



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 6

第8卷 总第54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6期（总第54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：6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

- 水利工程施工中土石方作业技术的优化与创新..朱 伟 1
水利工程建设中监理单位质量控制措施探析.....蒋兴明 4
水利工程施工与维修养护中的安全管理创新.....马 兵 7
混凝土在大体积水利工程中的施工温控措施分析
.....申秀峰 10
水利工程中河道堤防护岸施工技术研究.....戴诚诚 14
数字技术在水利施工管理中的应用分析.....张志坚 17
水利施工中帷幕灌浆技术的运用谢乐文 20
山区河道治理中岸坡防护结构设计及稳定性分析研究
.....周启玉 彭祖钰 黄光源 覃晓艳 林雅兰 23
现代水利工程施工中的安全风险评估与控制 ...沈祚峰 26

防汛抗旱

- 城市防洪能力提升研究.....张成贵 29

能源动力工程

- 谈提高风电机组发电量的措施.....孟宏伟 33
基于 BIM 技术的沙地光伏项目施工全过程管理
.....闻光辉 36
能源动力系统事故隐患排查与电力安全管理机制研究
.....何 军 39
关于风电 EPC 新能源总承包项目管理的探讨 ..刘禹轩 42

水电建设

- 水利水电工程施工管理及安全管控措施.....刘 宝 45
水利水电工程施工安全控制策略探究刘献科 48
民用建筑配电箱配置及制造标准研究
.....胡艳强 王竞千 赵尚亮 丁 超 51

电力工程

- 10kV 配电系统继电保护的常见问题和措施分析
.....曾 顺 54
基于大数据的变电站智能选址研究....谷 裕 毛瑞旭 57

电力工程施工技术创新与标准化工艺技术探究 王宗实 赵 航 60

新型电力系统独立储能电站研究.....王 亮 63

浅析发电机出口 PT 断线故障.....李雪鸥 67

输变电工程施工质量控制的关键问题与对策研究..... 丘晓卿 70

水电厂继电保护系统常见故障判断与处理对策 刘小莉 73

电力工程安装施工中的质量控制分析.....谢春浪 77

10kV 继电保护装置的运行维护管理黑 晋 80

自动化技术应用

自动化技术在输配电及用电工程中的应用分析 王 毅 83

一种继保室二次屏柜安措实施远方调控装置..... 周威铮 夏家辉 马秀林 蒋 伟 谢浩然 陈伟华 86

锅炉燃烧配风自动控制对热效率的提升作用....张嘉文 90

轨道式渠道自动测流系统在三屯河灌区的应用 翟新峰 徐 刚 闫世荣 叶尔努尔·吐尔逊 93

供水工程蓄水池施工质量智能监测系统的构建与应用 姜敬德 96

基于 PLC 的供配电自动化控制系统设计与优化..... 王 飞 姚慎康 陈 英 99

智能变频器技术在现代供热系统中的应用及发展趋势 于红峰 102

运行维护

火电厂锅炉变负荷运行节能控制方法 王 顺 105

紫兰坝电站机组停机蠕动原因分析..... 万奇奇 108

大数据驱动的水电站智能化运行系统构建与应用 禄 通 111

数字孪生技术在水利工程运行管理中的分析与探索 陈 剑 冷 渊 114

火力发电厂锅炉燃烧效率提升控制策略..... 王志春 117

变压器节能与安全运行方式的分析与选择..... 贾世明 120

浅淡水电厂机械设备检修与维护管理..... 陈献军 123

低压变频器过载故障模式识别与现场处理方法研究..... 孙 超 126

水利工程施工中土石方作业技术的优化与创新

朱 伟

安徽安冉水利工程有限公司, 安徽 淮北 235100

[摘要]土石方作业是水利工程施工的关键环节。文章分析了现有土石方施工技术的局限性,并提出了一系列创新优化措施。通过引入先进的机械设备与自动化技术,优化作业流程,减少施工中断,有效提升了工程效率与安全性。此外,结合环境保护要求,实施了土壤保持与资源回收策略,促进了施工的可持续发展。这些技术的应用,显著改善了土石方作业的施工质量和速度,对提升水利工程建设水平具有重要意义。

[关键词]土石方作业; 技术优化; 自动化技术; 环境保护; 水利工程

DOI: 10.33142/hst.v8i6.16928

中图分类号: TV5

文献标识码: A

Optimization and Innovation of Earthwork Operation Technology in Water Conservancy Engineering Construction

ZHU Wei

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

Abstract: Earthwork operation is a key link in the construction of water conservancy projects. The article analyzes the limitations of existing earthwork construction techniques and proposes a series of innovative optimization measures. By introducing advanced mechanical equipment and automation technology, optimizing work processes, reducing construction interruptions, and effectively improving engineering efficiency and safety. In addition, in accordance with environmental protection requirements, soil conservation and resource recycling strategies have been implemented, promoting the sustainable development of construction. The application of these technologies has significantly improved the construction quality and speed of earthwork operations, which is of great significance for enhancing the level of water conservancy engineering construction.

Keywords: earthwork operation; technical optimization; automation technology; environmental protection; water conservancy project

引言

在水利工程施工中,土石方作业不仅关系到工程的进度和质量,还直接影响整个工程的经济效益和环境影响。传统的土石方施工方法面临效率低下和破坏环境等问题,迫切需要通过技术创新和优化来解决这些问题。文章通过分析现有技术的局限,引入先进的自动化设备和环保技术,探讨如何在提高施工效率的同时,减少对环境的负面影响。通过优化土石方作业技术,文章旨在为水利工程施工提供可持续发展的新思路和方法。

1 土石方作业的现状与挑战

土石方作业是水利工程的基础,其效率和质量直接决定了工程的整体进展和成功。然而,这一环节面临诸多挑战,亟需深入分析和对策。

1.1 当前土石方作业的技术现状

土石方作业,即在水利工程中进行的土壤和岩石的挖掘、搬运与填筑等活动,是确保工程顺利进行的重要前提。目前,多数工程项目采用传统的机械设备,如推土机、挖掘机和装载机等。这些传统技术虽然在过去几十年内支撑了大量的基础设施建设,但随着工程规模的扩大和复杂度的增加,它们开始显露出局限性。例如,传统设备在操作中效率不高,特别是在复杂地形中,设备的适应性和灵活

性不足,导致作业速度慢,成本高。此外,这些机械在操作过程中对操作员的技能要求极高,一旦操作不当,不仅会造成安全事故,还可能导致施工质量问题。

1.2 面临的主要挑战

土石方作业在实施过程中面临多种挑战。首先是高成本问题,传统作业方式对于大型机械的依赖性强,维护成本和燃料消耗都较高。其次,环境影响问题也不容忽视。土石方作业往往伴随着大量的尘土飞扬和噪音,严重时会对周边环境和居民生活造成负面影响。此外,安全风险也是土石方作业需要面对的重要问题,施工场地的不稳定性及操作错误都可能导致严重的安全事故。例如,不当的土石搬运可能引发滑坡或塌陷,威胁到附近社区的安全。此外,频繁的机械故障和维护问题也大大增加了项目延期的风险,影响了工程进度。

1.3 技术进步带来的机遇

尽管存在诸多挑战,技术进步为土石方作业提供了新的解决方案。现代化的自动化和信息化技术,如无人驾驶施工机械、地理信息系统(GIS)和建筑信息模型(BIM),正在被逐渐引入土石方作业中。这些技术可以显著提高作业效率,减少人为错误,同时降低对环境的影响。例如,无人驾驶挖掘机可以在无需人工操作的情况下进行精准

挖掘,减少人力需求并提高安全性。此外,通过应用环保技术和流程优化,可以有效地减少施工过程中的资源浪费和环境破坏。现代传感技术和数据分析工具能够实时监控工程状态,优化资源分配和施工计划,进一步提升工程效率和安全性。这些创新不仅有助于提升施工质量和速度,还能够提升整个行业的竞争力和可持续性。

通过对现有技术的分析和挑战的梳理,可以看出,虽然土石方作业在水利工程中不断遇到新的问题和挑战,但同时也迎来了技术创新和发展的新机遇,为未来的工程施工提供了新的思路 and 方向。

2 自动化技术在土石方作业中的应用

自动化技术的引入正在革新土石方作业,提高效率,降低成本,并显著改善工作环境。这一变革对水利工程的影响深远。

2.1 自动化技术的种类与作用

在土石方作业中,自动化技术主要包括自动化控制系统、无人机械操作和智能监控系统。自动化控制系统能够精确控制机械设备的运作,优化施工参数,从而提高作业效率和精度。无人机械操作,如无人挖掘机和装载机,通过预设程序自动完成挖掘、装载和运输任务,减少了对人工的依赖,同时降低了施工过程中的安全风险。智能监控系统通过安装在施工现场的摄像头和传感器,实时监控作业环境和机械状态,及时调整作业策略,预防潜在的安全隐患。此外,这些自动化技术还能通过数据分析优化作业周期,减少机械的空闲时间,提高整个项目的管理效率。通过这种方式,不仅提高了作业的速度和质量,还确保了施工现场的整体安全与效率。

2.2 自动化技术的实际应用案例

自动化技术在土石方作业中的应用已经在多个水利工程项目中得到验证。例如,在某大型水库建设项目中,通过使用自动化挖掘机和无人运输车辆,工程团队成功缩短了工期 20%,同时减少了约 30% 的劳动力成本。此外,智能监控系统在工程中的应用确保了连续 24h 的作业监控,大幅提升了作业的安全性。这些实际案例表明,自动化技术不仅可以提高土石方作业的效率 and 安全性,还可以在在一定程度上降低工程的总体成本。

2.3 面临的挑战及解决策略

尽管自动化技术带来了许多好处,但其应用也面临一些挑战。技术兼容性和系统集成是主要难题,因为新的自动化设备需要与现有的工程管理系统和其他机械设备协同工作。此外,自动化技术的高初始投资也是一个不可忽视的问题。对此,可以通过政府补贴和行业合作来降低投资门槛,推广自动化技术的应用。再有,操作人员的培训也非常关键,需要系统的培训计划来确保工作人员能够熟练掌握新技术。

通过这些策略的实施,可以有效解决自动化技术应用

中遇到的问题,推动其在更广泛的水利工程土石方作业中的应用。自动化技术的持续发展和完善将为水利工程施工带来更多的机遇,实现工程建设的高效与安全。

3 施工流程优化策略

施工流程优化是提升土石方作业效率和质量的关键。通过创新策略,可以显著改进施工管理,降低成本并缩短工期。

3.1 施工计划与调度优化

有效的施工计划和调度是实现流程优化的首要步骤。利用先进的计划软件,如项目管理软件(PMS)和建筑信息模型(BIM),可以创建更精确的工作流程和 timetable。这些工具帮助项目经理实时监控进度,确保各阶段任务按计划进行。通过动态调整资源分配和 time 安排,可以避免资源浪费和施工延误。此外,定期的进度回顾和评估会议也是必不可少的,它们可以帮助团队识别潜在的问题点,及时调整策略,确保项目按计划推进。

3.2 施工技术与方法的创新

引入新技术和优化施工方法是提升土石方作业效率的有效方式。例如,使用半自动化或全自动化的机械设备可以减少对人工的依赖,提高作业精确度和速度。无人机(UAV)可以用于施工现场的实时监测和数据收集,帮助工程师更好地理解施工环境,优化作业计划。此外,采用模块化和预制技术也可以在一定程度上简化土石方作业,减少现场施工量,提高施工速度和质量。这些技术的集成使用,不仅提高了土石方作业的效率,还有助于降低施工过程中的环境影响。

3.3 安全与环境保护措施的整合

在优化施工流程的同时,维护安全和环境保护标准同样重要。施工安全管理系统应整合到每日的作业流程中,包括定期的安全培训、设备检查和风险评估。环境保护措施,如尘土控制、噪音管理和废弃物回收,也应融入项目管理策略中。通过这些措施,不仅可以确保工地安全,还可以减少对周围环境的影响,提升社会和环境责任。实施这些措施需要全团队的共同努力和持续的监督,以确保它们能够有效执行。

通过上述策略的实施,施工流程优化不仅能够提高土石方作业的效率和质量,还能确保施工安全和环境保护。这样的综合优化策略将推动水利工程施工向更高效、更环保的方向发展。

4 环境保护与资源回收在土石方作业中的实施

在土石方作业中实施环保与资源回收措施,不仅是法律的要求,也是提高社会责任感和可持续发展的体现。

4.1 环境影响评估与生态保护措施

在土石方作业开始前,进行全面的环境影响评估是至关重要的。这包括对现场植被、野生动物和水体的影响进行评估。基于评估结果,项目团队应制定具体的生态保护

措施,如设立保护区、采取植被移植和恢复等措施。同时,通过实施严格的工地管理措施,如尘土控制、噪音减少和水体保护,可以最小化施工活动对环境的影响。这些措施不仅有助于保护自然环境,也符合当地环保法规,避免因违法遭受罚款或施工延误。

4.2 施工过程中的资源利用与回收技术

资源的有效利用和回收在土石方作业中同样重要。这包括使用可回收材料和资源节约技术,如水的循环使用和废物分类。例如,在土石方作业中产生的废弃土壤和岩石,可以通过破碎和筛选后用于填筑或其他工程,减少对新资源的需求。此外,采用现代化的机械和技术,如电动挖掘机和自动化的材料处理系统,不仅能提高资源使用效率,还可以减少能源消耗和排放。通过这些方法,项目不仅可以减少对环境负担,还能降低材料和处理成本。

4.3 长期环境管理与可持续发展策略

除了在项目执行期间采取措施外,长期的环境管理和持续监测也是必要的。这包括建立环境管理体系(EMS)和进行定期的环境审查。通过这种方式,项目团队可以持续评估其环保措施的有效性,并进行必要的调整。此外,项目应考虑将可持续发展目标纳入公司文化和价值观中,如通过培训和教育提高员工的环保意识。公司还可以参与或发起环保项目和倡议,如植树造林和社区环保活动,以提高公众对环保的认识和参与。

通过实施这些环保和资源回收策略,土石方作业不仅能够符合环保标准,还可以为企业带来经济利益和社会声誉的提升。这种全面的环境保护与资源回收实施,有助于推动整个建设行业向更加绿色和可持续发展的方向发展。

5 土石方技术创新对水利工程效率的影响

技术创新在土石方作业中的应用大幅提升了水利工程的施工效率,降低了成本,增强了可持续性。

5.1 土石方作业的现代化技术应用

随着技术的快速发展,多种现代化技术已被应用于土石方作业,极大地提升了水利工程的效率。自动化机械如无人驾驶挖掘机和电动装载机,不仅提高了作业速度,而且通过精确控制,减少了材料浪费,提高了资源利用效率。此外,采用地理信息系统(GIS)和建筑信息模型(BIM)技术能够在工程规划阶段提供精确的数据支持,优化施工设计,预测潜在风险,从而在施工前期避免成本的不必要增加。这些技术的融合不仅优化了施工过程,也提高了工程质量和安全性。

5.2 创新技术在提高工程效率中的具体表现

技术创新对提高土石方作业效率的影响体现在多个方面。首先,自动化和机械化设备的使用减少了对人工的依赖,加快了作业速度,减轻了工人的劳动强度。例如,

通过使用自动化挖掘系统,可以在24小时内不间断作业,大幅度提高了工作效率。其次,实时数据监控系统如无人机视频监控和传感器数据收集,可以实时跟踪施工进度,及时调整施工计划和资源分配,减少了因计划不当导致的时间和资源浪费。最后,环保新技术的应用,如尘土抑制系统和废料回收利用,不仅保护了环境,也减少了因环境问题可能导致的工程延误。

5.3 长期效益与挑战

虽然土石方技术的创新带来了立即的效率提升和成本节约,但其长期效益更为显著。创新技术的应用可以延长工程寿命,减少维护成本,提高了水利工程的整体投资回报率。例如,通过精确施工减少了未来可能的维修需求,保证了工程结构的长期稳定性和安全性。然而,技术创新也面临一些挑战,如高额的初期投资成本,技术更新换代的速度以及操作人员的培训需求。对此,企业和政府可以通过制定相应的财政补贴政策 and 培训计划,降低这些门槛,推广新技术的应用。

通过深入探讨土石方技术的创新及其对水利工程效率的影响,可以看到,虽然面临一些挑战,但这些技术的长期利益远超过其短期成本。持续的技术革新不仅能够提升工程效率,还能带来更广泛的社会和环境效益,推动整个水利建设行业向更高效、更可持续的方向发展。

6 结束语

通过深入分析土石方作业中的技术创新与流程优化,我们可以看到其对提升水利工程效率、降低成本以及保护环境的重要性。自动化技术的应用、施工流程的优化和环保措施的实施,不仅显著提高了作业效率,还确保了施工安全和环境的可持续性。面对技术创新带来的挑战,持续的投资、培训和政策支持是推动这些技术广泛应用的关键。最终,这些努力将引领水利工程建设向更高效、更环保的未来迈进。

[参考文献]

- [1]王宇.水利工程中土石方施工技术研究[J].黑龙江科技信息,2016(5):206.
- [2]范晓航.水利工程中土石方施工技术的应用探新[J].城市建设理论研究(电子版),2017(5):141.
- [3]黄高华,倪雪玲.水利工程中土石方的施工技术[J].建材与装饰,2017(35):289-290.
- [4]钱宽,孙建伟,王莉莉,等.探讨水利工程中土石方施工技术的应用[J].中华建设,2019(1):170-171.
- [5]杨光胜.栗子园水利工程中土石方开挖施工技术探析[J].黑龙江水利科技,2019,47(1):131-132.

作者简介:朱伟(1991.2—),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,技术负责人等工作。

水利工程建设中监理单位质量控制措施探析

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]我国水利工程建设监理工作目前仍存在诸多问题,且现行的管理体系尚不完善。水利工程建设监理在保障工程质量、提高施工进度方面发挥着至关重要的作用,同时也对水利工程的经济效益产生积极影响。然而,当前我国水利工程建设监理工作中仍存在许多亟待解决的问题。文章分析我国水利工程建设及其监理工作的现状,探讨问题的根源,并提出针对性的改进措施,为完善我国水利工程建设监理技术提供理论支持和实践参考。

[关键词]水利工程建设;监理单位;质量控制;控制措施

DOI: 10.33142/hst.v8i6.16925

中图分类号: TV5

文献标识码: A

Analysis of Quality Control Measures for Supervision Units in Water Conservancy Engineering Construction

JIANG Xingming

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

Abstract: There are still many problems in the supervision of water conservancy engineering construction in China, and the current management system is not yet perfect. The supervision of water conservancy engineering construction plays a crucial role in ensuring project quality and improving construction progress, while also having a positive impact on the economic benefits of water conservancy engineering. However, there are still many urgent problems to be solved in the current supervision work of water conservancy engineering construction in China. The article analyzes the current situation of water conservancy engineering construction and supervision work in China, explores the root causes of problems, and proposes targeted improvement measures, providing theoretical support and practical reference for improving the supervision technology of water conservancy engineering construction in China.

Keywords: water conservancy engineering construction; supervision unit; quality control; control measures

引言

水利工程建设作为国家基础设施的重要组成部分,在合理利用水资源、防洪抗旱及生态保护等方面,扮演着至关重要的角色。然而,工程质量的直接影响着项目的安全性、耐久性与后期运营效果,因此,质量控制在水利工程建设过程中成为建设管理的核心内容。监理单位在水利工程建设中发挥着至关重要的作用,其职责不仅包括对施工质量、进度与安全进行监督,还包括对各施工环节进行全面的质管控与技术指导。然而,随着水利工程项目规模的不断扩展、技术日益复杂以及外部环境的变化,传统的质量管理模式面临了众多挑战。尤其在新疆地区,由于其独特的自然环境、广阔的地域及特殊的气候条件,水利工程的质量控制问题变得愈加复杂。如何提高监理单位在质量控制方面的能力,确保工程质量,已成为亟待解决的核心课题。本文旨在探讨如何通过完善质量控制措施,提升水利工程建设的质量水平,并针对新疆地区的具体特点,提出切实可行的对策与建议,期望为水利工程项目的顺利实施提供理论依据与实践指导。

1 水利工程建设监理工作指向

水利工程建设监理是对施工过程进行监督和管理的

活动。在这一过程中,监理的主要任务是协调并落实双方的权利与义务,确保水利建设的各方利益得到合理保障。水利工程监理工作应遵循“公正、自主、独立”的原则,确保对所有相关方进行有效的监督,避免任何一方的利益受到损害,从而实现权利与义务的平衡。

2 新疆水利工程监理质量控制中存在的问题

2.1 专业人员能力不足

在新疆水利工程建设中,监理单位面临的一个突出问题是专业人员能力的不足,这已成为影响工程质量控制效果的重要因素。部分监理人员的专业技术水平较低,无法全面掌握水利工程中复杂的工艺流程、施工标准及相关规范,从而影响了其履行监理职责的能力。尤其是在处理技术要求较高的水利枢纽工程、长距离输水工程等项目时,部分监理人员因缺乏足够的经验与判断力,导致监督过程中出现了监督不力、问题识别滞后等现象。同时,由于新疆地区地广人稀,人才引进的难度较大,尤其在偏远地区的水利工程项目中,专业监理人员的配备严重不足,甚至出现了监理岗位空缺的情况,致使监理工作无法全面覆盖整个工程过程^[1]。此外,由于一些监理单位未能充分重视从业人员的继续教育和专业培训,缺乏完善的能力提升机

制,导致监理人员的知识结构未能及时与水利工程建设技术的不断更新保持同步。

2.2 管理机制与信息化水平滞后

在新疆水利工程监理实践中,管理机制的缺失与信息化水平的滞后,已成为影响质量控制效率与效果的主要制约因素。目前,一些监理单位依然采用传统的人工管理模式,缺乏规范化、系统化的内部管理制度,导致监理职责划分不明确、流程衔接不畅,执行效率低下,从而严重影响了质量控制的持续性与精准性。此外,监理工作普遍依赖纸质记录与人工汇报,信息化手段的应用水平较低,致使关键数据,如工程进度、施工质量、材料检验等,未能实现实时共享与动态管理,导致信息滞后、数据断层或遗漏,难以及时发现并处理施工过程中存在的问题。尤其在新疆偏远地区,由于地形复杂、交通不便,信息化基础设施相对薄弱,致使监理单位难以实现远程监管与数字化协同,这限制了监理工作在这些地区的覆盖范围与精细化程度。此外,缺乏统一信息平台的部分单位,导致监理数据标准不一致、资料归档混乱,从而影响了工程质量控制的系统性与科学性。

2.3 质量控制执行力度不均

在新疆水利工程建设过程中,质量控制执行力度不均的问题较为明显,这直接影响了工程的整体质量及建设进度。一方面,不同监理单位在质量控制标准的理解和执行上存在较大差异,部分单位未能充分认识到监理职责的重要性,往往出现了重进度、轻质量,或重形式、轻实效的倾向。这种情况导致对关键施工环节的监督缺乏深度,甚至出现了监管盲区。另一方面,同一项目内,不同阶段和区域的监理执行力度也存在差异。项目初期监理较为严格,但随着工期的推进,尤其是在赶工期或资金紧张等压力下,监理力度往往出现松懈,部分质量问题未能及时发现与整改。此外,在与建设单位或施工单位沟通协调时,部分监理人员存在把关不严、协调不力的情况,未能坚持严格的质量要求,导致了监理工作失去了应有的独立性与公正性,受到各种因素的影响。

2.4 地区特殊自然环境带来的影响

新疆地区独特的自然环境对水利工程监理质量控制工作产生了深远的影响,成为质量管理中不可忽视的难题。位于我国西北边陲的新疆,地理条件复杂,涵盖了高山、荒漠、戈壁与平原等多种地貌类型,这为水利工程的施工组织与质量监督带来了巨大的挑战。在偏远山区或荒漠地区,由于交通不便、通信条件差,监理人员很难及时进入施工现场,开展全面细致的监督工作,这导致了一些工程质量问题未能得到早期发现与及时干预。此外,新疆的气候干旱、温差大,部分地区还经常遭遇风沙天气以及极端的高温或严寒条件,这些自然因素直接影响了施工材料的性能与工程结构的稳定性,同时也增加了监理工作的技术

难度。在评估施工质量时,监理人员必须考虑到特殊的气候与地质因素进行动态判断,但由于技术手段的限制与现场数据获取的难度,这些判断常常充满不确定性,从而增加了质量控制的风险^[2]。同时,复杂多变的自然环境要求监理人员具备更高的专业知识与适应能力,然而,在面对特殊的地质、气候或水文条件时,一些监理人员由于缺乏足够的应对经验,难以提供科学有效的质量控制支持。

3 提升新疆水利工程监理质量控制水平的对策建议

3.1 完善制度与强化责任机制

在提升新疆水利工程监理质量控制水平的过程中,完善管理制度与强化责任机制是构建高效监管体系的关键环节。面对新疆水利工程项目体量大、地理跨度广、环境复杂等诸多挑战,传统的粗放式管理模式已无法满足现代工程质量控制的需求。因此,必须从制度层面着手,推动监理工作的制度化与规范化。一方面,应结合国家及地方水利工程相关法规与标准,以及新疆的地理与气候特点,制定符合地方实际的监理实施细则,详细规定监理工作内容、流程与质量评价标准,从制度设计到现场执行实现无缝衔接。另一方面,监理单位、监理工程师、建设单位及施工单位的责任边界应明确,构建一个“权责明确、上下联动”的责任体系,以避免出现责任空白与权力越位问题。同时,建立健全质量问题责任追溯与问责机制,针对监理过程中出现的失误与渎职行为,应实施动态监管与分类处理,确保每一项质量问题都有明确的责任人和整改路径。监理单位的法律责任与信用管理也需得到强化,通过引入第三方监管评价机制与行业信用评估体系,将制度执行情况与企业资质评定、市场准入等直接挂钩,实现“制度刚性、责任追溯、惩戒有力”。

3.2 完善水利工程建设监理招投标

完善水利工程建设监理招投标制度,是提升新疆水利工程监理质量控制水平的关键措施之一。招投标环节对于确保水利工程监理质量与公正性至关重要,通过规范化和完善招投标流程,能够有效选出具备专业能力、信誉良好的监理单位,从源头上保障工程质量。在此过程中,招投标的透明度与公开性必须严格落实,确保监理单位的选拔过程公平、公正、公开,从而杜绝不正当竞争及暗箱操作。这不仅有助于选拔出技术能力强、经验丰富的监理单位,还能确保招标过程符合相关法律法规的要求,避免因监督不到位而影响工程质量。此外,招投标环节应更加关注监理单位的综合实力,而不仅仅依赖价格因素。监理单位的资质、人员配置、过往业绩及技术能力等方面的审查,应得到加强,确保其具备完成项目所需的专业能力与技术支持^[3]。同时,可以引入质量评估机制,设置质量控制指标与评估标准,对投标单位的质量管理体系、质量控制能力等方面进行全方位评估,从而为招标方提供多维度的决策

依据。

3.3 加强人才队伍建设与培训

加强新疆水利工程监理质量控制水平的核心保障,是提升人才队伍建设与培训,这也是实现工程高质量发展的根本支撑。受制于新疆广袤的地域与经济发展不均衡等因素,水利工程监理领域普遍面临专业人才短缺、人员能力结构不合理等问题,这削弱了质量控制的精准性与前瞻性。因此,必须从源头着手,构建一支政治素质高、业务能力强、实践经验丰富的优秀监理人才队伍。在这方面,需要加大对本地水利工程监理专业人才的培养力度,推动高校与职业院校开设水利监理相关专业课程,鼓励本地青年投身水利行业,建立“本土培养、就地服务”的人才供给机制,以逐步缓解偏远地区监理力量不足的问题。同时,建立健全在职人员培训机制,依托行业协会、科研机构与企业平台,定期开展专业技术培训、质量管理课程及案例分析等活动,提升监理人员对新技术与新标准的理解及应用能力。特别是在 BIM 技术、智能监测与绿色施工等前沿领域,培训内容应紧密结合工程实际,强化理论与实践的结合,帮助监理人员具备现代工程项目管理所需的综合能力。此外,还应建立人才考核与激励机制,将培训成果与岗位晋升、薪酬待遇、项目分配等挂钩,从而激发监理人员的学习热情与职业荣誉感,进一步提升队伍的专业性、稳定性及责任感。

3.4 推进信息化和智能化监理手段应用

推动信息化与智能化监理手段的应用,是提升新疆水利工程监理质量控制水平的关键途径。在当前信息技术飞速发展的背景下,传统监理方式已难以满足现代水利工程精细化管理的需求。信息化技术的引入,能够帮助监理单位实时跟踪工程进度、施工质量、材料使用等关键信息,提升数据处理的效率与准确性,从而为决策提供更加科学的支持。通过构建数字化管理平台,设计图纸、施工方案、进度计划、质量检测等各类信息得以集中管理与共享,监理人员可以随时随地获取项目动态信息,迅速发现潜在质量问题或施工偏差,从而提高质量管控的及时性与有效性。智能化技术,尤其是大数据、物联网与人工智能(AI)的结合,使得施工现场能够实现智能监测与实时预警^[4]。例如,传感器与监控设备被安装,以对水利工程的土壤湿度、混凝土强度、施工机械状态等关键参数进行实时监控,通过 AI 算法对数据进行分析与预测,监理人员能够及时识别施工风险与质量隐患,并利用自动化控制技术进行调整与干预,防止因人为疏忽导致的质量问题。此外,智能化手段还能够借助云平台实现远程监控与管理,尤其在新疆这种地域辽阔、人烟稀少的地区,传统方式中人员不足与现场监管不力的问题,远程监理能够有效克服。

3.5 强化监督与激励机制

强化监督与激励机制,作为提升新疆水利工程监理质

量控制水平的关键举措,已经成为应对项目面临的地域辽阔、工程复杂、气候特殊等多重挑战的重要手段。在新疆,传统的监管方式往往无法满足高效精准质量控制的需求,因此,必须通过加强监督与激励机制,建立起高效的内外部监管体系,以确保监理工作的有效执行与质量控制目标的实现。监督机制的强化,要求多方力量的共同参与。应进一步加强政府监管部门对监理单位及其人员的审查与监督,常态化检查制度的制定,包括定期的质量检查、审计与抽查,确保及时发现问题并采取必要的整改措施。此外,第三方评估机构的引入,也能够为监理工作提供独立的质量评估,确保质量控制的公正性与透明性。激励机制的有效运行,将显著提高监理人员的工作积极性与责任感。绩效考核,应与工程质量、进度、成本等关键指标挂钩,对监理人员的表现进行定期评估。通过设置明确的奖惩措施,表现突出的人员可获得奖金或职称晋升等奖励,而对失职行为则采取严格处罚,从而确保每一环节都有人负责,责任落实到位。此外,应鼓励监理单位与人员积极参与新技术与方法的学习与应用,通过激励机制推动其不断提升专业能力与工作水平。

4 结语

通过对水利工程建设中监理单位质量控制措施的分析,可以明确监理单位在确保工程质量、进度与安全方面所发挥的重要作用。在当前的工作中,尽管监理单位仍面临人员素质不高、管理体系不完善以及信息化水平滞后的挑战,但通过一系列举措,如加强制度建设、完善质量控制流程、推动技术应用进步以及强化监督与激励机制等,这些问题能够有效应对,监理工作的整体水平也能显著提升。特别是在新疆地区,受其特殊地理与气候条件的影响,制定针对性的质量控制措施,显得尤为关键。随着监理技术的不断进步与管理模式的创新,水利工程建设将能够在实现更高质量的基础上,获得更为显著的效益。因此,持续完善监理单位的质量控制体系,不仅能够提升工程建设的整体质量,而且还为水利工程的可持续发展奠定了坚实的基础。

【参考文献】

- [1]余冲,刘凯,陈崇德.水利工程建设监理单位安全生产标准化实践及评价[J].建设监理,2025(3):41-45.
 - [2]饶金城.新形势下做好水利工程监理工作的探讨[J].水上安全,2024(24):172-174.
 - [3]汪昂,查亮.水利工程施工监理质量控制措施分析[J].治淮,2024(11):11-12.
 - [4]董晓雷.新形势下水利工程建设监理工作的特点与对策[J].河北水利,2024(10):25.
- 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,就任职务:总监理工程师,职称级别:副高。

水利工程施工与维修养护中的安全管理创新

马 兵

新疆塔建三五九建工有限责任公司，新疆阿拉尔 843000

[摘要]水利工程的施工安全与维修养护直接关系国家基础设施安全与民生福祉。针对当前水利工程施工和维修中面临的复杂环境与传统管理模式的落后带来的施工安全风险。文章构建“全周期管控-技术创新-智能监管”三位一体的安全管理体系。在施工阶段，聚焦水利工程技术、混凝土加固及密实、防渗处理等关键工艺的安全技术要点，提出基于数字孪生与智能监测的风险防控策略；在维修养护阶段，剖析设施老化、有限空间作业等风险特征，建立“预测性维护-动态应急-知识进化”的现代化管理框架。研究成果为提升水利工程本质安全水平提供理论支撑与实践路径。

[关键词]水利工程；施工安全；维修养护；智能监管；风险防控

DOI: 10.33142/hst.v8i6.16924

中图分类号: TU7

文献标识码: A

Innovation of Safety Management in Water Conservancy Engineering Construction and Maintenance

MA Bing

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

Abstract: The construction safety and maintenance of water conservancy projects are directly related to the safety of national infrastructure and the well-being of the people. In response to the complex environment and outdated traditional management models faced in the current construction and maintenance of water conservancy projects, there are construction safety risks. The article constructs a three in one security management system of "full cycle control - technological innovation - intelligent supervision". During the construction phase, focus on the safety technical points of key processes such as water conservancy engineering technology, concrete reinforcement and compaction, and anti-seepage treatment, and propose risk prevention and control strategies based on digital twins and intelligent monitoring; During the maintenance phase, analyze the risk characteristics such as facility aging and limited space operations, and establish a modern management framework of "predictive maintenance - dynamic emergency - knowledge evolution". The research results provide theoretical support and practical paths for improving the intrinsic safety level of water conservancy engineering.

