、人工智能技术等支撑下，借助数据综合分析故障预测，将故障隐患及时消灭在萌芽状态。

参考文献

- [1] 李振国. 继电保护自动化装置的故障检修与改进措施研究 [C]// 中国国土经济学会 2024 年学术年会 (一) 论文集. 2024:1-3.
- [2] 常建. 电力系统自动化继电保护装置及其测试研究 [J]. 光源与照明, 2023, (12): 74-76.
- [3] 姚航, 潘育宗. 继电保护自动化装置的故障检修与改进措施研究 [J]. 模具制造, 2023, 23(12): 283-285. DOI: 10.13596/j.cnki.44-1542/th.2023.12.095.
- [4] 张惠山, 孟荣, 付伟平, 等. LSTM 网络继电保护装置可靠性预测 [J]. 中国测试, 2023, 49(05): 164-170.
- [5] 夏统照, 凌博闻, 庞岑茂, 等. 多参信息量的智能变电站继电保护二次回路隐藏故障检测方法 [J]. 电工技术, 2023, (15): 164-166+169.
- [6] 刘寒遥, 黄贺, 刘卫. 继电保护测试仪检定装置全参数校准方法研究 [J]. 计量与测试技术, 2023, 50(08): 82-85+88.
- [7] 蓝天宇, 蔡可苏, 陈龙. 电力系统继电保护与自动化装置的可靠性提升策略分析 [J]. 数码设计, 2023(10): 115-118.

高低压成套开关柜电气设计及智能化发展分析

阮祥龙

中国水利水电第十二工程局有限公司, 浙江 杭州 310030

摘 要： 随着电力系统的快速发展, 高低压成套开关柜作为电力输配中的重要设备, 其电气设计及智能化发展备受关注。本文首先介绍了高低压成套开关柜的基本组成与功能特点, 之后围绕高低压开关柜的电气设计、关键技术及智能化趋势展开分析, 探讨其在提升电力系统稳定性、安全性及能效方面的作用, 旨在为电力设备的升级改造提供理论支持和实践参考, 推动电力行业向高效、智能、绿色方向发展。

关 键 词： 高低压成套开关柜; 电气设计; 智能化发展

Analysis of Electrical Design and Intelligent Development of High and Low Voltage Switchgear Assemblies

Ruan Xianglong

SINOHYDRO BUREAU12CO.,LTD . Hangzhou, Zhejiang 310030

Abstract： With the rapid development of the power system, high and low voltage switchgear assemblies, as important equipment in power transmission and distribution, have attracted much attention in terms of their electrical design and intelligent development. This paper first introduces the basic composition and functional characteristics of high and low voltage switchgear assemblies, and then analyzes their electrical design, key technologies, and intelligent development trends, exploring their role in enhancing the stability, safety, and energy efficiency of the power system. The aim is to provide theoretical support and practical references for the upgrading and transformation of power equipment, promoting the development of the power industry towards high efficiency, intelligence, and greenness.

Keywords： high and low voltage switchgear assemblies; electrical design; intelligent development

引言

高低压成套开关柜是电力系统中不可或缺的关键设备, 其性能直接影响电网的安全稳定运行。随着工业化和城市化的加速, 电力需求持续增长, 对开关柜的可靠性、智能化提出了更高要求。智能化技术的引入不仅能够提升设备的运行效率, 还能实现故障预警和远程运维, 降低人工成本和安全风险。因此, 研究高低压开关柜的电气设计及智能化发展具有重要的现实意义, 既是电力行业技术进步的必然趋势, 也是实现能源高效利用的重要途径。

一、高低压成套开关柜的概述

(一) 高低压成套开关柜的基本组成

高低压成套开关柜是电力系统中的核心设备, 主要由高压开关柜和低压开关柜两部分组成。高压开关柜通常用于10kV及以上的电压等级, 内部包含断路器、隔离开关、互感器等关键部件, 能够有效切断故障电流并保障电网安全。低压开关柜则多用于400V及以下的电压等级, 主要用于电能的分配与控制, 配备过载和短路保护功能。两者通过合理的结构设计和电气连接, 形成一个完整的电力控制与保护系统。此外, 开关柜还配备了仪表、继电器等辅助设备, 用于实时监测和控制电力参数, 确保系统稳定运行。

(二) 高低压成套开关柜的功能与特点

高低压成套开关柜的主要功能包括电能的分配、控制与保

护。在高压侧, 它能够快速切断故障电流, 防止事故扩大; 在低压侧, 则通过智能化的控制模块实现电能的合理分配。现代开关柜还具备远程监控和自动化操作功能, 能够实时采集运行数据并进行分析, 提高系统的可靠性和效率。此外, 开关柜的设计注重安全性和耐用性, 采用高强度的绝缘材料和可靠的机械结构, 能够适应各种复杂环境。其模块化设计也使得安装和维护更加便捷, 满足了不同用户的需求。

