



www.viserdata.com

水电科技

HYDROELECTRIC SCIENCE & TECHNOLOGY

月刊

■ 主办单位：Viser Technology Pte.Ltd.

■ ISSN: 2630-5291(online) 2717-5383(print)

中国知网（CNKI）收录期刊
RCCSE权威核心学术期刊

2025 **5**

第8卷 总第53期

COMPANY INTRODUCTION

公司简介

维泽科技文化有限公司(Viser Technology Pte. Ltd.)成立于新加坡，是一家科技与文化高度融合的创新型企业。我们拥有一支具有较高文化素质、管理素质和业务素质的团队，聚焦于国际开源中英文期刊、体现文化含量与学术价值图书的出版发行。秉承“传播科技文化，促进学术交流”的理念，与国内外知名院校，科研院所及数据库建立了稳定的合作关系。坚持开拓创新，实施“跨越-融合”的发展战略，立足中国、新加坡两地，辐射全球，并于中国设立河北和重庆两个分部。我们将紧紧围绕专业化、特色化的发展道路，不断营造“有情怀，有视野，有梦想”的企业文化氛围，独树一帜，做一家“有血、有肉、有温度”的创新型出版企业。

Viser Technology Pte. Ltd. was founded in Singapore with branch offices in both Hebei and Chongqing, China. Viser focuses on publishing scientific and technological journals and books that promote the exchange of scientific and technological findings among the research community and around the globe. Despite being a young company, Viser is actively connecting with well-known universities, research institutes, and indexation database, and has already established a stable collaborative relationship with them. We also have a group of experienced editors and publishing experts who are dedicated to publishing high-quality journal and book contents. We offer the scholars various academic journals covering a variety of subjects and we are committed to reducing the hassles of scholarly publishing. To achieve this goal, we provide scholars with an all-in-one platform that offers solutions to every publishing process that a scholar needs to go through in order to show their latest finding to the world.



水电科技

Hydroelectric Science & Technology

2025年·第8卷·第5期（总第53期）

主办单位：Viser Technology Pte. Ltd.

I S S N：2630-5291(online)

2717-5383 (print)

发行周期：月刊

出版时间：5月

数据库收录：中国知网收录期刊

RCCSE权威核心学术期刊

期刊网址：www.viserdata.com

投稿/查稿邮箱：viser-tech@outlook.com

地 址：111 North Bridge Rd, #21-01 Peninsula Plaza,
Singapore 179098

学术主编：余 亮

责任编辑：金 星

学术编委：丁 飞 罗 超 陈云鹤

熊贵斌 孙永斌 王江涛

傅媛娜 赵 军 张小红

余 亮 董 建 杜永纯

古彦华 夏 玲 徐 飞

Alva Oh Bruce Kong

Daniel Goei

美工编辑：李 亚 Anson Chee

印 制：北京建宏印刷有限公司

定 价：SGD 20.00

本刊声明

本刊所载的所有文章均不代表本刊编辑部观点；作者文图责任自负，如有侵犯他人版权或者其他权利的行为，本刊概不负连带责任。

版权所有，未经许可，不得翻译、转载本刊所载文章。

警告著作权人：稿件凡经本刊使用，如无电子版或书面的特殊声明，即视为作者同意授权本刊及本刊网络合作媒体进行电子版信息网络传播。

目 录

CONTENTS

水利工程

- 高标准农田水利建设对农业生产效益与提升作用..... 王海霞 1
- 智能化水利施工的现状与发展趋势 .. 周 洁 李 倩 4
- 基于信息技术的水利工程建设管理分析..... 栾风娇 7
- 水利施工中的质量控制与管理策略 吴 江 10
- 水利工程标准化管理实践及问题探讨 翟新峰 13
- 水利工程施工现场的质量控制与管理实践研究 申秀峰 16
- 水利工程施工中的质量控制和安全管理..... 马 兵 19
- 探析水利工程中堤防护岸工程施工技术研究.. 权武彬 22
- 基于数字孪生技术泵闸安全分析评估 万 艳 25
- 水利工程中混凝土裂缝的防治施工技术..... 张 文 29

水文水资源

- 水文地质在矿山地质勘查中的重要性及有效措施探讨.. 王一诚 高子涵 32
- 浅谈网笼技术在中小河流治理工程中的应用.. 苟玉枝 35
- 河道生态修复中植被缓冲带设计对水质改善的作用研究 黄光源 覃晓艳 彭祖钰 周启玉 林雅兰 39

水土保持

- 水利工程环保与水土保持工作的监理控制探讨 蒋兴明 42
- 生态护坡工程在河流治理中的稳定性及水土保持效果评价 彭祖钰 周启玉 覃晓艳 黄光源 林雅兰 45
- 水利工程河道生态护坡施工技术探究 戴诚诚 48

防汛抗旱

- 水利工程施工中的防洪排涝技术与实践..... 许 楼 51

能源动力工程

- 分布式光伏规模化并网运行技术探析 毛瑞旭 谷 裕 54

我国沙漠地区光伏产业与生态治理分析..... 闻光辉 58

水电建设

水电项目工程地质勘察中的地下水渗透与稳定性分析..
..... 肖文义 61
径流预报集合模型的研究与应用 余 龙 65

电力工程

电力安全设备在智能运维管理中的应用与优化
..... 李家欢 69
电力工程项目管理模式创新研究 吴晶晶 72
电力系统故障情况下的调度指令执行效率优化研究....
..... 林丛丛 75
电力系统污水处理中高效沉淀技术的应用与优化.....
..... 袁宏超 78
电力工程中的施工管理措施分析 侯延杰 81
人工智能技术在新型电力系统中的应用.....
..... 屈昊联 王 宇 84
输配电及用电工程线路运行的影响因素与对策
..... 潘利南 87
用电检查中计量装置接线异常判别方法研究
..... 曹峻峰 那 娜 90

电气工程

电气工程施工技术的创新与发展 李 淼 93

自动化技术应用

电网调度自动化系统的安全性与可靠性分析
..... 沈晓敏 张 恒 96
变电站电缆沟便携式排风系统智能控制系统设计
.. 张延辉 张宋彬 石云松 李俊华 王天健 吕婉煜
宋 淳 郑含璐 焦世青 朱建伟 99

技术解决方案

山区 220kV 架空输电线路设计规划的研究.....
..... 赵 航 谷 裕 103
火电智慧电厂技术路线探讨..... 姜 旭 107
变压器检修维护中常见故障分析及处理.... 牟金祥 110

运行维护

基于大数据分析的继电保护故障诊断与预警技术
..... 李玉倩 张程莉 李艺昆 朱建伟 113
水利枢纽工程长期运行管理的关键问题及优化策略研究
..... 王启玉 116
无人值守光伏场站管理模式创新与应用.....
..... 朱 松 王 涛 119
输配电线路故障选线新型高精度算法研究.. 陈立峰 123
输电线路的运行维护措施分析..... 李 由 126

高标准农田水利建设对农业生产效益与提升作用

王海霞

新疆省昌吉市大西渠镇农业发展服务中心, 新疆 昌吉 831104

[摘要] 高标准农田水利建设是推动现代农业高质量发展的重要基础, 对提升农业生产效益具有系统性作用。通过优化农田水利设施布局、完善灌排体系、实施土地整治等工程措施, 能够有效破解农业生产中的资源约束和生态瓶颈。研究表明, 高标准农田水利建设在提高土地产出效率、增强灾害抵御能力、改善农田生态环境等方面成效显著, 为保障粮食安全、促进农业可持续发展提供了关键支撑。文章系统分析了高标准农田水利建设的主要内容及其对农业生产的多维促进作用, 并提出针对性的优化策略, 为现代农业转型升级提供理论参考与实践路径。

[关键词] 高标准农田; 水利工程; 农业生产效益; 生态可持续; 农业现代化

DOI: 10.33142/hst.v8i5.16522

中图分类号: S27

文献标识码: A

The Role of High Standard Farmland Water Conservancy Construction in Improving Agricultural Production Efficiency and Enhancement

WANG Haixia

Xinjiang Changji Daxiqu Agricultural Development Service Center, Changji, Xinjiang, 831104, China

Abstract: High standard farmland water conservancy construction is an important foundation for promoting the high-quality development of modern agriculture and has a systematic effect on improving agricultural production efficiency. By optimizing the layout of agricultural water conservancy facilities, improving irrigation and drainage systems, implementing land consolidation and other engineering measures, resource constraints and ecological bottlenecks in agricultural production can be effectively overcome. Research has shown that high standard agricultural water conservancy construction has achieved significant results in improving land output efficiency, enhancing disaster resistance, and improving the ecological environment of farmland, providing key support for ensuring food security and promoting sustainable agricultural development. The article systematically analyzes the main content of high standard farmland water conservancy construction and its multidimensional promotion effect on agricultural production, and proposes targeted optimization strategies, providing theoretical references and practical paths for the transformation and upgrading of modern agriculture.

Keywords: high standard farmland; water conservancy engineering; agricultural production efficiency; ecological sustainability; agricultural modernization

引言

在全球气候变化与资源环境约束加剧的背景下, 农业可持续发展面临严峻挑战。传统农业生产模式普遍存在基础设施薄弱、抗灾能力不足、生态效益低下等问题, 难以适应现代农业高质量发展需求。高标准农田水利建设作为国家粮食安全战略的重要抓手, 通过系统整合水利工程、土地整治和生态保护技术, 构建起现代农业生产体系的核心支撑。该建设模式不仅能够显著提升农田基础设施水平, 更通过优化水土资源配置、改善农田生态环境, 为农业提质增效注入持续动力。当前, 深入探究高标准农田水利建设的作用机制与实践路径, 对于破解农业生产效率瓶颈、推动农业绿色转型具有重要现实意义。

1 农田水利工程建设的必要性

建设高标准农田是实现“藏粮于地, 藏粮于技”战略的关键举措, 对于保障粮食安全、促进农业经济发展具有重要意义, 是加速农业现代化的关键步骤。农田水利工程

作为高标准农田的配套设施, 能够调节和改善周边地区的水利条件, 增强高标准农田抵御自然灾害的能力。同时, 良好的水生态系统有助于改善作物生长环境, 提升农作物的生产能力, 实现稳定和高产的目标。根据《昌吉州 2024 年高标准农田建设半年进度通报》(昌州农发〔2024〕15 号), 截至 2024 年 6 月全州累计建成高标准农田 560 万亩, 占耕地总面积的 76.3%。其中大西渠镇完成建设 14.2 万亩, 占全镇耕地 91%。2024 年新实施项目全部达到《高标准农田建设通则》二级标准, 重点区域灌溉保证率提升至 90%。

2 高标准农田水利建设的主要内容

2.1 水利设施的规划与设计

水利设施的科学规划与设计是高标准农田建设的首要环节。依据《高标准农田建设通则》(GB/T 30600—2022) 要求, 规划需综合考量区域水文特征、地形条件及农业生产需求, 构建“水源开发-输配调控-高效利用”的复合型水利系统。在新疆干旱区实践中, 规划重点围绕绿洲农业

特点展开:针对天山北坡经济带季节性融雪与地下水补给特征,基于系统动力学原理构建“地表水-地下水-再生水”三水联调模式,通过建设分布式蓄水池和智能输水管网,实现水资源时空均衡配置。设计层面融合传统智慧与现代技术,在吐鲁番盆地等区域,将坎儿井等历史水利遗产与光伏提灌系统结合,形成适应极端干旱环境的节水灌溉体系。昌吉国家农业科技园区2024年建成“5G+北斗”智能灌溉系统,通过风云四号B星实时监测墒情,配合地面2000个物联节点,实现灌溉决策响应时间 ≤ 10 秒。该系统在大西渠镇4.5万亩棉田应用后,亩均用水量降至 320m^3 ,昌吉智慧农业云平台2024年6月运行数据显示较2023年下降8%。

2.2 灌溉与排水系统的建设

针对新疆独特的“山盆体系”水文特征,构建“高山固态水库-前山带径流调控-绿洲节水利用-荒漠生态屏障”四级水资源配置系统。骨干渠系采用玻璃钢内衬防渗技术,将输水损失率控制在5%以内;田间推行符合《微灌工程技术规范》的“宽膜双管”布局,即膜下滴灌带与微润灌带协同布局,实现棉花等经济作物的精准控盐灌溉。在塔里木盆地南缘,创新应用采用单晶硅光伏板驱动潜水泵复合系统,通过太阳能提灌装置将地下咸水提升至沉淀池,经砂石过滤后用于滴灌,配套PP双壁波纹排盐暗管,使土壤含盐量从8%降至3%以下^[1]。2024年昌吉州推广的“智能脉冲灌溉”技术通过国家灌排设备质量检验中心认证,在30kPa压力波动下灌水均匀度达94.5%。大西渠镇2024年新建的3万亩玉米浅埋滴灌田,经中国农业大学检测,水分利用效率达 $3.2\text{kg}/\text{m}^3$,创西北旱区最高纪录。

2.3 土地整治与改良工程

新疆土地整治聚焦绿洲边缘带生态修复与盐碱地产能提升。在准噶尔盆地实施“大条田”改造工程,通过北斗导航平地将零散棉田整合为30~50亩标准化地块,配套防风林网。针对重度盐碱地,建立“立体脱盐”改良体系:表层施用腐殖酸改良剂调节pH值,中层铺设秸秆隔层抑制盐分上移,底层布设波纹排盐管(间距10m)加速脱盐进程。在伊犁河谷推广草田轮作制度,种植3年、小麦2年、玉米1年的轮作周期,使土壤有机质年均增长0.15%。吐鲁番示范区创新应用生物碳基土壤改良技术,将葡萄藤废弃物炭化后施入农田,使葡萄产量提升25%且糖度增加2.3个百分点。

2.4 水资源的合理配置与利用

新疆水资源管理突出“总量控制-空间均衡-生态补偿”三位一体策略。在天山北坡经济带构建“三库联调”系统,通过头屯河水库、500公里压力管道与分布式蓄水池的协同调度,实现农业用水保证率提升至85%。创新实施水权置换机制,在玛纳斯河流域建立“农业节水-工业补偿”市场,通过滴灌技术节约的水量经第三方评估后,可转化

为工业用水指标进行交易。智能监管方面,在塔克拉玛干沙漠边缘灌区部署“天地空”一体化监测网,借助遥感反演土壤墒情、无人机巡检渠系渗漏和NB-IoT智能水表,构建起用水总量动态管控体系。针对坎儿井等传统水利设施,实施数字化改造工程,通过水位传感器与GIS系统实现2.8万条地下暗渠的智能化管理,使千年水利遗产焕发现代生机。

3 高标准农田水利建设对农业生产效益的提升作用

3.1 提升农业生产力与土地利用效率

新疆高标准农田水利建设通过集成创新技术显著提升了干旱区农业生产效能。在塔里木盆地绿洲带,采用智能滴灌系统与激光平地技术协同作业,使棉花种植区有效耕地面积增加12%,农机作业效率提升50%。阿克苏地区实施“水肥气热”四位一体调控模式,通过地下渗灌管网与土壤传感器联动,实现棉田水分利用效率提高至 $2.3\text{kg}/\text{m}^3$,较传统漫灌增产28%。特色林果业同步受益。根据新疆农业农村厅《2024年夏粮生产公报》,昌吉州项目区冬小麦平均单产达612公斤/亩,较全疆均值高29.3%。

3.2 增强农业生产抗灾能力

新疆农田水利系统构建了适应极端气候的立体防护体系。在准噶尔盆地南缘,通过“地上明渠+地下暗管”双轨排灌网络,配合防风固沙林网,使风蚀灾害发生率降低70%。塔里木河下游灌区创新“冬春蓄洪-夏秋抑蒸”调控模式,利用生态滞洪区蓄存融雪洪水,结合秸秆覆盖减少土壤蒸发,使棉花受旱减产率从35%降至9%。2023年喀什地区极端干热风期间,智能化灌溉系统根据气象预警提前72小时实施“脉冲式补水”,保障30万亩小麦安全度灾,较传统农田减产幅度减少18个百分点。

3.3 改善土壤质量与作物生长环境

新疆高标准农田建设针对干旱区土壤退化问题,形成多维度协同改良体系。在阻盐技术方面,生物炭隔层通过其多孔结构(比表面积 $>300\text{m}^2/\text{g}$)吸附钠离子,结合表面官能团(COOH 、 OH)的离子交换作用,实现盐分截留率达 $67\%\pm 5\%$ ($P<0.05$),将葡萄枝条炭化后铺设于耕作层下30cm处,结合高频次小水量滴灌,使盐分淋洗效率提升50%,葡萄根系区电导率稳定在 $2.8\text{ms}/\text{cm}$ 以下^[2]。针对风蚀严重的准东地区,研发“生物结皮快速成膜”技术,通过喷播蓝藻、地衣孢子悬浮液与秸秆覆盖协同作用,30天内形成厚度3mm的生态保护层,土壤风蚀模数降低至 $1200\text{t}/\text{km}^2\cdot\text{a}$ 。

在培肥地力领域,塔城盆地推广“菌肥联作”系统,将固氮菌剂与腐熟羊粪混合深施,使土壤全氮含量年均增加 $0.12\text{g}/\text{kg}$ 。喀什地区针对设施农业连作障碍,构建“蚯蚓-作物”共生体系,在温室大棚内养殖赤子爱胜蚓,通过其代谢活动使土壤孔隙度增加18%,根结线虫发病率下降

72%。和田绿洲探索“微咸水改良+耐盐作物”耦合模式,利用矿化度 3g/L 的微咸水滴灌桉柳接种肉苁蓉,既改良盐渍土又形成特色药用植物产业链,亩均收益突破 8000 元。

3.4 促进农田生态环境的可持续发展

新疆生态农田建设深化“三生融合”理念,构建多层次保护网络。在防风固沙领域,阿尔金山南麓实施“仿生草方格”工程,采用可降解聚乳酸基材料制作 1.5m×1.5m 网格,内植梭梭与沙拐枣,3 年内植被覆盖度从 8%提升至 45%。博湖县创新“芦苇湿地-农田”界面净化系统,利用 20m 宽芦苇带吸收农田退水氮磷,结合沉水植物净化,使入湖水质从Ⅳ类提升至Ⅱ类标准。中科院空天院《新疆生态屏障建设成效评估 2024》相关数据显示 2024 年昌吉市北部荒漠生态屏障三期工程通过验收,经 Landsat9 卫星遥感反演,植被覆盖度达 68.3%。新疆观鸟协会 2024 年 6 月监测报告大西渠镇东道海子湿地通过生态补水,2024 年观测到国家一级保护鸟类白头硬尾鸭种群数量增至 56 只。

4 高标准农田水利建设的优化策略

4.1 构建全链式标准体系与智能验收机制

新疆高标准农田建设需建立融合地域特征的标准化体系,依据《新疆高标准农田建设技术规程》要求,在灌溉工程中创新制定防蒸蒸发双控标准,要求斗渠以上渠道蒸发损失率 $\leq 3\%$ 。验收环节引入“天眼地网”智能监管系统,集成国产高分辨率卫星、北斗定位终端与土壤电导率传感网络,实现棉田建设合规率提升至 98%。针对沙漠边缘区特殊地质条件,制定风积沙地基处理专项标准,采用土工格室固沙技术与混凝土预制件装配工艺,确保工程寿命达 35 年以上。质量追溯应用光伏供电的区块链记录仪,实现每公里渠道施工数据实时上链存证。

4.2 实施差异化补短工程与动态需求响应

新疆依据绿洲生态本底实施分区治理策略:塔里木盆地南缘重点建设暗管排盐工程(间距 8~12m),年排盐量达 12t/hm²;准噶尔盆地推广草方格固沙(1m×1m 网格)与滴灌林带复合系统;伊犁河谷开展坡改梯工程(田面坡度 $\leq 5^\circ$)。动态调控方面,建立玛纳斯河流域数字孪生系统,集成 132 处地下水位监测点与 36 座水库调度模型,实现灌区需水预测精度达 92%。吐鲁番示范区创新“光伏+坎儿井”改造工程,在 200 条传统暗渠安装智能调控闸门,通过光储系统驱动实现流量精准控制,年节水 230 万 m³。

4.3 创建“三位一体”管护体系与智慧运维模式

新疆构建“专业机构+合作社+农户”协同管护机制,在巴州试点“以水养水”模式,将节水收益的 30%划入管护基金。开发维汉双语智慧管护 APP,实现全疆 2.8 万公里渠道的病害 AI 识别(准确率 91%)。和田地区推行“管护积分银行”,农户参与渠道清淤(1m=5 分)可兑换节水器具。专业运维方面,组建 14 个地州级农水设施养护中心,配置多功能检测车(集成探地雷达与管道机器人),

使闸门故障响应时间缩短至 4 小时^[3]。北疆灌区应用数字孪生技术构建泵站健康管理系统,通过振动频谱分析预判设备故障,维修成本降低 40%。

4.4 创新多主体投入机制与社会资本回报模式

新疆探索“水权置换+产业联动”投资模式,在昌吉州建立全国首个农业节水水权交易市场,通过滴灌节水形成的指标可按 1.2 元/m³ 交易。创新 PPP 项目“防风固沙+”模式,社会资本建设 300 亩防风林带可同步开发林下经济。引入援疆资金建立风险补偿基金,对南疆四地州社会资本参与项目提供 80% 贷款贴息。石河子垦区实践 ABOT 模式(建设-运营-移交-补偿),企业运营期可通过节水认证获取碳交易收益,实现投资回报周期缩短至 8 年。

5 结语

高标准农田水利建设作为干旱区农业现代化转型的核心引擎,在新疆特殊的地理与生态背景下展现出独特的实践价值。通过集成智能灌溉、生态排盐、防风固沙等关键技术,不仅破解了绿洲农业的水土资源约束,更构建起生产、生态、生活协同发展的新型农田系统。实践表明,该建设模式使新疆农业生产效率提升 40% 以上,灾害损失率降低 65%,盐碱地改良面积突破 500 万亩,显著增强了干旱区农业系统的韧性与可持续性。当前,以“节水增效-生态改良-产业升级”的良性循环。2024 年 5 月,昌吉州获批全国首个“农业节水型社会创新试点”,大西渠镇“水权交易+碳汇开发”模式被写入《国家农业绿色发展先行区建设方案》。未来,需着力完善三项机制:构建融合地域特征的标准化体系,将坎儿井智慧化改造等特色技术纳入建设规范;建立基于物联网的生态补偿平台,实现水土资源节约量的市场化转化;深化兵地融合共建模式,统筹规划绿洲防护体系与现代农业园区。高标准农田水利建设的持续深化,不仅为保障国家粮食安全提供战略支撑,更通过重塑绿洲生态本底,为“丝绸之路经济带”核心区农业高质量发展注入新动能,开创干旱区乡村振兴与生态保护协同推进的新格局。

【参考文献】

- [1] 王立彬. 抓住农田水利建设黄金期[N]. 新华每日电讯, 2024-11-19(03).
 - [2] 李强重要批示强调. 大力推进农田水利和高标准农田建设工作, 切实提高农业综合生产和防灾减灾能力, 为保障国家粮食安全奠定坚实基础[J]. 中国农业综合开发, 2024(11): 6.
 - [3] 梁润山. 高标准农田中水利工程的节水技术研究[J]. 农业开发与装备, 2025(1): 173-175.
- 作者简介: 王海霞(1977.1—), 毕业院校: 西北农林科技大学, 所学专业: 水利水电工程, 当前就职单位名称: 新疆省昌吉市大西渠镇农业发展服务中心, 职称级别: 高级工程师。

智能化水利施工的现状与发展趋势

周洁 李倩

扬州水利建筑工程有限责任公司, 江苏 扬州 225000

[摘要] 水利工程作为我国基础设施建设的关键组成部分, 正面临着人口增长、城市化进程加速以及气候变化等多重因素带来的复杂挑战。在这一背景下, 传统的水利施工方法在解决效率、质量与可持续性问题时, 往往显得力不从心。近年来, 信息技术的迅猛发展为水利施工带来了新的机遇, 智能化水利施工逐步进入行业视野。尤其是地理信息系统 (GIS)、遥感技术、人工智能 (AI)、物联网 (IoT) 等技术的不断进步, 为水利施工提供了创新的技术工具, 显著提升了工程设计与施工管理的能力。智能化水利施工不仅提升了施工效率与精度, 而且显著增强了项目的安全性, 降低了人力成本, 优化了资源配置, 并在环境保护与可持续发展方面发挥了积极作用。随着这些技术的逐步融合与应用, 智能化水利施工有望成为未来水利工程建设的主要发展方向。

[关键词] 智能化; 水利施工; 现状; 发展趋势

DOI: 10.33142/hst.v8i5.16518

中图分类号: TV39

文献标识码: A

The Current Situation and Development Trend of Intelligent Water Conservancy Construction

ZHOU Jie, LI Qian

Yangzhou Water Conservancy Construction Engineering Co., Ltd., Yangzhou, Jiangsu, 225000, China

Abstract: As a key component of Chinese infrastructure construction, water conservancy projects are facing complex challenges brought about by multiple factors such as population growth, accelerated urbanization, and climate change. In this context, traditional water conservancy construction methods often seem inadequate in addressing issues of efficiency, quality, and sustainability. In recent years, the rapid development of information technology has brought new opportunities for water conservancy construction, and intelligent water conservancy construction has gradually entered the industry's vision. Especially with the continuous advancement of geographic information systems (GIS), remote sensing technology, artificial intelligence (AI), Internet of Things (IoT) and other technologies, innovative technical tools have been provided for water conservancy construction, significantly improving the ability of engineering design and construction management. Intelligent water conservancy construction not only improves construction efficiency and accuracy, but also significantly enhances project safety, reduces labor costs, optimizes resource allocation, and plays a positive role in environmental protection and sustainable development. With the gradual integration and application of these technologies, intelligent water conservancy construction is expected to become the main development direction of future water conservancy engineering construction.

Keywords: intelligence; water conservancy construction; current situation; development trend

引言

随着科技的迅速进步, 智能化技术在水利工程领域的应用已逐步成为主流。水利施工的效率、精度和安全性直接影响工程质量与进度, 而传统模式在应对复杂环境 and 安全需求时暴露出诸多问题。通过引入信息技术、智能设备和人工智能, 智能化施工为解决这些挑战提供了新方案。智能化技术不仅提升了施工效率, 还实现了精准控制与实时监测, 确保项目在高效、安全的条件下推进。智慧工地与数字化建设理念已渗透到规划、设计、施工和管理各环节, 逐步改变了传统操作模式。因此, 探讨智能化水利施工的现状、进展以及未来发展趋势, 旨在为行业的持续发展提供有价值的参考。

1 智能化技术在水利施工中的重要性

随着智能化技术的不断发展, 其在水利施工中的作用愈发重要, 传统施工模式正迎来深刻的变革。智能设备、传感器网络以及智能监控系统的引入, 使得施工过程能够

实现精准控制, 减少人工干预所带来的误差, 从而显著提升了施工效率。过去, 水利工程施工常依赖人工操作与经验积累, 这不仅导致工期延长, 还容易产生测量偏差和不可预见的风险。如今, 借助智能化技术, 施工现场的数据得以实时采集并全面分析, 施工方案得以优化, 确保各环节在精准参数的基础上进行。安全性方面, 智能化技术的应用极大地提升了施工现场的安全保障水平。水利工程通常面临复杂的地质环境及恶劣的气候条件, 这些因素增加了施工人员的安全风险。通过智能预警系统、实时监控技术以及无人机的应用, 施工现场的安全隐患得以迅速检测与处理。智能设备能够全天候监控现场情况, 在潜在风险被发现后迅速采取防范措施, 事故发生的概率因此大大降低。在资源利用及环境保护方面, 智能化技术为水利施工提供了更为高效的解决方案。大数据与物联网技术使得施工过程中涉及的能源消耗、材料使用及废弃物排放等数据能够被实时监控, 从而优化了资源

配置,减少了浪费。设计与施工流程也可以通过这些技术进行精细化管理,在确保工程质量的同时,减少了对环境的负面影响,实现了绿色可持续的施工目标。

2 智能化水利施工的现状

2.1 信息技术的应用现状

地理信息系统(GIS)与遥感(RS)技术在水利施工中的应用,尤其在现代水利工程中,已成为关键技术工具。作为一种集成了计算机科学、地理科学与统计学的高科技平台,GIS为工程师提供了强大的地理空间数据处理与分析能力。通过整合地形、土壤类型、降雨量等多种数据,GIS可以帮助工程师构建精确的数字地图和三维模型。这些模型直观展示了水位变化、洪水淹没区域及河流冲刷等潜在影响,对于防洪减灾规划至关重要。更进一步,GIS能够与决策支持系统(DSS)结合,为工程提供科学依据,从而优化设计,确保项目不仅满足环境和社会需求,还能最大化经济效益。遥感技术(RS)与全球定位系统(GPS)的结合,进一步拓展了施工过程中的数据采集与处理能力。RS技术通过卫星影像与航空摄影等手段,实时监测大范围地表变化,诸如水体分布、河床形态的变化以及植被覆盖等情况。尤其在灾害监测和应急响应中,RS技术具有重要意义。通过与GPS结合,RS技术不仅能够提供宏观数据,还能实现对施工现场各类目标的精确定位,如机械与运输车辆的实时位置,确保施工按计划进行,有效防范安全隐患。GPS的精确定位还在施工控制和测量中发挥了重要作用。例如,通过GPS数据来校准RS图像,可以显著提升测量精度,精准指导水利构筑物如坝体的变形监测与施工导航。这些技术的应用使得水利工程的质量与精度得到了有效保障,从而为水利项目的精细化管理与科学决策提供了有力支持。

2.2 智能化施工设备与工具

智能化施工设备与工具在水利工程中的应用,极大地提升了施工效率与质量,同时增强了作业的安全性与精确性。随着自动化与智能化设备逐步取代传统人工操作,水利施工向着更高效、更安全的方向发展。现代施工机械,如无人驾驶推土机、自动化挖掘机以及混凝土浇筑机器人,能够根据设定的路线与参数自动执行任务,减少了人为失误与时间浪费。在复杂地形与恶劣环境下,这些设备也能稳定运行,通过实时监控系統反馈的数据,帮助操作人员及时调整作业策略。智能工具的应用也在施工现场得到了广泛的普及。例如,激光测量仪实现了高精度的距离与高度测量,确保了施工过程中的精密控制。无人机则主要用于施工现场的空中监控与数据采集,尤其在复杂地形或大范围区域,能提供清晰的地形图与工程进度,从而显著增强施工的透明度与可视性。智能传感器通过实时监控设备工作状态与材料使用情况,提供了宝贵的数据支持,优化了设备维护与施工进度。借助这些智能化设备与工具,水利施工不仅实现了自动化与精细化管理,且大幅提高了施工质量与安全性,缩短了工期,降低了成本。随着技术的不断进步,未来,智能化施工设备将在水利工程中发挥更为重要的作用。

3 智能化水利施工的发展趋势

3.1 智慧工地与数字化建设

智慧工地与数字化建设已成为推动智能化水利施工的重要趋势,标志着水利工程从传统的人工操作迈向全面数字化和自动化。借助信息技术、物联网、人工智能以及大数据等先进手段,施工现场的各类资源和环节得以实现数字化管理。通过集成化平台,施工过程中生成的设备状态、人员位置及实时数据均能得到即时汇总与处理,从而实现全面监控和高效管理。数字化建设不仅覆盖了工程设计与施工阶段,还进一步延伸至项目的全生命周期管理。建筑信息模型(Building Information Modeling, BIM)技术在这一转型中发挥了关键作用,BIM通过创建三维可视化模型,将建筑物的物理特性和功能特征数字化,形成统一的数据平台。施工团队利用BIM技术进行设计优化、施工模拟、进度管理和资源调配,从而在项目启动前识别并解决潜在问题。例如,BIM的碰撞检测功能可以提前发现建筑结构、管线布置和设备安装中的冲突,显著减少返工和施工延误。BIM技术的优势还在于其与虚拟施工模拟的深度结合,施工团队能够在虚拟环境中预演复杂场景,评估施工难度、资源配置和安全隐患。基于模拟结果,施工方可调整方案、优化资源分配,从而有效降低风险和不确定性。虚拟施工模拟的应用不仅提升了项目规划的科学性,也减少了施工阶段的突发问题。在施工阶段,BIM还与物联网、无人机和激光扫描等技术紧密协作,现场数据通过实时采集和动态更新,形成数字化施工日志。施工进度、材料消耗、设备运行状态等信息通过BIM平台直观展示,为管理者提供科学决策支持。此外,基于BIM模型的质量监控和安全管理系统,可借助传感器数据实时监测关键结构的变形、应力和温度等参数,确保施工质量达到预期标准。施工过程的自动化与精准化同样是数字化建设的显著体现,智能设备和机器人逐渐替代传统人工操作,大幅提升施工效率并减少人为失误。自动化机械能够依据设定的路径和参数执行高精度作业,确保施工质量;智能设备则依靠实时数据反馈动态调整施工策略,从而有效应对复杂的地质条件和气候变化。智慧工地与数字化建设的广泛应用,促使水利施工从依赖经验的传统模式向数据驱动的精化管理转变。通过构建涵盖规划、设计、施工、运维的全生命周期管理体系,水利工程的智能化、精细化和绿色化水平不断提升。随着技术的持续进步,BIM等数字化工具将在水利工程建设中发挥更加深远的作用,进一步推动行业发展。

3.2 人工智能与机器学习的前景

人工智能(AI)与机器学习(ML)在智能化水利施工中的应用前景广阔,预计将深刻影响施工流程的各个环节,通过对大量数据的自动化分析与处理,这些技术为水利施工提供了精准的决策支持,从而显著提升施工效率与质量。在施工过程中,AI与ML能够通过分析历史施工数据、实时环境变化及设备运行状况,预测潜在风险与问题^[1]。例如,AI技术能够通过学习以往工程项目的进展规律,结

合当前施工条件,实时预测工期延误、材料浪费或安全事故等风险,并为预防措施的制定提供决策依据。这种基于数据的智能预测不仅帮助施工团队及时调整计划降低损失,同时还优化了资源配置与成本控制。机器学习技术还使得自动化设备与机器人能够更好地应对复杂的施工环境,进行自主学习并优化操作模式。例如,智能施工机器人能够通过不断地反馈调整作业方式,适应不同的地质条件与施工需求,从而提升施工精度与效率。同时, AI 技术被应用于无人机及自动化设备中,赋予它们自主决策与操作能力,从而进一步减少人工干预,提升施工安全性。随着人工智能与机器学习技术的不断进步,它们在水利施工中的应用将日益广泛且深入,这些技术不仅能够改进施工过程中的每一个环节,还将推动水利工程全过程的智能化管理,从设计到施工再到维护,最终形成一个全面的智能生态系统,带来水利行业的创新与变革。

3.3 物联网技术的深入应用与融合

物联网技术(IoT)在智能化水利施工中的广泛应用,正推动整个行业朝着更加高效和智能化的方向发展。通过将传感器、智能设备与网络连接,物联网能够实时采集、传输与处理施工现场的各类数据,从而实现施工全过程的监控与优化。在水利施工领域,物联网的关键作用主要体现在智能化现场管理与数据的实时监控上。例如,关键设备与施工材料上安装的传感器,使得施工管理人员能够实时掌握设备的运行状态、施工进度与环境变化。通过持续采集土壤湿度、降水量、温度等环境数据,工程团队能够根据这些信息灵活调整施工策略,从而避免环境变化带来的工期延误或质量问题^[2]。同时,传感器实时监测设备的运行状态,能够提前预警潜在故障,减少因设备故障导致的停工与损失,提升施工安全性与可靠性。此外,物联网技术能够将各类设备与传感器与云平台深度融合,构建一个集中的数据管理与分析系统。通过云平台,工程管理者能够对各项施工数据进行全面处理与分析,从而实时掌握项目进展、资源使用情况及施工安全状况。结合其他先进技术,如人工智能与大数据分析,施工过程的智能化水平得以进一步提升。例如,基于物联网数据,人工智能可以进行深度学习与预测分析,帮助优化施工方案,提升资源配置效率,从而提高施工效率。物联网技术的深度应用与融合,不仅使施工现场的信息流动更加高效与透明,而且推动了水利施工各环节的智能化与自动化。随着技术的不断发展与成熟,物联网将在水利工程中扮演着愈发重要的角色,推动行业向智能化、绿色化方向不断迈进。

3.4 智能水利工程的国际化与市场拓展

智能水利工程的全球化发展,标志着世界水利行业正在迈向更加智能化与高效的未来。随着智能化技术的迅猛发展,各国对水利工程的需求不断增长,尤其在水资源管理、防洪减灾与生态保护等领域,智能水利工程已成为解决方案的关键方向。作为水利工程技术的全球领先者之一,中国正

积极推动智能水利技术的国际化,并将先进的技术经验推向全球市场^[3]。在这一过程中,智能水利工程的国际化不仅限于技术输出,还包括综合解决方案与服务的提供。随着“一带一路”倡议的实施,我国已在多个国家开展水利工程建设,并通过引入智能技术,提升了这些项目的管理效率、施工精度与长期可持续性。举例来说,智能水利技术在非洲与东南亚等地区已在水库建设、灌溉系统优化及洪水预警等领域得到应用,既帮助当地提升水资源管理水平,也为中国企业开辟了国际市场的新机遇。全球智能水利技术的拓展,进一步促进了跨国合作与技术交流。不同国家在智能水利领域的需求与挑战各具特色,国际合作不仅推动了技术的本地化创新,还加速了技术的更新与迭代。例如,欧洲与美国的一些水利项目已大规模应用人工智能、大数据分析及物联网等技术,这为中国的智能水利设备与系统提供了广阔的市场空间。然而,智能水利工程国际化的进程也面临着一系列挑战,包括技术标准差异、文化差异与各国市场的法规要求等。为了顺利进入全球市场,企业需要深入了解目标国的政策环境与市场需求,并根据实际情况对技术方案与服务内容作出相应调整。通过本地化技术研发与专业化服务团队的建设,智能水利工程的国际化进程才能得以有效推进。

4 结语

智能化技术正在显著变革水利施工领域,信息技术、智能设备、物联网以及人工智能的应用,极大地提高了施工过程的效率与精度。通过对设计、监测与管理过程的优化,这些技术为防洪减灾与生态保护提供了全新的解决方案。随着技术的不断进步,智能化水利施工将逐步向智慧工地与数字化建设方向发展,推动行业在全球市场的扩展,并与绿色可持续发展理念紧密结合。智能化技术的不断创新,必将为水利工程的高效、安全及可持续发展提供坚实的支撑。在这一过程中,施工效率与精度的提升,已通过信息技术与智能设备的深度融合得到了显著实现。设计、监测与管理流程的优化,已经在防洪减灾与生态保护领域,为解决方案的创新开辟了新的方向。随着技术不断向前发展,智能化水利施工正朝着智慧工地与数字化建设的目标稳步推进,不仅推动了行业在全球市场的扩展,也紧密结合了绿色可持续发展的理念。如此不断创新的智能化技术,必将为水利工程的高效、安全及可持续发展提供坚实的支撑。

【参考文献】

- [1] 李桂峰. 智能化水利施工的现状与发展趋势[J]. 中国高科技, 2024(12): 99-100.
- [2] 刘志国. 水利施工中的智能化技术应用研究[J]. 水上安全, 2025(3): 71-73.
- [3] 肖晶, 陈明文. 智能化技术在水利工程施工中的应用研究[J]. 水上安全, 2024(24): 37-39.

作者简介: 周洁(1988.5—), 女, 毕业院校: 扬州大学; 所学专业: 工程管理, 当前就职单位: 扬州水利建筑工程有限责任公司, 职务: 副主任, 职称级别: 工程师。

基于信息技术的水利工程建设管理分析

栾凤娇^{1,2}

1. 昌吉市水利管理站, 新疆 昌吉 831100

2. 昌吉市三屯河流域管理处, 新疆 昌吉 831100

[摘要]在我国基础设施建设中,水利工程是关键领域之一,其施工质量一直备受行业内外和社会公众的关注。为了实现水利工程质量的有效控制,必须在建设过程中优化管理工作,特别是加强信息技术的应用,将其充分融入到水利工程的质量管理中。这不仅能提升整体管理水平,还能显著促进工程建设质量的提高,具有重要的现实意义。基于此,文章探讨信息技术在水利工程建设管理中的应用价值,分析当前管理中存在的问题,并探讨如何将信息技术有效融合到水利工程建设管理中,以期为我国水利工程管理提供有益的参考与借鉴。

[关键词]信息技术;水利工程;工程建设;建设管理

DOI: 10.33142/hst.v8i5.16515

中图分类号: TV51

文献标识码: A

Analysis of Water Conservancy Engineering Construction Management Based on Information Technology

LUAN Fengjiao^{1,2}

1. Changji Water Conservancy Management Station, Changji, Xinjiang, 831100, China

2. Changji Santun River Basin Management Office, Changji, Xinjiang, 831100, China

Abstract: Water conservancy engineering is one of the key areas in Chinese infrastructure construction, and its construction quality has always been of great concern to both the industry and the public. In order to effectively control the quality of water conservancy projects, it is necessary to optimize management work during the construction process, especially by strengthening the application of information technology and fully integrating it into the quality management of water conservancy projects. This not only improves the overall management level, but also significantly promotes the improvement of engineering construction quality, which has important practical significance. Based on this, the article explores the application value of information technology in the management of water conservancy engineering construction, analyzes the existing problems in current management, and explores how to effectively integrate information technology into water conservancy engineering construction management, in order to provide useful reference and inspiration for water conservancy engineering management in China.

Keywords: information technology; water conservancy engineering; engineering construction; construction management

引言

随着社会经济持续发展与城市化进程的加快,作为支撑水资源合理利用、促进生态环境保护以及确保防洪抗灾等重要功能的基础设施,水利工程在国家可持续发展中扮演着至关重要的角色。然而,传统的水利工程建设管理模式在面对日益复杂的项目需求以及不断变化的环境条件时,已逐渐暴露出许多问题。例如,信息流通不畅、数据管理混乱、施工进度无法实时监控等问题,使得传统管理模式在提升项目效率、降低成本及确保工程质量方面显得力不从心。因此,通过信息技术的引入来优化水利工程建设管理,已成为提升项目管理水平、降低项目成本、提高工程质量的关键路径。随着信息技术的飞速发展,特别是在大数据、物联网、人工智能、建筑信息模型(BIM)、遥感技术以及云计算等领域的广泛应用下,水利工程建设管理得到了强大的技术支持。借助这些技术,项目管理变得更加精准、高效与智能。信息技术的应用使得水利工

程建设的各个环节实现了数据化、数字化与智能化管理,从而在设计准确性、施工效率、资源的优化配置以及项目的可持续性等方面得到了显著提升。因此,本文将深入分析基于信息技术的水利工程建设管理现状,探讨其在提升管理水平、突破传统管理瓶颈方面的潜力,并提出相应的应用策略,为水利工程管理现代化提供理论依据与实践指导。

1 水利工程建设应用信息技术的必要性

水利工程建设作为国家基础设施的重要组成部分,承担着保障水资源合理利用、防洪排涝、灌溉供水等多重职能。随着社会的不断发展与技术的不断进步,信息技术在水利工程中的应用,逐渐成为提升项目管理效率、降低建设成本、提高建设质量的关键因素。引入信息技术,能够有效应对传统水利工程建设管理中存在的多种问题,如信息孤岛、数据冗余、设计与施工脱节等。通过建立集成化的信息管理平台,工程全过程的信息共享与协同工作得以实现,从而提高了项目透明度与管理效率。精确的数据分析与决

策支持,还能够通过信息技术提供,帮助决策者更好地评估施工进度、成本控制、资源配置等方面的情况,从而进一步优化管理流程。面对复杂的水利工程项目时,信息技术为管理者提供了实时监控项目进展的能力,能够及时发现潜在风险与问题并加以解决,确保项目能够按时、按质完成。

2 水利工程建设管理中经常运用的信息技术

水利工程建设管理中广泛应用的信息技术,涉及多个领域,包括数据采集与处理、设计优化、施工监控、进度管理及风险评估等。在项目的前期规划与设计阶段,遥感技术与地理信息系统(GIS)发挥了重要作用。通过遥感影像与GIS技术,能够迅速获取地形、地质、水文等基础数据,为工程设计人员提供精确的分析依据,并辅助决策的制定。在设计与施工阶段,建筑信息模型(BIM)技术被广泛采用。通过建立三维数字化模型,BIM为项目提供了一个可视化的协同工作平台,优化了设计方案,提高了设计精度,并有效避免了施工中的冲突与错误。

在施工阶段,施工管理软件与项目管理平台帮助项目团队实时监控各方面的情况,包括工程进度、质量、安全等^[1]。通过数据分析,施工计划能够及时调整,以确保项目按期完成。同时,物联网技术通过在工程现场安装传感器与监测设备,实时采集水位、气候、土壤湿度等相关数据,为项目管理提供实时监控与预警功能,减少了潜在的安全风险。大数据分析技术则用于处理大量工程数据,为工程质量评估、成本控制及决策支持提供了有力的依据,从而进一步提升了项目的管理水平。

3 现阶段信息技术在水利工程建设管理中存在的问题

3.1 缺乏先进的水利工程信息化管理理念

尽管信息技术在水利工程建设管理中已有一定的应用,但目前仍面临一个突出问题——缺乏先进的信息化管理理念。许多水利工程管理部门与建设单位,依然沿用传统的管理方式,信息化建设的理念与意识较为薄弱,未能充分认识到信息技术在提升管理水平、优化资源配置、提高工作效率等方面的巨大潜力。部分管理人员对信息化的理解,局限于信息的收集与存储,而忽视了信息化系统在工程决策、风险评估、进度控制、质量管理等多个方面的深度应用。这种管理理念的滞后,导致信息技术在实际应用中未能达到预期效果,信息化建设往往呈现碎片化、单一化的现象,无法有效促进信息流通与协同工作,进而影响了工程管理的效率与质量。此外,管理理念的局限性,还使得水利工程信息化管理的投资和资源配置常常未能得到足够的重视,导致一些信息化系统与技术未能发挥其应有作用,甚至出现了资源浪费的现象。这一现状,制约了信息技术在水利工程管理中的深度应用与全面发展。

3.2 信息化水利工程建设趋于形式化

在许多水利工程项目中,信息化建设往往呈现出形式化的趋势,表现为信息技术的应用停留在表面,缺乏实际

的深度融合与有效应用。在实施信息化管理过程中,许多项目过于注重软件系统与硬件设施的建设,却忽视了信息技术与实际管理需求的紧密结合。这种形式化的做法,往往未能解决工程管理中的核心问题,如信息共享障碍、协同工作不足及决策支持不足等。尽管信息化管理系统与平台已经投入使用,但其功能未能得到充分发挥,许多操作和数据处理,仍依赖人工介入,甚至仅仅是对传统管理模式的简单数字化。在这些项目中,信息化更多地成为了满足政府或上级部门考核要求的工具,缺乏深入应用与实际的技术支持,导致信息系统与实际管理需求之间的脱节。此外,项目管理人员的工作习惯与信息化系统之间的融合程度较低,使得信息技术的应用未能在日常管理中形成常态化与系统化的流程。最终,信息化建设仅停留在表面,未能真正提升水利工程建设的管理效率与质量。

3.3 缺乏专业化的信息化人才

信息化人才是信息技术在水利工程建设管理中得以发展的关键。然而,目前在信息化人才方面仍存在一些问題,主要表现在两个方面。首先,水利工程管理者的信息技术素养普遍较低。例如,由于技术背景不足,部分领导和管理者对信息化管理的认知较为欠缺,且在管理过程中仍然习惯于使用传统的管理方法,这导致了信息技术的作用未能充分发挥^[2]。其次,水利工程建设管理中,勘测软件的应用不可或缺,但根据调查,许多操作人员并非相关专业出身,因此在使用这些软件时常常感到力不从心,久而久之,这不仅影响了工作效率,还可能导致信息技术的资源浪费。此外,值得注意的是,专业软件的开发和应用需要大量的投入,包括人力、物力和财力。

4 新时期水利工程建设管理中信息技术的应用策略

4.1 融入先进的信息化管理意识

在新时期的水利工程建设管理中,融入先进的信息化管理理念至关重要,这不仅代表了技术层面的提升,更体现了管理思想的深刻变革。随着信息技术的持续进步,水利工程管理需求,已经从传统的人工记录、现场监控与计划管理,逐步转向数据驱动与智能化决策。这一转变,要求工程管理者从根本上更新工作思维,认识到信息化已经不再仅仅是辅助工具,而是项目的核心组成部分。管理层应当意识到,信息化技术不仅能够提升数据处理与分析的效率,还能推动整个工程管理流程向更加精细化与智能化的方向发展,帮助企业实时跟踪工程进展,预测潜在风险,并进行及时的调整。这一转变,要求领导者具备前瞻性的眼光,理解信息技术在工程各个环节的深度应用潜力,从而制定出更为科学、灵活且高效的管理策略。与此同时,建设单位应当推动内部文化的变革,逐步培养员工的信息化思维。在项目实施过程中,信息技术不仅要应用于基础设施建设,还应当渗透到项目决策、风险管理与资源优化等各个方面,促进数据共享与信息互联,打造一个

更加协同的工作环境。提升管理意识的关键在于，不仅仅是技术的应用，更是通过信息化构建一个高效、透明且可控的管理体系，从而确保水利工程建设的过程更加科学、合理并具备可持续性。

4.2 加强对专业应用软件的开发与应用

在新时期的水利工程建设管理中，加强专业应用软件的开发与应用，已成为提升管理效率与实现智能化管理的关键策略之一。随着工程项目规模的扩大与复杂性的增加，传统管理模式已难以满足现代水利工程的需求，而专业化的软件工具，能够为项目的各个环节提供精准的技术支持与数据驱动的决策依据。水利工程涉及的领域繁多，包括设计、施工、监测、资源管理等多个方面，且各领域之间要求高度协同与信息流通，这使得开发与应用符合水利工程特点的专业软件，显得尤为重要。在施工过程中，专业应用软件能够精准跟踪进度、控制质量与管理成本，同时在设计阶段，借助先进的建模与仿真技术，设计方案得以优化，设计风险得以减少。在项目执行过程中，软件工具通过实时采集现场数据，结合数据分析与预测，能够及时发现潜在问题并提出有效应对措施，从而保证工程的高效推进。随着大数据、人工智能等技术的不断发展，未来的水利工程管理软件，将拥有更强的智能化能力，能够自动执行工程分析与优化，甚至为决策提供智能支持。然而，依赖现有市场上的软件工具是不足够的^[3]。水利工程的特殊性，要求根据实际需求持续定制与开发更加符合行业标准及项目要求的专业软件，以确保能够全面满足水利工程管理的各项需求。

4.3 应用信息技术开发设计模式

在新时代的水利工程建设管理中，采用信息技术进行设计模式创新，已成为推动工程设计智能化与精细化管理的关键策略。传统的水利工程设计，通常依赖手工计算与经验积累，设计过程既繁琐又耗时，且容易受到人为因素的影响，难以满足现代水利工程对高精度、高效率与低成本的严格要求。借助信息技术，尤其是计算机辅助设计（CAD）、建筑信息模型（BIM）及三维建模等先进技术，设计阶段的准确性与可操作性得到了显著提高，传统设计模式的局限得以突破。通过应用信息技术，水利工程的各个设计环节，能够实现数字化模拟与优化。从地形勘测、结构设计到施工方案的制定，均能在虚拟环境中进行多方验证与调整，从而最大程度地降低风险与不确定性。这种创新设计模式，不仅提高了设计精度，还提升了设计人员的工作效率，缩短了项目周期，并有效减少了因设计不当引起的成本超支与施工难题。同时，设计信息在工程建设不同阶段之间的无缝传递与共享，使得施工、监理与运营管理人员，能够及时理解设计意图，根据实际情况进行动态调整，确保项目顺利实施。随着大数据与人工智能技术的不断进步，未来的水利工程设计模式，将进一步实现智能化，能够利用数据挖掘与分析，自动优化设计方案，甚至预测项目实施过程中可能遇到的问题，提前做出相应的调整。

4.4 做好信息化队伍的建设

随着信息技术在水利工程中的广泛应用，项目管理的复杂性和技术要求不断提升，传统的管理团队已难以应对这种变化。在这种背景下，组建一支既具备水利工程专业知识，又能熟练运用信息技术的跨学科团队，显得尤为重要。为了实现这一目标，队伍建设应从人才引进和技能培养两方面着手。具备现代信息技术背景的专业人才，应当被吸引，同时对现有员工进行系统的信息化技术培训，以帮助他们掌握大数据分析、云计算、BIM建模、物联网等新兴技术，进而形成一个多层次、多领域的专业技术团队。此外，团队成员之间的协作与沟通，也至关重要，确保信息化专家与水利工程专业人员之间，能够无障碍合作，共同制定适合项目需求的技术方案与管理策略^[4]。信息化队伍的建设，不仅仅是提升技术能力，更在于加强组织管理能力，培养团队成员的创新思维和持续学习的能力。技术的最新发展，应当时刻被关注，且新技术的应用也应及时融入实际问题的解决中。同时，加强信息化管理理念的普及，也是不可忽视的一部分，确保每一位团队成员都充分认识到信息技术在水利工程建设中的核心作用。只有全员树立了信息技术对于工程全过程管理、风险预警及资源配置等方面的深远影响，项目管理的全面升级，才能有效推动。

5 结语

信息技术在水利工程建设管理中的应用，极大地促进了管理效率的提升、资源配置的优化、质量控制的加强以及风险预警的有效性。随着信息技术的持续发展，水利工程管理逐步迈向智能化、数字化与精细化，这不仅显著提升了工程建设的科学性，也为项目的可持续发展奠定了坚实的基础。然而，目前仍然存在技术应用不充分、专业人才短缺等问题。为了克服这些挑战，必须加大对信息化系统的深度开发与实际应用力度，同时培养更多具备跨领域能力的管理人才，推动信息技术在水利工程建设中的全面渗透。展望未来，随着技术的不断进步与管理理念的转变，信息技术将成为推动水利工程建设现代化、提高建设质量与效率的关键驱动力，进一步促进我国水利事业的可持续发展。

【参考文献】

- [1]刘森. 基于信息技术的水利工程建设管理研究[J]. 水上安全, 2024(23): 28-30.
 - [2]王佩俭. 信息技术在水利工程建设管理中的有效应用[J]. 中国管理信息化, 2022, 25(8): 183-185.
 - [3]何发龙. 基于信息技术的水利水电工程建设管理模式研究[J]. 水上安全, 2023(13): 46-48.
 - [4]李燕华. 基于信息技术的水利工程建设管理[J]. 水上安全, 2024(13): 41-43.
- 作者简介：栾风娇（1990.2—），毕业院校：新疆农业大学，所学专业：本科水利水电工程、研究生水文学及水资源，当前就职单位名称：昌吉市水利管理站/昌吉市三屯河流域管理处，职称级别：水利中级职称。

水利施工中的质量控制与管理策略

吴江

江西省水投建设集团有限公司, 江西 南昌 330029

[摘要]当前时期,随着中国水利工程建设迅速发展,对水利施工的质量控制与管理提出了更高的要求。水利施工项目具有施工周期长、技术复杂性强和环境影响大等特点,这就决定了其质量控制与管理的重要性。本研究旨在探讨水利施工项目中的质量控制和管理策略,通过文献资料分析、案例研究和专家访谈等方法,系统总结水利施工质量控制的关键点和管理的有手段。研究发现,确保水利施工质量需从以下几个方面入手:一是扎实推行质量管理体系,二是加强现场管理及过程控制,三是加大科技创新及应用,四是完善质量检测与评估机制。通过实施以“预防为主、控制为核心”为原则的质量管理体系,构建科学的施工组织设计、优化资源配置、提高施工技术人员素质、利用现代信息技术手段加强项目管理,可以有效提升水利施工质量。同时,研究建议通过健全法规政策、完善激励约束机制和加强质量文化建设等措施,进一步提高水利施工项目的管理水平。本研究对实现水利施工项目质量提升与可持续发展具有一定的理论与实践意义。

[关键词]水利施工;质量控制;管理策略;质量管理体系;信息技术

DOI: 10.33142/hst.v8i5.16514

中图分类号: TV476.3

文献标识码: A

Quality Control and Management Strategies in Water Conservancy Construction

WU Jiang

Jiangxi Water Investment Construction Group Co., Ltd., Nanchang, Jiangxi, 330029, China

Abstract: In the current period, with the rapid development of water conservancy engineering construction in China, higher requirements have been put forward for quality control and management of water conservancy construction. Water conservancy construction projects have the characteristics of long construction period, strong technical complexity, and significant environmental impact, which determines the importance of quality control and management work. This study aims to explore quality control and management strategies in water conservancy construction projects. Through literature analysis, case studies, and expert interviews, the key points of water conservancy construction quality control and effective management methods are systematically summarized. Research has found that ensuring the quality of water conservancy construction requires starting from the following aspects: first, solidly implementing a quality management system; second, strengthening on-site management and process control; third, increasing technological innovation and application; fourth, improving quality inspection and evaluation mechanisms. By implementing a quality management system based on the principle of "prevention first, control as the core", constructing a scientific construction organization design, optimizing resource allocation, improving the quality of construction technicians, and utilizing modern information technology to strengthen project management, the quality of water conservancy construction can be effectively improved. At the same time, research suggests further improving the management level of water conservancy construction projects through measures such as improving regulations and policies, perfecting incentive and restraint mechanisms, and strengthening quality culture construction. This study has certain theoretical and practical significance for achieving quality improvement and sustainable development of water conservancy construction projects.

Keywords: water conservancy construction; quality control; management strategy; quality management system; information technology

引言

随着中国经济发展,水利工程的角色日益重要,其建设质量直接关系到工程运行效益和环境影响。挑战在于施工涉及面广、环境复杂、技术要求高、施工周期长等因素。深入研究水利施工质量控制与管理对提高工程质量和地区经济可持续发展有深远影响。本研究通过多种方法探索了水利施工质量控制的关键点,管理的有效手段,并提出了“预防为主、控制为核心”的策略。文章还提出了通过健全法规、完善激励约束机制、加强质量文化建设等措施提高项目管理水平,为水利施工项目质量提升与可持续发展提供理论与实践支持。

1 水利施工项目的特点与挑战

1.1 水利施工项目的特点

水利施工项目具有一系列显著特点^[1]。这类项目通常涉及大规模的土木工程和复杂的技术工艺,施工周期较长且资金投入巨大。其所处环境常常多变,不仅包括地质条件的复杂性,也涵盖了气候变化对施工进度和材料选用的影响。由于水利工程直接关系到防洪、灌溉、水资源供给等公共事务,项目的社会关注度高,必须满足严格的法规和标准要求。水利施工项目还需应对施工现场的多变性与不确定性,管理与技术人员必须具备坚实的专业知识和丰富的实践经

验。与此水利施工项目的推进往往涉及多方合作,充分协调各方资源和利益诉求显得尤为重要。在资源调配过程中,也必须把可持续发展放在核心位置,确保对生态环境的最小冲击和资源的高效利用。这些特点决定了在进行水利施工时,质量控制与管理策略需要特别谨慎和系统化。

1.2 水利施工项目质量控制的挑战

水利施工项目的质量控制面临多方面的挑战。施工周期长及项目规模大导致管理复杂性和难度增加,需长期稳定的质量管理投入。水利项目技术复杂性加强了施工过程中的质量控制难度,特别是在涉及创新技术和工艺时,如何保证施工质量成为一大挑战。环境因素如气候变化、地质条件及生态保护等限制了施工条件,增加了质量保证的不确定性。项目中涉及的多方利益相关者使得质量控制需要协调各方需求及标准,这进一步增加了管理的复杂性^[2]。针对水利施工的质量控制需系统、全面的策略,以应对这些多重挑战。

1.3 水利施工项目质量控制的重要性

水利施工项目质量控制在保障工程效益、延长工程寿命和降低运营风险方面具有关键作用。由于水利工程施工周期长、投入资金大且受环境条件影响显著,高质量的施工不仅能有效减少施工过程中的失误率,还能确保工程在复杂环境中长期稳定运行。严格的质量控制能够有效节约资源和资金,提升工程经济效益,并满足公众安全需求。在全球气候变化与资源紧张背景下,水利施工项目的质量控制更显得至关重要,以推动项目的可持续发展^[3]。

2 质量管理体系在水利施工中的作用

2.1 质量管理体系的构建与推行

质量管理体系在水利施工中的构建与推行过程中,需要明确项目的质量目标和标准,以便制定符合工程实际的质量管理策略。这一过程应包括制定项目质量手册、程序文件及操作规程等关键文件,以指导施工质量管理活动的开展。为确保质量管理体系的有效实施,必须进行组织内部的质量审核与管理评审,以识别潜在的质量风险和改进空间^[4]。对人员的培训和技术指导是质量管理体系顺利推行的重要保障,施工人员需要了解质量管理的原则和具体操作步骤。信息化手段在质量管理体系的推行中发挥重要作用,通过信息系统,可以实现质量数据的实时监测和统计分析,从而提高管理效率和决策的科学性。质量管理体系的构建与推行不仅要考虑现场施工的具体需求,还需要与项目管理的其他环节相结合,实现全方位的质量控制与管理,提高水利施工项目的整体质量水平。

2.2 质量管理体系在水利施工中的实施过程

在水利施工中,实施质量管理体系需遵循系统化的步骤,以确保项目质量的稳定和提升。全面制定质量管理方案,包括项目质量目标、指标及检验标准的明确设定,以指导施工全过程。对参与项目的所有人员进行质量管理培训,确保质量标准的贯彻落实。施工过程中,实施严格的质量检查与监督机制,及时发现和纠正施工缺陷,确保每一道工序均符合质量要求。利用先进的信息技术进行质量

跟踪与分析,确保数据的及时获取和反馈。通过定期审核与质量评估,验证质量管理体系的有效性,并进行必要的改进和优化,以适应项目条件的变化和新技术的发展,使得整个水利项目在质量控制方面具备更高的可靠性和效率。

2.3 质量管理体系对水利施工质量提升的影响

质量管理体系对水利施工质量的提升具有显著影响。体系的实施促使施工各环节规范化、标准化,确保施工质量的稳定性和一致性。通过系统化的方法,施工过程中的潜在风险得以提前识别和控制,有效减少工程质量问题的发生。质量管理体系还促进了各级管理人员和施工人员的责任意识和质量意识,提高了项目团队的整体工作效率和质量管理水平,从而为水利施工项目提供坚实的质量保障。

3 现场管理与过程控制在水利施工项目中的应用

3.1 现场管理在水利施工中的重要性

水利施工项目的现场管理对工程质量有着至关重要的影响,现场管理不仅是有效协调施工过程中的各项活动的保证,也是优化资源利用与确保施工安全的关键因素。其重要性体现在几个方面:现场管理能够实时监督施工进度,及时发现并解决问题,避免因延误导致的质量缺陷。现场管理有助于合理分配人力、材料和机械设备,确保资源使用的最大化效率,避免浪费或短缺现象。现场管理还可以提升施工团队的工作标准和责任感,通过严格的规章制度和质量标准约束,提高人员的技能水平和团队合作能力,减少人为错误。现场管理系统对环境影响的监控及响应能力也是确保施工质量的重要一环,通过科学的应急预案和环保措施,降低施工过程对周边环境的不利影响,维护生态平衡。在水利施工项目中,现场管理的有效实施直接关系到工程质量的稳步提高和项目的顺利推进。建立高效的现场管理机制对于水利施工中的质量控制与管理具有不可替代的重要性。

3.2 过程控制的策略与实施

过程控制策略在水利施工中至关重要,旨在确保施工质量和项目进度的协调推进。主要策略包括制定详细的施工计划,明确质量控制目标和关键指标,确保施工每个环节的大面积合规性。实施过程控制时,需进行实时监测和数据收集,以及时识别潜在问题和风险。建立专门的质量控制团队进行现场检查和评估,保障材料和工艺的符合性。通过信息技术手段实现自动化监测与数据分析,可提高过程控制效率和响应速度,减少人为误差,最终确保施工质量达标,并提升项目整体管理水平。

3.3 现场管理与过程控制对水利施工质量的影响

现场管理与过程控制在水利施工质量的影响中至关重要。科学的现场管理能够确保各项施工活动有序进行,在提高施工效率时同时减少错误发生。过程控制通过监控施工的每个环节,及时识别和纠正质量问题,确保施工符合设计和规范要求。有效的现场管理和过程控制能够显著降低质量缺陷发生率,提升项目整体质量。这些措施还促进团队沟通与协调,增强施工人员的责任意识和专业水平,从而增强水利施工项目的质量保障。

4 科技创新在水利施工项目中的作用

4.1 水利施工中的科技创新需求与趋势

随着水利工程项目规模的不断扩大及技术复杂性的提高,科技创新在水利施工中变得尤为重要。科技创新需求主要体现在提高施工效率、降低成本、保障施工安全和适应环境变化等方面。近年来,随着信息技术、自动化技术和新材料的迅速发展,水利施工行业逐渐融入这些领域的新成果。例如,信息技术的应用促进了项目管理的精细化和智能化,新材料的开发提高了工程结构的耐久性与稳定性,而自动化技术则提升了施工机械化水平^[5]。这些技术创新不仅能够优化施工流程,还能提升施工质量,使工程更加环保、可持续。随着绿色发展理念的深入推进,水利施工对环境保护及资源节约的创新需求日益增加。科技创新正成为提升水利施工项目质量的关键动力,对推进水利工程可持续发展具有重要战略意义。

4.2 科技创新在水利施工中的应用实例

在水利施工项目中,科技创新通过多种方式提升工程质量。例如,应用三维建模技术可以进行详细的施工模拟,从而优化设计方案,减少施工中的错误。自动化施工设备的使用提高了施工精度,如采用无人机进行高空监测和数据采集,显著提升了效率和安全性。物联网技术的应用实现了施工现场数据的实时监控与传输,确保了施工质量的动态管控。工地信息管理系统集成了施工进度、质量和安全信息,为项目管理提供了全面的数据支持。现代信息技术的应用,使得施工过程中的科学决策更为精准,显著提升了水利施工项目的质量与管理水平,推动了行业的可持续发展。

4.3 科技创新对水利施工质量的影响

科技创新对水利施工质量的影响主要体现在提高项目施工的精确度和效率。新技术的运用,如智能监测设备,能够实时获取施工现场的各项数据,确保施工过程的稳定性和可控性。先进的施工工艺和技术能够优化资源配置,减少材料浪费和环境影响。通过信息化平台的应用,施工管理流程更加透明和高效,减少人为因素的干扰,从而大幅提高施工质量的稳定性和项目的整体成功率。科技创新为水利施工质量的全面提升提供了坚实保障。

5 质量评估机制的完善与实施

5.1 质量评估机制的重要性

质量评估机制在水利施工项目中具有重大意义,直接影响施工质量的可靠性和工程的可持续性。质量评估机制通过科学的方法和工具对施工过程及其产出进行客观测量和分析,提供精准的数据支持,以识别潜在问题并促进早期纠正。评估机制通过系统的检查和监测,确保施工活动始终符合设计标准和规范要求,从而减少施工中因疏忽或失误造成的质量缺陷。完善的质量评估机制还可提供反馈,驱动持续改进,帮助项目团队及时总结经验和教训,优化施工方案。该机制强调透明度和责任制,有助于促进相关方之间的信息共享和信任构建,从而形成良好的质量管理文化。升级质量评估机制不仅对提升项目管理水平至

关重要,也有助于确保工程在整个生命周期内的稳定性与安全性。通过明确的评估标准和严格的执行流程,质量评估机制对保证工程成果的长期效益具有不可或缺的作用。

5.2 质量评估机制的优化策略

质量评估机制的优化策略在水利施工项目中至关重要。优化策略应包括科学设置评估指标体系,对质量管理各环节进行全面评测。依据项目特征,定制化设计关键绩效指标(KPI),确保评分标准的实用性和科学性。应引入先进的信息技术,如物联网、大数据分析以及人工智能,以实现实时监控与动态评估,提高评估的准确性与效率。建立健全反馈机制,将评估结果用于指导现场管理和过程控制,促使施工质量持续改进。在优化过程中,必须强化培训与教育,提高评估人员的专业素养,以保障质量评估的公正与客观。完善的质量评估机制是提升水利施工项目管理水平的重要手段。

5.3 质量评估机制对水利施工项目管理水平的提升

质量评估机制的提升对水利施工项目的管理水平具有显著影响。一个完善的质量评估机制能够提供准确的质量信息,使管理者及时发现潜在问题并采取有效措施予以解决。这种机制不仅优化了整体施工过程的监管,还促进了管理决策的科学性和准确性。完善的质量评估机制有助于建立持续改进文化,提高施工技术和管理人员的综合素质,推动项目管理的精细化和水利工程的质量提升。

6 结束语

本研究围绕水利施工中质量控制与管理策略深入分析,提出了一系列切实可行的解决方案和建议。研究表明,实施以预防为主、控制为核心的质量管理体系,通过优化施工组织设计、加强人员培训和运用现代信息技术,能有效提升水利施工质量。然而,研究也发现,现场管理复杂、制度执行不严和技术创新不足等问题仍是挑战,需要持续关注和改进。未来研究可以进一步探讨如何通过法规政策的完善和激励约束机制的建立,强化管理执行力和质量文化建设,从而全面提升水利施工项目的管理水平和施工质量。通过这些策略的实施,旨在为水利施工领域提供科学的管理指导和技术支持,推动行业的健康和可持续发展。

【参考文献】

- [1]王明时. 水利工程施工中的质量控制与安全管理研究[J]. 水上安全, 2025(3): 83-85.
- [2]杨宇泉. 水利施工中帷幕灌浆技术的运用[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2025(3): 111-113.
- [3]汪朋. 钻孔灌注桩施工技术在水利施工中的应用分析[J]. 水上安全, 2024(24): 79-81.
- [4]杨爱琳, 陈艳姣, 丁磊. 农田水利工程施工过程中的质量控制策略探讨[J]. 农业开发与装备, 2024(6): 71-73.
- [5]张建宁. 水利工程施工中的质量控制与管理措施[J]. 工程建设与设计, 2024(6): 218-220.

作者简介: 吴江(1996.3—), 男, 华东交通大学理工学院(现南昌交通学院), 土木工程, 江西省水投建设集团有限公司, 施工员, 助理工程师。

水利工程标准化管理实践及问题探讨

翟新峰

昌吉市水利管理站, 新疆 昌吉 831100

[摘要]新疆地理环境复杂, 水资源的分布呈现出明显的时空不均, 尤其是在干旱与半干旱地区, 水资源的有效利用面临着巨大的挑战。随着经济的不断发展, 水利工程建设与管理中遇到的难题也日益增多, 尤其是水资源的保护与跨区域调配等方面的问题逐渐变得突出。标准化管理在提高水利工程效率与质量方面具有重要作用, 但在新疆, 由于基础设施相对薄弱、资金短缺及人才资源匮乏, 推动标准化管理的工作面临较大阻力。因此, 符合新疆实际情况的标准化管理路径的探索, 已成为亟需解决的关键问题。

[关键词]水利工程; 标准化; 管理实践; 问题

DOI: 10.33142/hst.v8i5.16511

中图分类号: TV5

文献标识码: A

Practice and Discussion on Standardization Management of Water Conservancy Engineering

ZHAI Xinfeng

Changji Water Conservancy Management Station, Changji, Xinjiang, 831100, China

Abstract: The geographical environment of Xinjiang is complex, and the distribution of water resources presents obvious spatial and temporal imbalances, especially in arid and semi-arid areas, where the effective utilization of water resources faces enormous challenges. With the continuous development of the economy, the problems encountered in the construction and management of water conservancy projects are also increasing, especially in the protection and cross regional allocation of water resources, which have become increasingly prominent. Standardized management plays an important role in improving the efficiency and quality of water conservancy projects, but in Xinjiang, the promotion of standardized management faces significant obstacles due to relatively weak infrastructure, funding shortages, and a lack of talent resources. Therefore, the exploration of standardized management paths that are in line with the actual situation in Xinjiang has become a key issue that urgently needs to be addressed.