Keywords: water conservancy engineering; construction safety; maintenance and upkeep; intelligent supervision; risk prevention and control

引言

在“双碳”目标与新基建战略背景下，水利工程正从传统防洪灌溉功能向智能化、生态化、多功能化、景观营造等复合系统转型。这种功能转型推动工程建设呈现三大特征，即空间向上，深层向下、横向向跨流域管网延伸。技术层面融合智能感知与绿色建材创新，运维要求上需统筹物理设施耐久性与生态系统稳定性。面对深基坑支护变形控制、高流速水下结构抗冲耐磨、老化设施智能诊断等新挑战，使得传统安全管理模式在风险识别精准度、过程监管实时性、应急响应协同性等方面显现出系统性不足，特别是对隐蔽工程隐患的滞后发现与跨专业风险的割裂管控，已成为制约工程安全效能提升的瓶颈。

空间维度上，跨流域长距离调水对水利工程施工安全控制要求更加严格。技术维度上，智能感知、绿色建材等新技术应用带来风险识别与管控模式变革；运维维度上，老龄化设施占比增加，需统筹结构安全、生态修复与应急响应的协同管理。

随着转型使得传统安全管理模式也存在系统性短板：隐患识别依赖经验，缺乏实时性与精准性；各阶段风险管控未形成全周期联动机制；应急响应缺乏多部门协同与技术赋能。基于此，构建时间维度上贯通规划、施工、运维阶段的风险传导路径。横向整合技术、管理、环境要素的交互影响，立体维度依托 BIM+GIS+AI 技术构建智能决策中枢，旨在实现从水利工程安全管理的“被动事故处置”到“主动风险预防”的升级。

1 施工阶段安全管理核心技术与策略

1.1 围堰工程

围堰工程是水利工程施工中常用的施工措施。其施工的安全性，直接影响水利工程的质量、安全和经济效益。围堰类型的选择应结合项目所在工程水文地质条件与自然环境。土石围堰适用于浅水缓流区域，通过分层碾压确保结构密实度。钢板桩围堰在深水急流工况展现优势，其连续墙结构可有效抵御水力冲击。施工中需重点控制防渗体系构建，采用黏土心墙与复合土工膜组合工艺，结合实

时渗流监测系统,实现挡水结构与排水系统的动态平衡。在潮汐河段工程中,需建立水位涨落预测模型,优化围堰顶高程与边坡稳定性设计。

1.2 混凝土加固技术

混凝土加固技术是对存在质量问题水利工程结构的重要施工措施。是保障水利工程安全的重要保证。水工混凝土加固需遵循“现场诊断-方案批准-实施”的技术路线。加固技术的选用需与存在缺陷相适应。结构强度提升和缺陷加固可采用碳纤维和注浆;环氧树脂浸渍主要用于裂缝修补。预应力锚杆技术可恢复深层结构完整性,其张拉控制需考虑徐变效应与温度应变的耦合影响。在泄洪建筑物加固中,研发抗空蚀纳米改性混凝土,配合超高压喷涂工艺,使修补层与基体形成梯度过渡界面,显著提升抗冲刷性能。

1.3 防渗墙防渗处理

在水利工程中,渗漏是重要的质量安全问题。防渗处理技术被广泛应用于水利工程的施工环节。该技术的优势在于,能够从过程中有效控制墙体的密实度和抗渗路径,同时确保水工结构较高的耐久性和安全性。防渗处理技术在施工过程中实施,具有较强的灵活性和环境适应性。它可以根据不同的施工地点和水利施工环境,采取具有针对性的控制措施^[1]。

2 水利工程施工阶段的安全管理策略

2.1 安全管理体系的建立

水利工程施工阶段安全管理体系的构建需遵循“预防为主、综合治理、过程管控、责任闭环”的原则。建立隐患排查治理、安全风险分级管控,将隐患按危险性划分为红、橙、黄三级响应状态,配套差异化的处置流程与资源调配方案。空间管控维度推行网格化立体监管,纵向划分项目指挥部、工区、作业面三级管理单元,横向整合施工、监理、监测多方责任主体,通过植入定位芯片的智能安全帽实现“人员-机械-环境”的实时三维态势感知。创新引入区块链存证技术,将参建单位的安全行为数据上链固化,实现项目安全管理与工程款支付的自动关联,建立“履约保证-过程考核-终期评价”的全链条激励约束机制。

2.2 安全技术措施与管理手段

水利工程施工阶段安全技术措施与管理手段深度融合,采取智能监测与精准调控技术,构建起覆盖全作业场景的立体化防护体系。深基坑工程引入监测参数自适应优化机制,同步联动自动化降水设备的智能启停控制,实现地下水位波动幅度压缩至毫米级精度。高空作业安全防护体系升级为智能物联模块,整体升降平台集成北斗定位与风速感知功能,可识别秒内的失稳状态并触发机械制动,形成“主动预警-被动防护”的双重保障机制。特种设备安全管理向预测性维护转型,构建振动、温度、噪声多源信号融合的故障诊断体系,建立早期故障的量化识别阈值,

实现从采购验收到报废处置的数字溯源。

2.3 施工现场风险识别与防控

水利工程施工现场风险防控通过系统性技术融合与动态管理机制,构建“源头识别-空间管控-智能预警”全流程防护体系。将工程实体解构为工艺单元与风险要素的矩阵网络,通过工作分解结构细化施工流程节点,同步建立风险分解结构映射模型,实现临边作业、深基坑、滑坡等安全风险精准匹配。建立大体积混凝土浇筑等关键工序与施工安全的融合考虑。风险可视化层面建立四维动态分布图谱,结合时间维度与空间坐标对风险区域实施分级管理。红色高危区执行“双监护+双审批”制度,即作业人员资质审查与设备状态核查并行、施工方案专家论证与应急预案联合审核。橙色警戒区采用智能物联监控,通过定位芯片与 AI 视频分析实时追踪人员轨迹与设备运行状态^[2]。针对季节性风险,构建气象-水文-地质多源数据融合预警平台,建立降雨强度-地表径流-地质变形的联动响应机制。当监测到短时强降雨信号时,智能决策系统自动触发三级响应。一级预警启动施工区域排水泵站与防洪挡板;二级响应限制高风险作业并疏散非必要人员;三级响应切断设备电源并激活应急通讯频段。地质风险防控领域创新应用多频段地质雷达扫描技术,结合无人机摄影生成的高精度实景模型,构建地下隐伏构造与地表变形场的三维动态映射系统,识别地质异常体的空间展布规律,为支护参数动态优化与开挖时序调整提供决策支持。

2.4 施工人员安全教育与培训

水利工程施工人员安全教育与培训体系通过技术创新与管理优化实现能力全面提升。构建沉浸式虚拟实训平台,融合 VR/AR 技术模拟高空坠落、有限空间作业等典型风险场景,结合体感反馈装置增强事故体验的真实性,强化施工人员的风险直觉反应。建立分层分类的岗位资质认证机制,针对深基坑支护、大坝灌浆等情景,建立集成三维动画演示与智能考核系统,实现理论教学与实操训练的深度融合。日常安全管理推行四阶循环法:场景还原识别隐患、根因分析制定对策、情景模拟应急处置、复盘优化防控方案,形成动态迭代的风险预判能力培养模式。创新安全行为积分管理制度,将个人防护装备规范使用、危险源主动报告等行为量化赋分,通过区块链技术实现安全表现的不可篡改记录,积分结果与工资深度绑定,构建“能力提升-行为规范-工资”三位一体的长效激励机制。

3 水利工程维修养护阶段的安全管理策略

3.1 维修养护作业的风险特征

水利工程维修养护阶段的风险防控需构建多维度技术,针对设施老化与环境作用的耦合风险实施精准干预。水闸启闭系统钢丝绳的隐性损伤检测突破传统目视检查局限,采用脉冲涡流与漏磁复合探伤技术,通过电磁场扰动信号解析钢丝内部断丝率与腐蚀深度,实现非接触式连

续监测。涵洞检修作业环境安全管控引入分布式光纤气体传感网络,在有限空间内布设甲烷、硫化氢等多参数检测节点,结合智能通风连锁系统,形成有毒气体浓度超标自动预警与应急排风机制。水库大坝护坡维修期间库水位调控创新应用流固耦合数值模型,综合考虑水位骤降速率、坡体渗透系数与植被固坡效应的相互作用,建立基于安全系数的动态泄洪决策算法。输水管道维修作业的水锤效应防控体系,研发压力波传导特性与阀门响应时间的匹配模型,通过先导式智能减压阀组的多级协同控制,实现瞬态压力冲击的梯度消解^[3]。

3.2 设备运行与维护的安全规范

水利工程设备运行维护的安全关系其功能、安全运行的重要保障。深度融合智能监测与全生命周期管理理念,构建起水利工程设备运维的安全“感知-诊断-决策”的闭环管控机制。设备健康管理突破传统阈值预警模式,通过振动频谱分析与温度场重构技术建立多物理场耦合诊断模型,精准识别水泵机组轴承早期磨损与转子不平衡等隐性故障。特种设备退役评估体系引入微磁检测与声发射技术,构建金属疲劳损伤与应力腐蚀的跨尺度评价指标,结合服役环境大数据建立剩余寿命预测算法,为设备更新决策提供量化依据。

3.3 现场安全检查与隐患排查

水利工程维修养护阶段的安全检查与隐患排查体系是确保水利工程结构安全、设备可靠的重要工作。构建起“智能诊断-闭环治理-知识进化”的全流程防控机制。设施状态评估突破传统经验判断模式,通过多光谱成像与超声波层析技术融合,建立混凝土碳化深度、钢筋锈蚀分布与结构承载力的多参数耦合模型,形成基于损伤演化的动态风险分级标准。智能巡检系统研发仿生六足机器人,集成激光诱导击穿光谱与太赫兹波探测模块,实现结构内部蜂窝状缺陷与微裂纹的亚毫米级识别精度。隐患治理流程创新应用 PDCA-5W1H 复合分析法,在计划阶段运用鱼骨图追溯失效机理,执行环节部署增强现实(AR)辅助维修系统,检查阶段引入数字孪生比对验证技术,处理环节构建隐患知识图谱实现跨工程案例的自学习优化。知识管理系统开发语义关联引擎,通过自然语言处理技术抽取历史隐患数据特征,建立“缺陷类型-成因链-处置方案”的三维关联规则库,当检测到新型隐患时自动匹配相似案例并生成处置建议。

3.4 养护期突发事件的应对策略

水利工程养护期突发事件应对体系构建“智能感知-动态推演-协同处置”的全链条应急响应机制,深度融合新一代信息技术与工程安全管理需求。在应急资源调度层

面,突破传统平面化储备模式,构建四位一体立体监控网络。高空部署具备红外热成像功能的巡检无人机群,实时监控库区渗漏点与边坡变形;地面依托智能仓储机器人系统实现防汛物资的自动分拣与无人车配送;水下布设声呐监测阵列,精准感知管涌与结构裂缝发展。物资储备库引入数字孪生技术,通过物资存量、运输路径、需求热力的多源数据融合,动态优化储备品类与区域分布,形成“需求牵引-智能匹配-弹性补给”的物资保障模式。溃坝风险防控领域创新研发多尺度耦合仿真平台,集成水文气象大数据、地质力学模型与工程数字孪生体,运用深度强化学习算法模拟洪水演进过程,不仅预测淹没范围,更可推演溃坝冲击波对下游桥梁、城镇的次生灾害链^[4]。预警系统突破单一阈值报警局限,建立风险熵值评估模型,通过贝叶斯网络动态计算不同情景的发生概率与损失权重,生成包含人员疏散优先级、工程抢险时序、交通管制方案的三维应急决策树。应急决策支持系统开发知识图谱驱动的智能推演引擎,将历史案例库、专家经验规则、应急预案文本进行语义关联,构建“事件-成因-处置-效果”的四维关系网络。当险情发生时,增强现实(AR)指挥平台可叠加显示工程内部结构损伤、救援力量分布与实时环境参数,通过自然语言交互快速调取最佳处置方案。

4 结语

水利工程安全管理的现代化转型需要技术创新与管理变革双轮驱动。未来应深化 BIM、物联网与人工智能技术的融合应用,构建智慧安全管控平台。同时完善安全管理标准体系,培育专业化的第三方安全服务机构。通过建立全员参与、全程可控、全域覆盖的安全管理新格局,切实提升水利工程本质安全水平,为经济社会可持续发展提供坚实保障。

【参考文献】

- [1]孙维全.水利工程施工与维修养护中的安全管理策略[J].水上安全,2025(3):1-3.
 - [2]马晓辉.水利工程维修养护存在的问题及对策[J].现代物业(中旬刊),2018(9):215.
 - [3]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.
 - [4]钱明海,谢传宝.水利水电工程涵闸工程施工管理与维修养护浅析[J].水电站机电技术,2020,43(11):205-206.
- 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。

混凝土在大体积水利工程中的施工温控措施分析

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]在水利工程领域,大体积混凝土结构因水化热引发的温度应力问题始终是制约工程质量的瓶颈。随着西部某区域大型水利枢纽建设的推进,复杂气候条件与工程规模扩大的双重挑战,使得传统温控技术面临失效风险。昼夜温差剧烈、风速多变等环境特征,加剧了混凝土内部温度场的不均匀分布,导致结构开裂概率显著上升。当前工程实践中,温度裂缝不仅影响结构耐久性,更可能引发渗漏、冻融破坏等连锁反应,威胁工程安全运营。现有温控体系在应对特殊气候与复杂结构时,普遍存在调控滞后、协同性不足等缺陷,亟待构建多尺度耦合的温度控制理论。文章聚焦材料改性、智能监测与动态调控的技术融合,探索适应极端环境的大体积混凝土温控创新路径,为提升高海拔干旱区域水利工程质量提供理论支撑。

[关键词]大体积混凝土;水化热控制;智能监测;分层浇筑;水利工程

DOI: 10.33142/hst.v8i6.16926

中图分类号: U44

文献标识码: A

Analysis of Construction Temperature Control Measures for Concrete in Large Volume Hydraulic Engineering

SHEN Xiufeng

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

Abstract: In the field of hydraulic engineering, the temperature stress problem caused by hydration heat in large volume concrete structures has always been a bottleneck that restricts the quality of engineering. With the advancement of the construction of a large-scale water conservancy hub in a certain western region, the dual challenges of complex climate conditions and the expansion of engineering scale have put traditional temperature control technology at risk of failure. The severe temperature difference between day and night, as well as the variable wind speed, exacerbate the uneven distribution of temperature field inside the concrete, leading to a significant increase in the probability of structural cracking. In current engineering practice, temperature cracks not only affect the durability of structures, but may also trigger chain reactions such as leakage and freeze-thaw damage, posing a threat to the safe operation of engineering. The existing temperature control system generally has deficiencies such as lagging regulation and insufficient coordination when dealing with special climates and complex structures, and urgently needs to construct a multi-scale coupled temperature control theory. The article focuses on the technological integration of material modification, intelligent monitoring, and dynamic control, exploring innovative paths for temperature control of large volume concrete to adapt to extreme environments, and providing theoretical support for improving the quality of water conservancy engineering in high-altitude arid areas.

Keywords: large volume concrete; hydration heat control; intelligent monitoring; layered pouring; water conservancy project

引言

西部某区域作为国家水利基础设施建设的重点区域,其独特的地理气候特征对混凝土施工技术提出特殊要求。该地区年均温差超过 40℃,干燥多风环境加速混凝土表面水分蒸发,导致温缩与干缩耦合效应显著。近年来,随着拱坝、输水隧洞等大体积混凝土结构的高度与跨度不断突破,结构内部水化热积聚现象愈发严重。传统温控方法依赖单一冷却手段,难以实现温度场演变与结构应力发展的动态平衡。现有监测系统存在空间分辨率不足、响应延迟等问题,无法精准捕捉温度梯度突变。施工过程中,环境因素与工艺参数的交互影响机制尚未完全明晰,导致温控措施与实际工况匹配度不足。这些技术瓶颈使得工程裂缝发生率长期居高不下,严重制约区域水资源调配系统的安全性及可靠性,迫切需要通过技术创新建立适应特殊环

境的温控技术体系。

1 研究桥梁工程中混凝土施工技术及温控措施应用的现实意义

据权威数据显示,在桥梁工程中,混凝土结构在施工过程中最常见的病害是裂缝问题,该问题严重影响施工技术与温控措施的实际应用效果。为科学合理地解决这一病害,提升桥梁工程项目的耐久性与使用寿命,施工单位应高度重视施工阶段的温度控制工作。通过加强混凝土施工过程中的温度调控及其监测管理,可有效提高大体积混凝土施工技术的应用质量和控制水平。此外,还应对既有桥梁工程中混凝土施工技术及温控措施的实施现状进行深入分析,从中总结经验,发现问题,以实现技术与措施的针对性和适用性在实际工程中的有效落地。如此,方能有效预防和控制混凝土结构中裂缝的产

生,最大限度地保障桥梁工程建设的安全性与可靠性。

2 桥梁工程中大体积混凝土施工技术及温控措施的应用现状

2.1 技术应用层面存在的不足

当前大体积混凝土施工技术在复杂环境适应性方面仍存在显著短板。在部分工程项目中,骨料预冷系统的运行参数与设计方案存在偏差,导致混凝土入模温度超出允许范围,引发温度梯度超标现象。传统养护技术对极端气候的响应能力不足,尤其在强风干燥环境下,常规覆盖材料的保温保湿效能急剧下降,加速表面水分蒸发与温度波动。振捣工艺的机械化程度不足,导致结构内部密实度分布不均,形成局部薄弱区域^[1]。智能化设备的集成应用尚未形成完整体系,部分传感器布设位置与数量未考虑温度场三维传导特性,监测数据难以真实反映结构整体热力学状态。材料体系方面,低热水泥与掺合料的协同效应研究不足,实验室配比成果与现场施工条件匹配度较低,削弱了水化热控制的实际效果。

2.2 管理机制层面的薄弱环节

全过程温度控制管理存在系统化缺陷。施工组织设计中温控措施的专项规划深度不足,未能建立温度场演变与施工进度动态关联模型。现场监测数据的采集、传输与分析流程缺乏标准化体系,部分项目仍依赖人工记录与经验判断,导致温度调控存在滞后性。参建各方的责任界面划分模糊,设计单位提供的温控指标与施工单位实施能力之间缺乏有效衔接机制。质量验收环节对温度控制效果的评估过于依赖最终表观检查,忽视施工过程中的温度应力累积效应。技术交底内容未充分考虑一线作业人员的实操理解能力,先进温控设备的操作规范执行率普遍偏低。应急预案体系不完善,对突发温度异常事件的处置多依赖临时决策,缺乏系统化的处置流程与技术储备。

2.3 技术创新的实践瓶颈

新材料新工艺的工程转化面临多重障碍。实验室研发的低热混凝土配合比在施工现场受原材料波动影响,性能稳定性显著降低。智能温控设备的可靠性在恶劣工况下难以保障,沙尘侵入、温度骤变等环境因素导致传感器故障率升高。新型相变储能材料的大规模应用受成本制约,其长期耐久性与结构本体的相容性仍需验证。BIM 技术在实际温控管理中的应用多停留在三维可视化层面,未能实现温度场仿真与施工过程的深度耦合。技术标准体系更新滞后,现有规范对智能监测、动态调控等新技术缺乏针对性指导条款^[2]。产学研协同创新机制不健全,高校研究成果与工程实际需求存在代际差异,导致部分先进技术陷入实验室有效、工地失效的困境。人才梯队建设不足,既懂混凝土材料科学又掌握智能控制技术的复合型人才稀缺,制约技术创新成果的落地实施。

3 工程中大体积混凝土施工技术及温控措施的应用要点

3.1 混凝土施工技术优化

3.1.1 配比设计

大体积混凝土的配比设计需以热力学性能与结构耐久性为核心导向。在水利工程中,胶凝材料优先选用中热或低热硅酸盐水泥,并复合 30%~50%的粉煤灰与矿粉双掺体系,通过火山灰效应与微集料效应协同降低水化热峰值。粗骨料采用四级配优化组合,最大粒径控制在 80mm 以内以改善堆积密度,减少水泥用量;细骨料选用 MB 值 ≤ 1.0 的机制砂,严格控制含泥量 $\leq 2\%$ 。水胶比控制在 0.38~0.42 区间,在满足泵送要求前提下最大限度降低收缩变形。抗裂纤维掺量宜为 0.9~1.2kg/m³,形成三维网状阻裂结构。外加剂体系采用缓凝型聚羧酸减水剂与引气剂复合配方,初凝时间延长至 12~16h 时,使水化放热峰与混凝土弹性模量增长相匹配。对于水位变动区混凝土,需额外掺入 5%~8%的硅灰以提高抗渗性与抗冲磨性能。

3.1.2 搅拌运输

水利工程混凝土搅拌系统需配置骨料预冷车间,采用喷淋+风冷+真空汽化三级冷却工艺,将粗骨料温度降至 5℃ 以下。搅拌楼配备液氮速冷装置与冷水机组联动系统,确保出机温度 $\leq 12^{\circ}\text{C}$ 。运输罐车采用双层不锈钢罐体,夹层填充聚氨酯发泡保温材料,配置 5G 物联网温度监测终端,实时传输混凝土温度、坍落度等参数至调度中心。长距离运输时启用罐体间歇式低速搅拌模式,转速控制在 2~4r/min,避免拌合物离析。极端高温时段启动应急运输预案,运输路线沿途设置遮阳棚与喷雾降温点,确保混凝土入仓温度不超过设计允许值。对于坝体深槽部位浇筑,采用缆机+吊罐的垂直运输方式,吊罐配备电动液压卸料门与保温夹层,实现精准布料与温度控制的双重目标。

3.1.3 浇筑施工技术

大坝混凝土浇筑采用通仓薄层连续上升工艺,分层厚度控制在 0.8~1.2m 范围,层间间歇期按混凝土温升曲线确定为 5~7d。仓面配置激光整平机与变频振捣机组,振捣棒插入间距不大于振捣作用半径的 1.5 倍,确保骨料分布均匀。对于廊道、闸墩等复杂结构部位,采用自密实混凝土配合比,扩展度控制在 650 $\pm$ 50mm, T500 时间保持在 3~5s 区间。仓面环境控制系统包含移动式防风帷幕、智能喷雾装置与红外测温仪,维持浇筑区域风速 $\leq 1.5\text{m/s}$ 、相对湿度 $\geq 90\%$ 的微环境。采用斜层铺料法施工时,倾角控制在 10°~15° 范围,每层铺料厚度不超过 50cm,防止骨料滚落导致离析。特殊气候条件下启用冬季暖棚法或夏季遮阳喷雾法,确保混凝土内外温差始终控制在规范允许范围内。

3.1.4 养护施工技术

水利工程混凝土养护实施全过程温湿度精准调控。初

期采用防水养护膜全覆盖+自动喷淋系统,水温与混凝土表面温差控制在 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 以内,喷淋间隔不超过 2h。中期启动预埋冷却水管系统,通水流量按 $1.0\sim 1.5\text{m}^3/\text{h}$ 调控,降温速率严格限制在 $0.5\sim 1.0^{\circ}\text{C}/\text{d}$ 范围内。对于闸墩、溢流面等关键部位,采用相变储能保温模板,其相变温度点设置为 $35\pm 2^{\circ}\text{C}$,通过潜热交换缓冲昼夜温差冲击。智能养护平台集成分布式光纤测温、无线湿度传感与 BIM 模型,实现温度场三维可视化监控与预警。结构棱角部位采用纳米气凝胶毡多层包裹,局部补强区域设置电伴热系统,确保边缘部位与主体结构的同步降温。后期养护引入环境适应性过渡机制,保温层拆除按先内后外、分层分段原则进行,拆除速率与混凝土弹性模量增长曲线动态匹配^[3]。

3.2 温控措施运用控制

3.2.1 温控措施

水利工程大体积混凝土温控需建立全过程、多层次的综合防控体系。在坝体结构中,采用内降外保的总体策略:内部通过预埋冷却水管网络实现主动降温,管间距按 $1.0\sim 1.5\text{m}$ 呈梅花形布置,通水流量依据混凝土温度场实时反馈进行动态调节;外部则采用复合保温体系,迎水面设置 XPS 保温板与防渗膜复合结构,背水面敷设自适应气凝胶毡。针对不同结构部位实施差异化控制:基础约束区采用低热水泥+高掺合料+加密冷却管三重防护,将最高温升控制在 25°C 以内;自由区则通过优化浇筑层厚与间歇期实现自然散热。新型相变调温材料在闸墩等薄壁结构中应用效果显著,其相变温度点精确设定在 $35\sim 40^{\circ}\text{C}$ 区间,通过相变潜热吸收峰值热量。智能温控系统集成物联网与 BIM 技术,实现冷却水流量、水温与混凝土温度场的闭环控制,调控响应时间缩短至 15min 内。特殊气候条件下,仓面环境控制系统可自动调节防风帷幕角度与喷雾强度,维持浇筑区域稳定的温湿度环境。

在水利工程实践中,还需特别关注不同季节的温控策略差异。夏季施工重点强化预冷措施,采用骨料堆场遮阳+喷雾降温+冷水浸泡的组合工艺,将原材料温度控制在规范限值内;冬季则侧重保温防冻,建立暖棚加热+蓄热养护+温度监测三位一体的防寒体系。对于水位变动区混凝土,需额外考虑干湿交替条件下的温度应力变化,采用微膨胀型补偿收缩混凝土配合比,并在表面涂覆憎水型保温涂料。导流底孔等特殊结构部位的温控需与金属结构安装协调,预埋冷却水管避开锚固件位置,同时保证降温效果。近年来发展的智能温控材料,如温度敏感型水凝胶、形状记忆合金等,为水利工程温控提供了新的技术路径,这些材料能根据环境温度自主调节导热系数,实现更精准的温度调控^[4]。

3.2.2 温控监测

温度场感知技术正从离散点测量向全域场重构跃迁。分布式光纤传感系统通过布里渊散射频移解析技术,实现

0.05°C 温度分辨率与厘米级空间定位精度,其全分布式特性可完整捕捉结构内部温度梯度的三维分布特征。无线传感器网络的自组织优化算法突破传统监测的时空局限性,节点通过自适应跳频技术抵抗电磁干扰,在复杂施工环境下维持 98% 以上的数据完整率。非接触式监测技术的创新体现在太赫兹波谱分析的应用,通过混凝土介电常数与温度的相关性建模,实现无损伤的内部温度场反演,尤其适用于预埋传感器受限的薄壁结构。监测数据的智能解析依托数字孪生平台,将实时温度场与多物理场耦合模型动态校准,通过参数辨识算法不断优化模型精度,预测误差可控制在 $\pm 1.2^{\circ}\text{C}$ 范围内。异常诊断系统集成深度学习与知识图谱技术,通过温度场时空演变模式的模式识别,提前 12h 预警温度应力超限风险,并自动生成包含调控位置、强度与时序的优化方案。

3.2.3 施工阶段控制

全周期温控需构建环境-结构-工艺的多层次调控体系。浇筑阶段实施热环境主动营造技术,通过移动式空气幕系统将仓面风速控制在 2m/s 以下,结合超声波雾化装置维持表面湿度 $\geq 90\%$,形成抑制塑性收缩的微气候环境。升温期采用分区分级通水策略,核心高温区域配置双回路冷却管网,通过 PID 算法动态调节水温与流量,确保降温速率与混凝土弹性模量增长的协同性^[5]。降温阶段重点突破几何突变区域的温度梯度控制,在结构棱角部位部署柔性电热膜与微型冷却管的复合系统,通过局部主动调温将边缘温差梯度压缩至 $12^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 以内。施工时序的智能决策依托多目标优化算法,综合考虑气象条件、资源供给与结构热力学响应,生成帕累托最优浇筑窗口方案,使温度超标概率降低 65% 以上。应急调控机制建立监测-评估-执行的快速响应链,当温差接近临界值时,自动触发三级联控程序:一级响应提升通水流量 20%,二级响应启动表面辐射加热,三级响应实施结构应力实时监测与临时支撑加固。质量追溯系统通过区块链与物联网融合技术,实现每个温控操作的时间戳记录与不可篡改存证,形成全生命周期的数字化质量档案。

4 结语

大体积混凝土温控技术的革新是保障水利工程长效运行的核心环节。本文通过系统梳理西部某区域工程实践经验,揭示环境-材料-工艺多要素耦合作用机制,提出基于智能感知与动态调控的温控技术框架。研究证实,相变储能材料与分布式光纤监测的协同应用,可显著提升温度场控制精度;环境响应型保温体系与智能通水系统的联合调控,有效抑制了温度应力集中现象。未来研究应进一步突破极端气候条件下混凝土水化热演变预测模型,开发具有自修复功能的智能温控材料体系。建议深化数字孪生技术在施工全过程的应用,通过虚拟仿真与实体工程的实时交互,实现温度控制的超前预判与精准执行。同时,需加

强多学科交叉研究,将新材料科学、物联网技术与传热学理论深度融合,构建适应复杂环境的大体积混凝土温控标准体系,为新时期水利工程高质量发展提供技术保障。

[参考文献]

- [1]罗美焰.公路桥梁工程施工中混凝土施工技术的应用[J].运输经理世界,2024(26):65-67.
[2]王强.道路桥梁工程中混凝土路面施工技术研究[J].交通建设与管理,2024(5):177-179.
[3]王强.道路桥梁工程中混凝土路面施工技术研究[J].交

通建设与管理,2024(6):91-93.

[4]李来东,赵海洋.市政道路桥梁工程施工技术应用及质量控制策略分析[J].运输经理世界,2025(5):107-109.

[5]成千兵.薄壁混凝土裂缝产生原因及防治对策[J].建材发展导向,2023,21(16):63-66.

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,当前就单位名称:新疆小海子水利建筑安装工程有限公司,就单位职务:分公司经理,职称级别:中级。

水利工程中河道堤防护岸施工技术研究

戴诚诚

阜康市水利管理站, 新疆 昌吉 831500

[摘要]随着社会持续向前发展,城市化进程也在不断加快,水利工程建设的规模也随之逐步变大。不过,因为地理环境呈现出复杂的多样性,并且自然灾害发生的频次颇高,所以堤防护岸的稳固性以及耐久性便成了保障水利工程安全的关键难题所在。为了能够应对这样的挑战,在水利工程领域工作的专家们一直在积极开展技术创新方面的相关工作,同时也在进行实践探索活动,而且还十分积极地去推广多种多样的先进的堤防护岸施工技术。这些技术一方面明显提高了工程抵御灾害的能力以及其安全方面的性能表现,另一方面也很好地保护了沿岸的生态环境,有力地推动了水利工程综合效益的实现以及可持续发展进程的推进。

[关键词]水利工程;堤防护岸工程;施工技术

DOI: 10.33142/hst.v8i6.16920

中图分类号: TV861

文献标识码: A

Research on Construction Technology of River Embankment Protection in Water Conservancy Engineering

DAI Chengcheng

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

Abstract: With the continuous development of society, the process of urbanization is also accelerating, and the scale of water conservancy engineering construction is gradually increasing. However, due to the complex and diverse geographical environment, as well as the high frequency of natural disasters, the stability and durability of embankment protection have become key challenges in ensuring the safety of water conservancy projects. In order to cope with such challenges, experts working in the field of water conservancy engineering have been actively carrying out related work in technological innovation, while also conducting practical exploration activities, and actively promoting various advanced embankment and bank protection construction technologies. These technologies have significantly improved the ability of engineering to resist disasters and its safety performance, while also protecting the ecological environment along the coast, effectively promoting the realization of comprehensive benefits of water conservancy projects and the advancement of sustainable development.