二、高低压成套开关柜电气设计

(一) 主回路设计与元器件选型

在高低压成套开关柜的电气设计中, 主回路设计是核心环节之一, 直接关系到设备的运行效率和安全性。一方面, 主回路设

计需要根据实际负载需求、供电系统的特点以及使用环境进行综合考虑。在工业厂房中，负载通常包括电动机、照明设备和其他动力设备，这些设备的启动电流和运行电流差异较大，因此在设计时需要合理分配回路，避免因某一回路过载而影响整体系统的稳定性。另一方面，元器件选型是主回路设计的关键步骤。断路器、接触器、熔断器等元器件的选择不仅要满足额定电流和电压的要求，还要考虑其分断能力、短路保护能力以及使用寿命。在频繁启动的电动机回路中，断路器的选型需要具备较高的分断能力和抗冲击能力，以确保在电动机启动瞬间不会误动作^[1]。同时，接触器的选型则需要考虑其机械寿命和电气寿命，以适应频繁操作的需求。除此之外，主回路设计还需考虑系统的可扩展性和维护便利性。例如，在配电系统中预留一定的备用回路，可以为未来设备的增加提供便利。元器件的布置也应合理，确保在维护时能够方便地进行检查和更换。通过科学的主回路设计和精准的元器件选型，可以有效提升开关柜的运行效率和可靠性。

（二）二次回路设计与控制逻辑优化

二次回路设计是高低压成套开关柜电气设计中的重要组成部分，主要用于实现设备的监控、保护和控制功能。二次回路的设计需要紧密结合实际应用场景，确保控制逻辑的合理性和可靠性。在变电站中，二次回路需要实现对断路器的远程控制、信号采集以及故障保护等功能，这就要求设计人员对控制逻辑进行详细分析和优化。控制逻辑的优化是二次回路设计的核心任务之一。在实际应用中，控制逻辑的复杂性往往与设备的运行要求密切相关。例如，在多台电动机并联运行的场景中，控制逻辑需要实现电动机的顺序启动、故障互锁以及负载均衡等功能。通过合理的逻辑设计，可以避免因某一电动机故障而导致整个系统停机风险。二次回路设计还需要考虑信号的准确性和抗干扰能力。在工业环境中，电磁干扰较为常见，因此二次回路中的信号传输线路需要采取屏蔽措施，并合理布置接地系统，以减少干扰对控制信号的影响。同时，二次回路中的继电器、PLC等元器件的选型也需要满足高可靠性和长寿命的要求，以确保系统的长期稳定运行。

（三）电气安全与防护设计

电气安全与防护设计是高低压成套开关柜电气设计中不可忽视的重要环节，对于设备运行的安全性和操作人员的人身安全具有深远影响。在实际应用中，电气安全设计需要从多个维度进行考虑，包括绝缘防护、短路保护、过载保护以及接地系统设计等。绝缘防护是电气安全设计的基础。在开关柜内部，高压回路与低压回路之间、不同相之间以及回路与柜体之间都需要保持足够的绝缘距离，并采用高质量的绝缘材料进行隔离^[2]。例如，在潮湿或粉尘较多的环境中，绝缘材料的选择需要具备防潮、防尘和耐高温的特性，以防止因绝缘失效而引发的电气事故。短路保护和过载保护是电气安全设计的关键措施。在开关柜中，断路器和熔断器的选型需要与主回路的负载特性相匹配，确保在发生短路或过载时能够及时切断故障回路，避免事故扩大。例如，在大型配电系统中，短路电流可能达到较高的水平，因此断路器的分断能力需要满足系统要求，同时还应配备后备保护装置，以提高

系统的可靠性。接地系统设计是电气安全的重要组成部分。良好的接地系统可以有效降低设备外壳的电位，防止因漏电或绝缘损坏而引发的触电事故。在设计中，接地电阻的控制和接地线路的布置需要符合相关标准，并定期进行检查和维护。此外，对于可能产生静电的场所，还需要采取防静电措施，以保障设备和人员的安全。

三、高低压成套开关柜电气智能化发展

（一）智能监测与故障诊断技术应用

在现代电力系统中，高低压成套开关柜的智能监测与故障诊断技术已经成为不可或缺的一部分。通过引入先进的传感器和监测设备，开关柜能够实时采集运行状态数据，如电流、电压、温度等关键参数。这些数据经过处理和分析后，系统可以自动识别潜在的故障隐患，并在问题发生前发出预警。例如，在工业园区的配电系统中，开关柜的智能监测系统能够检测到某一回路的电流异常波动，及时提醒运维人员进行检查，避免因过载或短路导致的设备损坏或停电事故。智能故障诊断技术的应用，使得开关柜的维护从传统的定期检修转变为基于状态的维护。通过对历史数据的深度学习和模式识别，系统能够准确判断故障类型和位置，提供维修建议。在商业综合体的配电房中，开关柜的智能诊断系统可以通过分析温度变化趋势，判断出某处接线端子的松动问题，并指导维修人员快速处理，从而减少停电时间，提高供电可靠性。

（二）远程控制与自动化系统集成

高低压成套开关柜的电气智能化发展，尤其是在远程控制与自动化系统集成方面，正逐步改变传统电力系统的运行模式。在现代工业环境中，开关柜不仅仅是电力分配的核心设备，更是整个电力系统智能化管理的关键节点。通过远程控制技术，操作人员可以在控制中心实时监控开关柜的运行状态，无需亲临现场即可完成开关操作、参数调整和故障处理。这种技术的应用，不仅提高了工作效率，还大大降低了人员在高压环境下的安全风险。自动化系统集成则进一步提升了开关柜的智能化水平。通过与SCADA系统、PLC控制器等设备的无缝对接，开关柜能够实现自动化的电力调度和故障诊断。例如，在大型制造工厂中，生产线对电力供应的稳定性要求极高，自动化系统可以根据实时负载情况，自动调整开关柜的运行参数，确保电力供应的连续性和稳定性。同时，系统还能在检测到异常时，自动触发保护机制，避免设备损坏或生产中断。在实际应用中，远程控制与自动化系统的集成还体现在对历史数据的分析和优化上。通过对开关柜运行数据的长期积累和分析，系统可以预测潜在的故障风险，提前进行维护，避免突发性故障带来的损失。这种预测性维护不仅延长了设备的使用寿命，还降低了维护成本。