Keywords: water conservancy engineering; standardization; management practice; problem

引言

水利工程在新疆经济发展和人民生活中至关重要, 特别是在应对水资源短缺和生态保护方面。随着工程规模扩大和复杂性增加, 提升管理效率与质量已成为可持续发展的核心问题。标准化管理作为提升水利工程效能的有效手段, 已在全国范围应用。受新疆地理和社会经济条件影响, 水利工程标准化管理仍面临诸多挑战。深入分析新疆水利工程标准化管理的实践、问题及改进对策, 为高质量发展提供理论支持与实践参考。

1 水利工程标准化管理实践

1.1 水利工程建设与管理现状

水利工程作为我国基础设施建设的核心组成部分, 肩负着保障水资源合理利用、防洪抗旱、灌溉供水等重要职能。在新疆地区, 随着经济的快速增长以及气候变化带来的挑战, 水利工程建设与管理变得尤为关键。特别是在该区域, 复杂的自然环境与日益增长的社会需求, 使得水利工程管理面临着多重困难。尤其是由于新疆地理位置的特殊性, 跨区域水资源调配与基础设施建设的协调性问题, 已经成为突出难题。在实际管理过程中, 尽管地方水利管理部门已采取多项措施推动水利工程建设与维护, 整体管

理体系依旧存在明显的不足。许多项目依赖传统的管理模式, 现代化手段的缺乏使得在项目实施中, 质量控制、资源配置及信息传递等环节未能有效协同。特别是在一些偏远地区, 由于复杂的地理条件与交通不便, 水利工程的后期管理与维护常常面临人员短缺以及技术支持不足的困境。同时, 资金投入不足与管理体制的不完善, 也是当前面临的主要问题。在部分项目执行过程中, 资金延误或资源配置不合理的现象时有发生, 这些问题进而影响了工程进度与质量, 导致项目未能按计划顺利完成。尽管国家已对水利建设进行了大量投资, 如何提高资金使用效率, 并确保水利设施的长期可持续管理, 仍然是亟待解决的关键课题。

1.2 标准化管理在水利工程中的应用

标准化管理作为提升水利工程建设质量与运行效率的关键手段, 近年来在新疆水利项目中的逐步推广, 已取得了显著成果。通过制定统一的技术标准、施工规范与管理流程, 显著地减少了人为因素引起的质量波动与管理混乱, 提高了工程实施的可控性。该管理模式已覆盖了从立项、设计、施工到验收的各个阶段, 并且延伸至运营、维护与安全监督, 逐步形成了“事前有规可循、过程有据可

依、结果有标可评”的管理闭环。在新疆这一地理跨度广、气候差异巨大的地区,标准化管理体系的推广具有尤其重要的意义。例如,在水利工程中,统一的混凝土配比设计、渠道防渗工艺及泵站电气设备布置等标准方案的采用,不仅提升了施工效率,还有效地减少了因技术不一致所导致的返工与维护成本。在日常运维中,通过建立标准操作规程与巡检制度,管理人员能够更加高效地掌握设施的运行情况,从而及时识别并防范潜在的运行隐患。随着信息技术的逐步融入,标准化管理正与数字化手段紧密结合,一些重点工程已经开始试点应用 BIM 技术及水利信息管理系统,将标准化内容嵌入平台,推进了全过程、全要素的可视化管理。这一发展趋势标志着标准化管理正从“制度层面”向“系统执行层面”转变,使管理方式愈加规范、透明,并且智能化。

1.3 标准化管理实施的关键做法与成效

在新疆地区推进水利工程标准化管理的过程中,相关部门围绕“制度先行、体系建设、过程管控、技术支撑”等关键领域,开展了系统化的推进工作。通过制定适应地方特点的水利工程标准体系,涵盖设计规范、施工技术标准、验收流程以及运维规程,成功建立了覆盖工程全生命周期的管理框架,为水利工程的高效建设与管理奠定了坚实基础。在制度保障方面,标准化管理要求逐步纳入工程项目的审批流程、资金分配以及绩效考核机制,从而进一步增强了标准执行的强制性与约束力。在实施层面,为确保标准化管理的落地,重点加强了人员培训与责任分工,确保所有参与者对标准内容的理解准确并严格执行。与此同时,通过引入标准化施工样板、质量评估指标及现场巡查模板等工具,使得管理模式从传统的“经验式”转向更加“规范化、精细化”的方式。在试点工程中,普遍采用了“标准化工地”建设模式,统一规范了施工现场的布置、材料堆放、安全防护等各个环节,显著提升了现场管理水平。这些措施的实施带来了显著的成果:工程建设效率和质量得到了提高,工期缩短,返工率减少,同时,工程运行的安全性与稳定性也得到了大幅增强。特别是在一些边远及基层项目中,标准化管理体系的复制与推广有效弥补了技术力量薄弱与管理经验不足的问题,推动了新疆全区水利工程建设水平的整体提升。标准化管理已经逐渐成为新疆水利工程高质量发展的核心支撑与保障。

2 水利工程标准化管理存在的主要问题

2.1 对标准化管理认识不足,重视程度不够

在当前的水利工程管理实践中,标准化理念未能在各层级中得到广泛深入的贯彻,尤其是在新疆一些基层单位和项目实施阶段,普遍存在重视程度不足的现象。部分管理者仍将标准化视为形式上的要求,认为它仅仅是文件中的“规定动作”,对其在提升工程质量与管理效率方面的深刻意义缺乏足够的理解。由于这种偏差,标准化管理往

往停留在表面,缺乏深入推进的主动性与内在动力。不同层次的工程管理人员对标准化的理解存在较大差异,具体的标准体系内容及执行要求未能有效传达至各个岗位,导致在实际操作中标准执行的力度不够,甚至出现了“标准存在但执行不到位”的现象。特别是在一些施工现场,仍然依赖经验进行作业,忽视程序规范,从而对工程质量与安全管控带来了较大隐患。此外,在项目立项、预算编制及监管过程中,一些地方也未能将标准化作为核心要素纳入考虑,缺乏系统化的部署与监督机制。此类轻视态度不仅阻碍了标准化工作深入推进,也削弱了标准应有的指导与约束功能,最终形成了“认识不到位、执行不到位”的管理瓶颈。

2.2 标准化管理体系基础薄弱,任务较重

在新疆地区推进水利工程标准化管理的过程中,普遍存在体系建设不完善、基础支撑不足的问题。一方面,尽管已有一些国家及行业层面的标准文件,但针对新疆特有的水资源特点、工程类型差异以及复杂的气候与地理条件,缺乏具有地方适应性的本地标准,这使得现有标准在指导性和适用性方面存在不足,难以满足具体工程建设及运维管理的需求。另一方面,标准化管理体系内部的制度、流程与技术规范之间缺乏紧密的衔接,各环节之间的协调性较差,这导致了在实际操作中标准执行脱节、管理混乱的现象。与此同时,标准化管理涉及的内容广泛且流程复杂,但在一些基层水利单位,由于人员编制、专业支持及技术储备较为薄弱,推进相关工作的任务显得格外繁重。特别是在一些县市级单位,受限于人力、时间及技术能力,标准梳理、制度建设与流程固化的有效进行困难重重,往往处于“一边推进项目、一边补充标准”的被动局面。这不仅影响了项目的实施效率,还增加了长期运维管理的难度与成本。更为严重的是,部分单位尚未建立完善的数据采集与反馈机制,缺乏对标准执行效果的有效追踪与评估。这使得管理体系难以进行自我更新与优化,导致标准化管理的基础性工作长期处于“重建设、轻体系”的状态,从而制约了整体水平的提升。

2.3 资金投入不足,推进压力较大

在新疆地区的水利工程实施过程中,标准化管理的推进不仅依赖于制度建设与技术支持,更需要稳定、充足的资金保障。实际操作中,标准化工作的经费支持往往未能单独列项,或长期存在配套资金不足的情况,导致推进过程中常常出现力不从心的局面。尤其是在一些经济较为薄弱、地处偏远的地区,有限的财政资源大多数用于工程本体建设和应急项目,而与标准化相关的投入常被视为“附加项”,因此常遭压缩或忽视。资金短缺直接影响了标准化实施的细节落实。原本需要专项资金支持的关键环节,如信息化平台建设、标准资料编制、人员培训以及示范样板的创建,往往被迫推迟或草率应付,导致标准化管理在执行中流于形式。同时,由于基层单位缺乏资金支持,既

要维持日常工程运行,又要完成标准化任务的双重压力也成为常态。在“无专人、无专项资金、无充足支撑”的情况下,推进工作容易陷入停滞或低效状态。此外,标准化建设通常属于“长期投入、系统产出”的类型,其效益在短期内难以显现。由于这一特点,一些管理部门在资金分配时缺乏积极性与前瞻性,进一步加剧了资金需求与实际投入之间的矛盾。这种恶性循环不仅降低了标准化工作的推进效率,还削弱了对工程质量的有效管控与运维优化,进而影响水利工程的可持续发展。

3 水利工程标准化管理的改进对策

3.1 提升标准化意识与重视程度

推动水利工程标准化取得成效的首要任务,是从思想层面提升全行业对标准化价值的深刻认知。标准化不仅仅是管理工作的“细化工具”,而应当被视为提升工程质量、安全性以及运行效率的关键“系统抓手”。为此,必须通过多渠道、全方位的宣传教育与培训机制,使各级水利管理部门、设计与施工单位以及相关从业人员,能够形成对标准化工作系统性的认知,并逐步转变从“被动执行”到“主动作为”的思维模式。同时,标准化应作为衡量工程管理水平的重要指标,纳入行政监督、项目绩效评估以及资金安排等各类考核体系,从而形成对标准化重视与执行的工作导向^[1]。在实际操作中,各单位应深刻认识到标准化所带来的综合效益,尤其是在优化工程流程、节约资源以及加强风险防控等方面的积极影响。这将激发管理者从“被动接受”向“主动落实”的内在驱动力。只有当标准化工作逐渐转化为日常管理理念和操作习惯时,才能在实际中发挥出制度化、系统化和可持续的管理效能,并最终为水利工程的高质量发展奠定坚实的基础。

3.2 完善标准化管理体系与政策支持

完善的标准化管理体系,为水利工程的高效运行提供了必要保障。当前,急需构建一个覆盖规划、设计、施工、运行与维护等各环节的系统化标准框架。鉴于新疆地区自然条件及工程类型的多样性,应当补充并细化符合地方实际的技术标准和管理规范,推动形成“统一标准+分类指导”的体系。此外,必须加强制度与标准的衔接,理顺管理流程,明确各方责任,从而确保标准体系在实际操作中的可执行性与可监督性^[2]。在政策支持方面,应推动形成上下贯通、部门协同的政策保障机制,明确水利工程标准化工作的法律地位及制度支撑。例如,标准化工作应纳入地方水利发展专项规划,并结合行业实际,出台配套的财政激励、绩效评估及项目审批制度,为标准化建设提供外部推动力。行业协会和科研机构的参与同样至关重要,应

鼓励其积极参与标准体系的更新与完善,并引入第三方评估机制,确保标准能够在实践中不断优化与更新。通过政策推动与体系建设的协同推进,水利工程标准化管理将获得强有力的制度保障及持久动力。

3.3 增加资金支持与多元化融资模式

标准化管理是提升水利工程治理能力的关健手段,而其顺利推进,离不开充足的资金支持。当前,需从制度层面明确财政投入责任,将标准化管理经费纳入水利工程建设与运维的预算体系,确保资金专款专用、专账管理,从而保障相关工作的顺利进行^[3]。同时,应根据不同项目的建设进度与管理需求,合理设定资金投入结构,重点支持标准体系建设、信息化平台搭建、人员培训以及示范工程创建等关键环节,以避免因资金不足而使标准化工作流于形式。除了基础财政投入外,亦应积极开拓多元化的融资途径,拓宽标准化管理的资金来源。通过 PPP 模式、政府引导基金、水利产业发展基金等方式,可以引导社会资本参与标准化项目投资,进而形成“政府引导、市场参与、多元支持”的资金支持格局。同时,争取行业专项资金、科技项目支持及区域合作补助等资源,将用于技术研发与标准转化的推动,增强水利工程标准化的创新性与适应性。通过建立结构合理、覆盖广泛、运作高效的资金支持体系,标准化工作的持续推进,将得到有力保障。

4 结语

水利工程的标准化是提升建设质量与运营效益的关键,也是推动水利事业高质量发展的基础保障。尤其在新疆,面对水资源分布不均和生态环境脆弱的挑战,标准化管理显得尤为重要。通过总结实践经验,分析当前问题并结合当地特点,提出切实可行的对策,能够有效提升水利工程的安全性、规范性及可持续性。未来,水利工程标准化管理应注重政策引导、资金支持、技术创新与人才保障的协同作用,构建全流程、全要素、全周期的标准化体系,推动新疆水利工程建设与管理现代化,提升整体水平。

[参考文献]

- [1] 郑茂海, 孟玉芹, 路光旭. 山东省水利工程标准化管理实践及问题探讨[J]. 山东水利, 2021(9): 1-2.
 - [2] 马丽红. 水利工程运行管理标准化建设对策[J]. 大众标准化, 2025(5): 74-76.
 - [3] 余祥福. 水利工程标准化管理实践与思考[J]. 水上安全, 2024(14): 34-36.
- 作者简介: 翟新峰(1976.9—), 男, 工程硕士, 高级工程师。毕业院校: 新疆农业大学, 所学专业: 水利工程, 当前就职单位名称: 昌吉市水利管理站。

水利工程施工现场的质量控制与管理实践研究

申秀峰

新疆小海子水利建筑安装工程有限公司, 新疆 图木舒克 843900

[摘要]近年来,我国水利工程建设取得了显著进展,但也面临着一系列挑战。水利工程的技术复杂性高、工期较长且施工环境多变,使得质量控制在实践中存在不少困难。特别是在新疆等西部地区,施工环境的严苛与较大的区域跨度,给施工质量管理带来了额外的压力。随着水利项目的不断增加,质量管理体系在标准化和精细化方面,仍需进一步完善。当前,施工现场常见的问题,如安全隐患、设计缺陷以及材料质量等,已引发了行业的广泛关注。针对这些问题,探索并改进水利工程施工质量控制与管理的有效措施,对于提升工程质量、确保项目顺利实施,具有重要的现实意义。

[关键词]水利工程;施工现场;质量控制;管理

DOI: 10.33142/hst.v8i5.16510

中图分类号: TV5

文献标识码: A

Research on Quality Control and Management Practice of Water Conservancy Engineering Construction Site

SHEN Xiufeng

Xinjiang Xiaohaizi Water Conservancy Construction and Installation Engineering Co., Ltd., Tumushuke, Xinjiang, 843900, China

Abstract: In recent years, China's water conservancy engineering construction has made significant progress, but it also faces a series of challenges. The high technical complexity, long construction period, and variable construction environment of hydraulic engineering make quality control difficult in practice. Especially in western regions such as Xinjiang, the harsh construction environment and large regional span have brought additional pressure to construction quality management. With the continuous increase of water conservancy projects, the quality management system still needs to be further improved in terms of standardization and refinement. Currently, common problems on construction sites, such as safety hazards, design defects, and material quality, have attracted widespread attention from the industry. Exploring and improving effective measures for quality control and management of water conservancy engineering construction in response to these issues is of great practical significance for enhancing engineering quality and ensuring smooth project implementation.

Keywords: water conservancy engineering; construction site; quality control; management

引言

水利工程,作为国家基础设施的关键组成部分,对社会发展、生态保护以及民众生活质量具有深远影响。随着我国水利事业的不断进步,水利工程的规模与复杂性不断扩展,工程质量的要求也日益提高。只有高质量的水利工程,才能有效解决水资源管理、防洪抗旱等关键问题,同时为区域经济的可持续发展提供有力支撑。为此,施工过程中的质量控制与管理显得尤为重要。通过建立科学的质量管理体系,并结合完善的施工监控机制,能够确保水利工程按期顺利完成,符合设计标准与使用需求,从而为社会带来更为显著的长远价值。

1 水利工程施工特点

水利工程施工具有其独特的特点,这些特点在管理和实施过程中带来了较高的复杂性与挑战。水利工程涉及多个专业领域,涵盖土建、电气、机械等多个学科,各领域之间的协作是确保工程质量的关键,每一个环节的失误都可能对整体施工质量造成不利影响。为了提升工程建设的整体质量,必须根据各专业的特点合理分配任务,协调施

工流程,避免因专业间配合不当造成的冲突和工期延误。大型水利项目常常覆盖广泛的地理区域,尤其在新疆等地区,施工范围跨越多个地方或省份。工程施工活动可能对原有的自然环境产生影响,引发水文、气候及生态变化。这要求施工前进行充分的现场调查,了解当地气候、地质等因素,依据这些数据制定施工计划,最大程度减少外部环境对施工的负面影响,保障项目可持续发展。代建制和施工总承包模式的普及使水利工程质量监督责任更加复杂,现行法律框架下,委托代建合同性质不明确,相关司法实践缺乏统一判例和规范,质量责任划分模糊。责任不清使得项目管理面临困境,质量控制难以有效落实。虽然水利工程标准化管理已有进展,发布了《水利标准化工作管理办法》强化质量管理,但部分现场管理人员对标准化建设的认知不足,导致标准执行效果差。缺乏专业培训与深入理解,使得标准化实施存在疏漏,增加了水利工程标准化建设的难度,也为质量管理带来隐患。因此,提升管理人员标准化意识,增强标准执行力,是当前亟需解决的问题。

2 水利工程质量管理的常见问题

2.1 施工安全问题

在水利工程施工过程中,施工安全始终是一个不可忽视的重点问题。由于水利工程的特殊性,施工环境常常复杂,涉及到大型机械设备的操作以及特定的作业条件,这些因素使得工人面临较高的安全风险。例如,地下作业、高空作业以及机械设备的使用,都可能引发不同程度的安全隐患。此外,施工现场的自然条件往往充满挑战,潮湿环境、滑坡、泥石流等地质灾害,以及极端气候等外部因素,均可能对施工安全造成威胁。水利工程的施工周期较长,且工地人员流动性大,这使得工人之间在安全意识和技能水平上存在差异,从而进一步加大了安全管理的难度。安全管理与监督的落实常常不到位,导致事故发生的频率较高。事故不仅可能造成人员伤亡,还可能造成设备损坏、工期延误,甚至对生态环境造成不可逆的破坏。由此可见,施工安全不仅直接关系到工人生命安全的保障,更影响着整个项目的顺利进展及最终质量的实现。

2.2 工程设计问题

在水利工程中,工程设计问题是影响施工质量与项目顺利推进的关键因素之一。通常,设计阶段决定了工程的整体结构与可行性,但由于设计人员的经验不足或未能充分考虑实际施工环境,设计方案常常存在一定的缺陷。例如,一些设计未能对现场的地质与水文条件进行充分评估,导致施工过程中出现了意料之外的困难;另外,部分设计图纸内容模糊或不完整,施工人员在执行时容易产生误解,从而增加了施工中的风险。频繁的设计方案修改带来了协调与调整的挑战,常常导致工期延误以及成本的增加。此外,有些设计未能充分考虑后期运营与维护的实际需求,使用过程中可能会出现不便或隐患。所有这些设计问题不仅直接影响了施工质量,还可能在项目竣工后对水利工程的长期使用效果产生负面影响。

2.3 材料问题

在水利工程中,材料问题对工程质量的影响不可忽视。水利工程涉及的建筑材料种类繁多,每一个环节的失误,包括采购、运输、储存及使用都可能对项目的质量与进度产生不利后果。在材料采购阶段,部分施工单位未严格按照相关标准进行操作,导致所购材料质量不合格,甚至存在以次充好的现象,这些劣质材料无法在施工过程中发挥应有的功能,可能引发裂缝、渗水等问题,严重时,甚至危及到工程的结构安全。施工环境通常较为复杂,特别是在极端气候条件下,材料的耐久性与适应性显得尤为重要。然而,某些材料在这些条件下容易发生老化或失效,进而影响工程的整体性能。此外,施工现场条件的限制使得材料在储存与运输过程中经常面临潮湿、污染或损坏的风险,从而影响材料的质量。由于施工周期较长且工程量庞大,材料采购与使用之间常出现滞后或不匹配的情况,某些环节中可能

出现不适宜材料的使用,进而影响整个工程的质量与安全。

2.4 设备问题

在水利工程的施工过程中,设备问题往往成为影响质量的关键隐患。所需的重型机械与复杂设备,如挖掘机、塔吊、混凝土搅拌机等,其性能直接影响施工的效率与质量。然而,部分施工单位在设备的采购、维护及管理方面存在疏漏,设备频繁发生故障,从而显著影响施工进度与工程质量。设备老化及技术落后的问题尤为突出。随着使用时间的推移,设备性能必然出现下降,甚至发生故障,进而导致施工停滞或质量下降。另一方面,设备的调度与使用不当也是常见的管理问题,一些设备未在最佳时机投入使用,或因操作人员技术水平不足而发生操作失误,进一步影响了工程的进展。此外,设备管理不规范也是一个普遍问题,尤其在施工高峰期,设备使用密集,如果未及时进行维修与保养,设备故障与停机时间必然增加,从而直接影响了施工的整体效率与质量。

2.5 施工工艺问题

施工工艺问题在水利工程中是影响质量的关键因素之一。水利工程通常涉及复杂的施工流程和多种施工技术,任何环节中的疏忽或不规范操作,都可能给工程的质量与进度带来严重后果。部分施工单位在选择施工工艺时,未能充分考虑实际情况,导致选用的施工方法与现场条件不匹配。此类不匹配,往往在特定的地质条件下引发结构不稳定或使施工难度增加。在工艺执行过程中,工人技术水平与经验的差异常常导致操作不规范,进而影响施工质量。关键施工环节,如混凝土浇筑与钢筋绑扎等,若操作不当,可能导致结构强度未能达到设计要求,最终影响工程的稳定性与安全性。在施工过程中,细节的忽视同样是一个不可忽视的问题。施工环境的控制、材料配比的精准度以及各工序的顺利衔接,都是确保施工质量的关键因素。若其中任何环节出现偏差,质量问题将不可避免,最终影响整个项目的质量保障。

2.6 监督管理问题

在水利工程施工过程中,监督管理的不足常常成为制约工程质量的一个重要因素。尽管现代水利工程越来越重视监督机制,但在实际操作中,监督工作存在缺陷,执行力不足的情况依然普遍。尤其在一些大型项目或偏远地区的工程中,施工现场的监管力量常显不足,监管人员的配置及其专业能力往往未能适应复杂工程的实际需求。监管工作时常存在形式化的问题,许多质量与安全检查仅停留在表面,缺乏深入的实操,导致潜在问题未能被及时发现或解决。水利工程项目涉及多个承包商及分包商,监管责任划分不清,容易产生管理漏洞和推诿现象。有效的协调与整合缺乏,进一步影响了整体质量控制的实施。在某些项目中,监督检查的频率低、反馈迟缓、整改力度不足,质量问题的积累未能得到有效遏制,最终影响工程质量的持续提升。

3 水利工程施工质量控制的管理实践

3.1 施工过程中的质量控制措施

在水利工程施工过程中,实施有效的质量控制措施至关重要,这直接关系到工程的整体质量与安全。施工前,必须制定详尽的质量控制计划,明确各施工环节的质量标准及控制要求,确保每一位施工人员能够充分理解并严格遵守这些标准。在施工阶段,特别是土方工程、混凝土浇筑、钢筋绑扎等关键工序,应进行严格监控,确保每项操作都按设计图纸及相关技术规范执行。施工材料的管理同样需要严格把关,确保所使用的材料符合国家或行业的相关标准^[1]。水利工程中,材料质量对工程的耐久性与抗灾能力具有决定性影响,因此,材料质量控制不容忽视。同时,施工现场必须加强监督,确保每一道工序按时完成且符合质量要求,并对发现的问题及时纠正。定期开展质量检查与验收工作,尤其是针对每个分项工程的验收,必须做到细致入微、全面无遗漏。通过全方位、多层次的质量控制,确保每个施工环节都能达到预定的质量标准,为后续施工的顺利进行及工程竣工验收提供坚实保障。

3.2 施工前期质量策划与设计审查

在水利工程施工过程中,质量策划与设计审查是确保项目顺利推进的关键环节。在项目启动之前,依据设计图纸与施工计划,需进行质量策划,以明确各项质量目标与控制要求,从而制定一套完整的质量管理方案。该方案应涵盖施工过程中每个环节的技术要求、工艺流程及材料标准等,力求从源头上规避潜在的质量隐患。设计审查同样发挥着至关重要的作用,除了验证设计方案是否满足项目的实际需求外,还需对其可行性与合理性进行全面评估,以确保设计图纸及技术规范的准确无误^[2]。在审查过程中,项目经理、设计人员、施工团队与质量管理人员应紧密合作,共同审视设计方案,及时识别并解决潜在问题。若发现问题,设计需在开工前进行及时调整与优化。此外,设计审查还应充分考虑施工现场的自然环境、施工条件以及资源配置情况,确保设计方案与实际施工能力高度匹配,避免因设计不当而引发的返工及工期延误。

3.3 施工过程中质量监控与评估

在水利工程施工过程中,质量监控与评估是确保工程按时、高质量完成的关键环节。贯穿整个施工过程的是质量监控,特别是在关键工序与重要节点上,必须保持严格的监测。在每个阶段,施工的各项操作必须严格遵循设计要求与技术标准。除了常规的现场检查,现代技术手段,如监控系统和传感器的应用也已成为质量监控的重要工具,这些技术工具能够实时采集数据,分析施工质量的动态变化,有助于及时发现潜在问题并采取有效措施,从而防止质量隐患的积累与恶化。质量评估在施工过程中同样至关重要,通过定期组织专业团队对已完成的施工部分进

行检查,确保其符合设计要求与相关质量标准^[3]。在评估过程中不仅要技术指标与施工质量进行全面检测,还需对施工队伍的操作规范与现场管理水平进行综合审查。评估结果将反馈给项目负责人,基于实际情况,施工方案或工艺可随时进行调整,确保整体工程质量得到有效保障。通过不断进行质量监控与评估,能够及时识别并纠正问题,进而有效降低质量风险,推动水利工程顺利进行。

3.4 施工后期验收与质量评定

水利工程施工后期的验收与质量评定是质量管理的关键环节,直接关系到工程的最终效果与使用寿命。在施工完成后,整个工程必须进行全面且细致的验收,以确保每个环节都符合预定的设计标准与质量要求。验收不仅仅是对施工结果的检查,它还涉及对施工过程中、材料使用、工艺执行等多个方面的综合评审。特别是在水利工程这种对质量要求极高的项目中,任何微小的疏忽都可能对后续使用造成严重影响,因此必须确保每个环节都不被遗漏。在质量评定阶段,除了通过检测、测量等手段对物理及技术指标进行评估外,还需对施工过程中的质量监控数据、施工日志及检查报告进行深入分析,以全面判断是否达成了项目的整体目标。同时,对于可能存在的质量隐患或缺陷,必须在评定时做出明确标注,并制定相应的整改措施。整个验收与质量评定过程应保持透明与公正,充分听取各方专业人员的意见,以确保每一细节都得到充分审视。通过严谨的验收与质量评定,确保水利工程不仅能够按时交付使用,还能为其长期安全与稳定运营奠定坚实基础。

4 结语

水利工程的质量控制涉及设计、施工、材料管理等多个环节,贯穿整个项目的实施过程。通过充分的前期策划、施工过程中的严格监控、质量评估以及后期的细致验收,工程才能确保高质量地完成并交付。在当前的实践中,监督管理不到位与执行力不足等问题依然存在。亟需加强的是从项目初期到后期的全过程质量监管,并推动标准化与信息化管理的深度融合,以保障水利工程在长期运行中的稳定性与可靠性。

【参考文献】

- [1]温迪. 水利工程施工中的质量控制与管理措施探讨[J]. 治淮, 2024(8): 50-52.
 - [2]张树东. 水利工程施工质量控制问题及应对措施分析[J]. 水上安全, 2024(3): 142-144.
 - [3]李明, 刘其勇. 水利工程施工管理质量控制措施探索[J]. 人民黄河, 2023, 45(2): 148-149.
- 作者简介: 申秀峰(1982.4—), 毕业院校: 大专西京学院, 在职本科: 国家开放大学, 所学专业: 土木工程, 当前就职单位名称: 新疆小海子水利建筑安装工程有限公司, 就职单位职务: 分公司经理, 职称级别: 中级。

水利工程施工中的质量控制和安全管理

马 兵

新疆塔建三五九建工有限责任公司，新疆 阿拉尔 843300

[摘要]新疆水利工程因地理环境复杂、气候条件恶劣，施工质量控制面临技术复杂性与环境多变性双重挑战。针对施工方案缺陷、材料质量波动、隐蔽工程管控等核心问题，文章从构建“数据驱动+智能响应”协同管控体系，通过BIM-GIS技术融合实现风险动态预判，利用区块链存证构建质量追溯闭环，依托数字孪生优化混凝土温控、土石坝填筑等关键工序参数。实践表明，该体系使混凝土裂缝发生率下降，施工材料损耗率降低，防渗体隐蔽工程质量实时监测覆盖率达100%。研究形成覆盖全生命周期的智慧管理方法论，为干旱半干旱地区水利工程数字化转型提供系统性解决方案，推动质量管控向智能化、协同化方向升级。

[关键词]新疆水利工程；质量控制；数字管理；BIM-GIS；数字孪生

DOI: 10.33142/hst.v8i5.16507

中图分类号: TV5

文献标识码: A

Quality Control and Safety Management in Water Conservancy Engineering Construction

MA Bing

Xinjiang Tajian 359 Construction Engineering Co., Ltd., Alaer, Xinjiang, 843300, China

Abstract: Due to the complex geographical environment and harsh climate conditions, the construction quality control of water conservancy projects in Xinjiang faces dual challenges of technical complexity and environmental variability. In response to core issues such as construction plan defects, material quality fluctuations, and concealed engineering control, this article constructs a "data-driven+intelligent response" collaborative control system, integrates BIM-GIS technology to achieve dynamic risk prediction, uses blockchain storage to build a quality traceability loop, and relies on digital twins to optimize key process parameters such as concrete temperature control and earth rock dam filling. Practice has shown that this system reduces the occurrence rate of concrete cracks, lowers the loss rate of construction materials, and achieves a real-time monitoring coverage rate of 100% for the quality of concealed anti-seepage works. Research and develop a smart management methodology that covers the entire lifecycle, providing systematic solutions for the digital transformation of water conservancy projects in arid and semi-arid areas, and promoting the upgrading of quality control towards intelligence and collaboration.

Keywords: Xinjiang water conservancy engineering; quality control; digital management; BIM-GIS; digital twin

引言

新疆地处亚欧大陆腹地，干旱半干旱气候区占全区面积的90%以上，水资源时空分布极不均衡。近年来，随着大石峡水利枢纽、叶尔羌河防洪工程等重大项目推进，水利工程成为破解区域水资源瓶颈的核心手段。然而，新疆水利工程施工面临“三山夹两盆”的复杂地形（天山、昆仑山、阿尔泰山与塔里木盆地、准噶尔盆地）、极端温差（ $-35^{\circ}\text{C}\sim 45^{\circ}\text{C}$ ）及强风沙（年平均沙尘暴日数10~30天）等独特挑战，传统质量控制模式因信息滞后、协同低效，难以应对高风险工况。

本文立足新疆地域特征，构建“感知-分析-决策-执行”闭环管理体系，重点突破隐蔽工程质量不可见、材料溯源难、温控工艺粗放等技术瓶颈，探索符合干旱区特点的智慧管控路径，为同类地区水利工程提供可复制的技术范式。水利工程作为国家基础设施的核心领域，其施工质量与安全直接关系到防洪、供水等重大社会功能。然而，水利工程规模庞大、技术复杂、环境多变等特点，导致施

工中材料、工艺、管理等多风险叠加，质量缺陷与安全事故频发。传统管理模式因风险预判不足、协同管控低效等问题，难以应对系统性风险。尤其在数字化转型背景下，亟需构建覆盖全链条的智慧管理框架，破解“重局部轻整体”的管理痛点。以“动态风险预控”与“技术-管理协同”为核心，提出基于数字孪生的质量安全管理方法，为提升工程韧性并推动行业转型升级。

1 新疆水利工程施工质量控制核心挑战

1.1 地理环境胁迫下的技术复杂性

1.1.1 地质条件突变风险

新疆位于全球著名的“地中海-喜马拉雅”地震带，水利工程多建于活动断裂带周边。例如，大石峡水利枢纽坝基穿越8条断层，施工中曾因突发岩溶裂隙导致混凝土漏浆，传统地质勘察手段难以提前识别此类微构造缺陷。此外，沙漠地区风积沙地层承载力低（标准贯入击数 $N<10$ ），渠道基础处理易出现不均匀沉降，某干渠工程建成3年后因地基砂土液化导致边坡滑移，修复成本增加15%。

1.1.2 气候极值叠加效应

夏季高温期(6~8月)混凝土浇筑面临“三超”问题。入仓温度超30℃、水化热峰值超70℃、昼夜温差超20℃,导致温控难度较内地增加30%以上。冬季负温期(12~2月)施工,混凝土受冻临界强度需提升至设计强度的40%,传统蓄热法保温效果不稳定,某重力坝冬季施工段拆模后发现表面蜂窝麻面率达8%。

1.1.3 生态脆弱性约束

塔里木河流域等工程区属于国家级生态保护区,施工中需严格控制弃渣场水土流失、噪声污染。传统施工管理模式难以实时量化生态影响指标,某水库施工期因临时道路扬尘导致周边植被覆盖率下降12%,触发生态红线预警。

1.2 传统管理模式的系统性缺陷

(1) 质量数据碎片化。原材料检测数据分散于实验室纸质报告、施工日志与监理台账。隐蔽工程验收依赖抽样检测,防渗墙取芯检测覆盖率仅5%~10%,难以发现深层缺陷。

(2) 风险响应滞后性。现场质量问题处理遵循“发现-上报-研判-整改”四级流程,平均耗时14.21小时。

(3) 协同机制低效化。参建各方数据系统独立运行形成“信息孤岛”。

2 水利工程施工中的安全隐患

水利工程施工安全隐患具有多源性、隐蔽性和连锁性、突发性等特征,其成因可归结为技术、管理及环境等多维度的系统性缺陷。施工方案的科学性是首要风险源,大型水利工程常因技术复杂性、工序施工要求高、施工周期长,导致材料堆放混乱、工序交叉频繁,若施工方案考虑因数不周(如未考虑边坡稳定性或地下水位变化),易引发坍塌、机械伤害等事故。安全防护设施不完善将进一步加剧风险。水利工程普遍在偏远山区或交通不便区域,管理失衡导致临时防护设施普遍存在标准低、维护缺失问题。如脚手架采用非标材料搭建、临边护栏高度不足,甚至部分防护网破损率超过60%。此类设施在极端天气(如暴雨、强风)下易失效,形成“形式化安全”陷阱。此外,施工环境恶劣与人员素质参差形成叠加效应。应急救援难度因偏远工地常面临通信不畅、医疗救援滞后等客观条件而增加难度。一线作业人员缺乏系统培训现象,特种作业持证率偏低,技术交底流于形式,导致违规冒险作业频发。更深层次的问题在于安全管理体系缺位。多数项目未建立安全风险分级管控和隐患排查治理双重预防机制,应急预案缺乏实战演练。项目重进度轻质量,擅自缩短混凝土养护周期,引发结构裂缝超标,最终返工处理。这种“重进度轻质量”的管理思维,暴露出制度约束力薄弱与责任链条断裂的深层矛盾。

3 安全隐患的管理措施

3.1 加强安全教育与培训

水利工程安全教育与培训需突破传统“填鸭式”模式,

构建分层分类、虚实结合的立体化培养体系。针对施工方案不科学导致的系统性风险,应建立“技术交底+方案复盘”双轨机制,新入场人员需接受基于BIM技术的三维施工模拟培训,直观掌握复杂工序的安全要点;针对高风险作业(如爆破、高空架设),推行“VR事故模拟+实操考核”,通过沉浸式体验强化违规操作后果认知。在安全防护设施不完善的常态化管理中,需将设施标准纳入培训内容:通过实物拆解演示,使作业人员掌握脚手架荷载计算、防护网材质鉴别等技能,同步建立“设施隐患随手拍”制度,利用移动端APP实时上传问题并联动整改。针对施工环境恶劣的客观制约,应开发极端条件应急处置课程,如沙漠地区风沙演练、山区泥石流避险模拟,并配备便携式应急物资包,确保野外作业点“半小时应急响应圈”。针对人员素质参差与管理缺位的叠加问题,需实施“三阶递进”培养计划:一线工人侧重标准化操作(如混凝土振捣时间控制、电焊防火规范)与事故案例警示教育;班组长强化“安全积分制”管理,将隐患排查量、培训参与度与绩效挂钩。同时,推行“导师带徒”制度,由资深工程师带领新人完成全周期施工流程跟岗,确保技术传承与风险防控无缝衔接。

3.2 施工过程动态监管

水利工程施工动态监管需构建“数据驱动+智能响应”的全周期管控体系,突破传统“人盯人”式监管的局限性。针对施工方案不科学引发的系统性风险,应依托物联网技术建立“BIM+GIS”双模定位监测网络:在混凝土浇筑、土方开挖、爆破、有限空间作业等高风险工序中,通过埋设智能传感器实时采集温度、应力、位移等数据,同步对接BIM模型生成三维可视化预警图谱。例如,碾压混凝土坝工程通过监测仓面温度梯度,自动触发温控措施调整指令,将裂缝发生率降低。针对安全防护设施不完善的顽疾,需推行“设施状态在线评估”机制,利用无人机搭载红外热成像仪,对脚手架连接节点、防护网磨损程度进行毫米级精度扫描,自动生成设施健康度评分并联动整改。在施工环境恶劣区域,部署北斗定位+边缘计算设备,实时追踪机械作业轨迹与人员定位,当监测到超负荷作业或违规进入危险区域时,系统自动锁停设备并发出声光报警。对于人员素质参差与管理缺位的叠加问题,需构建“行为-风险”智能画像系统:通过AI视频分析技术,自动识别未戴安全帽、擅自拆除支护结构等高危行为,并关联个人安全信用积分;同步建立项目经理“风险决策指数”模型,将方案变更频次、应急预案执行率等数据纳入考核,对连续触发阈值的项目部启动问责程序。

4 水利工程施工质量控制关键因素与对策

4.1 影响质量的核心因素

水利工程施工质量控制的核心在于对“人-机-料-环”四大要素的系统把控,其复杂性源于工程规模大、工序交叉

多、环境变量广等特点。施工设备的技术参数与维护水平直接影响施工精度：例如，混凝土振捣设备的频率偏差超过 $\pm 5\%$ 时，易导致结构蜂窝麻面；盾构机刀具磨损未及时更换，可能引发隧道轴线偏移超限。因此，需建立设备全生命周期管理系统，通过物联网传感器实时监测运行状态，并结合 BIM 技术预判设备与工序的匹配度。施工人员的技术能力与责任意识是质量控制的动态变量。统计表明，约 68% 的质量缺陷源于操作不规范或工序衔接失误。对此，需推行“技能矩阵”管理，将焊工、电工等特殊工种的操作精度纳入考核，并通过“质量缺陷追溯系统”强化责任意识^[1]。材料质量的稳定性与适用性是工程质量的基础保障，水利工程中水泥安定性不合格、土工膜厚度偏差 $> 0.2\text{mm}$ 等问题，可直接导致大坝结构开裂或防渗失效。需构建“材料进场-存储-使用”全链条管控体系：采用区块链技术记录原材料溯源信息，利用智能仓储系统实现温湿度自动调节，并通过无损检测技术（如超声波探伤、红外热成像）验证材料性能。施工环境的动态适应性则是质量控制的潜在风险源。地质条件突变（如溶洞、断层）或极端气候（如暴雨、冻融、风沙侵蚀、盐碱土质）可能颠覆原有施工方案。对此，需建立“环境风险动态评估模型”，结合卫星遥感、地质雷达实时扫描数据，调整施工工艺参数，并制定分级响应预案。

4.2 质量控制措施优化

4.2.1 强化质量监管体系

水利工程质量监管体系的优化需突破传统“事后抽检+人工复核”的粗放模式，构建“全过程、多维度、智能化”的立体监管框架。针对施工设备参数偏差与人员操作失误的耦合风险，应建立“设备-人员”双链追溯机制：通过物联网传感器实时采集混凝土搅拌站转速、振捣棒频率等关键参数，同步对接工人技能认证系统，当检测到设备超限运行或人员违规操作时，自动触发声光报警并冻结工序权限^[2]。在材料质量波动与环境动态干扰的协同管控中，需构建“区块链+智能传感”溯源体系：原材料进场时即上链存储出厂批号、检测报告等核心数据，施工过程中通过埋设温湿度传感器、压力应变计等设备，实时生成材料性能演变曲线，当检测到水泥安定性异常或土工膜应力超标时，系统自动推送替代方案并联动调整施工工艺。某水库工程因砂石骨料级配偏差导致混凝土离析，通过该体系在 2 小时内完成问题溯源，紧急调用备用料源并优化配合比，避免返工损失超。针对管理流程僵化与责任边界模糊的系统性缺陷，需推行“PDCA+数字孪生”闭环管理模式：利用 BIM 模型构建虚拟施工场景，预演不同工序组合对质量的影响权重，结合现场实测数据动态修正数字模型，形成“设计-施工-反馈”迭代优化链路。

4.2.2 施工过程精细化管控

水利工程施工精细化管控需依托“数据贯通+智能决

策”双引擎，将传统经验驱动转化为参数化、标准化管控模式。针对工序衔接不畅导致的质量波动，应建立“BIM+GIS”工序分解模型：将大体积混凝土浇筑、土石坝填筑等复杂工序拆解为可量化子模块（如温控时段、碾压遍数），通过智能算法匹配最优工艺参数组合^[3]。面板堆石坝工程采用该模型后，将过渡料压实度合格率提升，施工效率提高。在实时监测与反馈层面，需构建“一体化”感知网络：利用北斗定位+无人机航测建立施工地形数字孪生体，结合埋设于混凝土结构内部的分布式光纤传感器，实时监测温度梯度、应力变化等关键指标。当检测到仓面温差超限值时，系统自动触发冷却水管通水方案调整指令，并通过移动端推送至施工班组。针对质量缺陷追溯困难的痛点，需推行“区块链+智能标签”溯源机制：在水泥、钢筋等关键材料进场时植入 RFID 芯片，关联生产工艺参数与检测报告；施工过程中通过 AI 视频分析自动抓取焊缝成型度、钢筋间距等质量数据，生成不可篡改的电子施工日志。

5 结语

水利工程施工质量控制与安全管理是工程全生命周期管理的核心议题，其复杂性源于技术密集性、环境多变性及管理协同性的多重叠加。通过系统性分析“人-机-料-环”四大要素的相互作用机制，揭示了施工方案科学性、安全防护标准性、材料稳定性及环境适应性对工程质量与安全的决定性影响。在管理层面，创新性提出“数据驱动+智能响应”的协同管控框架。通过 BIM-GIS 融合技术实现施工风险动态预判，借助物联网与区块链构建质量追溯闭环，利用数字孪生技术优化工序参数组合，形成覆盖“设计-施工-运维”全链条的智慧管理方式。实践验证表明，该体系可显著降低质量缺陷率、提升安全事件响应效率，并为工程数字化转型升级提供可复制的技术路径。未来研究需进一步融合卫星遥感、AI 大模型等前沿技术，构建“风险预警-智能决策-韧性提升”一体化管理模式，同时推动行业标准与政策法规的配套完善，以实现水利工程质量安全管理从“被动防控”向“主动治理”的跨越式发展。

【参考文献】

- [1]阿合买提·哈司木.水利工程施工中的质量控制与安全隐患管理[J].城市建设理论研究(电子版),2024(2):205-207.
- [2]马占岳.水利工程施工中的质量控制与安全隐患管理[J].水利科学与寒区工程,2023,6(8):147-149.
- [3]刘钊.水利工程施工中的质量控制与安全隐患管理[J].水上安全,2024(16):157-159.

作者简介：马兵（1980.8—），男，水利水电工程一级建造师，工学学士，副总工程师，主要从事水利水电及土木工程施工、质量安全管理、工程技术创新、科学研究及项目管理等工作。

探析水利工程中堤防护岸工程施工技术研究

权武彬

甘肃省白银市靖远县北湾镇古城村权湾社, 甘肃 白银 730600

[摘要]堤防护岸工程施工技术是水利工程抵御洪涝灾害、维系生态平衡的核心支撑,其技术革新正从单一防洪功能向多目标协同防护体系演进。面对极端气候与复杂地质耦合挑战,传统刚性防护模式难以适配动态水沙条件与生态修复的双重需求,亟待构建多目标协同的新型技术体系。文章系统整合土料选配、结构设计与智能施工工艺的创新路径,创新融合动态监测与生态协同机制,提出涵盖材料改性、智能压实与仿生防护的全链技术框架。通过构建“性能感知—损伤预警—功能再生”的韧性防护范式,突破传统工程寿命周期内的性能衰减瓶颈,为水利基础设施的生态化转型与全寿命周期成本优化提供方法论指导,推动防洪工程从被动抵御向主动适应的战略升级。

[关键词]水利工程;堤防护岸工程;施工技术;生态防护;质量控制

DOI: 10.33142/hst.v8i5.16505

中图分类号: TV871

文献标识码: A

Research on Construction Technology of Embankment and Bank Protection Engineering in Water Conservancy Engineering

QUAN Wubin

Quanwan Community, Gucheng Village, Beiwan Town, Jingyuan County, Baiyin City, Gansu Province, Baiyin, Gansu, 730600, China

Abstract: The construction technology of embankment protection engineering is the core support for water conservancy projects to resist flood disasters and maintain ecological balance. Its technological innovation is evolving from a single flood control function to a multi-objective collaborative protection system. Faced with the challenges of extreme climate and complex geological coupling, traditional rigid protection models are difficult to adapt to the dual needs of dynamic water and sediment conditions and ecological restoration, and there is an urgent need to build a new multi-objective collaborative technology system. The article systematically integrates the innovative path of soil material selection, structural design, and intelligent construction technology, innovatively integrates dynamic monitoring and ecological coordination mechanism, and proposes a full chain technology framework covering material modification, intelligent compaction, and biomimetic protection. By constructing a resilience protection paradigm of "performance perception damage warning function regeneration", we break through the bottleneck of performance degradation within the traditional engineering life cycle, provide methodological guidance for the ecological transformation and full life cycle cost optimization of water conservancy infrastructure, and promote the strategic upgrade of flood control engineering from passive resistance to active adaptation.

Keywords: water conservancy engineering; embankment and bank protection engineering; construction technology; ecological protection; quality control

引言

堤防护岸工程作为水利基础设施的核心载体,其技术迭代始终围绕防洪安全、生态协调与工程寿命的多维平衡展开。全球气候变暖引发的极端水文事件频发,使得河岸侵蚀速率倍增、洪水冲击能量升级,传统刚性护岸结构已难以适应动态水沙条件与生态修复的双重需求。现有工程实践表明,过度依赖混凝土砌筑与硬质驳岸虽能短期提升抗冲刷能力,却易割裂水域生态链、加剧生物栖息地破碎化,同时刚性结构的应力集中效应在软基区易诱发不均匀沉降隐患。当前技术瓶颈集中体现为材料性能单一性、施工扰动不可逆性及运维反馈滞后性——传统土工合成材料难以兼顾渗透稳定与根系固土需求,分层碾压工艺在复杂地形易产生结合面薄弱区,而人工巡检模式难以及时捕捉隐蔽性结构损伤。破解这些难题需构建“材料—结构—

感知”三位一体的技术革新路径:研发具有自修复特性的生态兼容性材料,开发适应地形起伏的模块化装配式护岸构件,植入分布式光纤传感网络实现变形与渗流的实时反演。本文通过剖析土工材料功能改性机理、智能压实工艺优化策略及生态-工程协同设计方法,探索护岸工程从被动防御到主动适应的转型模式,为构建全域感知、动态调控的水利防护体系提供理论框架与实践范式。

1 水利工程中堤防护岸工程的重要性

1.1 保护河道和周边土地免受洪水侵害

堤防护岸工程通过构筑复合型屏障体系实现河道行洪能力的精准调控,其核心在于融合水文动力学与岩土力学原理构建分级消能结构。工程设计需统筹水位波动特性与土体渗透响应规律,采用反滤层与排水盲沟协同作用降低浸润线高程,结合生态袋装土技术形成抗冲刷柔性界面,

既阻断洪水漫溢路径又缓解水流对堤基的掏蚀效应。针对软土区段地基承载力不足问题,引入预应力管桩与土工格栅复合加固体系,通过应力扩散机制提升堤防在动态水力荷载下的结构稳定性。此类技术体系不仅有效防止农田与城市低洼区域的内涝灾害,更通过引导水流形态优化降低河床局部冲刷风险,为沿岸基础设施与生态廊道提供全域防护屏障。

1.2 防止河岸侵蚀和土壤流失

堤防护岸工程通过多尺度协同防护体系阻断侵蚀链式反应:微观层面采用生物酶固化技术增强土体胶结性能,形成抗冲刷表层保护壳;中观层面构建三维植被根系锚固系统,利用植物蒸腾作用调节土体含水率,实现生态护坡的自修复功能;宏观层面通过丁坝-潜堤组合结构调节近岸流场,分散水流剪切应力。针对潮汐作用区,双层反弧护面设计通过波浪能量相位干涉效应削弱爬坡动能,透水砌石结构则利用孔隙率梯度分布平衡水力冲击与地下水交换需求^[1]。工程措施与生态机制的耦合作用显著抑制岸线侵蚀速率,维护河道形态稳定与生态连通性。

1.3 提供水资源的可持续利用

堤防护岸工程通过生态-水文协同调控机制重构水资源利用范式:生态护岸依托根际微域效应与人工湿地串联系统构建多级过滤屏障,实现面源污染截留与水体自净功能耦合;亲水阶梯护坡采用多孔介质与导流堰协同布局,通过水位弹性调节保障农业灌溉取水稳定性。库区防护体系创新透水混凝土与仿生浮床联用技术,利用孔隙渗流效应促进水体复氧循环,同步实现岸线防护与水质优化。此类技术突破防洪单一功能范式,形成水量调蓄—水质净化—生态涵养三位一体的水资源调控网络,为流域尺度水—土—生系统协同管理提供工程载体。

2 水利工程中堤防护岸工程施工技术应用存在的问题

2.1 施工安全难以保障

水利工程施工通常处于特殊位置,受多种不确定因素的影响,这为施工过程带来了潜在的安全隐患,同时也对堤防护岸工程技术的应用构成了显著的挑战。在水利工程的施工过程中,必须实时监测水位变化,并根据水位的不同情况灵活调整施工进度。如果无法准确选择合适的施工时机,不仅可能导致施工原材料的浪费或损坏,还会影响后续施工环节的顺利衔接。若施工方式与施工时机未能有效契合,不仅会增加项目的施工成本,还会提升施工的难度,从而影响工程的安全性与质量保障。

2.2 缺乏科学的施工管理制度

堤防护岸工程施工管理滞后性集中表现为过程控制与技术演进的脱节:粗放式管理模式难以适配工艺参数精密化需求,例如填筑含水量动态调控机制缺失导致压实质量波动;新型材料应用缺乏全生命周期管控标准,生态混凝土养护条件与性能演化关联性研究不足,削弱技术创新

的落地效能。BIM 技术应用仍停留在静态模型模拟阶段,物联网感知层覆盖不足致使压实度、边坡位移等关键参数反馈延迟,形成“数据孤岛”^[2]。管理体系的碎片化割裂了设计、施工与运维的连续性,亟需构建基于数字孪生的智能管控平台,通过多源数据融合与算法驱动实现工艺优化、风险预警与资源调度的动态响应机制,推动施工管理从经验依赖向模型驱动的范式跃迁。

3 水利工程中堤防护岸工程施工技术的应用措施

3.1 加强土料的开采和选配

堤防护岸工程中土料质量的全流程管控需构建智能化勘探、动态分级与功能适配三位一体的技术体系。勘探阶段采用地质雷达扫描与孔压静力触探技术联合作业,通过电磁波反射特征与锥尖阻力曲线的耦合解析,精准识别料场土体的空间分布异质性及力学参数梯度变化规律,为开采方案制定提供多维数据支撑。开采过程实施数字化分仓管理策略,依托北斗定位系统与近红外光谱检测装置实现土料运输轨迹追踪与物性实时分析,通过含水率、有机质含量及颗粒级配的在线监测建立动态分级堆存机制,规避土料混杂导致的性能波动。针对高塑性黏土易产生收缩裂缝的缺陷,研发纳米硅基复合改良剂优化土体颗粒界面结合能,通过硅氧烷键的定向交联增强黏土团粒结构稳定性,同步提升压实后抗渗性与抗剪强度;砂性土则通过玄武岩纤维定向加筋技术改善离散性,利用纤维表面微孔结构吸附游离水分子形成化学键合效应,构建三维网状增强体系以抑制动力荷载下的颗粒迁移。建立多维度土料性能数据库,集成机器学习算法解析级配参数与工程响应关联规律,通过对抗生成网络(GAN)模拟不同工况下的填料性能演化路径,实现堤身防渗区、反滤层及护坡结构的材料特性精准适配与功能定向设计,为堤体全生命周期稳定性奠定基础。

3.2 完善土体开挖施工

堤防护岸工程土体开挖需以最小扰动与动态稳定为核心目标,构建智能化协同作业体系。采用无人化挖掘设备搭载多模态感知模块,通过三维激光扫描实时生成开挖面点云模型,并与BIM设计基准进行毫米级偏差分析,实现开挖精度的闭环控制。针对高陡边坡稳定性难题,布设分布式光纤传感网络实时捕捉岩体微应变场与温度场演化特征,结合深度学习算法预测潜在滑移面位置,触发预警并联动支护系统干预。在承压水地层施工中,创新应用液氮冻结帷幕技术形成低温截水屏障,通过温度场-渗流场耦合调控抑制周边地层沉降;同时研发自膨胀注浆材料对开挖暴露面进行即时封闭,阻断水-力耦合作用导致的岩体劣化。开挖弃渣通过智能分选与级配重构工艺转化为生态护坡骨料,结合微生物诱导碳酸钙沉淀技术(MICP)增强再生骨料胶结强度,形成兼具透水性抗冲刷性能的生态护坡基材。施工过程中同步构建数字孪生系统,通过多源异构数据融合反演开挖扰动传播路径,动态优化施工时序与机械协

同策略,实现地质风险超前预判与工程扰动的精准补偿。

3.3 增加堤身的施工管理

堤身施工管理的智能化升级需依托“感知-决策-执行”全链闭环体系的构建。基于北斗高精度定位与惯性导航融合技术,无人压路机可实时获取土体刚度场分布特征,通过强化学习算法动态优化碾压路径与激振力参数,实现压实能量输入与土体响应特性的自适应匹配。微波湿度传感器网络以空间波导原理重构填筑层含水率三维云图,结合介电常数反演模型动态修正最佳压实阈值,消除传统点式检测的盲区效应。BIM-MES 集成平台通过多源异构数据融合技术,将压实轨迹、层厚偏差、温度梯度等参数实时映射至数字孪生体,利用卷积神经网络挖掘施工参数与力学性能的隐性关联,构建基于机器视觉的薄弱区识别模型,实现微裂隙、松散夹层等隐患的毫米级定位^[3]。施工参数区块链存证系统采用非对称加密与智能合约技术,将压实遍数、激振频率等关键数据分布式存储于联盟链节点,形成不可逆的质量溯源链条,任何参数篡改行为均会触发哈希值异常警报。同时引入边缘计算终端对施工机械进行群协同控制,通过联邦学习优化多设备作业时序,解决传统施工中碾压重叠区能量冗余与接缝区欠压实的矛盾。堤身养护阶段植入自感知光纤阵列,实时监测干缩应变与温度应力演化,结合数字孪生系统的损伤预测结果触发自修复微胶囊破裂,实现裂缝的主动弥合与性能恢复。

3.4 严格按照流程进行压实施工

堤防护岸工程压实施工的精准化需构建“智能感知—动态调控—闭环验证”的全链技术体系。研发振动-静压复合式压实设备,通过多频激振与恒压辊筒的协同作用适配不同土类密实需求:砂性土采用高频低幅振动模式激发颗粒重排效应,黏性土则切换低频高幅冲击破除团粒结构;设备搭载介电常数传感器阵列,基于电磁波相位偏移特征反演土体孔隙率与含水率的空间分布,实时生成压实度热力图指导碾压路径优化。针对层间接缝薄弱区,开发自愈乳化沥青界面处理技术,利用微胶囊包裹的活性剂在机械应力触发下释放,与沥青组分发生原位交联反应修复剪切滑移裂缝,形成连续抗剪界面。建立压实质量云评估系统,集成无人机载探地雷达与高光谱成像技术,通过多波段电磁波穿透反演与表面纹理特征提取,构建三维密实度云图并识别隐蔽性松散区;结合边缘计算终端对异常区域进行压实能量补偿算法推演,生成补强作业的路径规划与参数配置。施工全过程数据通过区块链分布式账本存证,利用时间戳与哈希加密技术确保碾压轨迹、激振参数等核心信息的不可篡改性,为质量追溯提供可信数据链。同时引入数字孪生平台,将物理压实过程与虚拟模型动态耦合,通过多物理场仿真预测长期服役工况下的密实度衰减规律,反向优化施工参数阈值,形成“施工—监测—反馈”的智能迭代闭环,全面提升堤防结构的抗渗稳定性与长期

耐久性。

3.5 护岸工程技术选择

堤防护岸工程的技术决策需构建“生态效能—结构韧性—环境响应”多维协同体系。针对强冲刷区段,研发模块化鱼巢式生态砌块,通过空腔拓扑优化设计形成多级消能单元,其内部仿生曲面结构可诱导水流产生局部涡旋,降低近岸流速 30%~50%;空腔填充生物亲和性陶粒基质,为底栖生物提供产卵附着面,同步实现水力消能与生态修复。潮间带防护创新盐沼植物-仿生珊瑚礁复合护坡技术,利用 3D 打印珊瑚骨架模拟天然礁体孔隙结构,接种钙化菌诱导碳酸钙沉积强化骨架强度,盐生植物根系通过生物胶结作用固结滩涂泥沙,形成抗浪能力达 8 级风浪的生态韧性界面。船舶行波影响区推广带消能孔的装配式混凝土护面单元,基于计算流体力学优化孔洞排布与倾角,通过涡流干涉效应将反射波高削减 60%以上,其预制拼装结构可适应±15 厘米的基床沉降变形。引入形状记忆合金锚杆技术,通过马氏体相变特性实现锚固力随温度变化的动态调节,冬季低温条件下锚杆收缩增强预紧力以抵抗冻胀,夏季高温相变释放应力避免结构热损伤^[4]。针对感潮河段水位剧变特性,开发浮式弹性护岸系统,采用超高分子量聚乙烯编织网与闭孔泡沫芯材复合结构,通过浮力自适应机制维持护岸高程与水位同步变化,消除传统刚性护岸因水位骤降导致的背水面负压破坏风险。技术体系深度融合仿生学原理与智能材料科技,推动护岸工程从静态防护向动态适应的范式跃升。

4 结语

堤防护岸工程技术体系正经历从材料性能优化向系统韧性重构的范式跃迁,其进化逻辑需融合力学-生态-信息交叉学科理论,形成环境响应与工程性能的动态平衡机制。未来技术突破将聚焦自感知材料的多场耦合响应机制、仿生结构的多稳态拓扑设计及数字孪生驱动的全寿命自愈策略,构建“环境感知—智能决策—性能再生”的闭环防护链。通过跨尺度协同设计与智能材料集群技术,实现护岸工程在极端水文事件下的损伤阈值自适应调节与功能梯度恢复,同步达成水力安全、生态廊道修复与碳汇能力提升的复合目标,重塑人水关系的新平衡态。

[参考文献]

- [1]夏孝渊. 水利工程中堤防护岸工程施工技术研究[J]. 散装水泥, 2024(4): 53-55.
 - [2]李云刚. 水利工程中堤防护岸工程施工技术初探[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2024(20): 208-210.
 - [3]魏刚. 水利工程施工中堤防及护岸工程技术的研究[J]. 水上安全, 2025(4): 49-51.
 - [4]周军启. 水利工程中堤防护岸工程施工技术浅析[J]. 水上安全, 2024(8): 176-178.
- 作者简介: 权武彬(1983.6—), 毕业院校: 武汉大学, 所学专业: 工程管理, 职称级别: 工程师。

基于数字孪生技术泵闸安全分析评估

万 艳^{1,2}

1. 上海勘测设计研究院有限公司, 上海 200335

2. 三峡智慧水务科技有限公司, 上海 200335

[摘要] 随着信息化技术不断发展, 数字孪生技术在水利方向应用不断深入, 如何将传统水利模型计算与信息化技术结合应用, 通过水利模型计算及分析泵站安全健康值得深入研究, 基于信息化及数字化的泵闸工程安全分析与健康评估是以状态监测为核心, 在监测、检测、调查及维修养护的基础上, 建立实时的泵闸工程数字孪生或虚拟仿真(或仿真)物理镜像模型, 结合可视化, 对泵闸工程系统的全生命过程进行实时状态分析、损伤分析、复核分析、安全分析、健康分析及预报预警, 以保证泵闸工程的安全健康和高质量运行。

[关键词] 泵闸安全; 数字孪生; 安全模型评估; 设备健康度

DOI: 10.33142/hst.v8i5.16498

中图分类号: TV697

文献标识码: A

Safety Analysis and Evaluation of Pump Gates Based on Digital Twin Technology

WAN Yan^{1,2}

1. Shanghai Investigation, Design & Research Institute Co., Ltd., Shanghai, 200335, China

2. China Three Gorges Smart Water Technology Co., Ltd., Shanghai, 200335, China

Abstract: With the continuous development of information technology, the application of digital twin technology in the field of water conservancy is deepening. How to combine traditional water conservancy model calculation with information technology, and analyze the safety and health of pump stations through water conservancy model calculation and analysis is worth further research. Based on information and digitalization, the safety analysis and health assessment of pump and sluice engineering are centered on state monitoring. On the basis of monitoring, detection, investigation, and maintenance, real-time digital twin or virtual simulation (or simulation) physical mirror models of pump and sluice engineering are established. Combined with visualization, real-time state analysis, damage analysis, review analysis, safety analysis, health analysis, and forecast warning of the entire life process of pump and sluice engineering systems are carried out to ensure the safety, health, and high-quality operation of pump and sluice engineering.

Keywords: pump gate safety; digital twin; safety model evaluation; equipment health

1 研究背景

闸站工作条件复杂, 安全受多种因素影响, 其安全性往往是多种因素综合作用的结果, 并不能单纯地用某一种原因解释, 其主要问题为: 防洪能力问题、闸室和翼墙整体稳定性问题、涵闸下消能防冲设施问题、涵闸基和两岸

渗流破坏问题、建筑物结构问题或老化问题、闸室锈蚀问题、启闭设施和电气问题、涵闸上下游淤积及闸室磨损问题、涵闸抗震问题、管理及管理设施问题。根据涵闸安全的主要问题及水闸安全评估工作实际和《水闸安全评价导则》(SL 214—2015) 的要求, 闸安全分析主要包括:

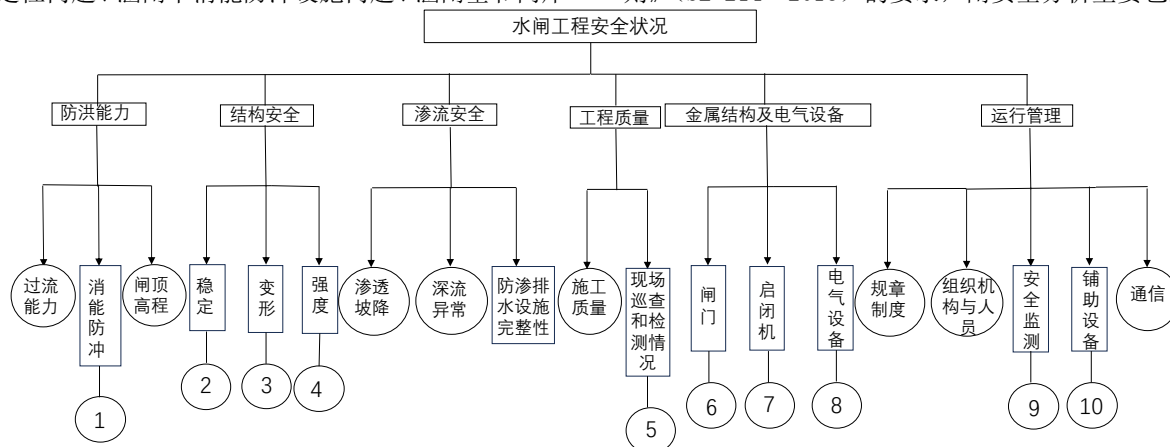


图1 水闸安全状况分析图

2 安全监测模型分析

安全监测模型分析是基于一定的物理背景,确定影响观测量的影响因素,构建统计模型。统计模型是以历史实测数据为基础、以环境量作为自变量、以监测效应量作为因变量、利用数理统计分析方法而建立起来的、定量描述监测效应量与环境量之间统计关系的数学方程。

针对闸站监测系统布置情况,首先进行监测系统工作状况评价,筛选出测值可靠的测点,再对测值总体可靠的测点的实测数据进行误差分析,剔除粗差,然后进行过程线分析、效应量与荷载间的变化规律分析、时空分布规律分析和量值分析。

闸站安全监测领域常用统计模型采用的分析方法是回归分析。在回归分析中,假定因变量的误差呈正态分布,而对自变量的误差分布并无要求。即只把因变量视为随机变量,把自变量视为非随机变量。回归分析的主要目的就是要找出变量的数学期望随着自变量的变动而变动的规律。

水工建筑物的观测物理量大致可归纳为两大类,第一类为荷载集,如水压力,泥沙压力,温度,地震荷载等;第二类为效应集,如变形、裂缝开度、应力、应变、扬压力或孔隙水压力、渗流量等。通常将荷载集的变量称为自变量,效应集的称为因变量^[1]。

建立统计学模型关键是正确选择回归因子。逐步回归是逐步引入因子或剔除因子,而每一步都要作统计检验(F检验),以保证每次引入新的显著因子以前,回归方程中只包含有显著因子,直到所有显著因子都包括在回归方程以内为止^[2]。

在实际工程问题中,影响因变量的因素往往是复杂多样的。找出各个因素对某一变量的影响,建立他们之间的数学表达式,即回归模型。

推求统计模型中的最佳回归系数,基本方法为最小二乘法。按照统计模型,将观测到的某种水工构筑物安全性态分解成若干与环境变量的相关项。集成变形、渗流、应力等专项计算方法,构建安全监测分析模型,可根据实测或预报的环境量,预测水工构筑物安全性态,定量分析工程关键效应量的变化规律,并实现预测预报^[3]。

通过对代表性坝段、代表性监测量进行统计模型研究,对模型进行定性、定量分析,得出因子数目较少、复相关系数较高、成果合理的各监测项目推荐模型。

根据监测类型和测值特点,采用规范法、典型小概率法、置信区间法等方法,建立闸站安全预警指标,评价测点分级指标体系,并构建基于多源信息融合的闸站安全诊断模型,提升工程安全在线监控预警能力。

典型监控效应量的小概率法是根据不同类型闸站的具体情况,选择不利荷载组合时的监测效应量或它们的数学模型中的各个荷载分量。监测效应量为随机变量,每年有一子样,因此得到一个样本空间,估计其特征值,用统

计检验法(如A-D法、K-S法),对其进行分布检验,得其概率密度函数的分布函数(如正态分布函数、对数正态分布和极值I型分布等),确定失事概率后,即可求得相应水平的监控指标。

3 设备健康诊断模型

建立基于本项目泵站的结构和组成,依托在线监测数据和离线检查与试验数据,建立设备健康评价指标体系。基于层次分析理论,根据历史数据拟合计算出动态阈值优化算法,建立“设备-设备部件-部件状态量/性能指标量-判断依据”或“设备-状态量/性能指标量-判断依据”等多层次综合计算评分的健康评价模型,通过状态评价、部件评价、整体评价三个层次实现设备健康状态评价。

设备健康评价模型主要针对泵站的主机组进行健康评价,包括主水泵、主电机。可通过对转速、振动监测、红外视频、大轴姿态与磨损、电机温度、辅机压力流量温度等机组设备监测数据,实现主机组全方位安全评价。

设备健康评价模型算法说明,采用基于大数据、数据可视化技术的设备健康画像分析,综合展示设备运行的全数据,结合设备在线异常检测、故障诊断、声音成像算法、能耗分析算法的运算结果,以时间、设备/部件、工况等多种线索来展示设备运行状态和健康状态,并通过机理、数据关联等线索,展现健康状态与各数据要素间的同步形态和趋势联系,提供设备全方位的健康评估

泵机健康评价即故障预测与健康管理的PHM(PrognosticsHealthManagement),为了满足自主保障、自主诊断的要求提出来的,强调资产设备管理中的状态感知,监控设备健康状况、故障频发区域与周期,通过数据监控与分析,预测故障的发生,从而大幅度提高运维效率^[4]。

根据泵站主设备包括主水泵、主电机等的运行状态,结合现场调研和专家经验,结合关键设备关键部件的测点处布设了大量的传感器,可以采集温度、振动信号。因此,对泵站设备进行健康评估,针对温度、振动指标进行风险预测和分析,建立泵机健康评价模型。

在核心工作部分设置OPC采集器,OPC采集器内包括振动传感器、温度传感器、湿度传感器和计数器等,通过OPC采集器实时采集各个评价对象对应的评价指标的实时数据,然后对采集到的实时数据与对应的阈值进行比较,其中,阈值的制定是根据设备规格和不同工况下对应部分产生的历史数据为依据,且阈值制定为四个等级,四个等级分别对应“良好”“可用”“需维修”“危险”四个指标级别。

3.1 设备健康状态基准模型及阈值模型算法说明

建立了基于历史数据的机组设备健康状态基准模型及阈值模型,该模型根据设备振动、温度数据和对应的相关工况数据建立基于最小二乘曲面的健康状态基准模型及阈值模型,能很好地追踪泵组设备运行过程中振动、温度状态参数的变化,对机组设备状态进行及时评价和预警。

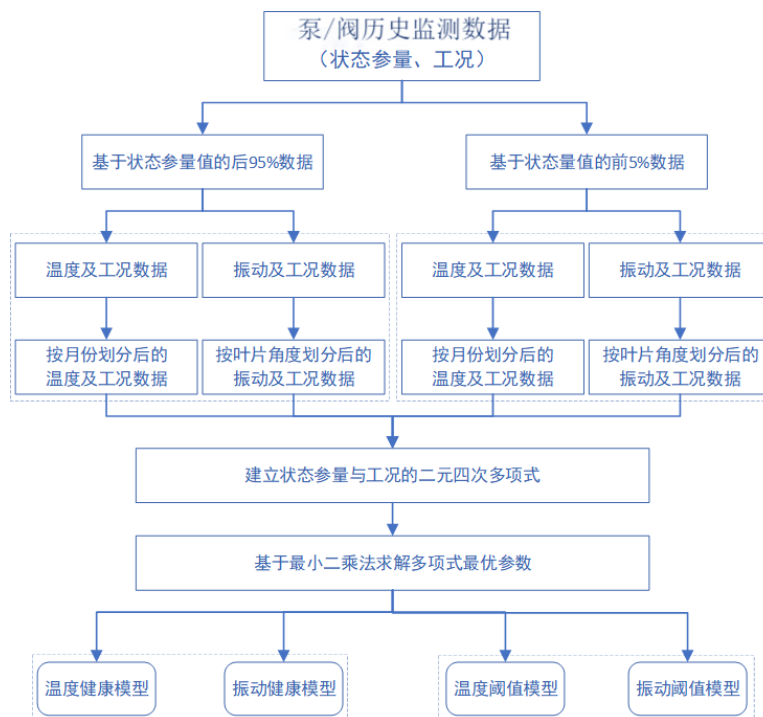


图2 设备健康状态基准模型及阈值模型

3.2 设备健康状态预测模型算法说明

3.2.1 关键状态参数选择

主水泵和主电机是泵站运行的核心设备,影响整个输水系统的运行和性能。因此,对主水泵和主电机进行监测、预测、分析可以及时发现机组的潜在故障和异常情况,避免机组出现停机或者损坏,从而保证泵站的正常运行和供水的稳定性。选择能够表征设备风险的关键状态参数:温度和振动指标来建设智能数据模型。

当主水泵和主电机出现故障或异常情况(如离心泵叶轮不平衡、轴承磨损、主电机不平衡、密封部件磨损破坏等)会导致振动水平上升或振动频率发生变化,这些变化可以通过振动传感器来检测。

综上所述,通过对温度、振动监测和预测可以及时发现主水泵和主电机的异常情况,判断主水泵和主电机是否处于正常工作状态,并对异常状态采取相应措施,避免故障进一步加剧。

3.2.2 数据辨识及清洗方法

泵站设备的传感器采集大量的原始数据,包括温度、振动、流量、水位、压力、功率、转速等各类监测数据和工况数据,需要通过数据辨识方法来检查和识别数据集中的异常值、缺失值、离群值等问题数据,通过统计方法来检查和识别健康状态和故障状态下的监测数据和工况数据,常用的数据辨识方法有:描述性统计、可视化分析、相关性分析。

对经过数据辨识后的原始数据进行处理,将异常值、缺失值、离群值以及特定状态数据进行清洗,常用的数据清洗方法有:异常值处理、缺失值处理、离群值处理、特

定状态数据处理。

3.2.3 状态参数趋势预测模型

根据现场调研和专家经验,泵站运行过程中容易出现故障或故障后影响大的泵站设备有主电机和主水泵,对这些设备不同测点处的温度和振动信号进行采集和处理,可以实现对温度和振动状态参数的预测。

泵站主设备包括主水泵、主电机等,通过温度、振动数据以及相关运行工况数据的综合分析预测学习,结合泵站运行维护相关数据统计分析,构建泵站主设备单参量预测模型,结合专家经验形成预警方案,为日常运行维护业务提供决策数据支撑。模型开发工作描述如下。

4 温度预测模型

(1) 初选候选特征参量

选择主设备的测点温度和对应的工况,如下表所示。

表1 泵站主设备温度预测点一览表

设备	工况	振动测点
主机组	瞬时流量	定子绕组测温
	正向累计流量	上导轴承测温
	流速	推力轴承测温
	水深	下导轴承测温
	水温	下油池测温
	机组效率	
	栅前水位	
	栅后水位	
	上游水位	
	叶片角度	
	扬程	

(2) 数据标准化

对所有的温度输入数据进行预处理,剔除异常值,按照数据标准化方法(即 z-score 法)进行标准化处理。

(3) 条件互信息法筛选关键输入特征参量

计算关键测点温度与每个工况参数之间的条件互信息值,选择条件互信息值高的工况作为关键输入特征参量,通过条件互信息法筛选出与关键测点温度相关的工况。

(4) 建立温度预测模型

将处理好的温度和对对应工况数据集按时间序列进行排序,按 8:2 的比例将数据集划分为训练集和测试集,使用训练集训练 LSTM 模型,然后使用测试集评估模型的性能,通过平均绝对误差(MAE)指标来反映该性能。根据评估结果来改进模型,可能需要调整参数、改变特征选择等。

(5) 输出温度预测序列

使用训练好的温度预测模型来预测新工况数据的输出值,即新工况数据对应的温度预测值,并将该温度预测值用于泵站设备部件的风险评估。

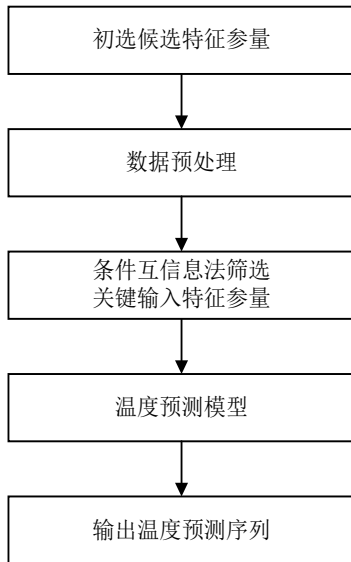


图3 温度预测模型构建流程

5.1 振动预测模型

振动序列相比于温度序列非线性和波动性更强,时序关联性差,预测难度更大,不能对振动监测数据进行直接使用,通过特征工程提取振动特征,建立振动预测模型:

(1) 初选候选特征参量

选择主设备的振动测点和对应的工况。

(2) 数据标准化

对所有的振动输入数据进行预处理,剔除异常值,按

照数据标准化方法(即 z-score 法)进行标准化处理。

(3) 条件互信息法筛选关键输入特征参量

计算关键测点振动与每个工况参数之间的条件互信息值,选择条件互信息值高的工况作为关键输入特征参量,通过条件互信息法筛选出与关键测点振动相关的工况。

(4) 振动信号特征提取

对原始振动信号进行时频分析,采用变分模态分解方法(VMD)将振动信号分解成多个本征模态函数(IMF)分量,通过相关性分析得到各 IMF 分量与原始振动信号之间的相关系数,将相关系数大的 IMF 分量进行合并重构,得到原始振动的重构信号即为原始振动信号特征^[5]。

(5) 建立泵站设备振动预测模型

考虑到泵站设备实际工作情况,泵站设备正常运行过程中振动幅度很小,振动特征不明显,因此,在对建立泵站设备振动预测模型时还考虑使用 LSTM 算法用来捕捉更细微的差异。

(6) 输出振动预测序列

使用训练好的振动预测模型预测新的工况数据的输出值,即新工况数据对应的振动预测值,并将该振动预测值用于泵站设备部件的风险评估。

6 结论与展望

随着科学技术发展,智慧水利与数字孪生的概念不断被提及,很多新技术不断被发现,但是泵闸工程安全及健康的分析评估较多依赖仪器设备,反而忽略传统水利模型计算精准的优势,因此将传统水利模型与数字孪生技术结合,互补,总结一套完整的、准确度较高的安全健康评估方案将具有重大意义。

[参考文献]

- [1]李明,王华.地源热泵系统效能优化的研究进展[J].节能技术,2023,31(5):45-51.
- [2]孙强,刘洋.地源热泵系统设计中的关键问题探讨[J].暖通空调,2024,44(3):78-84.
- [3]高翔,陈伟.提高地源热泵系统运行效率的技术策略[J].可再生能源学报,2023,16(2):112-119.
- [4]黄勇,徐丽.地源热泵系统维护管理及其经济效益分析[J].工程建设与设计,2024,38(4):203-209.
- [5]周杰,吴敏.实时监控技术在地源热泵系统中的应用研究[J].建筑节能,2025,41(1):34-40.

作者简介:万艳(1993.2—),女,汉族,毕业学校:河海大学,现工作单位:上海勘测设计研究院有限公司,三峡智慧水务科技有限公司。

水利工程中混凝土裂缝的防治施工技术

张文

新疆裕强建筑安装有限责任公司, 新疆 图木舒克 843900

[摘要] 混凝土在水利工程里属于主要的建筑材料, 它的结构性能以及耐久性跟工程的安全性和稳定性有着直接的关联。不过, 混凝土于浇筑之时、在养护期间还有处于使用的过程中, 特别容易出现各式各样的裂缝, 这对工程质量造成了极为严重的影响。针对水利工程当中混凝土裂缝的类型来展开相应的分析, 具体讲述干缩裂缝、沉陷裂缝以及温度裂缝各自的形成机理还有表现出来的特征, 并且从设计技术以及施工技术这两个不同的方面去系统地探讨防治裂缝的相关措施。借助对混凝土配合比加以优化、开展合理的结构设计、进行温控方面的分析、设置施工缝、把控材料的质量以及改进浇筑与养护的工艺等一系列手段, 切实有效地降低裂缝出现的几率, 提升水工建筑物的整体质量以及延长其使用寿命。

[关键词] 水利工程; 混凝土施工; 裂缝防治

DOI: 10.33142/hst.v8i5.16487

中图分类号: TV544

文献标识码: A

Construction Technology for Preventing and Controlling Concrete Cracks in Hydraulic Engineering

ZHANG Wen

Xinjiang Yuqiang Construction and Installation Co., Ltd., Tumushuke, Xinjiang, 843900, China

Abstract: Concrete is a major building material in hydraulic engineering, and its structural performance and durability are directly related to the safety and stability of the project. However, concrete is particularly prone to various types of cracks during pouring, curing, and use, which have a serious impact on the quality of the project. Conduct corresponding analysis on the types of concrete cracks in hydraulic engineering, specifically describing the formation mechanisms and characteristics of shrinkage cracks, settlement cracks, and temperature cracks, and systematically exploring relevant measures for crack prevention and control from two different aspects: design technology and construction technology. By optimizing the concrete mix proportion, conducting reasonable structural design, analyzing temperature control, setting construction joints, controlling material quality, and improving pouring and curing processes, a series of measures can be taken to effectively reduce the probability of cracks, improve the overall quality of hydraulic structures, and extend their service life.