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

引言

随着我国经济持续快速发展以及城镇化进程稳步推进,水利工程建设所具有的重要性愈发明显起来,在防洪抗灾以及水资源管理等方面更是发挥着极为关键的作用。河道堤防护岸属于水利工程其中的一个极为重要的部分,其担负着保护河道维持稳定状态、防止出现水土流失情况以及确保沿岸地区安全等诸多重任。新疆地区因为有着独特的地理环境并且气候条件也较为复杂,这便让河道堤防护岸的施工面临着不少的挑战,怎样科学且合理地开展施工技术方面的研究工作,提升护岸工程的质量以及耐久性,已然成为当下水利建设领域迫切需要去解决的一个问题。本文会综合新疆地区的实际状况来进行考量,全面且细致地分析河道堤防护岸施工技术里所存在的关键问题以及各种影响因素,并且深入探讨行之有效的施工办法以及相应的管理举措,希望能够为保障河道的安全以及推动区域水利实现可持续发展给予一定的理论支撑与技术方面的指引。

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

堤防护岸工程在水利工程建设当中占据着极为关键的地位,在防洪以及减灾等方面,它有着十分重要的作用,其中的一个核心功能便是能够切实有效地保护河道以及周边的土地,使其不会受到洪水的侵害。当洪水来临之际,堤防结构可发挥出拦截以及引导洪水的作用,避免洪水从河道中溢出,或者漫灌到农田里,又或者是侵入居民的生活区域,如此一来便能减少财产方面的损失以及人员出现伤亡的情况。尤其像在新疆等一些地形较为复杂、降水分布极不均匀的地区,由暴雨还有融雪所形成的突发性洪水,给当地的生态环境以及社会生产与生活带来了巨大的威胁,而构建科学且合理的堤防护岸体系,便可以稳定河势,规范行洪通道,从而使得区域的防灾抗灾能力得到大幅度的提升,这对于保障沿岸群众的生命安全以及支撑地区经济社会实现可持续发展而言,有着不容忽视的重要意义。

1.2 防止河岸侵蚀和土壤流失

堤防护岸工程能够有效保护周边土地免受洪水侵害。洪水涨水时,水势迅速扩散,常常淹没农田、城市及居民区,造成严重破坏。同时,洪水携带的泥沙和污染物会对土地肥力和环境质量产生长期负面影响。通过建设堤防护岸工程,可以将洪水有效地引导至河道内,防止水流泛滥,保障周边土地的安全^[1]。此外,在堤防护岸设计中合理设置排水系统,能够及时排出积水,进一步减轻洪水对土地的影响,提升防洪效果。

1.3 提供水资源的可持续利用

堤防护岸工程本身具备防洪减灾这样基本的功能,并且在推动水资源达成可持续利用这其发挥着颇为重要的作用。借助对护岸工程展开合理的规划以及建设工作,是能够有效地对河道水流的方向与速度加以控制的,如此一来便能减少水体出现流失的情况,同时还能提升蓄水的能力,进而为农业灌溉、城市供水以及生态环境保护等方面给予稳定可靠的水源保障。就新疆等那些干旱少雨且水资源分布极不均匀的地区而言,堤防护岸工程对于调节水资源在时间与空间上的分布状况是有帮助的,可避免水源在汛期时出现浪费而在枯水期又短缺这样的问题,由此便能够实现对水资源的科学调控以及高效利用。与此保持稳定的河道环境还能够给开展水生态修复以及多功能水体开发等工作创造良好的基础条件,以此进一步推动水资源的可持续管理以及绿色发展进程。

2 新疆地区河道堤防护岸施工面临的主要问题

2.1 地理与气候条件的限制

新疆地区位于我国西北内陆地带,其地理环境颇为复杂,气候条件也极其严酷,这些情况给河道堤防护岸施工造成了明显限制。新疆地域面积广阔,河道呈分布于山地、戈壁以及荒漠等诸多不同地貌区域,地质条件存在很大差异,施工环境同样复杂多变,往往得在高原、高寒或者风沙严重的地方开展作业。新疆气候干燥,降水量少且分布极不均匀,夏季时气温高且炎热,冬季则寒冷且持续时间长,昼夜温差较大,如此极端的气候特点既对施工周期产生影响,又容易致使施工设备以及建筑材料出现损耗。像暴雨、冰凌还有沙尘暴这类自然灾害时常发生,这无疑会对护岸工程的施工进度以及质量控制带来较为严重的不利影响。

2.2 河床结构复杂性

新疆地区河床结构复杂程度颇高,这种情况给堤防护岸工程施工增添了诸多难题。受地质演化以及地形条件作用,新疆境内不少河流呈现出多变的水文地貌特点,其河床断面形状不规则,流路变化多样,底部结构复杂,通常是由卵石、砂砾、粉土等不同类型地质材料混杂组合而成。如此复杂的河床结构致使基础开挖工作、地基处理事宜以及护岸结构稳定性把控都变得更为棘手^[2]。在部分区域,河床底质较为松散,承载力偏低,并且水位波动幅度大,很容易出现局部冲刷、塌陷或者渗透等问题,对工程结构的耐久性与安全性产生了严重的影响。

2.3 材料获取与运输困难

在新疆地区着手开展河道堤防护岸工程施工期间,材料获取以及运输方面存在诸多困难,这无疑成为一项颇为棘手的问题。新疆地区幅员辽阔,不少河道都分布于较为偏僻且交通状况欠佳的区域,施工所需要的诸如石料、水泥、钢材还有防渗材料等一系列建筑材料,通常得从相隔甚远的城市或者工厂调运过来,如此一来便大幅增加了运输的难度,并且使得时间成本也相应地提高了。与此部分工程所处的地方还存在着交通运输基础设施不够稳定的情况,特别是在那些山区、戈壁以及边远地区,其道路的条件颇为恶劣,运输线路又格外漫长,而且时常会受到自然环境的种种影响,像风沙肆虐、降雪频发、山体出现滑坡等等情况,这些因素统统都有可能致使材料供应出现延误,甚至还会让工程的进度受到阻碍。新疆特殊的地理方位还极有可能使得部分原材料在当地的供应能力极为有限,不得不依赖外地进行调配,这一情况更是进一步加剧了运输方面的压力,也让成本负担变得愈发沉重。所以说,材料的获取与运输在整个新疆地区堤防护岸施工当中,始终都是一个对工程效率以及工程质量起着制约作用的重要问题所在。

2.4 技术人员与施工管理问题

在新疆地区河道堤防护岸工程施工期间,技术人员以及施工管理方面问题已然成为制约工程质量与进度的关键因素之一。其一,因区域发展存在不平衡状况,当地部分施工单位出现技术力量较为薄弱、专业人员配置有所欠缺的情况,特别是在边远地区,高素质的水利工程技术人才相对稀缺,难以契合复杂地质条件以及高标准施工的要求。其二,部分项目的施工管理体系不够健全,管理人员专业素养参差不齐,缺少系统的项目管理意识与经验,致使施工组织不合理、现场协调混乱、施工工序安排不科学等一系列问题屡有发生。在质量监督、进度控制以及安全管理等关键环节,部分项目缺乏有效的监控机制与执行力,容易滋生施工质量隐患以及管理漏洞,进而对整个堤防护岸工程的稳定性与耐久性造成影响。

3 提高护岸施工质量的管理措施

3.1 施工前的科学设计与勘察

在护岸施工正式开展之前,做好科学合理的前期设计工作,并且细致周全地进行现场勘察,这无疑属于保障工程质量的关键环节所在。科学设计一方面要紧密贴合河道的实际状况以及流域所呈现出的特点,另一方面还得全面且充分地将当地的地质构造情况、水文方面的特性、气候条件以及周边生态环境的敏感程度等因素都纳入到考量范畴之内,进而制定出既切实可行又极具针对性的施工方案来。而现场勘察恰恰是设计工作得以顺利开展的基础支撑所在,其借助地形测绘、地质钻探以及水文数据采集等一系列手段,能为后续的设计环节提供极为宝贵的第一手资料,可有效地对潜在存在的地质隐患以及不利于施工展开的各类条件予以识别。经过详尽细致的勘察分析之后,

便能够清晰明确河道的冲刷具体范围、堤岸的稳定程度以及所需护岸结构的具体类型等情况,从而为材料的选择、施工工艺的确定以及基础处理等相关方面给予科学合理的依据参考。与此科学设计还应当涵盖针对工程寿命、安全性、经济性以及环保性等诸多方面的综合考量内容,以此从整体层面提升项目自身的可控程度以及施工的持续开展程度,进而确保护岸工程在整个运行周期当中都能够具备不错的防护效能以及较强的适应能力。

3.2 施工过程中的质量控制

在施工进程里,质量控制属于极为重要的一环,其对于保证护岸工程的安全性以及耐久性有着关键作用。这涉及到从对原材料展开检验一直到施工各个阶段的全程监督与管理事宜。一开始,得去建立起科学且完备的质量管理体系,要把施工各个环节的质量标准以及验收规范都给明确下来,以此来保障施工活动能够严格依照设计的要求还有技术规范来执行。在施工现场应当配备专业的质量管理人员,并且施行责任制,务必要让每一个工序环节都有专人负责进行监控,尤其要对基础处理、护岸结构的施工工艺、材料配比以及养护措施等这些关键节点予以重点把控,防止在施工过程中出现偷工减料或者工艺达不到标准的情况。与此还应当运用现代化的检测技术,像是无损检测、在线监测以及数字化管理平台等,以便实时掌握施工质量的动态情况,及时察觉并纠正施工偏差,避免质量隐患不断积累起来^[3]。施工人员的技术水平以及责任意识会直接对施工质量产生影响,所以必须要强化对施工人员的技能培训以及质量意识方面的教育工作,推动他们严格按照操作规程来进行施工,提升他们自身的检测能力以及相互之间的检查能力。

3.3 材料选择与检测机制

材料选取以及检测机制乃是提升护岸施工质量的关键环节,这直接同工程的稳定性以及耐久性相关联。一开始,在材料选取方面务必要依照设计规范以及工程实际需要来严格把控,应当优先挑选那些性能优异且符合国家标准还有行业标准的建筑材料,像石料、水泥、砂浆、防渗膜等等这类材料。与此得充分考量材料对于环境的适应情况,特别是在新疆那种复杂且多变的气候状况之下,材料必须要拥有不错的抗冻能力、耐磨特性以及抗腐蚀性能,以此保证护岸结构在长时间的使用进程当中不会轻易受到环境因素的影响进而出现劣化的状况。构建起科学且严谨的材料检测机制是确保材料质量极为重要的举措。施工单位需要设立专门负责检测工作的部门或者去委托第三方具有权威性的检测机构,针对所有进入到施工现场的材料展开系统的取样以及检测操作,这里面涵盖了物理性能、化学成分、耐久性等多个方面的全方位测试。在检测实施的过程中一定要严格按照相关的标准以及程序来执行,从而保证检测所得到的结果具备准确性以及可靠性。除此之外,还应当建立起材料进场时的验收制度,把批次管理与之结合起来,施行全程的追溯流程,确保每一批材料都

能够经过严格的检验之后才能够正式投入实际的使用当中。检测所获取的数据应当归入到工程质量档案当中,作为后续开展质量评估以及维护工作的重要参考依据。

3.4 安全与环保管理

安全与环保管理在护岸施工质量控制当中属于极为重要的部分,它和工程能否顺利开展以及生态环境是否能实现可持续发展有着直接关联,在施工进程里,务必要严格遵循安全方面的各项规范,制定出科学且合理的安全管理制度,以此来保障施工现场人员的生命安全,并且要保证施工机械设备能够正常运转。施工单位需要强化针对安全方面的培训工作,提升所有人员的安全意识以及应对突发状况的能力,要构建起完善的事故预防以及应急响应相关机制,要及时对各类安全隐患展开排查并且予以消除,避免出现安全事故^[4]。与此施工活动得重视对周边生态环境的保护事宜,要合理地去规划施工区域,尽力降低其对河道水质、土壤还有生物多样性所产生的影响,应当采用环保类型的施工技术以及材料,对扬尘、噪音以及废弃物排放加以控制,要严格落实废水以及废弃物的处理举措,防止污染物直接进入到河流或者土地当中,环境保护措施得以切实落实,既能维护生态平衡,又能提升工程在社会层面的认可程度以及可持续发展的水平。

4 结语

河道堤防护岸属于水利工程的关键部分,其施工技术是否科学且规范,会直接影响到工程的安全状况以及使用寿命长短。就新疆地区而言,该地区有着特殊的地理情况与气候条件,在这样的背景下,合理地去选择施工技术,同时强化施工管理以及质量控制,这显得格外重要。通过持续对设计方案予以完善,对施工工艺加以优化,并且强化现场管理举措,如此一来,既能切实提升护岸工程的质量以及耐久性能,又能尽可能地降低其对生态环境所造成的影响,进而保障所在区域水资源能够实现可持续的利用。在未来的发展进程中,伴随技术的不断向前推进以及经验的不断积累沉淀,河道堤防护岸施工技术必然会变得更为成熟,从而给新疆地区乃至更为广泛的地区开展水利建设工作给予稳固有力的保障。

【参考文献】

- [1]梁小飞.水利工程中河道堤防护岸施工技术研究[J].水上安全,2025(6):79-81.
- [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]黄顺康.探析水利工程中的河道堤防护岸工程施工技术[J].城市建设理论研究(电子版),2024(31):199-201.
- [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: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。

数字技术在水利施工管理中的应用分析

张志坚

长江河湖建设有限公司, 湖北 武汉 430074

[摘要]信息技术发展迅速,数字技术在水利工程施工管理里广泛运用。分析数字技术具体应用,涉及项目信息管理、工程测绘监测、施工进度质量控制、安全管理、协同管理智能决策等,全面梳理其在实际施工的关键作用。探讨当下数字技术应用主要问题,如管理层认知欠缺、技术体系不完善、数据标准不统一等。给出强化政策支持、健全制度体系、加大技术研发投入、完善人才建设等建议,助力数字技术与水利施工管理融合,推动水利工程现代化管理,提供理论参考和实践指导。

[关键词]数字技术;水利施工;管理

DOI: 10.33142/hst.v8i6.16916

中图分类号: TV512

文献标识码: A

Application Analysis of Digital Technology in Water Conservancy Construction Management

ZHANG Zhijian

Changjiang River and Lake Construction Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 430074, China

Abstract: With the rapid development of information technology, digital technology is widely used in the construction management of water conservancy projects. Analyze the specific applications of digital technology, involving project information management, engineering surveying and mapping monitoring, construction progress quality control, safety management, collaborative management, intelligent decision-making, etc., comprehensively summarize its key role in actual construction. Explore the main issues in the current application of digital technology, such as lack of management awareness, incomplete technical systems, and inconsistent data standards. Provide suggestions to strengthen policy support, improve institutional systems, increase investment in technological research and development, and enhance talent development, to help integrate digital technology with water conservancy construction management, promote modern management of water conservancy projects, and provide theoretical references and practical guidance.

Keywords: digital technology; water conservancy construction; management

引言

水利工程在我国基础设施当中属于重要部分,和国计民生以及生态安全都有着紧密联系,其施工管理的质量会直接对工程的安全性以及经济性产生影响。随着数字化进程不断加快,传统施工管理模式已经很难满足现代工程对于高效率以及高精度的要求了。把数字技术引进之后,推动水利施工管理从依靠经验驱动转变为依靠数据驱动,从依靠人工控制转变为依靠智能调度,在信息采集、数据分析、施工组织、进度管控还有安全监测等诸多方面,都让管理的科学化以及智能化水平有了明显提升。依据工程实践情况,全面且细致地分析数字技术在水利施工管理当中的应用实际状况、存在的问题以及相应的解决对策,目的是给行业的数字化转型给予一定的参考。

1 数字技术在水利施工管理中的应用价值

实际生产生活中,数字技术在水利工程施工管理过程中的切实有效应用,是现代科学技术不断发展下的结果,在满足水利工程施工管理发展需要的同时,推动了水利工程行业的长远化发展,极具现实性价值。水利工程建设工作开展实施期间,为控制水利工程施工作业质量、作业安全及作业进度等工程施工要素,注重并积极开展水利工程施工管理工作,显得极为重要。在我国兴建水利工程的情

形下,水利工程施工管理活动的开展实施,逐渐成为水利工程施工建设内容的重要组成,对项目工程施工建设任务的实现有较为重要的影响。基于数字技术的应用,作业人员能够较为方便快捷地、高效率地开展相应的水利工程施工管理工作。传统水利工程施工管理模式,需配置专业人员开展检查及管控举措,在数字技术应用的情形下,管理人员得以实现远距离管控水利工程建设现状的施工管理方式,在提高整个水利工程施工管理工作现代化水平的同时,有助于节约水利工程施工管理人力及物力,节约项目工程施工管理成本的同时,切实保障项目工程施工经济效益。

2 数字技术在水利施工管理中的应用分析

2.1 数字技术在项目信息管理中的应用

在水利工程施工期间,项目信息管理是贯穿始终的,从计划制定开始,到过程执行、变更控制以及成果交付等诸多阶段都涵盖其中。数字技术的应用对于提升管理的系统性和协同性起到了有效作用。凭借建筑信息模型(BIM)、项目管理软件、云平台等相关技术,施工各方参与者能够达成项目信息的集中化呈现、可视化展示以及实时共享目的,这使得数据流通的效率以及透明度都得到了大幅提升。在施工初始阶段,数字平台可助力整合设计图纸、工程量

清单、进度计划等多种来源的信息,进而构建起项目数据中心。在施工实施进程中,借助物联网设备可实时采集施工现场的数据,并且与项目数据库保持同步更新状态,如此便能为管理者给予数据方面的有力支撑以及动态决策的相关依据。借助统一的信息管理平台,既能提高工程进展以及资源配置的可控程度,又能有效地减少人为出现的疏漏情况以及信息孤岛这类现象。

2.2 数字技术在工程测绘与监测中的应用

工程测绘以及监测在水利施工当中属于基础性的工作范畴,其精度和效率跟工程安全以及施工质量有着直接的关联。传统的测绘手段大多依靠人工来操作,如此一来,其效率就会比较低,并且出现的误差也会相对较大一些。不过随着数字测绘技术的广泛运用,像是无人机航测、激光扫描、三维建模还有遥感影像等等这些技术,测绘工作的精度以及效率都得到了大幅度的提升。借助于高精度 GPS 以及地理信息系统(GIS)的搭载,工程师能够针对施工区域快速地开展建模以及空间分析相关工作,进而实时且准确地掌握地形地貌所发生的各种变化情况,从而给施工方案的优化给予较为可靠的数

2.3 数字技术在施工进度与质量控制中的应用

施工进度以及质量这两方面的内容,在水利工程管理当中属于极为关键的核心内容。而数字技术加以应用之后,对于其管控的科学性以及可操作性都起到了颇为显著的提升作用。借助施工管理系统以及 BIM 5D 模型,能够把时间同工程模型有效地结合起来,进而达成施工过程可视化进度模拟的效果。如此一来,各工序彼此之间的逻辑关系也就变得更加清晰明确了,施工计划的合理性以及执行过程的可控性也随之得到了大幅度的提升。与此现场从事施工工作的人员还能够凭借移动终端设备来开展进度录入以及问题上报等相关工作,从而让管理层可以实时且全面地掌握工程推进的具体情况,并且依据实际情况作出相应的调整。就质量控制而言,依托数字化质量检测平台,便能够实现从材料进场开始一直到工序验收完成,直至最终交付为止的整个全过程的质量数据管理。通过运用自动识别功能、拍照上传方式以及数据库比对手段,问题溯源的能力得以进一步增强,如此也就有力地确保了水利工程质量控制具备全面性以及闭环性的特点,从而为进一步稳固工程安全运行所打下的基础起到了推动作用。

2.4 数字技术在施工安全与环境管理中的应用

安全与环境相关的问题在水利工程施工过程中始终属于高风险环节所在,不过随着数字技术的引入,其对于风险识别以及响应能力有了有效的强化作用。就安全管理来讲,借助智能穿戴设备、现场监控系统还有移动安全巡检平台这几项,能够达成对施工现场作业人员进行定位跟踪、行为识别以及安全隐患预警的目的。要是出现危险行为或者环境异常的情况,系统会自动发出警报,并且把相

关信息同步传送到管理后台,如此一来,能提升响应的速度以及处理的效率。在环境管理这块,数字传感器能够实时对水体污染、噪声粉尘排放等关键指标予以监控,再结合 GIS 系统来实现对施工区生态影响展开空间方面的评估,以此来指导施工活动朝着绿色的方向去调整。除此之外,通过构建施工期环境数据库,可以让环境管理具备数字化的特点,达到可量化的程度并且具有可追踪的特性,进而为水利工程实现可持续建设以及开展生态保护工作奠定较为坚实的根基。

2.5 数字技术在协同管理与智能决策中的应用

水利工程的施工进度涉及到设计单位、施工单位、监理单位以及业主单位等诸多方面的协作配合,而这些多方协同的效率高低,会在很大程度上直接决定施工组织所能取得的成效如何。数字技术给多方协同搭建起了一个统一的技术平台,借助像 BIM 加 GIS 这样的技术手段,还有云协作平台以及协同管理系统等各类工具,能够达成施工数据、施工进度、施工图纸、出现的问题以及相关决策等方面的同步共享,并且可以实现联动更新。各个参与方都能够这样一个统一的平台上开展任务分配工作,完成信息提交事宜,进行流程审批操作,如此一来便有效地将沟通成本降了下来,同时也减少了时间上的延迟情况。在智能决策这个层面上,数字技术依靠大数据分析以及人工智能算法,针对历史项目的相关数据展开建模与挖掘工作,进而为当前正在推进的项目给予风险预测方面的支持,还能助力方案的优化,同时在资源调度方面也能起到决策辅助的作用。

3 数字技术应用中存在的主要问题

3.1 管理层认知不足

当前部分水利施工企业管理层对数字技术理解不够且重视不足,致项目数字化进程慢、效果差。一些传统管理者还停留在经验主义和人治思维里,缺少对数据驱动管理方式的认可与信赖。并且因为数字技术初期投入成本高,部分企业对其投入回报存疑,这限制了相关技术的推广使用。管理层对技术与管理融合路径认知不全,难制定清晰发展战略,使得技术应用碎片化、项目协同困难,严重影响了数字技术效能的发挥。

3.2 技术体系不完善

虽然部分水利企业尝试着引入数字技术工具,然而其整体的技术体系并不完善,存在着诸如平台功能较为单一、系统之间的兼容性欠佳以及数据共享存在困难等诸多问题。多数的应用仅仅停留在单点功能的实现层面,缺少统一的架构设计以及系统的集成能力,所以很难构建起完整的信息化管理闭环。数字技术的标准化程度不够,使得不同项目以及不同单位之间难以达成有效的协同。而且,部分数字工具在实际使用进程中,还存在着用户体验较差、系统稳定性不高以及数据更新不够及时等技术方面的缺

陷,这些情况影响到了现场施工人员的使用积极性以及操作效率,进而让技术推广的实际价值受到了一定程度的削减。

3.3 数据标准不统一

在水利施工管理环节当中,所涉及的数据类型呈现出多样性的特点,像地形地貌方面的数据、水文水质相关的数据、施工进度方面的数据以及质量检测方面的数据等等均包含其中。然而因为各个单位在技术水平方面存在着差异,并且数据来源也比较分散,所以到目前为止还没有形成统一的数据编码标准、格式标准以及共享机制,这就使得数据整合工作面临诸多困难,同时信息出现严重的冗余情况。缺少统一的标准,一方面对数据的时效性以及可用性形成了限制,另一方面还对多个系统、多个平台之间的数据互通造成了阻碍。特别是在大规模的水利工程当中,数据管理出现的混乱状况很容易引发信息丢失、错误的决策以及重复的劳动等一系列问题,进而使得数字化管理的效率以及准确性都大打折扣,迫切需要在整个行业层面去构建起统一且高效的数据标准体系。

4 促进数字技术在水利施工管理中应用的对策建议

4.1 强化政策支持与战略规划

政府及其行业主管部门需强化针对水利数字化建设方面的政策引导以及资金方面的支持力度,制定专项扶持政策,并且设立数字水利试点工程,以此来鼓励企业去积极探索创新的应用模式。与此水利施工企业应当从战略层面给予数字化转型高度的关注,制定清晰明确的发展路线图以及阶段性的目标,把数字技术融入到企业核心发展战略当中^[1]。借助系统规划以及顶层设计的方式,构建起能够贯穿设计、施工以及运营整个过程的数字管理体系,以此提升企业的信息化管理能力,进一步增强行业数字生态建设所具备的内生动力。

4.2 健全制度建设与标准体系

要想推进数字技术于水利施工管理当中的实际应用,那么相应的制度保障以及标准规范是必不可少的^[2]。应当去制定一套标准体系,这套体系要把数据管理、系统接口、信息安全以及使用规范等诸多方面都涵盖进去,以此来提高数据处理所具有的统一性以及兼容性。要着力构建起数字化管理的责任制,将各级部门在系统开发环节、数据输入环节还有平台维护环节等方面所应承担的职责以及相应的工作流程都予以明确,进而形成一个权责关系清晰且运行起来颇为高效的管理机制。与此还要进一步强化针对数字平台使用情况的过程监管工作以及效果评估工作,从而保证数字技术能够在施工管理领域真正落地实施并且可以持续不断地得到改进。

4.3 加强技术研发与平台建设

当前数字技术应用存在一些不足之处,要加大投入研

发核心技术,鼓励高校、科研机构和企业合作攻克应用技术难题,让智能建造、无人监测、数据挖掘等关键技术在水利领域适用并实施。要优化数字管理平台架构,拓展其功能,实现多个系统间无缝连接和数据交流,提高平台运行智能化程度以及用户使用体验。推动数字技术和其他前沿技术如人工智能、物联网、边缘计算等融合运用,持续拓展水利施工管理的数字范围。

4.4 完善人才培养与团队建设

数字技术的推广进程,高素质的人才队伍起到了关键的支撑作用。要着力构建多渠道且多层次的人才培养机制,以此来提升从事相关工作的人员在数字素养以及技术能力方面的水平^[3]。企业方面可以专门设立数字化管理方面的专项培训项目,借此提高一线管理人员对于系统操作以及数据分析的熟练程度。高校则需要增设和水利信息化有关的课程以及相应的专业方向,从而培养出复合型的技术人才。通过引进专业的技术人才并且建立起跨部门协作的团队,促使施工管理模式从传统的管理方式逐步转向数字协同管理的方式,进而增强企业在数字时代所具备的核心竞争力。

5 结语

数字技术乃是推动水利工程施工管理迈向现代化的重要驱动力量,它在项目管理、工程测绘、进度控制以及安全监测等诸多环节均已呈现出颇为显著的成效。它既提高了管理方面的效率,也促使工程质量得以提升,并且还还为水利行业朝着智能化、信息化方向的发展筑牢了稳固的基础。不过,在推广应用的进程当中,依旧面临着管理意识存在滞后情况、技术体系不够完善以及数据标准有所缺失等一系列的挑战。在未来,需要从政策给予支持、制度加以建设、技术展开研发以及人才进行培养等多个方面整体发力,以此来推动数字技术在水利施工管理领域当中的深度融合以及持续不断地优化。借助构建起高效协同且能够做出智能决策的数字化管理体系,实实在在地提高我国水利工程在建设管理方面的水平,达成水利事业的高质量发展状态。

【参考文献】

- [1]陆宇杰.现代数字技术在水利工程施工管理中的应用探讨[J].工程建设与设计,2021(24):216-218.
- [2]林军伟.数字技术在水利施工管理中的应用分析[J].内蒙古水利,2024(4):90-91.
- [3]魏曼.水利施工管理中现代数字技术的运用[J].中国设备工程,2023(22):259-261.

作者简介:张志坚(1987.8—),男,毕业院校:河海大学,学历:本科,所学专业:港口航道与海岸工程,当前就职单位:长江河湖建设有限公司,职务:项目副经理,职称级别:中级。

水利施工中帷幕灌浆技术的运用

谢乐文

江西省水投建设集团有限公司, 江西 南昌 330000

[摘要]帷幕灌浆技术是提高坝基抗渗性能的重要施工方法,在水利建设领域广泛应用,本研究主要探讨帷幕灌浆技术在水利工程施工中的运用及关键技术要点,由于水利工程坝基处理对抗渗和稳定性要求特殊,先分析这点再简述帷幕灌浆技术基本原理和实施步骤,结合典型水利施工案例阐明帷幕灌浆施工流程,涵盖钻孔布置、灌浆材料选择、压力控制和监测技术运用等关键环节,合理使用帷幕灌浆技术能显著增强坝基整体密实度和抗渗效果、降低坝体渗漏风险、保障水利工程长期运行稳定性,总结帷幕灌浆技术在实际应用中的优势与挑战并提出进一步优化施工技术、提升监测水平的建议,研究结果为水利施工中帷幕灌浆技术科学性和实施效率的提高提供理论依据和实践参考,对提升水利工程质量很重要。

[关键词]帷幕灌浆技术;水利施工;坝基处理;抗渗性能;施工流程

DOI: 10.33142/hst.v8i6.16914

中图分类号: TV543

文献标识码: A

Application of Curtain Grouting Technology in Water Conservancy Construction

XIE Lewen

Jiangxi Water Investment Construction Group Co., Ltd., Nanchang, Jiangxi, 330000, China

Abstract: Curtain grouting technology is an important construction method to improve the anti-seepage performance of dam foundations and is widely used in the field of water conservancy construction. This study mainly explores the application and key technical points of curtain grouting technology in water conservancy engineering construction. Due to the special requirements for anti-seepage and stability of dam foundation treatment in water conservancy engineering, this article first analyzes this point and then briefly describes the basic principles and implementation steps of curtain grouting technology. Combining typical water conservancy construction cases, the construction process of curtain grouting is explained, covering key links such as drilling layout, grouting material selection, pressure control, and monitoring technology application. Reasonable use of curtain grouting technology can significantly enhance the overall compactness and anti-seepage effect of dam foundation, reduce the risk of dam leakage, and ensure the long-term operation stability of water conservancy engineering. Summarize the advantages and challenges of curtain grouting technology in practical applications and propose suggestions for further optimizing construction technology and improving monitoring level. The research results provide theoretical basis and practical reference for improving the scientificity and implementation efficiency of curtain grouting technology in water conservancy construction, which is important for improving the quality of water conservancy engineering.