（三）能效管理与数据分析优化

高低压成套开关柜的能效管理与数据分析优化是电力系统智能化发展的重要方向。在高低压成套开关柜的智能化发展中，人工智能（AI）和物联网（IoT）技术的深度融合正在推动其功能和

应用场景的全面升级。通过物联网技术，开关柜中的各类传感器能够实时采集设备运行数据，并将这些数据上传至云端或本地服务器，形成一个庞大的数据网络。例如，在智能工厂中，开关柜的 IoT 系统可以与其他生产设备联动，实时监控电力消耗和设备状态，确保生产线的稳定运行。

人工智能技术的引入，则使得开关柜具备了更强的数据分析和决策能力。通过对海量历史数据的学习，AI 算法能够预测设备故障趋势，优化电力分配策略，甚至自动调整运行参数。在大型商业综合体中，AI 驱动的开关柜系统可以根据人流密度和用电需求，动态调整照明和空调系统的供电模式，实现节能与舒适度的平衡。这种 AI 与 IoT 的结合，不仅提升了开关柜的智能化水平，还为电力系统的精细化管理和高效运行提供了新的可能性^[3]。

四、结语

高低压成套开关柜的电气设计及智能化发展是电力系统现代化的重要方向。通过优化设计、引入智能化技术，开关柜在安全性、可靠性和能效方面取得了显著进步。未来，应进一步推动物联网、大数据和人工智能技术在开关柜中的深度应用，实现设备状态的实时监测、故障的精准预测以及运维的全面自动化。同时，加强标准化建设和技术人才培养，为智能化开关柜的普及和推广奠定基础。只有持续创新与实践，才能推动电力行业向更高效、更智能、更绿色的方向迈进。

参考文献

-
- [1] 王小龙. 探究当前高低压成套开关柜电气设计现状及智能化发展方向 [J]. 大众标准化, 2021, (06): 178-180.
- [2] 邹桂平. 高低压成套开关柜电气设计及智能化发展分析 [J]. 中国设备工程, 2020, (15): 32-33.
- [3] 方兴. 高低压成套开关柜电气设计现状分析及智能化发展方向分析 [J]. 江西建材, 2019, (11): 2-3.

电力系统扩产增效策略在优化营商环境中的应用与实践

李丽

内蒙古电力(集团)有限责任公司阿拉善供电分公司, 内蒙古 阿拉善 750306

摘要： 本文聚焦电力系统扩产增效策略与优化营商环境间的关联，深入剖析电力系统在保障能源供给、降低用电成本、提升供电可靠性与电能质量等维度助推优化营商环境的理论机制。梳理发电、输电、配电及用电各环节关键扩产增效技术路径，探讨智能电网、储能、分布式能源融合发展模式，解析政策扶持、技术创新、市场机制革新的驱动力，展望电力市场化交易拓展、跨区域电力调配优化、绿色电力认证完善的前景，旨在为电力产业及营商环境协同发展提供理论支撑与策略指导。

关键词： 电力系统；扩产增效；营商环境；能源供给；供电可靠性

Application and Practice of Power System Expansion and Efficiency Improvement Strategies in Optimizing Business Environment

Li Li

Alxa Power Supply Branch, Inner Mongolia Power (Group) Co., Ltd. Alxa, Inner Mongolia 750306

Abstract： This article focuses on the correlation between power system expansion and efficiency improvement strategies and optimizing the business environment. It deeply analyzes the theoretical mechanism of how the power system promotes the optimization of the business environment in dimensions such as ensuring energy supply, reducing electricity costs, improving power supply reliability, and power quality. The article sorts out key expansion and efficiency improvement technical paths in power generation, transmission, distribution, and consumption, explores integrated development models of smart grids, energy storage, and distributed energy, analyzes the driving forces of policy support, technological innovation, and market mechanism innovation, and looks forward to the prospects of expanding electricity market transactions, optimizing cross-regional electricity allocation, and improving green electricity certification. The aim is to provide theoretical support and strategic guidance for the coordinated development of the power industry and the business environment.

Keywords： power system; expansion and efficiency improvement; business environment; energy supply; power supply reliability

引言

在全球经济深度融合、国内市场蓬勃发展趋势下，营商环境成为地区及国家吸引投资、激发企业活力的关键要素。电力作为基础性生产要素，贯穿工业生产、商业运营各环节，其供应稳定性、成本高低、质量优劣直接影响企业运营成本与效益。电力系统扩产增效旨在全方位升级电力产能、优化供应流程、提升利用效率，契合当下企业多元电力需求，是夯实营商环境硬件基础、释放经济发展活力的核心举措，对地区经济长期稳健增长意义深远。

一、电力系统支撑营商环境优化的关键维度

在当今经济发展格局中，营商环境的优劣直接关乎企业发展活力与地区经济走势，而电力系统作为关键支撑力量，在多个维度发挥着不可替代的作用。以下将深入剖析其核心维度，探寻电力系统如何精准施策，从能源供给、成本控制，到供电可靠性与电能质量提升，全方位赋能营商环境优化。