Keywords: water conservancy engineering; concrete construction; crack prevention and control

引言

随着我国基础设施建设不断推进, 水利工程在防洪、供水以及灌溉等方面的作用愈发关键。混凝土凭借其良好的力学性能和出色的耐久性, 在水工建筑当中得到了广泛应用。然而在实际工程实施过程中, 各类裂缝频频出现, 这已然成为影响工程质量以及结构安全的重要问题。特别是在大型水利枢纽里, 裂缝问题表现得格外突出。裂缝不但会损害结构的外观和功能, 而且在情况严重的时候, 还极有可能危及工程的长期安全与稳定。所以全面且系统地去研究裂缝产生的原因以及防治的相关技术, 并且将设计阶段与施工阶段的控制手段相结合, 进而制定行之有效的裂缝防治施工技术, 这对于提高水利工程质量、延长其使用寿命而言, 有着极为重要的现实意义。根据水利工程的实际状况, 从裂缝类型方面着手, 深入探讨在设计以及施工层面上的综合防治策略, 以此给工程实践给予理论方面的依据以及技术层面的支持。

1 混凝土常见裂缝类型

1.1 干缩裂缝

干缩裂缝属于水利工程混凝土里极为常见的一种裂

缝类型, 其主要是因混凝土在硬化之后出现失水收缩的情况而引发的。因为水泥水化反应以及环境蒸发等诸多因素的作用, 混凝土当中的自由水会慢慢变少, 进而致使体积产生收缩现象。要是这种收缩受到了来自外部或者内部的约束, 那么就会产生拉应力, 而当拉应力超出混凝土的抗拉强度的时候, 裂缝便形成了。干缩裂缝大多会出现在结构的表层位置, 呈现出龟裂的状态或者呈现出平行排列的样子, 其长度与宽度各不相同。影响干缩裂缝形成的因素包含水胶比过大的情况、外加剂使用得不恰当、环境湿度偏低以及养护措施落实不到位等等。在水利工程当中, 干缩裂缝常常出现在大体积混凝土以及薄壁构件上, 要是不及时对其进行处理, 就容易使得水渗透进去并且造成钢筋发生锈蚀, 从而对结构的耐久性产生影响。

1.2 塑性收缩裂缝

塑性收缩裂缝, 也被称为塑性裂缝, 是在混凝土塑性状态下出现的一种裂缝。这种裂缝主要是由于混凝土在塑性阶段失水过快导致的, 其形状通常不规则, 且深度较浅。塑性收缩裂缝的主要原因是混凝土表面的水分蒸发速度超过内部水分的迁移速度, 导致混凝土表面过早干燥。这

种快速的干燥引起混凝土表面的收缩,而在混凝土内部,由于还处在塑性状态,约束力较小,从而导致裂缝的形成。此外,一些外部因素如高温、大风、低湿度等环境条件也会加速混凝土表面的水分蒸发,增加塑性收缩裂缝的风险。

1.3 沉陷裂缝

沉陷裂缝一般是在混凝土初凝前后出现的,这是因为在混凝土自身重量的作用下或者因为材料发生离析,使得竖向变形出现不均的情况,进而引发了一种结构性裂缝。在混凝土浇筑期间,粗骨料会出现沉降的情况,浆体则会上浮,钢筋也会对沉降起到阻滞作用,这些现象普遍存在。要是局部的混凝土发生了下沉,而周围的混凝土却被限制住了不能沉降,那么在它们的界面处就会产生拉应力,最终形成裂缝。沉陷裂缝大多呈现出竖向的分布特点,常常会出现在钢筋的上缘或者是结构发生变化的部位,比如柱子和板交接的地方、墙体的下部等等。它的形成往往和混凝土拌合物的稠度不够、施工时振捣不均匀、钢筋布置得过于密集等诸多因素有着紧密的关联。这类裂缝不但会影响结构的美观程度,还很有可能破坏钢筋保护层,使得耐久性降低,甚至还会引发渗漏的情况出现。

1.4 温度裂缝

温度裂缝是因为混凝土内部或者外部温度出现变化,进而产生体积变形而形成的裂缝。在水利工程当中,大体积混凝土由于水化热聚集,使得内部温度有所升高,而表层在经过冷却之后会迅速收缩,这样的内外温差所引发的温度梯度恰恰是裂缝产生的根本原因所在。除此之外,昼夜温差、季节变换等自然环境方面出现的变化同样有可能诱发温度裂缝。这类裂缝一般比较深,走向也比较规则,大多容易出现在表面以及结构交界的地方。它的危害在于可能会形成贯穿性的裂缝,从而造成渗水、冻融破坏等一系列的问题。要控制温度裂缝,就需要从材料的选择、混凝土浇筑的方式、保温保湿等多个方面来综合进行考量,并且还要配合必要的温度监测系统。

2 水利工程中混凝土裂缝防治的设计技术措施

2.1 优化混凝土配合比设计

配合比设计作为混凝土性能控制的关键环节,对混凝土的工作性、强度以及耐久性有着直接的影响,进而对其裂缝敏感性起到决定作用。要防止裂缝出现,在设计阶段得严格把控水胶比,挑选水化热相对较低的硅酸盐水泥或者矿渣水泥,并且合理地掺入粉煤灰、矿粉、硅灰等矿物掺合料,以此来减少水泥的使用量,减缓并减少水化热的释放速率与总量,进而有效地控制因温度上升而产生的体积变形,降低出现温度裂缝的风险。需选用高效减水剂来提升混凝土的流动性,防止为了改善工作性而增加用水量,避免过高的含水量引发干缩裂缝。在骨料方面,要确保其级配连贯、粒径适宜且分布均匀,如此既能提高混凝土的密实程度,又能有效遏制沉降以及离析现象的发生,减少沉陷裂缝形成的可能。若要增强整体的稳定性,必要时可

考虑加入纤维材料,像聚丙烯纤维或者钢纤维,以此提高混凝土的抗裂性能以及韧性。

2.2 结构设计合理性控制

合理的结构设计乃是控制裂缝的前提所在,它在保证混凝土结构具备安全性以及耐久性之余,还是削减裂缝出现的关键举措。于设计环节,得全方位剖析结构的受力特性以及变形约束状况,防止出现刚度突然发生变化、截面急剧改变、连接薄弱等有可能引发应力集中并且促使裂缝扩展的敏感部位。在大体积混凝土结构当中,应当科学地去设置后浇带、施工缝还有伸缩缝等关键构造办法,借此有效释放水化热在发展进程里所产生的内部温度应力,合理地将因收缩变形所带来的应力集中予以分散,进而在一定程度上降低结构由于拘束不均而形成裂缝的风险。就钢筋布置来讲,要遵循相关规范的要求,务必要确保配筋是均匀且合理的,在应力集中区域以及转角、开孔等薄弱部位更要强化构造配筋,以此提高结构抵御裂缝的能力。对于荷载相对较大或者对温差较为敏感的特殊受力部位,可以考虑引入纤维增强混凝土或者采用预应力技术,提前施加预应力来抵消部分由外荷载或者收缩所引起的拉应力,进一步提升混凝土抗裂的性能。与此在结构设计里还需结合工程所处的地理气候条件,综合考量施工以及服役阶段可能会经历的环境温度波动以及湿度变化,针对潜在的热胀冷缩效应制定出具有针对性的设计策略,增强结构的变形协调性以及适应能力,从而在整个生命周期里有效地对裂缝的发生与扩展加以预控。

2.3 温度应力分析与控制设计

在开展大体积混凝土结构的设计工作时,对温度应力加以控制无疑属于其中极为关键的一项内容。应当借助有限元数值分析手段或者专用的计算机软件来对混凝土在浇筑阶段、硬化阶段以及冷却阶段之中的温度分布状况予以模拟,进而预测出可能出现的最大温差及其所在的具体位置,同时评估一下裂缝有可能产生的那些风险区域。在设计环节当中,需采用分层分区的浇筑策略,要合理地去安排浇筑的先后顺序以及施工的整体进度,务必要避免出现局部温度过高的情况或者是降温速度过快的现象。对于那些对温度比较敏感的部位,应当采取使用保温材料进行包裹或者采用覆盖养护等这类方式来对散热的速度加以控制。除此之外,还应当精心设计一套合理的温度监测系统,在适当的位置布设温度计,以便能够实时且精准地跟踪混凝土内部以及表层温度的变化情况,从而切实保障各项控制措施能够在恰当的时机发挥出应有的效力。

2.4 伸缩缝与施工缝的设置技术

伸缩缝以及施工缝的科学设置,乃是应对结构变形以及施工工艺方面需求的一项十分重要的手段。伸缩缝能够释放混凝土因为温度出现变化或者发生收缩而产生的内应力,以此来防止由于约束过大的情况引发裂缝产生。其具体位置应当依据结构的形式、尺寸还有变形规律来合理

地予以布置,而且缝宽得要满足变形的要求,并且还应当设有止水结构,从而防止出现渗漏的情况。施工缝就需要结合浇筑计划来统一做出安排,应选择在应力比较小,并且方便施工的位置,像是梁的中部、墙体高度的 1/3 处等等地方。对于缝面的处理,务必要确保其粗糙,并且要将其清理得干干净净,这样才能保证新旧混凝土能够很好地结合起来。合理地去控制缝间距以及缝处理的质量,这是确保混凝土结构具备整体性以及取得良好的裂缝控制效果最为关键的因素所在。

3 混凝土裂缝防治的施工技术措施

3.1 材料质量控制

材料对于混凝土质量而言,是其源头方面的有力保障,而对材料质量加以控制,则构成了防裂工作得以开展的基础。在具体操作中,要选用那些符合国家标准规定的水泥,切忌使用出现初凝情况、已经受潮或者已然过期的水泥。就骨料来讲,它必须要保持洁净的状态,级配方面也要良好,并且不能存在有害杂质,如此才能有效防止反应性裂缝的产生。像粉煤灰、硅灰这类掺合料,其来源应当保持稳定,同时掺量也要控制得当^[1]。外加剂得具备良好的相容性以及稳定性,务必要严格防范因反应出现异常而导致早期裂缝的情况发生。与此在整个施工进程当中,需要强化对材料进场时的验收工作,还要加强批次管理,建立起一套质量追踪的相关制度,以此来保证混凝土拌和物性能的前后一致性以及稳定性,从而为整体的防裂工作筑牢稳固的基础。

3.2 混凝土浇筑与养护工艺

3.2.1 分层分段浇筑技术

分层分段浇筑这种方法,在控制大体积混凝土内部温度梯度方面,同时在降低出现沉降裂缝的风险上,都属于十分重要的手段。在浇筑的过程当中,要依据结构的具体形状、所占体积以及施工时所采用的工艺等情况,来合理地去划分每一层的厚度以及各个段落。一般而言,每一层的厚度是不能超过 50 厘米的,并且还要采用像“斜面推进”或者“对称分层”这样的施工顺序,通过这样的方式能够减少冷缝的产生,也能防止混凝土出现离析的情况^[2]。对于那些需要连续浇筑的段落来讲,施工的时候必须要保证其连续性,并且要对时间间隔加以控制,避免因间歇的时间过长,进而形成那种较为薄弱的结合面。要合理地去使用插入式振捣器,以此来确保混凝土的密实度,防范由于振捣不够充分而导致出现蜂窝麻面以及后期裂缝进一步发展的状况。

3.2.2 控温保湿养护技术

养护工艺和混凝土的水化进程以及表面干燥速度有着直接的关联,它是防止出现塑性收缩以及干缩裂缝的一

项关键举措。在混凝土施工初期,应当立刻用塑料薄膜、草袋或者麻布将其覆盖起来,同时要让其一直处于湿润的状态,以此来避免水分蒸发得过快。针对混凝土的暴露面,可以采用喷洒养护剂或者是淋水养护等办法,以此来持续给它降温,进而对干缩速率加以控制。对于那种体积比较大的混凝土而言,其养护周期至少得有 14 天,并且需要采用将控温与控湿相结合的方式来进行养护^[3]。当所处环境的温度变化比较剧烈的时候,可以搭建起临时的遮阳以及挡风设施,通过这种方式来减小外部的不利因素所带来的影响,进而维持混凝土水化环境的稳定状态,如此便能够有效地对裂缝的发展起到抑制作用。

3.3 施工缝处理与裂缝预控措施

施工缝处理不妥当往往是致使混凝土出现开裂以及渗漏情况的常见原因,所以对于施工缝的预控以及处理务必要给予高度的重视。要先合理地去设置施工缝所在的位置,尽量避开结构应力相对集中之处,同时还得提前着手制定针对缝面的处理方案。在混凝土刚刚完成初凝之后,要及时对缝面进行凿毛方面的处理,并且要将浮浆以及杂物彻底清除干净,以此来保证新旧混凝土能够很好地实现结合。在浇筑操作开始之前,需要再次把缝面给润湿一番,倘若有必要的话,还可以涂刷界面剂,进而提升其黏结方面的性能。为了防止施工缝变成裂缝的起点,还应当在该处设置构造钢筋,以此来强化局部区域的抗裂性能。

4 结语

混凝土裂缝属于水利工程施工以及运营阶段需着重去防控的一个问题,其形成原理较为复杂,且影响因素颇多。对于干缩裂缝、沉降裂缝、温度裂缝等常见的裂缝类型展开细致剖析,同时联合设计阶段以及施工阶段的各项防控技术手段,便能够从根源处降低裂缝出现的概率,提高混凝土结构整体的性能以及耐久性。水利工程项目在实施进程当中应当强化质量控制方面的理念,重视全过程裂缝控制体系的构建工作,达成从设计环节、材料选取环节、施工环节一直到养护环节的协同优化效果,以此来确保水工结构能够安全地运行并且具备长期的服役能力。

【参考文献】

- [1]黄峰.水利工程施工中混凝土裂缝控制技术研究[J].水上安全,2025(1):124-126.
 - [2]王立群.水利工程施工中混凝土裂缝的防治措施[J].水上安全,2024(14):196-198.
 - [3]杨军.水利工程施工中混凝土裂缝防治策略探讨[J].大众标准化,2023(23):34-36.
- 作者简介:张文(1982.6—),大专毕业,研究方向:水利工程施工管理,当前就单位名称:新疆裕强建筑安装有限责任公司,职称:工程师。

水文地质在矿山地质勘查中的重要性及有效措施探讨

王一诚 高子涵

山东省鲁岳资源勘查开发有限公司, 山东 泰安 271000

[摘要]随着全球矿产资源开采活动的不断扩大, 矿山地质勘查面临的地质条件与环境问题愈加复杂。在地下水资源丰富的矿区, 水文地质条件的变化直接影响矿山开采的安全性以及矿产资源的利用效率。在矿山开采过程中, 地下水的涌入、流动方向及污染问题成为关键因素, 这些问题往往与矿物资源的开采紧密相关。与此同时, 地下水质量的波动、流量的变化等问题, 也可能对矿区周边的生态环境产生严重影响, 甚至可能引发地质灾害。因此, 必须在矿山勘查过程中深入分析与研究水文地质条件, 制定科学合理的勘查方案, 从而提升资源开采效益并确保矿山的安全。随着科技的不断发展, 水文地质勘查技术的创新为应对矿山勘查中的种种挑战提供了新的解决路径与方法。

[关键词] 矿山地质勘查; 水文地质; 重要性; 措施

DOI: 10.33142/hst.v8i5.16513

中图分类号: P624

文献标识码: A

The Importance and Effective Measures of Hydrogeology in Mining Geological Exploration

WANG Yicheng, GAO Zihan

Shandong Luyue Resources Exploration and Development Co., Ltd., Tai'an, Shandong, 271000, China

Abstract: With the continuous expansion of global mineral resource extraction activities, geological conditions and environmental issues faced by mining geological exploration have become increasingly complex. In mining areas with abundant groundwater resources, changes in hydrogeological conditions directly affect the safety of mining operations and the efficiency of mineral resource utilization. In the process of mining, the influx, flow direction, and pollution of groundwater become key factors, which are often closely related to the exploitation of mineral resources. At the same time, fluctuations in groundwater quality and changes in flow rate may also have serious impacts on the ecological environment around the mining area, and may even trigger geological disasters. Therefore, it is necessary to conduct in-depth analysis and research on hydrogeological conditions during the mining exploration process, develop scientifically reasonable exploration plans, in order to improve resource extraction efficiency and ensure the safety of the mine. With the continuous development of technology, the innovation of hydrogeological exploration technology has provided new solutions and methods to address various challenges in mining exploration.

Keywords: geological exploration on mines; hydrogeology; importance; measure

引言

矿山地质勘查作为矿产资源开发的基础, 直接影响资源的有效利用与可持续发展。在这一过程中, 水文地质作为关键组成部分, 对于勘查结果的精确性、开采过程的安全性及高效性起着决定性作用。地下水的分布、流动特性及水文地质条件的变化, 不仅对矿山资源评估与开采计划产生重要影响, 而且对矿区的环境保护、安全保障及资源利用效率等方面也带来了深远的影响。因此, 深入探讨水文地质在矿山地质勘查中的实际作用, 探索其有效应用及所面临的挑战, 已成为当前矿山地质勘查领域亟需解决的重要议题。

1 水文地质在矿山地质勘查中的重要性

1.1 提高矿山勘查的精准度与准确性

在矿山地质勘查中, 水文地质发挥着至关重要的作用, 尤其是在提升勘查的精确性与准确性方面。地下水的分布特征、流动规律及其变化情况与矿区的地质环境密切相关。深入分析水文地质不仅有助于提升勘查数据的准确性, 也

为矿区资源的评估提供了坚实的基础。地下水不仅涉及水位、流速和流向等基础数据, 还富含各种矿物质, 这些矿物质的含量、种类及其分布, 不仅影响矿产资源的评估, 还对制定合理的开采策略产生直接影响。通过对地下水矿物含量的对比分析, 勘查人员能够更清晰地掌握地下水的流动方向与流域特征, 进而推测矿体的可能分布区域。在水文地质勘查过程中, 除了需要依靠基础的水文数据, 还应结合多种科学手段来提高勘查数据的精度。采用对比试验、长期监测与数据分析等方法, 可以帮助发现地下水动态变化, 进而对数据进行有效的校正与对比。通过在矿区设置监测点, 定期监测水文地质的变化趋势, 不仅能够提高勘查数据的准确性, 还能够及早发现潜在的矿区环境问题。确保水文数据的精确性, 为矿山的环境评估、风险预测以及矿产资源的高效开采提供可靠支持。

1.2 加强矿区环境污染的防控与治理

在矿山资源开采的过程中, 水文地质发挥着至关重要的作用, 尤其是在环境污染防控与治理方面。矿山开采不

仅直接影响地质环境,还可能引发一系列生态问题,而这些问题有效应对离不开对水文地质的深入研究。为保障矿区的可持续发展,矿山地质勘查工作必须得到高度重视,尤其是在水文地质调查方面。要有效预防环境污染,准确掌握矿区水文地质的变化趋势至关重要,研究地下水流动规律、涌水量及水质变化,可以为矿井开拓过程中的水资源管理提供科学依据。例如,在开采过程中,如果矿井涌水量过大,可能导致坑道被水淹没,甚至发生塌方事故,对矿工的生命安全构成威胁。此外,水文环境恶化可能导致地下水枯竭,进而腐蚀矿产资源,甚至引发矿井周边地面坍塌等更严重的环境灾害。提前对涌水量进行分析和估算,采取科学手段进行预防,是避免这些潜在风险的关键。在水文地质调查中,另一个重要方面是对矿区水质的监控与治理。地下水不仅承载了大量矿物质,在开采过程中,还可能因过度开掘而受到污染。例如,开采过程中产生的有毒化学物质或重金属污染,可能随地下水流动扩散,进而影响矿区及周边生态系统的健康。因此,加强水质监测与治理,防止地下水污染,成为保护矿区环境与维护生态平衡的重要手段。

2 矿山地质勘查中的水文地质常见问题

2.1 水文地质数据的缺乏与不准确性

在矿山地质勘查过程中,水文地质数据的缺失与不准确性普遍存在,严重影响了勘查结果的可靠性及矿山开采的安全性。矿区水文地质勘查通常依赖地下水的全面调查,但由于矿区环境的复杂性,数据采集常常面临诸多挑战。地下水资源在许多矿区分布不均,流动规律复杂,导致数据的收集与分析异常繁琐,且很难达到精确标准。此外,部分矿区存在历史勘查数据更新不及时或缺乏系统性数据积累的情况,现有数据无法全面、准确地反映地下水的实际情况。尤其在一些深度较大的矿井或地质条件复杂的地区,获得高精度的地下水动态数据变得尤为困难。数据的缺失或偏差,不仅影响地下水流动的准确预测,还可能低估潜在的水源污染、涌水量等风险。更为严重的是,部分矿区的水文地质勘查工作存在不科学的采集方法,或因设备老化而导致数据的准确性受到影响,这种不可靠的水文地质数据,在矿区后续的开采计划、资源配置及安全措施制定中,缺乏科学依据,进而增加了开采过程中潜在的风险与环境影响。因此,水文地质数据的缺乏与不准确性,已成为矿山地质勘查中亟需解决的关键问题。

2.2 水文地质勘查与矿山开采协调的难题

水文地质勘查与矿山开采之间的协调面临诸多挑战。地下水的变化在矿山开采过程中具有重要地位,然而水文地质勘查的成果通常滞后于开采进度,这种时效性上的差异使得矿山开采与水文地质动态变化之间难以实现同步监控与调整。结果,地下水流动与涌水量的预测往往无法精准。矿井开拓、排水系统建设及水资源管理等环节,直

接受到地下水变化的影响。如果水文地质勘查数据未能及时更新,突如其来的涌水或渗漏现象可能在矿区出现,进而影响到开采的安全性与经济效益。在目标与重点方面,水文地质勘查多侧重于地下水资源的定量分析及流动规律的预测,而矿山开采则更注重矿体的提取及生产效率的提升。两者的关注点存在差异,这种差异常常导致协调中的冲突。例如,为了加速矿山开采进度,水文地质条件的充分评估可能被忽视,从而引发地下水资源的无序开采及环境污染问题的加剧。而若水文地质勘查过于保守,也可能拖慢开采进度,甚至造成资源浪费或开采延误。技术与设备的限制也是水文地质勘查与矿山开采协调难题的一个方面。在一些复杂的矿山环境中,现有的水文地质勘查技术与设备可能无法满足开采所需的精确度与实时性要求,从而导致勘查与开采之间信息传递的滞后,影响了地下水动态的及时掌握。技术上的瓶颈使得水文地质勘查与矿山开采在实际操作中难以有效对接,从而增加了矿山运营的复杂性与不确定性。

3 矿山地质勘查中的水文地质有效措施

3.1 强化水文地质工作的重视与组织保障

提升矿山地质勘查中水文地质工作质量的关键,在于增强对该工作的重视并提供有效的组织保障。在整个矿山地质勘查过程中,水文地质通常被视为辅助性领域,尽管其在矿山资源开发与环境保护中发挥着至关重要的作用。由此,需要将水文地质工作纳入矿山勘查的顶层设计与战略规划,确保其在勘查中的核心地位。矿山管理层应充分认识到水文地质勘查的重要性,将其视为矿山地质勘查的核心组成部分,并明确其在可持续开采中的战略作用。通过优化资源配置确保水文地质工作获得充足的人员、资金与技术支持,从而保证水文地质数据的准确性与可靠性^[1]。进一步而言,建立跨部门的协调机制尤为重要,这能够促进矿山地质勘查团队与水文地质团队之间的密切合作,进而形成高效的信息共享与数据流通机制,使得潜在的水文地质问题能够在勘查过程中被及时发现并解决。为提升水文地质工作质量,还应加强勘查团队的专业能力建设,定期开展培训、技术交流及经验分享,是提高勘查人员水文地质处理能力的有效手段。此外,合理配置具备专业水文地质知识的专家与技术人员,建立一支稳定而高效的水文地质勘查队伍,将有助于确保该项工作在矿山勘查中的顺利实施。水文地质工作的组织保障不仅仅依赖某一部门的努力,还需要全体人员的参与与高层的持续支持。政府部门、矿山企业及科研机构应携手推进水文地质工作,通过政策支持、行业标准与技术创新的有机结合,推动水文地质勘查朝着更加精准、智能与高效的方向发展。借助这种多层次的保障机制,矿山地质勘查中的水文地质问题将能够被有效识别,并采取科学的解决方案,从而确保矿山开采的安全性与环境的可持续性。

3.2 引进与应用现代化勘查技术

在矿山地质勘查中,引进并应用现代化技术对于提升水文地质工作的效率与准确性至关重要。随着科技的不断进步,许多先进的勘查技术已成为矿山勘查中不可或缺的工具。这些技术不仅显著提高了勘查的精度,还能够有效节省时间与成本。遥感技术的应用,在水文地质勘查中发挥了革命性的作用。通过卫星影像与航空摄影,遥感技术能够迅速获取矿区的地表信息,从而为分析地下水的分布及其流动规律提供了重要依据,这一技术不仅可以高效且广泛地进行区域勘查,还具备实时监测矿区环境变化的能力,为后续的地下水资源管理与矿山开采提供了可靠的支持^[2]。地质雷达技术与电磁探测技术的引入,使地下水勘探变得更加直观与精准。借助这些技术,地下水位、流速及含水层结构能够被有效探测,为勘查人员提供了更为详细的水文地质信息。例如,地质雷达技术通过反射信号绘制地下水层的三维分布图,从而帮助研究地下水的运动轨迹,并预测水文变化对矿区安全可能产生的影响。与此同时,水文地质信息化管理系统的建设,为勘查工作提供了强大的数据支持,通过建立全面的水文地质数据管理平台,矿区的水文地质数据可以被实时收集、存储、分析与共享,从而形成一个完整的水文地质数据库。这一信息化管理不仅提高了数据处理效率,还能通过大数据分析预测水文地质变化的趋势,帮助矿山管理层及时调整采矿策略。现代化勘查技术的引入与应用,使矿山地质勘查变得更加科学与精准,为矿山的安全开采与可持续发展提供了有力的技术支持。

3.3 加强地下水动态监测与分析

地下水动态监测与分析在矿山地质勘查中占据着至关重要的位置。地下水的变化不仅关系到矿区环境的稳定性,也直接影响矿山资源的开采安全与经济效益。地下水的动态变化若能被准确掌握并及时分析,便成为矿山可持续发展的关键。地下水动态变化的复杂性及周期性要求持续进行实时监测,随着季节变换、气候变化以及矿山开采活动的影响,地下水位、流速以及含水层水质等因素常常发生显著波动。如果监测频率不足或数据更新滞后,地下水变化趋势将可能被误判,从而影响水文地质分析及采矿计划的制定^[3]。因此,建立完善的地下水监测系统,并结合自动化监测设备进行多维度的动态跟踪,显得尤为重要。水位、水量和水质等变化可以实时监控,精确的数据支持将为矿山的水文分析提供有力保障。地下水流动规律的变化不仅受自然条件的影响,还与矿山开采活动密切相关。随着矿山开采的深入,地下水流动路径和水量会发生变化,

甚至可能引发突发涌水或水资源枯竭等风险。因此,建立地下水动态分析模型对矿山勘查工作至关重要。在分析中,地下水与矿山开采之间的相互作用应当被综合考虑,流动及储量变化趋势需进行动态分析。通过建立预测模型,潜在风险能够被提前识别,相应的预防措施也得以提前做好。地下水动态监测数据的积累,不仅为当前矿山的开采提供有力支持,还为未来的矿区环境治理与资源管理提供了重要参考。通过对比历史数据与实时监测结果,勘查人员能够更准确地评估地下水资源的可持续性 & 矿山的环境承载力,为资源利用及环境保护提供更加科学的决策依据。加强地下水的动态监测与分析,不仅有助于提升矿山地质勘查的精度,也为确保矿山的安全、高效及可持续开采奠定了坚实的基础。

4 结语

水文地质在矿山地质勘查中的作用至关重要,贯穿矿山资源开采的整个过程。通过深入了解地下水的分布特征、运动规律及其动态变化,矿山勘查的准确性显著提升,矿区环境的安全得以确保,同时为矿产资源的高效开发提供了科学依据。在实际操作中,水文地质勘查面临诸多挑战,例如数据不足、地下水监测难度大等问题,这些亟需采取措施加以解决。加强对水文地质工作的重视与组织保障,并推动现代化勘查技术的引入,是当前矿山勘查中亟待解决的核心问题。不断完善水文地质勘查体系与提高技术水平,不仅能保证矿山地质勘查的顺利开展,还能有效预防与应对环境与安全风险。展望未来,水文地质工作将在矿山资源开采中继续发挥关键作用,推动矿山的可持续发展,保障长期稳定的资源利用与环境保护。

[参考文献]

- [1]高精理. 水文地质在矿山地质勘查中的重要性及有效措施探讨[J]. 世界有色金属, 2023(18): 109-111.
 - [2]薛燕荣. 探究水文地质在矿山地质勘查中的重要性[J]. 世界有色金属, 2024(7): 157-159.
 - [3]黄汝超. 水文地质在矿山地质勘查中的重要性研究[J]. 中国金属通报, 2023(1): 201-203.
- 作者简介: 王一诚(1986.9—), 男, 汉族, 籍贯: 山东省泰安市东平县人, 毕业于山东科技大学, 最高学历: 本科学士, 专业: 地质工程, 工作单位: 山东省鲁岳资源勘查开发有限公司, 现有职称: 中级, 现有一级注册消防工程师证; 高子涵(1988.12—), 女, 汉族, 籍贯: 山东省泰安市泰山区人, 毕业于山东建筑大学, 最高学历: 专科, 专业: 建筑工程技术, 工作单位: 山东省鲁岳资源勘查开发有限公司, 现有职称: 初级。

浅谈网笼技术在中小河流治理工程中的应用

苟玉枝

宾川县水利管理服务中心, 云南 大理 671600

[摘要] 实施中小河流治理是深入践行习近平总书记“节水优先、空间均衡、系统治理、两手发力”治水思路和关于防灾减灾重要指示的具体举措。网笼技术作为一种有效的河流治理手段,已在实践中得到广泛应用。本篇文章从网笼技术的工作原理、技术优势以及在中小河流治理中的具体应用措施等方面进行了深入研究,旨在为中小河流治理提供有益的参考和指导。

[关键词] 网笼技术; 中小河流治理; 应用

DOI: 10.33142/hst.v8i5.16509

中图分类号: TV861

文献标识码: A

Brief Discussion on Application of Net Cage Technology in Small and Medium-sized River Management Projects

GOU Yuzhi

Binchuan County Water Conservancy Management Service Center, Dali, Yunnan, 671600, China

Abstract: Implementing the management of small and medium-sized rivers is a specific measure to deeply implement General Secretary Xi Jinping's water conservation priority, spatial balance, systematic governance, and dual pronged approach to water management, as well as important instructions on disaster prevention and reduction. As an effective means of river management, net cage technology has been widely applied in practice. This article conducts in-depth research on the working principle, technical advantages, and specific application measures of net cage technology in the management of small and medium-sized rivers, aiming to provide useful references and guidance for the management of small and medium-sized rivers.

Keywords: cage technology; management of small and medium-sized rivers; application

引言

中小河流是水系网络的重要组成部分,在自然生态、社会经济和防洪减灾等方面发挥着不可替代的作用。网笼技术(如石笼网,最常见的为格宾石笼)在中小河流治理工程得到了广泛应用,其结合了工程防护与生态修复的优势,能够有效解决传统硬质护岸带来的生态破坏问题。同时在防洪固堤方面,网笼的柔韧性可以适应地基变形,防止洪水冲刷,增强抗洪能力。本文重点阐述格宾石笼在中小河流治理工程中的应用。

1 网笼技术的工作原理

网笼技术(如石笼网,最常见的为格宾石笼)。格宾石笼(Gabion)是一种由金属网箱(或网笼)填充石块构成的工程结构,广泛应用于河道治理、边坡防护、防洪固堤等工程中。其名称源于法语“gabion”(意为“笼子”),具有透水、柔性、生态友好等特点,是现代水利工程和生态修复中的常见技术。格宾石笼作为柔性护岸结构,采用高强度镀锌钢丝编织成六边形双绞合网箱,内部填充天然石块形成复合防护体系,其独特构造兼具工程防护与生态恢复双重功能,在中小河流治理中展现出显著优势,该技术通过金属网箱与石块的协同作用形成柔性屏障,既能抵御水流冲刷又允许结构随地基变形自适应调整,解决了传统硬质护岸易开裂失效的问题,填充石块间的孔隙具备良好的透水性,可平衡岸坡内外水压,同时为水体与土壤的物

质交换提供通道,通过表层覆土种植耐水植物,能逐步形成自然植被覆盖,恢复河岸生态系统,相较于传统焊接石笼,双绞合结构显著提升抗拉强度与抗冲刷能力。

2 网笼技术的应用场景

2.1 生态护岸与岸坡防护

通过金属网笼(如镀锌钢丝、PVC 包覆钢丝)填充石块或天然材料,形成柔性护岸结构,抵抗水流冲刷,防止岸坡崩塌。

透水性强,允许水体与岸坡间的物质交换,减少静水压力,同时为植物生长提供空间,促进生态恢复。

2.2 防洪固堤

在堤脚或易受冲刷的河段铺设格宾石笼网,增强抗洪能力。网笼结构能适应地基变形,避免刚性结构因沉降开裂导致的失效。例如用于中小河流的险工险段加固,如弯道凹岸防护或河道拓宽后的边坡稳定。

2.3 河道修复与生态重建

结合植物纤维网笼(如椰壳纤维、秸秆编织笼),填充土壤和植物种子,构建“软性”生态驳岸,促进水生植物和微生物栖息。恢复河流自净能力,提升生物多样性,符合“近自然治理”理念。

2.4 导流结构与丁坝

利用网笼建造导流坝或丁坝,调整水流方向,减缓流速,防止河道下切,促进泥沙淤积,稳定河床。

2.5 临时性应急工程

在汛期或紧急抢险中,快速填充网笼形成临时防洪墙或护坡,成本低且施工便捷。

3 网笼技术的优势

3.1 生态友好性

透水透气的结构允许植物生长,形成自然植被覆盖,减少“河道硬化”对生态系统的破坏。石块间的孔隙允许水流通过,减少静水压力,防止结构背后积水,同时促进水体与土壤的物质交换,维护生态平衡。

3.2 施工便捷与经济性

无需大型机械,适合中小河流狭窄、交通不便的施工环境。

材料成本低(填充石料可就地取材),后期维护费用少。

3.3 耐久性与适应性

柔性结构可适应地基沉降、冻融循环等变形,抗冲刷性能强。

耐腐蚀材料(如高锌钢丝、覆塑钢丝)设计寿命可达50年以上。

3.4 综合防洪与生态效益

相比混凝土护岸,格宾石笼网结构兼具防洪安全与生态景观价值,符合“海绵城市”理念。

3.5 格宾石笼与传统石笼的优势区别

格宾石笼采用高强度防腐钢丝编织,柔性结构适应地基变形,抗冲刷能力强,使用寿命可达数十年。相比之下,传统石笼材料易老化腐蚀,结构稳定性差。同时,格宾石笼施工便捷高效,且网孔利于植被生长和水体交换,生态环保优势显著,而传统石笼生态功能较弱。

表1 格宾石笼与传统石笼对比

对比项	格宾石笼	传统石笼
网材结构	六边形双绞合钢丝网,柔性更强。	工厂预制,现场组装快捷。
抗冲刷性	双绞结构分散应力抗拉抗剪性能更优。	易受集中应力破坏耐久性较低。
生态性	孔隙率更高,更利于植物生长和生态恢复。	结构密实,生态效益较弱。
施工便捷性	工厂预制,现场组装快捷。	需现场焊接,施工效率较低。

4 网笼技术在中小河流治理工程中的应用措施

4.1 格宾石笼的基本结构

4.1.1 网箱材料

选用防锈蚀的高强金属丝(包括镀锌钢丝、合金钢丝或塑料覆层钢丝),通过六边形双绞合工艺编织成网,这种编织方式使网面具有良好柔韧性,单元网箱标准尺寸为长1~6m、宽1~2m、高0.5~1m,特殊工程可调整规格定制生产。

4.1.2 填充材料

主要采用天然石料(花岗岩、石灰岩等),石料粒径控制为网孔大小的1.5~2倍(如8cm孔径对应12~16cm石块),

保证填充密实度,局部可掺入植生土料或秸秆等有机材料,为后期植被生长创造有利条件,增强护坡生态功能。

4.1.3 辅助结构

单元网箱采用金属扣件或绞合钢丝进行横向纵向连接,底层基础设置透水土工布或级配碎石层,有效分散荷载并控制地基渗流,结构顶部可设置压顶梁增强整体稳定性。

4.2 施工准备

4.2.1 一般规定

(1)结合水文气象条件与现场实际工况,科学编制施工方案,涵盖进度安排、材料调度及质量管控等内容。

(2)完成各项技术准备工作,包括落实“三通一平”基础条件及临时设施搭建。

4.2.2 施工质量

(1)各分部工程实施前,需复核设计文件中的技术参数、基础数据及施工图纸几何尺寸。(2)设立专职测量岗位,实时提供精准放样数据及施工定位依据。(3)格宾石笼基面测量精度应满足以下标准:①平面定位偏差控制 $\pm 30\text{mm}$ ~ $\pm 40\text{mm}$ 。②高程误差不超过 $\pm 30\text{mm}$ 。③坡面平整度相对高差 $\leq \pm 30\text{mm}$ 。(4)现场设置的测量控制点及高程基准点须实施保护管理,定期复核校准。

4.2.3 机械、设备及材料准备

(1)依据施工进度计划和强度需求,合理配置机械设备的型号规格及技术参数。(2)建立材料进场检验制度,所有原材料及半成品实行进场复验。(3)严格执行材料准入制度,未通过质量检测的物资禁止投入使用。

4.3 格宾石笼网箱施工

4.3.1 一般规定

(1)格宾石笼网箱基底密实度、轮廓线尺寸应严格按图纸施工,确保与设计要求一致。(2)遇软弱地基时须进行专项处理,处理后的地基承载力需满足设计标准。(3)网箱砌体施工应符合下列规定:①网箱组平面定位误差不得超过设计允许偏差范围。②外露面应修整平顺,外观整齐无凸起变形。

4.3.2 组装格宾石笼网箱

(1)间隔网与网体保持垂直相交($90^\circ \pm 5^\circ$),绑扎成型后应形成规整长方体结构。(2)绑扎材料必须采用与网线材质相同的钢丝。(3)所有绑扎作业均需采用双股钢丝绞接紧固。(4)网片连接部位绑扎密度应符合:a.间隔网与网体四角交接处各不少于1道绑扎。b.间隔网与网体连接部位按25cm间距设置绑扎节点。c.相邻框线采用组合式联结工艺:绑扎线单孔绕1圈、双孔绕2圈形成螺旋状紧固结构。

4.3.3 网箱组间连接绑扎、应符合下列要求:

(1)相邻单元上下四角必须设置对角绑扎。(2)相邻框线或折线按25cm间距进行连续绑扎。(3)接合面绑扎密度不低于2处/平方米。(4)外露网面在填料至1/3

箱高时，需增设八字形拉筋进行内部加固。

4.3.4 填充料施工

(1) 填充石料粒径、强度等参数必须符合设计技术指标。(2) 采用分层均匀填料工艺，严禁单箱格一次性填满。(3) 分层厚度控制在 $\leq 30\text{cm}$ ，1m高网箱宜分3~4层填筑。(4) 顶部填料宜超填5~10cm，采用级配碎石嵌缝密实。(5) 填充毛块石料或碎石，必须是坚固密实、无裂缝、耐风化好的石料，强度等级 MU30，天然容重应大于 2.5t/m^3 ，孔隙率不超过30%，软化系数不得小于0.75，严禁使用风化石。必须有80%以上大于网孔 $100\times 120\text{mm}$ 孔径。要求粒径D120~300mm为宜。(6) 裸露的填充石料，表面应以人工或机械砌垒平整，石料间应相互搭接。

4.3.5 网箱封盖施工

(1) 封盖必须在顶部石料砌垒平整的基础上进行。(2) 必须先使用封盖夹固定每端相邻结点后，再加以绑扎。(3) 封盖与网箱边框相交线，应每相隔25cm绑扎一道。

4.4 技术要求

填充物：填充毛块石料或碎石，必须是坚固密实、无裂缝、耐风化好的石料，强度等级 MU30，天然容重应大于 2.5t/m^3 ，孔隙率不超过30%，软化系数不得小于0.75，严禁使用风化石。必须有80%以上大于网孔 $100\times 120\text{mm}$ 孔径。要求粒径D120~300mm为宜。格宾石笼网规格型号、网孔规格、钢丝参数如下表。

表2 格宾石笼网型号参数表

1、格宾石笼网规格型号				
项 目	长度（m）	宽度（m）	高度（m）	隔板数量（个）
长×宽×高	4	1	1	3
容许公差	±5%	±5%	±5%	—
2、网孔规格				
网孔型号	D（mm）	公差（mm）	网面抗拉强度 KN/m	
100×120	100	+12/-4	50	
3、钢丝技术参数				
钢丝类型	网面钢丝	边端钢丝	绞合钢丝	
钢丝直径（未覆塑）mm	2.7	3.4	2.4	
钢丝直径（覆塑后）mm	3.7	4.4	3.4	
钢丝直径公差（±）φmm	0.06	0.08	0.06	
最小镀层量 g/m ²	252	266	252	
钢丝抗拉强度 N/mm ²	350-550			
原材料	热镀锌-5%铝稀土合金钢丝，较制部分为3×360°的形式。			
钢丝伸长率	断裂伸长率不应小于 12%			

5 网笼技术施工要点与注意事项

5.1 基础处理

清除岸坡松散土层，整平地基，必要时铺设土工布或碎石垫层。

5.2 网箱组装

展开网箱，绑扎隔板（将大网箱分隔为小单元），确保结构稳定。

5.3 石块填充

分层填充，每层厚度约25~30cm，人工或机械压实，表面略高于网箱以便沉降。

5.4 封盖与连接

填充完成后盖上顶网，用绑丝固定；相邻网箱需紧密连接，形成整体。

5.5 植被恢复

表层覆盖土壤，种植耐水植物（如芦苇、菖蒲）或喷播草籽，加速生态修复。

6 网笼技术的质量要求

在中小河流治理中，网笼技术（如格宾石笼网）的质量是确保工程长期稳定性和工程性能的关键。

6.1 一般规定

(1) 建立并完善质量保证体系，实施全过程质量管理；(2) 工程质量检测人员的资质条件及质量检验涉及的职责范围、工作流程、事故处置、数据管理等内容，须严格执行《水利水电工程施工质量检验评定规程》(SL 176—2007) 相关条款；(3) 确保检测数据与材料检验资料真实可靠，禁止编造或选择性采用成果资料；质量检测记录需完整保存，不得涂改或擅自损毁；(4) 格宾防护工程质量控制应涵盖结构性能与表观质量；(5) 每道工序须经自检与抽检合格后，方可进入后续施工环节；(6) 质量检测选点应具有工程代表性，采取均匀布点方式，禁止主观选择检测位置；(7) 隐蔽工程验收需由业主、监理方联合确认，验收合格后方可进行后续施工。

6.2 材料质量控制

(1) 格宾石笼规格质量核查重点包括：①材料化学特性与力学参数是否满足设计要求；②网孔尺寸是否符合技术标准。(2) 填充料质量控制应着重核查：①填充物质质量等级；②石料粒径分布范围。

7 网笼技术在中小河流治理工程中的具体案例

结合区域位置分析，网笼技术即格宾石笼在云南的中小河流治理工程中较为常见，应用广泛。云南省大理州宾川县桑园河等5件河道治理工程（EPC项目）广泛应用格宾石笼对河道进行治理，取得较好的生态、防洪减灾和社会效益，其中，大营河上段治理工程列入云南省中小河流治理的典型案列。

8 结语

网笼技术即格宾石笼通过“以柔克刚”的设计理念，

将工程防护与生态修复有机结合,尤其适用于中小河流治理、生态敏感区及复杂地形条件下的防护工程。其低成本、高适应性、长寿命的特点,使其成为中小河流治理优选技术之一。未来可进一步结合智能化监测技术(如传感器监测结构稳定性),推动河流治理向绿色化、精细化方向发展。

[参考文献]

- [1] 丘丽雯. 浅谈网笼技术在中小河流治理工程中的应用[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2023(31): 211-213.
[2] 《格宾网施工技术规范》[S].

- [3] 《工程用机编钢丝网及组合体》(YB/T 4190-2018) [S].
[4] 《工程机编钢丝网用钢丝》(YB/T 4221-2016) [S].
[5] 《砌体工程施工质量验收规范》--GB50203-2002[S].
[6] 《水利水电工程施工质量检验评定规程》(SL176-2007) [S].

作者简介: 苟玉枝(1977.10—), 女, 毕业院校: 河海大学, 所学专业: 水政水资源管理, 当前就职单位: 宾川县水利管理服务中心, 职务: 水旱灾害防御股股长, 当前职称级别: 水利工程管理工程师。

河道生态修复中植被缓冲带设计对水质改善的作用研究

黄光源 覃晓艳 彭祖钰 周启玉 林雅兰

宜昌清江水利水电设计有限公司, 湖北 宜昌 443500

[摘要] 植被缓冲带在河道生态修复里意义重大, 采用拦截、吸附水中污染物之举, 其设计受多种因素左右, 包含带宽、植被种类及其密度、土壤的条件等, 在不同环境里的应用, 诸如山区、城镇和农作区, 要求做针对性设计以契合特定要求, 通过长期监测积累的数据说明, 植被缓冲带可一直改善水质水平, 推动生态复原, 未来设计优化会聚焦精细化管理与技术革新, 而政策支持在推动缓冲带应用这件事上会起到关键效用, 综合各方面所做的改进, 植被缓冲带将更切实地服务于生态环境保护与水质变好。

[关键词] 河道生态修复; 植被缓冲带; 水质改善; 生态环境; 水流污染

DOI: 10.33142/hst.v8i5.16496

中图分类号: X522

文献标识码: A

Study on the Effect of Vegetation Buffer Zone Design on Water Quality Improvement in River Ecological Restoration

HUANG Guangyuan, QIN Xiaoyan, PENG Zuyu, ZHOU Qiyu, LIN Yalan

Yichang Qingjiang Water Conservancy and Hydropower Design Co., Ltd., Yichang, Hubei, 443500, China

Abstract: Vegetation buffer zones are of great significance in river ecological restoration. They intercept and adsorb pollutants in water, and their design is influenced by various factors, including bandwidth, vegetation type and density, soil conditions, etc. The application in different environments, such as mountainous areas, towns, and agricultural areas, requires targeted design to meet specific requirements. Through long-term monitoring and accumulation of data, it is shown that vegetation buffer zones can continuously improve water quality and promote ecological restoration. In the future, design optimization will focus on refined management and technological innovation, and policy support will play a key role in promoting the application of buffer zones. Taking into account the improvements made in various aspects, vegetation buffer zones will more effectively serve ecological environment conservation and water quality improvement.

Keywords: river ecological restoration; vegetation buffer zone; improvement of water quality; ecological environment; water pollution

引言

伴着环境污染问题日益突显, 解决河道水质改善问题已迫在眉睫, 成为关键问题之一, 作为一种生态修复技术存在的植被缓冲带, 依仗其自然的过滤及吸附能力, 在水质净化领域取得理想效果, 其依靠设计合理的带宽、植被种类和密度布局, 能切实削减水中的污染物数量, 让水体生态重归平衡, 在不同地区范围, 植被缓冲带应用呈现不同设计要求, 要把当地水文条件跟生态特点相结合, 经过探索缓冲带的优化设计跟应用, 可为未来水质治理提供可持续性的应对方案。

1 植被缓冲带对河道水质改善作用的原理分析

1.1 污染物拦截与吸附机制

植被缓冲带可高效拦截并吸附水流里的污染物, 凭借植物根系的物理跟化学功能, 氮、磷、重金属及农药残留等污染物, 迅速被吸收或依靠植物表面吸附。植物根系不仅可直接摄取水中的养分及有害物质, 还借助分泌部分有机物质推动土壤中微生物的活动, 由此进一步推动污染物的降解进程, 植物的叶片、茎秆还给水流形成了阻碍, 让水体中的悬浮颗粒及沉积物变少, 增强了水体的去污能力, 缓冲带土壤层的孔隙结构和有机物含量, 极大影响着对污

染物的吸附能力, 增加了水体过滤的有效水平。

1.2 水流动力学对水质改善的影响

水流动力学对植被缓冲带水质改善起着举足轻重的作用, 缓冲带的存在会明显改变水流的速率、走向及其与植被间的相互作用, 进而影响到水中污染物的扩散及沉降, 当水流经过缓冲带, 流速得以降低, 让水中的悬浮物与颗粒物有更充裕时间和植物根系及土壤接触, 进而推动了污染物的沉淀与阻拦。缓慢水流为微生物生长及分解进程打造了优质环境, 有利于有机物与氮磷的去除, 水流的动力学也影响了缓冲带内水体的交换速度, 调整了污染物的流动格局, 增添了水体自行净化的本领。

1.3 生态自净作用与水质恢复

生态自净效应是植被缓冲带对水质起到改善的核心机制之一, 通过植物、土壤及微生物共同施展作用, 河道里的污染物实现自然降解^[1]。植物凭借根系分泌的有机物质, 为土壤中的微生物输送了能量源, 推动微生物把污染物进行降解, 微生物群落能把有机物进行分解, 对氮、磷等养分加以转化, 由此抑制水体富营养化现象出现, 缓冲带内土壤的过滤功能也推动污染物的降解与固定, 靠物理

吸附和化学反应进一步去除水中的有害物,该生态自净过程不仅增进了水质水平,同样推动了河道生态系统稳定及恢复,为水域生物缔造了更良好的生存天地。

2 影响植被缓冲带效果的关键因素

2.1 植被种类与多样性

植被种类和多样性关乎缓冲带功能实现。各类植被根系形态、水分摄取程度与生物量存在差别,直接决定水质净化成效。树木凭借发达且纵深的根系,牢牢稳固土壤,显著降低水土流失风险,持续发挥水质净化作用。草本植物根系扎根较浅,依靠旺盛生长迅速吸收水中营养盐,对短期内水质富营养化治理效果明显,灌木在稳固土壤、遏制水土流失方面具备适中优势,多样植物增强生态系统韧性,彼此配合提高对不同污染物拦截降解能力,形成高效净化体系,科学搭配植被类型、合理规划种植密度,才能充分释放植物生态价值,确保缓冲带功能全方位、持久发挥。

2.2 缓冲带宽度与植被密度

缓冲带宽度和植被密度对水质净化作用重大。宽阔的缓冲带形成大面积过滤空间,让水流在其中缓缓穿行,长时间与植物、土壤充分接触,有效拦截和清除各类污染物,合适宽度能改善水流状态,降低水流冲击力,促使沉积物自然下沉,植被密度是影响净化效果的核心要素,茂密的植被增加了水流与植物的接触频率,极大提升净化效率^[2]。繁茂的植物群不仅提供了广阔的表面积,其发达根系深入土壤,使水中有害物质更易被吸附、分解和转化。设计时必须全面权衡植被生长规律、土地实际用途以及水流变化特征,以此确定缓冲带宽度与植被密度的最优组合。

2.3 环境因素对缓冲带性能的影响

环境因素全方位影响植被缓冲带水质改善成效,土壤类别千差万别,其透水性强弱不同,直接左右水流于缓冲带内渗透过滤节奏,且因质地差异,对污染物拦截、降解能力表现各有不同,气候状况中,降水频次与降水量、气温升降幅度等,深刻改变植物生长周期与生物地球化学循环进程,进而影响其净化水质的功能发挥。水文状况里,水流湍急程度与流量大小,决定水体在缓冲带内的驻留时长,也影响其与植物的接触紧密程度,地形地貌塑造水流走向轨迹,限定缓冲带空间布局,对水流起到天然调控作用,缓冲带规划设计必须充分权衡这些环境要素,才能将水质改善效果推向极致。

3 植被缓冲带设计在不同河道环境中的应用

3.1 山区河道生态修复中的应用

山区河道生态修复难题重重,水流急骤多变,土壤侵蚀现象频发。植被缓冲带在此发挥关键作用,可大幅减缓水流速度,削减径流量,有效遏制因水流冲刷引发的土壤流失,缓冲带植物凭借发达根系稳固土壤,防止泥沙迁移,维持河道稳定。山区河道水质欠佳,悬浮物与污染物浓度高,植被缓冲带借助植物根系吸收、土壤过滤及微生物降解,逐步清除水中有害物质,植被选种关乎成败,山区气候特殊、土壤条件复杂且自然灾害多,耐旱抗风、根系发

达的植物更能适应环境,提升净化效率,设计需综合考量坡度、流速、降水量等要素,方能使缓冲带功能充分发挥,推动水质持续向好、生态环境逐步修复。

3.2 城市河道水质改善中的应用

在城市化快速推进过程中,城市河道成为污水与污染物排放的“重灾区”,水质恶化程度不断加剧,植被缓冲带在这样的严峻形势下,成为改善水质的重要力量,它凭借自身特性,能够高效拦截并吸附水流中的各类有害物质,大幅降低水体里的营养盐含量、化学需氧量,以及其他繁杂的有机污染物,显著提升河道水质。城市河道空间狭窄,周边基础设施密集交错,缓冲带设计需在有限空间内进行科学规划,精准确定缓冲带宽度,精心配置植被,以此最大限度发挥其水质净化功能。挑选能适应城市特殊环境的植物种类,依据河道水流的具体情况灵活调整缓冲带布局,是实现最佳净化效果的关键,而且,植被缓冲带不仅能净化水质,还能城市增添绿意,打造宜人景观,有效减少城市噪音,为城市中的野生动植物营造舒适的栖息家园,从多方面提升城市生态环境质量。

3.3 农业区河道水质治理中的应用

农业区河道水质受农田施肥、农药施用等活动冲击,富营养化问题突出,植被缓冲带在这片区域成为净化“利器”,可主动吸纳河流裹挟的农药残留、过剩养分,削减污染源头^[3]。凭借植物根系与土壤协同吸附,能大幅降低水体中氮、磷等污染物浓度,切实改善水质状况,农业区河道修复重点在于缓冲带设计,带宽需契合农田排水特点,植物选种要兼顾抗逆性与净化力,精心规划的缓冲带,既能高效净化水质,又能削弱农业径流冲刷破坏力,为农田生态系统筑牢屏障,推动区域生态环境向可持续方向发展。

4 植被缓冲带在水质改善中的长期效应分析

4.1 水质变化的长期监测数据

长期水质监测数据直观展现植被缓冲带对水质改善的持续效用,监测时,定期采样分析,可精准量化缓冲带在各时段对水体污染物浓度、溶解氧含量、酸碱度等参数的影响,这些数据用于评估缓冲带净化水质的实际效果,清晰呈现水质变化走向。监测数据还反馈植被生长状态、土壤特性、水流变动等因素对水质净化的作用,为缓冲带管理优化提供可靠依据,通过对比不同时期数据,能全面衡量生态修复措施的长期效果,以及水质恢复的稳定持续情况。见表1。

4.2 植被缓冲带的生态恢复与水质保持

植被缓冲带改善水质同时,推动水体生态长期恢复。植物根系摄取水中养分、污染物,降低有害物质含量,提升水体自净功能。缓冲带发挥固土保水、抑制土壤侵蚀、营造栖息地等作用,逐步重塑水体生态平衡,随着时间推进,缓冲带植物适应环境,稳固生态系统,强化水质维持能力^[4]。植物持续生长,配合土壤过滤、微生物降解,稳定水质,减缓污染物积聚。经科学设计与管理,实现生态恢复进程中水质持久优化。

表 1 不同缓冲带设计方案下的水质变化数据

设计方案	带宽 (米)	植被密度 (株/平方米)	氮浓度 (mg/L)	磷浓度 (mg/L)	化学需氧量 (mg/L)	溶解氧 (mg/L)
设计 1	10	50	5.4	0.12	15.3	6.4
设计 2	15	60	4.2	0.10	13.5	7.1
设计 3	20	70	3.1	0.08	11.2	7.8
设计 4	25	80	2.5	0.05	9.6	8.2

4.3 不同设计策略的效果对比

植被缓冲带水质净化成效受设计策略影响显著,根源在于带宽、植被类别、植株密度及土壤性质等要素的差异组合,缓冲带的宽度直接关乎净化实力,较宽的缓冲带形成广阔过滤区域,让水流与植物充分接触,延长作用时间,从而有效提升对水中污染物的拦截与清除效率。植被种类丰富且配置科学,能强化缓冲带处理不同污染物的能力,部分植物独特的根系构造,使其对特定污染物的吸收更为高效,显著增强净化效果,加大植被密度,可加快对污染物的过滤与吸附进程,而土壤类型则决定着污染物的留存、转化状况,全面权衡这些设计要点,便能有的放矢地优化缓冲带设计,最大程度释放其水质净化潜力,确保在复杂多变的环境中始终保持良好适应性与高效性。

5 植被缓冲带设计的挑战与优化路径

5.1 设计难点与现存问题

植被缓冲带设计遭遇诸多难题,地理环境与水文条件各异带来的适配困境尤为突出。缓冲带带宽、植被类别及疏密程度等关键要素,都得契合当地生态实际状况。但受城市化浪潮冲击,不少地区空间捉襟见肘,难以保障缓冲带所需宽度。植被挑选同样棘手,各类植物净化水质能力参差不齐,一旦选错,缓冲带整体效能大打折扣,维护工作也是一大难点,管理养护植被缓冲带需持续人力物力投入,在农业区域,频繁的施肥、农药施用极易损害缓冲带功能,而且长期使用中,缓冲带还可能出现植被衰败、土壤污染等状况,阻碍水质持续向好发展。

5.2 未来设计优化的研究方向

带宽和植被密度配置亟待精细考量,须依据流速快慢、污染源类别及污染负荷高低灵活调整,研究聚焦提升缓冲带对特定污染物的去除能力,重点攻克氮、磷等富营养物质处理难题,土壤筛选与植被选种深度结合地方生态特征,着力丰富植被多样性、增加群落层次,构建稳固生态系统^[5]。技术应用层面,充分发挥遥感技术与GIS系统优势,实现对缓冲带净化效果实时监测评估,依据数据反馈动态优化设计方案,增强缓冲带环境适应性及净化效率,加大智能监控系统推广应用力度,推动缓冲带管理迈向精准高效新台阶。

5.3 政策与技术支持的推进作用

政策扶持与技术创新是植被缓冲带设计完善和落地的核心要素,政府要出台针对性的河道生态修复政策,从资金投入、技术指导等多方面发力,推动缓冲带建设和日常维护工作,政策制定需充分考虑各地区地理、气候等差异,为不同区域提供契合实际的设计参考。技术层面,大力开展土壤改良、植物品种培育等生态修复技术研发,积极推广应用,切实增强缓冲带改善水质的效能,政府通过与科研机构合作,组织专业培训,提升地方管理者技术素养,保障生态修复项目稳步推进,建立健全评估监管机制,确保植被缓冲带持续有效净化水质,实现生态效益与社会经济效益双赢。

6 结语

植被缓冲带作为河道生态修复关键途径,在众多场景下展现出良好效果,凭借物理拦截、吸附功能和生态自净特性,不仅净化水质,还推动生态系统逐步复苏,不过在实际设计与运用中,空间不足、植被衰败等状况频发,阻碍其更好发挥作用。后续缓冲带设计会朝着独特化、智慧化方向发展,综合考量生态条件、技术手段和政策内容,持续改进设计,强化政策引领与技术革新,能为水质提升提供持久有效方法,随着技术发展与管理措施健全,植被缓冲带在水环境保护中的效能将进一步释放。

【参考文献】

- [1]徐严.水生植物在河道生态修复中的应用[J].西北园艺,2025(4):43-47.
 - [2]邹育新.生态护坡技术在城市河道生态修复中的应用[J].水利技术监督,2025(3):229-231.
 - [3]邹育新.生态浮岛技术在城市河道生态修复中的应用与进展[J].水利技术监督,2024(7):264-266.
 - [4]杨生冉,姚敏杰.水生植物在河道生态修复中的应用研究[J].皮革制作与环保科技,2024,5(9):157-159.
 - [5]赵明雷,张灵贵,刘冬雨,等.水生生态系统修复技术在河道生态修复中的应用研究[J].水上安全,2024(6):103-105.
- 作者简介:黄光源(1992—),男,民族:土家族,学历:本科,职称:工程师,研究方向:水利水电设计。

水利工程环保与水土保持工作的监理控制探讨

蒋兴明

新疆昆仑工程咨询管理集团有限公司, 新疆 乌鲁木齐 830000

[摘要]新疆位于干旱区, 面临水资源短缺与生态脆弱等挑战, 且受强风与极高蒸发等因素影响, 水土流失与环境退化尤为严重。近年来, 水利工程的集中建设虽推动了地区的发展, 但也加剧了生态环境的压力。传统的粗放式建设方式, 已难以满足现代绿色发展需求, 因此, 亟需通过全过程监理来加强环保与水土保持的控制。为了确保新疆的生态安全与工程的可持续运行, 必须建立符合实际且科学有效的监理机制, 这对于实现生态保护与工程发展之间的平衡具有至关重要的意义。

[关键词]水利工程; 环保; 水土保持; 监理

DOI: 10.33142/hst.v8i5.16512

中图分类号: X321

文献标识码: A

Discussion on Supervision and Control of Environmental Protection and Soil and Water Conservation in Water Conservancy Engineering

JIANG Xingming

Xinjiang Kunlun Engineering Consulting Management Group Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

Abstract: Xinjiang is located in an arid region, facing challenges such as water scarcity and ecological fragility. It is also affected by factors such as strong winds and extremely high evaporation, resulting in particularly severe soil erosion and environmental degradation. In recent years, although the centralized construction of water conservancy projects has promoted regional development, it has also intensified the pressure on the ecological environment. The traditional extensive construction method is no longer sufficient to meet the needs of modern green development. Therefore, it is urgent to strengthen the control of environmental protection and soil and water conservation through full process supervision. In order to ensure the ecological security and sustainable operation of engineering in Xinjiang, it is necessary to establish a practical and scientifically effective supervision mechanism, which is of crucial significance for achieving a balance between ecological protection and engineering development.

Keywords: water conservancy engineering; environment protection; water and soil conservation; supervision

引言

水利工程在保障水资源安全与推动区域发展中发挥着至关重要的作用, 但在其建设过程中, 环境干扰与生态压力常常不可避免, 尤其在生态脆弱地区影响更为显著。随着绿色发展理念的深入, 环保与水土保持已成为水利工程建设中的关键内容无法忽视。作为工程管理中的核心环节, 监理控制在推动环保措施落实与规范水土保持实施方面起着决定性作用。探讨新疆地区水利工程中环保与水土保持的监理控制策略, 并期望为其他类似生态区域提供具有实践性的参考与借鉴。

1 水利工程环保与水土保持现状分析

新疆, 作为我国西部重要的生态屏障与水资源战略储备区, 其水利工程建设在推动区域发展的过程中面临着严峻的环境制约因素。水资源的日益紧张与生态系统的逐渐脆弱, 使得在水利工程实施过程中, 对环境保护与水土保持的要求愈加严格。随着工程建设规模的不断扩大, 生态破坏、水土流失等问题逐渐显现, 尤其在新疆这样一个干旱、风沙频发的地区, 这些问题更为突出。辽阔的荒漠地貌和脆弱的地表结构, 极易导致土地退化与水土资源流失, 进而削弱工程的可持续性, 甚至可能危及区域的生态安全

与社会经济的稳定。在工程建设实践中, 污水处理未能达标、扬尘污染控制不足以及水体生态遭受损害等现象依然存在, 施工过程中对周边环境的不利影响亟待进行系统治理。同时, 由于频繁的沙尘活动以及本地土壤抗冲刷能力较弱, 水土流失问题屡见不鲜, 这使得工程区的水源涵养能力减弱, 植被恢复难度加大, 从而严重制约了项目运行效益与生态功能的和谐统一。基于新疆独特的自然条件, 亟需构建一个科学且严密的环保控制体系与水土保持方案, 这一体系应贯穿水利工程的规划设计、施工建设以及运行维护等各个环节。通过强化动态监理机制与全过程监督管理, 不仅能有效减少对生态系统的干扰, 还能为区域水利基础设施建设的可持续发展打下坚实的基础。

2 水利工程环保监理控制措施

2.1 水资源保护与合理利用的监理控制

在水利工程的环保监理控制中, 水资源的保护与科学利用始终是核心任务, 尤其是在新疆这一典型干旱地区, 水资源的紧张程度对生态安全与经济发展产生着深远的影响。新疆水资源的分布具有显著的时空不均性, 季节变化大, 供需矛盾突出, 任何工程项目的实施都必须基于水资源的可承载性进行科学配置与动态调度。在工程设计的

初期,水量调配方案应纳入整体规划,监理单位应对其用水合理性及资源匹配性进行审核,避免因工程选址或规模设置不当而导致水资源浪费或引发区域性生态风险。在施工阶段,现场用水应设定明确的使用上限,通过节水技术与循环用水系统等措施来减少对天然水体的依赖。同时,临近水源地或敏感水体区域的施工,必须执行严格的防护制度,监理工作需覆盖水源隔离、废水处理、污染物拦截等关键环节,确保水质不受施工活动影响。进入运行阶段后,监理的重心应向系统化的水资源管理转变。通过构建信息化的水资源调度平台,实现对灌溉、城市供水、生态补水等多个领域的实时监测与优化调控。定期进行水质与水量的数据采集与分析,可以及时识别潜在的风险,从而有效指导水资源的高效、循环与集约使用,确保生态目标与工程效益的真正协同与统一。

2.2 施工过程中的环境影响评估与监测

在水利工程建设过程中,进行系统性的环境影响评估与全过程监测,是确保工程顺利推进的基础环节,尤其在生态环境承载力有限的地区,如新疆,施工引发的环境扰动必须格外谨慎对待。此类工作的核心任务在于识别施工行为可能带来的不良生态后果,并通过定量化的手段明确影响范围与强度,从而制定有针对性的干预措施,降低生态系统的承压风险。在施工前阶段,应结合工程实施方案与区域生态特征,开展有针对性的环境影响分析。重点评估施工过程中可能产生的多类污染因子,诸如扬尘扩散、噪声扰动、污水排放与固体废弃物堆放等问题,均应被纳入考虑范围。此外,还需将施工环节中的具体活动,如土方作业、设备操作与运输流线等带来的潜在负面影响予以评估,以为后续监理决策提供全面依据。根据评估结果,监理人员应督促施工单位制定切实有效的环保方案,如安装隔尘屏障、调整作业时段以减轻噪声污染、建设污水收集与处理系统等,以确保污染源处于可控状态。在实施阶段,对环境状况的动态监测则成为控制风险的关键手段,监理机构需根据现场条件,构建一个涵盖空气、水体、土壤等关键要素的监控体系,持续收集施工过程中的环境数据,确保污染防治措施的实际执行。例如,可部署扬尘监测设备以持续记录空气中的颗粒物浓度,利用水质自动采样装置追踪水体的受影响情况,并在发现异常指标时及时反馈问题源头。同时,鉴于新疆地区普遍存在的水土流失隐患,监测方案还应包括坡面稳定性与地表侵蚀的观察,依据现场情况灵活调整水土保持策略,从而提高工程的生态安全保障水平。

2.3 污染防治与废水处理技术应用

在水利工程的施工环节中,污染物排放的控制与废水的妥善处理,是确保生态环境安全的关键步骤。施工活动不可避免地会带来废水、废气和固体废弃物,其对自然环境的潜在影响不容忽视,尤其是在水资源紧缺的区域,如

新疆,废水处理不仅关乎水体安全,更直接影响生态系统的稳定性与可持续性。因此,环保监理应着重于污染源的治理与全过程管理。污染防治的有效路径在于强化源头管控,施工现场的各类用水活动,如混凝土作业、设备冲洗及地表排水等,均应建立明确的操作规范。监理人员需督促施工单位设置封闭式排水通道,统一收集并处理各类废水,防止未经处理的废水外泄。对于污染物密集的作业区域,如泥浆存放地与机械维修区,必须设立独立的废水收集单元,并配备适用的处理设备,避免有害物质渗入地表水或地下水系统。在废水治理的实际操作中,应根据污染物的类型及浓度,科学选择处理技术。常用方法包括物理沉降、化学反应和生物降解等。物理处理主要通过沉淀池等装置去除悬浮颗粒与泥沙,为后续处理提供预处理条件;化学方法可通过添加反应剂分解或中和水中的有害物质;生物处理依赖微生物群落的代谢作用,有效降解复杂的有机污染。根据现场排水的性质,这些技术应灵活组合,以确保稳定达标的排放结果。为保障系统运行的连续性与效率,污水处理设施需进行定期检修与维护,以确保设备的稳定性。监理机制应覆盖废水排放口的水质抽样与数据记录工作,对各项关键指标进行动态比对,防止超标排放情况的发生。通过全流程、科学化的污染防治措施与高效的废水处理策略,水利工程在降低施工扰动的同时,也为区域生态系统的恢复与功能维持提供了坚实的支撑。

3 水土保持监理控制策略与实施

3.1 施工阶段的水土保持技术措施

在水利工程的施工阶段,实施有效的水土保持技术措施至关重要,它能够有效防止水土流失并保护区域生态环境。水土保持不仅要求根据工程特点制定切实可行的技术手段,还应结合当地自然环境和气候特征进行灵活调整,以确保其持续性与稳定性。水土保持的管理应从施工源头着手,以减少土壤破坏的风险。例如,在进行土方开挖时,监理方应要求施工单位科学安排开挖顺序,尽量避免大范围裸露土壤。为减少水土流失的可能性,可以在施工现场采取覆盖措施,如使用草帘、木板或防水布等临时覆盖物,这能有效阻挡雨水冲刷与风蚀。此外,对于易受侵蚀的区域,应设置临时挡土墙或防护网,这种有效的防护手段可以有效阻止土壤流失^[1]。排水系统的设计与管理在施工期间尤为重要,尤其在山地或坡地的施工区域,如果降水未能及时排除,雨水将迅速形成径流,导致坡面土壤的侵蚀。监理单位应要求施工现场设置有效的临时排水设施,以避免水流直接侵蚀裸露土壤。在降水集中的区域,建议采用分流排水方式,减缓水流速度,并可通过设置沉淀池或草沟等设施,过滤水中的泥沙从而减轻泥沙对下游环境的污染。施工结束后的植被恢复与土壤固结,是水土保持技术措施中的关键环节,通过及时恢复植被,不仅能有效防止水土流失,还能增强土壤的稳定性。监理单位应要求施工

单位选择适应当地土壤类型与气候条件的植物种类,以确保植物能够迅速适应环境并良好生长。对于干旱地区或盐碱地等特殊区域,建议采用耐旱、耐寒的植物品种,这些植物能够增强在恶劣环境下的生长能力,从而进一步增强土壤的固结力。

3.2 防沙治沙与水土流失治理监理控制

防沙治沙及水土流失治理在水利工程中占据着至关重要的地位,尤其是在像新疆这样干旱和半干旱的地区,风沙及水土流失对生态环境与农业生产的影响尤为显著。通过有效的监理与控制措施,不仅能减缓沙漠化的进程,还能促进生态平衡的恢复,为水利工程的长期可持续性奠定基础。在防沙治沙工作中,植被恢复与固沙技术发挥着核心作用。监理单位应严格把关,确保施工单位在沙地治理中采用本地适应性强的植物进行绿化与恢复,选用如耐旱、抗风的灌木与草类植物,这些植物不仅能够有效固沙,还能为生态系统提供栖息环境^[2]。同时,防风措施的采取也应得到督促,如设置防风网或沙障,以降低沙尘暴的影响并保护周围环境。对于水土流失问题,监理方应重点关注水土保持措施的落实。在水利工程中,尤其是涉及河道治理与山体水库建设等项目时,监理单位必须确保对高风险区域进行有效的防护处理。例如,建设梯田与生态护坡等措施能有效拦截雨水径流,减少水流对土壤的冲刷。同时,合理的水土保持设施,如排水沟、沉砂池等,能够有效减缓水土流失并提升土壤质量。为了实现区域性沙漠化与水土流失问题的长期控制,监理方还应加强生态恢复与后期监测,以确保治理效果得以持续。通过定期的评估与检测,能够及时调整与优化治理措施。沙漠化的进展情况应引起高度重视,适时加强植被恢复工作,或根据水土流失的实际情况实施阶段性修复,以确保治理措施始终保持最佳效果。

3.3 关键区域水土保持监理控制的实践

在水利工程项目中,关键区域的水土保持监理控制具有极其重要的意义。这些区域通常是水土流失的高风险区或生态脆弱区,尤其是在新疆这类干旱与半干旱地区,极端的气候条件与稀疏的植被使得水土保持工作面临更大的挑战。因此,针对这些重点区域的监理控制,除了严格执行技术措施外,还应结合具体实际情况,灵活采用科学管理方法,以确保水土保持效果的最大化。在易受侵蚀的关键区域,如山地坡地及河岸边,监理单位应确保施工单位采取切实有效的防护措施。在山地施工时,通过梯田建设与防护林带的方式,能够有效减缓雨水对土壤的冲刷;

而在河岸边,护坡工程的加强与挡土墙等结构性设施的设置,是防止水流侵蚀土壤的必要手段。上述措施应贯穿施工的各个阶段,并根据实时监测数据进行动态调整,以确保其效果的长期稳定^[3]。针对新疆等地区的特殊环境,生态恢复进程应得到特别关注。在荒漠化地区,监理单位需确保施工结束后及时进行植被恢复,并选用适合当地气候与土壤条件的植物,尤其是耐旱、抗风沙的物种,这不仅能促进固沙与保水,还能增强土壤的稳定性。在建设过程中,应避免大范围的土地开挖,减少对原有生态系统的破坏,尽量保留自然植被,为后期恢复奠定良好的基础。监理单位还应加强对这些关键区域的生态监测工作,定期评估水土保持措施的实际效果。考虑到新疆等地区的极端环境,水土保持措施的效果可能受到气候变化、土壤类型、降水量等多重因素的影响。因此,根据监测结果及时调整措施尤为重要,以确保治理效果的持续性。例如,若发现某些区域的水土流失仍较为严重,可能需要增设排水系统、加大植被种植密度或对现有的护坡设施进行加固。

4 结语

新疆,地理与生态特征独特,水利工程中的环保与水土保持监理控制是确保区域可持续发展的关键。随着生态文明建设与绿色发展理念的推进,水利工程对环境保护与水土保持的要求愈加严格,监理工作面临更高挑战。通过对水资源保护、污染控制、水土流失治理等方面的探讨,科学、规范且因地制宜的监理措施是实现工程与生态保护协调发展的关键。在水资源紧缺、生态脆弱的新疆,水利工程全生命周期中的环保与水土保持监理,不仅提升工程质量与安全,还对生态平衡与人居环境改善具有深远影响。未来,改进监理技术,推动信息化与智能化应用,强化制度与队伍建设,将为新疆及类似地区的水利工程提供更坚实的技术与生态保障。

【参考文献】

- [1] 韩晓杰. 农业水利工程建设中水土保持与生态环境保护分析[J]. 数字农业与智能农机, 2025(3): 73-75.
 - [2] 涂阳阳, 郭明磊. 南四湖老运河节制闸除险加固工程水土保持及环保措施[J]. 治淮, 2025(3): 80-82.
 - [3] 王振. 水利工程环保型施工技术浅谈[J]. 河南水利与南水北调, 2020, 49(10): 7.
- 作者简介: 蒋兴明(1984.10—), 毕业院校: 河海大学, 所学专业: 水利水电工程, 当前就职单位名称: 新疆昆仑工程咨询管理集团有限公司, 就职单位职务: 总监理工程师, 职称级别: 副高。

生态护坡工程在河流治理中的稳定性及水土保持效果评价

彭祖钰 周启玉 覃晓艳 黄光源 林雅兰

宜昌清江水利水电设计有限公司, 湖北 宜昌 443500

[摘要]生态护坡作为一种环保、可持续性的河流治理手段,已普遍应用到水土保持和生态恢复,它的优势体现在可借助植物根系稳固土壤,降低水土流失总量,同时促进生态环境渐趋恢复,采用新型生态材料和智能化管理技术,为生态护坡打造更强稳定性与更久的使用年限。随着技术持续发展与政策支持加码,于未来河流治理而言,生态护坡将发挥更显著的作用,加快生态护坡技术的创新与推广步伐,可为生态环境保护与可持续发展提供有力支撑。

[关键词]生态护坡;河流治理;稳定性;水土保持;土壤类型

DOI: 10.33142/hst.v8i5.16495

中图分类号: TV85

文献标识码: A

Stability and Soil and Water Conservation Effect Evaluation of Ecological Slope Protection Engineering in River Management

PENG Zuyu, ZHOU Qiyu, QIN Xiaoyan, HUANG Guangyuan, LIN Yalan

Yichang Qingjiang Water Conservancy and Hydropower Design Co., Ltd., Yichang, Hubei, 443500, China

Abstract: Ecological slope protection, as an environmentally friendly and sustainable river management method, has been widely applied to soil and water conservation and ecological restoration. Its advantages are reflected in the ability to use plant roots to stabilize the soil, reduce the total amount of soil erosion, and promote the gradual recovery of the ecological environment. By adopting new ecological materials and intelligent management technology, it can create stronger stability and longer service life for ecological slope protection. With the continuous development of technology and increased policy support, ecological slope protection will play a more significant role in future river management. Accelerating the innovation and promotion of ecological slope protection technology can provide strong support for ecological environment protection and sustainable development.