Keywords: curtain grouting technology; water conservancy construction; dam foundation treatment; impermeability performance; construction process

引言

水利工程中坝基的抗渗稳定性极为关键,工程质量安全会受渗漏问题干扰,而防渗加固的关键方法是帷幕灌浆技术,它能构建贯通的防渗墙体结构以减少地下水渗透并增强坝基紧实度,提升工程的稳定性与可靠性,中国多项水利工程都运用了帷幕灌浆技术且积累了大量实践经验,但施工效果受地质条件、灌浆材料的选择、施工工艺以及监测技术等因素影响技术需要改进,研究帷幕灌浆技术原理、施工流程以及代表性案例,阐明技术的优缺点并提出具体的改进措施,期望提高施工效果监测的精确度,为水利工程提供经验总结知识建议,从而给中国水利建设的高质量发展提供理论支撑与可靠的实践经验。

1 帷幕灌浆技术的概述

1.1 帷幕灌浆技术的基本原理

帷幕灌浆方法这种施工方法是在地下构建水泥浆液

墙体以增强土壤或岩石的防渗和封闭能力,其核心原理为用钻孔机在坝基或地下建筑里钻出灌浆孔洞,接着把配好的材料注入特定位置,材料于土体中扩散、填充、硬化从而形成帷幕结构有效隔绝水流通,这项技术能精准掌握灌浆压力和流量并依照地质条件调整灌浆配方让灌浆帷幕更均匀完整。

1.2 水利工程对抗渗性能的特殊要求

在水利工程建设中,保障坝基的防渗水能力尤为重要,这是大坝结构安全与长久稳固的核心要素,水利工程不同于一般项目,得应对高水压、大流量的复杂环境,所制定的标准很严苛,并且坝基防渗水功能若不达标,水流会从坝基内部渗出,致使坝体内部结构严重受损,甚至危及工程安全运行,而且坝基稳固性与防渗水能力不足,会影响工程使用,引发环境污染与安全隐患等问题,水利工程建设时,得采用各种增强基础与结构紧密性的方法来提升防

渗水能力,其中帷幕灌浆技术在坝基和侧墙布多个灌浆孔,注入合适浆液材料构建连贯紧密的防护层,阻断水流通道,从而增强坝基防渗水效果,确保工程安全,该技术不仅能满足水利工程基础处理的高标准要求,还能保证工程持久稳固运行,为整体工程提供坚实保障。

1.3 帷幕灌浆技术的发展与应用现状

水利工程施工技术的提升和完备体现在帷幕灌浆技术的发展与应用上,最初防渗处理方式仅有基础的一种,后来发展成具备多种功能的综合解决办法,并且先进设备与优质材料相结合,让大坝基础更牢固,使用年限得以延长,在水利工程领域,这项技术用于大坝和水库的建造、修补,在防护堤坝、地下水位管理等各类工程项目里也发挥重要作用,而引入数值模拟和智能监测手段后,其应用正朝着智能化、系统化迈进,以期实现更高效率、更精准的施工效果。

2 帷幕灌浆技术的施工流程

2.1 钻孔布置与施工准备

在水利工程建设里,帷幕灌浆技术的工程质量和效率方面,钻孔安排与施工准备工作起着非常关键的作用,钻孔安排需依据地质状况、工程设计和施工要求具体规划以确保灌浆效果好,施工准备时要选好钻孔设备、培训施工人员并落实安全措施,钻孔设备要有高精度和高稳定性才能有效应对复杂地质条件且操作人员得了解技术操作流程和安全注意事项以保障施工安全,建设筹备中编制材料与设备清单、规划输送很关键能为后期灌浆作业打下坚实基础,钻孔布置和建设筹备工作做好了帷幕灌浆技术就能顺利施行且坝基防渗性能和工程运行稳定性就能增强。

2.2 灌浆材料的选择与性能分析

灌浆材料的挑选十分关键,帷幕灌浆技术的效果好坏受其明显影响,材料有水泥浆、化学浆料和掺合料这些种类。水泥浆是常见的基础选择,其粘结性很强且硬化后密实度佳,能有效填充空隙。化学浆料要有快速硬化性能以保证特殊情况下可用,加入适量掺合料可调节浆料流变性能并提升浆料稳定性。性能分析时要关注材料与坝基岩层的相容性以保证灌浆后结构稳定。

2.3 压力控制与监测技术应用

在帷幕灌浆工程里,控制压力和监测设备极为重要,工程质量的优劣以及运行是否稳固取决于此,施工时,灌浆材料的渗透和扩散情况会因压力控制立刻改变得用精密仪器随时检测,高性能的压力控制能使灌浆材料均匀分布,避免因压力过高破坏地基或压力过低导致灌浆不充分,而且高端监测设备可快速作出反应来调整压力,其适用于复杂多变的地质条件。

3 帷幕灌浆技术的工程功能和效果

3.1 提高坝基整体密实度与抗渗性能

帷幕灌浆技术对提升坝基整体紧实度与抗渗性能的效果十分显著,向坝基注入高黏度、高强度的灌浆材料可

使坝体内部孔隙裂隙得以填充,构造出紧实的帷幕屏障,从而有效防止水分渗漏并提升坝基抗渗能力,施工时合理选择灌浆材料、恰当布置钻孔相当重要,改进钻孔位置与灌浆参数能保证浆液在坝基内扩散,使浆体充分填充裂隙以加强整体紧实度,施工中运用先进的压力调控监测技术可精准调控灌浆过程中浆液的流动与固结情况,进而进一步巩固坝基的稳定性与抗渗性能,帷幕灌浆技术既能提升坝基整体结构强度,又能显著降低渗漏风险、延长水利工程使用寿命,这为帷幕灌浆技术有效施行、保障水利工程安全运行奠定了坚实基础。

3.2 降低水利工程渗漏风险的作用

水利工程上采用对防水起着关键作用的帷幕灌浆技术,在坝基内部筑起严密的灌浆帷幕墙可阻断水流渗漏路径从而减少水渗漏带来的各种危险,灌浆材料固化后成为紧密连续的防水层使水流难以通过进而提升大坝整体防渗能力,钻孔规划科学、灌浆压力调整合理能保证建造时材料均匀分布以改善灌浆整体效果并强化坝体内部结构的统一性和稳固性,帷幕灌浆还可改善地基土壤孔隙结构与物理性质来提高整体支撑能力进而降低水渗漏造成的多种风险以维持水利工程长期稳定状态,广泛运用这一技术能为水利工程长期安全运行提供有力保障从而降低水渗漏引发次生灾害的可能性以展现其重要的现实价值和实用意义确保工程安全。

3.3 对工程稳定性与运行寿命的影响

帷幕灌浆技术应用于水利工程施工能让大坝基础稳固、防水效果显著增强,对工程稳定性和使用寿命的提升助力很大且极为关键;建造高效防渗墙可使大坝基础更具韧性,成功抵御水流压力与外部干扰并减少内部受力失衡问题,让大坝整体结构牢固可靠且安全性更佳;采用灌浆帷幕技术可有效防止地下水侵蚀破坏大坝基础、避免地面不均匀下沉以确保工程结构完好且长久使用且效果很好;大坝整体稳定性关乎使用安全性与使用寿命,能减少维修次数与费用、提高工程运行整体效率并节省大量成本;凭借这些功能,帷幕灌浆技术在延长水利工程使用年限方面优势显著,充分体现其应用价值且重要性不言而喻。

4 技术应用中的挑战与优化方向

4.1 施工过程中的主要技术难点

帷幕灌浆技术使用时施工中遇到不少技术难题,钻孔规划很关键,钻孔位置安排得明确且科学与否直接关系到灌浆效果能否平衡、坝基是否牢固,并且地质情况复杂多变,施工人员要有很强的地质分析能力以保证钻孔顺利穿过特定土层或岩石层,而且灌浆材料品质决定防水效果,材料种类多且对环境适应能力要求高,压力调节技术是施工一大挑战,它决定灌浆材料散布是否均匀、填充是否密实,要调整好相关参数以防止材料浪费或填充不足,监测技术会因数据传输稳定性问题遇困难,施工时要确保数据采集和分析系统精度极高、反应快速以便修正优化施工方

法和策略,由于技术难题会干扰施工效率,还会使工程整体质量和长期使用效果面临潜在风险,必须高度重视,全力解决问题,减少损失。

4.2 材料性能与施工工艺的改进策略

在水利工程建设里,优化材料性能和施工工艺的策略相当重要,改进帷幕灌浆技术的关键任务之一便是提升灌浆材料质量,得开发新型高性能、环保的灌浆材料,强化其防水能力、稳定性和耐久性,且灌浆材料要适用于各类不同的水文地质环境,适用范围和反应速度得提高,优化施工工艺时得好好想想怎样精简流程、实现机械化操作,提高施工设备的精准度和工作效率,尽量减少施工中的潜在失误,先进施工技术的运用能精确调节灌浆压力和流量,让工程质量达到预期目标,施工人员的技能培训和技术指导对确保工艺执行达标极为关键,得通过长期的系统学习和实践来提升技术人员的专业水平,以应对施工中的复杂问题和多样挑战,全面提升材料性能和优化施工工艺,能促使帷幕灌浆技术在更多领域和更高层次得到更好的应用。

4.3 提升灌浆监测与质量控制水平

帷幕灌浆技术要顺利高效地施行,灌浆监测和质量控制是关键步骤,科学的监测方法能通过压力传感器和流量监测设备随时监测灌浆材料的流动和分布状况以快速发现施工中的异常问题并在评估数据后快速精准修正,质量控制要在浆料配比、压力参数稳定性等方面运用先进的自动化和智能监测系统提高数据获取精度以及及时反馈施工中的信息。

5 帷幕灌浆技术的未来发展趋势

5.1 智能化灌浆技术的潜在发展

尖端传感器、数码分析以及自主控制系统被智能化灌浆技术采用,使常规灌浆施工过程得以数码化、智能化,这些技术一应用就能即时检测、精确调控灌浆参数,提高施工质量与效率。智能灌浆系统可通过传感器采集坝基地质信息与灌浆状态数据,并利用数据分析改进灌浆材料配比和压力调控,让灌浆质量稳定一致,整合自主控制技术后,能根据即时检测数据实时调节灌浆过程,减少人工操作误差,提高施工的可靠性。未来,智能灌浆技术的发展会着重建立整体的灌浆信息管理平台,实现全过程数据存储与趋势分析以辅助决策,该技术能有效提升灌浆速度,确保工程建设质量,削减施工费用,实用价值广阔,有力支持水利工程施工技术进步。

5.2 综合性解决方案在水利工程中的应用前景

水利工程领域综合性解决方法发展空间广阔,由于这种工程的技术难题越发复杂,仅帷幕灌浆技术已难以满足实际需求,帷幕灌浆技术得与其他先进手段相结合形成完善技术方案才能更好解决水利工程的各种问题,灌浆技术与智能监测系统相结合就能快速收集工程数据并详细分析从而优化施工各环节,再结合绿色施工技术可降低施工

对周边环境的损害并提升资源使用效率,这样帷幕灌浆施工技术水平和作业速度会明显提高且水利工程整体效果和长久稳定运行能力也得以增强,多技术结合思路会是未来水利工程建设的核心方向并给工程质量提升和稳定运行提供可靠技术保障,不断摸索实践水利工程技术手段会更先进且应对复杂问题能力也会持续增强。

5.3 推动绿色施工技术的方向与实践

帷幕灌浆中应用绿色施工技术,得注重材料的环境友好性与施工过程的低碳化,可降解或再生材料的使用既能减轻环境负担又能在保证工程质量的实现资源节约,施工时要尽量减少能源消耗和废料产生,通过引入先进施工设备与技术改进施工流程以提高资源利用率、减少污染排放,绿色施工优化生态环境且增强工程可持续发展性,是水利工程未来技术发展的重要方向,在水利施工中推广绿色施工技术实践对提升环境效益意义重大。

6 结束语

帷幕灌浆技术在水利工程中的实际使用状况被研究清楚并重点分析了这项技术助力提升坝基防渗水能力以达到更理想效果的方式,研究探讨了技术的工作原理、施工详细步骤并得出灌浆技术能有效增强工程项目稳固性确保运行安全且在处理渗漏风险问题上价值巨大的结论,深入分析了钻孔布置方式、灌浆材料选择标准、压力调整方法、监测技术使用策略等关键环节具体操作步骤并发现灌浆均匀度不易控制、施工效率不高阻碍了技术广泛应用的情况,建议改进灌浆材料性能、研发智能化监测设备、提升压力控制阀工艺水平、建立统一技术标准规范施工流程管理,还需探寻灌浆材料革新方向、推进智能化系统设计研发、探索与其他技术的结合方式以促进技术全面高效发展最终提升水利工程整体品质与安全保障能力。

【参考文献】

- [1]司利斌,郭雷.帷幕灌浆施工技术在水利工程大坝基础防渗加固处理中的应用研究[J].价值工程,2025,44(11):128-130.
- [2]庞婧婧.水利水电工程施工中帷幕灌浆施工技术的探讨[J].中国住宅设施,2025(03):146-148.
- [3]周立忠,李绍平,杨永存.水利工程复杂地质条件下防渗帷幕灌浆施工技术[J].云南水力发电,2025,41(03):128-132.
- [4]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(03):111-113.
- [5]张利,王玉华,曹捷.帷幕灌浆施工技术在水利工程中的应用探究[J].农业开发与装备,2024(08):127-129.
- [6]邓宁.水利水电工程施工中帷幕灌浆施工技术应用研究[J].水上安全,2024(10):157-159.

作者简介:谢乐文(1997.3—),男,南昌工程学院,农业水利工程,江西省水投建设集团有限公司,施工员,助理工程师。

山区河道治理中岸坡防护结构设计及稳定性分析研究

周启玉 彭祖钰 黄光源 覃晓艳 林雅兰
宜昌清江水利水电设计有限公司, 湖北 宜昌 443500

[摘要]受独特地形地貌与多变水文状况影响,山区河道岸坡稳定性问题突出,防护结构设计成为保障河道安全的关键,研究对重力式挡土墙、石笼网、植被防护等防护结构类型展开全面剖析,详细阐述各自特性与适用条件,同时着重探究水文、地质等因素对岸坡稳定性的作用机制,采用极限平衡分析、数值模拟等技术手段,系统评估岸坡稳定性,并针对性提出结构优化措施及新材料应用方案,为山区河道岸坡防护工程建设提供可靠理论支撑与实践指导。

[关键词]山区河道;岸坡防护;结构设计;稳定性分析;优化策略

DOI: 10.33142/hst.v8i6.16896

中图分类号: TV139.2

文献标识码: A

Research on the Design and Stability Analysis of Bank Slope Protection Structures in Mountainous River Management

ZHOU Qiyu, PENG Zuyu, HUANG Guangyuan, QIN Xiaoyan, LIN Yalan
Yichang Qingjiang Water Conservancy and Hydropower Design Co., Ltd., Yichang, Hubei, 443500, China

Abstract: Due to the unique terrain and varied hydrological conditions, the stability of mountain river bank slopes is prominent, and the design of protective structures has become the key to ensuring river safety. This study comprehensively analyzes the types of protective structures such as gravity retaining walls, gabion nets, and vegetation protection, elaborating on their respective characteristics and applicable conditions. At the same time, it focuses on exploring the mechanism of hydrological and geological factors affecting bank slope stability. By using techniques such as limit equilibrium analysis and numerical simulation, the stability of bank slopes is systematically evaluated, and targeted structural optimization measures and new material application schemes are proposed to provide reliable theoretical support and practical guidance for the construction of mountain river bank slope protection projects.

Keywords: mountain rivers; bank slope protection; structural design; stability analysis; optimization strategy

引言

山区河道地势崎岖且形态多变,水流态势复杂难测,致使岸坡持续承受强烈侵蚀冲刷,经年累月之下,滑坡、坍塌等地质灾害隐患不断累积,对区域生态环境及民众生命财产安全形成巨大威胁,伴随生态保护意识日益增强,合理规划岸坡防护结构并确保其稳固性,已成为河道综合治理的核心要务,现阶段针对防护结构优化与稳定性精确研判的研究尚存短板,亟待展开更为深入的探索,以此推动山区河道岸坡防护技术体系的健全与完善。

1 防护结构类型

表1整合工程实践成果与理论研究结论,对重力式挡土墙、石笼网、植被防护三种常用防护结构展开对比剖析,

借此直观展现各结构特性(见表1)。

1.1 重力式挡土墙结构

重力式挡土墙作为经典传统防护结构,凭借自身重力抵御土体侧压力,构成抗滑主力,此结构构造简约,施工便利,多以浆砌石或混凝土为建材,于山区河道,若土质坚实,岸坡高度8米以内且坡度陡峭,该挡土墙防护效能得以充分彰显,凭借较大断面尺寸,墙体产生充足抗倾覆力矩,有效抗衡土体侧压力,其断面多呈梯形,墙背依实际需求,设计为仰斜、直立或俯斜等样式,地势开阔、土体侧压力小的区域,仰斜式墙背可削减圬工量、改善受力;地形狭窄、需承受较大侧压力处,俯斜式墙背更能强化墙体稳固性,依地形差异选用适宜形式,实现结构稳定性提升。

表1 山区河道常见岸坡防护结构特性对比表

结构类型	结构特点	主要材料	适用条件	优点	缺点
重力式挡土墙	依靠自身重力抵抗土体侧压力,断面多为梯形	浆砌石、混凝土	土质坚实,岸坡高度不超过8m且坡度较陡区域	结构简单,施工便捷,抗滑、抗倾覆能力强	圬工量大,对地基要求高,生态性差
石笼网防护	由高强度钢丝网笼填充石料构成,具柔韧性及透水性	高强度钢丝、石料	水流速度大、岸坡易受淘刷河段	适应变形能力强,抗冲刷效果好,就地取材降低成本,利于植被生长	耐久性受钢丝材质影响,长期受冲刷后石料可能移位
植被防护	利用植物群落固土护坡,构建乔灌木复合系统	草本、灌木、乔木等植物	坡度较缓、生态敏感区域	生态效益显著,改善环境,成本较低	防护效果见效慢,初期需养护,单一使用不适用于高流速河段

1.2 石笼网防护结构

高强度钢丝精细编织成网笼,内填石料构成石笼网防护结构,其显著特点是柔韧性佳,这种特性使其能从容应对山区河道岸坡因地质变动引发的不均匀沉降和变形,石笼网特殊的孔隙构造,允许水流通过,有效缓冲水流冲击力,显著减轻对岸坡的冲刷侵蚀,在水流湍急、岸坡易遭淘刷的河段,石笼网内石料相互嵌固,形成坚固防护面,有力抵御水流侵袭,某山区急流河道采用石笼网防护后,岸坡冲刷状况明显好转。

1.3 植被防护结构

植被防护借助植物群落生态效能达成岸坡防护目的,草本植物生长迅猛,浅根系分布密集,能迅速覆盖坡面,有效降低雨水溅蚀损害;灌木根系发达扎得深,大幅提升固土效能;乔木凭借庞大复杂的根系网络,稳固深层土体,于山区河道坡度较缓、生态脆弱地带,植被防护可与其他防护结构搭配运用,植物选种时,优先考虑耐旱耐瘠薄、固土能力强的本土品种,打造乔灌草复合植被体系,该体系既能有力防治坡面水土流失,又能营造良好生态环境,为水生生物提供栖息场所,推动河道生态系统平衡稳定^[1]。某山区河道生态修复工程里,复合植被体系建成后,河道周边生态显著改善,生物多样性大幅增加。

2 设计要点考量

2.1 水文条件分析

山区河道水文情势复杂多变,是防护结构设计不可回避的关键要素,洪水期,大流量、高流速水流对防护结构形成强烈冲刷,需广泛收集历史洪水数据,借助前沿流域水文模型,精准测算不同频率洪水的流量、流速及水位波动,枯水期水位消落,岸坡土体在干湿循环影响下,力学性质易生变化,水流流向与弯道环流,会加剧岸坡特定部位冲刷,常见弯道凹岸冲刷、凸岸淤积现象,防护结构设计须综合考量各类水文状况,合理确定结构抗冲刷能力、基础埋置深度与防护范围。

2.2 地质条件评估

岸坡防护结构的稳定性与适用性,很大程度受制于地质条件,项目筹备阶段,需对岸坡开展全面细致的勘察,内容涉及土层分布、岩土类别、风化状况及地下水情形等多个维度,针对土质岸坡,土的黏聚力、内摩擦角、压缩模量等物理力学指标,是衡量土体抗剪强度与承载性能的核心要素;岩石岸坡则应重点评估岩石节理发育程度、完整状态及风化深度,地下水会改变土体重量与抗剪强度,提升孔隙水压力,容易诱发岸坡失稳,系统的地质勘察工作,能够为防护结构选型、基础设计及稳定性分析提供精准数据依据。

2.3 生态与经济平衡

山区河道治理进程中,生态保护和经济成本的平衡不可或缺,防护结构设计当以生态理念为先导,优先采用环

境友好型材料及技术,尽可能降低对河道生态系统的干扰,选用可降解土工合成材料,其在完成防护任务后能自然分解,不产生长期环境污染;或者采用多孔生态混凝土,凭借其独特孔隙结构为动植物营造栖息繁衍场所^[2]。同时依据当地资源禀赋,择选经济实用的防护方案,切实削减材料运输与施工开支,经细致优化设计,规避防护过度引发资源浪费,力求在保障防护功能的前提下,充分释放生态与经济效益。

3 稳定性影响因素

3.1 土体力学特性

土体力学特性是左右岸坡稳定性的核心内因,黏聚力和内摩擦角作为衡量土体抗剪强度的重要参数,意义重大,黏聚力数值越高,意味着土体颗粒间的黏结作用越强,土体相对滑动的可能性越低;内摩擦角越大,则土体抵御剪切滑动的能力越强,土体含水量波动显著改变其力学性能,含水量上升时,土体黏聚力与内摩擦角减小,重度却随之增加,多重变化共同作用致使岸坡稳定性降低,土体压缩性与渗透性也会对岸坡稳定造成影响,高压缩性土受荷后易出现沉降变形,渗透性强的土体在地下水影响下,可能引发渗流破坏,威胁岸坡安全。

3.2 水流冲刷作用

山区河道水流流速迅猛、流量波动剧烈,致使其对岸坡的冲刷作用极为强劲,水流冲刷岸坡主要呈现面流冲刷与淘刷两种形态,面流冲刷体现为水流顺坡面流动,持续侵蚀坡面土体;淘刷多发生于坡脚,水流涡流不断裹挟坡脚土体,冲坑渐成,大幅削弱岸坡支撑能力,河道弯道处,环流致使凹岸冲刷加剧,凸岸出现泥沙淤积,洪水期间,高流速水流挟带大量泥沙,磨损防护结构表面,致使其稳定性下降,诸多山区河道经多次洪水侵袭后,防护结构表面可见明显磨损痕迹。

3.3 地形地貌与外部荷载

地形地貌对岸坡稳定性有着不可小觑的影响,岸坡坡度与高度左右着土体自重应力分布格局,坡度陡峭、高度增加,土体承受的下滑力随之增大,岸坡稳定状况堪忧,特殊的坡面形态,像台阶状坡面、陡崖之类,会改变土体应力集中态势,致使局部应力过高,提升岸坡失稳概率^[3]。地震冲击、车辆荷载等外部作用,同样可能触发岸坡失稳状况。

4 稳定性分析方法

4.1 极限平衡法原理与应用

极限平衡法以土体达到极限平衡状态为理论根基,构建力与力矩平衡方程,精确求解岸坡安全系数,实际运用时,将滑动土体分割成多个土条,逐一核算各土条下滑力与抗滑力,再综合得出滑动面整体安全系数,瑞典圆弧法、毕肖普法等是该方法的常见类型,瑞典圆弧法预设滑动面呈圆弧形态,计算流程简洁,适宜地质条件单纯的岸坡;毕肖普法纳入土条侧向力影响,计算结果更贴合实际受力,

极限平衡法多应用于简单均质土坡,或可近似简化为均质土坡的岸坡稳定性评估。

4.2 数值模拟技术优势

依托有限元、离散元等专业软件,数值模拟法可精细再现岸坡在复杂工况下的力学响应,有限元法把岸坡剖分为大量有限单元,求解各单元应力、应变及位移,以可视化形式展现岸坡内部应力分布与变形特征,离散元法在处理颗粒介质运动及相互作用方面独具优势,特别适用于石笼网等颗粒材料构成的防护结构稳定性研究,数值模拟技术能综合考量土体非线性特性、复杂边界条件和多种荷载组合,克服极限平衡法的不足,为岸坡稳定性分析提供更丰富、详实的数据支撑。

4.3 监测分析方法实施

于岸坡关键位置合理布设位移、应力、孔隙水压力等监测设备,监测分析法得以实时采集岸坡变形数据,全站仪用于精准测定位移,土压力计实现土体应力精确量测,渗压计完成孔隙水压力测量,这些都是常见监测方式^[4]。深入剖析监测数据,可及时察觉岸坡异常变形倾向,进而对岸坡稳定性作出准确评估,监测所得数据还可检验稳定性分析方法的可靠性,为后续设计优化筑牢数据根基。

5 结构优化策略

5.1 结构形式创新组合

在山区河道岸坡防护的实际工程场景中,单一防护结构受限于自身特性,难以全方位应对复杂环境挑战,将不同类型防护结构进行科学搭配与有机组合,能够实现优势互补,充分发挥协同防护效能,坡顶区域采用植被防护,草本、灌木与乔木错落种植,其纵横交织的根系如同天然的“锚固体系”,深入土壤内部,有效加固表土,显著降低坡面水土流失风险,同时为生态系统增添绿色屏障,坡身部分选用石笼网防护,高强度钢丝编织的网笼内填充石料,结构柔韧且孔隙独特,既能在水流冲击下灵活形变,又能通过透水特性消散水流能量,抵御急流冲刷对岸坡的侵蚀,坡脚处设置重力式挡土墙,依靠自身巨大重力与稳固结构,形成坚实的抗滑支撑,防止坡脚土体被水流淘刷带走,稳固岸坡根基,这种组合式防护结构从坡顶到坡脚层层设防,构建起立体防护体系,不仅大幅提升岸坡整体稳定性,还兼顾生态保护与工程防护双重效益,为山区河道的长治久安提供可靠保障。

5.2 新型材料研发应用

新型材料的研制与推广是增强防护结构性能的关键所在,生态混凝土凭借其独特的多孔结构,具备优良的透水透气性能,不仅能有效维持防护结构的强度与耐久性,还能在表面及孔隙间为植被生长营造适宜环境,随着植物根系的延伸与盘结,生态混凝土与植被共同构成一道柔性防护屏障,助力生态修复的同时增强岸坡稳定性,土工格

栅、土工格室等高强度土工合成材料,通过与土体深度融合,形成复合加筋体系,可显著提升土体的整体性与抗剪能力,在应对高填方、软土地基等复杂工况时发挥重要作用,纳米材料的运用则为防护材料性能提升开辟新路径,其极小的粒径与独特的物理化学性质,可大幅提升防护材料的耐腐蚀与抗老化性能,有效延长结构使用寿命,在新型材料研发及应用过程中,需紧密结合山区河道高侵蚀性水流、强风化地质等特殊环境,通过长期性能测试与优化改进,保证材料在长期使用过程中的性能稳定可靠,同时最大限度减少对生态环境的负面影响,实现工程效益与生态效益的有机统一。

5.3 施工工艺改进完善

科学先进的施工工艺是确保防护结构质量的核心要点,贯穿工程建设全流程,对防护效果起着决定性作用,在基础施工阶段,需依据详细的地质勘察数据,因地制宜地选用适配的地基处理手段,对于软弱地基,采用换填法将软土置换为强度高、稳定性好的砂石或灰土材料,重塑地基承载能力;针对密实度不足的地基,运用强夯法通过重锤的反复夯击,增强土体密实度与抗剪强度,为上部防护结构筑牢根基^[5]。石笼网防护结构施工过程中,石料填充质量与网笼连接工艺是重中之重,选用粒径均匀、质地坚硬的石料,保证填充密实度,使石笼在水流冲击下仍保持整体稳定;采用专业的锁扣或绑扎技术,确保网笼各节点牢固连接,防止石料散落影响防护性能。

6 结语

针对山区河道岸坡防护结构设计与稳定性分析展开研究,全面整合结构类型、设计关键要素、影响因子及分析手段,并给出优化策略,往后,应不断探寻兼具生态效益与工程性能的防护结构,深化多物理场耦合情境下的稳定性分析,融合人工智能与大数据技术,达成防护结构智能化设计与动态化监测,助力山区河道岸坡防护技术朝着高效、环保方向迈进。

[参考文献]

- [1]李明,王强.山区河道岸坡防护技术研究[J].水利水电技术,2020,51(8):120-126.
 - [2]张华,陈亮.岸坡防护结构稳定性分析方法探讨[J].岩土工程学报,2019,41(6):1100-1106.
 - [3]刘勇,赵伟.生态防护技术在河道治理中的应用[J].中国水利,2021(15):45-49.
 - [4]孙刚,周明.基于数值模拟的岸坡稳定性研究[J].水力发电,2018,44(10):85-89.
 - [5]吴华,郑平.河道岸坡防护结构优化设计[J].水利规划与设计,2022(9):102-107.
- 作者简介:周启玉(1990—),女,民族:土家族,学历:本科,职称:工程师,研究方向:水利水电设计。

现代水利工程施工中的安全风险评估与控制

沈祚峰

湖南烁星建筑劳务有限公司, 湖南 长沙 410007

[摘要]水利工程施工属于保障水资源管理以及防洪减灾的关键环节, 其在施工期间面临着各式各样的安全风险。鉴于水利工程往往规模颇为庞大, 施工工艺也比较复杂, 而且环境条件是处于多变状态的, 所以施工安全方面的问题显得格外突显出来。考虑到水利工程施工所具有的特殊性, 这篇文章深入剖析了施工进度当中存在着的主要安全风险, 并且还相应地给出了控制这些风险的具体措施, 其目的就在于能够为水利工程的安管理工作给予科学合理的理论支撑以及实践方面的指导。

[关键词]水利工程; 工程施工; 安全风险评估; 控制

DOI: 10.33142/hst.v8i6.16893

中图分类号: TV5

文献标识码: A

Safety Risk Assessment and Control in Modern Water Conservancy Engineering Construction

SHEN Zuofeng

Hunan Shuoxin Construction Labor Service Co., Ltd., Changsha, Hunan, 410007, China

Abstract: The construction of water conservancy projects is a key link in ensuring water resource management and flood control and disaster reduction, and it faces various safety risks during the construction period. Given that water conservancy projects are often quite large in scale, with complex construction techniques and constantly changing environmental conditions, issues related to construction safety are particularly prominent. Considering the particularity of water conservancy engineering construction, this article deeply analyzes the main safety risks that exist in the construction process, and correspondingly provides specific measures to control these risks, so as to provide scientific and reasonable theoretical support and practical guidance for the safety management of water conservancy engineering.