(一) 充足能源供给是营商根基

稳定电力供应是企业正常运转“刚需”。伴随产业升级，高

耗能、高精度制造及数据中心涌现，用电负荷激增。电力系统扩产需精准预判负荷增长，依托新建发电设施扩充装机容量；增效侧重于优化发电调度，依不同电源特性与用电峰谷时段，合理调配火电、水电、风电、光电出力，减少“电荒”，保障企业全天候生产，稳固营商环境物质基石。

(二) 降低用电成本赋能企业竞争力

电费是企业运营大额支出，降低用电成本能直接撬动利润杠杆。电力系统增效聚焦电网损耗削减，借智能巡检、设备升级、无功补偿优化潮流分布，减少传输损耗；扩产融入分布式能源项

目，企业就近消纳绿电，降低购电成本与网损附加费，释放资金助力研发创新，增强企业在市场中议价与扩张能力。

（三）提升供电可靠性与电能质量

供电可靠性是指供电系统持续供电的能力，是衡量电能质量的关键指标之一^[1]。电力中断或波动给企业带来停工停产、设备损坏等巨额损失。增效手段如部署智能监控、故障自愈系统，快速定位排除故障，缩短停电时间；扩产涵盖构建冗余输电通道、升级城市配电网，提高抵御自然灾害与设备故障能力；净化电能质量，滤除谐波、抑制电压闪变，契合电子信息、精密仪器生产严苛要求，维系企业生产连续性与产品合格率；制定并下发《供电可靠性提升行动方案》，强化计划刚性执行，通过每月召开停电计划平衡会，综合主、配电网基建检修及客户工程等，开展一停多用，坚持“能转必转、能带不停、先算后停”的原则，落实停电时户数管控要求，开展综合作业，提高停电利用率和不停电作业占比^[2]。

二、电力系统扩产增效核心技术路径

电力系统仿若精密运转的机体，各环节紧密联动，扩产增效策略需渗透至发电、输电、配电与用电全过程，方可全方位激发效能、适配多元需求。本章将拆解各环节关键技术路径，探寻增效“密码”：发电端革新求清洁高效；输电侧优化促远程调配；配电环节升级保可靠供电；用电处挖潜实现节能降耗，合力夯实电力根基。

（一）发电环节革新

在电力领域，火电、风电、光伏与水电均迎来关键技术革新。火电层面，超超临界燃煤发电技术迭代是重中之重。稳步抬升蒸汽压力、温度，燃煤在锅炉内燃烧转化效率大增，热效率直线攀升。应用此技术的成熟机组，煤耗相比传统机组降低 10% – 15%，二氧化碳等污染物排放也随之削减^[3]。同时，灵活调峰技术赋能火电，使其能依用电峰谷、新能源出力状况迅速调整功率，精准填补发电空白，稳稳将电网频率维持在 50Hz，电压波动控制在额定值的 $\pm 5\%$ 以内，保障电力供需平衡。

风电领域，大步迈向大型化、低风速适用阶段。研发团队巧用新型材料优化叶片，改良气动外形、降低风阻，结合智能控制算法，依据实时风速、风向灵活调整机组，发电效率稳步提升。光伏方向，科研聚焦高效晶硅与钙钛矿叠层电池技术，融合二者优势，制造成本降低超 20%，转换效率朝 30% 进发^[4]。水电开发秉持生态优先，规划梯级开发，升级水轮机设备，水力转换效率提升 8% – 10%，借智能调度系统按需调配电站出力，扩充可再生能源占比。

（二）输电环节优化

特高压交、直流输电技术已然成为我国电力远距离输送的“王牌”。特高压交流输电凭借其高电压等级，可一次性输送大容量电能，送电距离超 1000 公里时，线路损耗相较于常规高压输电降低 50% 以上，成功突破能源富集地区与负荷中心因地理距离产生的输送阻碍。特高压直流输电则在点对点大容量送电领域优势突

出，送电容量可达 1000 万千瓦^[5]。柔性直流输电技术作为后起之秀，利用全控型电力电子器件，能够精准、快速地调控输电潮流。当新能源发电大规模接入电网时，它可灵活吸纳、平稳送出不稳定的新能源电力；在孤岛供电场景下，按需定制供电方案；应对城市电网扩容难题，高效疏导新增电力，全方位提升电网调配与接纳新能源的灵活性。

如今，输电线路运维迈入智能化时代。无人机搭载高清摄像头、红外热像仪等设备，按预设航线定期巡检，每日可巡查线路数十公里，高效采集线路外观、温度等关键信息；沿线布置的大量在线监测传感器，实时监测导线张力、绝缘子污秽程度等参数，源源不断将数据回传至监控中心。借助大数据分析技术，深度挖掘数据价值，精准预测线路覆冰厚度、山火发生概率、雷击高发区域等潜在隐患，提前部署防范措施。智能机器人带电作业更是一大突破，它能在不停电状态下完成绝缘子更换、导线修补等复杂检修任务，将停电检修时长从以往的数小时缩短至 1 – 2 小时，延长线路使用寿命超 20%，切实保障输电线路安全、稳定运行，降低运维成本与停电损失^[6]。

（三）配电环节升级

智能配电网建设是当下配电领域的核心任务。全面部署智能电表，实现用户用电数据的高精度、实时采集，每 15 分钟便可上传一次用电数据，为电费结算、需求侧管理提供精准依据^[7]；分布式能源管理系统如同“智慧管家”，实时监控分布式电源发电状态，协调其与大电网间的功率交互，保障友好接入。配网自动化装置则是故障处理的“急先锋”，一旦线路发生故障，能在 10 秒内快速定位、隔离故障点，并通过优化配电网拓扑结构，推广环网供电、组建微电网集群，实现故障区域快速切换转供，停电范围缩小 60% – 80%，大幅提升供电可靠性，增强用户用电满意度。