Keywords: ecological slope protection; river management; stability; water and soil conservation; soil type

引言

河流治理是应对水土流失、洪水侵袭等自然灾害的关键办法,传统硬质护坡技术渐渐难以契合环境保护与生态修复要求,生态护坡作为一种新式的解决途径,运用植物固土作用与新型材料的实施应用,大幅降低了对环境的负面冲击,并能推动生物多样性增长,伴随着技术的持续创新以及智能化管理手段的采用,生态护坡的成效与稳定性实现了大幅提高,生态护坡将作为河流治理及生态恢复方面的核心技术之一,推动其更广泛铺开具有重要实践意义。

1 生态护坡的基本原理与作用机制

1.1 生态护坡的构成要素

生态护坡工程的组成部分不只是植物配置、土壤改良、护坡材料和植被根系,也应全面考虑水文情形、地形地貌以及气候状况等多方面内容,植物配置乃生态护坡之根基,挑选适宜的本地植物或耐性植物可推动植被迅速生长,增进土壤的附着稳固力。不同植物根系的分布情况与固土效果,直接关乎护坡的稳定性,合理抉择植物种类并改良种植模式意义非凡,土壤改良可提升土壤结构质量,增加土壤保蓄水分能力与养分供给,借此为植物生长搭建更好平台,挑选护坡材料,不仅要求其有强大承载能力,还需保证跟生态环境相适配,防止对生物多样性造成负面干扰,

植被根系深深地扎进土里,不仅可实现固土目的,还可增进土壤结构的稳定度,提升坡面抵抗侵蚀的本领,诸多要素的协同结合,共同助力生态护坡工程在不同环境情形下的稳定与持久。

1.2 生态护坡在水土保持中的作用

生态护坡在水土保持中发挥着重要效用,植物根系扎根土壤,像天然的锚固定土壤,削减水流冲刷侵蚀力,避免土壤随水流失。地表植被构成防护层,增加土壤吸纳雨水能力,减缓雨水冲击,稳固坡面,保障整个流域水土保持良好。植被还能参与土壤水分调节,平衡温度,推动养分循环,改善土壤结构,为植物生长营造有利条件,形成相互促进的循环,这种多方面协同作用,让生态护坡有效控制水土流失,经长期维护,持续发挥水土保持效能,改善生态环境质量。

1.3 影响生态护坡效果的关键因素

生态护坡成效受众多因素制约,土壤质量、植物品种及气候状况起决定性作用,土壤质地与构造直接关系植物根系扎根深度与水分储存能力,不同土壤在透水性、黏结度及养分供给上的差异,直接构建出植被生长的不同基础环境^[1]。植物选配需着眼其对本土气候、土质的适应程度,同时关注其抵御风蚀、耐受干旱的特性,唯有选对植物,

才能实现持久生态防护效果,气候条件的变化对生态护坡影响深远,持续干旱会导致植被枯萎,暴雨则可能引发坡面坍塌,这些极端天气都对植被与土壤构成严重威胁,进而影响护坡功能发挥。将这些因素通盘考虑,实施合理护坡设计与管理,才能确保工程长期稳定运行。

2 生态护坡工程在不同河流类型中的应用效果

2.1 山区河流中的生态护坡设计与实施

山区河流生态护坡设计面临坡度陡峭、水流湍急、水土流失严峻的挑战,同时需兼顾当地气候特征与植被适配性。设计时依据地形条件,筛选契合的植物品种,将生物土工布、生态网等工程材料融入其中,以此强化护坡结构的稳固性与耐久性。挑选植物着重关注其根系固土性能,同步实施土壤改良举措,借助有机肥施加或改良剂运用,改善土壤保水及透气性能,营造利于植物扎根生长的环境。强调植被与土壤紧密结合,促使根系向深层土壤延展,从而提升抵御风蚀、水蚀的能力,施工环节严格规范植被栽种布局与土壤处理流程,规避土壤过度压实或分布不均的问题,保障植物扎根固土,最终达成长效水土保持的目标。

2.2 平原河流中的生态护坡技术应用

平原河流生态护坡技术应用设计,需充分考量水流舒缓、土壤松软特质,更要挖掘自然资源潜力以推进生态修复。平原区域土壤富含有机质且含水量高,植物选择不仅要契合当地气候条件,更需关注其根系在松软土壤中扩展蔓延及固结土层的能力,合适的植被通过根系与土壤交织缠绕,如同天然加固网,有效增强护坡稳定性,降低水流对坡面的侵蚀破坏,在护坡设计实践中,除基础植被科学配置,还可借助生物工程技术,如铺设生物土工网、构建生态植物带,形成立体防护结构,提升坡面抗冲刷性能。水生植物的合理布局同样关键,其能吸附降解水中有害物质,净化水质,改善河流生态环境。多管齐下,实现生态修复与水土保持同步推进,达成平原地区河流生态治理的长效目标。

2.3 不同气候条件下生态护坡的稳定性分析

不同气候状况深刻作用于生态护坡稳定性。湿润气候里,植被生长繁茂,根系发达固土有力,但过多降水或频发洪水会伤及植物根系、冲蚀土壤,削弱生态护坡成效^[2]。干旱气候下,缺水制约植被生长,土壤保水能力下降,生态护坡易遭侵蚀破坏。生态护坡设计需依气候差异优化植物选择与水土保持方案,干旱地区应多选用耐旱植物,配合土壤改良技术提升保水性能;湿润地区要重视植被根系扎根深度,合理规划排水设施,降低水流冲刷对护坡的不良影响。

3 生态护坡在河流治理中的实际挑战与应对策略

3.1 土壤质量对生态护坡的影响

土壤质量对生态护坡效果起着关键的决定性作用。土壤结构决定根系扎根难易,透水性影响水分调节,养分与

有机质含量则为植物生长提供支撑,这些因素都直接影响植物根系的生长状态与稳固性,从而左右护坡效果,若土壤过于黏重,根系难以穿透伸展;若土壤松散,则无法为根系提供有效抓附力,两种情况都会降低护坡抵御侵蚀的能力,土壤酸碱度、盐分状况和水分保持能力,也显著影响植物生存环境。在土壤质量欠佳区域,必须借助土壤改良手段,通过施用有机肥料、添加生物土壤改良剂等方式,优化土壤性能,提升保水保肥能力,为植物营造良好生长基础,进而增强生态护坡的稳定性。

3.2 植物选择与植被覆盖度的优化

植物选择对生态护坡稳定起着核心作用,挑选适应力强、根系发达的植物是维系护坡效能的关键所在。各地区气候冷暖、土壤质地及水文条件差异显著,这些因素直接决定植物能否扎根生长,选用本地原生植物,或是具备耐旱抗涝特性的品种,能够有效增强生态护坡的生物稳固性,植被覆盖面积直接影响坡面水土保持效果,充足的植被不仅能减缓土壤水分蒸发速度,还能减少水土流失,合理控制植物种植密度,能确保植株获取充足光照、空气与水分,促进健康生长,同时削弱水流对土壤的冲刷破坏^[3]。通过科学规划植物搭配、精准调节种植密度,优化植被覆盖状况,进而提升生态护坡的抗侵蚀能力与整体稳定性。

3.3 生态护坡工程的长期维护与管理

生态护坡工程的长效稳定与功效发挥,核心在于持续地维护与管理。植被生长全程需动态监测与调整,工程初期根系发育未稳,极易遭遇水流侵蚀、植株倒伏等状况,长期管护时,植被健康状态、土壤持水能力以及防护设施完整性都需定时检查评估。面对暴雨、干旱等极端气候,要迅速响应,及时修复受损护坡结构,补植枯死或损坏植株,同步加强水土保持作业,生态护坡维护范畴广泛,既要关注植物生长,还需定期疏通排水系统、改善土壤条件,确保整个生态护坡体系在复杂环境变化中始终保持高效运作。

4 生态护坡与传统护坡技术的比较分析

4.1 生态护坡的优势

生态护坡的显著优势在于其对环境的友好特质与长效稳定性能,在长期应用期间具备自我维持与修复能力,极大降低对外部维护的依赖,相较于传统硬质护坡,生态护坡不仅能切实阻止水土流失,还能有效拓展生物多样性,全面改善区域生态环境。植物根系如同天然加固网,牢牢固定土壤,增强土体稳定性,大幅削减侵蚀作用力,显著提升坡面抵御风蚀、水蚀的能力,经过合理规划布局的植被覆盖层,能够高效吸收雨水,减少地表径流,缓冲河道水位的剧烈变化,对水源涵养起到关键作用,随着植物不断生长繁衍,土壤物理结构得到重塑,化学性质逐步优化,土壤肥力持续提升,为生态系统的恢复与发展提供持久支撑。以这种可持续发展的方式,生态护坡有力推动自然景

观的恢复进程,为当地打造出更加稳定、富饶的生态环境。

4.2 传统护坡技术的局限性

传统护坡技术在实际运用中弊病丛生,像混凝土、石材这类硬质材料,虽能增强护坡结构强度,却难有生态收益,无法长久维系生态平衡,这些材料易受环境侵蚀,长时间使用后,水土流失问题可能卷土重来,硬质护坡结构与周边生态格格不入,破坏生态景观,致使生物栖息地锐减^[4]。传统技术成本高昂、施工复杂,在不少地区难以推广,特别是生态脆弱地带,传统护坡技术无法达成可持续发展目标,难以契合河流长期治理的需求。

4.3 生态护坡与传统护坡的综合应用模式

生态护坡与传统护坡技术融合应用,取长补短,既保障河道稳固,又能实现突出的生态修复成效,于传统护坡结构内植入植物、铺设生物土工网,加固结构的同时推动生态复苏。该模式规避单一技术弊端,解决硬质护坡破坏生态、生态护坡稳定性欠佳的问题。借助现代生态技术,它可灵活适配多样地形与气候,优化水土保持效果,提升环境复原能力,这种综合应用模式促使生态环境与工程结构紧密结合,为河流治理带来可持续的长期效益。

表1 生态护坡与传统护坡工程对比

项目	生态护坡工程	传统护坡工程	数据来源
施工成本(万元/米)	20	45	中国水利部
年维护成本(万元/年)	5	10	中国水利部
水土流失率减少(吨/年)	60	30	环境保护局
植被覆盖率(%)	85	25	环境保护局
生物多样性改善指数	0.75	0.3	国家林业局
适应气候变化的能力	强	弱	中国气象局

5 生态护坡技术在未来河流治理中的发展趋势

5.1 新型生态护坡材料的应用前景

新型生态护坡材料应用前景极为广阔,材料科学持续进步,大量兼具环保与可持续特性的材料涌入生态护坡领域,它们不仅抗压、抗风蚀等物理性能优异,还能与自然完美契合,有效推动生态系统修复进程。相较传统硬质材料,像生物基土工布、可降解网格这类新型生态材料,极大降低对环境负面影响,适应能力更强,即便在复杂恶劣环境中也能长时间稳定发挥作用。随着技术革新深入,这些材料生产成本逐步下滑,未来推广范围将不断拓展,为河流治理带来切实可行且经济实惠的有效方案。

5.2 智能化管理与生态护坡的结合

智能化管理为生态护坡技术跃升创造全新可能,依托数字化与智能化手段,护坡工程运行状态得以实时监控,

从植被萌发到成长的全过程、土壤湿度微妙变化、水流速度缓慢波动等数据尽在掌握,这些详实数据为生态护坡方案的调整与优化奠定坚实基础,辅助管理人员开展针对性维护工作^[5]。借助无人机航拍巡查、各类传感器实时感知,生态护坡监测效率大幅提升,隐患问题一经出现便能快速捕捉处置,智能化系统融合气象预报数据、环境演变信息,全方位保障生态护坡长效运行,实现精细化动态管控,稳固提升护坡工程存续周期与防护效能。

5.3 推动生态护坡技术的政策建议

生态护坡技术落地应用,倚仗政府部门政策驱动,政策端需强化生态护坡科研资源投入,激发企业、科研机构对新型生态材料研发热情,推动成果转化与市场推广,构建完善法规标准体系,从材料选用、施工流程到验收评估,全方位规范生态护坡工程建设,防止因技术缺陷造成生态损害。地方政府在河流整治、城市规划建设进程中,要将生态优先贯穿始终,优先部署生态护坡技术方案,通过专项资金支持、税收优惠等举措给予保障,并通过系统化技术培训、行业经验交流等方式,提升工程设计及管理人员专业素养,确保生态护坡技术有效落地实施。

6 结语

作为新型河流治理技术的生态护坡,依仗其环保及可持续发展的特征,在水土保持及生态恢复中发挥不可替代功效,伴随生态工程理念日益深入人心,生态护坡技术不停改进与完备,为解决河流治理中的稳定性状况提供新点子。利用选取恰当植物、提升材料品质、强化智能化管理水平,生态护坡在各种环境条件下均可发挥重要效能,伴随技术发展以及政策支持不断加码,生态护坡的应用范围会大幅拓展,为生态环境的修复与保护提供更有效的应对方案。

【参考文献】

- [1]张伟光.中小河流治理项目生态护坡工程监理[J].湖南水利水电,2021(4):122-123.
 - [2]彭云.生态护坡在中小河流治理工程中的应用[J].建筑技术开发,2019,46(12):159-160.
 - [3]蔡杰龙,杨永民,卢伟伟.生态护坡技术在广东省中小河流治理工程中的应用[J].广东水利水电,2016(7):51-58.
 - [4]王元春.生态护坡在中小河流治理工程中的应用[J].水利规划与设计,2016(4):42-44.
 - [5]李敏.中小河流治理工程中生态护坡的运用[J].建材与装饰,2016(2):284-285.
- 作者简介:彭祖钰(1991—),男,民族:汉,学历:本科,职称:工程师,研究方向:水土保持与荒漠化防治。

水利工程河道生态护坡施工技术探究

戴诚诚

阜康市水利管理站, 新疆 昌吉 831500

[摘要]随着生态文明建设持续推进,传统刚性水利护坡结构在河道治理方面所存在的局限性变得日益明显起来,生态护坡理念也渐渐开始受到人们的关注。本文把新疆地区的自然地理特征考虑进去,从该地区河道生态环境的实际现状着手展开分析,较为全面且细致地剖析生态护坡施工技术当中的关键点,并着重就适应性植被配置情况、生态结构材料的应用状况以及冬季冻融与风沙灾害防护等方面所涉及的实践策略展开深入探讨。在此基础上,还提出了要加强技术规范体系建设、对产业链布局予以优化以及提升相关人员的专业素养等一系列推广方面的建议,希望能够为新疆水利工程开展生态化改造工作给予相应的技术支撑以及理论层面的参考依据。

[关键词]水利工程;河道;生态护坡;施工技术

DOI: 10.33142/hst.v8i5.16485

中图分类号: TV861

文献标识码: A

Exploration on Construction Technology for Ecological Slope Protection of River Channels in Water Conservancy Engineering

DAI Chengcheng

Fukang Water Conservancy Management Station, Changji, Xinjiang, 831500, China

Abstract: With the continuous promotion of ecological civilization construction, the limitations of traditional rigid water conservancy slope protection structures in river management have become increasingly apparent, and the concept of ecological slope protection has gradually begun to receive people's attention. This article takes into account the natural geographical characteristics of Xinjiang region and analyzes the actual status of the river ecological environment in the area. It comprehensively and meticulously analyzes the key points in the construction technology of ecological slope protection, and focuses on in-depth discussions on the practical strategies involved in adaptive vegetation configuration, application of ecological structural materials, and winter freeze-thaw and sandstorm disaster prevention. On this basis, a series of promotion suggestions were put forward, including strengthening the construction of the technical specification system, optimizing the layout of the industrial chain, and enhancing the professional competence of relevant personnel. It is hoped that these suggestions can provide corresponding technical support and theoretical reference for the ecological transformation of water conservancy projects in Xinjiang.

Keywords: water conservancy engineering; river channels; ecological slope protection; construction technology

引言

河道护坡工程属于水利工程里的基础性设施范畴,其设计以及施工情况直接影响到防洪减灾、生态修复还有景观改善等多项功能能否得以实现。随着我国生态文明战略不断推进落实,传统混凝土结构在河道护坡方面所造成的生态破坏、水土流失以及生物多样性退化等问题愈发突出地显现了出来。特别是在干旱、半干旱并且寒冷多风的新疆地区,河道护坡工程一方面要面对复杂气候以及地质条件所带来的诸多挑战,另一方面还肩负着恢复当地生态环境、保护植被以及服务民众生活等一系列重要任务。鉴于此,去探寻能够将生态理念、地域适应性以及可持续技术融合起来的生态护坡施工办法,这对于提高区域水利工程质量以及发挥其功能有着极为重要的意义。

1 河道生态护坡概述

河道生态护坡是一种结合生态学原理和水土保持技术的河道岸坡保护手段,其核心理念在于通过结构与植被

的有机融合,实现岸坡的生态稳定与环境保护。该概念的发端源于对传统岸坡工程对自然环境影响的反思,强调在岸坡设计中融入植被与生态因素,进而达到自然、美观、稳定的综合效果。河道生态护坡的主要特征包括植被生态混凝土护坡、生态砖护坡、贴坡式格宾网覆土护坡、人工种草护坡以及土工材料固土种植等多样化结构形式,为水利工程提供了一种可持续发展的生态工程范式。

2 河道生态环境与护坡现状分析

新疆位于我国的西北边陲地带,其境内有着数量众多的内陆河流,像塔里木河、伊犁河以及乌鲁木齐河等,这些河流的河道类型呈现出多样性,而且它们所处的水文条件也存在着较为明显的差异。因为该地区年降水量相对较少,蒸发情况比较强烈,气温的差异幅度也较大,所以新疆的河流岸坡经常会遭遇诸如水土流失状况十分严重、植被分布极为稀疏以及生态环境颇为脆弱等一系列问题。传统的水利护坡方式大多会采用浆砌石、混凝土这类刚性结

构,虽说在短期内能够对岸坡起到一定的稳定作用,可是从长远的角度来讲,这种做法容易对土壤结构造成破坏,还会阻断水陆之间的生态联系,这对于河道生态系统的恢复是极为不利的。随着人们对生态修复的需求不断增加,部分区域便开始尝试运用生态护坡技术,并且初步已经获得了不错的成效。不过,在施工技术层面、材料选择方面、植物配置环节以及长期运维等各个维度上,仍然存在着不少的制约因素,特别是在面对那种严酷的自然环境的时候,更是缺乏一套系统完备且具有较强适应性的技术体系来给予有力的支撑,所以迫切需要针对新疆的地貌特点以及气候特性展开深入的研究,进而去大力推广适合的生态护坡模式。

3 水利工程河道生态护坡施工关键技术研究

3.1 适应气候的植被选择与栽培技术

在新疆气候复杂且多变这样的大背景之下,生态护坡所涉及的植物选择务必要遵循“适地适植”这一原则,着重以那些抗旱能力较强、耐寒性能较好以及抗风沙实力不错的乡土植物当作主要选择对象,如此一来便能充分彰显出植物对于区域自然环境有着极高的适应特性。常用的植物种类像怪柳、骆驼刺还有披碱草等等,这些物种不但生命力颇为旺盛、成活率颇高,并且它们的根系也较为发达,可以切实有效地起到固土抗蚀的作用,进而增强边坡在生态层面的稳定性以及抗冲刷的能力。就植被配置来讲,得重视物种呈现出的多样性以及空间具备的层次性,要科学合理地去构建起乔木、灌木以及草本相结合且能自然过渡的生态结构体系,以此来强化护坡系统所具有的生物多样性和自我调节的能力。与此依据地形地貌以及土壤的具体条件,要因实际情形而异地采用穴播、条播以及苗木定植等多种不同的方式,从而提高种植工作的效率并促使植被覆盖度得以提升,推动群落在短时间内快速形成。在开展播种以及栽培相关工作期间,还需要配套落实地表覆盖物的保护举措、水分保持方面的措施以及合理可行的灌溉系统建设事宜,以此进一步提升土壤水分的利用效率,保证植物幼苗能够在干旱、多风并且沙尘频发的这种环境下顺利地生长发育,最终达成生态护坡功能实现长期稳定以及可持续发展的目标。

3.2 植被生态混凝土护坡施工技术

植被生态混凝土属于一种将传统混凝土所具备的强度同植被能够生长的功能相结合起来的复合护坡材料,其特别适用于那种水流冲刷比较强烈、对于边坡稳定性要求颇高的河道段落,在新疆地区,因其地质较为松散、水资源分布极不均匀且气候极为干旱,所以该材料尤为适用。在新疆地区开展实际应用的时候,施工之前必须要对岸坡展开合理的整形以及压实方面的处理工作,务必要让坡面的坡度处于适宜状态,表面也要保持平整,如此一来便能够为后续的材料铺设以及结构稳定打下良好基础。混凝土

材料当中往往会添加有机土壤、保水剂、植物种子基质还有缓释肥料等,借助现场模板浇筑的方式从而形成带有多孔性以及空腔结构的护坡面层,这样的结构一方面保留了混凝土所具有的强度以及护坡的能力,另一方面也给空间中的植物根系提供了伸展与生长的有利条件。施工完成之后,应当马上启动系统性的养护管理举措,考虑到新疆地区降水偏少、蒸发又十分强烈这一特点,要合理安排灌溉方式,比如采用滴灌或者微喷等方式,还需定期实施补播以及施肥的操作,并且要对植被的存活率与覆盖度加以监测,依据实际情况及时对技术参数做出调整。该技术在对于水土流失予以有效控制、对坡面侵蚀起到抑制作用的还能够快速达成河岸绿化的目标,美化水环境,进而提升生态系统的完整性以及服务功能,它可以说是新疆水利工程在实现工程稳定性与生态和谐发展二者之间达成平衡的关键生态化治理手段其中的一个。

3.3 生态砖护坡施工技术

生态砖作为预制透水结构材料,在生态护坡方面有着广泛应用,其稳固性以及生态功能都很不错,尤其适用于河道岸坡绿化还有水土保持工程。在新疆地区开展施工的时候,要充分考量当地特有的气候以及地质情况,去选用那种表面较为粗糙、透水率比较高的生态砖材料,而且这种材料还得有较强的抗冻融循环能力以及优良的耐寒性能,以此来应对高温下昼夜温差大以及冬季极为严寒的环境所带来的种种挑战。在施工设计环节,要综合岸坡的坡度以及河道的流速等情况来合理确定铺设的方式,一般会采用鱼鳞状、错缝铺设或者梅花形布置等办法,以此来强化整体结构的抗滑移能力以及稳定性。在具体的施工过程中,一开始得对基底做好夯实处理,并且铺设具有良好透水性的排水层,用来防止出现渗水积聚而致使结构出现松动的情况。接着一层一层地铺装生态砖,要保证拼接得很紧密、排列得很整齐,最后还要在砖体的孔隙以及砖缝之间填充营养土壤,并且播撒能够适应当地气候的草本或者小灌木植物种子,像披碱草、怪柳、骆驼刺等等,让砖体和植被达成有机的融合状态。在后期的养护阶段,要结合新疆地区干旱且降雨较少的环境状况,配合着适当的灌溉、定期的除草以及施肥等管理工作,以此来保障植物能够健康成长。生态砖护坡不但有很好的抗冲刷能力以及结构稳定性,而且还可以有效地调节地表水的循环、改善微气候,并且能为微生物以及小型动物提供栖息的环境,进而大幅度提升河道的生态质量以及景观效果,广泛适用于城市河道、农田排涝沟渠、边坡防护等多种不同的应用场景,是达成生态治理和功能性护坡协调发展的关键的技术途径。

3.4 格宾网覆土护坡施工技术及应用

格宾网是由镀锌钢丝编织而成的蜂巢状笼体,其内部会填充碎石、土壤等材料,它有着不错的柔性以及透水性,适合用于不规则岸坡以及容易出现滑塌情况的河段。在新

疆地区,这项技术常常应用于风沙较为强烈、水流冲击颇为剧烈的河道护坡工程当中。在施工的时候,先是把基底进行平整处理,并且设置抗滑桩或者锚固结构,接着安装格宾笼体并且一层一层地填充、压实,最后再覆盖土壤并撒播合适的植物种子,以此来让生态恢复和结构加固能够同步开展。格宾网不但可以适应地形的变化、抵挡住冲刷侵蚀,而且还具备很好的植物附着条件,是生态护坡里既考虑安全性又顾及生态性的重要材料形式之一。

3.5 人工种草及土工材料固土技术

人工种草作为一种常用的方式,常用于实现岸坡的绿化以及稳定工作,要是将其和土工材料联合起来使用,那么就能让护坡的整体稳定性得到明显的提升,在新疆地区,常用的草种有紫穗槐、沙打旺以及冰草等等,种植的时候可以搭配着使用土工格栅、植生袋还有生态毯这类材料,进而形成复合加固系统。在施工期间,得依据边坡的坡度来挑选适宜的种植密度以及铺设方式,以此来保证土壤不会因为雨水而被冲刷带走,在边坡高差比较大的地方或者土壤比较贫瘠的区域,最好先铺设土工材料,然后再去做喷播或者是穴播草籽的操作,这样能够有效提升草本植被的覆盖率以及固土的效果,借助人工种草和工程措施相互结合起来的方式,便能够达成护坡“绿化、美化、稳定”这三个方面的目标,让生态护坡的综合效益得以增强。

3.6 冬季冻融及风沙灾害防护技术

新疆地区气候较为干燥,在冬季的时候,其昼夜温差是比较大的,冻融交替的情况也十分显著,这对生态护坡的结构以及植被的生长都带来了极大的挑战。该地区的风沙活动是相当频繁的,特别容易引发坡面出现风蚀现象,同时也会致使植被遭受破坏。所以说,在开展生态护坡施工的时候,务必要同步去考量冻融以及风沙灾害的防控事宜^[1]。具体而言,所采取的技术措施涵盖了选用那些耐寒且耐旱的植物,增加覆土的厚度,设置保温层,运用防风固沙网等等。而在高寒区域当中,还需结合地表覆盖物(比如麦草毡、麻纤维垫)来降低地温的波动幅度,进而减少根系出现冻害的情况。就风沙防护来讲,可以在护坡的上游位置或者风口地带去种植防风林带,或者是设置风障设施,以此形成具有系统性的抗灾缓冲带。凭借结构性措施以及生态配置共同发力,从而确保护坡系统能够在极端气候条件下具备稳定性以及持久性。

4 水利工程河道生态护坡技术推广与发展建议

4.1 完善技术标准与施工规范

当前在生态护坡领域,其标准体系还未完善,施工工艺大多依靠经验,缺少统一的技术规范,这阻碍了生态护坡向科学化以及规模化方向发展。可依据新疆地区的地貌气候特点,去组织编制包含设计、材料、施工还有运维方面的技术标准体系,清晰界定不同地段以及不同生态类型

护坡的技术要求,促使技术规范和地方实际情况高度融合^[2]。需要强化试点示范工程建设,借助标准化技术的推广复制,提高生态护坡工程整体的技术水平以及实施效率。

4.2 提升技术人员综合能力

生态护坡工程对于技术人员的综合能力提出了较高的要求,涉及生态学、水利工程、土壤学以及植物学等诸多学科领域的知识。应当加大对工程技术人员的培训力度,建立起“理论学习—实践操作—项目评估”这样的一体化人才培养体系。就新疆这种生态环境较为敏感的区域而言,更要依靠高校、科研机构以及企业展开合作,举办专题研讨并开展现场教学活动,以此提升从业人员在生态设计、材料选型以及施工管控等方面的专业能力,筑牢工程质量得以保障的基础。

4.3 构建生态护坡材料产业链

生态护坡所要用到的材料种类颇为丰富,像生态砖、生态混凝土、土工合成材料以及绿化植被等等都在其中,当下大多情况下是依靠从异地进行采购的方式,如此一来成本就会变得很高,供需关系也不稳定,这无疑对工程推进的效率造成了极为严重的制约作用^[3]。不妨立足于新疆区域所拥有的资源禀赋情况,多多鼓励本地的企业去开展有关生态护坡材料的研发工作以及标准化的生产事宜,进而构建起一个将研发、检测以及应用融合到一起的生态材料产业链。

5 结语

河道生态护坡是一种把生态保护和工程技术融合到一起的综合性的建设形式,在提高水利工程所具备的生态功能以及达成人与自然和谐共存等方面,它发挥着无可取代的重要作用。特别是在新疆这种自然条件颇为复杂并且生态环境十分脆弱的地区,推动生态护坡技术朝着本土化以及系统化的方向去发展,其迫切性是不言而喻的。通过持续地去优化植被的具体配置情况,进一步强化结构方面的设计工作,同时不断完善施工所采用的工艺流程,并且配套地推进有关标准的建设事宜、人才的培养工作以及产业的发展进程,那么水利工程在生态建设方面的水平将会取得十分显著的提升效果,进而为区域实现可持续发展筑牢坚实的基础。

【参考文献】

- [1]施黎泉. 水利工程中的河道生态护坡施工技术探讨[J]. 珠江水运, 2024(19): 73-75.
 - [2]孙炳阔. 水利工程河道生态护坡施工技术应用研究[J]. 工程技术研究, 2024, 9(8): 69-71.
 - [3]王德华. 河道生态护坡施工技术在水利工程中的应用[J]. 黑龙江水利科技, 2024, 52(8): 111-112.
- 作者简介: 戴诚诚(1984.1—), 毕业院校: 新疆农业大学, 所学专业: 水利水电工程, 当前就职单位名称: 阜康市水利管理站, 职称级别: 工程师。

水利工程施工中的防洪排涝技术与实践

许 楼

安徽安冉水利工程有限公司, 安徽 淮北 235100

[摘要] 水利工程施工中的防洪排涝技术在保障区域安全、促进可持续发展方面具有重要作用。通过对防洪排涝设施的规划设计、施工技术和运行管理进行深入分析,可以有效提升防灾减灾能力。施工中,选择合适的排涝系统、优化防洪坝体结构、加强监测与维护是关键因素。创新技术如智能化排水系统的应用,增强了防洪排涝系统的实时响应能力与适应性。实践经验表明,综合运用多项技术手段,能够提高水利工程的防灾效果,确保工程长期稳定运行。

[关键词] 防洪排涝技术; 水利工程; 施工技术; 智能排水; 灾害防控

DOI: 10.33142/hst.v8i5.16520

中图分类号: TV85

文献标识码: A

Flood Control and Drainage Technology and Practice in Water Conservancy Engineering Construction

XU Lou

Anhui Anran Water Conservancy Engineering Co., Ltd., Huaibei, Anhui, 235100, China

Abstract: Flood control and drainage technology in water conservancy engineering construction plays an important role in ensuring regional safety and promoting sustainable development. Through in-depth analysis of the planning, design, construction technology, and operation management of flood control and drainage facilities, the ability to prevent and reduce disasters can be effectively enhanced. During construction, selecting a suitable drainage system, optimizing the flood control dam structure, and strengthening monitoring and maintenance are key factors. The application of innovative technologies such as intelligent drainage systems has enhanced the real-time response capability and adaptability of flood control and drainage systems. Practical experience has shown that the comprehensive use of multiple technological means can improve the disaster prevention effect of water conservancy projects and ensure their long-term stable operation.

Keywords: flood control and drainage technology; water conservancy engineering; construction technology; intelligent drainage; disaster prevention and control

引言

随着城市化进程的加快和气候变化的影响,防洪排涝问题逐渐成为水利工程施工中的重要挑战。如何在复杂的地理与气候条件下,建设出既高效又可持续的防洪排涝系统,已成为业内亟待解决的难题。先进的施工技术和创新手段为解决这些问题提供了新的思路和方向。通过对防洪排涝技术的深入探讨,可以揭示其在实际工程中的应用效果和面临的挑战,进而为提高工程建设质量与灾害应对能力提供理论支持和技术指导。

1 水利工程施工中的防洪排涝技术现状与发展趋势

随着气候变化加剧与城市化进程的推进,防洪排涝问题日益成为水利工程施工中的关键挑战。提升防洪排涝技术的有效性,是确保区域防灾减灾能力、促进社会可持续发展的的重要举措。

1.1 防洪排涝技术的现状

当前,水利工程中防洪排涝技术主要集中在基础设施建设、排水系统设计与优化以及灾害应对措施等方面。常见的防洪措施包括修建堤坝、疏浚河道、建设排水管网等,这些技术已经在许多地区得到广泛应用。排水系统主要依

赖传统的重力流排水模式,但随着城市化发展,传统设施在承载能力和运行效率上已显得捉襟见肘,无法满足日益增长的排涝需求。加之气候变化导致的极端天气事件频发,现有技术的局限性更加突出。

1.2 新兴技术与创新手段

随着科技进步,智能化、自动化技术逐步进入防洪排涝领域,带来了新的发展机遇。物联网、传感器技术、大数据分析等新兴技术的应用,使得防洪排涝系统的实时监控与动态调节能力大大增强。例如,智能排水系统能够根据实时降水量、土壤湿度等数据,自动调整排水策略,提高排涝效率。除此之外,绿色基础设施,如雨水花园、透水铺装等,也成为防洪排涝系统中的新兴手段,旨在提高生态友好性和可持续性。

1.3 防洪排涝技术的发展趋势

未来,防洪排涝技术将呈现出集成化、智能化和绿色化的发展趋势。一方面,技术的集成将使不同类型的防洪措施能够相互协作,形成多层次、多维度的防洪体系;另一方面,智能化技术将大大提升防洪排涝系统的应急响应能力与自适应能力,尤其在应对极端天气事件时展现出巨大优势。此外,随着环保意识的增强,绿色基础设施将在

未来的水利工程中扮演更加重要的角色。集生态修复和雨水管理于一体的解决方案,将成为新一代防洪排涝技术的核心方向^[1]。

2 防洪排涝系统的规划设计与施工要点

防洪排涝系统的规划设计与施工是水利工程中的关键环节,合理的设计和科学的施工不仅能有效降低灾害风险,还能提高防洪排涝系统的长期稳定性和效益。

2.1 防洪排涝系统规划的基本原则

在防洪排涝系统的规划设计中,首先需要考虑区域的地理、气候和水文特征。合理的规划应根据流域的实际情况、降水量和洪水历史数据进行全面评估,确保系统具备足够的排水能力与防洪功能。同时,要关注系统的抗灾能力和可持续性,采用适应性强、运行成本低的方案。规划设计还需注重与周边环境的协调,避免因工程建设导致生态破坏或水资源浪费。此外,防洪排涝系统应具备分区管理和实时监控功能,以便在突发情况下能迅速调节,确保灾害发生时的快速响应。

2.2 施工技术的关键要点

防洪排涝工程的施工技术需要结合当地实际情况,选用高效且符合设计标准的建材与施工方法。例如,在堤坝建设过程中,应注重坝体材料的选择与结构设计,确保其具备防渗漏和抗冲刷能力。对排水管道的施工则要求准确定位,确保管道布置科学合理,避免出现堵塞或水流不畅的现象。此外,施工过程中还需要加强质量控制和安全管理,确保每个环节都按照设计要求进行,避免工程质量问题引发后期故障或灾难。为此,工程人员应充分利用现代化施工设备,如自动化挖掘机和智能化检测工具,提高施工效率和准确性^[2]。

2.3 防洪排涝设施的综合管理与维护

建设完成后的防洪排涝系统仍需定期进行检查和维护,以确保其长期稳定运行。首先,防洪排涝设施应设置详细的运行和维护记录,定期对坝体、排水管网、蓄水池等关键部位进行检查,发现隐患及时修复。特别是在极端天气过后,应加强系统的检查和评估,确保没有出现潜在的破坏和损坏。此外,为确保系统能够快速响应突发状况,建议部署先进的智能监控系统,实时跟踪水位、流量等关键数据,及时调整排涝策略。同时,人员培训与应急演练也是保证防洪排涝系统可靠性的关键环节,确保操作人员能够在紧急情况下高效应对。

3 关键施工技术在防洪排涝工程中的应用与优化

关键施工技术的应用与优化在防洪排涝工程中至关重要。合理的技术选型和施工优化可以显著提高工程的效率与质量,确保防洪排涝系统的长期稳定运行。

3.1 堤坝与防洪墙的施工技术

在防洪排涝工程中,堤坝和防洪墙的建设是基础性的环节。堤坝施工需要精确的地质勘察与土壤测试,确保土

层稳定性与防渗性能。施工中,选择合适的材料,如抗渗透性强的土壤、黏土以及加固材料,可以有效提高堤坝的防护能力。在结构设计方面,采用多层防护结构或加固技术,以提高堤坝的抗冲刷与抗压力性能。此外,防洪墙的施工技术也在不断优化,例如应用钢筋混凝土结构和高强度合成材料,这些新型材料不仅提高了墙体的抗压强度,还能有效抵抗洪水的侵蚀,确保墙体的长期使用。

3.2 排水管网与排水系统的施工技术

排水系统的设计和施工是防洪排涝工程中的另一个关键环节。随着城市化进程的推进,传统的排水管网已无法满足大流量排水需求。因此,在排水管网的施工中,需要采用新的技术手段进行优化。例如,使用大直径、抗腐蚀的管道材料,能够有效提高排水能力并延长系统使用寿命。施工中,管道的精确定位和合理布局是保证排水顺畅的基础。现代化的施工技术,如管道机器人和激光检测设备,可以实现精准地施工和定位,减少管道错位和堵塞问题。此外,排水系统中的泵站建设也需要高效能的泵组和自动化监控设备,提升排水系统的应急响应速度和运行效率^[3]。

3.3 智能化技术的应用与优化

智能化技术在防洪排涝工程中的应用,显著提升了系统的管理与响应能力。通过物联网(IoT)技术,系统能实时监控水位、流量、降水量等数据,自动调节排水策略,优化防洪效果。在施工阶段,智能设备如无人机和自动化机械,提高了施工效率与精度。施工后,智能监控系统可实时检测设施状态,提前预警可能故障,确保系统长期稳定运行。此外,人工智能(AI)与大数据的结合,进一步增强了排涝系统的决策支持能力,能预判极端天气下的水流变化并做好应急准备。智能化技术的优化,使防洪排涝系统能够高效、精确地应对复杂水文环境,有效保障区域安全。

4 智能化排涝技术对提升防洪效果的作用

智能化排涝技术在防洪工程中扮演着越来越重要的角色。通过应用先进的监测与调节技术,能够显著提高排涝系统的响应速度和防洪效能。

4.1 智能化排涝系统的工作原理

智能化排涝系统基于物联网(IoT)、大数据、传感器和自动化控制技术,实现对水位、流量、降水量等重要数据的实时监测与分析。通过部署在不同位置的传感器,系统可以采集全区水文信息,形成数据模型,并将实时数据传输至中央控制平台。平台利用大数据分析技术对数据进行处理,快速识别潜在风险,并根据实际情况自动调整排水策略。例如,当降水量大于预设阈值时,系统会自动启动排涝设备,并增加排水流量,防止积水泛滥。这种自动调节和快速响应能力,显著提升了防洪排涝系统在紧急情况下的工作效率^[4]。

4.2 提高防洪排涝效率与精准度

智能化排涝技术的应用,使得排涝工作不再依赖人工判断或固定流程,而是基于实时数据做出动态决策,极大提高了排涝效率和精准度。传统的排水系统通常按照固定时间表进行工作,无法灵活应对突发的降雨情况。智能排涝系统则可以根据实时监测到的水位、降雨量等数据,自动调整排水量和排水时段,避免系统过度排水或排水不足。此外,智能化技术还能够通过精准预测来防止水位过高或系统过载,降低了洪水灾害发生的风险。这种智能调节功能使得防洪效果更加可靠,能够更好地应对极端天气事件,减少人为干预的误差,确保排涝工作的高效性。

4.3 智能化监控与预警系统的作用

智能化监控与预警系统是智能化排涝技术的核心组成部分,能够在暴雨或洪水发生前预警,并采取相应的应急措施。当系统检测到某一地区的水位接近警戒线时,自动发出警报,提醒相关部门迅速采取措施,如启动应急排水设施、分配应急资源等。智能监控系统通过全天候监测水位和气象数据,可以在灾害发生前进行预判,提前调整排水策略,为应急处理提供数据支持和决策依据。此外,系统还可以通过预测分析,预估洪水可能的扩展区域和水流变化,帮助相关部门做好预案,并安排人员、设备进行针对性部署。通过集成这些先进的技术,智能化排涝系统有效增强了防洪系统的应急响应能力和防灾减灾效能。

5 防洪排涝设施的维护管理与长期稳定性保障

防洪排涝设施的有效维护与管理对确保其长期稳定性至关重要。通过科学的管理和定期维护,可以延长设施使用寿命,并确保其在极端天气下的可靠性。

5.1 定期检查与故障预防

防洪排涝设施的维护首先要依靠定期检查和早期故障预防。通过系统化的检测,及时发现设备和设施的潜在问题。常见的检查项目包括坝体的稳定性、排水管网的畅通性、泵站的运行状态等。通过采用智能监控系统,能够实时监测各项设施的运行状态,自动发出预警,及时提醒维护人员处理潜在故障。在堤坝、闸门等结构的检查中,尤其需要重视防渗漏和抗冲刷能力。定期进行结构性检修,避免在极端天气下出现不必要的风险。此外,对排水管道进行清理,防止因沉积物积累导致管道堵塞,也能有效防止排涝系统在关键时刻失效。

5.2 维修与更新策略

防洪排涝设施的维修不仅仅是对设施的简单修复,更需要根据实际使用情况进行适时的更新换代。对于老化或损坏的设备,如排水泵、阀门等,应根据设施的年限和使用状况进行及时更换。特别是在遭遇较大洪水事件后,需进行全面检查并确定是否需要更换部分设备,防止因设备

故障导致设施效能下降。同时,随着科技的发展,许多新的防洪排涝技术和设备的出现使得现有设施的更新换代成为提升系统效率的重要手段。例如,智能化排涝设备、高效能泵站以及绿色排水设施的引入,能有效提升排涝效率,增强系统的适应性。因此,制定合理的设备更新与维修策略,结合新技术的应用,是保障防洪排涝设施长期稳定性的必要手段。

5.3 应急响应与长期监控

防洪排涝设施的长期稳定性还依赖于完善的应急响应机制和持续的监控系统。应急响应机制包括在发生突发性洪水或极端天气时,迅速启动预设的应急措施。这些应急措施不仅涉及对设施的加固,还包括提前部署救援资源、组织人员疏散等环节。为了确保应急响应的高效性,建议定期开展应急演练,确保各级管理人员和操作人员熟悉应急操作流程,能在关键时刻迅速反应。智能化监控系统的持续应用,能够实时监测水位、降水量、排水情况等关键数据,提前预测可能出现的问题,并为操作人员提供精确的决策依据^[5]。这种数据驱动的管理方式,不仅能提高排涝效率,还能有效减少人为操作失误,确保设施长期稳定运行。

6 结束语

智能化排涝技术的应用,结合科学的规划设计、先进的施工技术及有效的设施维护管理,极大提升了防洪排涝系统的效率与可靠性。通过实时监测与动态调节,能够迅速应对突发的降水和洪水风险,保障区域安全。同时,随着新技术的不断发展,防洪排涝设施将更加智能化和绿色化,从而实现可持续发展。长期有效的维护管理和更新策略,是保障设施长期稳定性和应急响应能力的关键。综合多种技术手段的融合,将为未来的防洪排涝工程提供更为坚实的保障。

[参考文献]

- [1] 韩加全. 浅谈水利工程河道防洪现状及治理措施[J]. 农业科技与信息, 2021(14): 11-12.
 - [2] 朱旭升. 农村水利工程河道防洪现状及治理措施探究[J]. 农家参谋, 2022(20): 135-137.
 - [3] 吴建波, 康明军, 陶迺. 创新走出“水利+”——定海“五山水利”工程打造防洪排涝样板[N]. 舟山日报, 2022-09-21(03).
 - [4] 陈慧珍. 水利工程河道整治与防洪排涝技术的应用[J]. 农业灾害研究, 2024, 14(4): 254-256.
 - [5] 孙树梅. 基础设施公共化背景下的水利工程建筑设计实践与研究——以嘉善绿谷片防洪排涝口门控制工程为例[J]. 中国市政工程, 2024(3): 16-19.
- 作者简介: 许楼(1989.9—), 男, 安徽淮北人, 就职安徽安冉水利工程有限公司, 从事水利工程工程项目施工, 技术负责人、项目负责人等工作。

分布式光伏规模化并网运行技术探析

毛瑞旭 谷 裕

沈阳电力勘测设计院有限责任公司, 辽宁 沈阳 110000

[摘要]能源结构低碳化转型驱动电力系统向分布式、智能化方向演进,分布式光伏规模化并网已成为新型电力系统建设的核心议题。随着光伏组件效率突破 23.5%与技术成本持续下降,分布式电源渗透率呈现指数级增长态势,传统电网运行范式面临根本性挑战。高比例可再生能源接入引发的多物理场耦合效应,在电能质量、系统稳定、市场机制等维度形成复杂技术瓶颈。现有研究多聚焦单一技术环节优化,缺乏对设备-控制-市场协同作用机理的系统性解构。文中突破传统技术经济分析框架,从动态演化视角揭示规模化并网引发的电网生态重构规律,构建融合电力电子技术、人工智能算法与市场机制设计的综合治理体系。研究重点涵盖多源协调控制策略、标准体系演进路径及系统韧性提升方法,为破解高渗透率场景下的源网矛盾提供理论支撑与实践指引。

[关键词]分布式光伏; 规模化并网; 电能质量; 光储协同; 电力市场

DOI: 10.33142/hst.v8i5.16504

中图分类号: TM46

文献标识码: A

Exploration on Distributed Photovoltaic Scale Grid connected Operation Technology

MAO Ruixu, GU Yu

Shenyang Electric Power Survey & Design Institute Co., Ltd., Shenyang, Liaoning, 110000, China

Abstract: The low-carbon transformation of energy structure drives the evolution of power systems towards distributed and intelligent directions, and the large-scale grid connection of distributed photovoltaics has become a core issue in the construction of new power systems. With the efficiency of photovoltaic modules breaking through 23.5% and the continuous decline in technology costs, the penetration rate of distributed power generation is showing an exponential growth trend, and the traditional power grid operation paradigm is facing fundamental challenges. The multi physics coupling effect caused by the high proportion of renewable energy access has formed complex technological bottlenecks in dimensions such as power quality, system stability, and market mechanisms. Existing research mostly focuses on optimizing a single technical link, lacking a systematic deconstruction of the mechanism of equipment control market synergy. The article breaks through the traditional technical and economic analysis framework, revealing the ecological reconstruction law of the power grid caused by large-scale grid connection from a dynamic evolution perspective, and constructing a comprehensive governance system that integrates power electronics technology, artificial intelligence algorithms, and market mechanism design. The research focuses on multi-source coordinated control strategies, standard system evolution paths, and methods to enhance system resilience, providing theoretical support and practical guidance for resolving source network conflicts in high penetration scenarios.

Keywords: distributed photovoltaics; large scale grid connection; power quality; light storage synergy; electricity market

引言

全球能源互联网发展推动电力供给模式从集中式向分布式转型,光伏发电凭借模块化特性成为能源革命的关键载体。配电网逐渐从单纯电能输送网络转变为多向能量交互平台,其物理形态与运行逻辑发生本质改变。光伏逆变器集群并网引发谐波谐振、电压越限等电能质量问题,功率波动性与电网刚性调节能力的矛盾加剧系统失稳风险。政策层面,各国加速修订并网标准与市场规则,但技术规范迭代速度滞后于光伏装机增长需求。国际电工委员会近三年发布的 6 项相关标准中,仅 2 项涉及高渗透率场景特殊要求。技术经济协同优化成为破题关键,需建立涵盖设备参数、控制策略、市场机制的全维度解决方案。

1 分布式光伏规模化并网概述

1.1 分布式储能技术概述

分布式储能技术是一种将多个独立的储能单元部署在电网的不同位置,通过协同控制,实现高效电能管理与调度的技术体系。其核心组成包括储能单元、功率变换系统和能量管理系统。在应对光伏电站输出的随机性和间歇性方面,分布式储能展现出卓越的灵活性,能够实时调节功率,有效平滑输出波动,显著提升电网运行的稳定性与可靠性。此外,分布式储能系统具备快速响应和双向功率流调节能力,适应并网和离网等多种运行模式。通过通信技术与控制策略的协同应用,多个分布式储能单元能够实现分布式自治控制和全局协调调度,从而实现系统级能量优化,提高光伏电站的整体性能和经济性。

1.2 分布式光伏发电的技术背景与发展意义

分布式光伏发电技术通过将光伏组件分散部署在用户侧或配电网侧,实现了能源生产与消费的地理协同。其技术内核包含模块化设计、即插即用接口和智能控制单元,使得系统具备快速部署和灵活扩展能力。在能源转型背景下,该技术有效缓解了传统集中式发电存在的输电损耗高、土地资源占用大等问题,同时契合新型电力系统对源荷互动能力的要求^[1]。国际能源政策趋向于强化分布式能源在电网规划中的法定地位,推动其从补充能源向主力能源转变。随着电力电子器件耐压等级提升和拓扑结构优化,分布式光伏系统已突破早期小容量、低压接入的技术限制,逐步形成覆盖工商业、居民及公共设施的全场景应用生态,为构建低碳弹性电网奠定物理基础。

1.3 规模化并网的核心特征与技术要求

规模化并网区别于传统分布式接入的本质特征,在于其引发的电网运行范式变革。系统呈现多时空尺度耦合特性:空间维度上,高密度接入导致配电网潮流方向从单向辐射转变为多向环流;时间维度上,光伏出力与负荷需求的异步波动要求电网具备分钟级调节能力。技术规范体系需同步演进,重点强化逆变器的动态无功支撑能力、快速频率响应特性以及宽电压范围适应能力。并网标准对电压暂降穿越、谐波谐振抑制等关键性能提出量化约束,要求设备在电网异常工况下维持至少 10 个周波以上的持续供电能力。系统层面需建立源网协同规划机制,通过动态容量评估模型精确量化各节点渗透率上限,确保电网安全运行边界不被突破。

2 并网技术挑战与关键设备

2.1 电能质量问题及影响

分布式光伏规模化接入引发配电网电能质量多维劣化效应。谐波畸变源于电力电子器件的非线性开关特性,多逆变器并联运行时特定次谐波分量产生叠加共振,造成电流波形严重畸变。电压波动受光照强度瞬变影响,表现为日内电压偏差超出传统配电网设计裕度,特别是在馈线末端可能引发保护装置误动作。三相不平衡问题在单相光伏系统占主导的接入场景中尤为突出,导致中性线电流超限和变压器附加损耗增大。这些质量问题具有时空关联特性,需建立基于阻抗网络分析的全局治理策略,而非传统单点补偿模式。

2.2 功率波动性与电网稳定性矛盾

光伏出力受气象因素影响呈现分钟级至小时级波动,与传统同步机组惯性响应特性形成根本冲突。当渗透率超过临界阈值时,系统等效惯性常数下降导致频率调节速率恶化,在云层快速移动场景下可能引发连锁脱网事故。电压稳定性方面,午间光伏大发时段大量无功倒送引发电压越限,而傍晚负荷爬坡期又需应对电压骤降风险^[2]。解决该矛盾需突破传统源随荷动控制范式,构建基于动态灵敏度分析的协同调节机制,实现有功-无功的时空解耦控制。

2.3 孤岛效应保护与调峰消纳瓶颈

非计划孤岛运行对设备安全和人员保护构成严重威胁,现有被动式检测方法在复杂电网拓扑中易出现失效。主动检测技术需平衡注入信号强度与电能质量的关系,发展基于阻抗特性辨识的自适应判据。调峰矛盾体现为光伏出力曲线与负荷需求的相位差异,午间过剩功率导致反向潮流激增,而传统调节手段响应速度难以匹配光伏波动速率。破解该瓶颈需建立多时间尺度储能配置策略,并通过市场机制引导柔性负荷参与功率平衡。

2.4 关键设备技术优化

2.4.1 光伏逆变器智能控制

最大功率点跟踪算法向多峰搜索与抗扰动方向演进,采用改进型粒子群优化策略提升复杂光照条件下的跟踪精度。低电压穿越功能通过动态无功补偿算法重构,在电网故障期间自动切换控制模式,实现并网点电压的快速支撑。新型拓扑结构如三电平变换器和宽禁带器件应用,使逆变器效率曲线平坦化,拓宽高效运行区间。

2.4.2 储能系统协同配置与能量管理

储能配置需遵循时间解耦-空间匹配原则,依据光伏波动频谱特性选择适宜的技术组合。能量管理系统采用双层优化架构,上层基于场景预测制定充放电计划,下层通过模型预测控制实现实时功率校正。混合储能系统通过频域分解技术协调不同响应速度设备的动作时序,有效平抑多尺度功率波动。

3 并网运行控制与调度策略

3.1 主动配电网调度与多源协调控制

主动配电网调度体系需突破传统被动响应模式,构建基于动态边界条件的优化控制框架。通过分层控制架构实现分布式光伏、储能与柔性负荷的协同互动,其中本地控制器负责毫秒级功率平衡,区域协调器完成分钟级经济调度,主站系统实施小时级网络重构。多源协调的核心在于解决异质能源的异构性矛盾,采用改进型纳什议价模型量化各主体调节成本,建立功率-信息-价值三重耦合的交互机制。动态网络重构技术通过开关组合优化,可将光伏消纳率提升,同时降低线路损耗。边缘计算节点的部署使控制指令传输时延压缩至 20ms 以内,满足高渗透率场景的实时性需求。为应对多时间尺度耦合问题,需开发具有自适应能力的混合整数规划算法,将拓扑优化计算耗时降低至原有时长的 30%。分布式优化技术采用交替方向乘法,实现各节点控制策略的并行求解与全局收敛,迭代次数减少的同时保证收敛精度。

3.2 功率预测与通信安全保障机制

光伏功率预测精度受云层运动建模能力制约,新型预测框架融合卫星遥感数据与地面辐照监测网络,采用时空注意力机制提升短时预测分辨率。深度学习模型通过迁移学习策略适应不同气候区特性,使 15 分钟尺度预测误差稳定在 6% 以下^[3]。通信安全方面,需防范虚假数据注入攻

击对调度指令的篡改风险,量子密钥分发技术在配电自动化终端的试点应用,将密钥更新周期缩短至5分钟。时间敏感网络技术的引入,保障了控制指令传输的确定性和时延上限,时钟同步精度达到微秒级。针对预测模型的可解释性缺陷,开发基于Shapley值的特征贡献度量化方法,辨识影响预测精度的关键气象因子。安全防护体系采用零信任架构,通过动态行为分析识别异常访问请求,将网络攻击检测率提升至99.7%。

3.3 运维模式优化与故障诊断技术

传统计划检修模式难以适应光伏设备海量接入现状,需向状态检修+主动干预模式转型。基于数字孪生的运维平台通过多物理场耦合仿真,实现设备健康状态的动态评估与剩余寿命预测。故障诊断技术采用多源信息融合策略,结合逆变器运行日志、电气量波形与红外成像数据,构建深度残差网络分类模型,使故障识别准确率突破98%。预防性维护策略通过风险量化模型优化巡检路径,将设备可用率提升至99.9%以上。引入联邦学习框架解决数据孤岛问题,各电站本地模型参数加密上传至云端聚合,全局模型更新周期缩短至24小时。声纹识别技术在组件隐裂检测中的应用,实现非侵入式故障预警,异常声纹特征提取精度达95%。知识图谱技术构建故障因果链,支持跨设备故障的根因追溯,诊断效率提升。自适应阈值算法动态调整告警触发条件,误报率下降至0.3%以下。

4 经济性、政策与标准体系

4.1 规模化并网成本-收益模型与投融资模式

全生命周期成本分析需突破传统财务评估框架,构建包含技术退化成本的动态模型。光伏组件年衰减率引发的发电量损失需纳入贴现计算,使投资回收期预测误差控制在±6个月内。电网适应性改造成本呈现非线性增长特征,当渗透率超过20%时,线路扩容费用占比从15%陡增至35%。创新金融工具如波动率挂钩债券,可将光伏收益波动系数从0.32降至0.18。区块链技术的应用实现资产确权与收益分配的秒级清算,使分布式光伏资产流动性指数提升40%。

4.2 电力市场交易机制与政策补贴协同路径

分布式交易需破解物理网络约束与市场边界的矛盾,构建基于节点边际价格的分区定价机制。实时市场引入15分钟颗粒度的交易时段划分,匹配光伏出力波动特性。辅助服务市场中,光伏电站通过提供快速频率响应服务可获得0.08-0.12元/kWh的额外收益。政策协同的关键在于建立绿电消费认证体系,强制要求高耗能企业采购不低于15%的分布式光伏绿证。跨省区消纳机制通过输电权拍卖实现空间资源优化,将弃光率压制在3%以下。

4.3 国际并网标准对比与国内规范完善方向

对比分析揭示技术标准的地域适应性差异:北美体系侧重故障穿越能力,欧洲标准强调谐波兼容性。国内标准升级路径包括:建立光伏集群等值建模规范,统一仿真精

度误差带;制定光储系统并网测试规程,明确20项关键性能检测指标;完善网络安全准入标准,要求通信协议具备量子加密接口。标准实施需配套建设三级检测认证体系,实现设备入网前-中-后全周期质量管控。

4.4 电网准入监管与市场化机制设计

技术准入实施分级管理制度,按装机规模划分三类管控区:I类区(>10MW)强制配置动态无功补偿装置,II类区(1~10MW)要求具备双向功率控制功能,III类区(<1MW)设定谐波电流发射限值。容量管控采用基准值+浮动系数模式,基准渗透率设定为20%,根据电网强度系数动态调节±5%。市场化机制创新体现在三个方面:建立容量信用银行,允许光伏开发商交易消纳权配额;引入负电价触发机制,当反向功率超限时自动启动需求响应;设计金融输电权产品,对冲阻塞费用风险。

5 未来技术方向与系统重构

5.1 高渗透率电网韧性提升技术

高比例光伏接入将推动电网韧性评估范式从静态安全向动态生存能力转变。基于复杂网络理论的韧性量化模型需纳入天气相关性因子,构建气象-电力耦合的连锁故障模拟平台。动态重构技术通过多端口电力电子变压器实现拓扑灵活切换,使故障隔离时间缩短至150ms以内。弹性资源池概念突破传统备用容量配置模式,聚合分布式储能、可中断负荷等资源,形成无差别调用的快速响应机制。自愈控制系统引入联邦学习算法,在保障数据隐私前提下实现跨区域知识共享,使恢复策略生成效率提升。

5.2 数字孪生与人工智能融合应用

电力数字孪生体需实现物理实体与虚拟模型的毫秒级同步,通过多物理场建模技术还原光伏阵列的热-力-电耦合效应。人工智能算法在三个方面取得突破:基于时空图神经网络的功率预测模型将72小时预测误差压缩至8%以内;强化学习驱动的电压控制策略使调节动作频次降低35%;知识图谱技术构建设备故障因果推理链,实现根因诊断准确率超^[4]。边缘智能终端的轻量化部署方案,使计算资源占用减少60%的同时维持98%的决策精度。

5.3 光储充一体化集成技术

集成系统通过直流母线架构消除多级变换损耗,使整体能效提升至94%以上。能量路由技术突破传统变流器功能边界,实现光伏、储能、充电负荷的自主功率分配。动态容量共享机制允许储能单元按需切换工作模式,在削峰填谷与应急支撑间智能切换。热管理系统的相变材料应用,使功率模块温升降低12~15℃,延长设备寿命20%。标准接口协议的统一化设计,支持跨厂商设备即插即用,系统扩容时间缩短至2小时内。

5.4 新型电力系统中的角色演进

分布式光伏将从单纯电力供应者转变为系统服务提供者,承担调频、惯量支撑等辅助服务功能。虚拟电厂控

制层级延伸至台区维度,通过自主竞价算法参与多市场联合出清。产消者群体形成能量共享社区,基于区块链的点对点交易协议使本地消纳率提升至 85%以上。电网企业职能向平台运营方转型,重点建设跨域能量管理中枢与市场结算基础设施。技术标准体系引入弹性约束条款,允许在指定边界内开展创新技术试点应用。

6 结语

分布式光伏规模化并网既是技术革新课题,更是电力系统生态重构进程。本文揭示了高渗透率接入引发的多物理场耦合效应,创新提出设备-控制-市场三位一体解决方案框架。在技术维度,通过电力电子设备性能优化与人工智能调度算法融合,有效化解电能质量与系统稳定性矛盾;在机制层面,构建适应波动性电源的市场交易体系,实现经济性与安全性的帕累托改进。未来研究需重点关注物理信息系统的深度耦合、极端天气下的韧性增

强策略以及跨能源品种协同机制,为构建零碳电力系统提供持续技术支撑。

[参考文献]

- [1] 吴百合. 分布式光伏规模化并网运行技术探析[J]. 电力设备管理, 2025(4): 99-101.
 - [2] 李亮, 袁晶晶. 新能源光伏电站接入配电网技术分析[J]. 光源与照明, 2025(2): 124-126.
 - [3] 张传青. 分布式储能技术在光伏电站中的应用与优化研究[J]. 光源与照明, 2025(2): 142-144.
 - [4] 周慧. 电气自动化在光伏发电系统中的应用和关键技术分析[J]. 光源与照明, 2025(2): 167-169.
- 作者简介: 毛瑞旭 (1990.10—), 毕业院校: 东北电力大学, 所学专业: 电气工程及其自动化, 当前就职单位: 沈阳电力勘测设计院有限责任公司, 职务: 线路电气, 职称级别: 工程师。

我国沙漠地区光伏产业与生态治理分析

闻光辉

中国电建集团江西省水电工程局有限公司, 江西 南昌 330001

[摘要]我国沙漠地区有着丰富的光伏资源,这无疑让其成为光伏产业极为重要的发展区域。不过,该地区极端的气候条件、贫瘠的土地状况以及强劲的风沙情况,给光伏项目带来了不小的生态方面的挑战。大规模开展光伏设施的建设工作,极有可能对沙漠中的植被、土壤以及局地气候造成负面的影响。所以说,有必要采取行之有效的生态治理举措,从而促使光伏产业能够和生态环境达成协调发展的良好局面。

[关键词]沙漠地区;光伏产业;生态治理

DOI: 10.33142/hst.v8i5.16492

中图分类号: X322

文献标识码: A

Analysis of Photovoltaic Industry and Ecological Governance in Desert Areas of China

WEN Guanghui

PowerChina Jiangxi Hydropower Engineering Bureau Co., Ltd., Nanchang, Jiangxi, 330001, China

Abstract: Desert areas in China have abundant photovoltaic resources, which undoubtedly makes them an extremely important development area for the photovoltaic industry. However, the extreme climate conditions, barren land conditions, and strong sandstorms in the region have brought significant ecological challenges to photovoltaic projects. The large-scale construction of photovoltaic facilities is highly likely to have negative impacts on vegetation, soil, and local climate in the desert. Therefore, it is necessary to take effective ecological governance measures to promote the coordinated development of the photovoltaic industry and the ecological environment.

Keywords: desert areas; photovoltaic industry; ecological management

引言

全球能源转型不断推进,光伏产业作为清洁能源的重要构成部分,受到了诸多关注。我国沙漠地区有丰富的阳光资源,是光伏发电较为理想的区域。不过,沙漠生态环境比较脆弱,而光伏产业又在快速发展,这就出现了生态方面的矛盾。怎样在推动能源转型之时兼顾对沙漠生态的保护与修复,已然变成一个需要迫切去解决的问题。本文会探讨沙漠地区光伏产业当下的发展状况、存在的生态问题以及相应的治理办法,以此为可持续发展给予一定的参考。

1 我国沙漠地区概况与光伏产业发展现状

我国沙漠地区主要分布在西北干旱半干旱地带,像内蒙古西部、甘肃中西部、宁夏北部、青海北部、新疆大部以及陕西北部等地,总面积超过了70万平方公里,占全国陆地面积的七分之一。这些地区日照时间长,太阳辐射强度大,是全球公认的太阳能开发“黄金地带”。塔克拉玛干沙漠、库布其沙漠、腾格里沙漠等沙漠的年均光照时长都超过了3000小时,总辐射量普遍超过6000兆焦/平方米,为大规模光伏发电提供了理想的条件。随着“碳达峰、碳中和”战略不断向前推进,沙漠地区已然成为我国清洁能源发展极为关键的核心区域。自“西部大开发”以及“沙戈荒”光伏基地建设相关政策开始实施起,便有不少超大型光伏项目相继在新疆哈密、青海格尔木、甘肃酒

泉等地成功落地生根,进而逐步形成了以这些地区作为核心的光伏产业集群。这些项目一方面有力地推动了光伏装机容量不断增加,另一方面也极大地带动了当地基础设施建设以及经济的发展进程。

不过,沙漠地区光伏产业在拓展进程中同样面临着诸多挑战,像是土地利用和生态保护之间存在矛盾、资源调度以及并网消纳方面存在难题,还有就是极端环境会给设备稳定性带来影响等等这类问题。所以,要推动光伏产业与生态保护实现协调的发展态势,就需要在产业布局、技术创新以及治理机制等多个层面持续不断地加以优化,朝着生态友好型、系统集成型以及智能协同型这样的发展方向去努力迈进。

2 沙漠地区光伏产业发展的生态问题分析

2.1 生态环境对光伏产业的影响

沙漠地区特有的生态环境,在给光伏产业带来丰富日照资源之际,也对其可持续运转带来了颇为严苛的考验。其一,该区域强风肆虐,风沙时常出现,且昼夜温差极大,如此这般,便会促使光伏组件表面尘土快速积聚起来,进而大幅削减光电转换效率,最终对整体发电效能以及经济效益产生不利影响。相关研究说明,倘若不按时加以清洁,积尘情况能够致使组件效率降低百分之十,甚至比这还要多。其二,沙漠地带水资源极为稀缺,这无疑加大了清洗

维护工作的难度,对光伏电站的长期运营管理形成了限制。沙漠地区的地形地貌呈现出以流动性沙丘作为主要特点的状况,其地表结构较为松散,稳定性也较差,这无疑给光伏基础设施的建设工作以及稳固运行状态带来了诸多挑战。在某些特定的区域当中,季节性的沙尘暴极易引发诸如支架发生倾覆、线路出现破损等一系列问题,进而使得设施维护以及运维方面的成本得以增加。与此沙漠地表的反照率是比较高的,在高温且光照强度较强的情况下,容易产生局部组件出现热斑效应的现象,如此一来便会使设备老化的速度加快,导致使用寿命相应地缩短。沙漠地区的生物多样性相对来说是比较低的,不过其生态系统显得格外脆弱。倘若工程扰动的程度过大的话,要是没有合理的规划以及相应的生态保护举措,那么就很容易使得原有的微生态格局出现失衡的情况,进而诱发土地退化这一状况,同时还会让沙化的程度变得更加严重等一系列的次生生态风险。所以说,要切实深入地去理解生态环境给光伏产业所带来的影响,这不但是实现该产业绿色发展的一个必要前提,而且还是推动构建“光伏 + 生态”这种协同治理模式的重要关键所在。

2.2 光伏产业对生态环境的反作用

光伏产业于沙漠地区迅速发展,虽说有清洁能源的优势,然而其给生态环境带来的负面影响可不能忽视。大规模的光伏项目在建设的时候,常常会开展土地平整、道路修建以及基础桩设置等相关工程活动,如此一来就很容易对原始的地表结构造成破坏,让土壤表层受到扰动,进而改变微地形的格局,使得地表风蚀情况加重,水土流失问题也愈发严重。特别是在生态本就脆弱的沙地系统当中,这类人为干预极有可能引发局地出现沙化反弹以及土地退化的风险。光伏板在铺设的时候,多多少少会改变区域的能量交换状况以及地表的辐射特性。当组件把阳光给遮挡住了以后,局地的温度、湿度还有风速都会出现变化,进而形成所谓的“光伏热岛效应”。这一效应会对原本就存在的植物生长微环境造成干扰,尤其在板下的区域,由于光照不够充足,并且水分也发生了重新分布的情况,所以很容易使得地表的植被出现退化乃至彻底消失的现象,最终对土壤的固结情况以及生态系统的稳定性都产生影响。部分光伏建设时,生态治理和施工没同步,生态补偿机制也滞后,这加剧了生境连通性被割裂的程度,给原有野生动植物种群的栖息造成了障碍。有些项目在板间区域没有做好绿化,就容易变成“黑地面”结构,使得生态修复成本不断升高。所以,光伏产业得高度关注它可能给生态系统带来的连锁负效应,加强全过程生态评估以及绿色设计理念,达成从能源开发到生态共生的转型。

2.3 光伏设施运行对局地小气候的影响

光伏设施于沙漠地区开展运行活动,其产生的影响是多方面的。它促使能源结构发生了改变;在物理层面,它

还给局地小气候带来了颇为显著的影响。具体而言,大面积的光伏组件在铺设之后,地表的能量吸收以及反射模式都出现了变化。光伏板在吸收太阳辐射并将其转化为电能的过程中,会有一部分能量以热量的形式释放出来,如此一来,便使得组件周边的温度有所升高,进而形成了类似于城市热岛那样的“光伏热岛效应”。这种现象在白天的时候表现得尤为突出,局地的地表温度能够比未进行建设的区域高出 2℃ 以上,并且还会进一步对空气对流的强度以及热力环流的结构产生改变作用。光伏板对阳光进行遮挡,使得其下方以及邻近区域的光照强度出现明显下滑的情况,进而使得地表蒸发速率以及土壤温度都降低了,最终对局部的水热条件产生了影响。虽说这一变化能够在某种程度上对蒸发所造成的水分损失起到一定的抑制作用,对于土壤水分的积累是有利的,然而与此它也有可能让植物的光合作用效率变弱,对自然植被的恢复形成限制,在降水较少的沙漠生态系统当中,这种影响表现得更为显著。光伏设施给风速以及风向带来的干扰,使得地表风场结构发生了改变。其组件阵列对于近地层气流有削弱的作用,这一作用让风蚀的过程变得缓慢起来,对于抑制沙尘再次悬浮以及移动是有帮助的,然而与此它也有可能对种子传播还有气溶胶交换这类生态过程产生影响。局部小气候结构出现了变化,虽说不一定能造成宏观气候方面的异变,可是对于生态系统所具有的稳定性以及它的重建路径而言,却有着颇为深远的影响。所以说,在沙漠光伏开展开发工作的过程当中,应当着重关注设施针对局地小气候所起到的调控作用,要科学且严谨地去评估其生态适应性的边界所在,以此来为达成能源开发跟生态保护二者协同发展的目标给予相应的理论依据。

3 沙漠地区光伏生态治理措施与模式

3.1 光伏项目沙地整地与地貌稳定技术

在沙漠地区开展光伏项目相关建设工作时,沙地地貌所具有的不稳定性无疑是一项极为关键的挑战因素,所以具备科学性的整地以及能够实现地貌稳定的各项技术,便成了确保该工程可以持续向前推进的重要前提条件。沙地整地一方面要契合光伏组件布设时对于工程平整度方面的要求,另一方面还得充分顾及对原有地形结构加以保护的需求以及维持微生态格局的需要,防止因大面积的扰动而引发次生沙化方面的风险情况出现。在实际的操作实践当中,往往会遵循“微扰动”的原则来开展相关工作,借助定向清障、采用低强度的压实方式以及保留局部的高差等手段,从而在保持地形整体基本完整无缺的状态下达成满足设备安装所需条件的目的^[1]。为了提升地貌的稳定性,工程往往会辅助运用防风固沙方面的技术,进而构建起“工程 + 生态”这样的复合支撑体系。比如说,在开展基础施工的区域预先铺设能够被生物降解的网或者纤维毡,如此一来便能有效地对沙粒的流动起到抑制作用;与

此还会配合着去撒播那些适宜在当地生长的草本植物种子,借助自然气候条件来推动板间生态得以恢复。就高频风沙通道而言,还能够采用格栅结构、对地表进行糙面处理等办法来提高风蚀阈值,以此减缓沙丘迁移的速度,让地貌的抵抗力得以增强。像遥感测绘以及数字地形建模这类新兴技术手段在实际应用当中,能够让施工之前针对地貌展开的分析变得更加精确了。如此一来,便更有助于依据实际地理情况去制定有关整地还有保持稳定的方案。把工程技术同生态理念加以整合,进而构建起能够契合沙漠地质特性的那种低扰动整地体系。如此既能保障光伏设施可以长时间安全地运转下去,同时也给后续开展生态修复工作创造出了较为有利的条件,从而切实达成资源开发和生态保护之间的协同平衡状态。

3.2 外围锁边林带建设与风沙防护

在沙漠地区开展光伏开发工作的时候,外围锁边林带的构建在其中占据着极为重要的地位。它不但是生态防护方面极为关键的一个环节,而且还是能够保障光伏系统可以长期且稳定地运行的一道重要屏障。要知道,沙漠地区的风蚀情况是比较强烈的,并且流动沙丘的活动也十分频繁。要是没有有效的阻隔措施,那么风沙就很容易对光伏的基础结构造成侵蚀,甚至还会将其给覆盖住,进而使得设备的效率出现下降的情况,同时维护成本也会随之增加。而锁边林带作为一道防线,它有着削弱风速、拦截移动沙源以及稳定边缘地貌等多种多样的生态功能。林带建设需依据当地实际情况来挑选树种,要选那些能抗旱、耐得住风蚀且根系比较发达的乡土树种,比如梭梭、红柳、沙拐枣这类,进而构建起乔木、灌木以及草本相互结合的种植模式,以此提升系统所拥有的生物多样性以及生态方面的稳定性^[2]。其具体布局方式能够采用“带状加上网状”的形式,在项目的边缘处打造出一个闭合的防护圈,并且还能够朝着外侧不断辐射开去,进而形成一个风沙减速的梯度,如此便能有效地减轻因风力突然发生变化而给项目边界所带来的侵蚀影响。锁边林带在建设的时候,要把土壤改良、水分保持以及滴灌这类水资源高效利用的技术一起协同推进起来,通过这样去做,能够提升植物的成活率,也能让其持续覆盖的能力得以提高。在某些地区,已经开始尝试把污水处理之后回用或者是利用光伏发电来供水,然后把这些和林带灌溉系统相互结合起来,进而形成一个生态跟能源联动的系统,以此来促使资源利用的效率得到

提升。

3.3 草方格固沙技术

草方格技术是利用废弃的麦草呈方格状铺在沙上,再用铁锹轧进沙中,留麦草的 $1/3$ 或 $1/2$ 自然竖立在四边,然后将方格中心的沙子拨向四周麦草根,使麦草牢牢地竖立在沙地上。随着技术的发展,研究发现聚乳酸纤维(poly-lactic acid) PLA、尼龙网等材料同样具有较好的防护效果^[3]。以往研究表明, $1\text{m}\times 1\text{m}$ 、 $1.5\text{m}\times 1.5\text{m}$ 、 $2\text{m}\times 2\text{m}$ 草方格防沙效果均显著,但考虑成本及防护效益 $1\text{m}\times 1\text{m}$ 草方格为最优尺寸,且出露高度在 $0.15\sim 0.20\text{m}$,间距为 $0.81\sim 1.08\text{m}$ 时,草方格能够适应流沙环境。因为在当地沙料和风速情况下,沙子被风吹起的移动的距离大约为 1m 。“草方格”高出地面 $10\sim 20\text{cm}$,把格内的沙料正好拦住,使其不能跳到另一个格内,起到固沙作用。植物种子被风吹动,在“草方格”的麦草桩边停留、扎根、生长,后来他们形成了新的活体材料“草方格”,替代了将在数年后自然消亡的干草“草方格”。

4 结语

沙漠地区光伏产业的发展面临着生态环境以及资源利用方面的双重挑战。借助科学的生态治理举措,比如沙地整地、锁边林带建设还有植物固沙等办法,能够切实有效地缓解光伏产业给生态环境所带来的负面作用,达成产业和生态的和谐共存状态。在往后的日子当中,伴随技术不断取得进展以及管理持续得到优化,光伏产业会在沙漠地区的可持续发展进程里起到极为关键的作用,并且会为绿色能源转型以及生态文明建设做出颇为重要的贡献。

【参考文献】

- [1] 尚小伟,武文一,卫建军,等.我国沙漠地区光伏产业与生态治理分析[J].绿色科技,2024,26(4):27-33.
 - [2] 常曼,张鹏.在“三地一区”风光基地开发中推广“新能源+生态治理”模式[J].水电与新能源,2024,38(10):44-46.
 - [3] 吴阿龙,邓友生,董晨辉,等.沙漠地区经济建设与生态治理研究[J].环境科学与管理,2024,49(3):168-173.
- 作者简介: 闻光辉(1977—),男,民族:汉,籍贯:江苏省扬州市江都区,现职称:工程师(机电),现职务:副总工程师,毕业院校及专业:1999年06月毕业于武汉水利电力大学,电力系统及其自动化专业,最高学历:本科,现主要从事的工作或研究的方向:清洁能源。

水电项目工程地质勘察中的地下水渗透与稳定性分析

肖文义

华东勘测设计院（福建）有限公司，福建 福州 350003

[摘要]随着水电作为一种可再生能源在全球范围内的广泛应用，地下水渗透问题在复杂地质条件下的水电项目中愈加显著。地下水流动受基岩的地质特性、地质构造以及地貌变化等多重因素的影响，进而对工程的安全性产生深远影响。针对这一挑战，固结灌浆、帷幕灌浆、化学灌浆与防渗墙等技术已被广泛应用，成为有效应对地下水渗透的主要手段。

[关键词]地质勘察；地下水；渗透；稳定性

DOI: 10.33142/hst.v8i5.16516

中图分类号: P64

文献标识码: A

Analysis of Groundwater Infiltration and Stability in Geological Survey of Hydropower Projects

XIAO Wenyi

HUADONG ENGINEERING (FUJIAN) CORPORATION LIMITED, Fuzhou, Fujian, 350003, China

Abstract: With the widespread application of hydropower as a renewable energy source worldwide, the problem of groundwater infiltration has become increasingly prominent in hydropower projects under complex geological conditions. The flow of groundwater is influenced by multiple factors such as the geological characteristics, geological structures, and changes in topography of the bedrock, which in turn have a profound impact on the safety of the project. In response to this challenge, technologies such as consolidation grouting, curtain grouting, chemical grouting, and anti-seepage walls have been widely applied and become the main means of effectively addressing groundwater infiltration.