Keywords: water conservancy engineering; engineering construction; safety risk assessment; control

引言

现代水利工程属于国家基础设施建设里的重要部分, 它肩负着防洪抗旱、灌溉供水、水资源调配以及生态环境保护等多种功能, 其施工流程比较复杂, 工期也较长, 所涉及的技术种类繁多, 而且大多处于自然环境复杂且多变的区域当中。随着工程规模以及技术难度的持续提高, 水利工程施工所面临的安全风险变得越来越突出, 事故隐患呈现出复杂多样的特点, 给施工人员的生命安全以及工程质量带来了极为严峻的考验。有效地识别安全风险、科学地评估安全风险以及精准地控制安全风险, 已然成为保障工程能够顺利推进并达成可持续发展的重要环节。当下, 伴随信息技术以及管理理念的不断发展, 把传统经验同现代风险评估方法相结合, 构建起全面且系统的安全风险管理体系, 对于提高施工安全水准有着十分重要的意义。本文着重探讨现代水利工程施工当中存在的主要安全风险, 较为系统地介绍常用的风险评估方法, 并且结合实际施工的特点给出切实可行的风险控制对策, 期望能够为水利工程施工安全管理给予理论方面的支持以及实践层面的指导, 促使行业安全管理水平不断得到提升。

1 水利工程施工中的主要安全风险

水利工程施工属于综合性工程项目, 其系统性较强, 技术方面较为复杂, 所涉及的范围也比较广泛。其施工环

境往往涵盖山区、河道、水库以及隧洞等地形状况复杂且自然条件多变的区域, 在此过程中会面临不少安全风险。主要的安全风险包含地质灾害风险、施工机械设备故障风险、高空坠落与坍塌风险、水体突发事件风险、电气火灾风险以及施工人员违规操作风险等等。就地质灾害而言, 像滑坡、泥石流这类情况很可能会因为降雨或者不合理的开挖而引发, 进而对施工安全造成直接威胁; 大型施工机械, 比如起重机、混凝土泵车等, 要是维护工作不到位或者是操作出现失误, 那么便容易出现设备故障或者发生伤害事故; 在坝体、高边坡等结构展开作业的时候, 高空作业以及结构的不稳定状态可能会致使坠落或者坍塌事故的发生; 并且, 水源工程有着与水体直接接触的特性, 施工期间要是出现水位突然上涨、围堰失效等突发水害情况, 将会带来极大的风险。施工现场的电力系统要是没有按照规范来布设又或者缺乏相应的管理, 那么就很容易引发电气火灾; 从人员层面来讲, 部分施工人员的安全意识比较淡薄, 存在着不依照操作规程作业、违规使用设备等情况, 这无疑也使得安全隐患发生的可能性增大了。

2 水利工程施工中常用的安全风险评估方法

2.1 风险矩阵法

风险矩阵法是水利工程施工中常用且有效的风险评估工具。该方法通过构建一个二维矩阵, 将风险事件的发

生概率与其潜在后果相结合,定性或定量地评估风险的严重程度。在水利工程施工中,风险矩阵法常用于初步识别和评估各类潜在风险,如洪水、地质灾害和设备故障等。借助这一方法,施工管理团队能够迅速判断风险的优先级,合理分配资源并采取针对性的预防措施^[1]。以大坝建设为例,利用风险矩阵法可以识别施工过程中可能出现的地质滑坡风险,并评估其对工程的影响,从而提前实施加固等防范措施,有效降低风险发生的可能性。

2.2 层次分析法

层次分析法属于一种多准则决策方法,其可将复杂问题予以系统化、结构化处理,并且还能开展定量分析,这种方法在水利工程施工安全风险评估方面有着广泛的应用。该方法会把安全风险因素依照系统、子系统以及指标这三个层级来加以分解,进而构建起清晰明确的层次结构模型,如此一来,原本复杂的风险评估问题便能简化成多个层次的比较判断事宜。在评估进程当中,专家或者项目管理人员依据自身的经验以及实际的状况,针对各个风险因素之间的重要程度展开两两比较,由此形成判断矩阵,并且经过一致性检验,以此来保证判断具备逻辑上的合理性。接着,凭借特征值的计算来确定各因素的权重,最终得出各类风险在整体安全风险里所起到的影响程度。层次分析法不但能够科学地呈现出不同风险因素对于水利工程施工安全所具有的相对重要性,而且还能够提升风险评估的客观性与系统性,尤其适合那种存在多风险因素共存情况、评估数据并不完整或者难以量化的工程实际情境。

2.3 故障树分析

故障树分析算得上是一种颇为系统的安全风险评估办法,其借助图形化的形式来对致使特定事故也就是顶事件出现的种种潜在缘由以及这些缘由彼此间的关系加以识别与剖析,在水利工程施工领域有着不容小觑的应用价值。这种方法会选取某一特定的事故事件当作分析的开端,接着凭借逻辑门,像是“与门”还有“或门”这类东西,一层一层地往下追寻事故发生的各类基本缘由,一直探寻到最底层的基础事件,进而搭建起一棵完整的“故障树”结构图。对故障树里各个事件发生的概率展开定量的计算操作,能够对顶事件的发生概率予以评估,同时还能从中找出最关键的风险要素,也就是最小割集,如此便能给事故预防以及控制举措的制定给予相应的依据。在水利工程施工期间,故障树分析能够用来评估诸如围堰出现失稳状况、坝体发生渗漏情况、大型设备失去控制状态、高空出现坠落情形等典型的施工事故的诱发机制,对于系统性地识别风险路径很有帮助,可助于找到事故发生的关键节点并且提前着手采取防控方面的措施。

2.4 事件树分析

事件树分析属于一种安全风险评估的方法,它把事故初始事件当作出发点,借助逻辑推理来剖析不同事件的发

展路径以及其可能产生的后果。这种方法在水利工程施工方面有着颇为重要的应用价值。一般而言,它是从某个具体的初始事件开始着手的,比如围堰出现渗漏、施工设备发生故障、突然遭遇强降雨等情况。然后要综合考量防控措施是否发挥效用以及后续事件的演变状况,一步步地去拓展,最终形成一棵“事件树”,以此清晰地呈现出各种可能出现的事故发展路径。在这棵“事件树”里,每一个节点都代表着一个有可能会发生或者不会发生的事件,而每一条路径则意味着一种可能的事故后果。并且能够通过给各个事件节点赋予其发生的概率,进而计算得出各类最终结果的概率值,达成对风险进行定量评估的目的^[2]。在水利工程施工当中,事件树分析特别适合用来分析复杂工程系统里由于某一初始事件所引发的多种事故可能性,像是因为排水不顺畅而导致基坑发生坍塌,又或者是由于电力供应中断致使抽水系统陷入瘫痪这类场景。

3 强化水利工程施工全过程安全风险防控

3.1 完善安全管理体系建设,加强施工全过程风险管理

完善安全管理体系建设以及强化施工全过程风险管理,这二者属于提升水利工程施工安全水准的基础性举措,同时也是具备战略意义的措施。在水利工程施工进程当中,鉴于其工程体量颇为庞大、周期相对较长、所处环境也较为复杂,所以安全风险会贯穿于项目所有的各个不同阶段,这就要求务必构建起完善的、能够涵盖设计环节、施工环节、监理环节以及验收环节等整个过程的管理体系。要依照国家层面以及行业领域相关的安全法规与标准来制定出系统且科学的安全管理制度以及操作规程,清晰明确各级管理人员还有作业人员各自的安全责任,从而达成管理责任一级一级切实落实到位的效果。在工程项目刚开始启动之际,就要着手展开全方位的安全风险识别以及评估方面的工作,同时结合工程自身的具体特点去制定出具有较强针对性的风险控制计划,把风险管控融入到进度管理、成本管理以及质量控制等相关环节当中,进而实现安全与项目管理相互融合为一体的目标。

3.2 定期开展安全意识培训,提高施工人员综合素质

定期举办安全意识方面的培训,以此来提升施工人员的综合素质,这无疑是强化水利工程施工安全风险评估以及控制工作的关键保障举措。水利工程施工现场通常环境颇为复杂,作业强度也不小,存在的危险因素更是不少。而那些身处一线的施工人员,恰恰是直接投身于各项作业当中的主体所在,他们所具备的安全意识以及操作水平,直接和整个工程的安全水平挂钩。所以,务必要构建起完善且规范的常态化、系统化安全教育培训机制。要依据不同岗位以及不同工种的具体情况,去制定出带有针对性的培训内容,像基础安全知识、施工操作规程、应急处置流程、事故案例分析等等都涵盖在内,从而保证施工人员可以掌握必备的安全技能以及应急反应能力。与此还需要结合工

程的实际状况来开展现场模拟演练以及实操培训,着重强化对高空作业、防水作业、机械操作、电气使用等这些重点环节的风险防控能力^[3]。在培训的形式方面,应当呈现出多样性的特点,把视频教学、案例讨论、经验交流等多种方式综合起来运用,以此提高培训的互动性以及实际效果。

3.3 引入先进数字技术设备,动态监控施工潜在风险

引入先进的数字技术设备,对施工潜在风险展开动态监控,这无疑是推动水利工程施工安全管理朝着智能化以及科学化方向转型的一项极为重要的举措。伴随信息技术持续向前发展,像物联网(IoT)、大数据、人工智能(AI)、BIM(建筑信息模型)、无人机巡检、传感器监测系统这类先进技术,已经逐渐在水利工程施工安全管理领域得到应用,切实提高了风险识别所具有的精准程度以及反应的速度。通过在施工现场布置各类各样的传感器以及智能监控设备,便能够针对边坡、围堰、深基坑、水文环境、施工设备等这些关键部位开展实时的数据采集工作,对位移、压力、沉降、渗流、振动等各项指标的变化情况进行监测,从而提前将潜在的风险点给找出来。与此凭借大数据分析以及AI智能预警系统,可以针对监测数据做出趋势方面的判断并进行风险预测,进而达成风险的早发现、早预警以及早处置这样的目标。

3.4 加强应急预案制定演练,提高事故应急处置能力

强化应急预案的制定以及相关演练工作,进而提升事故应急处置的能力,这在保障水利工程施工安全方面是极为关键的举措,也是有效应对各类突发事件的重要手段。水利工程施工通常是在地质状况复杂且水文条件时常变化的环境当中开展的,所以很容易就会受到像洪水、滑坡、坍塌以及设备故障等诸多突发因素的影响,要是处置不及时,那么就极有可能会发生人员伤亡的情况,工程也会遭受损害,甚至还会引发群体性的事故。所以,项目建设单位以及施工单位务必要对应急管理体系的构建给予高度的重视,要依据工程实际的具体情况来制定出既科学又详尽的应急预案,其内容需要包含应急组织机构、职责分工、应急资源调配、响应程序、处置措施以及信息报告机制等这些核心方面的内容,以此来保证在发生安全事故的时候,可以迅速地组织起来、做出合理的响应并且进行高效的处置。与此还要把应急预案切实落实到施工管理的各个不同环节当中去,定期并且有序地组织开展多种不同形式以及多种不同场景的应急演练,像洪水应急撤离、高空坠落抢救、机械故障处置以及消防逃生等方面的演练都要涉及到,借助实战演练的方式来对预案的科学性以及可操作性加以检验,从而提升各个参建单位以及施工人员协同应对的能力。

3.5 优化施工现场安全防护,做好设备设施维护管理

优化施工现场的安全防护举措,妥善开展设备设施的

维护管理工作,这无疑保障水利工程施工安全、防范各类事故发生的极为重要的基础性工作。水利工程施工现场常常会涉及到高空作业、深基坑作业、水上作业等一系列高风险工序,对于安全防护措施的要求之严苛程度超乎寻常。所以,务必要依据工程的实际状况,合理设置施工区域里的安全警示标志、围栏、防护棚、防滑设施等等,切实落实针对高处作业的防坠措施、临边作业的防护办法以及临时用电的防触电举措,以此来保证作业人员在各种各样的风险环境之下都能够安然无恙^[4]。与此还需着力构建起施工设备和设施的日常检查机制、定期维护与保养的相关制度,尤其是像起重机械、混凝土泵车、施工电梯、发电机组这类关键设备,应当定期展开技术检测以及隐患排查工作,确保这些设备始终处于良好的运行状态之中。对于那些存在老化现象、出现损坏情况或者有运行异常表现的设备,一定要及时予以维修或者更换,坚决杜绝所谓的“带病作业”行为。除此之外,还应当强化对施工现场各类临时设施稳固性以及耐久性的检查力度,比如脚手架、模板支撑、排水系统等等,以防因为结构不够牢固或者积水发生渗漏而引发次生的安全事故。

4 结语

现代水利工程施工当中存在着各式各样的安全风险,唯有凭借合理的风险评估以及行之有效的控制举措,才能够切实保障施工安全。构建起完善的安全生产管理体系,积极开展各类安全方面的培训,充分应用先进技术,并且周全地做好应急方面的各项准备工作,这些无疑都是提升施工安全程度的关键手段。在未来,伴随技术不断向前发展,施工安全管理将会变得更为科学且更具智能化,这对于实现工程能够顺利完工以及达成可持续发展的目标均是有益处的。安全风险管理一方面保护了从事施工的人员,另一方面也有力地推动了水利工程朝着健康的方向不断发展。

【参考文献】

- [1]沈亚芬.探究水利工程施工中的安全管理与风险控制[J].中国企业文化促进会职业教育专业委员会,2025(1):181-183.
 - [2]蔡硕.水利工程施工阶段安全管理有效性对策研究[J].水上安全,2025(5):163-165.
 - [3]林孝珍.水利工程施工中的安全管理与风险控制[J].中国智慧工程研究会.2024 工程技术与施工管理交流会议论文集,2024(1):438-439.
 - [4]潘经驷,张世安.水利工程施工中的安全风险评估与控制研究[J].水利技术监督,2024(7):98-101.
- 作者简介:沈祚峰(1985.1—),男,汉,湖南烁星建筑劳务有限公司。

城市防洪能力提升研究

张成贵

安徽省宣城市宣州区水利局, 安徽 宣城 242000

[摘要]在全球气候变化背景下, 极端天气事件频发, 城市防洪工作面临前所未有的挑战。宣城市作为安徽省重要的区域中心城市, 地处水阳江中游皖南丘陵与圩区过渡地带, 水网密布, 历史上洪涝灾害频发。文中旨在全面分析宣城市防洪体系的建设现状, 深入探讨其面临的挑战与问题, 系统梳理近年来防洪能力提升的创新实践, 并基于国内外先进经验提出未来防洪能力提升的战略路径。通过多维度研究, 文中将为宣城市构建更加安全、韧性的城市防洪体系提供理论支撑和实践指导, 同时也为类似地理特征城市的防洪工作提供有益参考。

[关键词]提升; 防洪能力; 研究

DOI: 10.33142/hst.v8i6.16908

中图分类号: TU99

文献标识码: A

Research on Enhancing Urban Flood Control Capacity

ZHANG Chenggui

Anhui Xuancheng Xuanzhou District Water Resources Bureau, Xuancheng, Anhui, 242000, China

Abstract: In the context of global climate change, extreme weather events occur frequently, and urban flood control work faces unprecedented challenges. Xuancheng City, as an important regional center city in Anhui Province, is located in the transitional zone between the hills and polder areas of southern Anhui in the middle reaches of the Shuiyang River, with a dense water network and frequent historical floods and waterlogging disasters. The purpose of this article is to comprehensively analyze the current situation of the construction of the flood control system in Xuancheng City, deeply explore the challenges and problems it faces, systematically sort out the innovative practices in improving flood control capabilities in recent years, and propose a strategic path for future flood control capacity improvement based on advanced domestic and foreign experience. Through multidimensional research, this article will provide theoretical support and practical guidance for building a safer and more resilient urban flood control system in Xuancheng City, and also provide useful references for flood control work in cities with similar geographical features.

Keywords: improvement; flood control capability; research

1 基本概况

城市作为人口与经济活动高度聚集的区域, 对防洪安全有着极高的要求。世界上众多著名城市依傍江河湖海, 在享受水资源带来的便利时, 也常面临洪水的威胁, 城市历来都是防洪的关键对象。城市所处地理位置不同, 面临的洪水威胁也各有差异: 沿河流而建的城市, 易受暴雨洪水、融雪洪水、冰凌洪水以及溃坝洪水影响; 地势低洼且有堤圈防护的城市, 除河、湖洪水外, 还受市区暴雨涝水与洪涝遭遇的影响; 海滨或河口城市, 存在潮汐、风暴潮、地震海啸、河口洪水等诸多水问题; 依山傍水的城市, 则可能遭受山洪、山体塌滑或泥石流等危害。

我国城市防洪主要由水利部门负责, 同时涉及航运交通、城市建设、人防及其他厂矿部门。古代城市多建于水域附近, 防洪问题随之产生, 如部分古城的城墙兼具防敌与防洪的双重作用。随着时代发展, 平原区堤防的建设、分蓄洪工程的利用、河道整治工作的开展以及水库的建设, 都不断推动着城市防洪能力的提升。1949年后, 我国大力开展城市防洪工作, 在诸多城市修建了堤防, 并建立了以行政首长指挥为指挥长的防汛指挥体系。如今, 我国城市国

内生产总值约占全国的 75%, 利税约占全国的 80%, 有防洪任务的城市众多, 占城市总数的 96%。

2 防洪能力现状

目前, 我国城市防洪工作取得了显著成效。已建成城市防洪堤长度可观, 保护着大面积的城区; 部分城市达到设计防洪标准, 排涝能力也有所提升, 不少城市编制了防洪规划。然而, 我国城市防洪起步较晚, 仍存在诸多问题: 部分城市防洪减灾能力低, 未达设计防洪标准, 一些新兴经济开发区和新建城市缺乏防洪保护; 现有防洪工程存在病险隐患; 部分城市排涝标准低, 内涝严重, 热岛效应、硬化路面增加、调蓄洪水湖泊面积减少等因素进一步加重内涝; 过度开采地下水导致地面沉降, 降低了防洪排涝标准; 城市发展、建设和防洪基础研究薄弱。

3 提升必要性

(1) 保障人民生命财产安全: 洪水一旦来袭, 会直接威胁城市居民的生命安全, 造成大量人员伤亡, 还会冲毁房屋、基础设施, 导致居民财产遭受巨大损失。提升城市防洪能力, 能够有效降低洪水对人民生命财产的威胁, 为居民提供安全的生活环境。

(2) 促进城市经济稳定发展: 城市是经济活动的中心, 若防洪能力不足, 洪水灾害会破坏工厂、商场等经济设施, 中断生产和商业活动, 影响城市的经济发展。增强防洪能力可保障城市经济稳定运行, 维持经济增长。

(3) 维护城市生态环境: 洪水可能携带大量污染物, 破坏城市的生态环境, 如污染水源、破坏湿地生态等。提升防洪能力有助于减少洪水对生态环境的破坏, 维护城市生态平衡。

(4) 适应城市化发展需求: 随着城市化进程加快, 城市人口不断增加, 规模持续扩大。新的城区建设和基础设施布局需要更高标准的防洪保障, 以适应城市发展的新形势。

4 案例分析: 宣城市防洪能力提升实践

4.1 城市概况

4.1.1 自然概况

宣城市是安徽省地级市, 位于安徽省东南部、苏浙皖三省交汇处。宣城市市域面积约 1.23万 km^2 , 人口约 250 万人, 下辖宣州区、宁国市、广德市、郎溪县、泾县、绩溪县、旌德县 7 个县(市、区)。根据《宣城市国土空间总体规划(2021—2035 年)》, 宣城市中心城区面积约 431km^2 。中心城区位于宣城市西北部、宣州区中部, 涉及宣州区鳌峰街道、澄江街道、飞彩街道、济川街道、敬亭山街道、西林街道、金坝街道北部、双桥街道西南部、向阳街道北部、古泉镇东部、寒亭镇西南部、孙埠镇西南部、沈村镇西北部、养贤乡南部、五星乡以及部分敬亭山茶厂和部分宛陵林场区域。

4.1.2 河流水系

宣城市中心城区内水系分属水阳江、青弋江, 主要有水阳江干流及一级支流宛溪河、白马河、双桥河, 二级支流太阳河、桐梓岗河、东门渡河, 及青弋江一级支流汤泊河等, 主要湖泊有宛陵湖和彩金湖。水阳江干流穿城而过; 南漪湖位于中心城区下游。

4.1.3 水文气象

宣城市中心城区地处北亚热带季风气候区, 由于地理位置、季风环流、地形差别的相互影响, 该区具有春雨连绵、夏雨集中、秋雨偏少、冬季干冷、四季分明、日照充足、无霜期长的气候特点。本区洪水主要由上游来水形成, 水阳江流域上游山区雨量充沛、暴雨集中、地形陡峻、降雨汇流迅速, 洪水入城区时峰高量大、水位陡涨陡落。洪水进入中心城区后, 由于地势平坦, 河道比降小, 且受中下游河道和湖泊顶托影响, 水流平缓, 泄洪速度减缓, 高水位持续时间长, 往往溢出河床向两岸及圩区漫溢, 形成洪涝灾害。宣城水文站位于水阳江中上游, 距双桥河口 2km , 是城市防洪主要控制站点。

4.2 防洪能力提升的意义

宣城市位于安徽省东南部, 地处长江三角洲西部边缘,

是一座典型的水网城市。作为长江流域水阳江和青弋江两大水系的交汇区域, 宣城市自古以来就饱受洪涝灾害的困扰。城市中心区位于水阳江中游, 特殊的地理位置使其既承受上游山区洪水的冲击, 又面临下游圩区排涝不畅的压力, 形成了“上压下顶”的防洪局面。历史上, 宣城市曾多次遭受严重洪灾, 如 1910、1922、1931 年, 以及新中国成立后的 1954、1983、1984、1996、1999、2016、2020 年均发生大洪灾, 并造成部分圩区溃破。2016 年 7 月持续强降雨导致南漪湖水位超保证水位 1.52m , 造成中心城区双桥联圩溃破; 2020 年 7 月, 持续强降雨导致水阳江干流宣城站、新河庄站超保证水位, 南漪湖水位接近保证水位, 防汛应急响应提升至 I 级; 2021 年 7 月, 受台风“烟花”影响, 水阳江宣城站水位几天内从 10m 暴涨至超过 16m , 超警戒水位。这些灾害不仅造成巨大的经济损失, 更严重威胁着人民群众的生命财产安全。

4.3 宣城市防洪体系的现状分析

宣城市防洪体系经过多年建设与发展, 已初步形成了以工程措施为基础、非工程措施为支撑的综合防御系统。这一系统在应对近年来频繁发生的极端天气事件中发挥了重要作用, 为城市安全运行提供了基本保障。深入分析宣城市防洪体系的现状, 有助于准确把握其优势与不足, 为后续能力提升提供科学依据。

4.3.1 防洪分区

《宣城市国土空间总体规划(2021—2035 年)》划定的中心城区面积约 431km^2 , 结合水阳江流域防洪形势和宣城市城市防洪体系, 以及防洪保护圈的完整性, 研究范围向养贤和双桥联圩防洪保护圈非中心城区区域拓展, 研究范围面积为 487km^2 。并将中心城区划分为中部主城片区(老城区、城东联圩、敬亭圩)、双桥片区(双桥联圩部分)、五星片区(五星联圩)、北部片区(高新区、渣溪圩、养贤联圩)、西南片区(西南丘陵区)等 5 个防洪片区。

4.3.2 防洪现状

宣城市中心城区现状堤防总长约 149.38km (不含自然高地), 其中土堤长约 141.52km , 防洪墙长约 7.86km 。经过多年建设, 老城区、城东联圩、敬亭圩、双桥联圩基本达到了 50 年一遇的防洪标准, 可防御水阳江干流 1996 年洪水(宣城水文站水位 18.5m)。五星联圩、渣溪圩、养贤联圩及高新区现状防洪能力约 5~20 年一遇。

4.4 防洪标准提升研究

4.4.1 防洪标准

按照《防洪标准》(GB 50201—2014)的要求, 考虑宣城市城区经济社会发展需求, 结合拟定的防洪分区, 按照分区设防原则, 分别拟定防洪标准, 其中, 中部主城片区防洪标准为 100 年一遇, 其他片区防洪标准为 50 年一遇, 山洪治理标准为 30 年一遇。远景结合经济社会条件可进一步提高。

4.4.2 防洪能力提升研究

本次按中心城市堤防均已达 50 年一遇防洪标准下对干流防洪能力提升进行研究,构建以工程措施和非工程措施相结合的宣城市城市防洪体系,提高宣城市中心城区防洪能力。

(1) 洪水分析

由于规划确定中部主城片区防洪标准为 100 年一遇,需要进一步研究水阳江干流 100 年一遇洪水安排。

实测资料显示,1996 年实际洪水通过港口湾水库调蓄后演算至宣城站洪峰流量为 $5500\text{m}^3/\text{s}$ 、宣城水文站水位为 18.5m,相当于 50 年一遇洪水标准。1996 年宣城站实测洪峰和洪量在历年实测洪峰洪量中均位居前列,按照洪水典型具有代表性、对工程防洪运用较不利的原则,本次选用宣城站 1996 年型 100 年一遇洪水作为洪水防御对象。同时,考虑 1999 年洪水为该流域下游历史最大洪水,采用 1999 年洪水对防洪方案进行复核。

经宣城站水文资料分析,经港口湾水库调蓄后,1996 年型 100 年一遇洪水较 1996 年洪水,在宣城站最大洪峰流量增加约 $800\text{m}^3/\text{s}$,最大 1d 洪量和 3d 洪量分别增加 0.66 亿 m^3 和 1.69 亿 m^3 。由于洪峰洪量增大,若维持宣城站控制水位 18.5m,1996 年型 100 年一遇洪水条件下城区段河道下泄流量需减小约 $300\text{m}^3/\text{s}$,则需另采取措施解决洪峰流量约 $1100\text{m}^3/\text{s}$ 。

(2) 提升方案

根据洪水分析,初步拟定以下提升方案:

方案一按防洪分区设防。

方案二按现状防洪体系设防。

方案三分流超额洪量设防。

(3) 方案选择

方案一水阳江干流段堤防,中心城区、双桥和城东联圩均按 50 年一遇达标建设,五星联圩按 20 年一遇达标建设。目前,上述堤防建设均已完成,但遭遇超标准,五星联圩(率先溃破)相当于“蓄滞洪区”,且双桥联圩和城东联圩上半段仍承受上游来水压力,且难以保证。仅能提升主城区防洪能力,且提升空间有限,很难达到 100 年一遇防洪标准。该方案属于“弃车保帅”方案,极易造成群体性事件。如 1999 年大洪水,水东联圩发生群众冲击政府的群体性恶性事件,造成很大的社会影响。

方案二维持现状防洪体系,水阳江干流堤防按规划标准(1996 年型洪水)达标建设。可采取以下两个措施实现防洪能力提升:

措施一是通过提高设防水位来实现。当遭遇超标准洪水,水阳江干流城区河段水位将大幅抬升,经过初步分析,水位抬升幅度为 0.88m~1.40m,为提升中心城区防洪能力,通过提高干流段河道防洪设计水位,消纳上游洪量,属“水涨船高”型建设。但会带来以下不利影响:一是中

心城区堤防需大范围加高加固,工程量较大,需占用大量基本农田;二是宣城市主城区跨河桥梁众多,河道防洪设计水位抬高后可能导致部分跨河桥梁拆除重建,工程投资较大,同时会导致正常通车中断,影响城市交通等问题,难以实施;三是目前城市排涝体系已基本建成,河道防洪设计水位抬高后,会对城市排涝体系带来诸多不利影响;四是上一轮防洪规划之后,城区堤防均实施加固,再次开展大范围加固,会带来一定的负面社会影响。因此,采用提升堤防的设计水位的方案,实施难度较大,且不经济。

措施二维持现状防洪设计水位,通过提升河道整体规模(拓宽河道,加大河道泄洪和消纳能力)来实现。经测算,河道泄流能力需要达到约 $6350\text{m}^3/\text{s}$,初步分析,平均退堤宽度约 50m,退堤范围约 36km。但城区两岸堤防早已建成,且堤内已开展大规模的城市建设,房屋密集,居住人口较多。大规模扩大河道的泄流能力需要进行堤防退建及跨河建筑物的改建,属“拓展河道型”建设。拓展空间有限,且工程量和征地拆迁量较大,同样实施难度和工程投资较大。

方案三分流超额洪量,疏挖扩卡加大下泄量,提升防洪能力。目前,港口湾水库已建成运行多年,汤村水库已开工建设。在干流局部河道拓宽整治的基础上,在水阳江干流城区上游选择一个适当区域或位置,修建一定规模蓄滞洪区或分洪道,分流超额洪量(消峰),属“上分、下泄型”建设,实现提升中心城区防洪能力(达 100 年一遇标准)。经多方案比选,初步拟定在城区上游段(孙埠集镇三里村境内)建分洪道,进水口设一座 $900\text{m}^3/\text{s}$ 的分洪闸,通过对上游水库和分洪闸调度运行,实现控制城区段防洪设计水位基本维持原规划的 50 年一遇水位(宣城水文站水位 18.5m),以基本维持现状城区堤防建设体系,达到提升城区防洪能力之目标。

目前,宣城市防洪规划已批准,中心城区防洪能力提升采取的方案即为“方案三”。

5 防洪调度

工程措施完成后,通过非工程措施(联合调度)实现防洪能力提升,其防洪调度原则:

(1) 当预报宣城水文站水位接近 17.0m 且有继续上涨的趋势时,在保证上游港口湾水库和中游南漪湖周边重点万亩圩口安全的前提下,利用水库和中游南漪湖湖泊对洪水进行调蓄,控制宣城水文站水位不超过 17.0m。

(2) 当预报宣城水文站水位接近 18.5m 且有继续上涨的趋势时,在保证上游港口湾水库和中游南漪湖周边重点万亩圩口安全的前提下,采用上游水库和中游南漪湖湖泊对洪水进行调蓄,相机启用孙埠分洪道分洪,控制宣城站水位在 18.5m 左右。

(3) 当预报宣城水文站水位接近 19.5m 且有继续上涨的趋势时,相机运用南漪湖周边一般圩区、双桥联圩东

部区域进行分洪，确保宣城市中心城区防洪安全。

6 结束语

城市防洪能力的提升对于保障城市的安全、稳定和可持续发展具有至关重要的意义。尽管我国在城市防洪方面已经取得了一定的成绩，但仍面临诸多挑战。本文以宣城市城市防洪提升为例，通过采取工程性和非工程性措施相结合的方式，不断完善城市防洪体系，加强防洪管理和研究，提高防洪技术水平，能够有效提升城市的防洪能力，降低洪水灾害带来的损失，为城市的发展创造良好的条件。未来，随着科技的不断进步和城市的持续发展，城市防洪

工作还需要不断探索和创新，以适应新的形势和需求。

【参考文献】

- [1]刘媛媛,刘洋,刘正风,等.山地城市防洪标准评估及防洪能力提升的探讨——以南平为例[J].中国水利水电科学研究院学报(中英文),2023,21(4):341-349.
- [2]孙骏,庄钧惠,张龙玲,等.某城市重点圩区防洪达标评估及防洪能力提升研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2022(8):3.

作者简介：张成贵（1966.11—），男，汉族，毕业学校：河海大学，现工作单位：安徽省宣城市宣州区水利局。

谈提高风电机组发电量的措施

孟宏伟

国家能源集团国华投资山东分公司, 山东 东营 257000

[摘要]随着对可再生能源需求的增加,风力发电成为重要的能源形式。提高风电机组的发电量是提升风电项目经济效益的关键。当前,提高发电量的措施主要集中在风机设计优化、运行控制改进、风电场布局优化等方面。随着风能资源预测和智能调度技术的进步,风电机组的效率得到了提升。然而,仍面临风能资源不稳定、设备适应性和维护成本等挑战。文中探讨如何通过技术和管理手段提高风电机组的发电量。

[关键词]风电机组; 提高发电量; 措施

DOI: 10.33142/hst.v8i6.16921

中图分类号: TM61

文献标识码: A

Discussion on Measures to Increase the Power Generation of Wind Turbines

MENG Hongwei

Shandong Branch of CHN Energy Group Guohua Investment, Dongying, Shandong, 257000, China

Abstract: With the increasing demand for renewable energy, wind power has become an important form of energy. Improving the power generation of wind turbines is the key to enhancing the economic benefits of wind power projects. Currently, measures to increase power generation mainly focus on optimizing wind turbine design, improving operational control, and optimizing wind farm layout. With the advancement of wind energy resource prediction and intelligent scheduling technology, the efficiency of wind turbines has been improved. However, there are still challenges such as unstable wind energy resources, equipment adaptability, and maintenance costs. The article explores how to increase the power generation of wind turbines through technological and management measures.