在配电环节，无功补偿与谐波治理至关重要。动态无功补偿装置（SVG）凭借快速响应特性，实时监测配电网无功功率变化，毫秒级调整输出，精准补偿无功，将配电网电压偏差控制在 $\pm 3\%$ 以内，维持电压稳定。有源电力滤波器（APF）利用先进的滤波算法，精准识别并实时滤除电网中的谐波成分，谐波消除率达 95% 以上，净化电能质量。这有效保护工业生产线上精密仪器、自动化设备免受谐波干扰，设备故障率降低 30% – 50%，设备维护周期延长 50%，降低工业用户设备维护成本，提升生产效率。

（四）用电环节挖潜

工业电机节能改造是削减工业用电的关键举措。大力推广高效永磁电机，其采用高性能永磁材料，磁导率高、损耗低，相较于普通异步电机，能效提升 10% – 15%；搭配变频调速技术，依据生产实际负荷，通过改变电机电源频率智能调整转速，避免电机长期处于高负荷、低效率运行状态。建立电机群集中管控系统，实时监测、分析电机运行参数，远程调控电机启停与转速，挖掘节能潜力可达 20% – 30%，大幅削减工业用电大户能耗支出，助力企业降本增效^[8]。

在建筑领域，节能与蓄能技术推广正稳步推进。绿色建筑将太阳能光伏板巧妙集成于屋面、墙面，充分利用建筑外立面采集太阳能发电，装机容量依建筑规模可达数十千瓦至数百千瓦，实

现部分电力自产自消，余电平稳上网。地源热泵则借助浅层地热能，为建筑提供供暖、制冷服务，能效比传统空调系统高 30% – 40%。推广蓄冷蓄热技术，利用峰谷电价差，在夜间低谷电价时段蓄冷蓄热，白天高峰时段释放，缓解用电高峰压力，提升建筑能源综合利用效率，降低建筑用电成本 20% – 30%。

三、电力系统扩产增效协同发展模式

在电力系统迈向扩产增效的征程中，各环节绝非孤立运作，协同发展模式成为解锁更高效率与效益的关键密码。当下，智能电网、储能技术以及分布式能源与大电网的互补整合，正重塑电力供应生态，促使发电、输电、配电、用电各流程紧密衔接，实现 1 + 1 > 2 的聚合效果，以下将深入拆解这三大协同模式。

（一）智能电网赋能多元协同

智能电网搭建能源互联网架构，贯通发电、输电、配电、用电各环节信息交互。用户侧实时用电数据反馈指导发电计划精准制定；分布式能源借微电网智能管控实现“即插即用”，余电灵活交易^[9]；电动汽车充电桩有序充电、车网互动，吸纳过剩电能，平抑负荷波动，全方位提升电力系统整体效率与灵活性。

（二）储能技术融合时空调节

锂电、抽水蓄能、压缩空气储能多元发展，发电侧储能平抑新能源出力波动，提升电能品质，辅助机组调频调峰；输电侧储能“虚拟惯量”支撑电网暂态稳定；用电侧峰谷套利、应急保电，打破电力供需时空限制，解锁系统增效扩能新路径。

（三）分布式能源与大电网互补

分布式光伏、风电、生物质发电贴近用户消纳，削减传输损耗；大电网发挥兜底保障、跨区域调配优势，双向互济平衡供需。借助电网能量管理系统与虚拟电厂运营模式，整合分布式资源参与电网调峰、备用，拓展电力供应边际效益。

四、电力系统扩产增效驱动机制剖析

在电力系统迈向扩产增效的征程中，背后蕴含着多元驱动力量，它们相互交织、协同发力，为行业革新注入强劲动能。政

策、技术与市场宛如三驾马车，政策从顶层规划铺就发展路线；技术凭借创新之力打破瓶颈；市场借机制革新盘活资源。以下将深入拆解各驱动要素，探寻其如何撬动电力系统升级杠杆，赋能营商环境优化。

（一）政策扶持引导产业方向

国家能源发展规划锚定电力扩产规模与结构优化目标，以补贴、税收优惠扶持清洁能源发电^[10]；绿色金融政策撬动社会资本投入储能、智能电网项目；电价改革疏导成本、激励能效提升，引导电力行业绿色、高效发展，契合优化营商环境长期战略。

（二）技术研发催生创新动力

产学研深度融合，高校、科研院所前沿技术成果向电力行业转化；企业加大研发投入攻克核心技术，国家重点实验室、工程技术中心孵化创新集群；大数据、人工智能、区块链赋能电力运维、交易、调度智能化革新，为扩产增效注入持续动力。

（三）市场机制激发内生活力

电力市场化交易扩大范围，以双边协商、集中竞价赋予用户选择权，倒逼电力企业降本增效；辅助服务市场量化调峰、调频、备用价值，激励发电企业灵活运营；碳交易市场链接电力碳排放成本与效益，撬动清洁能源投资，以市场“无形之手”优化资源配置。

五、结束语

电力系统扩产增效与优化营商环境深度绑定、协同共进。借技术革新、模式重构、机制优化，全方位升级电力供应效能，降低企业用电成本、提升可靠性与质量，激发经济内生动力。未来，持续深化电力市场化改革、跨区调配协作与绿色电力推广，将夯实电力系统作为营商环境关键支撑地位，为经济高质量、可持续发展蓄势赋能，引领能源与经济良性互动新范式。