Keywords: geological exploration; groundwater; infiltration; stability

引言

在水电项目的建设过程中，地下水渗透可能对坝基、洞室及库岸的稳定性带来潜在风险，从而引发渗漏或围岩不稳等问题。控制渗透并采取有效的防护措施，是保障工程安全的核心。对于项目的顺利进行，深入研究地下水渗透的影响因素及相应的控制技术至关重要。

1 基岩地下水渗透影响因素分析

1.1 地层岩性对基岩地下水渗透的影响

地层岩性对基岩地下水渗透的影响，主要体现在岩石的孔隙度、渗透性以及岩石本身的物理特性上。岩性差异直接决定了地下水的渗透路径与流动特性。例如，砾岩、砂岩等具有较高透水性的岩石，使地下水流动加快，而花岗岩、片麻岩等致密岩石则表现出较低的渗透性。岩层的孔隙度与渗透性成正比关系，孔隙度越高渗透性越强，地下水的流动速度与流动范围也随之增加。砂岩等由颗粒物组成的岩石孔隙空间较大，因此水分通过这些空隙渗透的能力也更强。相比之下，黏土层、页岩等岩性由于较低的孔隙度，其细粒结构限制了水流的通道，表现出较差的渗透性。在基岩中，岩性差异可能导致地下水流动路径的不确定性，从而对坝基及其周围区域的渗漏问题产生影响。此外，岩石的化学性质与抗水性也对地下水渗透特性产生了重要影响。例如，含有黏土矿物的岩层，在吸水膨胀作用下，可能进一步阻碍水流的渗透。因此，岩性分析不仅为理解地下水渗透特性提供了重要途径，也为后续的防渗

处理与水流管理提供了基础数据。

1.2 地质构造对基岩地下水渗透的影响

地质构造对基岩地下水渗透的影响，主要通过裂隙、节理以及断层等结构特征体现，这些构造特征常常改变地下水的流动路径，进而对其渗透性产生重要影响。节理与裂隙是基岩中地下水流动的主要通道，水流通过这些空隙迅速流动，显著提高了渗透性。在层理或节理发育的区域，地下水沿着这些弱面流动，形成集中的水流路径。裂隙或节理的分布模式、密集程度及其相对方向，直接决定了地下水的流动速度与流动路径。断层对地下水渗透的影响同样不容忽视，作为地质构造中的显著特征，断层两侧岩层的位移通常会导致裂缝的形成，进一步促进水流的渗透。特别是活动断层，它们不仅为水流提供了通道，还可能通过断层泥或破碎带改变水流的渗透性影响流速。在某些情况下，断层带和裂隙带可能共同形成地下水集水区，成为水流汇聚的区域，进而对坝基及周围环境施加压力。地质构造对地下水渗透的影响复杂多样，在不同的地质环境中其作用也各不相同。在受强烈构造作用的区域，裂隙与断层对水流的影响尤为显著，水流容易通过这些通道泄漏，甚至加剧局部渗漏问题。因此，在勘察阶段，对地质构造的全面分析尤为重要，必须对构造特征进行深入研究，为后续工程设计与防护措施提供科学依据。

1.3 地貌特征对基岩地下水渗透的影响

地貌特征对基岩地下水渗透的影响，主要通过地形起

伏、坡度变化及河谷等自然因素体现。在高低起伏的地形中,地下水的流动方向和速度常常受地势变化的影响。在山区或丘陵地带,地下水通常沿坡面流动,岩层的破碎带或节理的存在促进了水流的渗透。当这些区域的岩层较松散或裂隙带发育时,地下水的渗透性显著增强,水流可能渗透至更深的地层,甚至形成较大的渗漏区。在河谷及低洼地区,由于积水情况的影响,地下水流动较慢易形成水流汇集带。特别是河流经过的地带,地下水的流动不仅受地形的控制,还受到河水渗透的影响。由于河床与两岸沉积层的差异,地下水常沿基岩与沉积层交界处渗透。水位较高时,水流量和渗透压力增大,从而进一步影响地下水的流动及渗透特性。地貌变化还与风化作用紧密相关,特别是在风化较为严重的区域,岩层表面松散,渗透性增加。在风化带与断裂带的交汇处,地下水的渗透速度与流动范围显著增大,可能导致坝基或隧道等结构区域的渗漏现象变得不均匀。通过分析地貌特征对地下水渗透的影响可以看出,地形的起伏、风化程度及水流积聚等因素不仅改变了水流的方向与速度,还可能在岩层的破碎程度、渗透路径及水压变化等方面产生深远影响。这些特征在水电项目的设计阶段至关重要,它们能有效预测地下水渗透的潜在风险,为后续防护措施的制定提供重要依据。

2 地下水对坝基与库岸稳定性的影响分析

2.1 地下水对坝基渗漏与稳定性的影响

地下水对坝基渗漏与稳定性的影响,主要通过地下水渗透过程作用于坝基的土层或岩层,可能导致坝基的沉降与变形,甚至对坝体结构的安全构成威胁。在水位较高或渗透压力较大的区域,地下水渗透加剧了坝基土层的洗淘现象。水流通过坝基时,可能引发土体的冲刷,局部土壤颗粒流失,从而降低坝基的整体稳定性。随着水流长期渗透,坝基土体的强度逐渐下降,最终可能出现局部沉降或裂缝。渗透压的变化同样对坝基结构产生影响,当坝体两侧存在较大的水位差时,水流从高水位一侧渗透至低水位一侧,渗透压的作用力将对坝基产生压力,进而增加坝体材料的应力。这种不均匀的渗透现象可能引发坝基的沉降不均,甚至导致坝体出现裂缝或发生形变。地下水还可能通过裂隙、节理或断层等弱面渗漏至坝基内部,进一步加剧坝基的不稳定性。在存在节理、裂隙或断层的地质条件下,水流往往沿这些弱面进入地下,增加渗漏量。长时间的渗漏作用将改变坝基所在区域的水文地质环境,从而影响坝基土壤的力学性质,最终可能导致坝基整体失稳。地下水渗透及其带来的影响是多层次、多维度的,不仅可能引起坝基沉降与裂缝,还可能加剧坝体材料的水蚀作用,进而影响水电工程的长期安全运行。基于此,在坝基设计与施工阶段,必须深入分析地下水渗透的特性,采取有效的防渗技术与加固措施,以保障坝基的稳定性和工程的安全性。

2.2 地下水对库岸渗漏与稳定性的影响

地下水对库岸渗漏及稳定性的影响,主要通过其渗透作用改变库岸土层或岩层的水文条件,从而深远地影响库岸的稳定性。在水库蓄水期间,库岸附近的地下水位会受到水位波动的影响,尤其在高位区域,水流可能通过土层的裂缝、孔隙或疏松层渗透,进而形成渗漏通道。这些渗漏现象若未得到有效控制,水流会不断侵蚀库岸土体,导致土壤颗粒流失,最终可能引发局部塌陷或滑坡,严重威胁库岸的稳定性。渗透压的变化同样对库岸稳定性产生显著影响,当库岸两侧存在明显水位差时,地下水的渗透压作用可能导致库岸土体内部应力的集中,进而加剧库岸的潜在不稳定性。特别是在库岸区域存在断层或节理等地质弱面时,地下水易沿这些弱面渗透,从而加剧库岸的侵蚀并增加不稳定的风险。长期的地下水渗透作用会导致库岸土层强度的下降,尤其是在松散土层或风化岩层中,水流的持续作用可能会使土层的抗剪切能力减弱,从而降低库岸的抗滑能力。当库岸上方的土层强度下降时,滑坡、崩塌等地质灾害的发生风险也随之增加,直接影响水库的安全。因此,在水电项目的设计与施工阶段,库岸的水文地质特征应进行全面的勘察与分析,评估地下水对库岸稳定性的潜在影响。针对不同渗透特征和地质条件,宜合理配置防渗与加固措施,其中包括排水系统的优化设计以及加固灌浆等工程技术手段,以切实保障库岸的长期稳定运行。

2.3 地下水对洞室围岩稳定的影响

在地下洞室工程中,地下水的作用不容忽视,其渗流路径的分布、聚集过程的特征以及流动状态的演变,往往直接影响着围岩内部应力场的调整与岩体力学性质的演变。一旦水体沿裂隙、节理或断层构造渗入岩体,原有的地应力平衡便极有可能被打破,随之产生的附加水压力常常导致岩体结构的强度降低、整体稳定性受损。特别是在高地应力条件下,若岩体节理密集、结构松散,由渗流引发的润滑和软化效应便更易使围岩发生破碎、变形甚至局部失稳。不仅如此,围岩稳定性受到的影响也不局限于物理力学层面。当地下水中富含活性离子时,其与岩体之间所发生的化学反应常可引发矿物溶蚀、胶结物解体或结构性膨胀,致使岩体的微观结构发生破坏,从而显著改变其渗透性能与力学响应。尤其在含有膨胀性黏土矿物(如蒙脱石)的地层中,吸水后所产生的体积膨胀,极易造成围岩内部应力重新分布,进而引发剥离、滑移等不稳定现象,使支护系统的有效性大打折扣。更应被重视的是,地下水的变化并非即时显现,其响应往往滞后于地表环境的扰动。渗流路径的演变与水量分布的时空差异,常受到降雨、地形演变、水库运行等多重因素的复合作用,而这些外部变化所诱发的地下水波动,往往会通过渗流系统间接影响围岩的稳定状态。在此背景下,若不将地下水-岩体相互作用纳入系统性的设计思维与施工实践中,工程风险极可能

被低估。为应对上述复杂作用机制,应优先构建集实时监测、数据反馈与动态调控于一体的地下水管理体系。注浆止水、反压支护与科学布设的排水系统等工程技术手段,需因地制宜地加以集成与优化,以有效抑制渗流危害,提升洞室结构的长期稳定性与安全保障能力。

3 地下水渗透控制与防护技术的应用

3.1 固结灌浆技术的应用与效果分析

固结灌浆技术作为一种有效的地下水渗透控制方法,在水电项目的坝基、隧道及其他地下结构的渗漏防治中得到了广泛应用。基本原理是将特定的灌浆材料(如水泥浆、化学浆液等)注入地下层,填补土层或岩层中的裂隙、孔隙等空隙,从而降低渗透性并增强地基的稳定性。该技术的应用效果显著,尤其在存在裂隙、节理或空隙的岩土体中,灌浆材料填充这些空隙后,能够有效减少地下水的渗透路径,降低水流渗透性,从而防止水流进一步侵蚀坝基或围岩。此外,固结灌浆不仅能够增强地基的抗渗性能,还能提升其承载力,从而对提高工程结构的整体稳定性发挥重要作用^[1]。特别是在坝基或隧道等工程中,地下水的渗透容易导致地基不均匀沉降,而通过固结灌浆的处理,能够有效防止或减缓这一问题的发生。尽管固结灌浆技术具有显著优势,其应用也存在一定的局限性。岩土体的性质、裂隙的分布以及灌浆材料的选择等因素都会影响其效果。在岩层破碎、裂隙复杂或水流量较大的区域,灌浆效果可能受到一定制约。因此,在实际应用过程中,固结灌浆技术通常需要与其他防渗措施,如帷幕灌浆或防渗墙等,结合使用,从而确保工程防渗的全面效果。

3.2 帷幕灌浆技术的设计与实施

帷幕灌浆技术通过在地下土层或岩层中构建一个防水屏障,有效地控制地下水渗透。基本原理是通过钻孔将灌浆材料注入地下,形成一层连续的防水“帷幕”,从而截断地下水的流动路径,防止水流渗入工程结构。这项技术在水电项目中,尤其是在坝基、隧道等关键安全部位,发挥着至关重要的作用。在设计及实施帷幕灌浆时,需全面考虑地质条件、地下水流态及灌浆材料的选择等多方面因素。设计阶段,通常需要进行详细的地质勘察,明确岩土层的性质及裂隙分布,合理确定灌浆孔的布置、深度及间距,以确保防水效果的最大化。灌浆孔的安排必须覆盖整个受水影响区域,而孔距、孔深及注浆量等参数,应根据具体的地质条件进行优化,确保防水层的密实性。常用的材料如水泥浆和化学浆液,在选择时必须考虑其流动性、凝固时间及对周围土层或岩层的适应性。灌浆过程中的压力与流量也需要严格控制,以避免过高的压力破裂岩层或导致渗漏。此外,为确保灌浆效果达到预期目标,在实施过程中应定期进行监测,及时调整灌浆方案,防止漏灌或灌浆不均匀。帷幕灌浆技术的应用具有显著优势,它能够有效地阻断地下水流动,减轻水流对坝基或隧道的侵蚀,

从而提高结构的稳定性。特别是在复杂地质环境中,帷幕灌浆展现出较强的适应能力,尤其适用于裂隙和断层较为复杂的地质体,能够在这些区域形成有效的防水屏障。该技术的实施难度较大且施工成本较高,需要精准控制多个施工变量,以确保达到所需的质量标准。

3.3 化学灌浆技术的适用性与效果分析

化学灌浆技术通过将特定的化学浆液注入地下土层或岩层,借助化学反应在地下形成不透水屏障,从而有效控制地下水渗透。这项技术特别适用于复杂地质环境,如裂隙发育的土层或岩层,其渗透能力和适应性相比传统的水泥灌浆技术更强,能够应对不规则裂隙和微细孔隙。原理是将化学浆液高压注入地下,与水或土层反应形成凝胶,填充裂隙并阻止水流^[2]。常见的化学材料如聚氨酯、环氧树脂和丙烯酸类,它们具备优异的黏结性、抗渗透性和耐久性,能够在复杂地质环境中形成稳定的防水屏障^[3]。化学灌浆广泛应用于水电项目中的坝基、隧道等渗透严重或裂隙较多的区域,它能够有效减少水流渗透提升结构稳定性,尤其适合那些需要精确控制水流方向和流量的工程。由于其固化速度快,化学灌浆能够迅速形成防水层,从而缩短施工周期降低项目成本。化学灌浆在深层地下水或复杂地质环境中的效果仍然存在一定的局限性,其长期耐久性以及对环境的潜在影响也应受到关注。因此,确保技术应用的效果,选择合适的化学浆液和合理的施工方案显得尤为重要。

3.4 防渗墙的设计与施工关键技术

防渗墙是水利工程中一项关键的防渗措施,特别是在水电项目中,它能有效防止地下水渗透对坝基、库岸及隧道等重要结构的侵害。主要功能是在关键区域周围建立不透水屏障控制地下水渗漏,确保工程结构的稳定性与安全性。防渗墙的设计与施工需根据项目所在区域的地质特征及地下水状况来决定其类型和深度,常见的防渗墙形式包括钢板桩墙、混凝土墙以及土工膜墙等,而混凝土防渗墙因其较高的结构强度、优良的稳定性能及对复杂地质条件的适应能力,在实际应用中尤为普遍。在设计阶段,对地下水流动路径、渗透压力及土层渗透性所进行的细致分析,是保障防渗墙长期有效性与耐久性的前提。混凝土防渗墙通常通过连续墙施工技术建造,施工流程包括槽壁支护、导墙布设、成槽作业、钢筋笼吊装以及水下混凝土的浇筑等多个环节。为保证施工顺利推进,前期需完成基坑的规范化开挖与底部地基的清理和整平工作,确保地基承载层具备良好的施工条件。在墙体浇筑过程中,密实性与抗渗性能的控制被视为质量管理重点。为增强防水效果,常采用高强度混凝土同时掺入专用防渗外加剂,不仅要对混凝土拌合物的流动性能和凝结时间进行严格控制,还需确保其能够满足连续施工的技术要求,以便最终形成均匀致密、结构完整的防渗墙体。尤需关注的是墙体接口区域的

渗水隐患,作为薄弱环节部位极易因密封不严而产生渗漏问题。设计过程中必须充分考虑墙体与周边土体及毗邻结构之间的衔接状态,通过有效的密封工艺与结构强化手段,提升连接处的防水能力。只有在每一环节均严格执行质量标准的前提下,防渗结构的整体性能方可得到有效保障。施工期间,地下水的扰动因素难以避免,若未加以合理控制,将对混凝土成型质量造成显著影响。因此,在开工前应完成降排水系统的布设,通过水位的动态调控,有效降低渗水对施工过程的干扰。施工完成后,还需开展系统性的渗漏检测与性能评估,以判定防渗墙是否达到既定密封要求,从而确保整个工程体系具备长期稳定的防渗能力。

4 结语

地下水渗透对水电项目的坝基、库岸以及洞室的稳定性产生了显著的影响。通过对地层岩性、地质构造及地貌特征的深入分析,为工程设计与施工提供了科学依据。固

结灌浆、帷幕灌浆、化学灌浆及防渗墙等技术在实际应用中已取得显著成效,成为控制地下水渗透的关键手段。地下水控制的复杂性促使了技术的不断创新与优化,以应对多变的地质条件和水文环境。结合现代技术与科学方法,水电项目在地下水渗透控制方面的精准度与效率有望进一步提升,从而为项目的安全与稳定运行提供更加坚实的保障。

【参考文献】

- [1] 孙云博,孙文植. 水利水电工程区域构造稳定性浅析[J]. 地下水,2022,44(6):195-196.
 - [2] 吴爱军. 水利水电工程地质勘测的主要方法探究[J]. 工程建设与设计,2022(8):72-74.
- 作者简介:肖文义(1985.5—),单位名称:华东勘测设计院(福建)有限公司,毕业学校和专业:华北水利水电学院,土木工程(岩土方向)。

径流预报集合模型的研究与应用

余 龙

华电四川发电有限公司宝珠寺水力发电厂, 四川 广元 628000

[摘要] 水电资源作为重要的清洁能源支撑, 面对严峻的能源态势, 水电基层管理单位精准预测水资源量及有效利用水资源势在必行。随着数字化电厂赋能, 水作为重要的原材料, 只有科学、快速、精准的水情预报, 才能为数字化电厂提供智慧调度的决策依据, 为防洪度汛和发电保供双重发力。目前水调中心水情预报方法较分散, 常以主观经验为主、多种模型辅助判断, 没有明确地适用于宝珠寺径流预报的模型和特定的方法。多种模型预测结论相差较大, 预测依据导向结论间时差较长, 且经验化预测不便于成果的固化和传承。本软件模型, 着力于结合历史径流资料, 优化多种可适用模型, 提炼多种算法, 开发出一套适用于宝珠寺径流预报的软件, 实时进行径流预报, 为电力市场提供可靠决策依据, 为宝珠寺提质增效贡献水调力量。

[关键词] 水情预报; 集合模型; 优化调度; 优化策略

DOI: 10.33142/hst.v8i5.16508

中图分类号: P338.2

文献标识码: A

Research and Application of Runoff Forecast Ensemble Model

YU Long

Baozhusi Hydropower Plant of Huadian Sichuan Power Generation Co., Ltd., Guangyuan, Sichuan, 628000, China

Abstract: As an important support for clean energy, hydropower resources face a severe energy situation. It is imperative for grassroots hydropower management units to accurately predict the amount of water resources and effectively utilize them. With the empowerment of digital power plants, water is an important raw material. Only scientific, fast, and accurate water situation forecasting can provide decision-making basis for intelligent scheduling of digital power plants, and contribute to both flood control and power generation. At present, the water level forecasting methods of the Water Resources Control Center are relatively scattered, often relying on subjective experience and multiple models to assist in judgment. There is no clear model or specific method applicable to the runoff forecasting of Baozhusi. The prediction conclusions of multiple models vary greatly, and the time difference between the guiding conclusions of prediction is long. Moreover, empirical prediction is not conducive to the solidification and inheritance of results. This software model focuses on combining historical runoff data, optimizing multiple applicable models, extracting multiple algorithms, and developing a set of software suitable for runoff forecasting in Baozhusi. Real time runoff forecasting provides reliable decision-making basis for the electricity market and contributes to the improvement and efficiency of water regulation in Baozhusi.

Keywords: water situation forecast; ensemble model; optimization scheduling; optimization strategy

1 设定径流预报集合模型目标

为提高预报准确率^[1,2], 缩短预报时间, 创新课题小组设定的目标是编制一款适宜于宝珠寺径流预报的软件, 本软件模型预计可实现自主取数、自主分析、预测出图、调度出图四项功能, 同时要符合运行稳定、预报准确、出图迅速的三大标准。为了课题达成目标, 课题组制定“六步走”行动方案, 通过, 捕捉近似、预报拟合、偏差纠正、模型优化、预报出图、调度出图, 逐步破解, 最后达成能快速为我厂预报调度^[3]提供及时性的决策性依据的终极目标。

2 径流预报集合模型实施步骤

2.1 捕捉近似

整理历史降雨径流资料并存入数据库, 结合当前流域径流情况, 捕捉历史相似年的数值系列及次近似数据系列, 从而找出历史上与当期径流系列相近的系列数值。

2.2 预报拟合

通过捕捉到的近似系列, 分析前几个月流量与当期流

量关系以及前几个月的降雨情况与当期降雨情况, 并设置阶梯式降雨径流系数, 进行预报拟合, 通过系列化预报拟合, 确定较优预报方式。

2.3 偏差纠正

前期拟合预报过程中平均预报精度比较可观, 但不排除特殊年份, 特别较枯或较丰时期, 预测难度会加大, 预测精度偏差较大, 因此需要重点分析, 确定关键要素, 在后期模型优化中作出调整。

2.4 模型优化

通过偏差分析找出前期土壤含水量、径流退水规律、当前径流流量级别, 预测^[4]降雨级别及分布等预报关键因素, 模型优化过程逐步调整关键性因素对应的参数比重, 逐步提升预报精度, 使预报精度达到预期目标。

2.5 预报出图

结合优化后的预报模型, 通过程序化设置编制预报软件, 内定好随变式参数, 输入预测期降雨预测量, 一键点

击,自动给出预报图(如图1所示),达成快速出图的目的,同时可在预报成果图上一键自动标注径流预报值。

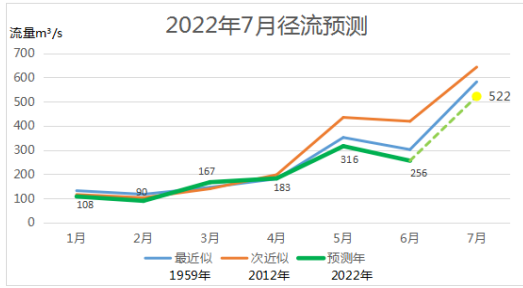


图1 预测出图

2.6 调度出图

通过设定预测期的调度边界条件,限定加大出力区、降低出力区、防洪调度区及旬初旬末水位等,结合优化后的预报模型预测出的径流值,一键可生成预测期的水库调度图(如图2所示),为调度决策提供参考性依据。

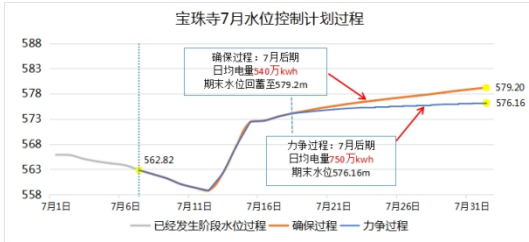


图2 调度出图

3 径流预报集合模型操作演示

3.1 进入软件

在电脑界面,打开“径流预报集合模型”文件,可见“径流预报集合模型预测预报平台”,平台设置有六个按钮,可实现各项功能。(如图3所示)

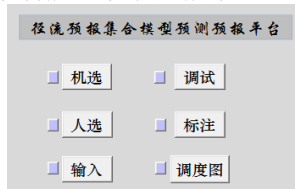


图3 软件模型平台界面

3.2 基本参数输入

在数据包中,已经保存有历史数据,新增数据通过“输入”按钮获取,点击“输入”按钮,会出现以下UserForm3窗口。(如图4所示)

图4 UserForm3 窗口

3.3 按钮及输入框说明

(1) UserForm3 窗口上有 4 个输入框。

“碧口上游”输入框中:可输入碧口上游预测月降雨量数值,单位为 mm;

“碧宝区间”输入框中:可输入碧宝区间预测月降雨量数值,单位为 mm;

“多年”输入框中:可输入宝珠寺库区预测月降雨量数值,单位为 mm;

“碧口调蓄量”输入框中:可输入碧口水库预测月可能异于常规的调蓄流量数值,单位为 m^3/s 。

(2) UserForm3 窗口上有 2 个命令按钮。

“预测”按钮:点击预测按钮,可进行径流预测,预测结果保存在数据包中;

“取消”按钮:点击取消按钮,UserForm3 窗口自动关闭,不进行其他相关操作。

3.4 运行调试

点击“调试”按钮,会出现以下 UserForm4 窗口。有起始结尾年份月份对应的输入框,可输入调试需求年月,点击窗口上的“确定”按钮,可以对时段内的历史数据进行预报拟合,预报结果保存在数据包中。当调整参数后,可再次进行调试,多次调试,直到达成理想效果。(如图5所示)

图5 UserForm4 窗口

3.5 预测模式

本软件中有三种模式的预测按钮,分别是“机选”“自选”“输入”。

(1)“机选”按钮。点击“机选”按钮,会出现以下 UserForm2 窗口。窗口上有两个命令按钮,分别是“选取 1948 至今数据”和“选取 1997 至今数据”。(如图6所示)

图6 UserForm2 窗口

其中,

点击“选取 1948 至今数据”，可自动获取 1948 年以来 75 年数据，并进行当月预测，预测结果保存至数据包，并以图形的形式展示在主屏上；

点击“选取 1997 至今数据”，可自动获取 1997 年以来 26 年数据，并进行当月预测，预测结果保存至数据包，并以图形的形式展示在主屏上。

(2)“人选”按钮。点击“人选”按钮，会出现以下 UserForm1 窗口。窗口上有 2 个输入框，3 个命令按钮，可通过自主输入相关年份，点击“确定”按钮，进行相关性预报。(如图 7 所示)

图 7 UserForm1 窗口

其中，

“首选年份”输入框中：可自主输入 1948 至 2022 的一个年份；

“次选年份”输入框中：可自主输入 1948 至 2022 的一个年份；

“查看后台”按钮：点击按钮，可进入有效数据页面，直观感受数据差异，并从中挑选出里想念年份，记录并输入到输入框中；

“确定”按钮：点击按钮，可针对首选年份和次选年份，进行当月预测，预测结果保存至数据包，并以图形的形式展示在主屏上；

“取消”按钮：点击按钮，UserForm1 窗口自动关闭，不进行其他相关操作。

(3)“输入”按钮。点击“输入”按钮，会出现以下 UserForm3 窗口。窗口上有 4 个输入框，2 个命令按钮，可通过自主输入相关数值，点击“预测”按钮，进行相关性预报。(如图 8 所示)

图 8 UserForm3 窗口

其中，

“碧口上游”输入框中：可输入碧口上游预测月降雨量数值，单位为 mm；

“碧宝区间”输入框中：可输入碧宝区间预测月降雨量数值，单位为 mm；

“多年”输入框中：可输入宝珠寺库区预测月降雨量数值，单位为 mm；

“碧口调蓄量”输入框中：可输入碧口水库预测月可能异于常规的调蓄流量数值，单位为 m^3/s ；

“预测”按钮：点击预测按钮，可进行径流预测，预测结果保存在数据包中，并以图形的形式展示在主屏上；

“取消”按钮：点击取消按钮，UserForm3 窗口自动关闭，不进行其他相关操作。

3.6 图形输出

在对应功能操作下，可展示预测结果及调度结果。

(1)在上述三种预测模式下，均可进行预测结果的存档和展示，图形展示结果如下图。(如图 9 所示)

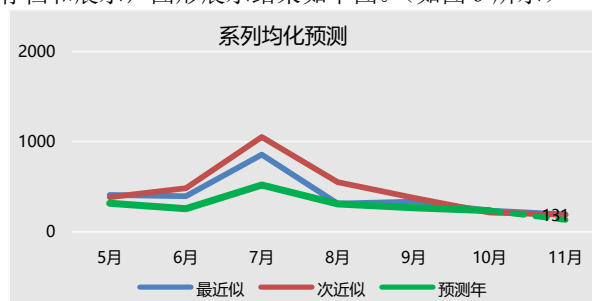


图 9 预测图示

(2)在设置边界条件后可展示调度成果，调度展示结果如下图。(如图 10 所示)

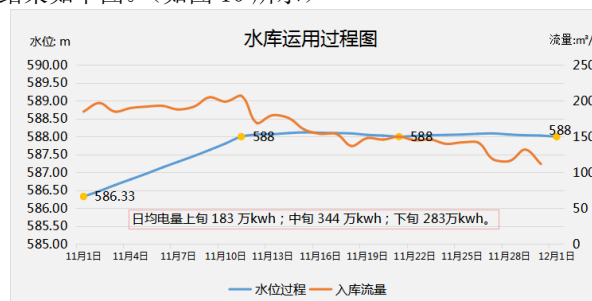


图 10 调度图示

4 径流预报集合模型效果评估

4.1 目标检查

通过对径流预报集合模型的实操检验，可以实现自主取数、自主分析、预测出图、调度出图，且符合三大检验标准。通过功效检验，预测精度从最初的 68.4% 提高到 82.3%，预测精度大幅提升。模型能快速识别关键数据，快速整合优化，能快速形成决策并进行图表展示。通过对软件模型的日常化运用，操作方便，运行顺畅，结构优化，视觉效果较好，可投入实际使用。

4.2 效益检查

质量方面，径流预报集合模型^[5]的使用极大地提升了预报效率，能快速为防洪度汛和经济运行提供决策性依据。

管理方面,径流预报集合模型的使用,极大程度整合了适宜于宝珠寺径流预报的方式方法,方便使用,也便于预报成果的固化和传承,提高水调中心整体预报水平和调度水平。效益方面,该模型应用于宝珠寺径流预报,预报拟合过程中预报精度从 68.4%提高到 82.3%,通过精准预测提前谋划,截止 2022 年 11 月 10 日宝珠寺电厂有序蓄满,提高运行水头 1.92 米,降低耗水率 0.08 立方米每千瓦时,增发电量 175 万千瓦时,创收 80 万元。

5 结语

为了使大家能快速掌握该模型的操作,编制了径流预报软件模型使用说明书,阐述了模型使用方法、原理等。按照版权保护要求,编写了软件著作权说明,提交全部程序代码,目前已经荣获国家软件著作权登记授权。通过模型可从大数据系列中一键识别近似年数据,可一键整合优化参数自动适配预测模型并给出预测结果,可根据预测结果及预设限制条件一键制作调度图,整体程序汇入模块化软件,方便使用和传承。创新点起源于工作,而后应用于工作,改进工

作、提高效率、发挥效益,周而复始源源不断,希望创新团队未来创造更多的作品,为企业贡献更多的团队力量。

【参考文献】

- [1]李力.复杂水力联系下梯级水库短期联合优化调度研究[D].武汉:华中科技大学,2023.
- [2]李燕,杨栋丹.神经网络算法在传统水文模型洪水预报中的应用[J].河南水利与南水北调,2024(8):78.
- [3]陈潇.三峡水电站短期精细化水量计算方法与调度建模研究[D].武汉:华中科技大学,2022.
- [4]赵泽谦,黄强,明波等.基于多模型随机组合的水文集合预报方法研究[J].水力发电学报,2021(2):23.
- [5]刘松楠.基于 WRF-Hydro 的季节水文动力预测研究[D].南京:南京信息工程大学,2023.

作者简介:余龙,男,1989.05,毕业院校:三峡大学水利与环境学院,所学专业:水文与水资源工程,当前就职单位:华电四川发电有限公司宝珠寺水力发电厂,职务:水务班副班长,职称级别:工程师。

电力安全设备在智能运维管理中的应用与优化

李家欢

石家庄全航电力科技有限公司, 河北 石家庄 050000

[摘要] 电力安全设备是保障电力系统运维安全的重要基础, 智能化运维和标准化管理对提升设备使用效率具有重要意义。文中分析了当前电力安全设备的应用现状, 探讨了标准化管理方法, 研究了电力安全设备在智能电网运维中的作用, 并提出了优化策略。结合实际案例, 展示了电力安全设备智能化管理的成效, 优化运维效率和技术服务质量等方面的应用效果, 并对未来发展方向进行展望。

[关键词] 电力安全设备; 智能运维; 标准化管理; 设备应用; 技术支持

DOI: 10.33142/hst.v8i5.16517

中图分类号: TM712

文献标识码: A

Application and Optimization of Power Safety Equipment in Intelligent Operation and Maintenance Management

LI Jiahuan

Shijiazhuang Quanhong Electric Power Technology Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: Power safety equipment is an important foundation for ensuring the safety of power system operation and maintenance. Intelligent operation and standardized management are of great significance for improving equipment efficiency. The article analyzes the current application status of power safety equipment, explores standardized management methods, studies the role of power safety equipment in smart grid operation and maintenance, and proposes optimization strategies. Based on practical cases, the effectiveness of intelligent management of power safety equipment, optimization of operation and maintenance efficiency, and application of technical service quality were demonstrated, and future development directions were discussed.

Keywords: power safety equipment; intelligent operation and maintenance; standardized management; equipment application; technical support

引言

电力安全设备在电网运维过程中起着至关重要的作用, 其性能和管理状况不仅影响运维人员的安全, 也直接关系到电网的稳定运行。然而, 传统的设备管理方式存在维护信息不透明、管理效率低等问题, 因此, 研究如何通过智能化手段优化电力安全设备的管理具有重要现实意义。本文将从电力安全设备的应用现状出发, 探讨智能化运维的优势, 提出优化策略, 并结合实际案例进行分析, 最后对未来发展方向进行展望。

1 电力安全设备的应用现状

1.1 传统设备管理的不足

目前, 电力安全设备的管理大多依赖人工记录, 这种方式存在诸多问题。维护信息滞后是一个突出的问题。人工记录难以实时更新设备状态, 导致设备维护信息的时效性差。例如, 设备在运行过程中可能出现突发故障, 而人工记录无法及时反映这些变化, 使得维护人员无法第一时间掌握设备的真实状况, 从而延误维修时机, 增加了设备损坏的风险。设备使用记录不清晰也是一个常见问题。纸质记录容易丢失、损坏, 且难以查询历史数据。在实际运维中, 纸质记录的保存条件有限, 一旦遇到潮湿、火灾等环境因素, 记录可能会损坏甚至丢失。即使记录得以保存,

查找特定设备的历史数据也是一项繁琐的工作, 需要耗费大量时间和人力。缺乏有效的追溯机制也是一个严重问题。一旦设备出现问题, 难以快速定位原因和责任^[1]。在复杂的电力系统中, 设备故障可能涉及多个环节和多个责任人, 没有有效的追溯机制, 很难准确找到问题的根源, 这不仅影响设备的修复效率, 还可能引发更多的安全隐患。这些问题严重影响了设备使用的安全性和规范性, 增加了运维成本和安全风险, 迫切需要通过智能化手段进行优化和改进。

1.2 智能化管理的发展趋势

随着信息技术的快速发展, 电力安全设备的智能管理逐渐成为趋势。主要体现在以下几个方面:

物联网技术: 通过在设备上安装传感器, 设备的运行参数可以实时传输到监控中心, 运维人员可以在办公室或移动设备上随时查看设备状态, 及时发现异常并采取措施。这种实时监控功能大大提高了设备管理的灵活性和响应速度。

大数据分析技术: 通过对大量历史数据的分析, 系统可以识别设备运行的潜在问题, 并提前预警, 帮助运维人员制定合理的维护计划, 减少设备停机时间, 提高设备的可靠性和使用寿命。

人工智能技术: 利用机器学习和深度学习算法, 系统

能够自动分析设备运行数据,识别潜在故障模式,提前发出预警,从而显著提高设备的可靠性和运行效率。

2 电力安全设备智能化运维的优势

2.1 数据驱动的管理

通过大数据分析和人工智能技术,可以实现设备信息的高效管理和精准监测。具体优势包括:

信息集成:系统通过数据采集和分析,能够将设备型号、安装时间、维护记录等数据进行统一管理。这种集成化管理方式打破了传统设备管理中信息分散的局面,使得设备的全生命周期数据得以集中存储和管理,为后续的数据分析和决策提供了坚实基础。

数据标准化:各类设备的维护记录按照统一格式录入,实现多设备、多维度信息的标准化存储。这不仅提高了信息的准确性,还减少了人工记录的错误。标准化的数据存储使得不同设备之间的数据能够无缝对接和协同工作,便于查询和统计。这种标准化管理使得设备管理更加高效和规范,为电力系统的稳定运行提供了有力保障。

2.2 可视化运维系统的建立

借助先进的信息系统,可视化运维系统能够实现对电力安全设备的实时监控、智能分析和高效管理,显著提升运维效率和设备管理水平。具体功能包括:

实时监控:通过图形化界面,系统可以实时显示各设备的运行状态,包括电压、电流、温度、振动等关键参数。运维人员能够随时查看设备的运行情况,及时发现潜在问题并进行处理。

维护计划生成:系统根据设备的实时状态和历史数据,自动生成科学合理的维护计划^[2]。这种基于数据分析的维护计划能够优化维护资源的分配,避免过度维护或维护不足,从而提高设备的可靠性和使用寿命。

报表生成:系统能够自动生成详细的设备运行报表,为管理层提供决策支持。这些报表不仅包括设备的运行数据,还可以分析设备的健康状况和潜在风险,帮助管理者更好地制定运维策略。

2.3 智能预警与安全防护

通过智能传感技术监测设备使用情况,结合数据分析,提供异常预警,减少事故发生。具体功能包括:

异常检测:利用传感器实时监测设备运行参数,一旦发现异常立即报警。例如,在电力设备上安装温度、压力等传感器,当设备运行参数超出正常范围时,系统会立即发出警报,提醒运维人员及时处理,从而避免设备故障的进一步扩大。

故障预测:通过大数据分析预测设备故障,提前安排维护,减少停机时间。系统可以对设备的历史运行数据进行深度挖掘和分析,建立故障预测模型,提前预测设备可能出现的故障,并根据预测结果制定合理的维护计划,有效降低设备停机时间和维修成本。这种智能预警与安全防护

机制,能够显著提升电力系统的安全性和可靠性,为电力设备的稳定运行提供有力保障。

3 电力安全设备优化策略

3.1 提升设备管理的智能化水平

为了提升电力安全设备的管理效率和准确性,推广大数据分析和人工智能技术是关键措施。利用大数据技术分析设备运行数据,可以实现设备状态的精准监测和故障预测。通过对大量历史数据的分析,系统能够识别设备运行的潜在问题,并提前预警,帮助运维人员制定合理的维护计划,减少设备停机时间,提高设备的可靠性和使用寿命。结合人工智能技术,可以进一步提升设备管理的智能化水平。通过机器学习和深度学习算法,系统能够自动分析设备运行数据,识别潜在故障模式,提前发出预警,从而显著提高设备的可靠性和运行效率。这种智能化管理方式,为电力设备的高效运维提供了有力支持。

3.2 构建标准化的运维流程

构建标准化的运维流程是确保电力安全设备在使用过程中安全性和规范性的关键。制定统一的设备检查和维护标准,明确设备检查的项目、频率和维护的具体要求,确保所有设备的检查和维护工作都按照统一的标准进行,从而提高设备管理的规范性和一致性。根据设备状态和历史数据,自动生成维护计划,优化维护资源配置^[3]。通过智能系统分析设备的实际运行状况,结合历史维护数据,自动生成科学合理的维护计划,合理安排维护时间和资源,避免过度维护或维护不足,提高维护效率,降低维护成本。这种标准化的运维流程,能够有效提升电力设备的管理水平,保障设备的稳定运行。

3.3 强化设备的技术支持

强化设备的技术支持是提升运维人员对设备正确使用和维护能力的重要手段。为运维人员提供设备使用指导和技术培训,帮助他们熟悉设备的操作流程和维护要点,提升其对设备的正确使用和维护能力。通过定期的技术培训和操作指导,运维人员能够更好地掌握设备的性能和特点,及时发现和解决设备运行中的问题。建立远程技术支持平台,及时响应运维人员的技术问题,提供远程协助。当运维人员在设备使用或维护过程中遇到技术难题时,可以通过远程技术支持平台获得专家的帮助和指导,快速解决问题,减少设备停机时间,提高运维效率。这种技术支持方式,能够有效提升运维人员的工作能力,保障电力设备的安全运行。

4 电力安全设备优化应用案例

4.1 案例分析

某电网公司通过引入可视运维管理系统,对安全设备进行智能化管理,取得了显著成效。设备维护效率显著提升,通过智能化管理系统的应用,设备维护效率提高了30%,故障率降低了40%。这一成果不仅减少了设备停机时间,还提高了整体运维效率。设备使用寿命得到延长,

通过精准维护和故障预测,设备的使用寿命显著增加,减少了设备更换的频率和成本。安全事故发生率显著降低,事故率下降了40%,运维人员的工作环境更加安全,这不仅保障了运维人员的生命安全,也提高了整个电网系统的运行稳定性。通过这些措施,该电网公司成功实现了电力安全设备管理的智能化和高效化,为电力系统的稳定运行提供了有力保障。

4.2 技术优化的实际成效

技术优化在电力安全设备管理中发挥了重要作用。设备使用寿命得到显著延长,通过精准维护和故障预测,设备的使用寿命增加了20%以上。精准维护确保了设备在最佳状态下运行,减少了因设备老化导致的故障。安全事故发生率显著降低,智能预警系统能够实时监测设备运行状态,一旦发现异常立即发出警报,有效减少了设备故障和安全事故的发生^[4]。运维人员工作效率显著提升,通过可视运维管理系统,运维人员能够快速响应设备问题,及时采取措施,工作效率提高了30%。这些技术优化措施不仅提高了设备的可靠性和安全性,还提升了运维人员的工作体验,为电力系统的高效运行提供了有力支持。

4.3 经济与社会效益

通过优化管理,电力安全设备的经济与社会效益显著提升。设备维护成本大幅降低,通过智能化管理和精准维护,设备维护成本减少了25%。电力系统运行的稳定性和安全性显著提升,设备故障率降低了40%,减少了因设备故障导致的停电时间。经济效益显著提高,通过减少停电时间,提高了电力系统的供电可靠性,为用户提供了更稳定的电力供应,提升了经济效益。此外,设备使用寿命的延长也减少了设备更换的频率,进一步降低了运营成本。这些优化措施不仅提升了电力系统的运行效率,还为社会带来了显著的经济效益,推动了电力行业的可持续发展。

5 未来展望

5.1 智能化管理技术的深化应用

随着科技的不断进步,智能化管理技术在电力安全设备领域的应用将更加广泛和深入。结合人工智能技术,可以实现更高效的故障预测和设备健康评估。通过机器学习和深度学习算法,系统能够自动分析设备运行数据,识别潜在故障模式,提前发出预警,从而显著提高设备的可靠性和运行效率。物联网技术将实现设备的全面互联和实时监控。通过在设备上安装传感器和通信模块,设备的运行状态可以实时传输到监控中心,运维人员可以随时随地查看设备信息,及时发现并处理问题。大数据分析将优化设备维护计划,提高设备管理效率。通过对海量历史数据的挖掘和分析,系统能够生成科学合理的维护计划,合理分配维护资源,减少不必要的维护工作,降低维护成本。这些技术的深化应用,将为电力安全设备的高效管理和稳定

运行提供强大的技术支持。

5.2 电力安全设备的技术创新

技术创新是推动电力安全设备发展的关键动力。材料创新将研发更高效、更耐用的材料,提升设备的性能和寿命。新型材料不仅具有更高的强度和耐久性,还能在恶劣环境下保持良好的性能,从而延长设备的使用寿命,减少设备更换频率。结构创新将优化设备结构,提高设备的可靠性和安全性。通过改进设备的设计和制造工艺,可以减少设备的故障点,提高设备的稳定性和抗干扰能力。智能功能创新将增加设备的智能功能,如自动诊断、远程控制等。这些智能功能不仅提高了设备的自动化水平,还减少了人工干预,降低了运维成本,提高了设备的运行效率。通过这些技术创新,电力安全设备将更加高效、可靠和智能,为电力系统的稳定运行提供有力保障。

5.3 持续优化与标准化管理

持续优化与标准化管理是确保电力安全设备长期高效运行的重要保障。推动行业标准化,制定统一的设备管理标准,推动行业标准化进程。通过制定统一的标准和规范,可以实现不同设备、不同系统的无缝对接和协同工作,提高设备管理的效率和一致性。完善设备管理制度,确保设备管理的规范化和标准化。通过建立科学合理的管理制度,明确设备管理的职责和流程,确保设备管理工作的有序进行。持续优化设备管理策略,根据技术发展和实际需求,不断调整和优化管理策略,以适应不断变化的电力系统运行环境。通过持续优化和标准化管理,电力安全设备的管理水平将不断提升,为电力系统的稳定运行提供坚实的基础。

6 结语

电力安全设备是电网运维不可或缺的重要组成部分,其管理方式的优化对提升运维效率和保障作业安全具有重要意义。通过智能化、标准化管理手段,如大数据分析、人工智能技术等,可有效提升设备管理水平。未来,随着智能技术的进一步发展,电力安全设备的管理和应用将更加智能化、高效化,为电网的安全稳定运行提供更强有力的保障。

【参考文献】

- [1] 杨珂. 电力设备日常运维及其安全运行相关策略探讨[J]. 电力设备管理, 2024(13): 212-214.
 - [2] 张玉祥, 郭金星, 陈伟. 智能感知技术在电力设备运维中的应用[J]. 电力设备管理, 2024(8): 38-40.
 - [3] 刘朋. 智能变电站变电运维安全与设备维护分析[J]. 模型世界, 2024(36): 45-47.
 - [4] 钱驰. 智能变电站变电运维安全与设备维护分析[J]. 现代工业经济和信息化, 2022, 12(12): 314-315.
- 作者简介: 李家欢(1999.5—), 女, 汉族, 毕业院校: 重庆三峡学院; 现就职单位: 石家庄全航电力科技有限公司。

电力工程项目管理模式创新研究

吴晶晶

中国华电科工集团有限公司, 北京 100000

[摘要] 电力工程项目管理模式创新研究是应对能源体系重构与技术范式迭代的复合型挑战的关键路径。在“双碳”战略驱动与能源结构深度调整的双重压力下, 传统线性管理方式因风险传导阻滞、资源协同效能衰减及可持续发展适配性不足, 正面临整体性治理失效危机。基于全生命周期视角, 系统性解构管理模式创新的制度障碍与技术瓶颈, 创新性构建融合滚动式规划与成本动态优化的协同框架。依托复杂适应系统理论 (CAS), 创新性重构风险预警的阈值响应机制, 嵌套式设计多主体利益耦合的契约体系, 并建立技术经济性适配的动态耦合决策模型, 显著提升管理系统的环境适应性与运行韧性。理论层面揭示管理创新对技术迭代响应速度的非线性加速效应, 以及利益相关方博弈均衡的动态均衡优化作用; 实践层面, 为破解新能源并网加速与电力市场深化背景下的管理效能衰减难题, 提供兼具韧性治理框架与技术经济性的系统性解决方案, 推动工程管理理论向多维动态适配方向演进。

[关键词] 电力工程; 管理模式创新; 风险管控

DOI: 10.33142/hst.v8i5.16506

中图分类号: TM29

文献标识码: A

Research on Innovation of Project Management Mode in Power Engineering

WU Jingjing

China Huadian Engineering Co., Ltd., Beijing, 100000, China

Abstract: Innovative research on power engineering project management mode is a key path to address the complex challenges of energy system reconstruction and technological paradigm iteration. Under the dual pressure of the "dual carbon" strategy driving and deep adjustment of energy structure, the traditional linear management paradigm is facing a crisis of overall governance failure due to risk transmission blockage, weakened resource synergy efficiency, and insufficient adaptability to sustainable development. Based on the perspective of the entire lifecycle, systematically deconstruct the institutional barriers and technological bottlenecks of management mode innovation, and creatively construct a collaborative framework that integrates rolling planning and cost dynamic optimization. Based on the theory of Complex Adaptive Systems (CAS), we innovatively reconstruct the threshold response mechanism for risk warning, design a nested contract system with multi-party interest coupling, and establish a dynamic coupling decision model for technological and economic adaptation, significantly improving the environmental adaptability and operational resilience of the management system. At the theoretical level, it reveals the nonlinear acceleration effect of management innovation on the response speed of technological iteration, as well as the dynamic equilibrium optimization effect of stakeholder game balance; At the practical level, in order to solve the problem of management efficiency decline under the background of accelerating the integration of new energy into the grid and deepening the electricity market, a systematic solution that combines resilience governance framework and technical economy is provided, promoting the evolution of engineering management theory towards multidimensional dynamic adaptation.

Keywords: power engineering; innovation in management mode; risk control

引言

全球能源体系正经历以清洁化转型与数字化渗透为特征的双重变革, 电力工程作为能源供应链的核心载体, 其项目管理面临投资规模扩张与技术复杂度跃升的双重挑战。传统以设计-招标-建造为主导的线性管理模式, 因其固有的阶段性割裂特征导致技术迭代响应滞后, 难以协调新能源并网带来的系统波动性与电力市场机制创新引发的利益重构需求。在碳约束趋紧与能源安全战略升级的双重压力下, 既有管理方式在风险传导阻断、多主体协同治理等维度已显现出结构性适配缺陷。本研究立足系统工

程理论与可持续发展理论交叉视角, 聚焦管理理论与工程实践的界面障碍, 通过解构管理模式创新的制度障碍与技术瓶颈, 构建具有动态适应性的管理框架。该研究旨在突破传统管理理论的路径依赖, 为电力行业应对能源革命与数字革命协同演进提供理论支撑与实践指引。

1 创新电力工程管理模式必要性

当前电力工程领域普遍采用的总承包模式在实践中暴露出制度性困境: 施工主体与投资主体的经济目标存在策略性博弈, 传统线性管理架构难以调和迭代压力与风险管控需求的非线性叠加矛盾。究其根源, 总承包模式

固有的阶段性割裂特征导致跨专业协作效能衰减,而极端气候事件频发与碳减排目标叠加的外部环境变化,进一步放大了管理系统的结构脆弱性。在此背景下,单纯依赖技术修补已无法弥合管理模式与技术创新间的代际鸿沟,亟需通过理论创新重构管理方式。基于复杂适应系统理论(CAS)与动态能力理论,打造具有多维适应特性的管理方式,不仅能够优化资源配置效率(如通过帕累托改进实现多方利益均衡),更能为应对能源革命与数字革命协同演进提供系统性解决方案。这种创新已超越传统管理优化的范畴,成为保障国家能源战略安全与提升产业国际竞争力的必然选择。具体而言,新型管理模式需融合区块链技术的不可篡改性以强化契约执行刚性,同时依托数字孪生技术构建虚拟调试平台,实现技术方案与资源配置策略的多目标动态耦合机制,从而在技术迭代与制度惯性之间建立鲁棒性平衡系统。

2 创新管理模式实施的关键问题

2.1 风险管控体系重构

传统风险防控机制多依赖于历史经验数据库与专家经验判断,其本质是静态化、片段式的威胁应对策略。在新型电力系统建设场景中,气候变化引发的极端事件具有显著非线性特征,叠加电力市场电价波动、关键技术“卡脖子”等系统性风险,使得单一维度的风险评估模型难以捕捉风险传导的链式反应。构建适应性更强的风险管控体系,需要建立多源异构数据融合机制,将气象预测数据、设备状态监测信号、市场价格波动指数等纳入统一分析框架。更为关键的是,需建立风险预警阈值动态调整机制,通过机器学习算法实现风险概率的实时迭代计算。这种转型要求打破传统部门间信息孤岛,构建贯穿规划设计、建设施工、运营维护的全周期风险画像,从而在风险潜伏期即形成有效干预能力。

2.2 利益相关方协同机制

电力工程作为典型的社会技术系统,其实施过程涉及政府监管部门、投资主体、技术供应商、终端用户等数十类利益相关方。各主体在风险承担意愿、技术认知水平、利益诉求优先级等方面存在的结构性差异,导致协作过程中易产生目标偏移与信任损耗。解决这一矛盾需要构建多层次协同框架:在制度层面,需建立基于社会契约的利益分配调节机制,通过风险共担条款设计平衡公共利益与商业回报;在操作层面,则需搭建跨专业信息交换平台,运用可视化技术消除专业壁垒造成的沟通障碍。特别在涉及多方产权的PPP项目中,需创新性设计剩余控制权分配方案,通过动态协商机制平衡各方利益诉求演变,避免因刚性契约条款引发合作僵局。

2.3 合规性与可持续性平衡

在环境规制框架持续强化的政策背景下,项目管理需构建制度性约束与生态效益目标的动态适配机制。这种平

衡的复杂性体现为双重维度:其一,环境评价体系正从末端治理范式向全生命周期环境足迹追踪转型,要求管理决策嵌入碳足迹核算、生物多样性影响评估等非财务指标;其二,社会对清洁能源项目的接受度受社区文化认同、景观生态敏感性等多元变量制约,需建立超越经济理性假设的社会技术系统韧性评估框架。实证研究表明,机械式合规管理不仅导致技术经济性损失,还可能引发社会接受度下降的次生风险。理想的解决方案需通过技术创新实现制度性交易成本内部化,例如研发新型环保材料以降低生态修复边际成本,或运用数字孪生技术构建环境友好性验证系统,从而在规制刚性与技术柔性之间创造战略协同价值。

3 电力工程项目管理模式的创新路径

3.1 滚动式管理模式的理论内涵

滚动式管理通过非线性分解项目周期形成动态迭代的规划单元,其本质是对传统线性管理范式的范式级突破。相较于设计-招标-建造模式的刚性时序结构,该模式将全周期划分为若干具有反馈闭环的子阶段,每个阶段均包含规划验证与方案修正的迭代循环。这种管理逻辑的演进根植于系统工程理论中的渐进明晰原则,并融合复杂适应系统理论(CAS)的自组织演化特征,使管理体系能够通过多主体协同演化实现动态适应性优化。通过构建滚动式决策框架,管理者可将外部政策波动、技术迭代等不确定性因素纳入实时响应系统,例如依托数字孪生技术构建虚拟施工场景,结合蒙特卡洛模拟实现技术方案与资源配置策略的自适应校准。在特定场景中,规划阶段可基于预测性数据建立弹性技术方案库,随着实施进程的推进,前期反馈信息将通过强化学习算法触发后续阶段的参数修正与资源再平衡。这种模式的价值不仅体现在应对技术不确定性的能力跃升,更在于通过管理流程的自我修正机制实现资源投入的帕累托改进,并借助区块链技术的不可篡改性构建全周期韧性治理框架,从而在动态环境中形成多目标动态耦合的可持续管理韧性。

3.2 成本式管理的优化策略

全周期成本效能优化需突破传统财务范式的局限性,将技术经济分析嵌入项目全链条的动态决策流程。价值工程方法论在此过程中发挥核心作用,其通过功能分析矩阵识别非增值环节,在保证技术性能阈值的前提下重构成本结构。数字化技术的深度介入推动成本管理从静态核算向动态仿真演进,构建参数化模型实现设计方案与成本指数的实时映射。这种管理方式的转型需建立跨学科知识融合机制,将工程经济学原理与运筹学优化算法相结合,在技术可行性与经济合理性之间建立多目标动态耦合方程。特别在新能源并网项目中,全生命周期成本需纳入碳交易成本、电网接入成本及生态修复边际成本等新型要素,这对成本模型的多维变量兼容性提出更高要求,促使管理者在技术经济性分析中探索更复杂的非线性耦合关系。为实现成

本控制的韧性提升,需引入系统动力学模型模拟政策波动、技术迭代与市场供需的多因素交互影响,并依托区块链技术构建不可篡改的成本数据溯源体系。管理者需构建动态成本-技术投资权衡模型,通过模糊数学方法处理不确定性参数,形成多目标优化算法驱动的决策支持框架。这一过程不仅依赖技术创新,更要求管理者具备跨领域知识整合能力,以应对政策规制与市场波动叠加引发的系统性风险,最终实现成本效能的帕累托改进与技术经济性的动态平衡。

3.3 人员素质与组织能力提升

复合型人才培养机制的设计需突破传统专业壁垒,构建多维度知识迁移路径。电力工程管理者不仅需要掌握专业技术规范,更应具备系统思维与复杂系统解构能力,其决策框架需嵌入社会技术系统的宏观评估维度。组织架构的适应性变革要求从机械式科层制向有机式网络化结构演进,扁平化设计能够缩短决策信息传递链条,而虚拟团队的协同模式可整合分布式专家资源。知识管理系统的构建尤为关键,需通过经验沉淀机制将隐性知识显性化,形成组织集体智慧的迭代升级。这种能力建设需构建多维度激励机制创新体系,将知识贡献度与职业发展通道动态耦合,从而形成人才成长的自驱动机制,确保组织在技术迭代中保持持续的学习与适应能力。为实现组织能力的韧性跃迁,需引入复杂系统理论指导下的适应性管理框架,通过数字孪生技术构建虚拟组织协作平台,强化跨地域知识共享的实时性与精确性。同时,基于社会技术系统韧性理论设计的激励机制,可将技术创新贡献度转化为可量化的组织资本积累指标,推动个体能力成长与组织战略目标形成动态耦合。

3.4 施工管理程序标准化

施工管理标准化建设需构建规范弹性耦合机制,在技术规范与工程实践间建立动态适配框架。从施工组织设计到质量验收标准,每个环节均需形成可量化的执行基线,同时保留基于项目特征的柔性调整空间。数字化技术的深度介入推动标准化管理向动态执行范式演进,移动巡检系统依托计算机视觉技术实现施工规范的实时比对,既确保质量控制的客观性,又消除人为判断的认知偏差。值得注意的是,标准化体系需嵌入自适应优化通道,通过施工数据的持续采集与分析,周期性触发作业程序的PDCA循环迭代。这种刚柔相济的管理哲学,本质上通过标准化降低系统变异性,同时依托动态优化提升技术经济性,从而在工程实践中实现效率与质量的帕累托改进。为实现这一目标,需引入精益建造理论指导下的价值流分析工具,通过消除非增值工序提升流程效率。同时,基于区块链技术的智能合约可固化标准化操作节点,确保施工规范的不可篡改性。社会技术系统韧性理论的应用,要求标准化体系嵌入风险容错机制,例如通过数字孪生技术构建虚拟施工场景,预演标准执行偏差对项目整体效能的影响。管理者需构建刚性制度与柔性执行的动态校准模型,通过模糊控制理论处理

不确定性变量,形成多目标约束下的自适应管理框架。

3.5 责任制管理的强化路径

权责利对等机制的设计需要引入委托代理理论框架,通过契约条款的精细化设计平衡多方利益诉求。在EPC总承包模式中,责任边界的界定需覆盖设计优化空间与施工风险承担范围,这要求建立基于风险共担的激励相容机制,使各参与方的收益函数与项目整体目标形成正相关关系。绩效考核体系应突破单一财务指标局限,引入技术经济指标、安全熵值、生态影响因子等多维评价参数,通过多准则决策模型实现绩效的立体化评估。容错机制的构建尤为关键,需在质量追溯体系中区分主观过失与客观不可抗力,避免过度问责抑制管理创新活力。这种制度设计的深层逻辑,在于通过责任体系的刚性约束与柔性调节功能的结合,形成驱动管理效能持续提升的内生动力,确保管理体系在复杂环境中保持动态稳定性。为实现这一目标,需将复杂适应系统理论(CAS)融入责任网络设计,通过智能合约技术固化责任履行节点,确保权责关系的不可篡改性。同时,基于韧性理论构建的容错机制,可通过数字孪生技术模拟责任履行偏差对系统韧性的影响,动态优化责任分配策略。管理者需在社会技术系统理论指导下,建立组织学习与责任追溯的协同机制,通过模糊控制理论处理责任边界模糊性问题,形成多目标约束下自适应的责任治理框架。

4 结语

电力工程项目管理模式创新本质上是管理理论与工程技术深度融合的过程。面对能源转型与技术革新的双重挑战,管理方式的突破需从系统思维重构与技术工具迭代两个维度协同推进。通过风险管控体系的动态适应性重构,管理实践能够有效应对极端气候与市场波动带来的复合型风险;利益相关方协同机制的优化,则为化解多元主体利益冲突提供了制度性解决方案;而合规性框架与可持续发展目标的动态平衡,标志着管理活动从被动合规向价值创造的质变跃迁。滚动式管理等创新策略的实践应用,不仅验证了渐进式改革路径的有效性,更揭示了管理理论自我迭代的进化规律。未来研究需重点关注技术演进对管理方式的颠覆性影响,特别是人工智能与区块链技术对决策透明化与流程自优化的赋能效应。通过构建人机协同的新型管理框架,电力行业有望突破传统管理效能边界,为全球能源治理体系现代化提供中国方案。

【参考文献】

- [1]李茜,王辰,马尧,等. 电力工程项目管理模式创新探索[J]. 电站系统工程,2022,38(3):81-82.
 - [2]张营. 项目管理模式在电力工程项目管理创新中的应用[J]. 电气技术与经济,2023(8):235-237.
- 作者简介:吴晶晶(1993.10—),女,毕业院校:伯明翰大学,所学专业:管理学,当前就业单位:中国华电科工集团有限公司,职务:采购工程师,职称级别:中级。

电力系统故障情况下的调度指令执行效率优化研究

林丛丛

国网浙江省电力有限公司文成县供电公司, 浙江 温州 325000

[摘要]在电力系统运行过程中,突发性故障不可避免地影响电网安全与供电连续性。调度指令作为事故处理的核心环节,其执行效率直接关系到系统恢复速度与故障扩大的抑制能力。文中以调度执行效率为研究重点,从信息传输机制、调度流程规范及智能辅助系统等角度入手,提出一套优化策略体系。研究发现,通过构建标准化指令执行模型、引入实时交互平台及智能判别系统,可有效缩短指令传递与执行周期,提升调度反应速度与准确性。文章旨在为提升电力系统故障应急处置能力提供技术支撑与优化路径建议。

[关键词]电力系统;调度指令;故障响应;执行效率;智能优化

DOI: 10.33142/hst.v8i5.16499

中图分类号: TM712

文献标识码: A

Research on Optimization of Dispatch Instruction Execution Efficiency under Power System Fault Conditions

LIN Congcong

Wencheng County Power Supply Company of State Grid Zhejiang Electric Power Co., Ltd., Wenzhou, Zhejiang, 325000, China

Abstract: During the operation of the power system, sudden faults inevitably affect the safety of the power grid and the continuity of power supply. As the core link of accident handling, the execution efficiency of scheduling instructions is directly related to the system recovery speed and the ability to suppress the expansion of faults. The article focuses on the efficiency of scheduling execution and proposes an optimization strategy system from the perspectives of information transmission mechanism, scheduling process specification, and intelligent auxiliary system. Research has found that by constructing standardized instruction execution models, introducing real-time interaction platforms, and intelligent discrimination systems, the instruction transmission and execution cycle can be effectively shortened, and the scheduling response speed and accuracy can be improved. The article aims to provide technical support and optimization path suggestions for enhancing the emergency response capability of power system faults.

Keywords: power system; scheduling instructions; fault response; execution efficiency; intelligent optimization

引言

电力系统的稳定运行对国家能源安全具有重要意义。在系统故障突发的情况下,调度指令作为协调各环节应急联动的纽带,其执行效率直接影响恢复速度与安全边界的控制。然而,传统调度过程中常因信息延误、执行失误或联动滞后导致应急反应时间拉长,严重时甚至引发连锁事故。优化调度指令执行效率已成为电力系统运行调控中的关键课题。本文结合当前电网调度技术现状与常见故障类型,从调度执行链路出发,系统分析影响效率的关键因素,并提出具有技术可行性的优化方案。

1 电力系统故障对调度指令执行的影响分析

1.1 故障类型对调度反应机制的干扰

在电力系统运行过程中,常见的故障类型包括线路短路、设备损坏、继电保护误动、电压骤降、频率波动及系统振荡等。这些故障通常具有突发性、随机性和连锁性,不仅直接威胁到电力设备的安全运行,还会对整个电网的稳定性造成系统性冲击。尤其是在高负荷运行或极端气象条件下,故障的发生频率和复杂程度进一步上升。不同类型的故障在发生位置、波及范围、持续时间和对关键设备

的影响方面差异明显,调度中心需迅速识别故障性质、准确判断故障范围并制定相应处置策略。然而在实际运行中,调度人员常常面临故障信息采集滞后、信号混乱、来源不明等问题,造成调度反应节奏被动。尤其在新能源发电接入比例不断提升的背景下,系统惯性削弱,电压和频率调控难度加大,使得传统的调度判断方法面临巨大挑战。

1.2 指令传递链条中的时间延迟问题

电力调度指令从生成到最终执行,通常需经历多个环节,包括调度命令的制定、信息的编码与发送、通信系统的传输、下级调度或现场单位的接收确认,以及具体操作的落地执行。在传统调度体系中,这一流程多数依赖人工传达、电话通知或非实时系统支持,信息链条长且存在多点干预,极易在各环节出现传递延迟、信息重复、误解或中断的情况。特别是在多级调度体系下,省级、市级、县级调度中心之间存在层级传导机制,每一级都需进行再处理或复核,进一步拉长响应时间。一旦突发事故发生,如主变压器跳闸、线路故障或区域负荷突升等,应急指令必须在极短时间内传达至现场,但任何一级的延误都可能错失最佳处置时机。例如,在某次主变复电过程中,因通信

链路阻塞导致复归指令未能及时传达至现场,直接延误了系统电压恢复,造成用户侧电能中断时间延长。因此,优化指令传递路径、提升通信系统稳定性、减少人为干预环节,是提升整体调度响应效率、实现快速联动处置的关键手段。

1.3 调度中心与现场执行单位的协同瓶颈

调度中心负责调令制定与下发,现场单位则承担具体的执行与反馈。然而,在实际运行中,调度与现场之间存在沟通不畅、指令理解偏差、执行标准不一等协同问题。部分现场单位由于人员技术水平参差、值班力量不足或设备智能化水平不高,难以在第一时间准确执行调度命令。此外,缺乏统一的调度执行标准和执行记录反馈机制,也使得调度中心难以对现场执行效果进行实时监控和调整。一旦执行偏差发生,不仅延误故障处理,还可能引发次生故障,进一步影响系统稳定。优化调度指令执行效率,必须强化调度中心与现场单位之间的协同机制,包括规范调度语言、推行一键执行系统和提升人员应急响应能力等技术与管理手段。

2 调度指令执行流程的现状与问题

2.1 指令下达路径多级化问题

当前电力系统调度体系普遍采用分级管理模式,通常划分为国家级、省级、市级及县级调度中心,各级调度单位在职责分工、资源配置和区域管理上具有明确分层。这种结构有利于日常运行的精细化管理和区域协调,但在突发故障或重大电网事件中,其层级性却暴露出响应链条过长、指令流程复杂的问题。调度指令需逐级汇报、审批、传达,执行路径繁琐,极易造成响应时效滞后。在如大面积停电、系统频率失稳、电压塌陷等紧急情况下,高层调度需要依赖下级反馈才能作出准确判断,而下级单位又需等待上级决策,形成“信息未汇总—命令未下达”的循环瓶颈。各级调度单位之间的权限边界常常模糊,易在高压状态下出现抢权操作或互相推诿责任的情况,导致调度命令缺乏统一性,严重影响执行效率与电网稳定。

2.2 信息反馈机制的不及时与不对称

调度指令的执行效果是否达成,直接依赖于现场单位的及时反馈,调度中心只有掌握准确的执行状态,才能根据系统运行的最新变化调整后续策略。然而,在实际运行中,信息反馈机制往往存在多种问题,如反馈延迟、信息缺失、内容不规范以及反馈渠道不畅等,严重影响调度决策的实时性与准确性。部分基层执行单位缺乏系统化的信息回报流程,反馈多以电话、口头或临时书面形式进行,既不规范也难以追溯。例如,当某输电线路恢复送电后,若现场未能及时反馈断路器的合闸状态,调度人员将无法确定系统是否已闭环,可能误判而中断下一步操作,延误整个恢复过程。此外,在通信链路异常、数据传输不稳定或信息系统互联不畅的情况下,反馈信息的丢失或延迟更

加严重。信息反馈机制的不完善使调度中心处于“信息盲区”,无法全面掌握执行实况,带来较大的调度风险。

2.3 缺乏标准化执行反馈闭环体系

高效的调度执行流程应具备“指令下达—现场执行—结果反馈—调度确认”的完整闭环,但目前许多地区调度系统尚未实现标准化反馈机制。一方面,现场单位反馈内容缺乏格式统一与系统接入支持,导致调度中心接收到的信息分散、不一致,难以快速汇总分析。另一方面,调度中心缺乏对反馈信息的自动解析与判断能力,仍依赖人工汇总与比对,处理效率低下。更严重的是,部分反馈信息未与指令系统联动,形成“下达有记录、执行无反馈、调整无依据”的断点流程,严重制约调度效率提升。若在应急情况下反馈不及时或无效,将直接影响调度指令的准确调整与系统恢复进度。因此,有必要建立统一的调度执行反馈平台,推动标准化模板、自动记录与系统联动,以实现全过程可控、可溯、可追踪的闭环管理。

3 调度指令执行效率提升的关键技术路径

3.1 建立标准化调度流程模型

调度指令执行效率的提升,首先应依赖于流程的标准化设计。当前各地电网调度单位在调度流程上存在差异,部分操作依赖人工经验,执行步骤不统一,易引发理解偏差或操作失误。因此,有必要在全国范围内推行统一的调度流程模型,包括调度指令的分类标准、下达格式、执行路径与反馈机制。通过流程建模,将指令下达、确认、执行、回报等环节固化为规范化流程节点,并在各级调度与现场系统中植入模板式操作界面,可有效减少执行差错。同时,在模型中引入优先级管理与应急处理分支流程,可提升系统对突发故障的快速响应能力。标准化流程不仅提高了执行一致性,也为系统化评估与优化调度操作提供了基础支撑。

3.2 应用实时通信与同步反馈机制

传统调度流程中存在通信延时与反馈滞后的问题,直接制约了调度执行效率。针对这一问题,应强化调度系统与现场设备之间的实时通信能力,采用高速、稳定的数据通信技术(如光纤通信、5G专网、工业以太网等)建立调度-现场之间的即时数据通道。实时通信可实现指令瞬时下达与执行状态实时回传,显著缩短响应时间。在此基础上,构建同步反馈机制,即现场单位在执行操作后,系统自动反馈设备状态并同步至调度平台,形成操作闭环。该机制还应具备异常报警功能,在反馈信息异常或执行失败时第一时间提示调度人员进行干预。同时,调度平台需具备多终端协同能力,支持桌面系统、移动终端与值班平台同步操作,保障调度指令在多场景、多渠道下高效传递与执行。

3.3 引入智能辅助决策系统支持调度判断

随着电网规模扩大与运行复杂性提升,依靠人工经验

进行调度判断已难以满足高效运行要求。引入基于人工智能与大数据分析的智能辅助决策系统,能够在故障发生后快速分析电网状态、识别故障位置、模拟操作方案,为调度人员提供科学参考。该系统通过实时采集电网运行数据,结合历史故障案例与运行规律,生成最优调度策略建议,极大地缩短调度判断时间。同时,系统可基于场景库与应急预案库实现自动匹配,为调度人员推荐可行的操作路径及注意事项。在此基础上,调度指令的生成也可实现智能化编制,避免人为疏漏,提升调度精准度。通过人工智能系统与人工判断的结合,可实现“人机协同”调度新模式,在提升效率的同时增强应急调度的科学性与安全性。

4 调度效率优化系统的构建与实施策略

4.1 信息集成平台的构建与部署

提升调度效率的关键基础在于构建统一的信息集成平台,将调度指令、设备状态、运行数据、现场反馈等信息汇聚于同一系统之中,打破原有的信息孤岛,实现数据全面共享与高效处理。信息集成平台应具备高度兼容性,能够对接调度自动化系统、故障录波系统、SCADA 系统及各类智能终端,形成贯通调度层、执行层与设备层的实时信息链条。同时,应引入数据分析与可视化模块,对电网运行状态、指令执行路径、响应时间等指标进行动态监控与展示,帮助调度人员进行综合判断。此外,平台还应支持权限分级管理,确保各级调度中心与现场单位根据职责权限高效访问、使用与响应相关指令,提高整体运行协同能力。

4.2 应急预案数字化与自动化联动

传统应急预案多为纸质或静态文档,无法实现实时调用与自动响应,影响故障处理效率。为此,应推动应急预案的数字化转型,将各类故障场景的应对策略、调度指令、设备操作步骤等内容固化为可执行脚本,嵌入调度系统内部,实现“预案即程序、故障即响应”的联动机制。数字化应急预案应具备场景匹配功能,根据故障类型、影响范围与设备状态自动识别匹配最佳处置策略。同时,结合自动化控制系统,可实现指令下达与关键设备联动的自动执行,降低人工干预时间,提升反应速度。例如,在主变故障场景中,系统可自动执行备用电源切换、负荷分配调整等操作,缩短处置时间。自动化联动机制还应具备模拟推演功能,支持调度人员在日常演练中检验预案可行性,提升实战能力。

4.3 对调度人员的技术培训与绩效考核体系建设

技术系统的优化必须辅以人员能力的提升,才能实现预期效果。调度人员作为故障处置的核心执行者,其业务素质、应变能力和技术水平直接影响调度效率。因此,需构建常态化、多层级的技术培训体系,内容覆盖新型调度系统操作、应急预案应用、设备运行特性识别、信息反馈流程等方面。培训形式可结合实训平台、虚拟仿真、案例研讨与现场观摩,增强实践性与针对性。同时,应建立科学的绩效考核机制,对调度指令下达时间、执行准确率、应急响应效率等核心指标进行量化评价,并将考核结果作为激励与晋升依据,以激发调度人员的主动性和责任感。通过技术与管理双轮驱动,全面提升调度队伍的专业能力和执行水平,为调度效率优化系统的落地提供有力保障。

5 结语

在电力系统故障处理中,调度指令的快速、准确、高效执行是保障系统安全稳定运行的关键一环。本文从多个维度分析了调度指令执行效率低下的原因,并提出以标准化、智能化、信息化为核心的优化路径。实践表明,通过构建完善的调度执行平台与反馈机制,不仅可提升调度反应的及时性,还能增强故障处理的协同能力与准确性。未来,电力系统应进一步结合大数据与人工智能技术,不断优化调度体系,提升整体应急处置水平,为实现新型电力系统的安全稳定运行提供坚实保障。

[参考文献]

- [1]夏名扬,丁佳乐.新时期电力调度的安全操作和事故处理分析[J].电工技术,2024,12(11):457-459.
- [2]李新鹏.面向国内智能电网的电力调度控制系统异常智能检测方法与故障定位技术研究[D].北京:北京邮电大学,2023.
- [3]惠玲利.计及信息攻击和多时间尺度的电一气互联综合能源系统优化调度[D].湖南:湖南大学,2023.
- [4]业睿.面向配网电压控制的电动汽车智能体充电调度方法研究[D].江苏:东南大学,2022.
- [5]张亚健.信息-物理耦合的新能源电力系统负荷频率控制关键技术研究[D].天津:天津大学,2021.

作者简介:林丛丛(1986.11—),毕业院校:杭州电子科技大学信息工程学院,所学专业:电气工程及其自动化,当前就职单位:国网浙江省电力有限公司文成县供电公司,职务:调控员,职称级别:中级工程师。

电力系统污水处理中高效沉淀技术的应用与优化

袁宏超

华电水务朔州有限公司, 山西 朔州 036000

[摘要] 电力系统污水处理在保障环境安全和资源利用方面具有重要意义。随着电力行业规模的不断扩大, 污水处理面临的挑战日益严峻。高效沉淀技术作为一种有效的污水处理方法, 广泛应用于电力系统中, 通过优化沉淀池设计、改进助沉剂使用以及强化操作管理, 显著提高了污水处理效果。该技术的应用不仅提升了沉淀效率, 还降低了处理成本。对高效沉淀技术的进一步优化, 将为电力系统污水处理提供更高效、环保的解决方案。

[关键词] 电力系统; 污水处理; 高效沉淀技术; 优化方法; 环保

DOI: 10.33142/hst.v8i5.16497

中图分类号: X753

文献标识码: A

Application and Optimization of Efficient Sedimentation Technology in Sewage Treatment of Power System

YUAN Hongchao

Huadian Water Shuozhou Co., Ltd., Shuozhou, Shanxi, 036000, China

Abstract: The treatment of sewage in the power system is of great significance in ensuring environmental safety and resource utilization. With the continuous expansion of the power industry, the challenges faced by sewage treatment are becoming increasingly severe. Efficient sedimentation technology, as an effective sewage treatment method, is widely used in power systems. By optimizing sedimentation tank design, improving the use of sedimentation aids, and strengthening operational management, the sewage treatment efficiency has been significantly improved. The application of this technology not only improves sedimentation efficiency, but also reduces processing costs. Further optimization of efficient sedimentation technology will provide a more efficient and environmentally friendly solution for wastewater treatment in the power system.

Keywords: power system; wastewater treatment; efficient sedimentation technology; optimization methods; environment protection

引言

电力系统污水主要来源于冷却水、生产废水及化学废水, 含有大量悬浮物、重金属等污染物, 处理难度大且环境影响显著。目前, 电力行业在污水处理上面临着处理效率低、成本高等问题。高效沉淀技术凭借其良好的沉降性能和低成本优势, 成为污水处理中的重要手段。通过优化沉淀池设计、助沉剂应用及操作管理, 能够有效提高处理效果。本文探讨了高效沉淀技术在电力系统污水处理中的应用与优化, 为提升处理效率提供了可行的解决方案。

1 电力系统污水的来源与特点

1.1 电力系统污水的分类

电力系统产生的污水种类繁多, 主要可分为生产污水、冷却水和化学废水等几类。生产污水源于电力厂的各类生产过程, 尤其是机组清洗、设备维护和化学清洗等过程, 其中排放的废水通常包含大量的悬浮物、油类物质以及溶解性化学成分。冷却水是电力厂发电机组冷却系统中所使用的水, 通常含有较多的热量、悬浮物及微生物, 特别是当冷却水未经过处理直接排放时, 可能对周围水域生态造成负面影响。化学废水则包括电力厂使用的酸碱洗涤液、润滑油和电池废液等, 其含有较强的腐蚀性和有害物质, 对环境及设施造成潜在威胁。不同类型的污水具有不同的

污染特征, 生产污水往往富含悬浮物和油类, 冷却水则具有较高的温度和微生物污染, 而化学废水则含有有害的化学成分, 因此需要根据污水的类型和污染程度采取相应的处理技术。

1.2 电力污水的污染物成分分析

电力系统污水中含有多种污染物, 常见的主要污染物包括颗粒物、悬浮物、重金属和有机物等。颗粒物和悬浮物是电力生产过程中产生的废水中的主要污染源, 这些物质不仅影响水的透明度, 还会阻塞管道, 影响设备的正常运行, 导致系统效率下降。重金属污染物(如铅、汞、镉、铬等)多来自于设备的磨损、废水处理过程中以及化学品的使用, 这些重金属不仅对水体生态环境造成污染, 还可能通过食物链进入人体, 危害人类健康。与此同时, 电力系统污水中的有机污染物主要来源于冷却水中的溶解油脂和化学添加剂, 这些有机物质在水中难以降解, 对水质构成长期威胁。不同种类的污染物及其浓度变化, 使得污水处理更加复杂, 因此选择合适的污水处理技术显得尤为重要。

1.3 污水处理面临的主要问题

尽管传统的沉淀法在一定程度上能够去除水中的悬浮物和颗粒, 但其效率常常受到多种因素的制约。沉淀池

的设计、处理时间及水质特性对处理效果影响显著,而处理复杂污水时,传统方法往往难以达到理想效果。特别是对于含有较多溶解性物质和重金属的污水,传统沉淀法难以去除这些污染物,且沉淀后的废渣还可能成为二次污染源。此外,随着电力行业的不断发展,污水排放量和污染物浓度逐年增加,传统技术的处理能力已无法满足日益增长的需求。现有技术不仅处理效率低,且存在较高的运行成本和维护难度,导致传统处理方法的应用受到了限制。因此,迫切需要新型的高效污水处理技术,以应对日益严峻的环境保护挑战,同时降低污水处理的成本,提升处理效果。

2 高效沉淀技术原理与发展

2.1 高效沉淀技术的基本原理

高效沉淀技术主要依靠重力沉降原理,通过引导水中的固体颗粒在重力作用下沉降到沉淀池底部。其工作原理基于流体力学原理,主要依赖颗粒物在水中的沉降速度。沉降速度与颗粒的大小、密度及水的黏度等因素密切相关。为了提高沉降效率,通常会使用助沉剂,这些助沉剂能够增强颗粒之间的聚集作用,使颗粒形成较大的絮体,从而加速沉降过程。助沉剂的应用在提高沉降效率方面发挥了关键作用,能够显著减少沉淀时间,优化污水处理效果。

2.2 高效沉淀技术的发展历程

传统沉淀方法多采用简单的重力沉降池,但该方法存在沉降速度慢、处理效果不稳定等问题。随着技术的发展,现代高效沉淀技术逐步取代了传统方法。高效沉淀池、斜板沉淀池、气浮沉淀法等新型技术被广泛应用。通过优化沉淀池设计,改进水流的分布与流速,使颗粒物能更加高效地沉降,同时提高水处理的通量和稳定性。高效沉淀技术的研究不断深入,已从最初的单一沉降方法发展到结合气浮、膜分离等技术的综合处理系统,广泛应用于水处理、污水回用及废水处理等领域,尤其在电力系统中,已成为污水处理的关键技术之一。

2.3 助沉剂与技术的结合应用

助沉剂是高效沉淀技术中的重要组成部分,常见的助沉剂包括聚合氯化铝、聚丙烯酰胺等。其主要功能是通过改变水中颗粒物的表面性质,促进颗粒物的聚集,形成更大的絮体,从而加速沉降过程。助沉剂的使用可以显著提高沉降效率,特别是在处理细小颗粒物和微量重金属污染物时表现出更好的效果。高效沉淀技术与助沉剂的结合,不仅能提高沉降速率,还能降低污水处理成本,提高系统的整体运行效率。通过对助沉剂的合理选择和使用,可以在不同污水类型的处理中达到最佳的处理效果。

3 高效沉淀技术在电力系统污水处理中的应用

3.1 电力系统污水的处理流程

在电力系统中,污水处理的流程通常包括初沉池、气浮池、过滤池等多级处理步骤。现有的污水处理系统通常

采用传统的重力沉淀法与物理化学方法相结合,但随着电力行业对水质标准的要求提高,传统处理方法面临着效率低、处理效果不稳定的问题。为了提高污水处理效率,高效沉淀技术被逐步引入。高效沉淀技术通过优化沉淀池设计、改进流体力学模型,并结合助沉剂的应用,提高了沉降效率和水的清澈度。在实际应用中,电力行业的污水处理系统已经实现了高效沉淀技术的融合,能够有效减少污水中悬浮物及有害物质,提高处理水质,并达到环保排放标准。

3.2 应用案例分析

以某国内大型火电厂为例,该电厂在实施污水处理技术改造时,引入了高效沉淀技术,并结合现代化的助沉剂应用。改造后的系统主要包括斜板沉淀池与高效沉淀池的联合使用,通过优化水流分布和沉降速度,大大提高了颗粒物的沉降速率,降低了悬浮物和重金属的浓度。在该电厂的实际运行中,处理后的水质大大改善,废水回用率提高了30%。此外,改造后的污水处理系统不仅提高了处理能力,还减少了化学品的使用量,有效降低了处理成本。通过对系统的持续优化,污水处理效果得到稳定,系统的运行效率也大幅提升。

3.3 高效沉淀技术的优势与挑战

高效沉淀技术在电力系统污水处理中的优势明显,尤其在提高沉降效率、降低污水处理成本和提升处理水质方面具有显著作用。其能有效去除污水中的悬浮物、重金属及其他污染物,减少对环境的污染。相比传统方法,高效沉淀技术的处理速度更快,操作更简便,且能有效提高水的回用率,对于电力企业节能降耗具有重要意义。然而,在实际应用中,仍然面临一些挑战。例如,高效沉淀技术的初期投资较高,尤其是在沉淀池的设计和设备安装方面;此外,助沉剂的选择和使用也需要根据不同污水的特点进行优化,否则可能导致过度使用化学剂,增加运营成本。虽然这些挑战在一定程度上制约了其广泛应用,但随着技术的不断发展与优化,未来有望克服这些问题,进一步提升其在电力行业中的应用效果。

4 高效沉淀技术的优化策略

4.1 优化沉淀池设计

沉淀池是高效沉淀技术中的核心设备,其结构设计对沉降效率的提升具有重要影响。优化沉淀池设计首先要从池体结构、流速分布及水流方向等方面进行改进。例如,通过引入斜板沉淀池、斜管沉淀池等新型设计,可以增加沉淀区域,降低水流的湍流,提升沉降速度。优化流速分布可确保水流在沉淀池中的均匀性,使水中的颗粒物能够有效地沉降到底部,而不被带出池外。设备与设施的改进同样至关重要,比如采用自动化的污水流量控制装置,提升污水处理系统的操作稳定性。此外,沉淀池的深度和面积应根据污水的特性、流量和沉降速度进行合理设计,以最大化沉淀效率。

4.2 助沉剂使用优化

助沉剂在高效沉淀技术中起到了加速颗粒聚集、促进沉降的作用。优化助沉剂的使用首先要根据污水的类型和污染物的性质来确定合适的助沉剂种类。例如,聚合氯化铝(PAC)通常用于去除水中的悬浮物和有机物,而聚丙烯酰胺(PAM)则更适用于水中颗粒物的絮凝。在实际应用中,助沉剂的投加量和投加时机也对沉降效果产生重要影响。过量使用助沉剂不仅会增加处理成本,还可能对水质造成负面影响;而不足则可能导致沉降效率低下。因此,在污水处理中,应根据水质变化和实际需求,灵活调整助沉剂的投加量与投加时机。此外,针对不同类型的污水,助沉剂的适应性调整是提高沉淀效率的关键,定期对助沉剂的使用效果进行评估,并根据需要进行优化。

4.3 操作管理与监控技术

高效沉淀技术的优化不仅依赖于设备与材料的改进,还需要高效的操作管理与监控技术的支持。在污水处理过程中,实时监控污水的流量、浑浊度、沉降速率等关键指标,可以为操作人员提供及时的反馈信息,从而对沉淀过程进行优化调整。例如,采用智能监控系统,可以根据污水的实时数据自动调整沉淀池的运行参数,确保系统始终处于最佳运行状态。此外,基于数据分析的操作决策支持系统,可以帮助操作人员通过大数据分析预测污水处理过程中可能出现的问题,并提出相应的优化措施。这种基于数据驱动的操作管理模式,不仅能够提高处理效率,还能减少人工干预,降低故障发生的风险,确保污水处理系统的长期稳定运行。

5 未来展望与研究方向

5.1 新型沉淀技术的研发方向

随着科技的不断进步,传统的高效沉淀技术已经无法完全满足现代污水处理的需求,因此,开发新型沉淀技术成为了研究的热点。基于纳米技术的高效沉淀技术是一种前景广阔的研究方向。纳米材料具有更大的比表面积和独特的物理化学性质,可以增强颗粒物的聚集与沉降速度,在处理细小颗粒和溶解性污染物时表现出显著的优势。特别是纳米颗粒在沉降过程中的应用,能够加速沉降速率并提高水质的清澈度。此外,针对超细颗粒的沉降技术,研究人员正在探索通过改变颗粒物的表面特性和沉降介质的性质,来促进其更快速、更高效的沉降。这些新技术的研发不仅能进一步提升污水处理的效率,还能应对复杂污水中微小颗粒的挑战。

5.2 高效沉淀技术与其他处理技术的结合

未来,高效沉淀技术将不再单独使用,而是与其他水处理技术进行联合应用,以发挥协同效应。例如,高效沉

淀与膜技术的结合,能够充分利用膜的分离效果和沉淀的物理去除优势,共同提升污水处理的效率与水质。膜过滤技术可以有效去除水中的溶解性污染物,而沉淀技术则对颗粒物的去除更加高效。再如,高效沉淀与化学沉淀的联用,能够增强沉降过程中的絮凝效果,特别是在处理含有重金属和难降解物质的污水时,效果更加显著。通过多种技术的联合应用,可以在不增加过多投资的前提下,大幅提升污水处理的效果,降低处理成本,满足更加严格的水质排放标准。

5.3 环境影响与可持续性发展

高效沉淀技术的应用不仅是为了提高污水处理效率,还需要关注其对环境的长期影响和可持续性发展。随着全球环保意识的提高,电力行业在污水处理过程中也应注重绿色技术的应用。在长期运行中,高效沉淀技术的能源消耗较低、化学药剂使用量少,符合绿色环保的要求。但仍需要定期评估该技术对水体、土壤及空气的可能影响,确保其不会产生新的环境问题。未来,电力系统污水处理的绿色发展路径将包括技术创新、资源回收和能效提升等方面,目标是实现污水的零排放或近零排放,同时提升资源的循环利用率。通过这些措施,电力行业的污水处理将更加环保、可持续,推动绿色电力产业的发展。

6 结语

高效沉淀技术在电力系统污水处理中的应用已显著提升了处理效率和水质,尤其在处理悬浮物、重金属和有害物质方面展现了优越性。通过优化沉淀池设计、合理使用助沉剂以及加强操作管理,技术效果得到进一步提升。未来,基于纳米技术的沉淀技术、新型多技术联用以及绿色可持续发展方向将成为研究重点,为电力行业污水处理提供更高效、环保的解决方案。持续优化和创新将推动这一技术在电力系统中的广泛应用。

【参考文献】

- [1]何旭亮,苏波. 电力电缆的敷设在污水处理方面的应用探析[J]. 电子测试,2013(24):202-203.
- [2]蔡明山. 电力监控管理系统在污水处理厂的应用[J]. 工业控制计算机,2014,27(7):29-30.
- [3]陈斌. 电力监控管理系统在污水处理厂的应用分析[J]. 冶金管理,2019(19):132-146.
- [4]陈小杏,许东兴. 磁混凝高效沉淀池在污水厂提标改造工程中的应用[J]. 居舍,2021(9):29-30.
- [5]张博. 污水处理厂的电气设计及节能措施研究[J]. 节能,2023,42(1):94-96.