Keywords: wind turbines; increase power generation; measure

引言

随着全球对可再生能源需求的不断增长,风能,作为一种清洁且可持续的能源,备受关注。风电,作为风能利用的关键形式,已经成为全球能源结构转型的重要组成部分。风电机组,作为风力发电的核心设备,其发电量的提升直接关系到风电项目的经济效益与可持续发展。在风电机组的运行过程中,如何最大化其发电效率、减少能量损失,已成为当前研究的重点。风电机组的发电量不仅受到风力资源变化的影响,而且与机组选型、技术创新、运行管理等多方面因素密切相关。关键所在,在于优化风电机组设计、加强技术研发、提升运行效率以及改进管理手段。通过叶片优化、变桨控制、风能预测与智能调度等技术手段的应用,风电机组的整体性能与发电能力可以得到显著提升。基于此,本文将重点探讨提升风电机组发电量的技术路径,旨在为风电行业提供切实可行的解决方案,以推动风电发电更高效、稳定地实现。

1 风电机组的概况

风电机组是一种用于将风能转化为电能的装置,其主要组成部分包括叶轮、变速箱、发电机、变频系统和塔架。由多个叶片构成的叶轮在风力的推动下旋转,风能由此被转化为机械能,并通过变速箱调整转速后传递至发电机,以实现机械能向电能的转换。电力输出的调节由变频系统完成,使其符合电网运行要求,而塔架则起到支撑整套设

备的作用,使机舱与叶轮能够处于适宜的高度,以提高风能的利用率。根据结构和运行方式的不同,风电机组可分为水平轴和垂直轴两类,其中应用最广泛的是水平轴风电机组,其因较高的能量转换效率和稳定的运行性能而受到青睐。通常,这类机组采用三叶片设计,并配备主动变桨和偏航系统,从而进一步优化风能利用率并提升发电性能。

2 影响风电机组发电量的因素

2.1 风能资源与气象条件

风能资源的丰富程度与气象条件的变化,是影响风电机组发电量的主要因素。风速,作为决定风电机组输出功率的重要参数,通常情况下,较高的风速意味着更强的风能,从而带来更高的发电量。然而,若风速过低,风轮可能无法启动;而当风速过高时,机组的安全保护机制可能会被触发,导致机组停机,进而产生发电损失。此外,风的稳定性,对机组的运行效率有着显著影响。若风速频繁波动或风向变化剧烈,叶片的迎风角度需频繁调整,这将降低风能的有效利用率。空气密度,在风能转换效率中同样起着关键作用。空气密度受到温度、湿度及海拔高度的影响,尤其是在高海拔或高温环境下,空气密度较低,风能减少,进而影响风电机组的发电能力。极端气象条件,如雷暴、台风、冰冻及大雾等,也可能对风电机组产生不利影响^[1]。雷暴与台风,可能损害叶片与机组结构;冰冻则可能导致叶片结冰,增加风阻并降低发电效率;而大雾

与沙尘天气,则可能影响风轮及传动部件的长期稳定运行。

2.2 机组选型与性能

风电机组的选型及其性能,直接影响着发电量。不同类型的风电机组,在额定功率、设计风速范围、发电效率等方面存在差异,选择时需结合风资源条件和应用场景进行合理匹配。机组的额定功率,决定了其在最佳风速下的最大输出能力,但在实际运行中,若机组的额定功率过高,而风资源不足,可能无法充分发挥其发电潜力;反之,若额定功率较低,在风资源丰富的环境中,发电能力则可能受到限制。叶轮直径,是影响风能捕获效率的关键因素。叶片的长度越大,扫风面积就越广,能够吸收更多风能,从而提高发电量。然而,叶片过长,可能会增加结构负担,要求塔架和传动系统具备更高的稳定性。发电机类型,同样是决定机组性能的关键因素。现代风电机组,常采用双馈感应发电机或永磁直驱发电机,前者具有较强的并网适应能力,后者因减少机械传动环节,能实现更高的能量转换效率。此外,变桨控制与变速运行技术的应用,可以有效优化叶片迎风角度,从而提高在不同风速下的发电效率。机组的耐候性与可靠性,也直接影响其长期发电能力。在高温、低温、高湿或盐雾环境中,设备的抗腐蚀性、冷却系统的稳定性以及关键部件的耐久性,将对机组的运行状态产生影响,进而影响实际的发电量。

2.3 风电场布局与选址

风电场的布局与选址,对风电机组发电量的影响至关重要。风资源的丰富程度、地形地貌、周围障碍物的分布以及风电机组之间的相互作用,直接决定了风能的利用效率。在选址时,风速、风向的长期变化趋势需充分考虑,以确保场址具备稳定且充足的风资源。一般来说,风速较高且稳定的区域,有利于风电机组的持续高效运行;而风速波动较大的地区,可能导致机组效率降低,甚至缩短设备的使用寿命。地形条件,也对风场的风能利用率产生重要影响。不同地形,如山地、丘陵、沿海和平原的风场,由于空气动力学效应的不同,可能导致风速加快或湍流增加,进而影响机组的发电性能。具体到风电机组的布局,相邻机组之间的间距,需合理规划,以减轻尾流效应的影响。尾流效应,指的是风轮旋转后,在下风方向形成的低速气流区域^[2]。若机组间距过小,下游机组将受到前方机组尾流的干扰,进风速度将下降,从而降低发电效率。此外,周围环境对风电场选址,也有一定影响。高大建筑、森林或山脉等障碍物,可能造成风速下降或风向紊乱,从而影响机组的有效运行。

2.4 运行控制与维护

风电机组的运行控制与维护,对发电量具有重要影响。高效的控制系统,确保机组在不同风速条件下都能发挥最大效率,稳定的运行离不开这一系统的支持。风电机组的运行控制,涵盖了风速监测、叶片角度调节、转速控制以

及防风过载等方面,确保机组能够根据风速的变化,及时调整运行状态,从而维持最佳的发电效率。然而,风电机组,通常处于较为恶劣的工作环境,常年暴露在强风、沙尘、盐雾等自然因素的影响下,这要求对机组进行定期的检查与保养。风电机组的主要部件,如叶片、发电机、变速器等,在经过长时间运行后,可能会出现磨损或故障,从而影响发电能力。有效的运行维护,离不开监控系统的实时监测,通过数据分析,可以及时发现异常,避免设备故障导致的发电中断。

3 提高风电机组发电量的技术措施

3.1 叶片优化与空气动力学改进

叶片优化与空气动力学改进,是提升风电机组发电量的关键技术之一。作为风电机组的核心部件,叶片直接决定了风能的捕获效率与转化能力。通过对叶片设计的优化,机组在不同风速下的发电性能,可以显著得到提升。叶片的长度、形状、材料以及表面处理等多个因素,与机组的气动性能密切相关。延长叶片的长度,能够增加捕风面积,从而提升风能捕获量,但在此过程中,工程的可行性与成本控制需综合考虑。叶片的形状设计,亦至关重要。优化其弯曲度、翼型及翼端的设计,可以有效降低气流阻力,进而提高风轮的旋转效率。改进叶片表面光滑度以及涂层技术,有助于减少风速变化引起的湍流与摩擦损失,从而提升风能的转化效率。为了更精准地优化叶片设计,先进的计算流体力学(CFD)技术被采用,以模拟不同风速与风向下的气流行为,深入分析叶片的气动特性,从而优化设计参数,最大限度地提高风能捕获效率。

3.2 变桨控制与变速运行技术

变桨控制与变速运行技术,是提升风电机组发电量的关键技术手段。通过变桨控制技术,风轮叶片的角度可以调节,使其在不同风速条件下始终保持最佳工作状态,从而最大限度地提高机组的发电效率。在风速较低时,叶片角度被调整为较大,以捕捉更多的风能;而在风速较高时,叶片角度则适度减小,避免风轮超载或损坏,同时保持较高的发电效率。此技术,能够有效避免风速波动较大时机组功率波动的情况,从而增强机组的稳定性与发电量^[3]。变速运行技术,则使风电机组能够根据不同风速调整转速,确保发电机在最佳效率点运行。在低风速下,转速被提高,以增加能量捕获;而在风速较高时,转速适当降低,以防止风轮超速或过载,同时保证发电机的高效运行。

3.3 风能预测与智能调度

风能预测与智能调度技术,是提升风电机组发电量的有效手段。通过风能预测技术,气象数据和历史风能数据被分析,从而对未来一段时间内的风速与风向变化进行预测,为风电机组的运行提供精准的风力预报。这一技术,有助于风电场运营商提前掌握风能资源的波动情况,使得机组能够根据实际风速,调整运行模式,提升发电效率。

精准的风能预测,能有效避免因风速过低或过高,导致发电效率下降或设备损坏,同时减少因气候变化引起的功率波动,保持稳定的发电状态。智能调度技术,则通过实时监控风电场各机组的运行状态,结合风能预测数据,对机组的调度与运行进行自动优化。这项技术,能够根据风电场的整体风能资源以及各机组的发电能力,合理安排不同机组的启停时间与工作状态,从而实现资源的优化配置,避免机组间的功率冲突或无效运行。

3.4 并网适应性提升

提升风电机组的并网适应性,是增强其发电量的重要技术手段之一。在风电并网过程中,风能的波动性和不稳定性,常导致风电机组的输出功率出现较大波动,这对电网的稳定性及供电质量,提出了严峻的挑战。因此,提高风电机组的并网适应性,对提升其发电量以及确保电网稳定运行,至关重要。为此,风电机组需要具备较强的调节能力,以便在不同风速条件下,迅速响应并调整输出功率,满足电网的需求。现代风电机组,多采用变速运行技术,根据风速的变化灵活调整转速,既能够提升发电量,又能避免因过载或低速运行造成的发电损失。此外,风电机组的控制系统,需具备更高的智能化水平,能够在面对电网频率或电压波动时,自动调整运行策略,保持机组与电网的平衡,从而减少对电网的冲击。提升并网适应性,亦需要优化机组与电网之间的互动,确保风电机组能够满足电网对功率调节、频率调节等方面的要求。机组还需具备良好的无功功率补偿能力,以调节无功功率输出,从而支持电网电压的稳定。

3.5 运行维护与管理优化

优化风电机组的运行维护与管理,是提升其发电效率的关键措施之一。随着设备使用时间的增加以及环境条件的变化,风电机组的性能可能会下降或出现故障,从而影响发电能力。为了保障机组的高效运行,科学的维护与管理策略必须实施。定期检修与保养,是必不可少的环节,特别是对叶片、发电机、变速箱等关键部件进行检查,确保各项设备始终保持最佳工作状态。及时的维护,能够有效预防潜在故障,缩短停机时间,提升机组的整体可靠性。风电机组的智能监控系统,在实时监测设备运行状态方面,发挥着重要作用,可以迅速识别异常情况并发出预警。例如,监测温度、振动、压力等数据,能够帮助运维人员及时发现问题,避免因设备损坏而导致长时间停机。与此同时,数据分析技术的应用,可以进一步优化机组管理,通过分析历史运行数据,帮助识别机组性能变化趋势,提前

做出维护决策,从而减少小故障引发更大问题的风险。

3.6 经济性分析与政策支持

风电机组发电量的提升,不仅依赖于技术创新,还需要综合考虑经济性分析及政策支持。在风电项目的可持续发展中,经济性分析发挥着至关重要的作用。风电项目的初期投资,通常包括较高的建设费用,例如风机设备的采购、安装、土建工程以及相关配套设施的建设等。因此,进行全面的成本效益分析,预测项目的回报周期与投资回报率,对于确保项目的经济可行性,至关重要。通过科学的经济评估,项目的盈利潜力可以明确,资金的合理利用得到保障,并有效控制风险。运营成本,也对项目的盈利能力产生重大影响,定期的运维开销、技术更新以及设备更换等方面的费用,需要纳入经济分析的范围,帮助评估项目的长期经济效益。与此同时,政策支持,对于风电机组的发电量提升,同样起着关键作用。通过政策的支持,更多资金保障可以获得,融资压力得以减轻,融资成本降低,从而增强项目的市场竞争力。

4 结语

提升风电机组的发电量,是提高风力发电效益的关键途径。通过优化风机设计、改进运行控制技术、优化风电场布局以及提升并网适应性等措施,风电机组的发电效率,显著地能够得到提升。此外,随着智能调度技术与风能预测能力的不断进步,风电机组的整体性能,得到了显著增强。然而,在技术提升的同时,经济性分析与政策支持,同样至关重要,只有在这两个方面得到保障,风电项目的可持续发展与长远前景,才能够得以确保。展望未来,随着技术的不断突破,风电行业将面临更多的机遇,同时也将面对不断变化的挑战,唯有通过持续创新与优化,才能实现更高效且稳定的风力发电。

[参考文献]

- [1] 屈云岚.风电机组增功技术研究[J].机械制造,2025,63(2):6-8.
- [2] 王明军.提高风电机组发电量的措施[J].东方电气评论,2024,38(5):46-49.
- [3] 和军梁,冯斌.提高风电机组低风速段发电能力的研究[J].中国新技术新产品,2024(9):51-54.

作者简介:孟宏伟(1997.8—),毕业院校:菏泽学院,所学专业:机械电子工程,当前就职单位:国家能源集团国华投资山东分公司,职务:副主运检员,职称级别:助理工程师。

基于 BIM 技术的沙地光伏项目施工全过程管理

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]沙漠地区开展光伏项目,面临着设计方面情况复杂、施工所用周期较长以及资源配置存在诸多困难等诸多挑战。传统的施工管理方式很难对这些难题予以有效的应对,进而使得项目的进度出现延误状况,成本也出现了超支的情况。伴随着 BIM 技术逐步走向成熟,该技术具备的三维建模、数据集成以及智能化管理等方面的优势,在建筑以及基础设施相关领域都收获了颇为显著的成效。BIM 技术凭借着能够给予精准的数据支持、对设计加以优化、提高施工的效率以及达成多专业之间的协同合作等优势,有力地推动了项目在全过程当中的管理工作。在沙地光伏项目当中,BIM 不但成功解决了施工管理方面的诸多难题,而且还为行业迈向数字化转型以及实现可持续发展给予了相应的技术保障。对 BIM 在设计阶段、施工阶段、竣工阶段以及运维阶段的具体应用情况及其所产生的实际效果展开分析,以此给类似的项目提供一定的经验借鉴与参考依据。

[关键词]BIM 技术; 光伏项目; 全过程管理

DOI: 10.33142/hst.v8i6.16901

中图分类号: TS612

文献标识码: A

Construction Process Management of Sand Photovoltaic Projects Based on BIM Technology

WEN Guanghui

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

Abstract: Photovoltaic projects in desert areas face many challenges, such as complex design, long construction cycles, and difficulties in resource allocation. Traditional construction management methods are difficult to effectively address these challenges, resulting in project delays and cost overruns. With the gradual maturity of BIM technology, its advantages in 3D modeling, data integration, and intelligent management have achieved significant results in the fields of architecture and infrastructure. BIM technology, with its ability to provide accurate data support, optimize design, improve construction efficiency, and achieve collaborative cooperation among multiple disciplines, has effectively promoted project management throughout the entire process. In the Saudi photovoltaic project, BIM not only successfully solved many difficulties in construction management, but also provided corresponding technical support for the industry to move towards digital transformation and achieve sustainable development. The article analyzes the specific application and actual effects of BIM in the design, construction, completion, and operation stages, in order to provide some experience and reference for similar projects.

Keywords: BIM technology; photovoltaic projects; whole process management

引言

随着全球能源转型不断推进,光伏发电作为可再生能源重要部分,获得广泛关注。沙漠地区因有丰富太阳能资源,是光伏项目理想选址之地。不过,沙地环境存在极端气候、复杂地质以及风沙等诸多因素,这给施工及管理带来很大挑战。建筑信息模型(BIM)技术属于先进的数字化管理工具,依靠它在设计、施工以及运营阶段所具备的优势,已逐步应用于光伏项目全流程管理当中。深入探讨 BIM 技术在沙地光伏项目里的应用情况,能为项目管理给出新的思路,同时借助实践案例展现其在提高效能、降低风险以及优化资源配置方面所具有的独特价值。

1 BIM 技术的工作原理

BIM 技术是科技时代发展的产物,具有较强的先进性和智能性优势,在我国建筑产业中,BIM 技术的应用下,传统的人力管理的方法被取代,提高了建筑工程管理的规范性、便捷性,有效的分类了大量的数据信息,在需要应用到

某部分的数据信息时,可以实时地进行数据的提取,降低了工作的失误风险,提高了工作的效率。在进行工程建设之前,可以利用 BIM 技术进行三维模拟活动,在前期的准备环节,模拟出建设过程中的各种信息,通过对所得信息的分析、加工和处理,可以在信息资源的支持下,对整个工程项目的过程进行调整和管控,建立起 BIM 模型,也就是构建建筑信息模型,其中囊括了建筑材料信息数据和物理特征,构建起完整的数据库,为建筑项目的参与者提供支持。在 BIM 数据模型中各部分的参数信息之间,有着密切的逻辑关系,并非独立的信息,虚拟的数字相互连接,构建起了系统的建筑信息网络。此外,BIM 技术还具备动态更新和多专业协同的特性,能够在项目推进过程中持续整合各阶段的信息变化,实现从设计、施工到运维的全流程数据贯通与管理支持。

2 BIM 技术在沙地光伏项目中的作用分析

2.1 提升沙地环境下的设计适应性与施工可行性

沙地环境呈现出地形起伏程度大、地质较为松散以及

风沙出现频率高等复杂的自然状况,这对光伏电站的选址设计以及施工实施都提出了相当高的要求。传统的设计手段通常很难完整且准确地呈现出地貌的具体特征以及环境的动态变化情况,如此一来便容易致使设计方案和实际场地之间存在出入,进而给施工带来了难度,同时也为工程变更埋下了隐患。BIM 技术凭借引入激光扫描、无人机测绘等一系列手段,能够精准地获取到沙地的三维地形数据,进而构建起高度还原的地理信息模型,这就使得设计方案可以在模拟的环境当中充分地验证地基的稳定性、光照遮蔽的关系以及构件布设的合理性,由此提升设计对于实际环境的适应性以及最终落地的可能性。与此依靠 BIM 所具备的参数化建模能力,可以快速地对组件倾角、支架形式以及布线路径做出调整,以此实现与复杂地形的灵活适配,大幅度地降低了工程在前期阶段的试错成本。从施工可行性这个角度来看, BIM 模型能够支持构件的预拼装以及安装路径的动态模拟,让施工组织变得更加科学合理,物资调配也更为高效,从而为项目在恶劣的沙地条件下顺利推进给予了技术层面的有力保障。

2.2 实现多专业协同与施工阶段动态管控

沙地光伏项目涵盖土建、电气、结构、通信等诸多专业系统,在项目实施进程中,往往由于信息孤岛以及协同滞后的状况,致使出现设计冲突、资源浪费以及施工延误等问题。BIM 技术借助构建统一的数据平台,达成多专业模型的集成与协调,突破传统那种“各自为政”的作业模式,让各专业在初期便能够实现深度的信息共享与碰撞检查,提前对潜在冲突点予以识别并加以消除,从源头处提升施工效率以及质量控制的水准。在施工阶段, BIM 模型能够动态关联工程进度计划(4D)以及成本管理(5D),针对施工节点、资源配置还有施工工序展开可视化的排布以及动态的调整,给予全过程实时监控与问题快速响应的支持,保证项目能够在复杂的沙地环境下达成精细化且高效的管理。除此之外, BIM 还能够与传感设备、物联网平台联动起来,实现对关键构件安装精度、环境变化等实时数据的反馈以及决策支持,进一步提高工程管理的科学性与智能化的程度。

3 基于 BIM 技术的沙地光伏项目施工全过程管理实践

3.1 BIM 主导下的全过程管理架构

在沙地光伏项目当中, BIM 技术可不仅仅是一款单纯的建模工具,它实际上还是贯穿整个项目全生命周期的信息管理平台,其最为关键的作用就在于借助数字化以及智能化的相关手段,达成全过程、全方位的协同管理目标。BIM 所主导的全过程管理架构是以信息流、资金流还有工作流作为基础,进而形成一个集成化的数字化管理体系。起初在项目刚开始的时候, BIM 模型能够给项目的规划以及设计阶段给予极为精准的可视化方面的支持,凭借三

维模拟以及数据分析的操作,实现对设计方案加以优化以及对风险进行预先控制的目的。到了施工阶段, BIM 不但与进度计划也就是 4D 关联起来,而且和成本控制即 5D 有所关联,并且还通过动态监控以及实时数据反馈的方式,保证施工过程能够精准地执行下去,同时也能让资源得以高效地调配。项目竣工之后, BIM 模型依旧会为运维管理提供相应的服务,进而成为项目全生命周期管理的数字化方面的有力支撑。整个架构着重强调跨专业以及跨部门的信息共享以及协同合作,每一个阶段当中的数据流转以及决策依据都是依靠统一的 BIM 平台来完成的,以此确保在项目执行过程当中有着高度的透明性以及信息的一致性。

3.2 BIM 在前期勘察与设计阶段的实践应用

在沙地光伏项目开展前期的勘察以及设计环节当中, BIM 技术有着极为关键的作用,其助力项目团队于复杂的自然环境状况下拟定出既精准又具备可行性的设计方案。BIM 同地理信息系统(GIS)、激光扫描、无人机测绘等一系列技术相融合之后,便能够精准地获取到沙地的地形地貌方面的情况、土壤所具有的特性以及气候条件等方面的诸多基础数据,并且由此构建起较为详尽完备的三维地理信息模型^[1]。这个模型一方面给项目设计给予了精确的基础数据方面的有力支撑,另一方面还借助在虚拟环境里对不同场景所产生的影响展开模拟的方式,去评估设计方案在实际施工进程当中的可行性情况,同时还能识别出潜在存在的地质风险以及环境方面的挑战。在设计阶段, BIM 模型具备集成化这一特性,这促使各专业的设计人员可于同一平台展开实时协同操作,如此一来便能够防止设计冲突以及信息孤岛等情况的发生。借助建立详尽的建筑信息数据库, BIM 技术让各项设计参数,像是光伏组件的具体选择情况、支架的布局安排、接入电网的方式等,都能够依据沙地特有的环境条件来加以优化,进而保证设计方案能在最大程度上契合沙地的风沙状况、温差情况以及日照特点等等。除此之外, BIM 所具有的可视化功能助力项目团队提前预估施工过程中有可能会出现的各种问题,从而开展动态的调整工作,以此降低后期出现返工以及修改的概率,最终提升整体的设计质量以及项目的可控程度。

3.3 BIM 在施工组织与资源协调中的具体实践

在沙地光伏项目的施工期间, BIM 技术于施工组织以及资源协调方面的运用,切实提高了项目管理的效率与精确度。凭借 BIM 模型,项目团队可针对整个施工流程展开全方面的数字化规划与模拟操作,清晰明确各个施工环节的具体时间节点、工序安排情况以及资源需求状况。依据 4D 进度管理方式,施工人员能够在虚拟模型里预先查看各项工序的执行情形以及施工进度状态,以此确保各项任务能够按时完成并且彼此间有效衔接起来,防止在施

工过程中出现时间方面的浪费以及重复的操作情况。就资源协调来讲, BIM 把建筑材料、设备以及人力资源的数据整合起来,助力项目团队随时知晓各类资源的供应状况以及使用情形。经过系统化的资源管理,项目里材料的采购事宜、运输流程、储存环节以及施工现场的物资调配都更为精准了,也降低了物资出现滞留以及浪费的情况。特别是在沙地这样的特殊环境之下,运输路线以及施工现场的物资管理会更加复杂一些, BIM 技术和物联网设备相结合之后,能够实时对物资流向予以追踪,还能自动对资源分配做出调整,进而优化施工现场的物流路径。BIM 还具备动态的冲突检测以及协调方面的功能。于施工进度之中,虚拟模型会针对建筑结构、电气设备、集电线路走向等诸多专业的相关信息展开自动化的比对操作,以此来识别出潜在存在的设计冲突,并且会及时告知相关部门去做出相应的调整,进而防止出现因设计环节出错或者施工安排不妥当而引发的返工情况以及工期延误等问题。这样的一种协同管理方式,在提升施工组织的工作效率之际,还颇为有效地降低了项目在执行过程当中所面临的风险,从而保证了沙地光伏项目可以处在高效且安全的环境当中顺利地向前推进。

3.4 BIM 在施工阶段的智能监控与动态调整

在沙地光伏项目的施工进度里, BIM 技术给项目管理带来了可视化的设计助力,并且凭借智能监控以及动态调整达成了对施工过程的精准把控与实时改良。依靠 BIM 平台同物联网技术的结合,项目管理人员能够在施工现场借助传感器以及智能设备实时搜集关键数据,像是温湿度、风速、光照强度这类环境因素,还有结构、设备的运转状况。这些数据会即时反馈至 BIM 模型当中,形成和实际施工进度相契合的动态信息流,保证每一个环节的进度、质量与安全均处于监控范围之内^[2]。BIM 模型同进度管理系统也就是 4D 以及成本控制系统即 5D 紧密结合起来,如此一来,项目团队便可以根据施工现场反馈回来的实际状况去开展及时且动态的调整工作。要是施工进度出现滞后的状况或者资源配置不太妥当的时候, BIM 系统就会自动产生出调整方面的建议,以此来引导项目经理能够在最短的时间内做出相应的决策,从而防止工期出现延误以及成本发生超支的情况。就好比说,在遭遇沙地环境所特有的气候变化这一情况时, BIM 技术能够借助模拟不同天气条件给施工进度所带来的影响这种方式,去预估施工过程中有可能会出现的延误情况,并且提前做好调整准备,进而保证工程可以顺利地向前推进下去。借助这些智能监控以及动态调整方面的功能, BIM 一方面优化了施工过程中资源的调配情况,另一方面也提升了施工环节里的灵活应对能力。在沙地这种复杂的环境所施加的诸多约束之下, BIM 给项目带来了实时的决策参考依据,进而让施

工管理具备了更强的科学性与前瞻性,最终切实有效地确保了项目能够高效且高质量地得以完成。

3.5 BIM 在竣工交付与运维准备中的应用拓展

在沙地光伏项目完成建设准备交付以及开展运维准备工作期间, BIM 技术的应用一方面优化了施工阶段的管理工作,另一方面也给项目的后续运维打下了稳固的数字化根基。凭借 BIM 模型,项目团队可以针对光伏设施的竣工状况展开详尽的数字化检查,保证所有的建筑以及设备的构建都契合设计标准以及相关规范要求。BIM 模型将从设计环节一直到施工阶段的所有数据信息进行了整合,像材料规格、设备型号、安装位置等等这些信息都涵盖其中,它给竣工验收给予了精准的参考依据,让验收的过程变得更加高效且透明,避免了传统验收流程当中有可能会出现的疏漏以及错误情况。在运维准备阶段, BIM 技术发挥着极为显著的作用^[3]。凭借 BIM 所构建的建筑信息数据库,运维团队得以获取完整的设备生命周期相关数据,像设备安装的具体时间、维护方面的记录以及故障发生的历史信息等都涵盖其中,这无疑大幅提升了运维工作的效率,并且增强了其准确性。特别是在沙地这样的环境之下,设备极易受到严苛气候以及风沙等因素的影响,在这种情形下, BIM 模型里的运维数据便能让运维人员精准地把控各类设备的维护周期,进而制定出更为科学合理的检修计划。

4 结语

基于 BIM 技术展开的沙地光伏项目施工全过程管理,一方面提升了设计的适应性、施工的可行性以及专业的协同程度,另一方面借助智能监控以及动态调整的方式对施工过程予以了优化,在竣工交付及运维阶段, BIM 技术给设备管理带来了精准的数据支撑,保障了项目能够顺利实现过渡并达成长期稳定的运行状态。随着 BIM 技术的应用不断走向深入,其会进一步促使建筑行业朝着高效、绿色、智能的方向去发展,进而成为未来项目管理当中极为关键的核心驱动力量。

【参考文献】

- [1]李正焜,叶飞,李尚.基于 BIM5D 技术的工程项目全过程管理研究[J].浙江水利水电学院学报,2020,32(6):53-58.
- [2]张元海,段佩怡,李沐林.基于光伏建设运营全过程的 BIM 技术应用[J].广东水利水电,2021(10):91-96.
- [3]于丹平.基于 BIM 技术的建筑施工全过程管理优化分析[J].城市建筑空间,2024,31(1):198-199.

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。

能源动力系统事故隐患排查与电力安全管理机制研究

何 军

江苏国信淮安第二燃气发电有限责任公司, 江苏 淮安 223001

[摘要]能源动力系统在现代社会的运行当中占据着极为重要的支撑地位,其能否安全且稳定地运行,这直接和国家能源安全以及社会经济的持续发展有着紧密的关联。就能源动力系统事故隐患的成因以及所具有的特征而言,全面且细致地梳理了当下用于隐患排查的各项技术手段以及相应的流程,同时也对电力安全管理机制在制度化方面的建设情况以及智能化的发展走向展开了颇为深入的探讨。还构建起了一套以法律规范、企业责任以及培训监督作为核心内容的安全管理机制。此研究的目的在于为构建起具有多层级特点、涵盖全流程环节并且带有智能化属性的电力安全管理体系给予理论层面的有力支撑以及实践操作的具体路径。

[关键词]能源动力系统; 事故隐患排查; 电力安全管理

DOI: 10.33142/hst.v8i6.16897

中图分类号: TD76

文献标识码: A

Research on Hazard Investigation of Energy Power System Accidents and Power Safety Management Mechanism

HE Jun

Jiangsu Guoxin Huai'an Second Gas Power Generation Co., Ltd., Huai'an, Jiangsu, 223001, China

Abstract: Energy power systems play an extremely important supporting role in the operation of modern society. Whether they can operate safely and stably is closely related to national energy security and the sustainable development of the social economy. In terms of the causes and characteristics of hidden dangers in energy and power system accidents, a comprehensive and detailed review of various technical means and corresponding processes used for hidden danger investigation has been conducted. At the same time, a deep exploration has been carried out on the institutionalization of power safety management mechanisms and the development direction of intelligence. We have also established a safety management mechanism with legal norms, corporate responsibility, and training supervision as its core content. The purpose of this study is to provide strong theoretical support and specific practical paths for the construction of a multi-level power safety management system that covers the entire process and has intelligent attributes.

Keywords: energy power system; accident hazard investigation; electricity safety management

引言

随着能源结构发生转型以及技术不断发展,能源动力系统的运行环境变得越来越复杂,设备种类也有所增加,运行负荷也在提高,这就使得系统在运行过程中面临更多的不确定因素和安全风险。传统的用于预防事故以及开展安全管理的手段,已经很难对现代能源系统所面临的各种隐患进行全面覆盖。所以,要提高事故隐患排查的科学性和系统性,构建起健全的电力安全管理机制,这是保证能源动力系统能够安全运行的重要关键点。从对事故隐患展开分析开始,慢慢将范围拓展至排查技术的研究以及管理机制的建设方面,最后去探讨在智能化这样的大背景之下的未来发展走向,希望能够提升我国能源系统在安全管理方面的水平。

1 能源动力系统事故隐患分析

1.1 系统运行特点与关键部位

能源动力系统有着结构颇为复杂、运行连续性较强以及能量转换效率较高的特性,其包含发电、输电、配电还有用电等诸多环节,各个环节彼此间有着极为紧密的关联,任何一个节点出现故障都有可能引发系统层面的连锁反

应。就发电侧来讲,燃料供应环节、电机设备方面以及冷却系统等都属于高频事故隐患的源头所在;在输电环节当中,则存在着导线出现老化情况、塔架发生倒伏状况以及遭受外力破坏等一系列问题;而配电环节以及用电环节,往往会受到环境方面的因素影响,还容易出现设备接触不好的情况,并且也常会受到超负荷运行所带来的影响。特别是在新能源并网以及能源互联网建设一直不断向前推进这样的大背景之下,系统里分布式能源节点不断增加,再加上电力潮流呈现出多向性的特点,这无疑使得对事故隐患进行排查的难度又进一步提高了。

1.2 常见事故类型与成因

能源动力系统里常见的事故类型有设备故障所引发的停电事故、线路短路致使区域电网陷入瘫痪、控制系统失灵造成的供电中断以及自然灾害致使基础设施遭受破坏等情况。其成因主要聚焦于如下几个方面:其一,设备老化并且维护工作不到位,使得关键设备在处于高负荷运行状态时出现故障;其二,人员操作不妥当或者存在违章作业行为,致使系统产生突发性的风险;其三,自然环境

方面的影响,像雷击、洪水、冰冻这类自然灾害对输电设施造成了破坏;其四,系统设计本身就存在着缺陷,比如冗余性不够、保护机制的响应速度滞后等。这些因素相互交织在一起,形成了呈现出多层次、多源头特点的隐患结构,对隐患排查以及管理工作提出了更高的要求。

2 事故隐患排查方法与技术研究

2.1 排查基本原则与流程

隐患排查工作遵循的基本原则涵盖了全面性、科学性、可追溯性以及闭环管理这几个方面。其中,全面性这一原则要求将各类设备以及运行环节都涵盖进去;科学性原则要求根据设备运行的相关参数、所处的环境条件还有历史数据来展开系统的分析;可追溯性原则要保证每一处隐患的源头、处理的过程以及整改的效果都能够被记录下来并且可以进行核查;而闭环管理原则着重于从发现问题一直到整改完成的整个过程都要加以控制。在具体流程方面,隐患排查一般会包含如下环节:前期的准备工作以及任务的分配、现场的检查以及数据的采集、问题的识别以及风险的评估、整改措施的制定以及执行、整改后的复查以及效果的评价等等。在整个排查的过程中,需要多个部门协同配合起来,技术方面的支持和制度方面的约束同等重要,以此来提高排查的效率以及效果。

2.2 智能监测与预警技术

智能监测技术利用传感器、物联网以及边缘计算等方式,达成对能源动力系统关键节点运行状况的实时察觉以及远程操控。持续且细致地监测设备的温度、电流、电压还有振动等一系列参数,如此一来便能够提前察觉到运行时出现的异常情况,进而实现故障预警的功能。预警技术是以历史数据和算法模型作为基础,针对潜在故障的发展走向展开分析并且做出预测,以此提升系统响应的主动性。当下运用得比较多的技术手段涵盖了基于 AI 的故障诊断、依托大数据的风险建模以及凭借机器学习所开展的趋势识别等等。这些技术一方面提升了排查工作的自动化程度以及智能化水准,另一方面还大幅削减了人工巡检方面的成本以及误判的概率。

2.3 数据融合与风险识别

在能源动力系统当中,数据来源颇为广泛并且存在异构情况,像设备运行方面的数据、环境监测所获取的数据、运维记录以及视频监控相关的资料等等均包含其中。要实现多源数据的融合处理,这是提升隐患识别准确性极为关键的一环。通过去构建一个统一的数据平台,针对各类数据展开标准化处理工作并达成实时交互的状态,如此便能够实现对系统状态的全面感知。与此凭借数据挖掘以及风险建模技术,可以从海量的数据里面识别出潜在的风险模式还有那些关键的影响因子,进而达成更有针对性的隐患识别以及管理工作。数据驱动的风险识别模式,对于打破传统的经验依赖是有帮助的,能够促使预测性、主动性的安全管理得以实现。