需明确，电力系统发展受资源、技术、政策多重动态约束，后续研究应聚焦复杂工况下扩产增效策略韧性评估、多元主体利益博弈平衡及国际先进经验本土化适配，持续迭代策略框架，保障电力服务与营商环境契合度稳步上扬。

参考文献

- [1] 薛静, 李建琦. 多措并举持续提高供电可靠性 [J]. 农村电工, 2023, 31(04): 41–42. DOI: 10.16642/j.cnki.ncdg.2023.04.020.
- [2] 戴超凡, 李文. 通过配网规划和改造提高供电可靠性的技术分析 [J]. 产业科技创新, 2023, 5(06): 87–89.
- [3] 刘永华. 提高 110 kV 煤化工变电站供电可靠性的探讨 [J]. 大氮肥, 2023, 46(05): 344–348.
- [4] 王新宇. 提高配电网供电可靠性策略研究 [J]. 光源与照明, 2023, (07): 198–200.
- [5] 宋兴郡. 提高煤矿供电系统可靠性的措施 [J]. 能源与节能, 2023, (06): 213–215. DOI: 10.16643/j.cnki.14–1360/td.2023.06.030.
- [6] 王生新. 浅议提高煤矿供电系统可靠性的措施 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2022, (23): 139–141. DOI: 10.13487/j.cnki.imce.022955.
- [7] 丁弋. 如何提高农村电网的供电可靠性 [J]. 农村电工, 2022, 30(02): 41. DOI: 10.16642/j.cnki.ncdg.2022.02.041.
- [8] 文敏. 刍议农村供电线路故障原因及提高供电可靠性办法 [J]. 农村电气化, 2021, (10): 75–76. DOI: 10.13882/j.cnki.ncdqh.2021.10.027.
- [9] 曹龙. 提高煤矿供电系统可靠性的措施与对策 [J]. 矿业装备, 2021, (04): 146–147.
- [10] 祝科, 吴斌. 国网湖北电力提高武汉配网供电可靠性 [N]. 国家电网报, 2021–07–19(003). DOI: 10.28266/n.cnki.ngjdw.2021.002570.

工业4.0背景下的电气自动化发展：挑战与机遇

桑生福

西安辉煌软件信息产业有限公司，陕西 西安 710075

摘要： 工业4.0时代的来临，为电气自动化行业带来了深远变革。本文深入探讨工业4.0背景下电气自动化所面临的挑战与机遇。通过分析技术、系统集成、人才等层面的挑战，以及在智能制造、工业互联网、新能源等领域的机遇，旨在为电气自动化领域的从业者及相关企业提供决策参考，助力其在工业4.0浪潮中实现可持续发展。

关键词： 工业4.0；电气自动化；挑战；机遇

Development of Electrical Automation in the Context of Industry 4.0: Challenges and Opportunities

Sang Shengfu

Xi'an Huihuang Software Information Industry Co., Ltd. Xi'an, Shaanxi 710075

Abstract： The advent of the Industry 4.0 era has brought profound changes to the electrical automation industry. This article delves into the challenges and opportunities faced by electrical automation in the context of Industry 4.0. By analyzing the challenges at the levels of technology, system integration, and talent, as well as the opportunities in areas such as smart manufacturing, industrial internet, and renewable energy, the aim is to provide decision-making references for practitioners and related enterprises in the field of electrical automation, assisting them in achieving sustainable development in the wave of Industry 4.0.

Keywords： Industry 4.0; electrical automation; challenges; opportunities

引言

工业4.0作为全球制造业发展的重要趋势，正重塑着工业生产的模式与格局。它以智能制造为核心，借助物联网、大数据、云计算、人工智能等前沿技术，构建起高度智能化、灵活化的生产体系。电气自动化作为工业生产实现自动化、智能化的关键支撑技术，在工业4.0的大背景下，既迎来了前所未有的发展机遇，也面临着诸多严峻挑战。深入剖析这些挑战与机遇，对推动电气自动化行业的持续进步、促进制造业的转型升级具有重要意义。

一、工业4.0概述

（一）工业4.0的内涵

工业4.0（Industry 4.0）是基于工业发展的不同阶段作出的划分，按照共识，工业1.0是蒸汽机时代，工业2.0是电气化时代，工业3.0是信息化时代，工业4.0则是利用信息化技术促进产业变革的时代，也就是智能化时代。2013年时德国最先提出工业4.0的概念，其核心目的是提高德国工业的竞争力，提升制造业的智能化水平，充分运用信息通信技术与信息物理系统（CPS），促使制造业向智能化迈进^[1]。这一进程涵盖智能工厂、智能生产、智能物流等多个关键领域，强调通过设备互联、数据共享与智能决策，达成生产过程的自动化与智能化，从而有效提升生产效率、降低生产成本、保障产品质量，增强企业在全球市场的竞争力。

（二）工业4.0的关键技术

物联网技术在工业4.0中起着基石作用，它让工业设备、产

品及生产环节实现相互连接与实时通信。借助在设备上部署传感器、执行器等智能终端，将物理世界中的设备与系统数字化并接入网络，实现设备间及设备与系统间的互联互通，为工业4.0的智能化生产源源不断地提供基础数据^[2]。在智能工厂里，借助物联网技术，可实时监测设备运行状况、生产线上物料的流动轨迹，以便及时察觉问题并进行优化调整。