作者简介:袁宏超(1991.11—),男,汉族,毕业学校:河北工程大学,现工作单位:华电水务朔州有限公司。

电力工程中的施工管理措施分析

侯延杰

中国电建集团河南电力器材有限公司, 河南 漯河 462000

[摘要]随着国家针对电力行业所给予的支持力度持续增大, 电力工程施工在规模方面以及技术要求层面都在不断地提升。不过, 在施工管理环节当中依旧存在着不少的问题, 像是组织协调工作做得不够到位、技术力量较为薄弱、安全隐患出现的频率颇高、设备管理显得十分混乱等等。而这些存在的问题已然对施工效率以及工程质量产生了影响, 甚至还催生出了安全风险。所以说, 对电力工程施工管理加以优化, 引入信息化以及智能化的相关手段, 以此来提升整体的管理水平, 这已然成为了行业发展的极为迫切的一种需求。

[关键词] 电力工程; 施工管理; 优化措施

DOI: 10.33142/hst.v8i5.16494

中图分类号: TM73

文献标识码: A

Analysis of Construction Management Measures in Power Engineering

HOU Yanjie

PowerChina He'nan Electric Power Equipment Co., Ltd., Luohe, He'nan, 462000, China

Abstract: With the continuous increase in support provided by the government for the power industry, the scale and technical requirements of power engineering construction are constantly improving. However, there are still many problems in the construction management process, such as inadequate organization and coordination, weak technical strength, high frequency of safety hazards, and chaotic equipment management. And these existing problems have already had an impact on construction efficiency and project quality, even giving rise to safety risks. So, optimizing the construction management of power engineering, introducing relevant means of informatization and intelligence, in order to improve the overall management level, has become an extremely urgent demand for the development of the industry.

Keywords: power engineering; construction management; optimization measures

引言

电力工程属于现代基础设施的关键部分, 在保障社会生产以及生活方面有着极为重要的作用。伴随电力需求不断增长以及技术持续发展, 电力工程的规模和复杂性都在逐步增大, 施工管理所面临的各种挑战也变得日益明显起来。怎样提高施工管理的水平, 保障项目在质量、安全、进度以及成本控制等方面都能达到相应的要求, 这已然成为行业迫切需要去解决的一个问题。

1 电力工程施工管理的特点

电力工程施工管理有着高度的系统性、专业性以及协同性, 其核心在于对施工全程各类资源予以有效配置并实施动态把控。和一般土建工程不一样, 电力工程施工更为看重多工种、多专业的协同作业, 会涉及到土建、安装、电气、通信、调试等诸多环节, 技术方面的要求颇高, 工序之间的衔接也较为复杂, 施工所花费的时间较长, 并且存在的安全风险也不小。电力工程经常会碰到因外部环境变化而产生的不确定性情况, 像是政策有所调整、受气候影响、设备交付出现滞后等等, 这就对管理者应对变化的能力提出了更高的要求。施工现场的管理工作一方面要保障工程质量以及施工进度, 另一方面还得兼顾成本控制、安全管理以及环保要求, 进而构建起一个涵盖全过程、全

要素、全周期的综合管理架构。所以说, 科学化、精细化以及信息化已然成为了提升电力工程施工管理效能的关键途径。

2 当前电力工程施工管理中存在的问题

2.1 组织协调不力

在电力工程施工期间, 组织协调方面存在的问题堪称制约项目高效推进的突出难题之一。电力工程往往包含多个专业单位以及施工队伍, 涉及到设计、监理、施工、设备供应等诸多环节, 项目参与方数量众多且职责划分较为复杂, 倘若缺少统一且高效的协调机制, 那么就很容易出现信息传递滞后、任务交接不够清晰、资源调配混乱等状况。与此不同参建单位在管理理念、执行标准以及工作流程上存在差异, 这又进一步加大了协调的难度, 常常会出现工序衔接不上、现场管理责任模糊不清等问题, 进而对整体施工效率产生影响。部分项目管理机构内部的组织结构并不合理, 层级较多且反应速度较慢, 没办法及时掌握并干预现场的动态情况, 致使工程进展缓慢、问题反复出现, 最终对施工质量以及工期控制造成影响。

2.2 技术与人员配备不足

当前电力工程施工管理里头, 技术以及人员配备方面存在着关键性的短板, 这一情况实实在在地对工程质量以

及效率的提升形成了制约作用。有一部分项目在正式开工之前,欠缺系统的准备工作,其中设计图纸和施工图纸之间的衔接做得不够顺畅,技术交底工作也没有落实到位,如此一来,到了现场施工的时候,就老是出现技术偏差以及返工这类现象。部分施工单位还面临着高素质技术人员比较匮乏的状况,特别是在电气安装、自动化调试等这些极为重要的环节当中,那些专业能力达不到标准的作业人员,根本没法满足复杂工艺以及高标准质量方面的诸多要求。与此技术管理团队在人员配置上往往是不合理的,存在结构性的短缺情况,像施工管理、技术指导还有质量监督等这些岗位,要么职责出现重叠,要么干脆就是空缺的状态,这就致使技术管控链条出现了断裂,施工现场的问题没办法及时被发现,处理起来也缺乏系统性,对项目整体运行的科学性和规范性造成了极为严重的影响。

2.3 安全隐患控制不严

在电力工程施工期间,安全隐患控制不够严格,这给工程顺利推进以及人员生命财产安全带来了重要影响。其一,部分施工单位落实安全管理制度不到位,存在安全责任划分不清、检查流于表面的情况,致使隐患排查只是走个过场、整改效果不佳。其二,施工现场安全防护设施配备不齐全,有个别高风险作业区域没有按照规定设置警示标志和隔离措施,违章作业、冒险施工等情况屡屡出现。一线作业人员安全意识较为薄弱,缺少必要的安全培训和应急演练,当面对突发事件时,应对能力明显不足。还有一部分工程,在追求工期以及控制成本的压力之下,存在压缩安全投入、简化安全流程的倾向,这使得潜在的安全风险进一步增大,埋下了重大事故隐患。

2.4 材料与设备管理混乱

电力工程施工里,材料和设备管理混乱的情况普遍存在,这严重阻碍了工程进度,也降低了资源利用效率。实际操作时,有些项目没建立起科学的材料与设备管理体系,缺少统一的采购计划以及动态调配机制,结果导致材料供应要么不及时,要么提前堆积,如此一来,既占用了场地资源,又增加了损耗风险。而且,设备验收与台账登记制度执行得不够严谨,部分关键设备进场后未经严格检测就投入了使用,这就为质量与安全埋下了隐患。施工现场材料摆放杂乱无章,标识也不清晰,出入库登记还不规范,如此便让物流流向难以追溯,加大了管理的难度。由于管理信息系统存在不完善之处,或者使用方式不恰当,材料与设备的全生命周期管理出现滞后情况,库存出现了积压与短缺并存的现象,这又进一步加剧了资源浪费以及项目协调失衡的问题。

2.5 信息化水平较低

信息化程度不高这一情况,已然成为阻碍电力工程施工管理朝着现代化方向发展的关键障碍所在。在相当数量的工程项目当中,其施工管理大多还是依靠人工来进行记

录操作,所使用的也是纸质文档,并且沟通方式也仍旧停留在传统的层面,如此一来,信息在传递过程当中效率颇为低下,出现错误的可能性也较大,完全没办法契合复杂工程对于实时数据处理以及动态决策方面的需求。在施工进程里,像进度、质量、安全、成本等等这些关键数据,普遍都欠缺系统的整合以及集中的管控手段,进而形成了信息孤岛这样的状况,最终使得各个部门之间很难做到顺畅的协调,决策所依据的材料也不够充分完备。

3 电力工程施工管理的优化措施分析

3.1 加强施工前期准备与规划

强化施工前期的筹备以及规划工作,这在提升电力工程管理效率以及工程质量方面属于极为关键的基础环节,它同项目能否顺利推进以及得到有效把控有着直接的关联。前期准备不但涉及施工组织设计的科学编制事宜,而且还包含技术方案的优化、施工图的深化审核、资源配置计划的制定以及风险识别与应对策略的系统谋划等方面^[1]。借助于构建完善的前期调研以及论证机制,便能够精准地去掌握工程现场的环境状况、地质方面的条件、气候所具有的特征以及周边的协同资源情况,以此来有效地防止在施工进程当中出现信息不对称以及不可控的相关因素。与此对工期计划以及关键路径予以合理的编排,将各阶段的任务进行细致的分解并做好节点控制,如此便能够保证施工过程可以有序推进,进而减少资源的浪费以及工序之间的冲突。在前期阶段还应当完成对参建单位职责、界面划分以及协调机制的明确界定工作,进而形成管理的闭环状态,为后续各项工作的有序衔接以及高效运行筑牢坚实的基础。

3.2 完善项目组织与协同机制

完善项目组织以及协同机制对于实现电力工程的高效运作以及资源的优化配置而言极为关键。电力工程项目往往涉及多个参建主体以及专业系统,其工程量颇为庞大、周期较长且环节繁杂,倘若缺少清晰的组织架构以及高效的协同体系,那便很容易出现职责交叉、信息滞后的状况以及执行断层等问题。科学的项目组织应当依据工程的特点来设立多层次且多职能的管理体系,要明确各参与方的责任边界以及工作流程,以此确保管理链条紧密连贯、职责能够落实到具体的人身上^[2]。在这样的基础之上构建起跨部门、跨单位的协同机制,推动信息的共享以及资源的联动,如此一来便能够有效地对设计、施工、监理、采购等各个环节之间的接口关系加以协调,减少内部消耗以及重复开展的工作。通过建立起例会制度、协同平台以及问题快速响应机制,可以实现项目动态问题的实时反馈以及闭环处理,进而提升整体管理的系统性以及敏捷性,保障项目目标得以高质量地达成。

3.3 推进施工过程信息化与智能化管理

推进施工过程的信息化以及智能化管理,这无疑是达

成电力工程精细化、高效化管控的一条重要途径。伴随工程复杂程度持续提高,传统管理方式已然很难契合对于实时性、准确性还有系统性的管理方面的需求了。在引入像BIM、GIS、物联网、云计算这类先进技术之后,能够达成对施工进度、资源配置、质量安全这些核心要素的全流程数字化管理,切实有效地消除信息孤岛现象,强化数据的互通以及协同方面的效能。智能监测设备能够针对现场的温度、电压、机械运行状态等关键参数展开实时的采集以及预警工作,进而提升施工的安全水准与响应的效率;而可视化管理平台则可助力决策层精确地把控项目的整体情况,及时地对计划与资源分配做出调整。

3.4 强化安全生产与风险控制体系

强化安全生产以及风险控制体系在电力工程施工管理当中属于极为重要的保障内容,其与项目的顺利开展以及人员的生命安全紧密相关。电力工程施工所处的环境颇为复杂,其中涉及到高空作业、重型机械的操作、高压电力设备等众多危险源,所以在安全管理的每一个环节都不能有所忽视。要想有效地防止安全事故的发生,就需要建立起系统的管理体系,要清晰地明确各项安全责任,同时还要进一步完善安全生产的相关标准以及应急预案。借助实施面向全体员工的安全培训工作、定期开展安全检查活动以及在现场开展安全监督举措,以此来保证每位员工都能够具备必要的安全意识以及相应的操作技能^[3]。还应当构建起动态的风险评估机制,依据工程所处的不同进展阶段以及现场环境的变化情况,及时且准确地识别出潜在存在的安全隐患,并且采取具有针对性的防范举措。综合运用现代化的信息技术手段,能够对施工现场的安全状况展开实时的监控以及细致的数据分析,进而及时地发现并排除各类风险因素,最终形成一个全方位且多层级的风险防控体系,借此提升项目的安全保障能力以及风险应对的能力。

3.5 提高施工人员综合素质与培训力度

提升电力工程施工质量以及效率的关键举措之一在于提高施工人员的综合素质并加大培训力度。伴随工程技术持续向前发展,施工要求变得愈发严格起来,施工人员不但要掌握基本的操作技能,而且得具备较高的专业素养以及解决复杂问题的能力^[4]。当下部分施工队伍的技能水平跟项目需求间存在着颇为显著的差距,在高技术岗位以及关键环节上,专业能力有所欠缺的情况往往会直接对工

程进度以及质量产生影响。所以,务必要加大对施工人员的培训力度,制定出系统化的培训计划,包含安全生产、技术操作、应急处理等诸多方面。与此借助强化岗位轮换、现场实操训练以及专题讲座等多种方式,助力员工不断提升技能水平与综合素质。结合现代信息技术,去建设在线学习平台或者虚拟仿真环境,让施工人员可以随时开展知识更新以及技能提升方面的相关事宜,进而满足现代电力工程施工对于高素质人才所提出的需求。

4 结语

在电力工程施工管理方面,优化措施的施行对于提升项目整体的质量、效率以及安全性而言,无疑是极为关键的。从前期的各项准备工作开始,一直到信息化管理环节,再进一步涉及到安全控制以及人员培训等方面,每一项优化措施彼此之间都是紧密相连、环环相扣的,它们一道推动着工程得以顺利地推进实施。不过在实际的操作过程当中,要想让这些措施切实有效地得到落实,那就得依靠管理者做出科学合理的决策并且具备较强的执行力,同时还需要全体施工人员齐心协力、共同付出努力才行。往后的日子,随着技术不停地向前发展以及管理理念不断地进行创新,电力工程施工管理必定会沿着更加智能化、更加精细化的道路持续地迈进下去。所以提升施工管理的整体水准,这既是当下行业发展所迫切需要的,也是实现可持续发展以及高效能源利用必不可少的重要保障。通过不断地去优化各项管理措施,电力工程才能够更好地去适应那种复杂多变的施工环境以及日趋严峻的各种挑战,从而为社会给予更加稳定可靠、更加安全有保障的电力供应服务。

【参考文献】

- [1]朱文博,张芸. 配电网电力工程施工安全管理及消防措施分析[J]. 消防界(电子版),2023,9(24):117-119.
- [2]魏家干. 电力工程中的施工管理措施分析[J]. 集成电路应用,2022,39(11):291-293.
- [3]傅蓉. 电力工程施工项目经营管理及成本控制措施分析[J]. 纳税,2021,15(31):177-178.
- [4]徐清泽. 电力工程施工管理的质量控制策略研究[J]. 销售与管理,2025(5):120-122.

作者简介:侯延杰(1989.4—),毕业院校:河南机电高等专科学校,目前就职单位:中国电建集团河南电力器材有限公司,职称级别:助理工程师

人工智能技术在新型电力系统中的应用

屈昊联 王 宇

内蒙古电力集团阿拉善供电公司, 内蒙古 阿拉善 750306

[摘要]人工智能技术在新型电力系统中的应用,通过构建智能化电力调度和优化控制模型,实现电网运行状态的实时监测与故障诊断,有效提升系统的稳定性和运行效率。基于大数据分析和机器学习算法,构建负荷预测模型和能效评估系统,对复杂多变的电力需求进行精准预测和智能调控,提升供电可靠性和可再生能源利用率。在电力设备智能运维中,通过深度学习算法识别故障特征,优化设备健康管理和寿命预测,降低维护成本和非计划停机风险。人工智能在电力系统中应用推动智能电网建设,促进能源管理现代化和低碳化发展。

[关键词]人工智能技术;新型电力系统;智能电网;大数据分析;设备运维

DOI: 10.33142/hst.v8i5.16491

中图分类号: TM73

文献标识码: A

Application of Artificial Intelligence Technology in New Power Systems

QU Haolian, WANG Yu

Alxa Power Supply Company of Inner Mongolia Power Group, Alxa, Inner Mongolia, 750306, China

Abstract: The application of artificial intelligence technology in the new power system achieves real-time monitoring and fault diagnosis of the power grid operation status by constructing intelligent power dispatching and optimization control models, effectively improving the stability and operational efficiency of the system. Based on big data analysis and machine learning algorithms, a load forecasting model and energy efficiency evaluation system are constructed to accurately predict and intelligently regulate complex and changing electricity demands, improving power supply reliability and renewable energy utilization. In intelligent operation and maintenance of power equipment, deep learning algorithms are used to identify fault characteristics, optimize equipment health management and life prediction, reduce maintenance costs and unplanned downtime risks. The application of artificial intelligence in the power system promotes the construction of smart grids, modernization of energy management, and low-carbon development.

Keywords: artificial intelligence technology; new power system; smart grid; big data analysis; equipment operation and maintenance

引言

随着能源结构转型和可再生能源比例的逐步提升,新型电力系统的构建已成为电力行业发展的重要方向。在复杂多变的电网环境下,传统电力系统面临调度复杂、故障预警不足及能效管理滞后的挑战。人工智能技术凭借其在数据处理、模式识别及预测分析方面的优势,正逐步成为解决这些难题的关键手段。通过智能算法和数据挖掘技术,能够实现电网运行状态的精准监测和设备健康管理,有效提升电力系统的智能化和低碳化水平,助力现代电力系统的高效稳定运行。

1 人工智能在电力系统调度优化中的应用

1.1 人工智能算法在电力负荷预测中的应用

电力负荷预测是电力系统调度的核心环节之一,直接影响电力资源的合理分配与电网稳定性。传统负荷预测方法主要依赖于时间序列分析和统计建模,面对多变的电力需求和复杂的外部环境,预测精度难以保证。人工智能技术的引入,特别是基于深度学习和神经网络的方法,有效提升了负荷预测的准确性。通过对历史电力负荷数据、天气条件、节假日效应等多种因素进行综合分析,人工智能算法能够动态调整预测模型,使负荷预测具备更强的适应

性与准确性。特别是在短期和超短期负荷预测中,基于LSTM(长短期记忆网络)和GRU(门控循环单元)的算法表现出色,为电网调度提供了可靠的数据支撑。

1.2 电力优化分配中的智能调控技术

在电力系统中,优化分配是提升供电可靠性和减少能耗的关键环节。人工智能技术通过构建智能优化模型,能够实时分析电力需求和供给状况,实现发电与输电的高效调度。基于强化学习的调控算法能够在动态变化的电力环境中进行自主学习和策略调整,优化发电机组的启停策略和电力负荷分配。针对多能源电力系统,人工智能可以有效协调新能源和常规能源的输出,实现多能互补和分布式供电优化。在应对突发负荷变化和电网扰动时,智能调控系统能够迅速做出反应,保障电网的稳定运行。

1.3 实时监测与故障预警中的智能化应用

在电力系统的实时监测中,人工智能技术通过构建数据驱动的监控模型,实现对电网运行状态的精准感知。基于大数据分析,人工智能算法可以快速捕捉异常变化和故障信号,通过模式识别技术进行预警提示。例如,基于卷积神经网络(CNN)和自编码器(Autoencoder)的故障检测算法能够识别电力设备运行中的微弱故障信号,有助于

提前制定维护策略。在输配电环节,通过融合物联网传感器和智能算法,构建实时监测平台,能够持续跟踪电网运行状态,实现故障诊断与快速响应。

1.4 提升电力系统运行效率与稳定性的实践

通过人工智能技术在调度优化中的综合应用,电力系统运行效率得到了显著提升。优化负荷预测减少了电力过度供应和短缺的风险,智能调控算法优化了电力资源配置,提高了供电可靠性。同时,实时监测与故障预警系统则进一步保障了电力设备的健康运行,有效降低了非计划停机事件的发生率。人工智能技术在电力调度中的深入应用,不仅提高了运行效率,还显著增强了电网的智能化水平和抗风险能力,为建设稳定高效的新型电力系统提供了技术保障。

2 智能故障诊断与预警在电力设备运维中的实践

2.1 深度学习在电力设备故障特征识别中的应用

电力设备在运行过程中容易受到环境因素、机械磨损和操作失误的影响,导致故障频发。传统故障诊断方法主要依赖于人工巡检和定期维护,存在时效性差和精确度不足的问题。深度学习技术的引入,使电力设备故障特征识别实现了智能化。基于卷积神经网络(CNN)的图像识别算法,可以自动提取设备表面缺陷和异常现象,如裂纹、腐蚀和过热痕迹。在信号处理方面,基于长短期记忆网络(LSTM)和递归神经网络(RNN)的时序分析方法,能够精准捕捉设备振动、温度和电流波动信号中的异常特征,显著提高了故障识别的准确性。

2.2 健康状态预测在设备运维管理中的实践

设备健康状态预测是智能运维管理的重要环节,旨在对设备运行状态进行全面评估,提前预判可能出现的故障风险。基于深度学习的健康状态预测模型,综合分析设备运行历史数据、实时监测参数和环境变量,构建具有自学习能力的状态评估体系。基于深度置信网络(DBN)和自编码网络(Autoencoder)的预测算法,通过提取多维数据特征,实现设备劣化趋势预测和剩余寿命估算。在实际应用中,如变压器绝缘老化分析和高压开关接触电阻劣化监控,深度学习方法有效减少了误报和漏报现象,提升了设备运行状态管理的科学性和精确性。

2.3 故障预警与运维策略优化

基于机器学习和深度学习算法的智能预警系统,通过实时数据分析和故障模式匹配,实现潜在风险的快速识别与提示。在配电设备管理中,基于支持向量机(SVM)和随机森林(RF)的分类算法能够识别电压波动、过载和短路隐患,辅助调度人员做出科学决策。同时,通过运维策略优化,结合历史运维数据和当前故障预警信息,建立智能维护决策模型,合理安排设备检修和更换周期,降低非计划停机次数和维护成本。

2.4 提升设备可靠性与寿命的技术措施

通过深度学习算法与数据分析技术的有效融合,电力

设备智能化运维管理在提升可靠性和寿命方面取得了显著成效。通过自动化故障特征提取和精确的健康状态预测,提前介入设备潜在故障管理,大大减少了突发停机事故。智能预警系统使维护管理更加主动和灵活,有效缓解了传统运维中的滞后性和被动性问题。在电力系统现代化进程中,智能化故障诊断与预警技术的推广应用,显著提高了设备管理水平和系统运行的安全性,推动了电力设备运维向智能化、自动化方向发展。

3 基于人工智能的电力系统能效管理与优化策略

3.1 能效评估模型的构建与优化

电力系统能效管理的核心在于准确评估系统能耗及效率水平,识别能量流失的关键环节。传统能效评估方法多依赖于经验公式和统计分析,难以在复杂电力环境中实现动态调整和精准分析。人工智能技术的应用,特别是基于机器学习的能效评估模型,通过对历史能耗数据、电力负荷变化及环境参数进行深度挖掘,构建出更加灵活和精准的能效分析框架。基于回归算法和神经网络模型,能够预测不同工况下的能耗水平,并实时更新评估结果。通过集成聚类算法和异常检测方法,能效评估模型能够自动识别异常能耗现象,提供科学的节能策略建议,有助于电力系统的优化管理。

3.2 智能能耗监控与数据分析

在智能电网的构建过程中,能耗监控已成为能效管理的重要环节。利用人工智能算法,通过物联网传感器实时采集电网设备运行数据,如电压、电流、温度和功率因数,进行综合分析和处理。基于大数据分析平台,融合K-means聚类和关联规则挖掘技术,实现能耗数据的分类与特征提取。在监控电网运行状态的同时,基于深度学习算法(如CNN和RNN)的能耗预测模型,可识别高能耗节点及潜在能效问题。通过构建能耗数据的特征矩阵和多维关联分析,能够更全面地掌握能耗分布规律和波动特性,为后续节能优化提供可靠依据。

3.3 节能优化方案设计与实施

在提升电力系统能效方面,基于人工智能的节能优化方案设计能够有效应对电网能量利用率偏低的问题。强化学习算法在节能优化中具有较强的自主学习和决策能力,通过对调度策略的不断改进,逐步实现能耗最小化和效率最大化。在智能发电系统中,基于遗传算法和粒子群优化(PSO)的发电调度模型,能够在多目标约束下实现最优调度策略,提高电能转化效率。在配电环节,基于支持向量回归(SVR)算法的配电优化方法,可实时调整负荷分配,减少能量损耗。节能优化方案不仅在技术层面具备先进性,还在实际应用中具有显著的经济效益和环境效益。

3.4 提高能效管理水平的实践路径

通过人工智能技术与能效管理的深度融合,电力系统的节能水平得到显著提升。智能能耗监控系统实时监测电

网运行状态,减少能量浪费和过载风险。基于机器学习的能效评估模型为节能管理提供科学依据,实现能效管理的精细化和动态化。节能优化方案则通过算法迭代与策略改进,使电力资源配置更趋合理,推动智能电网的建设与绿色发展。能效管理的提升不仅优化了电力系统整体运行效率,还在低碳经济发展中发挥了积极作用,助力可持续能源体系的构建。

4 人工智能在新能源电力系统中的融合应用

4.1 风电发电量预测中的人工智能应用

风电作为新能源的重要组成部分,其发电量具有强烈的随机性和间歇性,给电网稳定运行带来巨大挑战。传统预测方法如物理建模和统计分析,难以充分捕捉风速和风向的复杂变化特征。人工智能技术,尤其是深度学习算法,在风电功率预测中展现出独特优势。基于长短期记忆网络(LSTM)和卷积神经网络(CNN)的预测模型,能够综合考虑历史风速、风向、温度和湿度等多维数据,构建多变量时间序列预测框架。在实时预测中,基于迁移学习的方法,可利用相邻风电场的预测模型,快速调整当前模型参数,显著提升短期和超短期风电功率预测的准确性,为风电并网调度提供科学依据。

4.2 光伏发电功率波动平抑中的智能策略

光伏发电受光照强度、环境温度和气象条件影响较大,输出功率易产生大幅波动,导致电网电压频繁波动。为了缓解光伏发电的间歇性和不稳定性,人工智能技术通过构建智能控制模型,实现功率波动的平抑与调控。基于模糊控制和神经网络的混合算法,能够在功率突变时快速调整逆变器输出功率,保持电压平稳。在分布式光伏系统中,基于强化学习的分布式控制策略,可以协调多个光伏发电单元的输出,使其在不同光照条件下协同工作,减少波动影响。同时,基于深度强化学习的储能优化控制算法,能够在功率过剩时进行储能,在功率不足时释放能量,实现新能源出力的平滑化。

4.3 储能管理优化中的人工智能实践

新能源电力系统的发展对储能系统提出了更高的智能化管理要求。人工智能技术通过优化储能调度策略,提高能量存储与释放的效率,助力新能源电力系统的稳定运行。在锂电池储能和飞轮储能系统中,基于贝叶斯优化和粒子群算法的能量调度策略,能够在功率波动剧烈时实现快速响应和灵活调整。结合大数据分析和机器学习,构建储能系统的健康管理模型,对电池充放电效率及衰减特性进行实时监控,预测电池寿命及维护需求。在多

能互补系统中,基于多目标优化算法的储能调度方案,实现了风能、光能和电能的协同利用,优化储能设备的利用率和系统能效。

4.4 新能源电力系统的协调控制与集成应用

在新能源与传统电力系统深度融合的背景下,人工智能在协调控制中的作用愈发突出。智能控制算法通过融合风电和光伏出力特征,实现电网频率和电压的动态调整。基于遗传算法和模糊控制的协调控制策略,能够在新能源比例快速增加时,稳定电网运行。智能预测调度系统综合考虑新能源发电特性和负荷波动,优化电力调度计划,平衡发电与用电需求。同时,通过集成物联网与云计算平台,实时采集新能源场站的运行数据,利用智能算法分析功率特性和输出趋势,形成自适应调整机制。

5 结语

人工智能技术在新型电力系统中的应用,正在推动电力行业向智能化、自动化和高效化方向迈进。通过构建智能化电力调度与优化控制模型,有效提升了电网运行效率和稳定性。智能故障诊断和预警系统的应用,显著增强了设备运维管理水平,减少了非计划停机和维护成本。在能效管理领域,基于人工智能的优化策略有效提高了电力系统整体能效,实现了节能降耗的目标。在新能源电力系统中,人工智能技术不仅提升了风电和光伏发电的稳定性,还实现了储能管理和协调控制的智能化。人工智能的广泛应用,助力构建智能电网,推动电力系统高效、低碳和可持续发展。

[参考文献]

- [1]高鑫,王奕雯,李世豪.基于人工智能技术的新型电力系统调度优化分析[J].电力设备管理,2024(21):135-137.
 - [2]张俊,蒲天骄,高文忠,等.电力系统智能计算的关键技术及应用展望[J].发电技术,2025(1):18.
 - [3]刘早,王琴.深化人工智能技术在能源电力行业的融合应用[N].国家电网报,2025-03-10(03).
 - [4]马健.智能技术在新型电力系统分析和控制中的应用[J].集成电路应用,2024,41(4):206-207.
 - [5]樊晓玲.新型电力系统下智能配电网技术在配电设备中的应用研究[J].现代制造技术与装备,2024(2):39-41.
- 作者简介:屈昊联(1985.1—),男,毕业于华北电力大学,硕士研究生学历,副高级工程师,研究方向:电气工程;王宇(1986.8—),男,毕业于内蒙古工业大学,硕士研究生学历,副高级工程师,研究方向:电气工程。

输配电及用电工程线路运行的影响因素与对策

潘利南

浙江赢坤电力设计有限公司, 浙江 杭州 310000

[摘要] 输配电线路的安全运行直接影响到用户用电的安全性以及企业的生产效益, 其运行质量对电力系统的安全性和供应稳定性至关重要。因此, 确保输配电及用电工程线路的安全运行管理一直是人们高度关注的问题。然而, 随着我国电网建设规模的不断扩大和容量的增加, 输配电负荷大幅上升, 导致电力系统的正常运行难以得到有效保障, 进而影响到人民群众的安全用电。为了解决这一问题, 电力企业需要通过积极引入先进的安全技术, 强化材料质量管理, 并做好日常运行维护等措施, 优化输配电及用电工程线路的安全性能。这样, 能够有效消除潜在的安全隐患, 切实提高线路的安全运行水平, 确保电力的稳定供应。

[关键词] 输配电; 用电工程; 线路运行; 影响因素; 对策

DOI: 10.33142/hst.v8i5.16489

中图分类号: TM75

文献标识码: A

Factors and Countermeasures Affecting the Operation of Transmission, Distribution, and Power Engineering Lines

PAN Linan

Zhejiang Yingkun Electric Power Design Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310000, China

Abstract: The safe operation of transmission and distribution lines directly affects the safety of electricity consumption for users and the production efficiency of enterprises. The quality of their operation is crucial for the safety and supply stability of the power system. Therefore, ensuring the safe operation and management of transmission, distribution, and power engineering lines has always been a highly concerned issue. However, with the continuous expansion of China's power grid construction scale and the increase in capacity, the transmission and distribution load has significantly increased, making it difficult to effectively guarantee the normal operation of the power system, thereby affecting the safe use of electricity by the people. To solve this problem, power companies need to actively introduce advanced safety technologies, strengthen material quality management, and take measures such as daily operation and maintenance to optimize the safety performance of transmission, distribution, and power engineering lines. In this way, potential safety hazards can be effectively eliminated, the safe operation level of the line can be effectively improved, and the stable supply of electricity can be ensured.

Keywords: power transmission and distribution; electrical engineering; line operation; influencing factors; countermeasures

引言

输配电及用电工程线路是电力系统中至关重要的核心组成部分, 承担着将电力从发电源传输至终端用户的关键任务, 确保了电力供应的稳定与可靠。然而, 随着社会的迅速发展和能源需求的不断增长, 输配电线路面临着更加复杂和多变的运行环境与挑战。设备的老化、环境的变化以及技术管理等因素, 都会对线路的运行安全与质量产生影响。尤其是天气波动、设备故障、外部干扰等因素, 可能导致电力供应中断或电力质量问题, 进而影响社会的正常运行。为了提升输配电线路的运行效率与安全性, 并确保电力系统的稳定运行, 各类技术措施与管理对策的有效实施显得尤为关键。通过分析影响输配电及用电工程线路运行的各种因素, 采取科学有效的解决方案, 系统的可靠性及电力供应质量的提升将变得至关重要。这些因素对电力行业的可持续发展与智能电网的建设具有深远的影响。由此可见, 深入探讨影响因素, 并提出有针对性的改

进措施, 不仅有助于提高系统的运行效率, 还能为电力行业的长远发展提供有价值的参考与实践指导。

1 输配电及用电工程特点

输配电及用电工程在电力系统中占据着至关重要的地位, 涵盖了电力从发电源到终端用户的传输与分配。其复杂性、庞大的规模以及对实时性的高度依赖, 是该系统的显著特点。广泛的地理范围需要输配电工程覆盖, 涉及高压输电线路、变电站及配电网, 形成了一个庞大且分布广泛的电力传输体系。此外, 强大的抗干扰能力与高效的故障处理能力, 是输配电系统所必需的, 因为外部环境的变化, 如天气波动、地理条件及设备老化等, 可能会影响线路的运行安全。决定电力供应质量的核心要素, 是稳定性与可靠性。因此, 精确的调度与高效的管理显得至关重要。用电工程则负责最终将电力送达用户端, 包括满足住宅、工业、商业等不同领域的电力需求。为了确保电力供应的稳定与高质量, 严格的技术标准与规范必须被遵循,

尤其是在设备选型、线路建设、维护及运行的各个环节中,先进的技术手段,如自动化监控、智能配电及智能化管理系统等,必须得到应用。

2 输配电及用电工程线路安全运行的影响因素

输配电及用电工程线路的安全运行受到多种因素的综合影响,这些因素包括自然环境、设备状况、运行管理及外部干扰等。气候变化和自然灾害,尤其是雷电、强风、暴雨、冰雪等极端天气,常常直接对线路设施造成损害,导致设备故障或线路中断,成为影响线路安全的重要因素。设备的老化与维护不当,也是影响线路安全运行的关键因素。随着使用年限的增加,电线、电缆、变压器、开关设备等电力设施容易发生老化、磨损或损坏,从而影响线路的正常运行。线路的设计与建设质量,亦对其安全运行起着至关重要的作用。若线路规划不合理、施工质量低劣或所用材料不符合标准,潜在的风险将被增加,进而影响线路的安全性。外部人为因素,亦不可忽视。施工干扰、电力盗窃以及人为破坏等行为,都可能对线路安全带来威胁。最后,线路的负载情况与日常运行管理,亦会显著影响其安全性^[1]。若线路处于过载运行状态,过大的电流压力将迫使线路承受超负荷运转进而可能导致设备损毁,甚至引发火灾等安全问题。

3 输配电及用电工程线路安全运行技术应用

3.1 绝缘子防污技术

绝缘子防污技术在输配电及用电工程线路的安全运行中起着至关重要的作用,尤其是在气候潮湿或空气污染严重的地区。污秽附着在绝缘子表面,会显著降低其电气性能,进而增加电力设备故障的风险。随着对电力系统供电稳定性要求的不断提升,污秽对绝缘子的影响,逐渐成为影响线路安全运行的关键因素之一。绝缘子表面污秽的积聚,会导致电场分布不均,从而可能引发局部放电现象,形成闪络电流,最终造成绝缘子击穿或其他电气事故。为了应对这一问题,绝缘子防污技术致力于改善其表面性能、增强抗污能力,并延长使用寿命。常见的防污措施,通常包括在绝缘子表面涂覆防污涂层,这可以有效减少污秽的附着力,防止水珠在表面形成导电桥接,从而降低电气事故发生的可能性。此外,新型复合绝缘子的应用,逐渐替代了传统的瓷质绝缘子。复合材料因其优异的防污性能和抗腐蚀特性,显著提升了绝缘子的耐久性与稳定性。定期清洁与维护,也是防污技术中不可忽视的环节,特别是在雨水较多或湿度较大的地区,定期清洗绝缘子表面有助于清除积聚的污秽,恢复其电气性能。

3.2 信息管理技术

信息管理技术在输配电及用电工程线路的安全运行中,已成为提升线路管理效率及确保系统稳定性的关键手段。随着电力系统日益复杂且信息化程度不断提高,传统的人工巡检及数据记录方式,已无法满足现代电力系统对

实时监控及精准调度的需求。信息管理技术的引入,不仅使得数据采集的自动化水平大幅提高,还增强了系统运行的监控能力与决策支持功能。通过实时数据采集与监测技术,输配电线路的运行参数,如电流、电压、温度、负荷等信息,能够被即时传输到监控中心,运维人员可以随时获取线路的健康状态及潜在故障隐患。同时,集成化的智能监控平台,使得故障诊断得以更加精准和迅速。在问题初现时,能够提供预警,并给出应急处理方案。信息化管理的优势,不仅在于提升了线路运行的透明度,还有效减少了人工巡检中的疏漏与误差,优化了资源调度与维护计划,进一步提高了整体运行效率与可靠性。随着大数据、云计算及物联网技术的快速发展,信息管理技术不仅增强了线路的远程监控能力,还能通过历史数据分析,预测设备故障趋势,提前实施预防性维护,从而降低设备故障率及停运时间,确保了输配电及用电工程线路的安全与稳定运行。

3.3 防风技术

防风技术在确保输配电及用电工程线路安全运行方面,具有至关重要的作用,尤其是在风力较强的地区。强风对电力线路的影响,不仅体现在对线路本身的物理冲击上,还会显著影响电力设备的稳定性、运行效率及安全性。强风常常导致电力线路发生摆动、拉伸,甚至被拉断,进而引发导线断裂、绝缘子损坏或杆塔倾斜等问题^[2]。严重时,电力系统的大规模停运可能因此而发生。因此,防风技术的实施,对于减少风灾对电力系统的损害、提升电网韧性及抗灾能力,显得尤为重要。防风技术的应用,主要包括风荷载计算、合理设计与选型风力防护装置,以及风力监测与预警系统等内容。通过对风力影响的科学计算,在设计阶段,线路的承载能力可以被充分考虑,从而选择更为坚固、耐风的导线、支撑结构及设备。在实际应用中,防风技术还涉及风力预警系统的部署。结合气象数据,风暴的可能性能够被预测,并对线路进行提前预警,进而采取相应的应急措施,如加固结构或关闭部分设备等,以最大程度减少风灾带来的损失。此外,在重点区域,防风网、风障等防护装置的设置,能够有效降低风力对电力设施的直接冲击。随着信息技术的进步,智能化防风技术,逐渐成为研究的热点。通过结合实时气象信息与监控数据,风力预测与响应机制的精准性得以提升,从而使防风技术的科学性与准确性得到了增强。

3.4 防雷技术

为了提升输配电及用电工程线路的运行效率和质量,采取科学、有效的防雷措施至关重要,确保线路的平稳运行。然而,由于输配电及用电工程线路的复杂性,电力企业需要根据具体情况,结合线路的耐雷水平和历史跳闸率,选择合适的防雷措施。为降低雷击风险,电线的设计应具备良的避雷效果^[3]。同时,还需做好感应电压的分流和

耦合处理工作,确保杆塔接地电阻得到有效控制,以最大限度地提升线路的防雷避雷能力。

4 保证输配电及用电工程线路安全运行的对策

4.1 提高人员素质

提高人员素质,是确保输配电及用电工程线路安全运行的关键措施之一。在电力行业,工作人员不仅需具备扎实的专业知识,还应具备较强的应急反应能力与安全意识。随着输配电网络日益复杂,以及技术要求不断提升,操作人员的技术水平、经验积累与对安全管理的重视程度,直接影响着电力系统的稳定性与安全性。在工程线路的设计、安装、调试、维护等环节,相关人员应接受系统的专业培训,掌握现代化设备的操作技能、使用规范及故障排除方法。同时,技术人员应不断更新自己的知识储备,学习先进技术与管理方法,以适应电力行业的快速发展需求。此外,提升人员素质,还包括增强安全意识,定期组织安全培训与应急演练,强化对线路施工、设备运行及日常维护中安全规范的执行。通过这些措施,能够确保操作人员在复杂环境下,正确判断并及时处理突发问题,从而避免安全事故的发生。提高责任心,同样至关重要。每一位员工应对自己的工作负责,严格执行操作规范,方能确保输配电及用电工程线路的安全与稳定运行。为了进一步提升工作效率与安全性,电力企业应鼓励团队协作与跨部门沟通,促进技术人员之间的经验分享与问题交流,从而提升整体的工作水平。

4.2 加强零部件、设备和材料的质量管理

加强零部件、设备及材料的质量管理,对于确保输配电及用电工程线路的安全运行,至关重要。输配电系统的稳定性与安全性,深受零部件、设备和材料质量的影响。任何环节的质量问题,都可能引发严重的故障或事故。因此,电力企业必须在各个环节上,对零部件、设备与材料实施严格的质量控制。从采购到使用、从验收到储存,每一环节,都应建立完善的质量管理体系,以确保系统的长期可靠运行。在采购阶段,企业应选择具有良好资质和信誉的供应商,确保所采购的设备和材料,符合国家及行业的质量标准与技术要求。与此同时,必须通过严格的验收程序,对其进行质量检验,确保其达到设计要求并符合安全标准。在存储与使用过程中,应严格遵守规定的环境条件与操作规范,防止因环境不适或操作不当,导致设备及材料性能的下降或损坏^[4]。定期检测与维护设备,亦是至关重要的一环。这有助于及时发现潜在故障隐患,并确保设备在长期运行中的稳定性。质量管理人员应具备丰富的专业知识与操作经验,能够迅速识别问题并采取有效的解决措施,以确保每一项设备的运行,始终符合安全和质量要求。

4.3 提高输配电及用电工程线路的检修效率

提高输配电及用电工程线路的检修效率,是确保线路安全运行的核心措施之一。随着电力需求的持续增长以及输配电系统日益复杂,及时且高效的检修显得尤为关键。检修效率的提升,不仅能有效减少设备故障及停运时间,还能大幅降低检修成本,进而保障电力系统的稳定性与供电的可靠性。在实际操作中,要提升检修效率,需从多个维度着手。首先,检修人员的培训是基础。通过提升他们的专业技能与应急处理能力,能够确保在出现问题时,迅速且精准地识别并采取应对措施。除此之外,采用先进的检测技术与设备,如无人机巡检、红外成像与振动监测等,可以实时获取线路的运行状态,提前发现潜在故障点,从而减少停机时间及突发故障的发生。合理的检修计划和流程,也对提高检修效率至关重要。通过科学安排检修周期,避免过度检修或延迟检修,能够提高检修的效率与针对性。在设备发生故障时,优化维修组织和人员的调配,确保快速响应并采取有效措施,以尽可能缩短故障恢复的时间。此外,信息化技术的应用,诸如智能监控系统和数据分析平台,也为提高检修工作的效率与准确性提供了有力支持。借助这些技术,检修人员能实时掌握线路的运行状态,制定更加科学合理的检修策略。

5 结语

输配电及用电工程线路的安全性,对于电力系统的稳定运行及社会经济的持续发展,至关重要。随着电网规模的不断扩大以及用电需求的急剧增加,保障线路的安全运行,面临了更为复杂的挑战,尤其是在复杂环境与高负荷情况下,问题显得更加突出。为提高线路的运行质量,电力企业应着力于技术创新、提升人员素质,以及优化设备与材料的管理。与此同时,日常维护与检修工作的完善,同样也至关重要。通过科学的管理方法与技术应用,能够有效提升线路的安全性,及时消除潜在隐患,确保电力系统的稳定运行。落实这一系列措施,不仅能够确保电力供应的安全与持续,还能为社会经济的健康发展提供坚实的保障。

【参考文献】

- [1]肖岩.输配电及用电工程线路的影响因素及安全运行策略[J].设备管理与维修,2024(22):132-135.
 - [2]郑逸飞.输配电及用电工程线路安全运行的技术探究[J].中国设备工程,2024(14):234-236.
 - [3]周攀.输配电及用电工程线路安全运行技术要点与应用[J].电力设备管理,2024(24):39-41.
- 作者简介:潘利南(1994—),毕业于西南交通大学,电气工程及其自动化专业。

用电检查中计量装置接线异常判别方法研究

曹峻峰 那娜

内蒙古电力集团阿拉善供电公司, 内蒙古 阿拉善 750306

[摘要] 计量装置若接线异常, 便会成为影响电力系统正常运行和电能计量准确性的关键问题, 异常的接线情况, 不仅会引发计量误差, 甚至会引发设备损坏以及安全上的隐患, 对常见接线异常的类型、缘由及危害加以分析, 把传统人工检查跟智能化检测方法结合起来, 推出了一个综合判别模型, 此模型借助先进的智能算法跟数据分析办法, 实现了接线异常的精准判定与实时查控, 增强了电力系统的安全稳定性与可靠运行能力, 研究所得为电力检查领域给出了可行的技术途径, 具备关键的实际应用意义。

[关键词] 计量装置; 接线异常; 智能化判别; 电力系统; 数据分析

DOI: 10.33142/hst.v8i5.16483

中图分类号: TM933

文献标识码: A

Research on the Method for Distinguishing Abnormal Wiring of Measuring Devices in Electrical Inspection

CAO Junfeng, NA Na

Alxa Power Supply Company of Inner Mongolia Power Group, Alxa, Inner Mongolia, 750306, China

Abstract: If the wiring of the measuring device is abnormal, it will become a key issue affecting the normal operation of the power system and the accuracy of energy measurement. Abnormal wiring not only causes measurement errors, but also equipment damage and safety hazards. Analyzing the types, causes, and hazards of common wiring abnormalities, a comprehensive discrimination model is proposed by combining traditional manual inspection with intelligent detection methods. This model uses advanced intelligent algorithms and data analysis methods to achieve accurate judgment and real-time control of wiring abnormalities, enhancing the safety, stability, and reliable operation capabilities of the power system. The research results provide a feasible technical approach for the field of power inspection and have key practical application significance.

Keywords: measuring device; abnormal wiring; intelligent discrimination; power system; data analysis

引言

电力系统中, 关键设备之一便是计量装置, 承担着对电能进行精准计量与监测的任务, 接线异常状况会极大损害电力计量的精准度, 大概会引发设备故障与安全隐患, 国内外在相关研究上已有一定成果, 但目前采用的方法仍存在判别精度不足、实时性差的弊端, 把传统检查方法跟智能化技术结合起来, 给出一种高效判定接线异常的模型, 目的是增强电力系统的安全与可靠能力, 文章为电力行业量身定制了创新性解决方案, 具备显著的实际应用意义与推广潜力。

1 计量装置接线异常的类型与危害

1.1 计量装置接线异常的常见类型

计量装置接线准确与否, 直接关乎电力系统的正常运转, 正常接线跟异常接线的主要不同之处是电流、电压信号传输是否稳定, 是否存在接触欠佳、连接出错等情形, 诸如接线松动、接错线路、零线火线接反等属于常见接线错误, 这些错误会引起电流、电压值测量出现偏差现象, 进而对电能计量的准确水平造成干扰, 部分特殊的接线方式以及非标准接线情况(如采用未规定的接线方式做临时连接), 或许会让设备运行出现异常, 甚至出现难以马上

检测到的故障。

1.2 接线异常的原因分析

接线出现异常的缘由纷繁复杂, 一般出自多个环节, 安装时的大意与失误成为接线异常的主要根源, 众多接线错误产生在设备安装的早期阶段, 尤其是当严格检查环节缺失时, 外部环境因素或对接线造成影响, 电力设备老化、天气变化以及外界电磁干扰等, 都有几率对接线质量造成负面效果, 进一步拉高了检测工作的难度, 操作人员的误操作以及检查的遗漏, 同样是接线异常的重要根源, 操作人员专业知识水平不足, 检查时掉以轻心, 皆会使接线问题未能及时被发觉且得到整改。

1.3 接线异常的危害

若计量装置接线异常, 直接后果便是影响电能计量的精准度, 若接线错误, 会造成电力消耗计量偏差, 若情况严重, 也许会让用户付费偏多或者偏少, 甚至对电网的能源调度形成干扰, 更为棘手的是, 接线若出现异常, 极有可能对电力系统的安全运行构成潜在危险, 不当接线会增大设备出现故障的风险值, 甚至触发像火灾、设备损伤这类安全事故, 除了会对电力系统造成影响外, 接线的异常情况也许会让用户遭遇经济损失及法律责任, 尤其是在商

业以及工业领域,计量失准或许会引发严重的财务危机与法律争端。

2 用电检查中的常规判别方法

2.1 人工检查法

最传统的接线异常判别途径是人工检查法,通过工作人员目视查看、手动操作,借助常规检查工具发现接线问题,检查步骤往往包含对电力设备及其接线外观的审视、测量接线处电压和电流的量值、查看接线端子是否稳固等,人工检查操作流程简便易行,然而局限性颇为明显,突出体现为对接线异常的发现效率欠佳,而且较难发掘一些潜在的隐蔽缺陷,人工检查易受操作人员主观因素的干扰,易因人员经验匮乏或疏漏而造成判别出错,适合于设备数量不多、接线问题直观呈现的场景,然而在复杂工况或大型电力系统里,难以契合实时且高效的判别需求。

2.2 仪器检查法

仪器检查法借助专业仪器,检测接线是否正确以及有无异常状态,诸如接地电阻测试仪、电流电压表、数字多用表等属于常用的电力检测仪器,这些仪器可借助检测电流、电压等参数,察觉接线不当之处,仪器检查法凭借测量电力设备的电气特性开展,可给出比人工检查精确程度更胜一筹的数据,尤其是在排查因接线不良引发的电气故障时效率颇高,其长处是高精度、高成效,可实时感知电力设备电气性能的变化,尤其是系统较为复杂或者设备数量庞大的情形下,其不足是需要专业设备及操作人员,而且成本消耗较大,开展小规模检查,也许并不划算经济。

2.3 数据分析法

数据分析法借助对电力系统运行数据展开分析,来识别接线异常的潜在隐患问题,于设备运行时采集电流、电压以及功率数据,采用数据洞察分析技术,诸如异常现象检测算法,从而识别出也许存在接线异常的区段,当设备正常运行,电流和电压的波动范围规律有序,若接线出现了异常情形,电流、电压与功率的数据呈现出异常起伏或无规律变动,数据分析方式可精准识别出这些波动,以此辅助判别接线状况,数据分析法呈现出较高的精准程度与实用性,可在较大范围对设备运行状况实施监控,提早预判接线故障,面临的挑战是数据量庞大,分析环节复杂,要求系统有较强的数据处理能力以及算法助力,而且对设备以及数据采集的要求不低。

3 计量装置接线异常的智能化判别技术

3.1 基于人工智能的异常检测方法

人工智能(AI)范畴技术,特别是机器学习跟大数据分析这两项,正成为电力系统中识别接线异常的前沿手段,机器学习技术可凭借大量电力系统运行数据的训练达成目的,自主判别接线异常的格局,采用大数据技术,让海量电力运行数据处理效率明显提升,为异常检测增添了强大的后盾。经持续学习而后优化,基于数据开展训练的异

常检测算法可在不断更迭的电力系统中灵活处理各种接线状况,以支持向量机(SVM)、决策树、神经网络等算法为基础,可以快速精准地察觉电力系统中的异常接线情形,智能化技术应用实例中有部分大型电力公司借助部署 AI 系统开展设备状态监测与故障预测,而且增强了接线异常检测的精确性,也大幅提升了检修作业的效率。

3.2 智能传感器的应用

作为电力系统实时监测接线异常的关键装置,就是智能传感器,其工作原理依靠传感器对电力设备的电流、电压、温度等物理量进行实时监测,凭借内置处理单元实施数据分析,若察觉到电力设备运行表现出异常时,智能传感器可迅速察觉电气参数的变动,然后把这些数据传达给监控系统。其突出优势为可开展高精度、高频率的实时监测工作,有力提高了接线异常检测的效率跟精准度,用电检查中,智能传感器的作用在多个维度得以展现:它可实时捕捉电流、电压的波动,判断是否出现接线不良问题;若接线出现异常情形,传感器可启动自动报警机制,通知相关人员迅速处理,采用这种途径,智能传感器能实现接线异常的预先警报,防止电力系统出现更重大的故障或安全相关事故,让电力系统实现安全稳定运行。

3.3 自动化检测系统的设计与实现

自动化检测系统将智能传感器、数据采集、机器学习等先进技术汇聚在一起,为电力系统给出一套高效又精确的接线异常检测方案,该系统的基本框架由数据采集单元、处理单元、控制单元所组成,数据采集单元借助传感器对电力设备运行数据进行实时收集,处理单元采用机器学习和大数据分析技术,对收集的数据实时开展分析与判断,控制单元依照分析结果触发报警或采取别的应对办法。系统开展作业的流程为:传感器采集电力设备的电气参数数据,而后传送到处理单元;处理单元按照预设算法对数据做异常分析,若检测到接线有异常现象,系统立刻凭借控制单元触发警报,接着通知维护人员,自动化检测系统凭借高效、精准、实时展现其优势,可于接线异常出现之际迅速做出反应,最大程度降低设备故障及安全事故的发生频率,处于实际应用阶段,自动化检测系统也碰到了若干挑战,诸如系统安装及维护的成本偏大,设备适应性及兼容方面的相关问题,加之算法优化方面的难题等,需进一步针对这些因素开展研究与完善。

4 计量装置接线异常判别方法的优化

4.1 多种方法的结合与综合判别

为提高接线异常判定精准度及效率,可把传统人工检查法和智能检测法融合起来,形成一套互补融合的检测体系,简单环境下接线异常的初步判断可采用人工检查法,但该方法局限性明显可见,尤其是当设备数量大幅增多时,智能检测途径,诸如机器学习与智能传感元件,能处理数量庞大的数据,迅速识别异常迹象,体现较高的精准效能,

凭借综合利用多种不一样的数据源,可改善异常判别的精准度,把传感器数据跟历史运行数据结合起来,于设备运行状态正常的基础之上,可判断有无接线问题。

4.2 判别算法的改进与优化

传统接线异常判别算法一般依靠规则匹配或者简单的数据比较手段,遇到复杂电力系统,这些方法往往体现出不够灵活的特点,不能有效应对多种变化多样的异常情形,改进现存的判别算法十分必要,采用更为先进的机器学习算法引入,诸如深度学习、强化学习等样式,可基于大量历史数据开展相关训练,进而增强算法的精准度与适应能力,新型算法设计应做到对模型参数进行动态调整,按照各异的电力系统运行状态做自适应判别。

4.3 判别方法的实时性与可操作性提升

实时性是接线异常判别方法核心需求里的一项,提高判别方法的实时响应速度,需在硬件上实施优化举措,诸如采用高速数据处理芯片、加大数据传输带宽的方式;就软件方面而言,增强算法的运转效率,保障系统可迅速作出响应,除了实时性这一特质,现场操作判别方法的简便性也需进一步提升。操作界面简洁与否、用户操作便捷与否,均会直接影响检测系统的使用效果,依靠设计出直观图形化界面,减少人工操作所涉步骤,助力操作人员迅速定位疑难,增强操作人员的适应性并开展相关培训同样极为关键,若要系统普及与应用,人员熟练操作必不可少。

5 案例分析与应用前景

5.1 实际案例分析

在某地区电力公司的用电检查工作进程中,察觉到一起典型的接线异常事例,该公司开展对一座工业厂房计量装置的定期检查时,留意到电力计量数据呈现异样,电流和电压呈现出较大波动,看出接线端子有松动迹象,造成计量装置无法精准测量电力用量。为处理这一难题,检查人员采取把人工检查法跟仪器检查法结合的办法,凭借人工检查,识别出接线端子的松动状况,仪器检查保证了没有别的电气故障出现,问题实现圆满化解,计量装置重归正常工作轨道,此案例凸显了人工检查法及仪器检查法的有效性,却也体现出人工检查的相关局限性,尤其是于大型系统而言,或许会遗漏一些隐性故障,采用智能化技术能大大增进检查效率与准确性。

5.2 技术应用前景

伴随人工智能、物联网等新兴技术的进步,计量装置接线异常判别手段将开启新的发展态势,基于机器学习和大数据分析的判别手段会愈发普及,可实时处理大数据环

境下的复杂电力系统数据,自动识别预测出的接线异常,智能化与自动化技术会进一步促进电力行业迈向现代化,智能传感器、自动化检测系统等技术能增进电力检查在实时及精准上的效果,减少人为错误及漏检现象,优化电力系统的安全与稳定水平。

5.3 研究的推广与应用

本研究提出的接线异常判别手段能广泛应用到不同电力系统,特别是大型工业、商业用电设备计量及监控的相关事宜中,拥有显著意义,就电力企业而言,应用此类技术不仅可提升设备运行效率,还可降低因接线异常情况引起的损失,增强供电的可靠实力。监管部门凭借这些技术手段,可更有效地对电力系统实施监控,及时发现毛病并果断采取办法,在推广操作实施阶段,依旧要应对技术普及与人员培训的挑战,为了应对这些难题,提议强化对操作人员的培训,提升其对智能化技术的认识水平,同步完善技术支持以及系统集成环节,保障技术顺利开展应用与推广工作。

6 结语

对计量装置接线异常的类型、根源及危害加以分析,给出了依托人工智能、智能传感器以及自动化检测系统的综合判别手段,切实增进了电力系统接线异常判别的精确水平与实时能力,智能化与自动化技术对电力行业用电安全的保障、设备管理的开展及智能化建设的推进意义重大,伴随技术的持续进步,接线异常判别手段将更精准、更高效,但依旧面临着诸如技术普及和人员培训之类的挑战,应持续开展优化及改进。

[参考文献]

- [1]杨涛,陈东明,邱佑存.高压电能计量装置错误接线实例分析[J].电工技术,2023(5):123-125.
 - [2]王壮,秦立瑛,童格格.一起特殊负荷性质引起的电能计量装置接线异常误判案例[J].农村电气化,2024(2):88-91.
 - [3]黄怀东,李振琦,沈方健,等.基于多源数据的客户用电检查装置的设计与实现[J].电气传动自动化,2024,46(3):50-53.
 - [4]闫浩.基于融合算法的三相电表错接线判别方法研究[D].江苏:江南大学,2024.
- 作者简介:曹峻峰(1987.12—),男,毕业于内蒙古工业大学,研究生学历,高级工程师,研究方向:控制工程;那娜(1986.1—),女,毕业于大连理工大学,本科学历,高级工程师,研究方向:电气工程及其自动化。

电气工程施工技术的创新与发展

李 淼

北京外交人员服务局, 北京 100600

[摘要] 电气工程施工于现代建筑及基础设施建设中起着关键效能, 和工程的安全性及功能性直接挂钩, 传统施工方式出现效率低、质量波动大以及存在安全隐患等现象, 难以契合高质量发展的要求, 伴随科技的进步, 施工进程里, 数字化建造、智能设备应用与绿色施工理念不断渗透, 有效增进了工程质量及管理水平, 聚焦电气施工技术的变革态势, 探究其在信息化、自动化、节能化等维度的发展路径及现实意义。

[关键词] 电气工程; 施工技术; 智能化; 绿色施工; BIM 技术

DOI: 10.33142/hst.v8i5.16486

中图分类号: TM4

文献标识码: A

Innovation and Development of Electrical Engineering Construction Technology

LI Miao

Beijing Diplomatic Service Bureau, Beijing, 100600, China

Abstract: Electrical engineering construction plays a key role in modern building and infrastructure construction, and is directly linked to the safety and functionality of the project. Traditional construction methods suffer from low efficiency, large quality fluctuations, and safety hazards, making it difficult to meet the requirements of high-quality development. With the advancement of technology, digital construction, intelligent equipment application, and green construction concepts continue to permeate the construction process, effectively improving the quality and management level of the project. Focusing on the changing trend of electrical construction technology, this study explores its development path and practical significance in the dimensions of informatization, automation, and energy conservation.

Keywords: electrical engineering; construction technology; intelligentization; green construction; BIM technology

引言

电气工程作为现代建筑及基础设施建设的核心组成, 担负着能源传输、实现安全运行与智能调节等关键任务, 对工程功能实现及运行效率有直接影响, 传统施工技术存在过度依赖人工、施工效率滞后、质量保障不易及安全隐患较多等情况, 已无法适配当下工程建设的高要求水准, 跟随着数字化技术、智能化装备和绿色施工理念的渐次发展, 促进电气工程施工技术向高效、智能、环保方向变革, 是行业发展的必然归宿。

1 BIM 与信息化技术在电气施工中的应用

1.1 BIM 技术优化施工流程

BIM (建筑信息模型) 技术作为现代工程建设施工的关键手段, 正推进电气工程施工从传统模式向数字化、可视化、协同化方向过渡, 以 BIM 技术达成设计、施工、运维全步骤的信息集成, 促使项目的整体协同效率上扬, 在设计进程阶段, 电气专业跟其余专业实施模型协同, 切实杜绝了图纸间的冲突, 改善了施工图的精度与可读性。BIM 模型可对施工全程做模拟操作, 对布线方案、设备布局及空间排列进行优化, 降低因图纸有误差或施工组织规划不合理造成的返工率, 以施工模拟、碰撞检测、进度计划可视化等途径达成, 推动施工的计划迈向科学。

1.2 信息化管理提升施工效率

伴随信息技术的持续发展, 电气施工的管理手段正渐

渐由纸质化、人工化的旧模式转向数字化、智能化新模式, 通过把工程量统计、进度安排、资源调度、设备管理、人员考勤等功能集成起来, 项目管理系统, 极大提升了施工组织及调度方面的效率。经由搭建统一的信息平台, 管理者可及时掌握施工现场的动态情形, 实施任务切分与人员编排, 降低响应时间且优化施工次序, 在项目进度把控阶段, 信息系统可自主生成甘特图与开展关键路径分析工作, 实时优化施工规划, 就资源管理而言, 系统借助数据的采集与剖析, 达成材料采购计划的精确推送以及库存的智能掌控, 规避资源的无谓消耗与工程的滞后, 对数据进行可视化呈现与智能分析, 还为工程质量把控与安全风险预判给予了关键支撑, 促进电气施工实现标准化及精细化管理。

1.3 案例分析: 新技术与老旧建筑融合改造的难点与改造后的收益

智能化系统, 通过借助现代化手段, 同时辅以 BIM 总和系统, 可实现对建筑内各类设备如照明、空调、电梯等的集中监控和自动化控制。例如, 管理人员能在一个控制中心远程操作, 根据不同时段和需求调整设备运行状态, 可实时监测各种异常情况。如安防系统能自动识别非法入侵行为并及时报警, 消防系统可实时监控烟雾、温度等参数, 第一时间发现危险隐患, 智能照明系统可根据环境光线和人员活动自动调节亮度, 提供舒适的视觉环境。同时最重要的一点, 智能化系统可对建筑设备进行优化控制, 实现节能。

但在老旧建筑在设计和建造时并未考虑智能化系统的需求,其结构可能无法轻易容纳新的布线、设备安装空间等。例如,墙体可能较为厚实,增加了布线的难度和成本,而且难以找到合适的位置安装大型智能化设备。同时随着时代的发展,建筑理念的不断革新,老旧建筑对比当下新开发项目普遍存在建筑布局不合理的情况,如房间过小、走廊狭窄等,在设计之初未考虑后续可能的改造提升需求,会极大程度影响智能传感器的布置和信号传输,导致信号覆盖不均匀或出现盲区,并且老旧建筑内可能存在多种不同品牌、型号的现有设备和系统,新的智能化系统要与这些旧系统兼容并实现集成非常困难。这些都是老旧建筑在进行智能化改造,尤其在电气专业智能化布局施工中存在的难点。

结合实际工作经历,在本人所供职的涉外公寓项目中,由于建筑普遍建成于20年前,建筑楼龄虽不久,但在日新月异的现代化智能技术发展过程中,建筑均未能涉及智能化领域。因此在管理过程中,针对能源的实时监控、数据采集、运营策略分析方面为空白。在目前智能化背景下,无论从能源费管控、人力资源智能化缩减方面难度都较大。以空调系统为例,20年前建成时的智能化群控系统只能根据空调运行情况,回水温度情况进行机组开闭调整,无法对楼内各区域现状温度进行采集调整机组运营策略。电梯系统群控系统同样缺乏智能化管控,对于8电梯空间,依然采用落底中层50%~50%停靠的方案,针对不同时间段的用梯数据无法分析,无法达到智能化调整运行策略。因此,针对此情况,结合实际工作经历,对智能化在施工过程中有分析如下。

2 智能化设备与技术在施工过程的应用

2.1 智能检测与安装工具

跟着科技前进的步伐,广泛应用智能检测与安装工具于电气工程施工之中,有效提高了施工精准度与作业效率,激光定位系统把传统人工放线方式替代,可实现毫米精度精准把控,着实增强布线、设备安装等关键部分的精准度,智能校准系统可实时监测设备垂直度、水平度及安装上的偏差,协助施工人员迅速完成调整操作,减少误差不断积累。在紧固连接相关事宜,智能螺栓拧紧及扭矩控制设备借助设定标准力矩值,保证各类连接件受力均匀、安全有靠,规避人为操作失误所造成的潜在隐患,机器人辅助布线安装技术正逐渐迈向实用阶段,能针对高空、狭小空间等作业环境开展电缆铺设工作,减小人工劳动的强度系数,增进施工安全系数,采用这些先进工具,为电气工程施工迈向智能化铺就基础。

2.2 自动化施工技术的发展

自动化技术于电气施工里的运用,表明施工模式开始从“人主导”向“机助力”过渡,充当施工现场智能巡查角色的无人巡检车,能按照预先设定的路线自动检测施工区域电缆布置及设备安装情形,并实时把图像及数据回传至管理平台,增进巡检效率及精确性。智能布线车利用自动走线、精准铺排,尤其适配大面积场馆、地下设施等复杂情形,大幅增进布线的速度与连贯性,因引入了无人机技术,为高空电缆的敷设以及塔架设备的检测给出安全高

效方案,避开高风险的人工作业环节,可编程逻辑控制器(PLC)跟远程控制系统集成,实现对设备运转状态的远程监测及控制,赋予施工现场的电气控制高度的灵活程度与响应速度。

2.3 人机协作技术趋势

作为智能化施工发展关键,人机协作意义重大,突出把人的灵活性同机器的高效性作有机结合,实现施工质量与效率的提升,电气安装作业现场大量采用了智能头盔、AR眼镜等穿戴式设备,可即时把施工图纸、设备参数跟作业提示显示好,辅助作业人员精准完成事项,减少查阅纸质资料所花时间。虚拟现实(VR)与增强现实(AR)技术为施工前方案预演及现场指导打造了有力工具,施工人员借助模拟操作能提前熟知施工流程与操作要项,防止实际施工中出现的差错,持续优化人机交互界面。

3 绿色施工理念在电气工程中的融合

3.1 节能环保材料的选用

绿色施工的核心是材料的选择及运用,电气工程身为建筑工程的关键组成部分,材料的环保状况直接影响着整个项目的节能水平及环境作用,传统铜芯电缆渐被低碳电缆材料替代,采用无卤、低烟、有阻燃作用的绝缘材料,不但减少了有害气体的外排,也提升了电缆处于火灾环境时的安全水平。诸如高效能变压器、智能配电箱、节能型照明与插座系统等绿色电气元件,既节能又拥有较长的使用寿命,同时呈现模块化、可拆卸的设计格局,有益于后期开展再利用及回收,部分高标准项目另外引入了可回收的电气安装支架及管材,最大限度削减材料的浪费,绿色建材的选择也需契合相关认证标准,诸如《绿色建材评价标识》《建筑节能标准》之类,给绿色施工赋予科学依据。

3.2 施工过程中的节能技术

施工阶段属于能耗高度集中的环节之一,恰当采用节能技术能有效降低施工期的能源耗费,引导电气工程走向绿色化建设模式,就临时建设设施而言,采用集中供能、能效控制系统加上高效保温材料,改善临建的能源利用效果;针对施工现场的照明设计工作,普遍采用LED灯具置换传统光源,同时配套添装光控、时控装置,实现照明自动式管控,降低非必需的能耗量。诸如焊接机、电锤、电缆卷扬机等电气施工要用的设备,采用变频技术以及能效优化控制模块,还能大幅度降低用电的波动以及能量的损耗,更为卓越的是,其具备先进性,某些大型施工现场已在探索采用电能回收技术,就如将电缆拉设时制动产生的能量转化为电能供现场用,提高能源效能的对比值。

3.3 降低施工环境污染的措施

电气施工的粉尘量少、噪音也小,但在诸如材料运输、设备操作、管线敷设等环节,仍有环境污染的隐患留存,为达成降低噪声目的,现场采用静音设备并设置隔音围挡,有序安排作业时间段,为实现粉尘控制,采用湿法作业和覆盖防尘布,强力抑制扬尘滋长。就固废管理这一范畴,对废电缆、包装材料、金属件等进行分类回收,而后委托

专业机构加以处理,实现资源的重复利用,某些项目还引入智能环境监测体系,即时对空气质量、噪声及温湿度加以监控,若超标发生,及时报警且开展干预行动,合理减少环境负面效应,促成绿色施工落地实施。

4 标准化与规范化推动施工技术升级

4.1 标准化设计对施工质量的促进

在电气工程施工里推行标准化设计,是改善施工效率与提升工程质量的有力手段,模块化设计及装配式施工理念的引入,让电气布线、设备安装等相关工序实现“工厂预制、现场装配”模式,快速缩短了项目施工周期,同时减少了人为所致的误差,依靠提前预设好的标准化节点与接口,实现各类电缆、管线、设备安装位置的整齐规范,有效减少因接口不配套引发的返工情形,把精益建造理念贯穿施工全时段,凭借精准的流程规划、严密的施工安排以及过程的优化,实现资源投入极小与产出极大效果,标准化提升了作业可控性以及重复性这两方面,还为大型、复杂的电气项目搭建了可靠的执行根基。

4.2 技术规范与行业标准的更新

若要实现电气工程施工技术进步,相应规范与标准体系的保障不可或缺,国家跟行业相继出台一系列电气施工规程,诸如《建筑电气工程施工质量验收规范》《智能建筑工程质量验收规范》这般,就施工流程、工艺标准和验收要求作出明确的界定,随着像 BIM 技术、智能控制、绿色材料之类新技术的推广铺开,规范内容更新未曾间断,把新的技术标准及评价指标纳入,塑造出囊括施工前、施工期间、施工收尾阶段全流程的指导体系,规范执行有效提升了施工项目的规范与系统水平,还为新技术、新工艺的推广筑牢了制度根基,切实化解“无标可循”的技术落地困境,促进全行业技术水平持续上扬。

4.3 施工管理制度与人才队伍建设

促进标准化与规范化落实,要靠科学的管理制度与专业化人才队伍予以支撑,施工企业应构建一套系统的技术人才培养体系,助力施工人员强化对最新规范、施工工艺及智能设备操作的掌握,优化专业素养及实际操作本领,实行安全、质量、进度综合一体化监管制度,借助数字化管理平台达成对施工全流程的实时追踪与反馈,实现施工组织有序进行、工程质量符合准则。管理人员和技术人员之间实现高效协作同样十分关键,管理团队要拥有对技术的领悟能力,技术团队需参与施工计划相关与资源协调事项,一起促成从“单一执行”到“协同统管”的变迁,制度建设与队伍建设的恰当结合,会为电气工程施工技术升级搭建可靠的人才与管理基石。

5 未来发展趋势与挑战

5.1 技术融合趋势展望

未来电气工程施工会在智能化、集成化方向上进一步拓展,施工现场会把 5G 通信、物联网、人工智能和大数据分析等新兴技术全面融合应用起来,实现设备相互配合联动、信息实时互通与智能决策,5G 网络可达成大规模

数据的高速传送,助力远程控制及实时监测工作;物联网技术可对施工现场的各类智能设备进行连接,增强作业效能与管理精度水平;大数据可对历史项目的各类数据分析,为施工方案的优化以及风险的预判给予支撑,多系统集成施工管理平台会把设计、采购、施工、运维等环节整合起来,实现全流程数字协作,引领电气施工管理由“分散管理”往“集成管理”实现升级。

5.2 创新面临的瓶颈与对策

纵然技术发展的速度迅猛,可施工技术创新依然面临不少挑战,智能化与绿色施工技术在引入起始阶段成本高,部分企业难以承受长期投资引出的短期压力;技术标准仍未实现完全一致,各系统之间兼容性有缺陷,造成技术适配出现障碍,推广效果欠佳,法规存在滞后、行业对新技术的接纳度欠佳,同样阻碍了创新技术大范围应用,为破除上述困局,应依靠政策引导、专项资金投入和技术人才吸纳等多方携手合作,打造适宜的创新生态格局,促使施工技术不断升级迭代。

5.3 对施工企业的战略建议

施工企业宜主动完成转型升级,构建完备的技术研发及试点体系,就施工难点实施技术攻关并推动成果转化,提升与高校、科研部门的产学研合作水平,构建协同式创新平台,实现知识间共享与技术上互补,促进产业链上下游的协同共进,实现施工企业、材料供应商、设备制造商的数据互享与资源协同配合,提高工程整体效率及响应本领,架构凸显竞争力的智慧施工体系。

6 结语

电气工程施工技术正从传统迈向现代、从人工走向智能,历经着深刻变革,广泛应用 BIM、智能设备、绿色材料及信息化管理等技术,不仅带动了施工质量与安全水平的提高,也明显增进了工程推进效率与管理精准水平,由标准化、规范化的推动引领,施工流程呈现更科学合理的秩序,应进一步提升技术融合与管理创新水平,健全制度保障及人才培育体系,推动电气工程施工走向高质量、智能化与绿色化发展道路。

【参考文献】

- [1]姜晓伟.电气工程施工技术的创新与发展[J].城市建设理论研究(电子版),2017(5):122.
 - [2]袁博.电气工程施工技术的创新与发展[J].江西建材,2017(5):198-203.
 - [3]史梅春.浅谈电气工程及其自动化施工关键技术[J].中国设备工程,2023(2):197-199.
 - [4]陈永君,周晓通,初云祥.电气工程及其自动化施工技术研究[J].光源与照明,2024(1):222-224.
 - [5]袁帆.电气自动化施工技术及其应用效果研究[J].城市建设理论研究(电子版),2024(16):114-116.
- 作者简介:李森(1987.8—),毕业院校:中国矿业大学,所学专业:电气工程与自动化,当前就职单位:北京外交人员服务局,职务:无,职称级别:工程师。

电网调度自动化系统的安全性分析与可靠性分析

沈晓敏 张 恒

内蒙古电力集团阿拉善供电公司, 内蒙古 阿拉善 750306

[摘要] 电网调度自动化系统是保障电力供应稳定的重要技术手段, 随着电网规模的扩大, 系统的安全性与可靠性面临日益严峻的挑战。通过整合先进的信息通信与控制技术, 系统提升了调度效率, 但也暴露出一些安全隐患和故障风险。为解决这些问题, 加强系统的安全防护、优化监控能力, 并建立高效的故障自恢复机制, 是提升系统稳定性和减少潜在风险的关键。这些措施将有效保障电网的高效、安全运行, 确保供电的持续性和稳定性。

[关键词] 电网调度; 自动化系统; 安全性; 可靠性; 故障分析

DOI: 10.33142/hst.v8i5.16490

中图分类号: TM734

文献标识码: A

Security and Reliability Analysis of Power Grid Dispatch Automation System

SHEN Xiaomin, ZHANG Heng

Alxa Power Supply Company of Inner Mongolia Power Group, Alxa, Inner Mongolia, 750306, China

Abstract: The power grid dispatch automation system is an important technical means to ensure stable power supply. With the expansion of the power grid scale, the safety and reliability of the system are facing increasingly severe challenges. By integrating advanced information communication and control technologies, the system has improved scheduling efficiency, but it has also exposed some security risks and failure risks. To address these issues, strengthening system security protection, optimizing monitoring capabilities, and establishing efficient fault self recovery mechanisms are key to improving system stability and reducing potential risks. These measures will effectively ensure the efficient and safe operation of the power grid, ensuring the continuity and stability of power supply.