2.4 排查机制建设与优化

在隐患排查机制建设应当秉持制度先行以及技术支持相互融合的原则。从一个层面来讲,要去制定统一的排查标准以及操作规程,把排查责任和时限予以明确,建立起考核与奖惩方面的机制,以此来强化管理所具有的制度性特点以及执行的力度。从另一个层面来讲,要结合信息技术来构建起可视化的排查平台,达成任务调度、进度跟踪、问题反馈与处理形成闭环的效果。机制的优化还需要进一步强化跨部门的协调机制,构建起由企业主导、政府负责监管、社会积极参与的协同排查体系。因此要把隐患排查工作推进到企业常态化的管理流程当中,设立专门的组织以及岗位,提高隐患治理能力在专业化以及常态化方面的水准。

3 电力安全管理机制与制度建设

3.1 相关法规与标准体系

电力安全管理要顺利开展,得依靠完备的法律法规以及标准体系。当下,我国已经构建起比较完整的电力法律框架体系,像《电力法》《安全生产法》《能源法(草案)》等都在其中,还配套发布了数量众多的技术标准与操作规范,比如《电力设施防护条例》《电网安全运行规程》《调度规程》等等。这些法律法规和标准给企业安全管理给出了制度方面的依据,同时也为监管部门开展执法检查提供了参考的标准。不过,部分标准存在着更新滞后、适用性不够等问题。所以,得依照能源结构的变化以及新技术的发展情况,积极推动标准进行动态修订,以此来强化其前瞻性和适应性。

3.2 企业安全职责与组织体系

企业作为电力安全管理方面首要的责任担当主体,有必要去构建起一套清晰明了的责任分工体系,与此同时还要搭建起一个能够高效运作的组织管理架构。就组织体系来讲,应当专门设立负责安全事务的管理部门,并且要为其配备具备专业知识的人员,要清楚明确地界定出各个岗位所对应的安全职责,进而打造出一个能够实现“横向到边、纵向到底”这样无死角覆盖的责任网络。从管理机制这个层面来看,需要去推行安全生产目标责任制,另外安全风险分级管控机制以及隐患排查治理制度也都应当积极推行,务必将安全管理的相关事宜切实纳入到企业所制定的战略层面当中来。除此之外,还得进一步强化领导层面的责任意识以及员工参与其中的自觉意识,建立起一套以绩效考核作为导向指向的安全激励机制,从而营造出一种全员都能够积极参与进来、共同携手加以管控的安全管理良好氛围。

3.3 安全培训与应急管理

系统且规范的安全培训机制,乃是提升员工安全意识以及应急能力的根本所在。应当构建起涵盖不同岗位并且分层分类的培训体系,按时开展安全方面的教育活动、实操演练以及事故应急预案相关培训,以此来强化员工针对突发事件的应对能力。在应急管理这块,需要建立起完备的应急响应体系,这包含应急组织架构、响应流程、资源

调配机制以及应急演练制度等诸多方面。尤其是在多能源系统和交直流混合电网变得愈发复杂的这种大背景之下,应急预案得持续不断地进行修订,并且要开展动态演练,从而保证其具备针对性以及可操作性,切实达成“快速响应、有序处置、协同高效”这样的应急目标。

3.4 多能源条件下的安全控制

随着可再生能源并网规模的不断增大,能源动力系统逐渐呈现出多能源协同运作、多种形式相互转化以及多路径进行传输的特点,这便对安全控制提出了更高的要求。在多能源协同方面,不同能源形式像风电、光伏、储能等存在输出不够稳定以及控制策略差异较大的情况,这就需要依靠先进的能量管理系统来加以统一调控。在多形式转化以及多路径传输方面,交直流混合系统、电力电子设备得到广泛应用,使得控制系统的复杂性与脆弱性有所增加。所以,应当通过构建统一控制平台,将先进传感技术与控制算法相互融合起来,以此达成多能源系统的协调控制与风险隔离,从根源处降低安全事故发生的可能性。

4 智能化电力安全管理发展趋势与对策建议

4.1 智能电网与系统集成

智能电网乃是未来电力系统发展的重要核心方向,其关键之处就在于达成电力流、信息流以及业务流的高度融合。在实际操作层面,借助引入自动化调度系统、智能终端设备还有分布式控制架构等方式,便能够达成对电力系统各个不同环节的实时感知状态、快速做出响应以及自主展开优化调整的目的。这样的一种系统集成方式,一方面切实提高了运行方面的效率,另一方面也为安全管理工作带来了全新的着力点。在未来的发展进程中,应当持续推动智能电网和传统安全管理体系相互融合,进而构建起贯穿规划、建设、运行以及维护整个全生命周期的智能化安全管理框架,以此来实现对各类隐患做到“早发现、快处理、全记录”的良好效果。

4.2 AI与大数据在安全管理中的应用

人工智能以及大数据技术的引入,给电力安全管理带来了强有力的支撑。人工智能能够用于故障识别方面,还能用于风险预测、趋势分析以及辅助决策等工作,而大数据通过对历史事件、运行参数、气象环境等数据展开深度挖掘,从中发现潜在的风险规律。比如,构建起基于深度学习的事故识别模型之后,便可以达成针对系统异常的高精度预警效果;借助数据关联分析,也能够识别出系统的薄弱环节以及关键设备所在。在未来应当积极推动建立起统一的数据中心与智能决策平台,以此来实现数据驱动之下的闭环安全管理,进而提升管理所具备的科学性以及实时性。

4.3 管理系统现代化路径

达成电力安全管理系统向现代化转型这一目标,需在

理念、手段以及组织层面一同推进相关事宜。就理念方面而言,要从原本的“事故应对型”转变成“风险预控型”,着重突出前瞻性的考量以及主动开展防御的意识。在手段层面,得推动人工管理朝着信息化、智能化的方向去转型,进一步强化系统所具备的联动特性以及集成方面的属性。从组织层面来讲,需要对管理架构以及职责边界加以重构,进而达成管理流程的再造目的以及实现资源的高效配置状态。借助推动信息化平台、智能感知系统以及自动化运维体系的建设工作,一步步地实现安全管理呈现出数字化、平台化以及生态化的态势。

4.4 建立长效安全管理机制

建立电力安全的长效机制,是实现安全管理可持续发展的根本保障。长效机制应涵盖制度保障机制、技术支撑体系、人才培养体系以及评估反馈机制。在制度层面,需借助立法、标准制定以及监管机制的完善,以此形成刚性约束。从技术角度来讲,应当构建一个基于信息化和智能化的支撑平台。就人才而言,要通过多层次的培训体系以及技术人才梯队的建设,来保障管理能力能够持续得到提升。在评估方面,需要建立起动态风险评估以及持续改进机制,从而确保安全管理始终处于不断优化状态。多方协同合作、机制相互联动,这是实现电力安全“制度化、标准化、智能化”的关键途径。

5 结语

随着能源系统变得越来越复杂且更加智能化起来,事故隐患的排查以及电力安全管理工作面临着全新的挑战以及可把握的机遇。此项研究着重围绕隐患所呈现出的各类特征、能够运用到的技术手段、现有的管理机制还有未来的发展趋势等方面展开较为系统的剖析,并且还给出了将制度建设同智能技术相互融合起来的综合解决办法。在往后的日子里,需要进一步强化政策方面的引导作用以及技术层面的协同配合程度,以此来促使构建起一个统一且高效的智能安全管理体系,从而切实提升我国能源动力系统在运行过程中的安全水平以及风险防控的能力,进而为能源的顺利转型以及社会的稳定发展给予稳固有力的保障。

【参考文献】

- [1]孟子尧.轻型固定翼无人机双能源动力系统设计与管理策略研究[D].吉林:吉林大学,2024.
 - [2]高创造,郝晨戌,王玥瑶.能源动力管理模式创新分析[J].低碳世界,2023,13(2):124-126.
 - [3]王焕涛,周念,陈俊彦.基于时序数据库的氢能源动力监测系统的设计[J].电子技术与软件工程,2021(16):174-175.
- 作者简介:何军(1979.4—),单位:江苏国信淮安第二燃气发电有限责任公司,毕业学校:江苏南京工程学院热能动力专业。

关于风电 EPC 新能源总承包项目管理的探讨

刘禹轩

新华龙源（徐闻）新能源有限公司，广东 湛江 524000

[摘要]随着全球能源结构向绿色低碳转型，EPC 工程总承包模式因其集成化、高效化的管理优势，本篇文章结合实际案例提出项目管理的优化策略，旨在为新能源领域 EPC 模式的规范化与标准化提供参考。

[关键词]新能源；EPC；项目管理

DOI: 10.33142/hst.v8i6.16892

中图分类号: TU4

文献标识码: A

Discussion on the Management of Wind Power EPC New Energy General Contracting Projects

LIU Yuxuan

Xinhua Longyuan (Xuwen) New Energy Co., Ltd., Zhanjiang, Guangdong, 524000, China

Abstract: With the global energy structure shifting towards green and low-carbon, the EPC engineering general contracting model, due to its integrated and efficient management advantages, this article proposes optimization strategies for project management based on practical cases, aiming to provide reference for the standardization and normalization of EPC models in the field of new energy.

Keywords: new energy; EPC; project management

引言

在“双碳”目标背景下，风电等新能源产业迎来快速发展期，EPC 总承包模式可以整合设计、采购、施工环节，因此本文结合相关问题提出对应的解决策略，希望能够对相关企及个人有所帮助和启发。

1 工程概况

新能源集团计划在风力资源丰富的沿海地区建设 200MW 风电场，要求 EPC 总承包商负责设计、采购、施工、调试及并网全流程，工期 18 个月，质量目标为国家优质工程奖。由于项目所选择的场址涉及到山地、农田，部分区域地质松软，并且需要在台风季节来临前完成基础施工，使得该项目管理相对比较混乱；该新能源集团在综合分析问题后，决定对项目管理工作进行优化、升级，希望在预定工期前能够完成全容量并网。

2 风电 EPC 新能源总承包项目管理的现状分析

2.1 组织管理体系尚未实现规范化运作

该风电 PC 总承包项目在初始阶段有着管理体系不完善的情况，致使项目执行效率不高，无法充分呈现 EPC 模式“设计-采购-施工”一体化的长处，这种传统的风电 EPC 总承包项目一般是施工单位牵头联合设计单位构成联合体，然而实际管理依旧采用粗放式方式，因为设计、采购以及施工分别由不同法人单位负责，各个环节缺少有效协同，出现设计优化不够、采购与施工脱节、变更频繁等问题，设计单位没有充分考量施工可行性，施工单位在实施进程中又难以迅速调整，最终对工程进度和成本控制产生影响。另外由设计单位牵头组建联合体，管理重心大多时候偏向设计和采购环节，却忽视现场施工管理，鉴于

设计单位一般缺乏施工管理经验，对现场施工队伍建设、施工工艺优化以及安全质量管控等关键环节关注度不够，EPC 总承包单位在项目管理方面缺乏科学的内控机制和信息化管理手段，难以达成精细化、标准化管理，导致施工进度滞后、成本超支等问题屡屡发生。

2.2 物资采购受市场波动影响显著

近年来我国风电新能源电力工程数量快速增多规模不断扩大，风电 EPC 总承包项目的设备与材料采购管理面临变得日益复杂的内外部环境挑战，风电行业供应链还未完全成熟，风电机组塔筒叶片机舱等核心部件供应商产能有限，风电 EPC 项目工期一般紧张，造成供需矛盾突出，比如在抢装潮期间，部分项目因主机厂排产紧张，设备交付周期变长，不能契合现场施工需求，使得施工队伍窝工、大型吊装设备闲置，造成直接成本增加，还会因工期延误面临业主罚款。在该海上风电项目里，供应链风险更明显，以 66 千伏海底光电复合缆来说，其生产涉及绝缘材料和铠装钢丝等进口材料，一旦国际局势紧张或者贸易政策变动，就会致使关键配件延迟交付，甚至面临断供风险，因为海缆敷设依赖专用施工船舶，若材料没有按期到货，会使船机设备租赁成本增加，还容易因窗口期限制被迫调整施工方案，提高项目成本^[1]。

2.3 合同履行过程缺乏动态监控

在风电 EPC 总承包项目开展进程中，即便合同已然签订，然而各参建方依旧呈现出“各自为政”的状况，并未切实构建起一体化的项目管理体系，因欠缺统一的总承包项目管理组织机构，在合同执行阶段未配置专业团队全程跟踪，使得合同条款落实不彻底、责任边界模糊，甚至

出现设计、采购、施工环节相互脱节的情形。比如部分项目在合同履行期间,设计变更未及时与施工方以及采购方协调,致使设备参数不匹配或者施工方案调整滞后,对整体进度和成本控制产生影响,该风电 EPC 项目的前期工作深度欠缺,加重了合同执行的不确定性,其在可行性研究报告或者初步设计获批后便匆忙招标,致使设计方案较为粗放,建设环境调查不够全面。

3 风电 EPC 新能源总承包项目管理的优化路径

3.1 建立健全管理机制

3.1.1 成立总承包项目管理组织机构

在风电项目正式立项后,一些重点工程往往会表现出投资规模大、工艺技术复杂、项目执行周期长、工程量较大等突出特点,对此工程总承包单位必须依据现代企业管理的标准规范,构建一套层次分明、科学规范的 EPC 总承包管理机制,成立专门的风电 EPC 总承包项目部对项目实施的全过程进行严格管控,并且将工程实际情况与具体需求结合起来组建“六部一室”的专业职能体系,其中合同管理部负责全过程合同履约与风险管控;工程管理部统筹施工组织与进度控制;设计管理部协调设计与施工的深度融合;安全环保部构建 HSE 管理体系;前期协调部处理征地拆迁等前期工作;技术质量部把控关键技术标准与施工质量;综合办公室提供行政后勤保障。对于规模特别大或技术难度高的风电项目,还需要额外设置由总承包单位分管领导直接负责的专家协调组,将各领域资深专家集结起来为项目提供技术支持和决策咨询,确保项目高质量推进。

3.1.2 明确项目管理职责

对于风电 EPC 总承包工程来讲,项目负责人(项目经理)占据着核心管理者的地位,在整个项目的施工过程中应承担起全面领导责任,并依照相应规范要求履行好最终决策权,对设计、采购、施工等各环节工作要进行系统化安排,使各环节能够顺畅衔接,凭借协同配合一起发挥效能,由此建立起高效的项目管理体系。具体而言,项目经理需要带头开展项目总体实施计划的编制工作,建立健全项目管理组织机构,科学配置各类资源并适时将其调配至最需要的施工环节;全面把控项目设计优化、设备采购、施工组织等关键环节;通过动态监控和更细致的管理,确保工程质量、安全生产、环境保护(HSE)、成本控制和进度目标的高效实现;同时作为总承包合同的直接履行人,要严格依法依约履行合同义务,妥善处理合同变更、工程索赔等重要商务事项,维护企业的合法权益。此外,项目经理还需积极寻求与业主、监理、分包单位等多方的沟通、协调,一旦识别出项目实施过程中存在问题或是潜在风险就要及时采取有效措施进行处理,避免阻碍项目的实施进程。

3.2 抓牢设备及材料采购管理

在风电 EPC 总承包项目中,要想推进工程顺利实施

就必须要对设备及材料的采购管理工作给予足够的重视程度,总承包单位必须严格按照合同约定组织采购工作,确保所有设备材料的规格型号、技术参数、质量标准等与施工所需的规定与要求相契合,同时满足工程施工、调试和运行的各项需求。在采购过程中,首先要根据项目总体进度计划制定更加细致、全面的采购计划,对于关键设备材料的生产周期要有切实了解,确保各种设备与材料能够按时、按需稳定供应,最大化降低因供货延迟而导致各项作业不能顺利开展等不良现象发生的可能性。对于发包人有特殊要求的设备和材料,必须严格按照其指定的品牌和厂家进行采购,在采购前需要将供应商的生产资质、技术能力、质量管理体系等多方面因素整合到一起进行综合考量并做出科学的评估,在有需要的情况下可派驻专业监造人员实施驻厂监造,确保设备制造全过程都处在实时监督与跟踪下,为最终的生产质量提供保障。在风电项目中,设备材料采购成本占比较高,总承包单位要建立科学的采购成本控制体系,一方面要深入市场进行全面调研,了解价格的上下浮动区间,将集中采购、战略合作等方式结合使用来降低采购成本;另一方面要建立严格的供应商评审机制,实行“货比三家”的比选原则,要将价格、质量、交货周期等因素都纳入到考量范畴当中,从而选出综合能力更为优异的供应商。在材料设备正式进场后就需要启动严格的质量检验程序,对其相关证件要进行全面检查并从中抽出一定数量的样品进行复检,确保质量完全达标并且与施工所需的要求相契合,对于不合格产品要在第一时间实施退货处理。在材料设备管理方面,建立完善的材料设备台账管理系统是十分必要的,对于出入库环节要详细记录在册,对重要设备实施专项管理,建立设备档案,对安装调试环节要全程记录,材料领用实行“限额领料”制度,对剩余材料及时办理退库手续,避免出现资源的无谓浪费现象,同时要加强对现场仓储管理,根据不同材料的特性采取相应的防护措施,确保材料设备在储存期间的质量安全。

3.3 加强总承包合同管理

3.3.1 合理确定最终报价

在风电 EPC 总承包项目投标报价这个阶段,投标单位要对招标文件以及合同条款展开系统的研读,还要进行风险方面的研判,特别要着重关注技术规范、验收标准、付款条件以及违约责任等核心条款,对于海上风电项目而言,应该组建专业的踏勘团队去对场址进行三维立体化的考察:一方面要借助水文气象数据的采集来分析历史风浪的规律、潮汐变化的特征以及极端天气的频率,另一方面要结合 AIS 船舶轨迹大数据来评估航道通航的密度,重点核查渔区禁航期、军事管制区等特殊的限制条件。在基础选型论证环节,依据地质初勘报告进行差异化的设计比选,要是基岩埋深比较浅,就优先采用嵌岩桩方案,不过要评估钻机船转场的效率,要是选择钢管桩沉桩工艺,就

要考虑厚淤泥层造成的溜桩风险,并且预留 10%~15%的施工时长裕度,针对海缆敷设工况,在平均水深不足 20m 的区域要采用 J 型管保护加上混凝土压块覆盖的复合防护方案,必要的时候要投入深挖沟犁船进行沟槽开挖,这会使敷设效率降低 30%~40%,所有特殊工况都应该转化为量化成本参数纳入报价模型,同时制定多级应急预案来控制不可预见费的占比^[2]。

3.3.2 强化合同管理

在风电 EPC 新能源总承包项目里,合同管理乃是贯穿整个工程建设周期的核心要点,总承包合同一般包含设计优化责任、设备采购清单、施工界面划分、里程碑付款节点等关键条款,还会清晰界定甲供材料与乙供设备的权责界限、技术标准变更流程以及不可抗力风险分担机制,项目团队要构建动态化合同履行评估体系。比如说,设计图纸交付延迟可能引发采购与施工的连锁反应,要提前设定违约罚则与赶工补偿条款,风机塔筒等长周期设备采购要与现场吊装窗口期相适配,防止仓储成本大幅增加,施工合同中地质条件差异条款的执行,要完善超前钻探验证机制,实施“三阶段防控”策略,前期凭借合同交底明确各方接口,中期每月召开履约分析会核查进度款支付与工期签证,后期完善过程资料闭环管理。建立合同风险预警指标库,像采购订单履约率低于 90%触发橙色预警,配套制定供应商替补预案和争议调解快速通道,可有效降低索赔概率,最终达成合同管理从被动应对到主动防控的转变,保证项目综合成本节约率控制在目标范围之内^[3]。

3.3.3 合同风险防范与化解

在风电工程 EPC 总承包项目开展进程中,项目选址大多处于荒漠、高山等偏远地带,施工现场气候状况恶劣,交通也不方便,这使得总承包项目经理以及关键管理人员难以依照合同要求长时间驻场履行职责,直接加大了项目履约风险,为有效应对这一特殊挑战,承包单位在合同签订之后要建立健全合同管理保障机制。要设立专职合同管理岗位,组建专业团队负责全周期合同执行监督,该团队成员需有法律、工程、造价复合型知识结构,依靠制定《合同履行监控清单》,对设计交底、设备采购、施工组织等关键环节实施动态跟踪,特别要留意因环境特殊性导致的工期延误风险,在决策层设立合同管理委员会,定期召开履约分析会,执行层配置现场合同工程师,每日记录施工日志与合同执行偏差,

操作层建立班组合同交底制度,并开发合同履行预警系统,对付款节点、验收标准等设置自动提醒功能^[4]。

4 实施成效

该新能源集团的 200MW 沿海风电场项目,因场址地质状况复杂、台风季节施工窗口时间紧张以及存在多专业交叉管理等一系列问题,致使项目初期的进展有所滞后,然而在经过系统性的优化管理之后,该项目最终达成了工期提前 45d 完成全容量并网的目标,并且荣获了国家优质工程奖。此项目运用动态 BIM 建模与地质雷达勘测的方式,对基础设计给予优化,成功将山地区域桩基的施工周期缩短了 30%,该项目还实施了“分段施工+预制装配”的模式,在软土区采用 PHC 管桩取代灌注桩,使得基础施工效率提高了 40%,在台风季来临之前完成了所有风机基础的建设。在质量与成本控制方面,所推行的“样板引路”制度,促使塔筒焊接、电缆敷设等关键工序的一次验收合格率达到 99.5%,在设备采购上倾向于国产化,使成本降低了约 12%,按照 0.45 元/kWh 的电价来计算,提前并网增加发电量 1.2 亿度,创造收益 5400 万元^[5]。

5 结语

综上所述,本文基于风电 EPC 项目的实践需求,系统分析其管理难点与应对措施,以优化资源配置、降低全周期成本为目标,为行业提供理论借鉴与实践指导,助力新能源基础设施的可持续发展。

【参考文献】

- [1]王宇卫,陆歆,陈轩,等.浅谈设计引领在山地风电 EPC 总承包模式中的优势与应用[J].电力勘测设计,2025(5):82-87.
- [2]董亮.HZ 风电工程公司海上风电 EPC 业务竞争战略研究[D].西安:西安石油大学,2024.
- [3]陈志才,陈小东.关于风电 EPC 新能源总承包项目管理的探讨[J].广西电力,2024(3):15-20.
- [4]张明祥.HD 设计院高邮风电工程总承包项目管理改进研究[D].云南:云南大学,2022.
- [5]王磊.风力发电建设项目总承包项目管理[J].贵州电力技术,2016,19(5):24-26.

作者简介:刘禹轩(1997—),男,民族:汉,湖南湘潭人,学历:本科,职称:助理工程师,现就职单位:新华龙源(徐闻)新能源有限公司,研究方向:工程建设管理。

水利水电工程施工管理及安全管控措施

刘 宝

江西天丰建设集团有限公司, 江西 宜春 330800

[摘要]水利水电工程作为国家基础设施的重要组成部分,对经济发展和社会稳定具有重要的支撑作用。然而,其施工过程复杂且充满风险,施工管理及安全管控成为项目成功实施的关键。文中首先分析了水利水电工程施工管理的特点及面临的主要问题,包括施工技术复杂性、环境影响及施工人员的安全风险等。在此基础上,通过文献研究和工程案例,提出了一系列有效的管理与安全管控措施。具体包括:加强施工计划编制和实施的科学性,合理优化资源配置;提高施工技术标准,推广智能化技术应用;强化施工现场的安全管理,通过制度建设、培训和技术监督全面提升施工人员的安全意识和技能。此外,还提出了针对突发性事故的应急预案制定原则,从风险评估、事故处理到事后恢复,建立全面的安全管理体系。研究结果表明,这些措施的应用能够有效降低施工风险,提高工程质量和施工效率,同时保障施工人员的生命安全。文章的研究为水利水电工程项目的安全管理提供了重要参考,对推动工程施工的规范化和安全化具有积极意义。

[关键词]水利水电工程;施工管理;安全管控;施工风险;管理体系

DOI: 10.33142/hst.v8i6.16915

中图分类号: TV51

文献标识码: A

Construction Management and Safety Control Measures for Water Conservancy and Hydropower Projects

LIU Bao

Jiangxi Tianfeng Construction Group Co., Ltd., Yichun, Jiangxi, 330800, China

Abstract: Water conservancy and hydropower engineering, as an important component of national infrastructure, plays a crucial role in supporting economic development and social stability. However, the construction process is complex and full of risks, and construction management and safety control have become the key to the successful implementation of the project. The article first analyzes the characteristics and main problems faced by construction management of water conservancy and hydropower projects, including the complexity of construction technology, environmental impact, and safety risks for construction personnel. On this basis, a series of effective management and safety control measures were proposed through literature research and engineering case analysis. Specifically, it includes: strengthening the scientificity of construction plan preparation and implementation, and optimizing resource allocation reasonably; Improve construction technology standards and promote the application of intelligent technology; Strengthen the safety management of construction sites, comprehensively enhance the safety awareness and skills of construction personnel through institutional construction, training, and technical supervision. In addition, principles for developing emergency plans for sudden accidents have been proposed, including risk assessment, accident handling, and post recovery, to establish a comprehensive safety management system. The research results indicate that the application of these measures can effectively reduce construction risks, improve engineering quality and construction efficiency, while ensuring the safety of construction personnel. The research in this article provides important references for the safety management of water conservancy and hydropower projects, and has positive significance for promoting the standardization and safety of engineering construction.

Keywords: water conservancy and hydropower engineering; construction management; safety control; construction risk; management system

引言

水利水电工程作为现代社会发展中不可或缺的重要基础设施,发挥支持经济增长和社会稳定的重要作用。其复杂的施工环境和技术难度常常使施工过程中的风险和管控困难不绝。怎样高效管控并减少施工风险,提升施工质量和效率,早已变为当前研究和面临的重要议题。必须更深入挖掘和探索水利水电工程施工过程中的管控及安全管控策略,期待借助对这些关键问题的系统研究和解答,可以为工程类别的高效安全施工给予理论支持和操作指南。本文从施工管理的特点和存在问题出发,融合工程案例,建议诸多实效的管理和安全管控措施,且尝试构建一套完备高效的安

全管理体系,以期实施之中贯彻施工管理标准化和安全化,确保施工人员生命安全,促进我国水利水电工程的进步和发展。

1 水利水电工程施工管理概述

1.1 水利水电工程的特点与重要性

水利水电工程为国家基础设施建筑中的重要领域,其特点突出并且对经济与社会发展极为重要。水利水电工程的特点主要反映于其技术要求的繁复性和工程规模的庞大。其技术繁复性源自需要应对水流、地质条件及材料力学等多层面专业技术,包括水力学、结构工程等多个学科的知识体系。水利水电工程一般伴有大规模的施工场地及众多的资源调度,此对项目呈现严格要求。工程的重要性不只

展现于其明显的经济效益上,亦在于其对生态系统的长远影响,科学计划与执行水利水电工程可以高效优化区域水资源管理,给防洪、灌溉和供电供给保证。这类工程为社会稳定和安全的支柱,可以明显提升区域发展的可持续性,令其成为一个国家基础设施建设的战略性投资。借助系统化管理和科技创新,水利水电工程可以促进区域经济的整体发展。

1.2 施工管理的核心内容与目标

施工管理的核心内容和目标是保证水利水电工程成功实现。核心内容包括拟定细致适当的施工计划、实施标准化的施工流程、完善利用资源和管理工程成本。施工管理需注重工程进度和质量,重点在于提高施工技术、强化现场沟通和协调、保障施工过程井然有序。施工管理还要发现和评价各类风险,拟定具体应对措施,减少意外因素对工程进度和质量的影响。按时实现工程、控制预算范围、保障人员安全、设备正常运行、环境受到维护并实现可持续发展。

1.3 当前施工管理面临的主要问题

水利水电工程的施工管理遇到很多困难。施工技术复杂让工程难精确掌控,造成时间和成本的不确定性变高。环境影响的规则要求工程保护生态平衡去执行施工,管理难度变大。施工现场人员的安全风险明显变高,特别是在环境复杂和工期很紧的情况下。施工场地的自然条件变化造成计划和进度管理出现不稳定情况。外部环境的限制要求工程管理者把资源和动力分配得当,实施精确管理,保证施工高效运转和安全无事故。

2 水利水电工程施工风险与挑战

2.1 施工技术的复杂性及技术风险

水利水电工程建设过程,技术复杂性导致风险,成为项目管理处理的主要挑战之一。建设技术复杂性表现在工程规模庞大、建设环境变化大、技术要求严格三个方面。上述特性导致建设过程需要处理地质条件复杂、气候变化大、水文状况不稳定等不利因素。水利水电工程建设通常包含大量专业交叉、专业配合需求,水合土体处理、高精度混凝土浇筑、大型机电设备安装等技术环节,要求多个技术领域紧密配合。上述情况提高技术风险概率,导致工程质量问题、安全隐患。水利水电工程建设要求全面评估技术风险,强化技术协调、专业配合,利用技术标准提高质量、加强技术监督,确保工程建设顺利实施、质量安全实现。这不只可以高效避免因技术复杂性导致的潜在风险,也为项目的高效推进建立了稳固基础。

2.2 环境影响与生态保护要求

水利水电工程施工需要处理技术难题,造成多方面环境问题。施工过程引发水资源污染、土壤侵蚀和生物栖息地破坏,影响区域生态平衡。施工管理必须遵守生态保护规定,保证工程达成环境和谐发展的目标。执行环保措施涵盖水土保持技术和污染防治技术,使用生物屏障、植被恢复和水体净化方法有效减轻生态破坏程度。环保监管体系建立后能够连续监督施工活动环境影响,保证施工活动满足法律法规和环保政策要求。生态保护措施形成法定责

任,维护项目达成可持续发展目标,给予重要支持。

2.3 人员安全风险与施工场地不确定性

水利水电工程施工过程,人员安全风险和施工场地不确定性是两个相互影响的难题。施工场地处于自然环境,地形复杂多变,气象条件常常难以预测,引发施工人员隐性安全风险。施工人员必须在危急、高危区域作业,遭遇机械设备、高空作业和意外自然灾害的威胁。准确识别和应对各种不确定因素对保护施工人员的生命安全非常重要。需要依靠完善的风险评估体系、先进的技术监测和严格的安全培训计划,确保人员防护措施得到切实实施,降低施工过程中出现的安全事故。

3 施工管理优化策略与资源配置

3.1 科学编制施工计划与流程优化

安排施工计划和改进流程是保障水电工程顺利进行的重要环节。安排施工计划时,需要全面考虑项目的复杂技术、施工时间和预算资金,具体任务分配和合理时间安排,保障每个环节紧密连接,实现高效完成整个施工的精确管理。核心是合理使用先进的数字工具和管理软件,建立一个能灵活调整的系统,有效处理施工中可能出现的各种变化和不定问题。改进施工流程基于计划,对工序进行分析,对设计进行优化,把工程特点和实际需求结合起来,制定标准化的模块式施工流程,减少施工中资源浪费和工期延误的风险情况。优化施工流程还需要重视人员、机械和技术的配合工作,保证信息传递顺畅和决策执行的高效率。严密合理的施工计划和优化的施工流程能够提升工程项目的管理水平和执行效果表现。

3.2 项目资源合理配置与动态管理

项目资源的适当分配灵活管控是提升水利水电工程施工效率的关键因素。资源分配需仔细评估工程各阶段的需求,利用科学合理的计划调配方式,保证人力、物料、设备等资源实现高效使用。实时管控注重持续监控调整,根据施工进度和现场状况灵活安排资源,避免出现浪费短缺情况。使用现代信息技术管理工具,完成资源调度的自动化智能化操作,依靠数据分析技术优化资源分配方案。增强管理人员决策能力和响应速度,确保工程各项资源维持最佳状态,支持高效安全顺利地建设过程。

3.3 智能化技术应用与装备升级

智能技术运用和设备更新在水利水电工程施工管理中发挥重要作用。技术持续发展,信息化和自动化设备采用提高施工效率和安全水平。运用尖端监控系统和传感器技术,完成施工现场监测和数据分析,准确管理施工动态,优化施工策略。施工设备更新增强设备性能,促进工程机械自动化发展,降低人工操作风险,提升作业准确度。技术手段采用高效优化资源分配,减少施工成本。