大数据技术能够对工业生产中产生的海量、多源、异构数据进行收集、存储、处理与分析。通过数据挖掘与机器学习算法，从数据中提炼有价值的信息，为企业的生产决策、设备维护、质量把控等提供有力依据。云计算则为大数据处理赋予强大的计算与存储能力，企业可按需灵活租用云计算平台资源，降低信息化建设成本。例如，利用大数据分析能够预测设备故障发生时间，提前安排维护，防止生产中断；借助云计算平台，企业可远程监控与管理生产过程，提升管理效能。

人工智能在工业4.0中占据关键地位，包含机器学习、深度学

习、专家系统等多个领域。在生产过程中,人工智能可实现智能控制、质量检测、故障诊断等功能。比如,运用深度学习算法训练模型,对生产线上产品进行质量检测,能快速、精准识别产品缺陷;依靠专家系统诊断设备故障,给出解决方案,提高设备维护的效率与准确性^[3]。

CPS是计算、通信与控制深度融合的系统,通过对物理世界的实时感知、计算分析与精准控制,达成物理系统与信息系统的交互协同。在工业4.0中,CPS将工厂中的设备、生产线、物流系统等物理实体与虚拟信息系统相结合,构建闭环智能控制系统,使生产过程更智能、高效、自动化。在智能工厂里,CPS可依据订单需求,自动协调生产设备、物流配送等环节,实现生产过程的优化管控。

二、工业4.0背景下电气自动化面临的挑战

(一) 技术升级挑战

工业4.0时代,电气自动化系统需融合物联网、大数据、人工智能等多种先进技术。然而,当下众多电气自动化企业在技术研发与应用时,对这些新兴技术的融合能力欠佳。一方面,企业缺乏既精通电气自动化技术,又熟悉新兴技术的复合型人才,致使技术融合过程中遭遇人才瓶颈;另一方面,不同技术间的标准与接口存在差异,加大了技术融合难度。将物联网技术融入电气自动化系统时,需解决传感器与电气设备通信协议不兼容问题,以及如何在电气自动化系统中有效传输与存储大量采集数据^[4]。

受工业4.0推动,电气自动化技术更新换代迅速,新产品、新技术不断涌现。这对企业的技术研发投入与创新能力提出更高要求。企业需持续投入大量资金用于技术研发,以紧跟技术发展步伐。同时,因技术更新快,企业原有的技术与设备可能很快被淘汰,面临较大投资风险。随着工业机器人技术发展,传统电气自动化生产线可能需升级改造以适配工业机器人应用,但此过程不仅资金投入大,还可能遭遇技术兼容性等难题。

(二) 系统集成挑战

工业4.0环境下,电气自动化系统需与企业其他管理系统(如企业资源计划ERP、制造执行系统MES等)及不同品牌、型号设备集成^[5]。然而,不同系统与设备的通信协议、数据格式等存在差异,导致系统集成时兼容性问题突出。企业引入新自动化设备时,可能发现其与现有电气自动化系统无法无缝对接,需耗费大量时间与精力开发接口、调试,增加系统集成成本与难度。

随着电气自动化系统数字化、网络化程度加深,数据安全与隐私保护成为系统集成不可忽视的问题。工业4.0中,大量生产数据、设备运行数据在系统间传输、共享,这些数据包含企业核心商业秘密与客户隐私信息。一旦数据泄露,将给企业造成巨大损失。黑客攻击可能致使企业生产数据被篡改或窃取,影响生产正常进行,甚至引发安全事故。所以,系统集成时需构建完善的数据安全防护体系,保障数据安全与完整。

(三) 人才需求挑战

工业4.0背景下的电气自动化需要既具备扎实的电气自动化

专业知识,又掌握物联网、大数据、人工智能等新兴技术的复合型人才。这类人才不仅要能够设计和开发电气自动化系统,还要能够将其与其他先进技术进行融合,实现系统的智能化和高效化^[6]。然而,目前高校的专业设置和人才培养模式相对滞后,难以满足企业对复合型人才的需求。同时,企业内部对员工的培训和再教育机制也不够完善,导致员工的知识 and 技能无法及时更新,难以适应工业4.0时代的发展要求。

现有的电气自动化人才培养体系在课程设置、实践教学等方面与工业4.0的产业需求存在脱节现象。在课程设置上,传统的电气自动化专业课程侧重于电气控制、电机拖动等基础知识的传授,对新兴技术的课程设置较少。在实践教学方面,实践环节往往与实际生产场景脱节,学生缺乏在真实工业环境中解决问题的能力。这使得培养出来的学生在进入企业后,需要较长时间的培训和适应才能胜任工作,影响了企业的人才储备和发展。

三、工业4.0背景下电气自动化发展的机遇

(一) 智能制造领域的机遇

电气自动化技术是智能工厂建设的核心支撑技术之一。在工业4.0驱动下,企业对智能工厂建设需求渐增。电气自动化系统可实现生产设备自动化控制、实时监测与远程管理,提升生产过程智能化程度。借助该系统,能实现生产线上设备自动启停、运行参数自动调整,以及设备故障实时诊断与预警,进而提高生产效率、降低成本、提升产品质量^[7]。同时,电气自动化系统与物联网、大数据等技术融合,可达成智能工厂中设备、人员、物料等信息的互联互通与数据共享,为企业生产决策提供精准依据。