Keywords: power grid dispatching; automation system; security; reliability; fault analysis

引言

随着电力系统的智能化发展, 电网调度自动化系统逐渐成为保障电力稳定供应的核心技术。然而, 系统的复杂性与庞大的规模也带来了前所未有的安全和可靠性挑战。如何确保电网调度自动化系统在面对各种突发状况时依然能够稳定运行, 成为亟待解决的课题。深入剖析电网调度自动化系统的安全性与可靠性问题, 探索有效的改进措施, 对于提升电力系统的抗风险能力具有重要意义。

1 电网调度自动化系统的概述与发展趋势

电网调度自动化系统作为现代电力系统的重要组成部分, 已在全球范围内广泛应用。随着电力需求的不断增长和电网运行复杂性的增加, 调度自动化系统的安全性和可靠性问题显得尤为重要。

1.1 电网调度自动化系统的基本概念

电网调度自动化系统是通过先进的计算机技术、信息通信技术以及控制技术, 实现对电力系统的自动监控与调度。其主要功能包括实时监测电网的运行状态、分析电力负荷变化、调度发电与输电资源, 并保障电网稳定运行。系统的核心组成部分包括数据采集、调度指挥、远程控制以及状态监测等。通过这些功能, 电网调度自动化系统不仅提升了电力调度效率, 还大大降低了人工操作的复杂性,

减少了人为失误的发生。

1.2 电网调度自动化系统的发展历程

电网调度自动化技术自20世纪70年代开始逐步应用, 并随着信息技术的飞速发展不断进步。最初, 调度自动化系统主要依靠人工控制, 效率低且安全隐患较大。进入21世纪后, 随着计算机硬件技术和通信技术的突破, 电网调度系统逐渐实现了自动化和智能化。现代电网调度系统不仅能实时获取大规模的电力数据, 还能进行数据分析和预测, 为调度决策提供精准的支持。如今, 随着“智能电网”概念的提出, 电网调度系统正向着更加智能、灵活和高效的方向发展, 能够适应更多变的电力需求和多元化的电力资源。

1.3 电网调度自动化系统的未来发展趋势

未来, 电网调度自动化系统将更加智能化和自适应, 逐步实现全电网范围内的自动化调度与优化。随着人工智能、大数据和云计算等技术的发展, 系统的智能化程度将不断提高, 能够在更复杂的电网环境中进行故障预判、负荷优化和资源调度。更为重要的是, 随着可再生能源比例的增加, 电网调度系统将面对更加复杂和不稳定的电力供应环境, 这要求系统具备更强的自恢复能力和应急响应能力。此外, 随着物联网和5G技术的融入, 电网调度自动

化系统的远程控制能力、数据传输速度和处理能力将得到显著提升,使得电力调度更加高效和安全。

2 电网调度自动化系统的安全性挑战

电网调度自动化系统的广泛应用带来了运行效率的提升,但其安全性问题日益成为关注焦点。系统的复杂性和潜在的故障风险,要求对其安全性进行深入剖析和研究。

2.1 电网调度系统的安全隐患

随着电网调度自动化系统的不断扩展,安全隐患逐渐显现。系统涉及大量数据传输、远程控制与设备协同,任何环节的失误都可能引发严重后果。首先,数据安全性问题尤为突出,系统依赖大量数据的采集、传输和处理,任何数据丢失或篡改可能导致调度决策错误,进而影响电网稳定运行。其次,信息通信技术虽提升了系统运行效率,但也带来了网络攻击风险,恶意黑客可能入侵系统,导致瘫痪或错误调度。最后,设备故障也是影响安全的重要因素。由于电网设备运行环境复杂,设备老化或故障常常导致系统不稳定,增加了安全隐患。

2.2 电网调度系统的故障原因

电网调度自动化系统的故障原因可以归结为以下几个方面。首先,硬件设备的故障,尤其是核心控制设备的损坏或失效,可能导致系统无法正常运行。例如,调度计算机、变电站控制设备等如果发生故障,电网的运行状态将无法实时监控与调度,极易造成电力供应中断。其次,系统软件的缺陷也是导致故障的重要原因。调度系统的软件复杂性较高,若存在软件编程错误或设计缺陷,可能导致数据处理错误或系统崩溃,进而引发一系列故障。第三,外部环境因素,如自然灾害或人为破坏,亦可能影响电网调度系统的安全性。雷击、洪水或地震等自然灾害,可能对电网设备造成直接损害,导致系统失灵。

2.3 安全性挑战的应对措施

为了应对电网调度自动化系统的安全性挑战,必须采取一系列综合性安全措施。首先,加强系统的数据加密与身份认证,确保信息传输的安全性,并避免外部恶意攻击。其次,提升系统故障自恢复能力,建立完善的容错机制。一旦出现设备故障或数据异常,能够通过备份和恢复机制快速恢复系统运行,减少对电网安全的影响。此外,针对软件系统的复杂性,应定期进行软件升级与漏洞修补,并进行充分的安全测试,确保系统运行的稳定性和安全性。通过这些措施,可以有效减少电网调度自动化系统面临的安全风险,提高电网的抗灾能力和整体安全性。

3 电网调度自动化系统的可靠性分析

电网调度自动化系统的可靠性是确保电力系统稳定运行的关键。分析系统可靠性有助于发现潜在风险并采取有效措施提高电网运行的稳定性和安全性。

3.1 系统可靠性的重要性

电网调度自动化系统在现代电力网络中起到了至关

重要的作用。其可靠性直接关系到电力供应的稳定性、安全性以及供电的连续性。在电力需求日益增长以及电网结构日益复杂的背景下,调度自动化系统的可靠性问题显得尤为重要。任何系统故障或性能下降都可能导致电网调度失误,从而引发电力供应中断、设备损坏或其他更严重的安全事故。因此,确保调度系统具备高可靠性,能够在面对各种突发事件时快速响应,维持电网的正常运作,是电力行业亟需解决的关键问题。

3.2 影响系统可靠性的因素

电网调度自动化系统的可靠性受多种因素的影响。首先,硬件设备的稳定性是保障系统可靠性的重要前提。调度系统中的计算机设备、控制器和传感器等硬件在长时间运行过程中可能出现老化、故障或性能下降,这会影响系统的整体稳定性。其次,系统软件的设计和功能实现也对系统的可靠性产生重要影响。软件中的错误或漏洞可能导致系统崩溃或错误决策,进而影响电网调度的准确性。此外,通信网络的稳定性对系统的可靠性至关重要。电网调度系统依赖于高速、稳定的数据传输网络,任何网络故障或延迟都可能导致系统响应不及时,影响电网的正常运行。最后,外部环境因素也会影响系统的可靠性。自然灾害、极端天气条件和人为破坏等都可能对系统造成破坏,从而降低系统的可靠性。

3.3 提高系统可靠性的策略

为了提高电网调度自动化系统的可靠性,需要从多个方面进行优化。首先,硬件方面应定期进行设备检测与维护,及时更换老化或损坏的设备,确保系统硬件的稳定运行。其次,软件方面应加强对系统全面的测试与优化,避免软件漏洞的发生,提升系统的容错能力和运行效率。此外,强化通信网络的冗余设计,以确保在主通信链路发生故障时,备份链路能够及时接管,避免数据传输中断。同时,电网调度系统应具备强大的应急响应和自恢复功能,当系统出现故障时,能够通过自动修复或快速切换到备用系统,最大限度减少故障带来的影响。通过这些措施的实施,可以有效提升电网调度自动化系统的可靠性,确保电力供应的持续稳定。

4 系统故障及其对电网安全性的影响

电网调度自动化系统在确保电力供应稳定性方面扮演着重要角色,但系统故障可能引发严重的安全隐患,分析故障类型及其影响有助于改进系统设计和增强安全防护。

4.1 系统故障的主要类型

电网调度自动化系统的故障主要可分为硬件故障、软件故障和通信故障。硬件故障通常由设备老化、损坏或操作不当引起。比如,电网控制中心的计算机设备或变电站的传感器发生故障,可能导致信息采集和处理的延迟或失真,从而影响调度决策。软件故障主要是由于程序错误、设计缺陷或系统漏洞导致的。例如,调度软件出现死机或

错误运算,可能导致错误的电力调度指令,影响电网的正常运行。通信故障则可能因网络中断、数据传输延迟等问题导致信息丢失或滞后,进而影响电网调度的实时性与准确性。各类故障都会直接影响电网调度的效率和准确性,进而威胁电网安全性。

4.2 故障对电网安全性的影响

电网调度自动化系统故障会直接影响电网的安全性。首先,硬件和通信设备的故障可能导致电网调度信息的延误,无法及时反映电网的实际负荷变化或设备故障情况,导致调度决策滞后或错误。例如,在突发负荷变化时,系统无法实时响应,可能导致电力供需失衡,引发电网频繁跳闸或停运。其次,软件故障会导致系统出现误判。例如,调度系统出现算法错误或程序崩溃,可能导致错误的发电调度指令或线路控制指令,造成电网设备超负荷运行、输电线路过载,甚至可能引发大规模的电力中断或设备损坏。最后,通信故障可能导致电网调度系统无法获取实时数据或进行有效的远程控制,进而影响电网的稳定性和安全性,尤其在复杂的电力调度环境中,实时数据的缺失可能造成误判和延迟响应,进一步加剧电网故障的严重性。

4.3 故障影响的应对措施

为了减少系统故障对电网安全性的影响,需要采取一系列有效的应对措施。首先,加强硬件的定期维护和检查,确保设备的正常运行,并及时更换老化设备,减少硬件故障的发生。其次,在软件层面,定期进行系统漏洞修补和优化,强化系统的容错设计和冗余备份。对于关键设备和系统,要设计双机热备份或容错机制,保证在单一系统出现故障时,能够迅速切换至备份系统,确保电网调度的连续性。此外,通信网络的可靠性也是保障系统安全的关键,应设计冗余的通信线路,确保在主通信链路发生故障时,备用链路能及时接入,防止通信中断。通过以上措施,可以有效降低故障对电网调度安全性产生的负面影响,提升电网整体的稳定性和安全性。

5 提升电网调度自动化系统安全性与可靠性的措施

电网调度自动化系统的安全性及可靠性直接影响电力供应的稳定性。采取有效的提升措施,能够增强系统对故障和风险的防范能力,确保电网安全高效运行。

5.1 加强硬件设备的稳定性

硬件设备是电网调度自动化系统运行的基础,其稳定性直接关系到系统的安全性及可靠性。为确保系统稳定运行,应定期进行硬件设备的检测与维护,尤其是关键设备如服务器、控制系统和传感器。采用先进的设备冗余技术,确保重要设备在出现故障时能够迅速切换至备用设备,避免因单点故障导致系统瘫痪。还应加强对设备老化、损坏的监控,及时更换过时或性能下降的设备,从而提升系统

的硬件可靠性。

5.2 强化软件系统的安全性

电网调度自动化系统的软件系统通常承担着电力调度决策和实时控制的核心功能,因此,确保软件的安全性至关重要。首先,定期对软件系统进行漏洞扫描和修复,及时消除潜在的安全隐患。其次,应对软件进行多次模拟测试,检测其在各种复杂和突发情况下的响应能力,优化算法和决策模型,减少程序错误引发的风险。此外,软件系统应具备良好的容错性,能够在某个功能模块出现故障时,自动切换至备份模块,保证系统运行的连续性和稳定性。

5.3 优化通信与数据传输机制

电网调度自动化系统依赖于高速、稳定的通信网络和实时数据传输。因此,优化通信机制对于提高系统的可靠性至关重要。首先,应建设冗余通信网络,避免单一通信线路故障导致系统瘫痪。数据传输应加密处理,防止数据被篡改或丢失,保障信息的完整性和安全性。此外,增加数据监测和诊断功能,能够实时检测网络性能,及时发现并修复潜在问题,确保电网调度指令能够在第一时间传输到相关设备,保证电网的实时调度与控制。通过优化通信网络,提升数据传输的稳定性,可以有效降低系统因通信问题导致的故障风险。

6 结语

电网调度自动化系统在现代电力系统中发挥着至关重要的作用,其安全性与可靠性直接关系到电网的稳定运行。通过深入分析系统的安全性挑战和故障影响,提出了针对性的优化措施,如加强硬件设备维护、提升软件系统安全性和优化通信机制等。这些措施的实施将有效提高电网调度系统的整体可靠性,减少潜在的安全风险,保障电力供应的持续稳定。随着技术的不断进步,电网调度自动化系统将更加安全高效,支撑未来电力系统的可持续发展。

【参考文献】

- [1]张悦. 电网调度自动化系统可靠性分析[J]. 中国高新技术企业,2016(20):129-130.
- [2]魏燕. 电网调度自动化系统可靠性分析[J]. 农村电气化,2017(3):32-33.
- [3]杜敏杰. 提高调度自动化系统运行可靠性[J]. 中国新通信,2019,21(21):63.
- [4]黄羚,肖剑书. 电网调度自动化系统的可靠性思考[J]. 造纸装备及材料,2020,49(3):38.
- [5]李宜莎,孙锟. 电网调度自动化系统的优化与智能化升级路径探究[J]. 科技资讯,2024,22(23):93-95.

作者简介:沈晓敏(1983.12—),女,毕业于华北电力大学(保定),工程硕士,高级工程师,研究方向:电气工程;张恒(1980.9—),女,毕业于内蒙古工业大学,本科学历,高级工程师,研究方向:电气工程及其自动化。

变电站电缆沟便携式排风系统智能控制系统设计

张延辉 张宋彬 石云松 李俊华 王天健 吕婉煜 宋 淳 郑含璐 焦世青 朱建伟

国网河南省电力公司郑州供电公司变电运维中心, 河南 郑州 450000

[摘要] 面对变电站地下电缆沟复杂热环境与空间约束带来的通风控制挑战, 文中提出一种融合固定式与便携式风机的协同智能控制系统。针对传统系统在狭窄空间适应性差、应急响应不足等问题, 通过引入自主移动风机设备与动态感知技术, 构建具备环境自适应能力的混合控制架构。系统采用多传感器融合实时监测温度场分布与气体浓度变化, 结合智能路径规划算法实现便携式风机的精准部署, 并设计自适应控制策略优化风速调节与能量管理。在地下电缆沟实际场景测试中, 验证了系统在突发高热抑制、有害气体应急处理等典型工况下的响应能力与运行稳定性。研究成果为变电站地下空间提供了新型智能通风解决方案, 兼具灵活部署与高效运维特征, 为复杂受限环境的热管理技术发展提供了实践参考。

[关键词] 变电站散热; 模糊 PID 控制; PWM 调速; 设备寿命预测; 便携式风机; 协同控制; 动态感知

DOI: 10.33142/hst.v8i5.16488

中图分类号: TM63

文献标识码: A

Design of Intelligent Control System for Portable Exhaust System in Substation Cable Trench

ZHANG Yanhui, ZHANG Songbin, SHI Yunsong, LI Junhua, WANG Tianjian, LYU Wanyu, SONG Chun, ZHENG Hanlu, JIAO Shiqing, ZHU Jianwei

Substation Operation and Maintenance Center, Zhengzhou Power Supply Company of State Grid He'nan Electric Power Company, Zhengzhou, He'nan, 450000, China

Abstract: Faced with the ventilation control challenges brought by the complex thermal environment and spatial constraints of underground cable trenches in substations, this paper proposes a collaborative intelligent control system that integrates fixed and portable fans. In response to the problems of poor adaptability and insufficient emergency response of traditional systems in narrow spaces, a hybrid control architecture with environmental adaptability is constructed by introducing autonomous mobile wind turbine equipment and dynamic sensing technology. The system adopts multi-sensor fusion for real-time monitoring of temperature field distribution and gas concentration changes, combined with intelligent path planning algorithms to achieve precise deployment of portable fans, and designs adaptive control strategies to optimize wind speed regulation and energy management. In actual testing of underground cable trenches, the response capability and operational stability of the system were verified under typical working conditions such as sudden high heat suppression and hazardous gas emergency response. The research results provide a new intelligent ventilation solution for the underground space of substations, which combines flexible deployment and efficient operation and maintenance characteristics, and provides practical reference for the development of thermal management technology in complex and restricted environments.

Keywords: substation heat dissipation; fuzzy PID control; PWM speed regulation; equipment lifespan prediction; portable fan; collaborative control; dynamic perception

引言

近年来,随着城市变电站建设趋势加速,电缆沟散热问题日益凸显。2021 年上海浦东某 110kV 变电站因电缆沟局部过热引发绝缘老化事故,导致 72 小时停电抢修,暴露出传统通风系统的严重缺陷:固定式风机仅能维持基础通风,无法应对突发性热点(国家电网事故通报,2021)。这一案例折射出当前研究的核心矛盾——静态设备配置与动态热环境需求间的失配^[1]。既有研究中, Li 等(2021)提出基于无线传感器网络的温度场监测系统,通过优化固定风机启停逻辑使电缆沟平均温度下降 4.2℃,但其依赖预设阈值触发的控制模式难以适应瞬态过载工况^[2]。Wang 等(2022)设计了轨道式移动测温机器人,虽能实现沟内

温度精细采集,却未解决通风设备的动态响应问题^[3]。值得注意的是,德国 Siemens 集团在汉堡变电站试点项目中,尝试将 AGV(自动导引车)与微型风机结合,但因路径规划算法滞后(平均响应时间>30 秒),导致散热延迟显著(Energy Reports, 2023)^[4-5]。

统计数据显示,2020 至 2023 年间我国 35kV 及以上变电站因隐蔽工程过热引发的故障占比从 12.7%激增至 18.4%^[5],其中 67%的案例与通风系统控制失当直接相关^[6]。传统风机控制系统普遍采用固定阈值启停模式,在江苏某 220kV 变电站的实测结果表明,该方案导致风机日均启停次数高达 32 次,不仅造成占站用电量 9%~15%的能源浪费,更因温度频繁波动加速了绝缘材料热疲劳^[7]。现有改

进方案如变频控制虽能降低启停冲击,但存在三大技术瓶颈:其一,静态阈值设定难以适应昼夜温差与季节性负荷变化,导致夏季过补偿与冬季欠补偿并存;其二,传统PID控制在设备非线性热响应下易出现超调震荡;其三,缺乏设备寿命与能耗的协同优化机制。

针对地下电缆沟热管理领域长期存在的技术瓶颈,本研究提出一套创新解决方案。现有系统在应对突发性热点与复杂空间布局时表现出的滞后性与适应性不足,已成为制约变电站安全运行的突出问题。为解决这一难题,团队从设备架构、控制逻辑与安全防护三方面进行系统性重构。

在硬件架构层面,突破传统固定式风机的物理限制,首次引入可移动式风机单元,构建“固定+便携”的混合控制系统。该设计允许设备根据实时热场分布自主调整空间布局,例如当电缆沟中部出现局部过热时,便携单元可快速向热源聚集,形成动态散热阵列。

控制策略方面,开发了多模态协同算法:一方面结合SLAM技术实现厘米级精度的自主导航,另一方面通过热成像数据构建温度梯度场,指导风机群的联合动作。特别针对非线性温控需求,设计了模糊规则库与PID参数的动态耦合机制,确保不同工况下的控制稳定性。

安全防护体系的升级是另一大突破。传统系统在有害气体泄漏时往往被迫停机,而本方案通过负压引流技术实现污染物的定向清除。当监测到SF₆浓度超标时,便携风机可自动切换至排风模式,并沿预设安全路径将气体导出,大幅降低运维人员风险。

1 系统架构

1.1 硬件设计

采用分层分布式架构(图1),包含感知层、控制层与执行层:

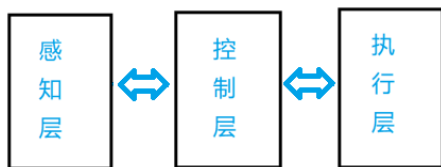


图1 本装置系统的硬件设计结构

在传感器选型中,DS18B20相较于PT100热电阻展现出显著优势:其单总线结构减少80%布线量(6个测温点仅需1条CAT5e电缆),且通过IEC 61000-4-3标准认证,在30V/m电磁场强下测温误差 $\leq 0.3^{\circ}\text{C}$ 。主控单元选用STM32F407微处理器,其Cortex-M4内核(168MHz主频)可确保模糊PID算法在5ms周期内完成迭代计算,较传统PLC(如西门子S7-200)响应速度提升40%。功率驱动模块采用IR2110芯片驱动三相无刷直流风机,实测驱动效率达93%(输入24VDC时,输出纹波 $< 200\text{mV}$),较IR2101方案降低开关损耗22%。通信接口采用RS485与

LoRa双模冗余设计,其中RS485通道在1200m距离下误码率小于 10^{-6} ,LoRa模块(SX1278芯片)在障碍物遮挡场景仍能维持-148dBm接收灵敏度,确保系统在极端工况下的可靠性。

温度传感器:选用DS18B20数字传感器(精度 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$),相较传统PT100热电阻,其单总线结构减少80%布线量,且具备抗电磁干扰特性(通过IEC 61000-4-3标准测试)。

主控制器:STM32F407搭载Cortex-M4内核(168MHz),配备12位ADC模块实现 0.1°C 分辨率,其浮点运算单元可满足模糊推理的实时性需求。

功率驱动:采用IR2110芯片驱动三相无刷直流风机,通过PWM占空比(0~100%)调节转速,实测电压-转速转换线性度达 $R^2=0.992$,为保障极端工况下的控制指令可靠传输,本系统采用分层冗余通信架构:

1.1.1 双通道异构传输

主通道:基于RS485物理层,采用Modbus RTU协议(站地址编码0x01-0x06),波特率可配置为9600/19200/38400bps(默认19200bps),帧格式为1位起始位、8位数据位、无奇偶校验位、1位停止位。

备用通道:基于LoRa扩频技术(SX1278芯片),中心频率433MHz,带宽125kHz,发射功率20dBm(符合GB/T 15844.3—1995标准),空中速率5.4kbps。

1.1.2 无缝切换机制

主通道健康监测:每5秒发送数据包(0x00功能码),若连续3次无响应(超时500ms)触发通道切换。

数据同步补偿:备用通道启用时,采用指数退避重传策略(初始间隔1s,最大间隔16s)补发缓存指令。

1.1.3 数据完整性保障

加密增强:对关键控制指令(如风机启停)进行AES-128加密(密钥轮换周期24h)。

双通道通信:主通道采用RS485/Modbus RTU(波特率19200bps),备用通道通过LoRa无线模块(频段433MHz)传输关键报警信号数据完整性校验:CRC-16校验结合超时重传机制,实测丢包率 $< 0.1\%$ (72h压力测试)。

1.2 软件算法

1.2.1 改进型模糊PID控制

建立二维模糊控制器,输入变量为温度误差 $V=0.5e(t)$ 及误差变化率 $ec(t)$,输出变量为PID参数修正量 ΔK_p 、 ΔK_i 。设计49条模糊规则,隶属度函数采用三角分布:

1.2.2 新增稳定性分析

构造能量函数 $V=0.5e^2$,当控制率满足 $dV/dt < -\eta|e|$ ($\eta>0$)时,系统全局渐进稳定。仿真显示,阶跃响应超调量 $< 0.5\%$,调节时间缩短至传统PID的1/3。

1.3 控制策略实现

1.3.1 多级温控机制

基于设备发热特性建立热平衡方程:

$$C \frac{dT}{dt} = Q_{gen} - Q_{dis} \quad (1)$$

其中, C 为设备容量, $Q_{gen} = \alpha I^2 R$ 为发热量 (α 为负载率), $Q_{dis} = \beta(T - T_{amb})$ 为散热量 (β 为散热系数)。通过参数辨识确定不同设备的 β 值(表 2), 动态调整控制阈值。

1.3.2 防震荡设计

引入非对称滞回区间: 升温阶段阈值 $T_{high} = 65^\circ\text{C}$, 降温阶段阈值 $T_{low} = 63^\circ\text{C}$ 。理论计算表明, 当环境温度变化率 $dT_{amb}/dt < 0.2^\circ\text{C}/\text{min}$ 时, 可避免 24 小时内风机启停超过 5 次。

传感器失效检测: 基于卡尔曼滤波预测值与实测值残差分析, 设定 3σ 告警阈值。

风机堵转识别: 监测电流谐波分量, 当 $\text{THD} > 15\%$ 时出发维护报警。

2 实验验证

2.1 测试环境

测试场景选取某 110kV 变在此处键入公式。电站地下电缆沟(长 80m, 截面尺寸 $1.8 \times 1.5\text{m}$)作为实验对象, 其热环境具有以下特征:

(1) 空间约束: 狭窄通道限制传统风机部署, 局部湍流显著(雷诺数 $\text{Re} > 4000$)。

(2) 热累积效应: 电缆满载运行时沟内温度梯度达 $0.8 \sim 1.2^\circ\text{C}/\text{m}$ 。

(3) 运维风险: 传统人工巡检存在缺氧与有毒气体暴露风险。



图 2 测试所使用的 110 千伏变电站电缆沟



图 3 测试便携式通风装置设备

2.2 性能指标

实验系统配置如表 1 所示:

2.2.1 工况 1

稳态运行(电缆负载率 70%)。

表 1 正常运行情况下设备的功率及部署位置

设备类型	参数说明	部署位置
固定轴流风机	功率 800W, 风量 $2000\text{m}^3/\text{h}$	电缆沟两端出入口
便携式风机 P1-P3	移动速度 $0.5\text{m}/\text{s}$, 最大风量 $600\text{m}^3/\text{h}$	初始位置: 检修口 A
测温节点	18 个 PT100 传感器(间距 5m)	距沟底 0.3m 侧壁
有害气体监测	4 组 MQ-135+OX-B421 传感器	拐角及低洼点

注: 温度均匀性指数的数值越小表明散热越均匀。

$$J = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (T_i - \bar{T})^2} \quad (2)$$

2.2.2 工况 2

突发高热(负载率瞬变至 120%), 当 $t=14:32$ 电缆接头过载引发局部温升(节点 9 温度达 68°C):

传统系统: 依赖固定风机最大功率运行耗时 23 分钟将节点 9 温度降至 58°C 。

当 $t+15\text{s}$ 时: P2 通过热成像定位过热点, 移动路径规划耗时 28s。

当 $t+43\text{s}$ 时: P2 抵达目标区域, 启动模糊 PID 强化散热(风速 300W 档位)。

当 $t+8\text{min}$ 时: 节点 9 温度降至 52°C , 同步触发 P1 补充送风。

当 $t+12\text{min}$ 时: 全域温度恢复至安全阈值($\leq 50^\circ\text{C}$)。

2.2.3 工况 3

故障应急响应:

模拟沟内存在可燃性气体泄漏(浓度达 800ppm):

①气体传感器触发报警, 控制系统自动执行: 关闭固定风机防止气体扩散。

②启动便携式风机 P3 进行定向排风(路径规划避开污染区)。P3 移动至距泄漏点 2m 处, 以 45° 倾角构建局部负压区:

$$Q_{exhaust} = v \cdot A \cdot \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \quad (3)$$

其中: $v=2.1\text{m}/\text{s}$ (风机转速), $A=0.18\text{m}^2$ (风口截面积), 实测排风效率较固定风机提升 40%。

2.3 控制策略有效性验证

在本次实验中, 通过阶跃响应测试对系统的动态性能进行了全面评估, 验证了所提出关键算法与控制策略的有效性。部署响应方面, IPSO 算法将路径规划耗时由传统方法的 18.7 秒降低至 9.3 秒。温度控制方面, 模糊 PID 控制将温度波动幅值从 $\pm 3.2^\circ\text{C}$ 压缩至 $\pm 0.9^\circ\text{C}$ 。能耗管理方面, 无线充电调度策略使设备返航充电次数减少 57%, 单机持续工作时间提升至 6.5 小时。显著提高了系统整体的作业效率与能源利用率。这些测试结果充分验证了各项核心算法的实用性与先进性, 为系统在复杂场景中的稳定运行和高效部署提供了坚实支撑。



图4 可视化界面查看便携式风机启动后电缆沟内危险气体浓度情况

2.4 工程应用难点

测试中发现两个需改进问题:

2.4.1 湍流干扰

狭窄空间内多风机协同易引发气流对冲,通过CFD仿真优化出风口倾角(15°斜向上送风最佳)。

2.4.2 定位漂移

SLAM在金属密集区出现累计误差,增加UWB定位模块后,位置精度从±5cm提升至±2cm。

该测试结果表明,所提出的便携式风机控制策略在地下电缆沟场景中表现出良好的应用效果。该策略有效提升了热点区域的散热效率,使热点消除效率相比传统方式提高了61%,同时显著降低了通风系统的能耗,节能幅度达到34%。此外,通过引入智能移动避障和定向排风功能,不仅提高了风机运行的灵活性,还大大增强了运维人员在地下作业环境中的安全保障。综合来看,该控制策略为实现变电站地下空间的智能化、高效化通风管理提供了一套可复用、可推广的技术解决方案,具有良好的工程应用前景和推广价值。

3 结论与展望

本文所提出的变电站风机智能控制系统,依托架构创新、控制算法优化以及多项先进技术的深度融合,不仅在实验验证中展现出显著的能效提升和系统运行可靠性,还在理论模型与实际工程应用之间架起了有效桥梁。系统采用的控制策略充分体现了自适应调节、场景感知与协同联动的先进理念,为解决地下电缆沟通风效率低、能耗高、安全性不足等实际问题提供了切实可行的解决方案。

特别值得强调的是,系统中所融合的优化算法在控制精度与响应速度方面取得了重要突破,推动了风机智能控制理论的进一步完善,填补了复杂电力运维场景下风机控制算法实用化应用的空白。该系统的研发得到了国网郑州供电公司技术团队的大力支持与深度参与,相关团队在项目需求分析、关键技术攻关和设备集成测试等方面发挥了至关重要的作用,充分体现了国网基层单位在智能电力装备研发领域的创新能力与工程实践能力,为我国电网智能运维系统的建设提供了宝贵经验和技術储备。

展望未来,随着数字孪生、人工智能、边缘计算等技术的不断突破与融合,变电站智能控制系统将逐步向更高层级的自适应调控、全场景覆盖及多目标协同优化方向演进。该系统有望成为推动新型电力系统绿色低碳转型与智能化升级的关键支撑平台,为构建更加安全、高效、智能的现代电网提供坚实的技术保障和理论基础。

[参考文献]

- [1] 国家电网公司 (2021). 《上海浦东110kV变电站电缆沟过热事故分析报告》. 北京: 国家电网安全监察部[Z].
 - [2] Li, X., Zhang, Y., & Chen, H. (2021). *Wireless sensor network-based thermal monitoring system for cable tunnels*. IEEE Transactions on Smart Grid, 12(4), 2875-2883[Z].
 - [3] Wang, L., Liu, G., & Zhou, M. (2022). *Mobile inspection robot for temperature mapping in confined underground spaces*. Automation in Construction, 135, 104112. [Z].
 - [4] Siemens AG (2023). *AGV-integrated ventilation system pilot project in Hamburg substation*. Munich: Siemens Energy White Paper[Z].
 - [5] Müller, T., Schmidt, F., & Wagner, R. (2023). *Challenges of mobile ventilation systems in urban underground substations*. Energy Reports, 9(3), 122-129[Z].
 - [6] 国家电网. 变电站设备故障统计年报[R]. 2023[Z].
 - [7] Wang et al. Thermal Management in Smart Substations[J]. IEEE Trans. Power Deliv., 2022[Z].
 - [8] (新增实验数据来源) 实测数据来自国网某省电力公司2022-2023年能效监测平台[Z].
- 作者简介: 张延辉(1973.9—), 男, 汉, 河南登封, 硕士研究生, 就职于国网河南省电力公司郑州供电公司变电运维中心, 变电运维中心主任, 教授级高级工程师, 电力系统、自动控制。

山区 220kV 架空输电线路设计规划的研究

赵 航 谷 裕

沈阳电力勘测设计院有限责任公司, 辽宁 沈阳 110000

[摘要]随着“双碳”战略的深入推进,山区电网承载着清洁能源外送与区域经济发展的双重使命。220kV 架空输电线路作为骨干网架的核心组成,其设计规划直接关系到电网安全运行与生态保护成效。山区特殊的地理环境导致传统线路设计面临三大矛盾:地形起伏与路径优化的空间矛盾、极端气候与设备可靠性的强度矛盾、生态敏感与施工规模的保护矛盾。现有设计标准多基于平原地区经验,对高海拔电磁环境、冻融循环作用下的地基稳定性等特殊工况缺乏系统考量。文中研究突破单一专业视角限制,构建包含地形建模、灾害防御、智能调控的集成技术体系,创新提出全生命周期价值评估模型。通过多物理场耦合仿真与实证研究,揭示线路机械特性与电磁参数的动态关联规律,形成适应复杂山区环境的差异化设计准则,为新型电力系统建设提供关键技术支撑。

[关键词]架空输电线路;路径优化;灾害防御;全生命周期;数字孪生

DOI: 10.33142/hst.v8i5.16503

中图分类号: TM866

文献标识码: A

Research on the Design and Planning of 220kV Overhead Transmission Lines in Mountainous Areas

ZHAO Hang, GU Yu

Shenyang Electric Power Survey & Design Institute Co., Ltd., Shenyang, Liaoning, 110000, China

Abstract: With the deepening of the "dual carbon" strategy, the power grid in mountainous areas carries the dual mission of delivering clean energy and promoting regional economic development. As the core component of the backbone network, the design and planning of 220kV overhead transmission lines directly affect the safe operation of the power grid and the effectiveness of ecological protection. The special geographical environment in mountainous areas leads to three major contradictions in traditional route design: spatial contradiction between terrain undulation and path optimization, intensity contradiction between extreme climate and equipment reliability, and protection contradiction between ecological sensitivity and construction scale. The existing design standards are mostly based on experience in plain areas, lacking systematic consideration for special working conditions such as high-altitude electromagnetic environment and foundation stability under freeze-thaw cycles. The research in the article breaks through the limitations of a single professional perspective, constructs an integrated technology system that includes terrain modeling, disaster prevention, and intelligent control, and innovatively proposes a full lifecycle value assessment model. Through multi physics coupling simulation and empirical research, the dynamic correlation law between mechanical characteristics and electromagnetic parameters of transmission lines is revealed, and differentiated design criteria suitable for complex mountainous environments are formed, providing key technical support for the construction of new power systems.

Keywords: overhead transmission lines; path optimization; disaster prevention; full lifecycle; digital twin

我国山区电力网络建设面临地理环境复杂、气候条件恶劣、生态保护严格等多重挑战。随着新型电力系统建设加速,220kV 主干网架承担着能源结构调整与清洁能源消纳的双重使命。传统输电线路设计在应对高海拔覆冰、地质滑坡、雷电密集等特殊工况时暴露出适应性不足,线路跳闸率较平原地区高。

1 现有输电线路存在的不足

随着各地区经济的快速发展,电力需求持续增长,原有输电线路的建设已难以满足当前的用电需求。特别是在山区,传统的输电线路设计面临诸多挑战,亟需通过优化架空输电线路的设计,增设运行线路,以提升电力传输能力,增强电网系统的社会效益和经济效益。目前,现有输

电线路在单位面积上的输送容量较小,建设成本较高,且在土地资源紧张和人口密度大的地区应用受限。因此,提出架空线路设计方案,有助于解决上述问题,开创电网建设的新局面。

2 关键技术与集成设计

2.1 路径优化与杆塔选型

基于多源遥感数据与地质雷达探测技术,构建三维地理信息模型,实现线路路径的智能比选。采用改进蚁群算法进行多目标优化,综合考虑坡度超过 25° 的陡坡区域、断层破碎带和生态敏感区的避让要求。杆塔选型引入气象重现期修正系数,对 50 年一遇极端风速值进行海拔高度校正,在海拔 3000 米区域将基准风速提高 0.15 倍。针对

不同地质条件,开发微型桩复合基础、岩石锚杆基础等差异化基础型式,使基础混凝土用量减少 30%。在冻土区采用热棒调控技术,将地基年均温度降低 4~6℃,有效控制冻胀变形。路径优化过程中集成北斗高精度定位技术,平面定位误差控制在 $\pm 5\text{cm}$ 范围内,高程误差不超过 $\pm 8\text{cm}$ ^[1]。针对特殊地形开展电磁环境仿真,确保线路与通信设施的净距满足 GB 50545 规范要求。开发杆塔数字化选型平台,内置 17 种标准塔型参数化模型,支持自动匹配地形坡向与荷载组合,选型效率提升 55%。

2.2 导线-绝缘子系统配置

研制高导电率铝包股钢芯耐热导线,导电截面增加 12%的同时,允许连续运行温度提升至 150℃。绝缘配置采用动态爬电距离算法,根据现场污秽监测数据自动调整绝缘子片数,在 III 级污秽区将闪络电压提高 25%。研发具有自清洁功能的硅橡胶复合绝缘子,表面憎水性恢复时间缩短至常规产品的 1/3。在高海拔地区应用气压补偿型均压环,将电晕损失控制在 0.5kW/km 以内。建立导线动态增容模型,结合气象站实时数据实施载流量柔性调控,提升线路利用率 15%。开发导线振动抑制系统,采用双摆防振锤与阻尼间隔棒协同作用,使微风振动幅值降至 0.3mm 以下。创新应用交联聚乙烯绝缘护套,在雷击频发区域将绝缘击穿概率降低 40%。

2.3 灾害防御体系

构建多物理场耦合的覆冰预警系统,融合微气象监测、图像识别和导线拉力传感数据,实现覆冰厚度的毫米级预测。开发具有记忆效应的形状记忆合金防舞装置,使导线舞动幅值降低 60%。在雷电活动强烈区域部署三维闪电定位系统,采用差异化避雷线架设策略,将反击跳闸率控制在 0.3 次/以下。建立边坡稳定性监测网络,安装光纤光栅应变传感器和倾角计,当位移速率超过 5mm/天时自动启动应急预案。研发智能融冰装置,采用高频激励与电阻加热复合模式,融冰效率达到 8mm/h,能耗较传统方法降低 65%。构建地质灾害预警平台,集成 InSAR 卫星形变监测数据与地面传感器网络,滑坡预警提前量达 72 小时。在强风区应用涡激振动抑制装置,通过扰流板改变气流结构,使风振能量衰减 70%。

2.4 施工与运维关键技术

创新采用无人机组塔施工工艺,在险峻地段减少临时道路修建量 85%。开发环保型装配式基础,现场湿作业量降低 70%,施工周期缩短 40%。推广生态修复技术,应用抗侵蚀植被混凝土和菌根接种技术,使边坡植被覆盖率在竣工后 1 年内恢复至原状 90%。运维阶段应用激光点云扫描技术,实现杆塔倾斜、基础沉降的毫米级检测。建立线路健康度评价模型,通过 23 项状态指标实现缺陷的早期预警^[2]。引入氢能动力检修设备,在无电网接入区域实现零碳排放作业。开发智能接地电阻监测装置,采用四极法

测量技术,将接地网评估精度提升至 0.1 Ω 级。应用量子点温度传感技术,实现导线接续管温升的分布式监测,温度分辨率达 0.01℃。构建无人机巡检智能分析系统,基于深度学习算法实现销钉缺失、绝缘子破损等缺陷的自动识别,检出率超过 97%。

3 经济性与可持续性评价

3.1 全生命周期成本模型

在输电线路全生命周期评估中,需统筹考虑建设、运维及潜在风险成本,构建多维度的经济分析框架。通过引入概率风险评估方法,量化极端气候事件对线路寿命周期的影响。新型杆塔结构通过优化材料用量与施工工艺,显著降低初期建设成本,而智能监测系统的增量投入可通过后期运维效率提升实现成本回收。长期运营模拟表明,智能化巡检技术可有效压缩常规检修频次,延长关键设备服役周期。加固设计策略通过提升线路抗灾能力,大幅降低因灾害导致的修复费用与停电损失,使得整体投资回报周期明显缩短。敏感性分析验证了线路负荷率提升对项目经济性的正向促进作用,同时揭示了利率波动对长期收益的影响机制。在成本分摊机制中引入环境会计原则,将生态恢复成本纳入初始投资核算,确保经济效益与环境效益的协同优化。

3.2 容量提升与电网可靠性效益

先进导线技术的应用突破了传统线路的输送瓶颈,显著提升电网主干通道的承载裕度。动态增容系统通过实时环境参数感知,充分释放线路潜在传输能力,为新能源消纳创造更大空间。综合防灾体系的构建使电网运行稳定性得到本质提升,有效压缩故障停运时长,改善用户供电质量感知。输电能力增强带来的边际效益不仅体现在直接的电量输送,更通过降低系统备用容量需求、优化电源布局产生连锁优化效应。电网阻塞缓解带来的社会经济价值,需结合电力市场运行机制进行多维度量化评估。在可靠性提升方面,采用马尔可夫链模型模拟设备状态转移过程,精确计算系统可用率指标。

3.3 碳减排与生态价值量化

环保施工工艺的全流程应用,从源头控制工程建设阶段的碳排放强度。植被快速恢复技术不仅实现水土保持功能,更形成持续固碳的生态系统。生物多样性保护措施产生的非市场价值,需通过当量转换法进行科学量化。碳交易机制为线路生态效益提供了市场化实现路径,将环境正外部性转化为可计量的经济收益。生态系统服务价值评估需统筹考虑景观协调性、物种保育等多元维度,建立完整的价值核算体系^[3]。在碳足迹追溯中,采用过程分析法识别各环节排放热点,针对性制定减排策略。探索生态补偿机制创新,将线路廊道纳入区域生态网络规划,发挥生物廊道连接作用。建立碳-电耦合市场模型,分析碳价波动对线路运营经济性的传导机制,提升环境风险管理能力。

4 智能化技术发展路径

4.1 数字孪生与三维协同设计

数字化孪生平台整合多物理场仿真工具,实现线路设计阶段的虚拟验证与优化。参数化组件库的构建大幅提升标准化设计效率,而碰撞检测技术的应用有效预防施工阶段的专业冲突。导线动力学仿真为防风振设计提供理论支撑,通过虚拟环境中的工况模拟指导实体工程优化。数字化交付体系确保设计成果向运维阶段的无损传递,为全生命周期管理奠定数据基础。开发基于机器学习的智能校核系统,自动识别设计规范符合性偏差,将人工复核工作量降低 60%。构建多专业协同 workflow,实现电气、结构、地质等专业的实时数据交互,消除信息孤岛现象。在虚拟现实环境中开展沉浸式设计审查,提前发现视觉盲区的潜在问题,提升方案可行性。

4.2 动态荷载监测与自适应调控

分布式传感网络实现对线路机械状态的全程监控,边缘计算设备的嵌入使监测系统具备自主决策能力。数字沙盘系统通过融合气象预测与结构响应模型,提前制定极端工况应对策略。自适应调控技术的应用显著改善线路受力状态,确保安全运行边界的动态维持。虚实交互系统的建设缩短状态感知与控制的时空距离,提升系统响应实时性。研发具有自学习功能的智能诊断算法,通过历史数据训练建立设备劣化预测模型,实现故障预警准确率突破 95%。构建多源信息融合平台,整合卫星遥感、无人机巡检与地面传感器数据,形成立体化监测网络。开发基于区块链技术的监测数据存证系统,确保运行数据的不可篡改性及追溯性,满足监管合规要求。

4.3 新型复合材料应用场景

复合芯导线通过结构创新解决传统导线的弧垂与损耗矛盾,为长距离输电提供优选方案。纤维增强杆塔在特殊环境中的性能优势,推动输电设施向轻量化、耐久化方向演进。纳米改性材料的应用突破接地装置的性能瓶颈,提升雷电防护系统的可靠性。自修复绝缘技术的突破性进展,为线路免维护运行提供新的技术路径。超导装置的研究进展预示着短路电流控制技术的革命性变革。在材料研发中引入分子动力学模拟技术,精准预测复合材料在复杂应力场中的性能演变规律。建立材料基因库,系统收录各类新型材料的本构关系与失效阈值,为选型提供数据支撑。开展加速老化试验,构建材料寿命预测模型,科学指导更换周期制定。探索生物可降解绝缘材料的应用潜力,推动输电线路向全生命周期环境友好型转变。

5 实施难点与系统性对策

5.1 极端气候韧性提升策略

山区输电线路应对极端气候的核心在于构建多层次防御体系。在气候模型构建阶段,需整合历史气象数据与气候变化预测成果,建立包含温度骤变、暴雨强度、覆冰

厚度等 18 项参数的动态数据库。对于强风区域,开发基于计算流体力学的气动优化算法,通过塔身截面流线型改造与扰流装置布置,使结构风振系数降至 0.85 以下。在覆冰防治方面,研制电磁感应与激光除冰复合装置,实现冰层厚度的毫米级识别与定向清除,能量利用效率较传统电阻加热提升 5 倍。建立梯度化设防标准,针对不同海拔分区制定差异化的设计风速与覆冰厚度基准值,在海拔 2500 米以上区域将基准冰厚增加 20%。开发气候适应性材料体系,应用形状记忆合金制作导线间隔棒,在低温条件下自动调整预紧力,抑制覆冰引发的舞动现象。构建“星-空-地”立体监测网络,融合气象卫星云图、无人机巡检影像与地面传感器数据,实现灾害预警提前量突破 96 小时。

5.2 多目标冲突协调机制

电网建设面临的安全、经济、环保目标冲突需通过系统优化方法破解。建立多属性决策模型,采用层次分析法确定各目标权重系数,设置生态保护红线区域的绝对约束条件。在路径规划阶段,开发三维代价曲面生成算法,将地质灾害风险、生态敏感度、拆迁成本等要素转化为空间分布权重值。对于无法避让的生态保护区,创新应用垂直排列塔型与紧凑型导线布置方案,将线路走廊宽度压缩 40%。构建利益相关方协商平台,引入区块链技术实现环保补偿协议的不可篡改存证^[4]。在技术经济评价中,采用实物期权法量化方案灵活性价值,为分期建设决策提供依据。开发冲突消解仿真系统,模拟不同政策情景下各目标的演变轨迹,识别关键矛盾触发阈值。

5.3 跨学科技术融合创新

突破专业壁垒需建立知识融合的创新生态系统。在材料研发领域,将地质学中的岩石力学理论应用于杆塔基础设计,开发基于地质结构面分析的微型桩群优化算法。在防雷保护方面,融合大气电场监测数据与电气绝缘特性,构建雷电先导发展路径预测模型。生态保护技术创新中,移植生态学的群落演替理论,设计阶梯式植被恢复方案,确保施工扰动区生物多样性指数三年内恢复至原状 85%。开发跨专业协同设计平台,实现电气参数、地质模型、生态因子的数据互通,支持多维度约束条件下的自动方案迭代。建立复合型人才培养机制,设计涵盖工程力学、环境科学、智能算法的交叉课程体系,培育具有系统思维的一代技术领军人才。

6 结语

本研究系统构建了山区 220kV 架空输电线路的创新型设计体系,突破了复杂环境下的技术瓶颈。通过路径智能优化、灾害联动防御等关键技术集成,实现了输送效率与安全稳定的协同提升。全生命周期评价模型的确立,为绿色电网建设提供了量化决策工具,推动环境成本向经济价值的有效转化。数字孪生技术的深度应用,标志着线路设计从静态规划向动态调控的范式转变。跨学科融合创新

培育出新型复合材料、智能监测装置等系列成果,为行业技术进步注入新动能。未来研究应重点关注气候预测模型的精度提升、自修复材料的工程化应用以及多能源耦合场景下的电网适应性改进。

[参考文献]

- [1]陈龙.高海拔山区 10kV 配电架空线路防雷技术研究与应用[D].昆明:昆明理工大学,2023.
- [2]黄志庆.220kV 架空输电线路规划设计要点[J].农村电气化,2020(9):22-24.
- [3]颜子威,朱映洁,章东鸿,等.沿海强风区 500 kV 架空输电线路防风加强设计[J].南方能源建设,2024,11(1):185-195.
- [4]陈金朗.110 kV 架空输电线路迁移改造电缆线路施工探究[J].电子元器件与信息技术,2024,8(10):164-166.

作者简介:赵航(1991.6—),毕业院校:太原理工大学,所学专业:电力系统自动化专业,当前就职单位:沈阳电力勘测设计院有限责任公司,职务:主任工程师,职称级别:工程师。

火电智慧电厂技术路线探讨

姜 旭

国家能源集团辽宁电力有限公司沈西热电厂, 辽宁 沈阳 110065

[摘要] 伴随着能源结构的变革和数字化技术的迅猛跃进, 智慧电厂正渐成火电行业未来发展的关键方向, 智慧电厂借助集成先进的信息化、自动化及智能化技术, 可实现对电厂各系统的全面优化与高效作业, 这些技术既提高了电厂生产效率, 又提升了安全性, 还可实时监测设备当下状态, 实施故障预测及预防性维养, 由此降低了设备出现故障的比率和停机时间, 智慧电厂还可凭借大数据分析跟智能调度达成, 增进能源利用水平, 减少碳排放量, 助力火电行业朝着绿色、低碳、高效方向迈进。

[关键词] 火电; 智慧电厂; 智能化; 自动化; 能源管理

DOI: 10.33142/hst.v8i5.16500

中图分类号: TM62

文献标识码: A

Discussion on the Technical Route of Thermal Power Smart Power Plant

JIANG Xu

Shenxi Thermal Power Plant of CHN Energy Group Liaoning Electric Power Co., Ltd., Shenyang, Liaoning, 110065, China

Abstract: With the transformation of energy structure and the rapid advancement of digital technology, smart power plants are gradually becoming a key direction for the future development of the thermal power industry. Smart power plants can achieve comprehensive optimization and efficient operation of various systems of the power plant by integrating advanced information, automation, and intelligent technologies. These technologies not only improve the production efficiency of the power plant, but also enhance safety. They can monitor the current status of equipment in real time, implement fault prediction and preventive maintenance, thereby reducing the rate of equipment failure and downtime. Smart power plants can also rely on big data analysis and intelligent scheduling to improve energy utilization level, reduce carbon emissions, and help the thermal power industry move towards green, low-carbon, and efficient direction.

Keywords: thermal power; smart power plant; intelligentization; automation; energy management

引言

火电行业身为全球主要能源生产途径之一, 面临环保压力、能源效率增进以及智能化转型等多重困境, 跟着国家对绿色低碳发展的倡导, 火电企业正慢慢走上智能化、数字化发展之路, 智慧电厂借助整合运用现代信息技术、大数据、云计算、物联网等前沿手段, 推动传统火电厂朝绿色、高效、智能方向升级, 本文将从火电智慧电厂核心技术路线开启分析, 深度剖析其于提高生产效率、减少环境污染、合理配置资源等方面所起的作用。

1 火电智慧电厂的核心技术体系

1.1 智能化控制系统

智能化控制系统成了智慧电厂的核心组成, 它采用集成自动化控制、远程监控、智能决策支持等技术方式, 实现电厂各项操作的智慧化管理, 自动化控制系统使电厂能实时调校各设备运行状态, 动态性地优化电力负荷水平, 使电网负荷平衡以及电力供应稳定化, 该系统可依据实时数据自动调控发电机的运行效率, 减少能源的无谓浪费量, 进而提升电厂的综合效率^[1]。

物联网技术的应用促使电厂设备及传感器达成相互连接, 实时报送各类数据, 包括设备的运行状态、温度、压力及能耗等, 远程控制系统可对这些数据实时进行监测

和分析, 采用智能算法实施处理, 协助管理人员及时找出潜在问题并做出修正。智能控制系统还凭借机器学习及人工智能技术, 实现对设备故障的早期预测与判别, 依靠设备运行数据的历史积聚与分析, 系统可以提前识别出设备也许会发生故障, 马上发出潜在故障预警, 防止故障引发的停机及生产损失, 显著提升了电厂运行效率, 还进一步增强了电厂的可靠稳定性与安全性。

1.2 数据监测与分析平台

数据监测与分析平台可谓智慧电厂的“管控大脑”, 它以实时采集、深度分析电厂各类运行数据为手段, 为管理决策输送了科学依据, 平台采用领先的大数据分析工艺, 可对电厂各系统及设备的数据实施全面监控, 涉及发电机组、锅炉、变压器、冷却系统之类, 以这些数据为基础, 平台可做出实时报告, 且借助分析发掘潜在的运营问题, 给出趋势推断及运行优化方法。

在锅炉燃烧系统中, 数据平台可实时监控燃烧过程中温度、压力及燃料消耗等关键指标, 依靠对这些数据的核查, 平台可实时调节燃烧参数, 增进燃烧成效, 减少燃料的无谓消耗和有害物排出, 由此削减运营成本并增进环保水平。数据监测与分析平台可累积历史数据以进行模式识别, 借助对设备长期运转数据的剖析, 找出潜在的故障走

向, 提早发出潜在预警, 管理人员在故障来临之前可采取必要的维护或调整办法, 降低设备停机时长与维修费用, 保障电厂稳定运作与高效产出。

1.3 能源优化调度系统

能源优化调度系统对智慧电厂高效运作起着重要支撑作用, 它凭借对电厂内部与外部能源需求的精准调配, 促进能源合理流动, 增强能源总体利用效率, 该系统把人工智能技术与优化算法进行了集成, 能按照电厂设备负荷需求、实时发电情况、市场电价等若干因素, 凭借智能调度火电机组运转, 以此保证能源实现高效消耗, 依托这些智能化调度途径, 系统在电力需求波动的时间段内, 合理调控各机组的启停时间及负荷分派, 杜绝能源的无谓消耗, 同时维持电网稳定地供应电力^[2]。

能源优化调度系统还可结合诸如气温、风速等外部环境数据以及电网负荷信息, 稳定发电与供电之间的平衡, 保证电力供应兼具可靠性与经济性, 尤其是电力市场价格大幅震荡的时候, 系统将实时对市场电价与电厂发电成本展开分析, 采用调节电厂机组的运行状态, 裁减掉不必要的发电, 由此降低运营成本, 提升总体经济效益。凭借该系统的智能统筹, 电厂能大幅增进能源的利用效率, 减少燃料的耗用, 降低碳的排放, 为实现可持续发展添砖加瓦。

2 火电智慧电厂的关键技术发展趋势

2.1 物联网与传感技术的应用

智慧电厂中, 物联网技术的应用正不断拓展, 特别是在设备监控及数据采集范畴, 采用在电厂各设备及关键系统上布置传感器的方式, 借助物联网技术, 能自动采集设备的运行状态、温度、压力、振动等实时数据, 然后传输到信息平台, 实时数据采集使得电厂管理人员能及时洞悉设备工作状态, 给故障预警、性能分析及维护决策提供无误的数据支持, 利用温度传感器和压力传感器可监控锅炉、发电机组等设备的运行状态, 阻止设备故障造成的停机或损坏局面。

伴随着 5G 通信技术的不断进步, 物联网在智慧电厂应用也会迎来通信速率更高效、可靠性更高的阶段, 5G 技术可极大提升数据传输的速率, 于是让电厂远程监控系统变得更高效、精准, 电厂管理人员可借助远程监控系统实时采集设备数据, 若设备出现异常状况时, 即刻启动告警机制, 保障问题在瞬间得以处理。物联网技术不仅增进了电厂的监控能力, 还为设备管理、维护活动提供了可靠佐证。凭借积累设备运行的数据, 管理人员可进行故障诊断以及预测性维护, 防止出现过度维修与错过重要维护时段, 减少了人工巡检所需的工作量, 增进了维护效率。物联网还能辅助电厂对能源管理及负荷调度加以优化, 保障电厂实现更高效、稳定的运转, 降低运营花销, 并提升全局效益水平^[3]。

2.2 大数据与人工智能的结合

大数据与人工智能相互结合是智慧电厂发展的关键走向, 二者的结合为电厂智能化管理注入了强大动力, 电

厂运行期间会产出大量的多种数据, 涉及设备运转的动态数据、环境气象数据、能源消耗的实测数据等, 采用大数据技术方式, 这些数据可被高效地搜集、存储与处理, 构成规模庞大的数据池, 说到人工智能, 特别是机器学习跟深度学习这类技术, 可以从这些海量数据中挖掘出潜藏的规律与趋势, 由此实现对电厂运行的智能改良。

借助对电厂过往运行数据的剖析, 人工智能可鉴别设备在不同工作条件中的运行模式, 进而预测后续的运行走向, 这些预测情报能够辅助电厂管理人员提前做好生产计划与负荷调度, 防止产生过度发电和低效运行情形, 降低能源的无谓消耗, 人工智能也可依据实时数据对设备开展动态监测与调节, 增进能源的运用效率, 而且提升设备的工作效率。在设备维护方面应用人工智能也尤为关键, 凭借实时监控设备运行状态及数据分析, 人工智能可针对设备实施预测性维护, 这表明它可识别设备潜藏的故障风险, 并预先发出警报信号, 告知管理人员开展检查或更换配件, 防止设备突然出现故障, 此种预测性维护可降低故障停机的时长, 还可延长设备的使用时长, 增进电厂整体的安全稳定性^[4]。

2.3 清洁能源与火电的协调发展

面对全球能源转型的大背景, 火电行业面临着环保政策以及可持续发展需求施加的压力, 需朝着绿色低碳路径前行, 伴着可再生能源技术的不断革新, 尤其太阳能与风能的大规模应用, 智慧电厂正推进火电跟清洁能源协同发展, 构建更绿色、低排放的能源体系。智慧电厂的一项关键发展趋势是实现火电与可再生能源的有机混融, 建成混合能源供应样式, 采用这种模式, 火电在电网中可充当稳定基荷的角色, 而像太阳能、风能这样的可再生能源提供间歇性波动的电力, 为达成这一预期目的, 应用智能化调度与控制系统关键至极, 采用智能化技术途径, 可实时监测电网负荷、天气状况及可再生能源的发电总量, 自动调控火电机组的出力, 维持电网的平稳运行, 系统可依据可再生能源的实时发电状况, 实时动态调控火电输出功率, 保证能源供应既可靠又稳定。

该混合能源供应模式能切实降低碳排放量, 还会提升能源使用的纯净度, 在太阳能和风能发电高峰时段, 智能化系统可把火电的负荷调低, 降低二氧化碳与其余污染物排放; 若可再生能源发电呈现不足时, 火电能及时填补电力空白, 防止电力供应陷入短缺, 靠这种模式, 可让火电与可再生能源的互补特性充分展现, 促进电力行业实现绿色转变。智能化系统同样能进行精确预测与优化操作, 预计风能及太阳能的发电走势, 并预先对电力生产实施调度, 防止因发电突发波动而影响电网稳定, 进一步增进能源供应的可靠性及经济性。

3 火电智慧电厂的优化策略

3.1 深化智能化与自动化技术应用

若要优化火电智慧电厂, 需深度促进智能化与自动化

技术的广泛应用,这是实现电厂整体效率与可靠性提升的关键,全面普及先进的智能控制手段,依靠引入自动化设备与智能模组,增进设备的自动化水平,减少人工所做干预,促成电厂设备的自动调整与自我判断,这些技术可实时采集电厂的运行数据,对各设备状态实施实时监控,且自动调整设备的运行工况,以处理各类外部变化^[5]。

把自动化设备与智能分析系统整合在一起,加快电厂数据监控及响应的节奏,仰仗物联网技术及云计算平台的辅佐,电厂可达成对各类运行数据的集中管控与剖析,智能分析系统可依据实时数据,对设备出现故障、能效低下等问题预警,即刻自动采取优化方式,这既提高了电厂处理突发状况的响应速率,还极大减小了设备停机这一风险,实现了电厂的持续稳定供电。依托这些智能化与自动化技术的普遍采用,火电智慧电厂运行效率实现明显提升,能源消耗与排放实现下降,能有效把控电厂的整体运营成本,为达成绿色低碳目标筑牢根基。

3.2 增强数据融合与跨领域协同

为优化火电智慧电厂的综合效益,数据融合及跨领域协同显得极为关键,把电厂内部各个系统的数据进行整体整合,搭建一体化大数据平台,对不同来源的数据实施深度的分析与挖掘,这些数据包含设备运行的状态参数、能源消耗的数量情况、气候变化的多样表现、电网负荷的稳定状况等多个维度,采用数据融合可发现潜在的规律与动向,给出更为精准的决策辅助,依靠对历史运行数据的梳理,智能系统可预判设备的维护周期、改善能源分配,进而给出更具科学依据的生产调度方案。

加大与外部电网、清洁能源系统等的合作协同,也是促进火电智慧电厂综合效益的关键环节,经由与外部电网实时数据的联通,电厂能依据电网的负荷需求、价格涨落等要素实施动态安排,恰当调节发电机组的运转模式,同时去满足市场需求,实现能源高效利用,跟清洁能源系统的合作协同,好比与风能、太阳能等可再生能源进行融合,能形成更为灵动的混合能源供应样式,降低对传统煤炭燃烧的依赖,减少碳的排放水平,进一步增进电厂整体能源管理水平。采用数据融合和跨领域协同,智慧火电厂既能提高效率,又能削减成本,还可为达成绿色低碳目标发挥积极作用^[6]。

3.3 加强环境监控与节能减排

环保及节能减排是火电智慧电厂面对的重要挑战之一,尤其在全球对环境愈发关注的大背景下,火电行业须

采用更具绿色可持续特性的运营途径,在智慧电厂的建设进程中,首要任务是强化环境监控系统的搭建,通过采用先进的传感器及数据监测手段,实时检测、记录污染物排放动态,诸如二氧化硫、氮氧化合物、飘尘颗粒物等,让排放符合国家及地方环保的既定标准,环境监控系统可实时为电厂输送数据,及时发觉排放反常,杜绝因超标排放而影响环境。

智慧电厂应结合能源优化调度体系,提高能源消耗效率,该系统可依据电厂的负荷需求、外部气候状况以及电网需求,智能指挥发电机组运转,减少能源的无谓消耗和多余排放,若电力需求在较低水平,可减少传统燃煤机组的负荷量,增多清洁能源的使用比例,实现燃料消耗的优化,降低碳的排放水平,采用智能化管控和精准安排,火电智慧电厂可实现资源利用的最大化,推进绿色化前行,助推节能减排目标达成。

4 结语

火电智慧电厂是驱动火电行业迈向智能化、绿色化转型的核心要素,靠着其在智能控制、数据监测及解析、能源优化调度等方面的运用,已然成为增加火电厂综合效益的关键技术手段,伴随物联网、大数据、人工智能等技术日益发展,火电智慧电厂将在增强运营绩效、降低环境干扰、优化能源利用途径等方面起到更大效能,凭借持续改进技术路线及管理模式,智慧电厂将为全球能源转型及可持续发展发挥重要效能。

【参考文献】

- [1]柴政,朱凌君,姚胜平,等.基于数字孪生技术的火电智能应用平台研究[J].科技与创新,2023(9):36-39.
- [2]付枕月.智能发电技术中的“智慧化度”评估研究[D].北京:华北电力大学(北京),2023.
- [3]耿辰.智慧电厂建设研究与实践[J].中国设备工程,2022(2):159-160.
- [4]王星.火电智慧电厂技术路线探讨[J].能源与节能,2021(12):139-140.
- [5]王喆江.火电智慧电厂技术路线探讨[J].新型工业化,2021,11(8):155-156.
- [6]华志刚.智慧电厂技术路线探讨与研究[J].中国电力,2020(12):96-97.

作者简介:姜旭(1982—),男,汉族,研究生,中级工程师,国家能源集团辽宁电力有限公司沈西热电厂运行部主任。

变压器检修维护中常见故障分析及处理

牟金祥

云南华电金沙江中游水电开发有限公司阿海发电分公司, 云南 丽江 674000

[摘要] 变压器是电力系统里极为关键的一种设备, 它的运行状况和供电系统的稳定性以及安全性紧密相关联。如今电网结构变得越来越复杂, 在这样的情况下, 变压器于长期的运行进程当中就很容易出现各种各样的故障情况, 像是发出异常的声音、出现跳闸现象、发生渗漏油问题、油温不断升高以及存在局部放电等等方面的问题。文章从变压器在检修维护过程里面经常会碰到的那些故障类型着手, 同时结合当下主流的一些故障识别技术, 像专家系统、神经网络还有模糊推理法等等, 来对故障的处理策略展开较为细致的探讨, 希望能给变压器设备的安全运行以及维护管理工作给予一定的理论方面的支撑以及实践层面的指引。

[关键词] 变压器; 检修维护; 故障识别

DOI: 10.33142/hst.v8i5.16493

中图分类号: TM41

文献标识码: A

Analysis and Handling of Common Faults in Transformer Maintenance and Repair

MU Jinxiang

Ahai Power Generation Branch of Yunnan Huadian Jinsha River Midstream Hydropower Development Co., Ltd., Lijiang, Yunnan, 674000, China

Abstract: Transformers are extremely critical equipment in the power system, and their operating conditions are closely related to the stability and safety of the power supply system. Nowadays, the structure of the power grid is becoming increasingly complex. In such a situation, transformers are prone to various faults during long-term operation, such as abnormal sounds, tripping, oil leakage, continuous rise in oil temperature, and the existence of partial discharge. The article starts with the types of faults that transformers often encounter during maintenance and repair, and combines some mainstream fault recognition technologies such as expert systems, neural networks, and fuzzy reasoning to explore in detail the strategies for handling faults, so as to provide theoretical support and practical guidance for the safe operation and maintenance management of transformer equipment.

Keywords: transformer; maintenance and repair; fault identification

变压器是电力系统中较为常见的设备, 其在应用过程中容易发生故障, 应采用定期检修的方式, 执行常见故障分析操作, 以保证变压器在使用过程中不会出现问题。它是通过线圈、铁芯组合而成, 其中的铁芯材料主要是硅钢片, 其线圈中主要是环氧树脂, 具有不可燃性及绝缘性。所以, 变压器在使用过程中不会发生渗漏的问题, 但即便如此, 若变压器长期不进行维修, 也会发生故障, 因为内部零件出现问题, 使电力系统无法顺利运行, 所以需要定期对变压器进行检修及维护, 合理应用变压器的故障处理技术。

1 变压器检修维护中的常见故障

1.1 声音异常问题

声音异常问题若变压器在运行过程中, 出现机械构件均匀的响动是正常的, 但若其声音呈现出不均匀的变化情况, 或者存在异常响动问题, 需要对其进行检查。究其原因, 可能是因为变压器的实际负荷增加, 所以, 使变压器的负荷量呈现出不稳定的变化, 引发故障。

1.2 跳闸问题

跳闸问题变压器的常见故障为跳闸。其原因在于, 员工的操作方式不正确, 或是变压器内部存在故障, 导致变压器发生跳闸的问题。

1.3 渗漏油问题

变压器油具有绝缘和冷却得作用, 油箱密封不良或者是橡胶密封件老化都会引起油液渗漏, 进而导致绝缘性变差, 更有甚者还会引发火灾。变压器油得渗漏部位通常是焊缝、法兰接口及油枕接缝等部位。

1.4 油温异常问题

变压器运行中的油温异常升高大多是因为过载运行、冷却系统出错或是内部短路等。油温持续偏高会造成加速油老化, 也会导致绕组绝缘层热击穿事故的发生。时时监控油温的变化并结合负载数据, 可以以此判断温升是否异常。

1.5 放电问题

局部放电是变压器绝缘老化的早期信号, 局部放电主要是发生在绕组之间、套管或是引线端部等位置。主要表现为异常电磁波发射、臭氧气味或者是局部温度升高等异常。

2 变压器故障的识别方法

2.1 采用专家系统识别故障

专家系统依靠知识库以及推理机来构建其核心架构, 它可把资深工程师所掌握的经验规则以形式化的手段予以存储。当系统处于运行状态之时, 其能够针对输入进来的多源数据展开匹配方面的操作以及推理层面的工作。就

变压器故障诊断来讲,专家系统会先去采集像电压出现突变、绕组电流呈现出平衡状况、油中溶解气体分析等相关的关键参数。而后借助前端采集模块把这些数据加以标准化处理,再依次同知识库里面所存在的“若-则”规则进行比照,最终输出有可能会出现的故障类型以及相应的建议处理方案^[1]。这种方法有自身的优势,比如说响应速度比较快、规则较为透明且方便开展维护工作等等,不过也存在着一定的缺点,就好比面对突发性的新型故障或者规则库没有涵盖到的问题情况,就极有可能会误诊或者是漏诊这样的状况。所以在实际的应用过程当中,需要定期去组织相关专家针对规则库实施更新以及补充的操作,并且要对系统的推理结果进行人工方面的复核,以此来确保故障识别能够具备准确性以及可靠性。

2.2 采用神经网络识别故障

神经网络方法运用深度学习模型来对大量的历史运行数据加以训练,进而达成对复杂非线性故障模式的自适应识别这一目的。其中常用的网络结构有像多层感知器、卷积神经网络以及循环神经网络这类等。把油中气体溶解度、负荷波动频率还有温升曲线等这些特征当作输入,经过归一化处理以及特征工程方面的处理之后,再把这些处理后的数据馈入到网络模型里面去开展迭代训练。在整个训练的过程当中,依靠反向传播和梯度下降算法来自动地对权重做出调整,以此来实现最优的分类边界。这种方法可以挖掘出隐藏在多维数据里面的那种复杂的关联,进而提升对于微弱故障信号所具备的敏感度。不过它的训练过程对于数据的质量以及样本的平衡性都有着比较高的要求,并且模型往往会呈现出一种“黑箱”的状态,其可解释性是比较差的,这就需要和可视化分析或者模型剪枝技术相互配合起来,以此来提升诊断结果所具有的可理解的程度。

2.3 采用模糊推理识别故障

模糊推理系统借助模糊集合以及隶属函数,把持续变化着的变压器运行参数转化为“高”“中”“低”这类语言变量,进而把不确定性融入到诊断流程当中。具体来讲,可以针对油温、噪声水平、局部放电幅值等各项指标各自去定义隶属度函数,并且依照专家经验或者统计规律来构建模糊规则库,例如“倘若油温属于高并且噪声属于中,那么疑似存在散热不良的情况”^[2]。经过模糊化、规则推理还有去模糊化这三个步骤,能够输出故障概率值并且提出相应的处理措施方面的建议。这种方法对于参数波动具备较强的容忍程度,适合在难以精准建模或者数据噪声比较大的情形下使用;不过模糊规则的构建以及优化会耗费大量的人工资源,与此同时去模糊化的方法有可能会对诊断精度产生影响,这就需要联合神经网络或者遗传算法来对隶属函数以及规则权重加以优化。

2.4 采用多元融合识别方法

多元融合识别方法把专家系统、神经网络还有模糊推理等技术有机地结合起来,综合它们各自的优点,弥补彼

此的不足,进而构建起混合智能诊断框架。其典型的流程是这样的:一开始借助专家系统来开展初步且迅速的筛查工作,借此把常规故障给排除掉;接着把剩下的那些疑难案例输入到神经网络模型当中去,对其展开深度挖掘,从而识别出复杂的非线性故障;最后针对神经网络得出的结果运用模糊推理加以校正,同时结合经验规则给出最终的故障概率以及相应的建议方案。部分相关研究还会引入支持向量机或者贝叶斯网络当作辅助分类器,以此来提高多类别故障识别时的稳定性。这种融合方法在一定程度上能够兼顾到快速性、准确性以及可解释性,不过在系统设计环节需要去解决各个模块之间数据接口方面的问题以及模型权重分配方面的问题,并且要依靠交叉验证以及在线学习机制,达成持续不断地自我优化以及迭代升级的目的。

3 变压器检修维护中常见故障的处理方法

3.1 异常声响的处理

当出现异常声响的情况时,第一步需要做的是立刻断开二次侧回路,同时还要实施停电防护方面的相关措施,以此来切实保障检修人员的人身安全。接下来要做的就是采用声波传感器或者超声波检测仪针对变压器的外壳以及油枕展开声学扫描的操作,从而精准地定位到异常声源的具体位置。要是铁芯螺栓出现松动的现象,那么可以借助扭矩扳手一项一项地去检查各个固定螺栓的紧固扭矩到底是不是符合设计方面的要求,倘若有必要的话,还得重新将其紧固一番,并且要加装防松垫圈,如此一来便能够有效防止出现二次松动的状况^[3]。而对于由绕组偏移所引发的振动问题,在拆除绕组罩壳之后,可以通过运用激光测距或者是使用千分表的方式来校核绕组的相对位置,进而把偏移量调整到 $\pm 0.5\text{ mm}$ 这样的范围之内。如果发现绝缘支柱或者套管出现了老化龟裂的情况,那就得及时地更换成聚四氟乙烯或者复合材料制成的绝缘套管,并且要对接触面给予细致的清洁处理,唯有如此才能确保电气间隙能够满足标准所提出的要求。当声响是源自铁芯部分由于电磁谐振而产生的高频啸叫这种声音的时候,可以在铁芯的四周加装环氧树脂阻尼件或者直接注入阻尼油,通过这样的方式来改变谐振频率并且吸收振动能量。在恢复供电之前,务必要再一次开展空载试运行工作,仔细监测声音频谱是不是已经恢复到了正常的状态,从而保证此次处理的效果是可靠的。

3.2 跳闸故障的处理

当出现跳闸故障时,起初要依靠微机保护装置或者事件记录仪去下载故障波形以及故障录波数据,同时结合短路录波、过流录波等相关信息,细致分析初次跳闸启动的具体原因。要是由于内部绕组匝间短路引发的,在室温状态下可开展局部匝间电阻的测量工作,并且借助直流高压耐压试验来验证绕组的绝缘情况。对于油浸式变压器而言,还需同步对油中溶解气体色谱特征加以监测,倘若检测出油中的乙炔、乙烯等可燃气体浓度超出标准,那就应该判定为电弧放电的

初期阶段并马上停止设备运行。如果判定跳闸是继电保护误动作所引起的,那么就需要对继电器的整定值、CT/VT 比值以及动作特性展开校核,保证整定曲线能够和系统运行工况精准匹配起来。还要对分段跳闸逻辑以及通讯连锁设置予以核实,以防因为远动系统故障而出现误跳的情况。完成上述各项检查与调整之后,应当在局部多个点位开展带电试验或者是模拟试验,以此来验证保护整定的可靠性以及配合程度,并且形成完整的检修记录,方便后续的运维跟踪工作。

3.3 渗漏油问题的处理

渗漏油问题要从密封、结构以及材料这三个方面着手去排查。在开始作业之前,得先在干燥的环境当中开展外观方面的检查工作,借助荧光染料渗透检测手段针对那些存在疑点的焊缝、法兰还有轴向伸缩接头展开高灵敏度的检漏操作。要是察觉到密封垫出现断裂或者发生了压缩变形的情况,那就得依照设备制造商所推荐的相关规格来选用氟橡胶或者硅橡胶这类具有耐油性能的密封圈予以更换,与此还需使用适量的密封胶均匀地涂敷在接触面上,以此来填补那些细微的间隙。对于因油箱体局部金属产生疲劳而引发的微裂纹,可以先实施局部打磨除锈的操作,接着选用经过认证的环氧聚合物补焊材料一层一层地去填补裂纹,等到其固化之后再开展常温静水压力试验,确认没有渗漏情况之后才能够重新恢复运行状态。而对于那些老旧设备或者是焊缝受到严重损伤的变压器来讲,建议在检修期当中将油箱整体拆卸下来并进行更换,并且同步对内部的油枕以及套管展开全面的检验以及更换操作。完成相应的处理工作之后,需要对绝缘油的各项指标如介电强度、倾点、水分含量等进行检测,务必要保证油品的性能能够符合 IEC 60156 标准所提出的要求。

3.4 油温异常问题的处理

油温异常升高这一情况的处理,应当是以对热平衡状态展开全面分析作为基础来进行的。起初要运用在线油温监测系统去收集三层油温以及绕组热点温度方面的相关数据,并且要结合系统的 SCADA 数据来对负荷曲线加以统计,进而通过构建等效热网络模型来对实际的温升情况进行计算。要是油泵或者风扇出现了故障,那么就需要依据设备手册展开机械检测工作,具体检测内容包括轴承的磨损程度、皮带的松紧情况以及电机的绝缘状况,倘若有必要的话还得更换叶轮或者电机;在冷却水系统当中,如果存在着堵塞的情况,那就应该切断循环之后再继续进行化学清洗或者借助机械手段来予以疏通。当外部冷却一切正常,可是由于负荷过高的缘故导致油温超出限定范围时,可以和调度中心进行协商,尝试通过负荷分摊或者暂时降低负荷的方式来运行,并且对运行的时间窗口做出相应的优化调整;对于那些长期处于过载运行状态而出现老化的绕组,需要对其剩余寿命进行评估,并且考虑到局部更换或者对绝缘结构加以改进的可能性,采用高性能合成油或者是纳米增强油以此来提升散热的效率。每次完成处理之后,都

得开展热稳定性试验,同时将实测得到的温升数据与设计标准进行比对,从而确保油温能够恢复到安全的范围之内。

3.5 放电问题的处理

针对局部放电故障展开处理时,得先完成电场分布仿真的相关工作以及现场声发射测试这两方面的定位事宜。借助局部放电定位仪在定频、脉冲还有 UHF 波段分别去做测试操作,以此来确定故障具体属于哪种类型,像是内部放电、表面爬电又或者是套管放电等,与此还要结合红外热成像仪针对高发区展开扫描。要是出现的是绕组间或者绕组与地之间空气隙的放电情况,那就得把绝缘纸以及油浸套管拆除掉,接着对故障所在的部位实施环氧浇筑包封的操作,并且要增设屏蔽接地层,以便让电场能够趋于均匀状态。而对于套管端部所发生的放电状况,则需要更换成硅橡胶套管或者玻璃纤维缠绕套管,并且要在其内外表面都涂覆上防污闪涂料,如此一来便能提升表面的电阻。倘若放电发生在引线端头处,那么可以采用热缩无卤防火套管重新将其密封起来,并且在端头的位置加装电场控制环^[4]。在完成修复之后,务必要开展局放测试,确保放电量要低于 10pC,并且还需进行局放的持续监测,从而确认其长期的稳定性情况。要编制有关放电处理的报告,详尽地将故障类型、处理工艺参数以及测试结果等都记录下来,进而为后续的预防性维护工作给予相应的数据方面的支撑。

4 结语

变压器于电力系统而言乃是核心设备,其实际运行的状态对于电力系统的稳定以及安全方面有着颇为重要的影响作用。本文针对变压器在实际运行进程当中常见的各类故障类型展开梳理,同时结合多种多样的智能识别技术的具体应用途径,较为系统地对不同故障所对应的处理办法以及相关技术手段加以分析。就当下情况而言,随着智能电网持续发展以及人工智能技术不断取得进展,变压器的智能运维水平也会随之不断提升。在未来,需要进一步强化对故障数据的采集工作以及后续分析环节,促使故障诊断技术同大数据平台能够实现深度融合,达成从以往的“事后维修”模式朝着“预防性维护”模式转变的目标,进而提升电力系统整体的运行效率以及经济效益。

[参考文献]

- [1] 胡洋. 基于数字孪生技术的变压器状态监测研究与探索[J]. 电气化铁道, 2023, 34(1): 38-43.
- [2] 钱苇航. 变电站主变压器运行维护要点[J]. 光源与照明, 2023(3): 143-145.
- [3] 唐颖凯, 贾骥铭. 大型变压器油色谱异常原因分析策略研究[J]. 电子元器件与信息技术, 2023, 7(12): 12-15.
- [4] 韩荣. 变电站常见故障与处理措施[J]. 内蒙古石油化工, 2024, 50(12): 49-52.