工业机器人在智能制造中作用关键,电气自动化技术是其实现精确控制与高效运行的要点。工业4.0时代,随着制造业对智能化生产需求持续攀升,工业机器人应用范围将不断拓展。电气自动化技术发展可为工业机器人提供更先进控制系统、更精确传感器技术与更高效动力驱动系统,增强工业机器人性能与智能化水平。凭借先进电气自动化控制技术,工业机器人能实现更复杂动作控制、更高定位精度与更快响应速度,以更好适配不同生产场景与任务要求^[8]。

(二) 工业互联网领域的机遇

工业互联网作为工业4.0重要构成,为电气自动化发展带来新机遇。电气自动化系统接入工业互联网,能实现设备、企业及产业链上下游的互联互通与协同创新。于工业互联网平台,企业可汇聚、分析并应用电气自动化系统产生的数据,挖掘潜在价值,实现生产过程优化管理与资源高效配置。企业可借平台实时监测设备运行状态,依数据分析结果制定、调整设备维护计划,提升设备利用率与可靠性;还能与供应商、客户等信息共享、协同合作,优化供应链管理,增强市场响应能力。

伴随工业互联网发展,远程监控与运维服务成为电气自动化重要发展方向。借助工业互联网技术,企业可远程实时监控不同地区的电气自动化设备,及时获取运行数据与状态信息。设备故障时,能通过远程诊断快速定位故障原因并修复,减少停机时

间，提升运行效率^[9]。同时，该服务可为企业提供设备预测性维护，经分析预测设备运行数据，提前察觉潜在故障隐患，及时维护保养，降低故障率，延长设备使用寿命。这既为企业节省人力、物力、财力，也为电气自动化企业开拓新业务领域与市场空间。

（三）新能源领域的机遇

在全球能源转型的大背景下，新能源发电（如太阳能、风能、水能等）发展迅猛。电气自动化技术在新能源发电系统中至关重要，可实现对新能源发电设备的自动化控制、监测与保护，提高发电系统的发电效率与稳定性。在太阳能光伏发电系统中，电气自动化系统通过最大功率点跟踪（MPPT）技术，实时调整光伏板工作状态，使其保持最大功率输出，提升太阳能转换效率；在风力发电系统中，电气自动化系统依据风速、风向等参数自动调节风机叶片角度与转速，保障风力发电高效稳定运行。同时，电气自动化系统还能实时监测新能源发电系统设备运行状况，进行故障诊断，确保系统安全可靠运行^[10]。

新能源汽车产业是工业4.0时代的新兴产业。电气自动化技术在新能源汽车研发、生产与应用中应用前景广阔。在研发方面，电气自动化技术用于电动汽车电池管理系统、电机控制系统、自

动驾驶辅助系统等关键部件设计开发，提升新能源汽车性能与安全性。在生产过程中，电气自动化技术实现汽车生产线上自动化装配、检测与质量控制，提高生产效率与产品质量。在应用方面，电气自动化技术为新能源汽车提供智能充电管理、远程监控等服务，改善用户使用体验。随着新能源汽车产业快速发展，电气自动化企业将迎来巨大市场机遇。

四、结论

工业4.0时代的电气自动化发展之路充满挑战与机遇。技术升级方面，企业需攻克新兴技术融合难题，应对技术快速更新；系统集成中，要解决兼容性与数据安全问题；人才需求上，亟待培养复合型人才，完善人才培养体系。而在机遇层面，智能制造领域的智能工厂建设与工业机器人应用提升，工业互联网领域的系统融合与远程服务拓展，以及新能源领域对发电系统和新能源汽车产业的助力，为电气自动化发展提供了广阔空间。电气自动化行业各方需积极应对挑战，把握机遇，加强技术创新、人才培养与产业协同，方能在工业4.0浪潮中实现持续、稳健发展，为制造业智能化转型与经济高质量发展贡献力量。

参考文献

- [1] 侯佳宁. 工业4.0技术：建立绿色钢铁企业的关键[J]. 产业创新研究, 2024, (08): 37-39.
- [2] 刘月强, 王婷. 工业4.0时代：物联网与大数据融合的挑战与机遇[J]. 内蒙古科技与经济, 2024, (08): 10-12+17.
- [3] 刘雄. 工业4.0时代工业企业成本控制研究[J]. 现代企业文化, 2024, (11): 40-42.
- [4] 吴陆跃. 工业4.0时代，如何数智升级电梯制造业[J]. 信息化建设, 2024, (03): 61-62.
- [5] 黄展湖, 朱牧野, 文水平. 工业4.0框架下的桥技术染色配方精准定制[J]. 染整技术, 2024, 46(01): 56-59.
- [6] 王迎. 工业4.0时代应用型大学人才培养模式研究[J]. 北华航天工业学院学报, 2023, 33(05): 47-49.
- [7] 孙仁忠. 电子电工技术在电力系统的应用与探究分析[J]. 电子元器件与信息技术, 2022, 6(11): 227-230.
- [8] 牟洵. 电力系统运行中电气自动化技术的应用路径分析[J]. 家电维修, 2023, (12): 44-46+57.
- [9] 胡港国. 电气自动化技术在电力系统运行中的应用[J]. 自动化应用, 2023, 64(S2): 125-127.
- [10] 冯润根. 电气自动化系统对农业机械生产效率的影响与改进[J]. 农机使用与维修, 2024, (05): 100-102+179. DOI: 10.14031/j.cnki.njwx.2024.05.031.