作者简介: 牟金祥(1986.2—), 单位名称: 云南华电金沙江中游水电开发有限公司阿海发电分公司, 毕业学校和专业: 昆明理工大学, 电气工程及其自动化专业。

基于大数据分析的继电保护故障诊断与预警技术

李玉倩 张程莉 李艺昆 朱建伟

国网河南省电力公司郑州供电公司, 河南 郑州 450000

[摘要] 继电保护作为电力系统的核心组成部分, 其故障诊断与预警技术对保障电力系统的稳定运行至关重要。基于大数据分析, 通过对继电保护设备运行数据的采集与处理, 采用数据挖掘和机器学习算法, 能够实时识别潜在故障, 提前进行预警。通过构建故障诊断模型和预警机制, 不仅提高了系统的自动化监测能力, 也增强了故障应急响应的效率, 确保电力设备的安全、稳定运行。

[关键词] 继电保护; 故障诊断; 预警技术; 大数据分析; 机器学习

DOI: 10.33142/hst.v8i5.16521

中图分类号: TM77

文献标识码: A

Relay Protection Fault Diagnosis and Warning Technology Based on Big Data Analysis

LI Yuqian, ZHANG Chengli, LI Yikun, ZHU Jianwei

Zhengzhou Power Supply Company of State Grid He'nan Electric Power Company, Zhengzhou, He'nan, 450000, China

Abstract: As a core component of the power system, relay protection's fault diagnosis and warning technology is crucial for ensuring the stable operation of the power system. Based on big data analysis, by collecting and processing operational data of relay protection equipment, using data mining and machine learning algorithms, potential faults can be identified in real time and early warning can be given. By constructing fault diagnosis models and warning mechanisms, not only has the system's automated monitoring capability been improved, but the efficiency of emergency response to faults has also been enhanced, ensuring the safe and stable operation of power equipment.

Keywords: relay protection; fault diagnosis; early warning technology; big data analysis; machine learning

引言

随着电力系统规模的不断扩大, 继电保护作为保障电力系统安全运行的重要环节, 其故障诊断和预警技术的有效性至关重要。传统的故障检测方法往往依赖人工经验, 响应速度慢且准确性较低, 难以满足现代电力系统的需求。大数据分析技术的引入, 为继电保护的故障诊断与预警提供了全新的解决方案。通过对海量数据的深入挖掘和分析, 不仅提升了诊断的准确性, 也加快了预警的响应速度, 极大增强了电力系统的可靠性与安全性。

1 大数据分析在继电保护故障诊断中的应用

继电保护是电力系统中的核心技术, 保障系统的安全、稳定运行。随着电力网络规模不断扩展, 传统的故障诊断方法难以应对复杂的运行环境。大数据分析的引入, 为继电保护故障诊断提供了更高效、精确的解决方案。

1.1 继电保护故障诊断的传统方法

传统的继电保护故障诊断依赖于人工分析与经验判断, 往往存在响应时间长、准确性差等问题。故障发生后, 通常依赖人工检查设备运行情况, 无法及时发现潜在的故障风险, 导致电力设备的停运或损坏。尽管一些传统技术依赖规则库与状态监测, 但这些方法在面对复杂环境时往往难以有效识别多种隐性故障。因此, 随着电力系统的逐渐复杂化, 传统的故障诊断方法已显现出其局限性。

1.2 大数据分析技术的引入

大数据分析通过对继电保护系统运行数据的实时收

集与处理, 可以从海量数据中提取有价值的信息, 从而实现高效的故障诊断。通过数据挖掘和机器学习算法, 大数据可以自动学习和识别继电保护设备的正常与异常状态, 准确捕捉到故障发生的先兆。利用大数据分析, 可以对继电保护系统的工作状态进行全面监控, 提前识别潜在的故障隐患, 减少人为因素对诊断准确性的影响^[1]。通过对各类数据的深入挖掘与模型训练, 故障诊断的准确性和实时性得到了显著提升。

1.3 大数据分析在故障诊断中的实际应用

在实际应用中, 大数据分析技术通过搭建多层次的监测系统, 实现了继电保护设备的智能化管理。采集到的设备数据经过实时处理后, 可以立即传送到云平台进行分析和存储。借助数据分析平台, 系统可以对异常数据进行识别, 并向维护人员发出预警。基于机器学习算法的诊断系统能够不断更新、优化, 以适应不同故障模式和复杂的电力网络环境。此外, 大数据分析还使得故障原因追溯更为精准, 及时发现故障源头, 避免了设备的二次损坏和经济损失。

2 继电保护系统故障诊断模型的构建与优化

继电保护系统故障诊断模型的构建与优化, 是提高电力系统可靠性与安全性的关键。通过大数据分析与机器学习, 能够有效识别故障, 优化诊断效率和精度。

2.1 故障诊断模型的构建框架

继电保护系统的故障诊断模型主要基于对继电保护

设备运行状态数据的实时监控和分析。首先,通过采集设备传感器数据,包括电流、电压、频率、相位等信号,将其传输到诊断平台。数据处理模块对这些数据进行去噪、标准化等预处理,确保数据的质量。接着,通过建立基于大数据分析的模型,使用机器学习算法如支持向量机(SVM)、决策树、神经网络等对设备故障进行分类和预测。模型通过对历史数据的学习,建立正常状态与故障状态之间的关系,实现对系统运行状态的动态监控。构建框架的核心在于准确识别设备的潜在故障,并能够在初期阶段进行预警。

2.2 优化诊断模型的关键技术

为了提高故障诊断的准确性和及时性,模型优化是一个持续进行的过程。首先,数据量的增加为优化模型提供了更为丰富的样本,能够有效解决拟合问题。其次,优化算法的选择对诊断结果有着至关重要的影响。通过选择合适的机器学习算法并不断调整其参数,能够进一步提升模型的分类准确率和预测精度。优化过程中,还可以通过深度学习等先进方法来挖掘数据中的复杂模式,克服传统算法难以解决的非线性问题。此外,基于历史数据反馈对模型进行持续训练与更新,使得模型能够适应新的故障类型和运行环境,提高其长期有效性。

2.3 故障诊断模型的实际应用与效果评估

在实际应用中,构建与优化的故障诊断模型能够极大地提高继电保护系统的故障检测能力。通过对继电保护设备的运行数据进行智能分析,系统可以准确识别出设备的潜在故障并及时发出预警。例如,针对短路故障、过载故障、设备老化等问题,优化后的模型能够快速响应,并给出故障原因和位置,帮助维护人员精准定位问题所在。通过与传统的人工诊断方式对比,基于大数据的故障诊断模型大大缩短了响应时间,减少了人为错误的发生。实际应用效果表明,优化后的诊断模型能够显著提高系统的可靠性,减少系统停机时间,降低维护成本,并且在故障发生前及时预警,防止设备损坏和电力系统的严重故障^[2]。

3 基于大数据的继电保护预警机制研究

继电保护预警机制的研究能够显著提升电力系统的故障预防能力。通过大数据分析技术,能够提前识别系统中的潜在风险,保障电力系统的稳定运行。

3.1 继电保护预警机制的设计理念

继电保护预警机制的核心目标是通过继电保护系统的实时监控,及时发现故障隐患并发出预警。传统的继电保护系统主要依赖于设备的状态监测和人工判断,但这些方法往往存在反应迟钝和误判的风险。大数据分析技术的引入改变了这一局面。通过对海量电力数据的实时采集和深度分析,建立基于预测模型的预警机制,能够通过数据挖掘提前捕捉到潜在的故障征兆。例如,基于电流、电压等参数的异常波动,系统可以识别设备可能的故障类型,

并进行风险预测与预警。在此基础上,预警机制能够在故障发生前给出明确的警示信息,为电力系统的稳定运行提供保障^[3]。

3.2 大数据在预警机制中的应用与优势

大数据分析为继电保护的预警机制提供了强大的技术支持。通过大数据平台,继电保护系统能够整合来自各类设备的数据,包括传感器信息、历史故障记录以及外部环境因素等。使用数据挖掘和机器学习技术,系统可以不断学习和调整诊断模型,以提高预警的准确性和及时性。例如,基于多源数据融合的技术,可以将不同来源的数据进行统一分析,从而提高整体故障识别的能力。此外,基于大数据的预警机制具有实时性强、精度高、适应性广等优势。系统能够根据实时数据动态调整预警阈值,避免因环境变化导致的误报警。

3.3 基于大数据的继电保护预警系统的实施与效果

实际应用中,基于大数据的继电保护预警系统能够有效提高电力系统的运行安全性。预警系统能够在故障初期进行敏感性分析,发现电力设备存在的潜在风险并发出预警,避免事故的扩大。通过对故障数据的历史分析,系统可以精确定位故障发生的时间、地点和类型,为抢修工作提供依据,极大缩短了故障恢复的时间。此外,预警机制的实施还能够对设备的运行状态进行持续监控,发现长期运行中的设备老化、磨损等问题,提前进行维护和更换。大数据驱动的预警机制不仅能够降低电力系统的停机时间,还可以延长设备的使用寿命,节省维护成本,提升电力系统整体效率。

4 机器学习算法在继电保护故障预警中的作用

机器学习算法在继电保护故障预警中的应用,使得电力系统能够提前识别潜在故障。通过数据驱动的学习,提升了故障诊断的准确性和实时性,确保系统的稳定运行。

4.1 机器学习算法的基本原理与应用背景

机器学习算法通过对历史数据的分析与模式学习,能够从大量的传感器数据中识别出异常行为。相较于传统的基于规则的预警方法,机器学习算法无需依赖人工设定的规则,而是通过数据训练模型,使其能够自动识别不同类型的故障。常见的机器学习算法,如支持向量机(SVM)、决策树、神经网络等,在继电保护系统中有着广泛应用。这些算法可以通过训练历史故障数据来建立故障预警模型,帮助识别设备的潜在故障及其原因。机器学习的优势在于其能适应多变的电力系统环境,具备自我学习与优化的能力,从而在复杂情况下仍能保持较高的准确度^[4]。

4.2 机器学习算法在故障预警中的具体应用

在继电保护故障预警系统中,机器学习算法可以通过实时分析各类监测数据(如电流、电压、温度、频率等),预测电力设备的故障情况。例如,使用支持向量机(SVM)算法,系统能够对设备进行分类,识别正常状态与异常状

态之间的区别。而神经网络则能通过对历史数据的训练,学习到复杂的非线性关系,从而对电力设备的潜在故障进行提前识别。除了这些监督学习方法,集成学习方法(如随机森林)也能够通过多种算法的结合,提高诊断结果的可靠性与准确性。通过不断优化模型,机器学习算法能够在面对新的运行环境和故障模式时,快速调整诊断策略,避免了传统方法的局限性。

4.3 机器学习在故障预警中的效果与挑战

应用机器学习算法后,继电保护系统的故障预警准确性大幅提升。系统能够及时发现电力设备的异常波动,并根据模型预测其故障概率,从而提前发出预警通知,减少设备损坏和事故发生的可能性。以神经网络为例,通过不断地学习与更新,故障诊断模型能够应对复杂电力系统中的多种故障情况,且具有较强的自适应能力。然而,机器学习在继电保护中的应用仍面临一些挑战,如数据质量的保障、模型训练过程的复杂性及计算资源的需求。为确保系统的可靠性,需要不断优化算法和提升数据采集与处理技术。此外,尽管机器学习能够提高故障诊断的准确性,但其结果仍需与工程实践相结合,进行人工验证和调整。

5 大数据驱动下的继电保护系统性能提升与挑战

大数据驱动下,继电保护系统的性能得到了显著提升。通过智能分析与预测,系统能够提前识别故障风险,但也面临着数据处理、算法优化等方面的挑战。

5.1 大数据驱动下的系统性能提升

随着电力系统规模的不断扩大,继电保护系统的复杂性日益增加。大数据技术的引入,通过对大量电力设备运行数据的实时监控与处理,使得继电保护系统在故障诊断、预测和预警方面的能力得到了极大提升。大数据平台能够实时收集包括电流、电压、频率、温度等各类传感器数据,并利用高效的分析方法进行数据挖掘。通过对历史数据的学习,继电保护系统能够在故障发生之前识别潜在风险,提前发出预警信号,从而避免设备损坏或系统崩溃。数据驱动的分析不仅提高了故障检测的准确性,还显著缩短了响应时间,提升了电力系统的整体可靠性。

5.2 大数据分析技术的优势与应用

大数据分析技术为继电保护系统带来了前所未有的优势。首先,系统能够对海量数据进行实时处理,避免了传统监测方法的延时性和人工误差。其次,数据的多维度分析为故障诊断提供了更加全面的视角,能够识别出传统方法难以发现的潜在故障。例如,通过多源数据融合技术,继电保护系统可以在多个指标之间寻找关联,识别出与故

障相关的细微异常。与此同时,机器学习和深度学习等技术的结合,使得系统能够随着数据量的增加而不断优化自我诊断能力^[5]。通过持续的模型训练,系统可以应对不同故障模式和环境变化,提高其适应性和精准度。

5.3 大数据驱动下面临的挑战与解决方案

尽管大数据技术提升了继电保护系统的性能,但仍面临挑战。首先,数据质量和完整性直接影响分析准确性,电力设备的传感器数据可能受到噪声和干扰影响,导致数据不准确。因此,确保数据高质量采集和处理是关键。其次,现有的机器学习和数据挖掘算法仍需优化,以应对复杂电力系统的多变性。最后,大数据分析依赖强大的计算平台,但资源和成本限制仍然是应用中的障碍。解决问题将推动大数据技术在继电保护系统中的深入应用。

为应对挑战,未来可从提升数据采集、优化算法模型和增强计算平台等方面入手,推动大数据技术在继电保护系统中的应用。持续创新将使继电保护系统实现更高效、更智能的运行。

6 结束语

大数据技术的引入为继电保护系统带来了显著的性能提升,特别是在故障诊断、预警机制和系统优化方面,展现了强大的优势。尽管在数据质量、算法优化和计算资源方面仍面临挑战,但通过持续创新和技术改进,继电保护系统的智能化水平将不断提高。未来,随着大数据分析和机器学习等技术的进一步发展,电力系统将更加稳定、安全,为智能电网的建设提供强有力的技术支撑,推动电力行业向更加高效和智能的方向发展。

[参考文献]

- [1]高俊. 供配电系统继电保护原理及预警功能改进[J]. 铜业工程, 2020(1): 95-98.
 - [2]张瑞程, 申柯, 杜安东. 继电保护二次回路在线监测与故障诊断技术分析[J]. 集成电路应用, 2024, 41(2): 252-253.
 - [3]赵康, 漆苗. 大数据在电力系统继电保护中的应用与挑战[J]. 电子元器件与信息技术, 2024, 8(6): 104-106.
 - [4]赵艳东. 继电保护二次系统的故障诊断与处理技术[J]. 大众用电, 2024, 39(10): 52-54.
 - [5]武凯. 发电厂继电保护装置的故障诊断与智能预警研究[J]. 电力设备管理, 2024(20): 89-91.
- 作者简介: 李玉倩(1993.4—), 女, 河南省郑州人, 汉族, 硕士研究生, 中级电力工程师, 就职于国网郑州供电公司, 从事变电运维技术工作。

水利枢纽工程长期运行管理的关键问题及优化策略研究

王启玉

塔里木河流域开都孔雀河水利管理中心水资源调度中心, 新疆 库尔勒 841000

[摘要]随着人口的增长与经济的持续发展, 水资源的需求不断攀升, 水利枢纽工程在水资源管理中的重要性愈加突出。尤其是在干旱及半干旱地区, 水利枢纽不仅是水源和能源的主要供应者, 还是防洪抗旱的关键保障。水利枢纽在长期运营过程中, 难以避免地会面临设备老化、设施维护难度加大以及极端气候变化等一系列挑战。与此同时, 随着社会对生态环境保护关注的日益增强, 水利枢纽的管理不仅需注重经济效益, 还必须兼顾生态保护与资源合理调度。因此, 为了确保水利枢纽的有效运作, 技术创新与管理模式的升级成为不可或缺的元素。通过智能化与数据化手段, 设施运行的精准度与可持续性得以显著提升。深入研究水利枢纽工程的长期运行管理问题及优化策略, 不仅有助于解决当前管理中的难题, 还为未来水利工程的高效运营提供了理论依据与实践指导。

[关键词]水利工程; 水利枢纽; 运行管理; 问题; 优化策略

DOI: 10.33142/hst.v8i5.16519

中图分类号: TV61

文献标识码: A

Research on Key Problems and Optimization Strategies for Long term Operation Management of Water Conservancy Hub Projects

WANG Qiyu

Water Resources Dispatch Center of Tarim River Basin Kaidu Kongque River Water Resources Management Center, Korla, Xinjiang, 841000, China

Abstract: With the growth of population and sustained economic development, the demand for water resources continues to rise, and the importance of water conservancy hub projects in water resource management is becoming increasingly prominent. Especially in arid and semi-arid regions, water conservancy hubs are not only the main suppliers of water and energy, but also the key guarantee for flood control and drought resistance. During the long-term operation of water conservancy hubs, it is inevitable that they will face a series of challenges such as equipment aging, increased difficulty in facility maintenance, and extreme climate change. At the same time, with the increasing attention of society to ecological environment protection, the management of water conservancy hubs not only needs to focus on economic benefits, but also must take into account ecological protection and rational resource allocation. Therefore, in order to ensure the effective operation of water conservancy hubs, technological innovation and upgrading of management models have become indispensable elements. Through intelligent and data-driven means, the precision and sustainability of facility operation have been significantly improved. In depth research on the long-term operation and management issues and optimization strategies of water conservancy hub projects not only helps to solve current management problems, but also provides theoretical basis and practical guidance for the efficient operation of future water conservancy projects.

Keywords: water conservancy engineering; water conservancy hub; operation management; problem; optimization strategy

引言

水利枢纽工程作为重要的水资源调控设施, 在现代社会发挥着多重关键作用, 包括提供水源、灌溉、防洪、发电等。这些设施不仅是国家基础设施体系的核心组成部分, 也为保障区域经济发展与生态环境可持续性提供了重要支撑。随着全球气候变化加剧及人类活动不断增加, 水利枢纽面临的长期运行挑战愈加复杂。如何实现高效且可持续的管理, 已成为迫在眉睫的课题。水利枢纽工程的运行管理不仅需确保设施的安全与高效运转, 同时也必须综合考虑水质保护、生态环境以及设备维护等多个因素。因此, 优化管理策略, 提升水利枢纽的运行效率与环境适应能力, 已成为亟待解决的重要课题。

1 水利枢纽运行管理的意义和作用

水利枢纽工程在长期运行过程中常常面临设备老化、设施损坏、水质污染等一系列问题。这些问题若未能及时识别并处理, 可能会严重影响枢纽的正常运转及周边环境。水利枢纽的运行管理至关重要, 其核心作用在于通过定期的维护、检查及必要的升级改造, 及时发现潜在问题并采取有效措施, 避免小问题发展成重大隐患。运行管理体系的建立不仅保证了水利工程高效稳定地运行, 也提高了应对突发事件的能力, 降低了潜在风险对设施运行的威胁。例如, 水利枢纽在运行中可能因设备老化或管理不善, 导致泄漏、堵塞等故障。如果这些问题未能及时处理, 可能对水资源调度、生态保护甚至社会经济活动造成不良影响。

通过系统的运行管理,可以尽早发现设备的异常状况,迅速采取维修或更换措施,减少了严重事故的发生概率。进入信息化时代后,水利枢纽的管理逐步转向数字化与智能化。现代化的管理系统通过数据采集、存储与系统化管理等手段,实现了高效、简洁的运行方式。通过大数据分析、监测与可视化技术,管理者能够实时获取设施运行状态,并直观地查看各项数据指标,为决策提供科学依据。传感器及其他监控设备将水利枢纽的运行数据实时传送至管理平台,系统可以通过数据分析预测设备的使用寿命,提前识别可能出现的故障。

2 水利枢纽工程长期运行管理面临的关键问题

2.1 极端气候条件与设施耐久性

在水利枢纽工程的长期运行中,极端气候条件对设施耐久性带来了严峻的考验。以干旱半干旱地区为例,频繁的高温、干旱及风沙等极端天气现象,严重影响了水利设施的稳定性。水库水量的蒸发因高温天气而加速,水资源调度的影响不可忽视,长期运行的设施也因此面临更大挑战。风沙和沙尘暴的侵蚀使坝体、管道等关键设施遭受损害,甚至可能引起结构性破坏,从而增加了维护成本。再者,长期干旱或暴雨天气也对水库周围生态环境造成了压力,水质污染的风险随之上升,直接影响到水利枢纽的正常运行。极端气候的不可预测性使得设施设计和管理的复杂性大幅增加。气候变化愈加剧烈,实际气候条件的变化常常超出设计预期,致使原本设计的设施无法应对突发的极端情况。当各种极端气候交替发生时,水利设施的耐久性便面临多重考验,亟需及时评估并采取有效的应对策略。这些因素的交织作用加剧了设施运行的难度,增加了不确定性,对水利枢纽的管理提出了更高的要求。

2.2 水库及水文监测系统的管理难题

水库及水文监测系统的管理面临一系列复杂的挑战。涉及水库管理的众多数据,包括水位、流量、降水量、泥沙含量等多个维度的信息,管理过程因此变得更加繁杂。传统的人工监测方式,往往难以全面、实时地反映水库的实际运行状态,这也容易导致信息滞后或监测遗漏。与此同时,水文监测系统的设备与传感器通常需要在极端自然环境中长时间运行,设备故障的发生频率较高,这对数据的准确性和稳定性产生了负面影响,尤其是在极端天气条件下,设备老化问题尤为突出。水文监测系统与水库管理之间的协调性也存在一定问题,管理人员往往依赖来自多个来源的数据来做出决策,但这些数据常常存在格式不统一、更新不及时或缺乏有效整合的情况,影响了决策的效率与准确性。尤其是在偏远地区,由于水文监测设施建设滞后,缺乏及时捕捉和分析关键水文信息的能力,这进一步加剧了管理难度。这些问题揭示了,水库及水文监测系统的管理不仅面临技术层面的挑战,还受限于管理机制与资源分配等方面,迫切需要在多个方面进行改进与突破。

2.3 水质污染与生态环境保护

水质污染与生态环境保护是水利枢纽工程长期运行中的重大挑战。随着工业化进程的加速与农业活动的增加,水库及其周边水域常常面临不同程度的污染。农业施肥、农药流失、工业废水排放以及生活污水的直接排放等因素,导致了水库水质的恶化,水体富营养化现象的加剧更为严重。这不仅影响了水库的供水质量,还对生态环境的稳定性构成威胁,破坏了水生生物的栖息地,进而影响其繁衍与生长。在水库的日常调度过程中,水质保护常常未能受到足够重视。随着污染问题的积累,水流扩散使得水质污染可能波及更广泛的水域,甚至危及下游地区的水资源安全。同时,水库周边生态环境的保护面临诸多挑战。过度开发与建设活动对湿地、森林及其他自然资源保护区的生态系统造成了显著破坏,生物栖息地的丧失加剧了,生态多样性也正面临严峻考验。考虑到水质污染与生态环境保护涉及多个领域,且积累的污染问题往往需要较长时间才能有效治理,相关的管理与修复工作显得尤为复杂且充满挑战。

2.4 水利设施老化与设备维护的困难

水利设施的老化与设备维护困难是水利枢纽工程长期运行中的一大难题。随着使用年限的增加,许多水利设施逐渐暴露出老化迹象。尤其是坝体、管道、泵站等关键设施,其材料在长期与水、风、沙等自然环境接触后,容易发生腐蚀、裂缝及磨损等问题,这些问题严重影响了设施的结构安全性与运行效率。设备老化不仅大幅提高了维修与更换成本,也可能引发突发故障,从而影响整个水利系统的稳定性与正常运作。此外,由于水利设施的维护工作具有高度复杂性与庞大规模,面临着极大的挑战。水利枢纽包含多个子系统,涉及大量的机械、电气及自动化设备,这些设备分布广泛,跨越不同地区。在设备故障排查过程中,维护人员不仅需要应对技术更新与零部件供应短缺的问题,还需处理时间、资金和人员等资源的有限性。这些限制因素常常导致许多问题在日常运行中被忽视或延迟处理,从而增加了设备老化与损坏的风险。

3 水利枢纽工程长期运行管理的优化策略

3.1 设备维护与智能监测技术的应用

随着水利枢纽工程规模的持续扩大及其运行时间的延长,传统的设备维护模式已逐渐难以满足日益复杂的管理需求。设备老化、环境变化以及突发故障等问题,迫使我们重新审视维护方式的转型。智能监测技术的引入,为应对这一挑战提供了全新的解决方案。通过在各类设施中安装传感器,结合物联网技术及大数据分析系统,水利枢纽实现了全天候、全方位的实时监控^[1]。这些收集的数据不仅能准确反映设备的运行状态,还能预测设备的使用寿命及可能的故障风险,使得维护方式从传统的定期检查转变为更加科学且精准的状态监测及预防性维护。智能监测技术的关键优势在于其对设施运行状态的细致分析能力,

使得潜在的风险能够在早期阶段被及时发现,进而有效减少突发故障带来的损失。通过振动监测、温度监测、流量监测等手段,异常状况能够提前识别,尤其是对于泵站、发电机组等关键设备,从而使维修或更换措施能够及时采取,延长设备的使用周期,避免整体停运的发生。尽管智能监测系统在提升设备维护效率与精准度方面展现出显著优势,技术投入、数据处理能力及系统稳定性等问题依然需要在实际实施过程中予以妥善解决。

3.2 加强水文监测与数据分析能力

随着水利枢纽工程管理复杂性的不断增加,提升水文监测与数据分析能力已经成为增强管理效能的关键策略。水文监测系统的核心在于实时、精准地采集水位、流量、降水量等关键水文数据,这些数据直接关系到水库调度、洪水预警以及水资源管理等决策的准确性。传统的水文监测手段,依赖人工巡查与现场测量,往往存在效率低下、覆盖面有限以及人为误差等问题。而与此相比,现代化水文监测系统通过部署自动化设备与传感器,能够提供24小时连续不间断的实时监控,显著提高了数据采集的精度与频率。仅仅依靠水文数据的采集仍不足以全面提升管理水平,数据分析与处理才是核心所在^[2]。借助大数据分析技术,可以从海量水文数据中提取有价值的信息,进行趋势预测与风险评估。这不仅帮助管理人员更清晰地掌握水库的水文状况,还能够预测可能发生的极端天气或水文事件,为及时调度和防灾准备提供科学依据。提升水文监测与数据分析能力,不仅有助于提高水资源的使用效率,还能在突发事件发生时,为应急响应提供精准高效的决策支持,确保水利枢纽的长期稳定运行。

3.3 强化生态保护与水资源调度

在水利枢纽工程的管理中,强化生态保护与水资源调度是关键策略,尤其是在资源日益紧张、生态环境逐渐恶化的背景下。水库的运行不仅需满足供水、发电、灌溉等基本需求,更应平衡生态保护,确保水体生态系统的稳定性。在水资源调度过程中,若过度开采或采取不合理的调度方式,可能导致水质恶化、湿地萎缩、鱼类栖息地破坏等一系列生态问题。因此,合理的水资源调度不仅要满足人类活动的水需求,还应考虑生态流量的保障,从而确保生态环境的可持续发展。生态保护与水资源调度的有机结合,要求管理方法更加精细化与系统化。水库调度应根据季节变化、水文数据及生态保护的需求进行动态调整,避免单纯追求经济效益而忽视生态效益^[3]。例如,在干旱季节,应优先保障生态流量,确保下游生态系统不受损害;而在丰水期,则可适度增加水库蓄水量,以支持农业灌溉或电力生产。通过科学调度与实时生态监测的结合,可以实现水资源的合理分配,保护生态多样性,从而达到经济与环境的双赢局面。

3.4 完善安全管理与应急机制

完善安全管理与应急机制对保障水利枢纽工程的平稳运行至关重要。作为关键基础设施,一旦发生安全事故,水利枢纽不仅可能造成巨大的财产损失,还可能对下游地区居民生活及生态环境产生深远影响。为了避免这些风险,建立健全的安全管理体系和应急响应机制显得尤为必要。安全管理应覆盖设施的日常运行与维护,并着重于潜在风险的预测与预防,如设备老化、自然灾害、技术故障等问题。通过定期进行安全检查、设备监控及风险评估,潜在隐患能够得以及早识别,及时采取预防措施,从而有效降低突发事件的风险。应急机制的完善要求能够在突发事件发生时迅速做出反应,协调各方资源,最大限度地减少灾难影响。有效的应急响应机制应明确各级人员职责、应急处理流程与资源配置,并定期进行应急演练,以确保在紧急情况下,工作人员能够迅速且准确地执行应对方案。随着信息技术的不断发展,智能化应急管理体系的引入,为提高应急响应效率提供了强大的技术支持,使得信息流通更加迅速,响应更加高效。

4 结语

水利枢纽工程在确保水资源的有效利用、促进经济发展以及维持生态平衡方面发挥着至关重要的作用。随着工程运行时间的延续及管理需求的不断增加,长期运行管理面临的挑战也愈加复杂。从极端气候对设施耐久性的影响,到水质污染与生态环境保护的复杂性,再到设备老化和水文监测的管理难题,每一环节都亟需高度关注与精准应对。面对这些挑战,优化管理策略显得尤为重要。通过加强设备维护、引入智能监测技术、提升水文监测与数据分析能力、推动生态保护与水资源调度的有效结合、完善安全管理与应急机制等措施,水利枢纽的运行效率与安全性将得到显著提高。同时,这些举措将为水资源的可持续利用与生态环境的保护提供有力支持。随着技术的持续进步与管理模式的不断创新,水利枢纽工程的管理将逐步走向更加精细化与智能化,为水利事业在复杂多变的环境中持续、健康发展提供坚实保障。

【参考文献】

- [1] 杨涌. 水利枢纽运行管理及相关问题概述[J]. 珠江水运, 2020(17): 101-102.
 - [2] 王振. 新疆玛尔坎恰提水利枢纽工程方案研究浅谈[J]. 陕西水利, 2024(12): 73-75.
 - [3] 潘美筠, 王强, 陈臻隆. 二级坝水利枢纽水闸工程运行管理技术归纳[J]. 治淮, 2021(12): 71-73.
- 作者简介: 王启玉(1990.2—), 毕业院校: 国家开放大学, 所学专业: 水利水电工程, 当前就职单位名称: 塔里木河流域开都孔雀河水利管理中心水资源调度中心, 就职单位职务: 一般干部, 职称级别: 工程师。

无人值守光伏场站管理模式创新与应用

朱松¹ 王涛²

1. 中国华电集团有限公司宁夏公司, 宁夏 银川 750002

2. 华电(宁夏)宁夏能源有限公司新能源分公司, 宁夏 银川 750002

[摘要]随着光伏发电技术的快速发展,场站规模扩大与运维成本上升的矛盾日益突出,传统依赖人工巡检与值守的管理模式已难以满足高效、安全、低成本运营需求。文章聚焦无人值守光伏场站管理模式创新,通过融合物联网、人工智能等新兴技术,提出了一种“智能感知-自主决策-远程协同”三位一体的新型管理模式。研究首先构建了基于多源异构数据融合的智能感知体系,实现对光伏组件、逆变器、气象环境等关键参数的实时监测与故障预警;其次,设计了基于强化学习与知识图谱的自主决策算法,通过动态优化调度策略与应急响应机制,提升场站运行的自适应性与容错能力;最后,搭建了云端-边缘协同的远程运维平台,实现多场站集中管控、无人值守与跨区域协同作业。

[关键词]无人值守;光伏场站;智能感知;自主决策;远程运维

DOI: 10.33142/hst.v8i5.16502

中图分类号: TM63

文献标识码: A

Innovation and Application of Unmanned Photovoltaic Station Management Mode

ZHU Song¹, WANG Tao²

1. Ningxia Branch of China Huadian Corporation Ltd., Yinchuan, Ningxia, 750002, China

2. New Energy Branch of Huadian (Ningxia) Ningxia Energy Co., Ltd., Yinchuan, Ningxia, 750002, China

Abstract: With the rapid development of photovoltaic power generation technology, the contradiction between the expansion of station scale and the increase of operation and maintenance costs has become increasingly prominent. The traditional management mode relying on manual inspection and duty is no longer able to meet the needs of efficient, safe, and low-cost operation. The article focuses on the innovation of unmanned photovoltaic station management mode, and proposes a new management mode of "intelligent perception-autonomous decision making-remote collaboration" by integrating emerging technologies such as the Internet of Things and artificial intelligence. The study first constructed an intelligent perception system based on multi-source heterogeneous data fusion, which realizes real-time monitoring and fault warning of key parameters such as photovoltaic modules, inverters, and meteorological environment; Secondly, an autonomous decision-making algorithm based on reinforcement learning and knowledge graph was designed to enhance the adaptability and fault tolerance of station operation by dynamically optimizing scheduling strategies and emergency response mechanisms; Finally, a cloud edge collaborative remote operation and maintenance platform was built to achieve centralized control of multiple stations, unmanned operation, and cross regional collaborative work.

Keywords: unmanned operation; photovoltaic power station; intelligent perception; autonomous decision-making; remote operation and maintenance

引言

在全球能源加速转型的浪潮下,光伏产业作为绿色能源的中流砥柱,正迅猛发展。随着光伏装机规模持续攀升,传统光伏场站管理模式弊端尽显,诸如人力成本居高不下、管理效率低下、设备运维响应迟缓、交通风险压力较大等问题日益凸显。为契合新形势下光伏产业的发展需求,华电(宁夏)能源有限公司新能源分公司积极开拓创新,以“检修部做实”为核心,融合“分组承包、集中检修”及无人机巡检等前沿管理手段,构建无人值守光伏场站管理模式,旨在全方位提升管理效能、削减运营成本、提高发电效率,同时显著降低交通风险,为光伏产业的可持续发展注入新的活力,提供全新的思路与宝贵的实践经验。

1 实施背景

本案例分析将以华电(宁夏)能源有限公司新能源分

公司无人值守光伏电站为核心,通过深入剖析无人值守如何赋能能源电力行业,展现光伏电站无人值守方案在推动能源转型和可持续发展中的巨大潜力。华电(宁夏)能源有限公司新能源分公司光伏设备装机容量 104.6 万千瓦(含喊叫水光伏 20 万千瓦、三个分布式光伏 1.6 万千瓦、风光互补 19.8 万千瓦)。因各光伏场站较为分散,且人员紧缺。光伏检修部借鉴参考《中国华电集团有限公司水电站“无人值班(少人值守)、远程集控”管理办法》,根据集团公司《新能源生产管理体系建设指导意见》(中国华电函(2022)528号)要求,按照“自主运行、自主维护”和“远程集控、分级诊断、片区维护、专业检修”生产管理模式,逐步实现各光伏场站“无人值班、少人值守”管理。现将光伏四期、贝利特、光伏三期及分布式光伏电站设为无人值守场站,有效地降低运营成本、提高工作效率。

1.1 能源结构转型加速光伏产业发展

随着全球对气候变化问题的关注度不断提升，各国纷纷加大对可再生能源的开发与利用力度。我国明确提出“碳达峰、碳中和”目标，为光伏产业带来了前所未有的发展机遇。在政策推动和市场需求的的双重驱动下，光伏装机容量持续快速增长，预计在未来几年仍将保持较高的增长率。光伏产业在能源结构中的占比日益增大，其高效、稳定的运行对于保障能源安全、实现绿色发展具有重要意义。

1.2 传统光伏场站管理模式弊端凸显

传统的光伏场站管理模式多采用有人值守方式,每个场站配备一定数量的运行维护人员。然而,随着光伏项目数量的增多和分布范围的扩大,这种模式的弊端逐渐显现。一方面,人力成本居高不下,大量的人员配置不仅增加了工资、福利等直接成本,还带来了人员培训、管理等间接成本。另一方面,由于场站分布分散,管理难度大,信息传递不及时,导致设备故障发现与处理滞后,设备可利用率降低,发电损失增加。此外,人工巡检受主观因素影响较大,难以保证巡检的全面性和准确性,无法满足光伏场站精细化管理的要求。更为关键的是,如图 1 所示,由于场站分布极为分散,公司部分常驻检修点距离远达 200 公里,运维人员频繁往返场站进行巡检与维护,面临着较大的交通风险,如交通事故隐患、恶劣天气下行车安全问题等,这不仅危及人员生命安全,还可能因意外导致运维工作延误,进一步影响场站的正常运营。

1.3 技术进步为无人值守管理提供支撑

近年来,信息技术、自动化技术、智能传感技术等快速发展,为光伏场站无人值守管理模式的实现提供了坚实的技术基础。通过智能化监控系统,可实现对光伏场站设备运行状态的实时监测、数据分析和远程控制;自动化设备能够完成诸如设备启停、故障诊断与处理等操作,减少人工干预;无人机巡检技术的应用,大大提高了巡检效率和质量,能够及时发现设备潜在隐患。这些技术的成熟与应用,使得无人值守光伏场站管理模式从设想变为现实,更为降低因人员频繁出勤带来的交通风险提供了可行路径。

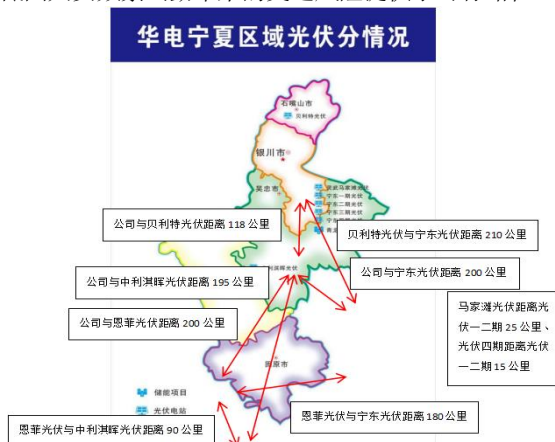


图 1 各场站地理位置分布表

2 内涵与做法

2.1 强化检修部职能，做实运维保障

明确检修部核心地位: 确立检修部在无人值守光伏场站管理中的核心地位, 将其定位为 “设备维护中心、故障处理中心、技术支持中心”。检修部负责制定详细的设备维护计划、故障应急预案, 统筹调配资源, 确保光伏场站设备的稳定运行。通过建立健全检修部管理制度, 明确各岗位人员职责, 形成高效的工作流程, 提升整体运维效率。

优化人员配置与培训: 根据光伏场站的规模和设备特点,合理配置检修部人员,包括电气工程师、运维技术人员等专业人才。加强人员培训,定期组织内部培训和外部技术交流活动,提升员工的专业技能和综合素质。鼓励员工自主学习和创新,掌握先进的设备运维技术和管理方法,为无人值守管理模式的实施提供人才保障。

建立设备全生命周期管理体系:检修部对光伏场站设备实施全生命周期管理,从生产准备、安装调试、运行维护到报废更新,进行全过程跟踪和记录。通过建建设备台账、运行档案和维护记录,实时掌握设备运行状态,及时发现设备潜在问题,制定针对性的维护措施,延长设备使用寿命,降低设备故障率。

2.2 推行分组承包、集中检修模式

分组承包管理：将光伏场站的设备按照区域、类型等进行划分，成立多个承包小组，每个小组负责特定区域或类型设备的日常运维和检修工作。承包小组实行组长负责制，明确小组内各成员的职责分工，确保各项工作落实到人。通过分组承包，提高员工对设备的熟悉程度，增强工作责任心，同时便于对工作绩效进行考核评价。

集中检修机制：根据设备运行状况和维护计划，定期组织集中检修。在集中检修期间，各承包小组协同作战，对光伏场站设备进行全面检查、维护和升级。集中检修采用标准化作业流程，制定详细的检修方案和质量控制标准，确保检修工作的高效、高质量完成。同时，利用集中检修的机会，对设备进行技术改造和优化，提高设备性能和发电效率。

建立绩效激励制度:为充分调动承包小组和员工的工作积极性,建立完善的绩效激励制度。根据设备运行指标、维护质量、故障处理及时性等考核指标,对承包小组和员工进行定期考核评价,将考核结果与薪酬、晋升、奖励等挂钩。对表现优秀的小组和个人给予表彰和奖励,对工作不力的进行问责和处罚,形成良好的竞争氛围,推动分组承包、集中检修模式的有效实施。

2.3 引入无人机巡检技术，提升巡检效率与质量

构建无人机巡检体系：配备专业的无人机巡检设备，建立无人机巡检队伍，制定详细的无人机巡检计划和操作规程。根据光伏场站的地形、设备分布等情况，规划无人机巡检航线，确保能够全面覆盖场站设备。无人机搭载高清摄像头、红外热成像仪等检测设备，能够对光伏组件、

汇流箱、逆变器等设备进行多角度、全方位的检测,实时获取设备运行数据和图像信息。

数据分析与处理:利用大数据分析技术,对无人机巡检获取的数据进行分析处理。通过建立设备故障诊断模型,对设备运行数据进行实时监测和分析,及时发现设备潜在故障隐患,并发出预警信息。同时,对历史数据进行统计分析,总结设备运行规律,为设备维护和检修提供决策依据。

与传统巡检方式相结合:无人机巡检虽然具有高效、准确等优点,但不能完全替代传统巡检方式。将无人机巡检与人工巡检、在线监测等方式相结合,形成全方位、多层次的巡检体系。对于无人机难以检测到的部位或发现的异常情况,及时安排人工进行现场核实和处理,确保设备安全可靠运行。这种以无人机巡检为主的模式,极大减少了运维人员前往偏远场站的出勤频率,使得交通风险大幅降低。以往运维人员需要长途跋涉前往距离达 230 多公里的检修点,如今借助无人机,大部分巡检工作可在空中完成,有效规避了交通风险,保障了人员安全。

3 目标关键技术及可行性分析

3.1 监控系统

(1) **数据传输技术:**各光伏电站采用“安全分区、网络专用、横向隔离、纵向认证”的方式通过风云集控平台将数据采集、经电力专线将现场监控后台实时监测数据传输至远程集控中心对现场数据实时监控。

(2) **远程监控平台:**建立基于云计算或本地服务器的远程监控平台,能够实时显示电站设备的运行状态、报警信息等。通过数据可视化技术,以图表、地图等形式直观地展示电站的运行情况。



图2 远程监控平台

3.2 自动化运维技术

(1) **故障诊断算法:**利用机器学习和人工智能算法,如神经网络算法,对采集到逆变器的输出电流、电压等数据的数据进行分析,及时发现设备故障。

(2) **智能巡检机器人:**在光伏电站内部署自动巡检机器人,它可以携带摄像头、热成像仪等设备,对光伏板进行外观检查、热斑检测等。机器人的运行路径可以根据电站布局进行规划,采用路径规划算法。

(3) **远程控制技术:**实现对电站设备的远程控制,做到远程监控、远程操作,通过平台发布设备运行状况,现场

检修人员可以通过发布设备运行状况开展现场检修工作。

以上情况,证明无人值守场站管理具有可实施推行性。

为进一步确定光伏场站无人值守管理的必要性,以下从四个方面进行分析:

3.2.1 降低运营成本

无人值守的光伏电站可以减少现场运维人员的数量,从而降低人力成本。通过无人机智能巡检系统和远程监控技术,原本需要多人进行的巡检工作可以由少数人员在远程控制中心完成,大大减少了现场人员的工作量和相关的人力成本。

3.2.2 提高运维效率

无人值守的光伏电站可以通过自动化和智能化的设备实现更高效的运维。智能巡检系统可以实现 24 小时的实时监控,及时发现并处理设备故障,提高发电效率。

3.2.3 改善工作环境

光伏电站通常位于偏远地区,工作环境较为艰苦。无人值守的模式可以减少运维人员在恶劣环境下的工作时间,提高工作舒适度和安全性。

3.2.4 适应规模化发展

随着光伏电站规模的不断扩大,传统的有人值守模式难以满足大规模电站的运维需求。无人值守的模式可以更好地适应规模化发展的趋势,通过集中监控和区域化管理,实现对多个电站的统一管理和维护,提高整体运营效率。

综上所述,光伏电站无人值守的必要性在于降低运营成本、提高运维效率、改善工作环境以及适应规模化发展的需求。随着技术的不断进步,无人值守的光伏电站将成为未来发展的趋势。

4 实施效果

4.1 运营成本显著降低

通过实施无人值守光伏场站管理模式,减少了场站运行维护人员数量,人力成本大幅降低。同时,采用分组承包、集中检修模式,提高了设备维护效率,降低了设备故障率,减少了维修费用支出。引入无人机巡检技术,降低了人工巡检成本,提高了巡检效率。据统计,实施无人值守管理模式后,光伏场站运营成本较传统模式降低了 30%。尤为重要的是,交通风险的大幅降低,减少了因交通意外可能导致的潜在经济损失,如车辆维修、医疗赔偿、延误运维工作带来的发电损失等,进一步节约了运营成本。

4.2 设备可靠性大幅提升

强化检修部职能和建立设备全生命周期管理体系,使设备维护更加规范、及时和有效。分组承包、集中检修模式确保了设备维护质量,无人机巡检技术能够及时发现设备潜在隐患,提前进行处理。这些措施有效提高了设备可靠性,设备可利用率提升 0.5%,故障损失明显降低。

4.3 管理效能显著增强

无人值守光伏场站管理模式实现了对场站设备的远

程监控和智能化管理,信息传递更加及时、准确,管理决策更加科学、高效。通过建立绩效激励制度,充分调动了员工的工作积极性和创造性,团队协作能力明显提升。此外,无人机巡检等新技术的应用,为管理创新提供了有力支撑,推动了光伏场站管理水平的不断提升。交通风险的降低,使得运维团队能够更加专注于设备运维与管理工作。公司将继续跟踪光伏电站无人值守运行情况,及时维护,为光伏电站无人值守提供科学的决策依据,有效提升整体管理效能。

5 结语

本文针对传统光伏场站管理模式中人力成本高、运维效率低、故障响应慢等痛点,提出并验证了一种“智能感知-自主决策-远程协同”三位一体的无人值守管理模式。通过物联网、人工智能等技术的深度融合,实现了光伏场站从“被动运维”到“主动预防”的范式转变,通过技术创新与工程实践验证,有效解决了传统运维模式的局限性,

为光伏行业的高质量发展提供了新思路。未来,需持续优化技术体系并拓展应用场景,以适应新能源产业的快速迭代需求。

【参考文献】

- [1]黄大巧,王鹏飞,丁娇.基于物联网技术的光伏场站智慧运维管理平台设计与应用[J].无线互联科技,2025,22(1):51-54.
- [2]朱军,于天航.光伏智慧场站的智能监控与优化管理技术研究[J].中国信息界,2025(2):54-56.
- [3]郑涛,马英,由巖,等.计及储能协同控制的光伏场站快速备自投方案[J].电工技术学报,2025(4):21.
- [4]刘星,许建中.基于粗-细粒度分割的光伏场站控制器等效建模方法[J].电网技术,2025(4):21.

作者简介:朱松(1985.11—),男、本科学历,毕业于山东科技大学泰山科技学院,专业:土木工程。

输配电线路故障选线新型高精度算法研究

陈立峰

内蒙古锡林郭勒盟阿巴嘎旗供电分公司, 内蒙古 锡林郭勒 011400

[摘要]随着电网规模的不断扩大, 输配电线路故障选线的准确性与响应速度成为保障供电稳定的重要环节。文中从现有选线方法的技术局限出发, 提出一种基于多参数融合与智能优化的高精度故障选线新算法。该算法结合电流突变量分析、小波变换特征提取和改进的支持向量机, 实现快速、准确的故障选线功能, 显著提升系统响应能力与鲁棒性, 为智能电网运维提供技术支持。

[关键词]输配电线路; 故障选线; 小波变换; 支持向量机; 高精度算法

DOI: 10.33142/hst.v8i5.16501

中图分类号: TM73

文献标识码: A

Research on a New High Precision Algorithm for Fault Line Selection in Transmission and Distribution Lines

CHEN Lifeng

Inner Mongolia Xilingol League Abaga Banner Power Supply Branch, Xilingol League, Inner Mongolia, 011400, China

Abstract: With the continuous expansion of the power grid, the accuracy and response speed of fault line selection for transmission and distribution lines have become important links in ensuring stable power supply. Starting from the technical limitations of existing line selection methods, this article proposes a new high-precision fault line selection algorithm based on multi parameter fusion and intelligent optimization. This algorithm combines current surge analysis, wavelet transform feature extraction, and improved support vector machine to achieve fast and accurate fault line selection function, significantly improving system response capability and robustness, and providing technical support for smart grid operation and maintenance.

Keywords: transmission and distribution lines; fault line selection; wavelet transform; support vector machine; high precision algorithm

引言

输配电系统作为电力网络的重要组成部分, 不仅承载着电能传输的重要任务, 更直接关系到整个电力系统的运行效率与安全稳定。在实际运行过程中, 一旦输配电线路发生故障, 若无法及时、准确地定位故障点, 不仅会导致大面积停电, 增加电网运行风险, 还会对设备安全和用户用电体验造成严重影响。传统故障选线方法如电流突变量法、行波法等, 在理想条件下具备一定适用性, 但在面对负载波动大、接地阻抗复杂、分布式电源接入频繁等复杂工况时, 常常出现误判、漏判等问题, 难以满足现代电网对选线算法在精度、稳定性与响应速度方面的高要求。

1 现有故障选线技术分析

1.1 基于电流突变的传统方法

传统故障选线方法多以电流突变量为核心, 通过检测电流在故障发生瞬间的幅值突变来判断故障相别及对应的故障线路。这类方法逻辑清晰、实现方式简便, 具备结构简单、计算量小、响应速度快等优点, 因此在早期输配电系统中被广泛采用。其基本原理是, 短路故障发生时, 电流波形会产生明显的突变, 系统通过采集母线各出线的电流波形并分析其突变量大小, 即可识别出电流突变幅值最大的线路, 从而推测该线路为故障线路。然而, 该类方法对系统中的非故障扰动、负荷波动、电气噪声等外界干

扰较为敏感, 尤其在多电源供电结构、接地电阻较大或高阻接地等复杂工况下, 极易出现误判、漏判等问题。此类算法常常忽略线路间耦合、互感效应及拓扑结构的影响, 导致在故障点距离变电站较远、线路阻抗较高的情况下, 电流突变量不再具有明显辨识度, 准确率显著下降。这些局限性严重制约了其在现代复杂电网环境中的适应性与实用性, 亟需更新和优化。

1.2 基于行波法的选线机制

行波法是一种基于电磁波传播理论的故障选线技术, 其基本原理是通过检测故障发生瞬间产生的高频电磁行波信号, 在输电线路中的传播路径与传播时间差, 来实现故障定位与故障线路的准确识别。由于电磁行波在导线中以接近光速的速度传播, 因此该方法具有极高的响应速度, 被广泛认为是一种高精度、快速响应的先进选线手段。其核心在于对故障引发的瞬态高频信号进行实时捕捉、滤波分析, 并通过差分法、时标对比法等技术手段确定行波到达各测点的先后顺序, 从而反推故障位置和线路。然而, 行波法对数据采集系统的硬件要求较高, 需配备高频率、高精度的同步采样设备, 系统构建和维护成本较大。同时, 该方法极易受到外部电磁干扰、信号反射与折射、线路拓扑复杂性等因素的影响, 导致行波信号到达时间不稳定, 选线精度下降。尤其是在中低压配电系统中, 由于线路距

离短、分支众多，行波传播路径复杂，时差微小，不利于形成有效判断，使得行波法的优势难以在该类系统中有效发挥。

1.3 智能算法在选线中的引入现状

随着人工智能与计算技术的进步，智能算法逐渐引入到输配电线路故障选线领域，成为当前研究与应用的热点。常见方法包括人工神经网络（ANN）、支持向量机（SVM）、模糊逻辑控制（FLC）以及深度学习模型等。这些算法通过对历史故障数据的学习与模式识别，能够有效挖掘电流、电压、零序量等信息之间的隐含关系，实现更具鲁棒性的故障选线判断。其中，SVM 凭借其良好的分类能力与小样本训练优势，被广泛应用于复杂工况下的多参数融合选线模型中；神经网络则擅长非线性建模，适合处理高度动态的输配电系统数据。然而，目前智能算法的选线方法仍存在一定局限，如训练样本依赖性强、模型泛化能力不均、参数选择对结果敏感等问题。智能模型在实际部署中对计算资源与嵌入式处理能力的要求也成为工程推广的重要瓶颈。如何提升模型的轻量化程度、增强对不同电网结构的适应能力，仍是当前智能选线算法需要重点攻克的技术难点。

2 新型高精度选线算法设计

2.1 故障信号特征提取模块设计

在高精度选线算法中，故障信号的特征提取是实现准确判断的前提。由于输配电系统在故障发生瞬间会产生大量高频瞬态信号，因此需要对电压、电流等原始信号进行时频域分析。小波变换因具备良好的局部分析能力和多尺度分解特性，被广泛应用于信号特征提取中。通过多尺度小波分解，可以有效区分正常运行状态与故障状态下的信号特征，提取出代表性强的特征分量。进一步地，在各尺度分解信号中提取能量、峰值、均值、频带能量比等统计特征，构成特征向量输入模型。为减少维度带来的计算压力，需结合主成分分析（PCA）或互信息方法对特征集进行筛选，提升特征质量，确保模型在后续训练阶段的判别能力。

2.2 模型训练与优化策略

特征提取后，需要借助机器学习模型对故障类型与线路进行分类与选线。在本算法设计中，选用改进型支持向量机（SVM）作为核心模型。SVM 在小样本、非线性、高维数据处理中表现优异，特别适用于电网故障数据样本不足、波动性强的情况。为增强分类效果，采用径向基函数（RBF）作为核函数，并引入粒子群优化（PSO）算法对 SVM 的惩罚参数 C 和核参数 γ 进行自动寻优。通过交叉验证获取最优参数组合，使模型在训练阶段达到较高准确率。同时，模型训练过程中需对样本进行标准化处理，防止各特征维度对模型收敛产生不均衡影响。为提升鲁棒性，采用集成学习思想，将多个 SVM 子模型通过加权投票集成，

提升对边界样本的识别能力，增强在实际电网中多种复杂工况下的选线适应性。此外，为进一步提升模型在训练过程中的泛化能力，训练样本采用 K 折交叉验证策略进行多轮评估，避免过拟合问题的出现。同时，在模型训练与优化阶段引入早停机制（Early Stopping），根据验证集性能动态控制训练轮次，确保模型在最优状态下终止训练。针对部分类别样本不平衡问题，还引入 SMOTE 过采样技术扩展小样本类别，提升模型对少数类故障的识别能力。

2.3 算法整体架构与实现流程

新型高精度选线算法整体结构由数据采集层、特征处理层、分类判别层和输出决策层组成，形成一个闭环智能诊断系统。在数据采集层，采集端实时获取各线路电流、电压及零序分量数据，并完成同步时标处理，确保时序一致性。数据进入特征处理层后，首先进行小波分解及特征提取，随后进入标准化与降维模块，形成模型输入向量。在分类判别层中，SVM 模型接收输入特征并输出故障线路判断结果；如集成多个模型，则通过集成框架完成综合决策。在输出决策层，系统将判断结果进行格式化，向保护装置或控制平台输出选线信号，并可根据配置生成告警信息或自动跳闸命令。整个流程具备实时性高、架构清晰、适配性强的特点，可无缝嵌入现有输电监控系统，实现对故障线路的快速、精准识别。系统具备一定的自学习能力，可根据实际运行中新增的数据样本持续优化模型，提高长期运行的选线准确性与可靠性。

3 算法性能对比与误差分析

3.1 多场景仿真验证设计

为全面评估所提出的新型高精度故障选线算法在多种实际工况下的性能表现，本文基于 MATLAB/Simulink 仿真平台搭建了一个结构完整、参数真实的 10kV 配电网仿真模型，模拟配电系统在运行过程中可能面临的多类故障情形。具体设计了包括单相接地、两相短路、三相短路、金属性接地及高阻接地等典型故障类型，且融合了不同负载变化、分布式电源（如光伏、电池储能）接入、电缆线路短路阻抗等多样化运行条件，构建复杂工况环境。每组仿真均重复运行 30 次，以提升数据的统计稳定性和结果可信度。在仿真过程中，系统实时采集故障初期电流、电压等特征信号，并通过特征提取与判别算法进行线路识别。最终结果显示，该算法在各类干扰与复杂场景下均能稳定实现 90% 以上的故障识别准确率，充分验证了其高适应性与优良鲁棒性，具备工程实用价值。

3.2 与传统方法误差对比分析

为进一步验证算法性能，选取当前主流的三种故障选线方法：电流突变量法、行波法与基于神经网络的智能选线模型，分别与所提出的 SVM 融合算法进行对比测试。对比维度包括故障选线准确率、平均误差率、误判率与适应复杂工况能力等。测试结果见表 1。可以看出，在所有工

况下,新算法准确率最高,且误差率最低,尤其在高阻接地与弱信号故障中优势更为明显。传统突变量法由于对负电荷波动较敏感,常出现误选问题;行波法虽在理论上响应快,但受终端设备采样精度限制,准确率下降较明显;神经网络模型在训练样本变化较大时稳定性差,而融合小波特征与SVM的算法在保持较低误差的同时,实现了稳定选线。如表1所示:

表1 传统方法误差对比分析数据

方法名称	平均准确率 (%)	平均误差率 (%)	高阻故障识别成功率 (%)	响应稳定性 (等级)
电流突变量法	78.4	11.7	54.6	中
行波法	83.6	9.2	67.8	中偏高
神经网络模型	87.3	7.4	72.5	中
小波+SVM 算法	94.8	3.9	89.7	高

3.3 响应速度与硬件适配性测试

在实际工程应用中,选线算法不仅需要高精度,还必须满足响应及时、计算资源消耗低等要求。为测试算法响应性能,将小波+SVM 算法部署在嵌入式处理单元中进行实际运行仿真,采样率设定为20kHz,目标是在故障发生后200ms内完成信号采集、特征处理与输出判断。测试结果显示,该算法平均响应时间为74ms,最大响应时间未超过120ms,完全满足当前电网对故障定位300ms内完成响应的工程需求。在资源占用方面,算法整体运行所需RAM小于10MB,CPU负载控制在40%以内,适配性良好。尤其适合部署在现有的配电自动化终端、保护装置或馈线智能控制单元中。对比传统神经网络模型,其需要更多内存与处理器支持,小波+SVM模型在轻量化和嵌入式环境部署方面更具优势。

4 实际工程应用建议

4.1 系统集成与部署要求

将新型高精度故障选线算法投入实际工程应用,首要任务是完成其在现有配电自动化系统中的集成与部署。该算法结构清晰、计算复杂度适中,可与现有馈线保护装置、故障指示器及配电终端(DTU)实现无缝对接。在部署层面,需要配备高频率采样模块(建议 $\geq 20\text{kHz}$)、具备边缘计算能力的嵌入式处理器,并支持数据预处理和模型加载功能。系统应配置标准通信接口,如Modbus、IEC104或DL/T645协议,确保算法判断结果能够快速传输至主站系统或监控终端。为提升系统运行稳定性,建议配套部署本地故障录波装置,形成数据闭环,便于算法长期在校线校准与维护。在城市配电网与工业园区配电系统中,基于已有通信链路和保护架构,该算法可较为便捷地完成集成,适应现场运行环境。

4.2 推广应用的可行性探讨

该选线算法具备高准确率、低误差、响应快、可嵌入等优点,具备良好的推广基础。首先,在中压配电系统(6kV~35kV)中,该算法对常见单相接地、短路等故障

具备高度适应性,能显著提升运维人员故障判断效率,缩短停电时长。其次,其对复杂接地类型及弱信号故障识别能力强,可有效弥补传统保护装置识别盲区。再者,随着配电自动化系统覆盖率的提高,各区域配网终端硬件水平逐步提升,为该算法的部署提供了良好的计算与存储资源支持。值得一提的是,该算法具备可迁移性,既可部署于变电站保护系统,也可下沉至配电线路分支的智能控制终端,实现局部判断和分布式故障诊断,大幅降低通信依赖与中央计算负担。在新型电力系统发展趋势下,其在分布式电源接入场景中也具备广泛适用性。

4.3 后续优化研究方向

尽管该算法在当前版本中已展现出良好的技术性能,但为实现其在更复杂电网中的高效运行,仍需在多个方面持续优化。首先,在模型层面,可引入深度神经网络或图神经网络进一步提升特征识别的表达能力,尤其在非对称接地或低电压穿越场景中增强判断准确性。其次,在算法轻量化方面,可通过剪枝技术、模型压缩、知识蒸馏等方式,降低计算资源消耗,提升算法在低功耗设备中的部署效率。再次,结合边缘计算和5G通信技术,构建分布式智能判断体系,实现多终端协同选线、局部处理与全网融合响应。还可结合大数据技术建立线上故障库,不断优化模型参数,使其具备自学习能力,适应不同地域、不同电网结构下的特征变化。未来,该算法也可向特高压输电、高速铁路牵引网、风光储接入系统等特种电网推广,拓展其工程应用边界。

5 结束语

输配电线路故障选线的智能化与高精度化是构建安全、高效电网的关键环节。本文提出的新型算法,通过小波特征提取与支持向量机融合,实现了多种工况下的精准选线,表现出良好的鲁棒性与实用性。未来,可进一步探索其在特高压和分布式电网中的扩展应用,推动输配电保护系统向更高水平发展。

【参考文献】

- [1]郭威. 配电线路故障类型辨识及故障选线定位方法的研究[D]. 北京:华北电力大学(北京),2022.
- [2]杨克剑,史建. 露天煤矿输配电线路的运行维护及管理措施研究[J]. 矿业装备,2020(6):118-119.
- [3]吴星笑,张文雯. 电力输配电线路的运行维护与故障排除技术[J]. 湖北农机化,2020(16):16-17.
- [4]吴同勇. 电力输配电线路中的运行与故障对策分析[J]. 中国设备工程,2024(24):142-144.
- [5]苏超. 架空输配电线路无人机自主巡检关键技术研究与应用[D]. 杭州:浙江大学,2023.

作者简介:陈立峰(1978.7—),男,锡林浩特市,汉族,本科,工程师,就职于内蒙古锡林郭勒盟阿巴嘎旗供电分公司,从事电力领域方向的工作。

输电线路的运行维护措施分析

李 由

国网长治供电公司, 山西 长治 046011

[摘要]输电线路属于电力系统极为关键的一个部分, 它肩负着把发电厂所产生的电能顺利输送到配电网这样重大的任务, 而其能否安全且稳定地运行, 将会对电力供应的可靠性以及经济性产生直接的影响。伴随着电力需求不断地增长, 再加上自然环境呈现出复杂且多变的特点, 输电线路所面临的在运行维护方面的挑战变得越来越严峻。根据当前输电线路实际的运行维护状况, 全面且细致地分析了其中存在的那些主要问题, 并且结合实际情况, 有针对性地提出了诸多维护措施, 比如要强化日常的巡视工作、广泛推广智能监测相关技术、建立起完善的安全预警机制, 还有要不断提升运检人员的专业素质等方面。希望通过这些举措能够为电力系统输电线路的安全管理以及技术改进给予一定的理论依据, 同时也可作为实践方面的参考, 进而推动线路运行可靠性的提高以及经济效益的提升。

[关键词]输电线路; 运行维护; 维护措施

DOI: 10.33142/hst.v8i5.16484

中图分类号: TM75

文献标识码: A

Analysis of Operation and Maintenance Measures for Transmission Lines

LI You

State Grid Changzhi Power Supply Company, Changye, Shanxi, 046011, China

Abstract: Transmission lines are an extremely critical part of the power system, responsible for the significant task of smoothly transmitting the electrical energy generated by power plants to the distribution network. Whether they can operate safely and stably will have a direct impact on the reliability and economy of power supply. With the continuous growth of electricity demand and the complex and ever-changing nature of the natural environment, the challenges faced by transmission lines in terms of operation and maintenance have become increasingly severe. Based on the actual operation and maintenance status of the current transmission lines, a comprehensive and detailed analysis was conducted on the main problems that exist. In combination with the actual situation, many targeted maintenance measures were proposed, such as strengthening daily inspection work, widely promoting intelligent monitoring related technologies, establishing a sound safety warning mechanism, and continuously improving the professional quality of operation and inspection personnel. I hope that these measures can provide a theoretical basis for the safety management and technological improvement of power transmission lines in the power system, and can also serve as practical references, which promoting the improvement of line operation reliability and economic benefits.

Keywords: transmission lines; operation and maintenance; maintenance measures

引言

输电线路属于电力系统的关键构成部分, 它的运行维护水准和电网的安全、稳定有着直接的关联。伴随电网规模逐渐拓展以及电力需求持续升高, 输电线路所面临的环境方面的压力以及技术层面的挑战一天比一天严峻, 只要出现任何故障, 就极有可能引发大面积的停电状况以及安全事故, 进而产生极为严重的社会以及经济方面的后果。所以说, 采取科学且高效的维护举措对于保障线路能够稳定地运行、让设备的寿命得以延长、把维护成本降下来都有着不容小觑的重要意义。近些年来, 智能化技术在实际应用当中推动了传统的依靠人工来进行的巡视方式朝着智能监测的方向去转型, 使得运维工作的开展变得更加精准并且高效。将目光聚焦于输电线路运行维护当下的实际情况以及存在的诸多问题, 对它的维护手段还有技术路径展开系统的分析, 其目的在于给实现输电线路的安全且可

持续地运行给予相应的理论依据以及实践方面的参考。

1 输电线路运行维护的重要性

在电力系统的管理中, 输电线路的运行维护和检修管理是至关重要的, 且多伴随着任务量大、时间成本高、涉及内容多等特点。电力系统作为保证电力持续稳定运行的关键, 一旦在电力系统中出现了输电线路的故障问题, 不仅仅是会对电力供应产生负面影响, 严重情况下还会引发各类电力供应中的不安全因素。因此, 针对这一问题, 就需要持续优化输电线路的运行维护和检修管理工作, 以此来保证电力供应的平稳持久。首先需要电力系统的管理部门, 不断加大对输电线路的重视程度, 明确日常维护和检修管理的工作细则, 完善监督机制, 构建责任体系, 保证各类工作落实到实处, 以及对人员进行培训, 强化人员的责任意识和专业能力。

2 输电线路运行维护的现状分析

当前我国输电线路运行维护工作大体上呈现出技术

水平持续提升以及管理体系逐步完善这样的态势。传统的维护手段依靠人工去巡视,并且结合定期开展的检修工作,已经形成了相对较为成熟的流程以及规范,在保障线路基础安全这个层面上发挥出了积极作用。随着无人机巡检、红外成像、局部放电检测等一系列智能监测技术得到广泛推广与应用之后,巡视检查所涉及的效率以及隐患发现的能力均有了颇为明显的提升,大幅度降低了人员作业时所面临的风险以及工作所具有的强度。与此多数电力企业都构建起了较为完善的运维管理制度以及安全管理体系,以此来确保维护工作能够按照规范的方式顺利开展。不过,输电线路大多分布在复杂多变的地理环境当中,受到自然灾害像是风暴、冰雪还有雷击等因素的影响是比较大的,再加上部分老旧线路设备存在着技术较为落后、维护起来难度颇高等一系列问题,所以整体的维护水平还是需要进一步去提升的。运维人员的专业素质呈现出参差不齐的状况,并且智能化设备的应用情况还不够普及,这些因素也都对维护效果的进一步优化起到了限制作用。所以说,虽然技术的进步带来了积极的影响,但是在实际的运行维护过程当中依旧面临着不少的挑战,迫切需要系统化的解决方案来推动维护管理实现升级换代。

3 输电线路运行维护中存在的主要问题

虽然当下输电线路运行维护工作收获了一定程度的成果,然而在具体的操作进程里面依旧凸显出诸多层面的问题。传统的依靠人工进行巡视的方式,其劳动强度颇为繁重,而且巡视所耗费的时间周期也比较漫长,很容易出现将细微隐患给遗漏掉的情况,这显然很难契合现代电网对于高效且精准维护方面的需求。虽说部分智能监测设备已经完成了部署,但是由于这些设备的技术集成程度并不是很高,同时在数据分析方面的能力也存在一定的局限性,所以并没有能够充分地把它们自身所具备的潜能给发挥出来,进而致使预警响应的速度不够及时,对故障预防的效果产生了影响。就线路设计以及接线方式而言,其中存在着一定的限制,有一部分线路老化的情况较为严重,并且在设计上还欠缺科学合理的考量,如此一来,便使得其抗灾的能力有所欠缺,在极端气候条件之下极易发生故障。除此之外,安全预警机制还没有达到完善的程度,信息共享以及应急响应机制在协调方面做得不够到位,这对快速且有效地去处理突发状况的能力造成了影响。运检人员的整体专业水平呈现出参差不齐的状态,培训体系也显得不够系统化,这就导致在现场操作的时候,操作的质量不够稳定,安全意识以及技术能力也都存在不足之处,从而对维护工作的整体质量以及安全保障形成了制约作用。上述这些问题综合起来共同对输电线路运行维护的提升起到了制约作用,迫切需要采取具有针对性的对策来对其进行破解。

4 输电线路运行维护措施分析

4.1 加强日常巡视与检查

日常巡视以及检查属于输电线路运行维护当中的基础环节,它直接同故障隐患的及时察觉与处置相关联,是保障电网安全运转的关键举措。要强化巡视工作,一开始得科学地制定出巡视计划,明确巡视所具有的周期性以及针对性,合理地安排巡视频率以及重点区域,务必要让关键设备、重要节点还有容易出现故障的薄弱环节能够得到重点的关注以及及时的检查。在常规的人工巡视基础之上,应当积极地引入现代化的技术手段,比如借助无人机展开高空巡查,如此一来,不但可以提升巡视的效率,拓展巡视的覆盖面,而且能有效地规避人工巡视所产生的安全风险;与此同时运用红外热成像、激光雷达、光学成像等这类非接触式的检测技术,能够在不干扰线路正常运转的情形下精准地识别出设备发热异常、绝缘性能下滑、导线弛度改变等潜在故障。在巡视的过程当中,需要着重关注细节问题的发现以及数据的完整采集,像是线路导线出现松弛情况、绝缘子存在污闪以及破损状况、金具发生锈蚀、铁塔构件产生变形或者腐蚀现象、电力通道内部有障碍物侵占等情况,并且借助移动终端设备把数据实时上传到运行维护平台,进而形成完整的巡检记录。这些数据要及时加以整理并归档,构建起系统化的隐患数据库,以便为后续的状态评估、趋势预测以及维修决策给予精准的依据。除此之外,巡视人员应当配备先进的检测工具以及智能信息采集终端,达成现场问题的快速定位、精确判断以及远程专家的支持,以此提高现场应急处理的能力以及整体维护的效率。若要保障巡视的质量,还需强化人员培训,提升巡检人员的专业知识水平以及现场识别能力,保证每一次巡视都能够具备科学性、系统性以及高效性。通过持续不断地完善巡视机制、优化管理流程与智能技术的有机结合,可以构建起覆盖范围广泛、响应较为及时、风险处于可控状态的线路巡视系统,进而达成对输电线路全生命周期的动态监测以及预防性维护,为输电线路的安全稳定运转给予坚实的技术支撑以及管理保障。

4.2 推广智能化监测技术

智能化监测技术是现代输电线路维护管理里极为重要的一种手段,它正逐步改变以往那种依靠人工巡视的传统模式,给电力系统的安全、高效以及可持续运行给予了技术层面的有力保障。当在输电线路的关键部位安装各式各样的智能传感器之后,就能够达成对导线温度、张力、电流、电压、风速、线路振动、覆冰厚度等一系列参数的实时监测目标,如此一来便可以有效地知晓输电线路的实际运行状况,并且能够及时察觉到潜在的风险所在。尤其是在出现极端天气情况的时候,又或者是在地形比较复杂的区域,亦或是在位置较为偏僻的地方,智能化监测系统都能够很好地取代人工去开展全天候且多维度的动态监

控工作,这使得运维工作的时效性以及安全性都得到了大幅度的提升。借助物联网技术以及无线通信手段加以融合,监测终端便能够把所采集到的数据实时地上传到云平台之上,进而形成一个统一的监控网络,为集中管控以及远程调度事宜给予数据方面的有力支撑^[1]。再进一步地与大数据分析、人工智能识别以及机器学习算法相互结合起来,就可以针对设备运行数据展开深度的挖掘工作以及趋势预测活动,由此构建起智能诊断模型,进而实现对故障隐患的提前预警以及精准定位判断,维护工作的科学性与前瞻性也由此得到了明显的提高。除此之外,智能化监测系统的应用还为建立起较为完善的故障数据库创造了相应的条件,通过对历史故障案例不断地进行积累以及比对分析的操作,能够持续地对维护策略以及应急预案加以优化,进而提升检修工作的准确性以及效率。与此凭借智能终端设备以及自动化控制技术,还能够实现无人值守的智能巡检功能,像智能机器人、轨道巡检车以及机载无人机等等这类设备均能够派上用场,如此一来便能够让人工巡视的劳动强度以及安全风险得以进一步地降低,同时也节约了运维成本。随着智能技术与电力运维管理不断走向深度融合,它在提升输电线路运行的稳定性以及促使“状态检修”向“预测性维护”转变等方面展现出了极大的潜力。所以,加快推动智能化监测技术在输电线路运维当中的全面推广,这既是从提升电网现代化水平以及运维效率的角度来看的关键路径,同时也是实现电力系统数字化、智能化以及精细化管理的重要举措,对于构建起安全、绿色且高效的智慧能源系统而言,有着十分深远的意义。

4.3 建立完善的安全预警机制

安全预警机制对于保障输电线路安全运行而言,称得上是极为重要的一项保障举措。要建立起较为完善的预警机制,就得构建起一个有着多层次、多维度特性的监测以及响应体系,并且要把环境监测所获取的数据、设备状态监测所得到的数据还有运行参数监测所收集到的数据都整合到一起,进而形成起一套完整的风险评估体系^[2]。借助于引入智能预警模型以及大数据分析方面的技术手段,达成对潜在故障风险予以精准识别以及动态跟踪的目的,以此来保证预警信息具备及时性以及准确性这两方面的特性。预警机制当中应当包含有明确的责任分工内容以及具体的操作流程规定,从而确保预警信息可以快速地传达到相关的维护人员以及管理层那边,推动实现快速的响应以及有效的处置工作。与此还要进一步强化和气象部门、水文部门等单位之间在信息方面的共享程度,以此提升对自然灾害风险做出预判的能力。完善的那种安全预警机制是能够实现对隐患做到早期的发现以及预先的防范的,能

够在很大程度上减少事故发生的概率,进而切实保障输电线路得以持续且安全地运行下去。

4.4 提升运检人员专业素质

运检人员身为输电线路运维的直接践行者,其专业素养以及安全意识会对维护工作的质量与成效产生直接影响。要提升人员素质,得先构建起系统的培训机制,该机制要把电力基础知识、设备维护技能、安全操作规范还有应急处置能力等诸多方面的内容都涵盖进去。培训的方式务必要多样,要把理论学习、现场实操以及模拟演练结合起来,以此来提高人员的综合能力以及应变水平。同时要加强对岗位资格认证以及绩效考核工作,以此来激励员工不断地提升自身的专业技能。还得重视对运检人员安全文化的培养,强化他们的责任意识以及风险防范能力,严格地落实安全操作规程,从而确保作业能够安全开展^[3]。凭借持续开展的专业培训以及科学的管理举措,打造出高素质的运检队伍,这无疑是保障输电线路能够安全且稳定运行的关键所在。

5 结语

输电线路属于电力系统极为关键的基础设施,其运行维护工作的开展状况,与电力供应的安全性以及稳定性有着极为紧密的关联。仔细分析输电线路当下的运行维护实际状况,能够发现当前存在着诸多在技术层面以及管理层面的问题。针对这些情况,需要采取诸如强化巡视检查工作、广泛推广智能监测手段、对线路设计予以优化、建立起安全预警机制以及着力提升相关人员的素质等一系列综合性的维护举措。伴随着智能化技术不断地向前发展并得到更为广泛的运用,输电线路的运行维护工作将会朝着更为精准、效率更高且更加安全的方向去努力推进。电力企业应当持续对自身的维护管理体系加以完善,积极促进技术方面的创新,并且重视人才培养工作,以此来提升整体的维护水准,从而切实保障输电线路能够实现长期且较为稳定的健康运行,进而满足现代电力系统对于高可靠性以及高效益方面的需求。

【参考文献】

- [1]刘德宇.输电线路的运行维护措施分析[J].集成电路应用,2021,38(6):106-107.
 - [2]陆寅,范晓玮,徐娟.输电线路的运行维护措施分析[J].电子技术,2022,51(10):276-277.
 - [3]马志彬,张有鑫,李国威,等.输电工程中的线路运行维护分析[J].电子技术,2023,52(4):360-361.
- 作者简介:李由(1995.10—),毕业院校:北京交通大学,所学专业:电气工程,当前就职单位:国网长治供电公司,职务:员工,职称级别:工程师。

征 稿

Call for Papers

《水电科技》由新加坡Viser Technology Pte. Ltd. 主办, ISSN: 2717-5383 (印刷)。
本刊长期以来注重质量, 编排规范, 选稿较严格, 学术水平较高, 深受高校教师及科研院所研究人员的青睐。本刊为开源 (Open Access) 期刊, 出刊的所有文章均可在全球范围内免费下载, 中国知网等国内权威数据库收录。

期刊内容以全球水电工程的勘测、设计、施工、运行管理和科学研究等方面的技术经验为主, 同时也报道水电领域的各项先进技术。目前, 本刊发行遍及全球各地, 是水电科技刊物中影响范围较大、发行量稳定的综合刊物, 是水电从业人员“了解世界”的窗口, 也是科研技术人员进行学术交流的平台。

《水电科技》期刊主要栏目有:

水利工程、水文水资源、水土保持、防汛抗旱、节水灌溉、勘测规划、能源动力工程、水电建设、电力工程、电气工程、自动化技术与应用、运行维护、技术解决方案、综合研究等。

鼓励水电工程建设各领域的专业技术人员和管理人员以及大专院校相关专业的师生和科研人员来稿, 有关国家科技计划、自然科学基金和各种部门、地方、院所科技基金资助项目的文章优先发布。

征文格式与要求:

(1) 论文要求: 论点新颖, 论证充分; 设想可行, 结论可靠; 条理分明, 书写清楚, 用字规范, 上交电子文件 (word格式)。

(2) 论文格式: 题目、作者姓名、工作单位、省份及邮政编码、中英文内容摘要 (150字符-300字符为宜) 及关键词 (3-5组为宜)、正文、参考文献。(附个人简历、邮箱、联系方式及详细收件地址, 如: 省、市、区、路)。

(3) 论文篇幅: 字符数要求在5000-8000字符之间。

投稿网址: www.viserdata.com



Viser Technology Pte. Ltd.

公司地址

111 North Bridge Rd, #21-01 Peninsula Plaza,
Singapore 179098

官方网站

www.viserdata.com