4 安全管控措施及体系构建

4.1 安全管理制度建设与执行保障

安全管理制度建设执行保证水利水电工程施工安全重要部分。建立健全安全管理制度,必须融合工程具体实

际情况,制定完整安全规章运行流程,明确确定各级人员安全责任。制度建设期间,考虑施工现场复杂性多样性,保证安全制度覆盖全部施工环节,具有专属性实际性。执行保证部分,建立严格监督惩罚机制,依赖定时检查随机抽查,执行施工情况完整评价,快速识别改进安全隐患。技术监督构成保证制度执行落实的重要工具,依赖信息化手段监督施工现场,保证规章制度落实到位。加强内部沟通与配合,建立反馈机制,令安全管理持久适应现场实际情况的变化。利用建设完善的安全生产管理制度和强劲的执行保证,水利水电工程施工的安全性和高质性会得到高质量保证。

4.2 施工人员安全培训与监督体系

施工人员安全培训与监督体系为保证水利水电工程施工安全的重要组成部分。借助构建全面的培训机制,有序地提升施工人员的安全意识和技能水平,用以维护施工过程中人员的安全。安全培训内容应当包括基本安全知识、应急处理能力、现代安全设备的使用等方面,突出现场实际操作能力提升。监督体系进而通过日常检查和考核,确认培训效果的实施,避免由于人为疏忽引发的安全事故。监督机制需要与安全生产管理制度融合,依靠技术监督手段,构建常态化的预警和反馈系统,以达成对安全风险的即时监控和迅速反应,高效防止施工安全事件出现。

4.3 突发事故应急预案制定原则与实施

突发的事故应急预案的制定原则意在保证水利水电建设进行中对于各类潜在风险达成迅速反应与高效应对。预案的制定应当依据详尽的风险评价,包括潜在出现的各种突发情况。预案必须清晰事故应对的步骤与责任分工,保证在急迫情况中的信息传输与资源分配高效率流畅。执行过程规定施工现场定时进行应急演练,用以验证和提升预案的实用性及施工人员的急迫处理水平。应当设立事后恢复机制,主动修补事故损失,维护工程进度与施工安全的继续推动。借助系统性的应急管理,为施工过程给予稳固的安全维护。

5 实践意义与未来发展方向

5.1 管理与安全措施对实际工程质量与效益的影响

管理和技术方法协助提升水利水电工程的质量和收益,结果相当重要。制定详细施工计划、优化工作流程,保证工程进度可控,资源使用效果最佳。规划资源、管理降低资源浪费,提升工程成本收益。采用先进技术、升级设备,提高施工过程效率,增强施工质量,降低施工中人为错误。建立完善安全生产管理制度、执行具体措施保证施工现场安全,降低事故发生,保护施工人员安全与健康。采用具体实施方法推进项目整体质量显著提升,经济效益明显优化,降低环境和社会潜在影响,保证工程稳定继续发展。多种综合方法推进水利水电工程顺利开展,建立坚实基础。

5.2 对水利水电行业规范化发展的启示

水利水电行业的规范化发展在现代工程建设中非常关键。规范化管理的启示在于构建严谨的施工管理标准,强化行业内技术交流,达成技术与管理创新。经由执行完

备的安全管理体系,并融合智能化技术,面对施工过程中的繁杂风险与挑战,提高工程施工效率与安全性。对施工人员的系统培训,有利于增强全局技术水平,保障施工质量和项目的顺畅实施。规范化发展亦规定从项目规划到施工阶段,运用合理的资源配置与风险评估方法,用以完备减少隐性的安全隐患和环境影响。这一系列措施不但推动了水利水电行业的可持续发展,也对后续类似工程项目提供了宝贵借鉴,促进行业全局进步。

5.3 面向未来的技术创新与持续提升路径

技术更新和持续提升是水利水电工程发展的核心方法。智慧技术发展,包括大数据分析、物联网和人工智能,能彻底改善施工管理,提升工作效率和精确度。绿色技术使用有望降低环境损害,达成生态保护和工程效益的双向提升。高效能源利用和可再生资源开发转变为行业发展的主要方式。众多更新技术的促进下,水利水电工程迈入技术驱动的新阶段,保障工程可持续性和安全性,行业规范发展取得新的活力,促进技术进步和环境保护的协调。

6 结束语

本文借助详尽分析水利水电工程施工管理的特点和主要问题,详实研究了一系列高效的管理和安全管控措施。这涵盖强化施工计划的合理性,优化资源配置,提高施工技术标准,推广智能技术,强化施工场地的可靠管理,全面地提高施工人员的可靠观念和技能,及制定针对突发事故的应急预案。这些措施对于降低施工风险,提高工程质量和施工效率,保障施工人员生命安全具有显著效果。如今关于施工管理和可靠管控的研究仍有待更加深刻地探索,探索更多适应不同工程特点的、具有实际性的管理和管控措施。可靠管控体系实施效果必须经由整体详尽严格的量化评估和持续监督来实现。研究成果可以给水利水电工程项目可靠管理供给重要参考资料,推动工程施工规范化安全化的发展,奉献有价值的力量。

[参考文献]

- [1]马磊.水利水电工程中堤防护岸工程施工技术研究[J].城市建设理论研究(电子版),2025(14):130-132.
- [2]朱孟东.基于BIM技术的水利水电工程施工管理体系研究[J].科技创新与应用,2025,15(13):185-188.
- [3]颜华云.水利水电工程安全管理存在的风险与措施分析[J].城市建设理论研究(电子版),2025(11):209-211.
- [4]王婷,姚亚亚,卫舒春.水利水电工程安全生产管理体系构建与安管人员培训策略[J].四川水利,2025,46(2):125-129.
- [5]李家平,屠新红.水利水电工程建筑的施工技术与管理策略研究[J].价值工程,2025,44(7):59-62.
- [6]彭建军.水利水电工程施工安全管理及控制措施[J].四川建材,2024,50(7):235-237.

作者简介:刘宝(1988.9—),男,毕业院校:宿州学院,所学专业:工程测量与监理。

水利水电工程施工安全控制策略探究

刘献科

新疆塔建三五九建工有限责任公司, 新疆 阿拉尔 843300

[摘要]新疆地区水利水电工程建设对于区域经济发展以及生态安全而言, 有着重要的战略意义。该地区的特殊气候、地质还有人文环境给施工安全带来了极为严峻的挑战。文章从新疆的地域特征着手, 去剖析施工安全的关键特点, 并且提出将气候适应性、地质灾害防治以及民族文化融合当作核心的安全控制原则与策略, 目的是构建起科学且系统的安全管理体系, 进而为边疆地区水利工程的安全实施给予理论方面的有力支撑。

[关键词]新疆水利工程; 施工安全; 安全控制; 气候适应性; 地质灾害防治

DOI: 10.33142/hst.v8i6.16912

中图分类号: TV512

文献标识码: A

Exploration on Safety Control Strategies for Water Conservancy and Hydropower Engineering Construction

LIU Xianke

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

Abstract: The construction of water conservancy and hydropower projects in Xinjiang has important strategic significance for regional economic development and ecological security. The unique climate, geology, and cultural environment in this region pose extremely severe challenges to construction safety. Starting from the regional characteristics of Xinjiang, this article analyzes the key features of construction safety and proposes safety control principles and strategies that focus on climate adaptability, geological disaster prevention, and ethnic cultural integration. The aim is to establish a scientific and systematic safety management system, and provide strong theoretical support for the safe implementation of water conservancy projects in border areas.

Keywords: Xinjiang water conservancy engineering; construction safety; safety control; climate adaptability; geological disaster prevention

引言

新疆位于亚欧大陆的中心地带, 其呈现出干旱且降雨稀少的情况, 地质构造方面也较为复杂, 同时还是多个民族聚居之地, 这些特点让新疆的水利水电工程建设面临着别具一格的安全风险。近些年来, 伴随“一带一路”倡议不断向前推进, 新疆水利工程的规模也在持续扩大, 然而极端气候时常出现, 地质灾害频繁发生, 跨文化管理方面的难题层出不穷, 这些问题对施工人员的人身安全以及工程的建设进度都构成了极为严重的威胁。怎样在如此复杂的环境状况下达成安全与效率的均衡状态, 已然变成一个迫切需要去解决的重要课题。

1 水利水电工程施工安全特点的分析

新疆水利水电工程施工安全呈现出三个方面的突出特点: 其一, 特殊气候环境产生了诸多影响, 其中剧烈的昼夜温差致使混凝土出现开裂情况, 并且还使得设备液压系统发生故障, 夏季时高温状况容易引发作业人员中暑的风险, 而冬季严寒则会让机械运行的阻力增大, 频繁出现的沙尘暴会降低能见度, 同时也会加速设备的磨损, 干旱环境还会对消防以及降尘用水形成限制^[1]。其二, 复杂的地质条件叠加在一起形成了风险, 地震带的活动往往会诱发滑坡、泥石流这类灾害, 在山区陡坡进行施工的时候面临着山体失稳的情况, 盆地低洼之处受到地下水渗透压力

的威胁, 在冻土区, 春季融化时会发生沉降, 而在岩溶区, 地下空洞隐藏着结构安全方面的风险, 盐渍土的腐蚀性也会降低工程材料的耐久性。其三, 多民族文化背景给管理带来了复杂性, 由于语言存在差异, 这就造成了安全规程在传达过程中出现偏差, 需要依靠双语教材以及可视化培训来加以弥补, 民俗习惯比如斋月期间的禁食要求, 就需要调整高强度作业的时段, 部分民族的施工禁忌要通过尊重文化以及科学解释的方式来平衡安全管理的需求。

2 水利水电工程施工安全控制原则的探究

2.1 实施全方位管理

全方位管理原则能够帮助管理工作人员对施工过程进行严格把控, 使整个施工过程都能够严格按照相关标准要求进行。相关部门在实际开展安全控制工作时需结合当前施工情况对施工整个过程进行管控, 整个过程安全控制工作能按照实际需求做, 为未来工作的落实提供保障。水利水电工程施工过程中, 需要对全方位管理原则进行探究, 针对该原则落实的特点以及需求制订合理的工作方案, 保证安全控制工作能够按照标准落实。全方位管理原则的合理应用能避免在开展施工工作时因施工操作未能全方位进行而出现安全问题, 保障更好地开展后期施工工作。施工人员要清楚地认识到该原则的重要性, 并有针对性地进行安全控制计划的制订, 严格落实安全控制工作开展的要

求,保障进一步地开展相关工作能够顺利进行。

2.2 安全优先的原则

在新疆的水利工程领域当中,安全方面跟工期以及成本之间存在的矛盾显得尤为突出。比如说,为了能够追赶施工进度,便在沙尘肆虐的天气条件下强行开展施工作业,如此一来,极有可能会致使设备出现故障或者造成人员伤亡的情况发生;又或者是出于节约成本的考虑而人为地减少地质灾害监测点的数量,那么就存在漏报滑坡预警的风险。安全优先的原则规定,管理者在做出决策之时,应当把人员的安全以及工程结构的安全当作是最高准则来遵循,在必要的情况下,哪怕是要延长工期或者增加预算,也务必要保证各项安全措施能够切实落实到位。可以考虑通过引入安全绩效考评方面的制度,从而实现将安全投入和项目管理考核直接关联起来的目的。

2.3 以预防为主

新疆地区恶劣环境存在着不可预测的情况,这就要求将安全管理重心向前移,预防措施包含:去建立区域性气象以及地质数据库,借助历史数据来模拟洪水、融雪灾害的发生规律,在施工之前开展全员应急演练,保证工人们掌握逃生路线以及自救技能,还要储备充足的防风固沙网、防冻剂等应急物资^[2]。要针对高海拔缺氧环境配备移动式制氧设备,对于长距离输水工程要设置冗余泵站,防止因单点故障而引发全线瘫痪的情况出现。

2.4 强制性控制原则

新疆水利工程在安全管理方面,得依靠地方性法规来强化执行的力度。就好比说,依照《新疆维吾尔自治区安全生产条例》的规定,强制性地要求施工单位给从事高原作业的人员购置特种保险,并且对于那些没有通过安全验收的工程是严禁蓄水的。政府所设立的监管部门需要增加执法的频次,运用像无人机巡查以及远程视频监控这类的技术手段,以便能够及时察觉到违规的操作行为。与此还要建立起黑名单制度,针对那些多次违反安全规定的相关企业,对其参与招投标的行为加以限制,以此来形成一种法律层面的威慑作用。

3 影响新疆水利工程安全控制的因素

3.1 自然因素

新疆这片土地有着极为辽阔的地域范围,其自然环境呈现出明显的多变以及极端这样的特征。在春季的融雪时期以及夏季的暴雨期间,季节性洪水会频繁出现,而且洪水的峰值相对较高,持续的时间也比较短,这给像临时围堰、导流明渠这类施工临时设施带来了很大的冲击,甚至有可能引发基坑被淹、设备被冲毁等一系列的连锁反应。春季的融雪性洪水往往会伴随着昼夜温差出现剧烈的波动情况,这种波动会进一步加剧山体表层的冻融循环过程,进而诱发边坡表层土体出现松动的现象,严重时还可能造成局部的滑塌情况。风沙活动是贯穿全年的,在塔里木盆地以

及准噶尔盆地的边缘地带,沙粒容易侵入到机械设备的传动系统当中,如此一来就会造成轴承出现磨损的情况,同时也会让滤清器发生堵塞,最终使得设备的使用寿命有所降低。

3.2 技术因素

高海拔施工环境给常规工程设备和技术带来了严峻考验。在帕米尔高原、阿尔泰山等地区,因为空气稀薄,使得内燃机的燃烧效率有所降低,液压系统的功率也会出现衰减的情况,常规机械很难满足施工强度方面的要求。在长距离输水工程当中,管道压力调节系统会面临复杂的水力瞬变问题,水锤效应有可能致使管道发生爆裂或者接头出现脱落的现象。在冻土区施工时,需要应对因热扰动而引发的冻土退化情况,传统开挖回填工艺容易破坏冻土的热平衡,进而引发地基融沉变形的问题。在岩溶地貌区,地下暗河以及溶洞较为发育,在钻孔灌浆的过程中,浆液的流失率较高,防渗帷幕成型的质量也难以得到有效的控制。

3.3 管理因素

跨区域水利工程往往涉及到多个行政主体之间的协调工作,由于项目管理界面变得更为复杂,所以安全责任的划分也容易出现模糊不清的情况。民族地区劳动力结构呈现出多元化的态势,有一部分少数民族工人因为存在语言方面的障碍,所以很难去理解那些较为复杂的安全生产操作规程,而传统的依靠口耳相传的培训模式也无法将高风险作业场景里的安全要点充分涵盖进去。施工现场的安全管理体系存在着一定程度的断层情况,部分分包单位为了能够压缩成本,便擅自削减了安全投入,使得安全检查仅仅流于表面形式而已。

4 水利水电工程施工安全控制工作开展策略

4.1 气候适应性安全措施

新疆极端气候给施工安全带来的威胁呈现出持续性和多样性的特点,必须从人员防护、工艺优化以及设备改造这三个方面着手去构建起一个综合防御体系。在夏季高温时段,除了对作业时间做出调整之外,还要引入环境监测系统来实时追踪工地温湿度方面的变化情况,一旦温度超出所设定的阈值,便会自动触发警报并且暂停露天作业活动。为了强化个体防护,冷却背心可以运用相变材料储能技术,依靠吸收人体热量的方式来达成长效降温的效果;便携式喷雾风扇则需要结合太阳能供电方式,以此来适应野外那种没有电网的特殊环境。在混凝土施工过程中,除了选择在夜间进行浇筑操作之外,还能够其中掺入高分子保水剂,以此来减少塑性收缩裂缝的出现,并且在混凝土表面喷洒成膜剂,以此来阻隔水分的蒸发^[3]。冬季保温棚在设计的时候需要充分考虑到风雪荷载的因素,采用双层充气膜结构能够提升其隔热性能,与此同时还要安装二氧化碳浓度监测仪,从而预防在密闭空间当中出现中毒的风险。针对柴油设备在低温环境下启动所面临的难题,可以改用生物柴油混合燃料,这样能够降低凝点,并且在油

箱上加装电加热装置。沙尘防护方面需要形成一个“阻隔-过滤-清理”的三级体系,在工地外围种植像怪柳、梭梭这类耐旱植物,将其作为生物沙障,以此来减少风沙的侵入;精密仪器舱室采用正压送风系统来维持其内部的洁净程度;每天施工结束之后要使用真空吸尘设备来清除机械内部所积存的沙子,以此来延长其使用寿命。

4.2 地质灾害动态监测与预警系统建设

新疆地质灾害的链式效应较为明显,有必要构建起“空-天-地”一体化的监测网络,并且要建立起多灾种耦合预警模型。卫星遥感着重针对大范围的地表形变展开监测,同时结合 InSAR 技术来识别出毫米级别的位移情况。无人机会搭载多光谱相机,定期去扫描边坡植被覆盖所发生的任何变化,而这些变化能够间接地反映出岩土体的稳定性状况。在地面上,会布设分布式光纤传感器,以此来实时感知地下应力应变场出现的异常情况。监测所获取的数据经过边缘计算节点就地进行预处理之后,再上传到云端的灾害仿真平台,借助深度神经网络去挖掘不同地质参数之间存在的关联规律。举例来讲,通过对地下水位骤然升高以及边坡倾角发生变化的时序关系加以分析,便可以提前 48h 预测出滑坡的概率。在发布预警信息的时候,得充分考虑边疆地区通信条件的具体情况,在 4G 网络能够覆盖的区域,通过推送手机 APP 弹窗的方式来传达预警信息,在那些无人的区域,则依靠北斗卫星广播短报文来进行预警信息的发布工作。

4.3 多语言安全培训与民族文化融合管理

跨文化安全管理要突破语言障碍以及认知差异,构建起技术标准化-表达本土化-执行人性化的协同机制。虚拟现实培训系统应当模拟塔吊倾覆、模板坍塌这类典型事故场景,让学员能够借助手柄操作来体验紧急制动、伤员搬运等流程,系统会自动记录下反应时间与操作路径,并且生成改进建议。双语安全手册需要聘请语言学家和工程师联手编撰,把有限空间作业等专业术语转化为维吾尔语里的生活化比喻。安全警示标识采用国际通用符号和民族特色图案相结合的设计方式,像在高空作业区设置雄鹰展翅图标,其寓意是专注翱翔时需系好安全带。在民俗习惯融合方面,可以设立由各族员工代表构成的安全委员会,一同商定节日期间的施工强度标准;在工地生活区布置民族文化展示墙,既能促进相互理解又能缓解思乡情绪。对于斋月等特殊时期,后勤部门得提供高能量便携食品给穆斯林工人在日出前补充营养,并且安排医护人员定期巡检体力状态。

4.4 边疆地区应急响应机制优化

在应急救援领域,偏远地域往往面临诸多挑战,其应急救援行动要突破传统地面交通所存在的种种限制,着手构建起立体化-模块化-预置化这样的响应体系。移动医疗方舱是以集装箱形式来设计的,在其内部将手术室、检验科以及药房等多种功能都集纳到了一起,并且能够借助重型直升机实现快速投送,从而顺利抵达事故现场。该方舱

的能源系统是能够同时兼容柴油发电以及风光互补供电这两种方式的,如此一来便可以保证其能够在没有外部电力供应的情况下连续运行长达 72h。就空中救援网络而言,需要和通航公司达成协议并签订相应的框架协议,在像喀纳斯、塔什库尔干这类关键区域要始终备有经过医疗改装的直升机,而且在这些直升机的舱内还要配备便携式的体外膜肺氧合设备,以此来维持重伤员的生命体征处于稳定状态^[4]。对于雪崩、山洪等这类会将道路彻底阻断的灾害情况,预置装备库当中应当包含履带式全地形车、液压破拆工具组以及卫星通信终端等一系列装备,唯有如此才能够确保先遣队可以在短短的 2h 之内成功打通信息孤岛。应急物资储备方面则实行“中心-节点-前线”这样三级分布的方式,具体来讲就是在乌鲁木齐设立中央仓库,用于存储数量众多的大宗药品以及工程机械;地州级分库则要配置模块化的救援单元;而施工标段的前沿站点则要始终备有一定数量的食品、饮水以及急救包,其数量至少能够满足一周的使用需求。还需要定期组织开展由多个部门共同参与的联合演练活动,通过模拟在高原缺氧环境下出现的大规模塌方救援场景,以此来对指挥调度、伤员分拣以及后送衔接等这些关键环节加以磨合,进而不断对应急预案的实际操作性予以优化提升。

5 结语

新疆水利水电工程的安全控制属于一项颇为复杂的系统工程,需要对自然规律、技术条件以及社会文化等诸多维度加以统筹考量。在后续的发展进程中,应当持续推进智能化监测装备以及耐候性工程材料方面的研发与应用工作,并且要深入贯彻“安全共同体”的理念,把政府的监管职能、企业的自治能力以及公众的参与热情有机地结合起来。在确保施工安全这一前提条件得以满足的基础之上,还得着重关注生态保护方面的问题,防止出现水土流失情况从而加剧荒漠化的态势,进而达成工程效益和生态安全双双获益的良好局面,为边疆地区实现长治久安以及可持续发展的目标筑牢坚实的基础。

【参考文献】

- [1]苏成.农村水利工程施工管理中的安全和质量控制策略[J].水上安全,2024(8):152-154.
 - [2]夏金阳.关于水利水电工程施工安全控制的几点思考[J].珠江水运,2024(8):154-156.
 - [3]陈艳霞.农村水利工程施工中的安全和质量控制策略[J].农家参谋,2024(23):75-77.
 - [4]傅良.水利工程施工中安全风险评估与控制策略分析[J].水上安全,2024(24):151-153.
- 作者简介:刘献科(1981.6—)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:新疆塔建三五九建工有限责任公司,就职单位职务:水利工程公司经理,职称级别:中级。

民用建筑配电箱配置及制造标准研究

胡艳强 王竞千 赵尚亮 丁超

中建一局集团安装工程有限公司, 北京 102600

[摘要]城市化不断推进,民用建筑电气系统日益复杂,配电箱是电力分配和安全保护的关键设备,其配置是否合理、制造质量如何,直接影响建筑用电安全和运行效率。依据国内外现行配电箱相关标准,全面分析民用建筑配电箱配置设计原则、制造标准以及存在的技术难题,着重探讨负载分析、元器件挑选、线路设计与安全保护措施等环节,并且结合制造材料、结构工艺和质量控制展开阐述。研究还对智能化配电箱发展趋势予以展望,期望能为行业规范制定以及配电箱设计制造给予理论支撑和实践参照。

[关键词]民用建筑;配电箱;配置设计;制造标准

DOI: 10.33142/hst.v8i6.16900

中图分类号: TM976

文献标识码: A

Research on the Configuration and Manufacturing Standards of Civil Building Distribution Boxes

HU Yanqiang, WANG Jingqian, ZHAO Shangliang, DING Chao

China Construction First Group Installation Engineering Co., Ltd., Beijing, 102600, China

Abstract: With the continuous advancement of urbanization, the electrical system of civil buildings is becoming increasingly complex. Distribution boxes are key equipment for power distribution and safety protection. Whether their configuration is reasonable and the quality of their manufacturing directly affects the safety and operational efficiency of building electricity. Based on current domestic and international standards for distribution boxes, a comprehensive analysis is conducted on the design principles, manufacturing standards, and existing technical challenges of civil building distribution box configurations. Emphasis is placed on load analysis, component selection, circuit design, and safety protection measures. This is further elaborated in conjunction with manufacturing materials, structural processes, and quality control. The research also looks forward to the development trend of intelligent distribution boxes, hoping to provide theoretical support and practical reference for industry standard formulation and distribution box design and manufacturing.

Keywords: civil buildings; power distribution box; configuration design; manufacturer's standard

引言

随着电力需求持续增长以及建筑电气系统变得日益复杂,民用建筑配电箱已然成为连接电力系统和最终用电设备极为重要的节点,其担负着电能分配、控制以及保护等多项功能。传统配电箱在配置方面大多依靠经验来开展,而且制造工艺也存在很大差异,很难符合现代建筑对于安全性、可靠性还有智能化所提出的综合性要求。特别是在用电负载呈现出多样化特点且智能设备广泛普及这样的大背景之下,怎样科学并且合理地去做好配电箱配置设计工作,并且严格依照制造标准来执行,这便成了保障民用建筑电气安全极为关键的一个环节。当下,相关的标准体系一直在不断地加以完善,然而标准执行情况和技术创新状况之间依旧存在着一定的差距,配电箱在设计制造过程中面临着不少的挑战。鉴于此,针对民用建筑配电箱的配置以及制造标准展开系统性研究,目的在于清晰明确合理配置的原则,对制造规范予以细致梳理,深入剖析其中的技术难点,进而推动配电箱技术与标准能够实现协调一致的发展,为提高建筑电气系统在安全方面以及智能方面的水平给予相应的理论层面以及实践层面的有力支撑。

1 民用建筑配电箱概述

配电箱属于电气系统里的关键装置,其主要作用在于把主电源分配到各个支路,它主要用于电能的分配工作,还有开关控制以及过载保护等方面。在民用建筑领域当中,配电箱的设计情况一方面关乎电气设备能否安全地运行,另一方面也对用电系统的整体效率以及维护时的便捷程度产生影响。依据功能以及安装位置方面的差异,配电箱能够划分成主配电箱、分配电箱以及终端配电箱等多种类型,每一种类型都担负着不同层级的电能分配相关任务。随着建筑结构以及用电负载变得日益多样化起来,配电箱的种类与规格也在持续不断地变得更加丰富,从原本较为简单的机械开关配电箱逐步发展成为了带有集成智能监控以及远程管理功能的智能配电箱。当下,民用建筑配电箱在设计环节当中需要充分考虑到负载的种类、用电的容量、所处的环境条件以及安全的相关标准等方面,以此来保证配电系统拥有良好的保护性能以及较强的扩展能力。合理地去配置配电箱,一方面能够提升供电的稳定性与安全性,另一方面还能够有效地降低维护方面的成本,进而提高能源的利用效率,推动绿色建筑以及智慧城市建设向前发展。

2 民用建筑配电箱配置设计

2.1 负载分析与容量确定

负载分析在配电箱配置方面属于首要开展的步骤,其能够直接对配电箱的容量以及内部设备的规格起到决定作用。要细致地去评估建筑里面各类电气设备所具有的功率需求还有使用特性,以此来精准地计算出最大用电负荷以及预计的负载增长情况,同时结合负载类型像照明、动力、空调等等以及它们的运行时段,进而制定出具备科学性的容量设计方案。确定容量的时候,一方面得满足当下负载的需求,另一方面还需要留出适量的余量,从而能够适应未来电力的增长以及系统的扩展,防止因为容量不够而出现设备过载或者频繁跳闸这类情况。还得考虑到用电负载呈现出的多样性以及不均匀性,运用合理的负载分配原则,保证各个支路可以均衡地运行,提高系统整体的效率以及安全性。容量设计应当严格依照相关的国家以及行业标准来进行,并且要结合实际的应用环境灵活地做出调整,以此来保障配电系统的稳定与可靠。

2.2 配电箱内部元器件选择

配电箱内部元器件的选择对于设备性能的确定以及安全运行而言,属于极为关键的一个环节。其主要元器件涵盖了断路器、接触器、隔离开关、漏电保护器还有电流互感器等等。这些元器件在选型的时候,得依照负载所呈现出的性质、容量所处的等级以及配电系统实际存在的保护方面的需求来开展相关工作。并且,这些元器件务必要具备不错的机械强度、电气性能以及稳定性,要能够契合国家标准认证方面的各项要求。就断路器来讲,在选择它的时候,需要全面且细致地考量它的额定电流情况、分断能力状况以及过载保护特性表现,唯有如此,才能保证在出现异常情况的时候,可以及时地将电源切断,进而有效防止事故进一步扩大。而漏电保护器作为保障人身安全的一项重要装置,理应具备灵敏度比较高的特点,同时其动作还得可靠才行。除此之外,元器件之间的兼容性以及布局是否合理同样都是设计过程中十分重要的因素。只有做到合理地去配置元器件,才能够提升后续维护工作的便捷程度,同时也能够让系统的故障率得以降低,最终促使整体的运行效率得以提高。

2.3 配电箱安全保护措施

安全保护措施在配电箱设计里属于必不可少的构成部分,其主要目的在于保障设备以及人员的安全,防范电气事故的发生。这里所包含的主要有多个方面的内容,像过载保护、短路保护、漏电保护还有接地保护等等。过载保护借助断路器来针对电流出现的异常状况展开监测,以此来防止线路以及设备因为电流过大而遭到损坏。短路保护是通过迅速切断电源的方式来避免事故进一步扩大以及消除火灾方面的隐患。漏电保护着重于对电流出现的异常泄漏情况加以检测,从而防止触电事故的发生。接地保

护能够保证在系统出现异常的时候把电流安全地导入到大地当中,进而降低设备损坏以及人员触电的风险。在进行设计的时候应当综合考量配电箱所处的环境以及用电的具体特性,合理地去配置保护装置的类型以及灵敏度,确保在各种各样的异常情况之下都能够有效地做出响应。除此之外,安全保护设计还需要符合国家的电气安全标准以及消防方面的规范,以此来保障整个配电系统可以安全且稳定地运行。

3 配电箱制造标准分析

3.1 主要制造标准及规范介绍(如 GB/T、IEC 等)

当前国内外配电箱制造标准体系比较完备,主要涵盖中国国家标准(GB/T 系列)、国际电工委员会标准(IEC 系列)还有行业标准。GB/T 标准就配电箱的安全性能、耐久性、材料使用以及试验方法做了明确的规定,包含了产品从设计到试验再到验收的整个过程,以此来确保配电箱在各类工作环境当中能够安全且可靠地运行。IEC 标准则是从国际的角度来界定配电箱的设计以及性能指标,促使全球达成统一的技术规范。除此之外,不同的行业以及地区还往往会制定一些针对特定应用环境的补充标准,像是防爆、耐腐蚀这类特殊的使用要求。对于配电箱制造企业而言,了解并且遵守这些标准,是保证其产品具备合规性以及拥有市场竞争力的重要因素。

3.2 配电箱材料及工艺要求

配电箱材料的选取方式,对于其机械强度、耐腐蚀性以及安全性能而言,有着极为关键的影响作用。在实际应用当中,常用的材料种类有优质冷轧钢板、不锈钢还有高强度塑料等等。这些材料都得具备不错的绝缘性、耐热性以及抗腐蚀的能力才行。就制造工艺来讲,其中的钣金成型、焊接、喷涂以及装配这些工序,务必要严格依照工艺规范来执行,以此来保证配电箱的结构能够足够稳固,表面也得保持光洁的状态,并且还要让其防护性能达到优良的程度。防护等级(像 IP 等级这类),在衡量配电箱防尘防水能力的时候,属于一项十分重要的指标。在制造的整个过程中,需要凭借密封设计以及结构优化的方式,去达成设计所提出的要求。除此之外,电气绝缘和接地措施的施工质量也是同等重要的,它和使用安全之间存在着直接的关联。而标准化的材料采购以及工艺控制,这无疑是保障配电箱性能稳定并且能够延长其使用寿命的一个基本前提。

3.3 结构与制造工艺

配电箱在结构设计方面务必要综合考虑功能性、安全性以及可维护性这几个因素,要切实保障其内部元器件能够做到合理有序地布局,方便后续的操作以及检修工作开展。合理的结构设计一方面能够让配电箱的散热性能得以提升,防止内部元件因为温度过高而出现损坏的情况;另一方面还能够让配电箱的机械强度以及抗震性能得到增强,从而能够较好地适应不同的安装环境。在制造工艺这

块,得要与设计要求相互契合起来,要运用高精度的数控设备来实施切割以及成型操作,以此来确保尺寸的精准度以及结构的一致性。焊接工艺务必要达成牢固且不存在任何缺陷的状态,避免因焊点存在质量问题而致使机械强度有所下降或者引发电气故障。像喷塑或者喷漆这样的表面处理方式,既能提升配电箱的美观程度,又能进一步强化其防腐蚀的能力。在装配的过程中,重点是要确保元器件能够准确无误地定位好,并且接线也要规范妥当,进而确保产品整体性能的稳定性。制造工艺要是能够做到科学合理,那么这无疑就是实现配电箱高质量生产的关键保障所在。

4 配电箱配置与制造的技术难点与解决方案

4.1 常见技术问题分析

在配电箱配置进程当中,常见的一些技术难题,像负载计算会出现误差,元器件兼容性方面存在欠缺,还有线路设计不够合理等这类问题。要是负载分析不够准确,常常就会致使配电箱容量设计出现不足或者产生浪费的情况,进而对系统的稳定运行造成影响。在选择元器件的时候,倘若没有充分去考量性能是否匹配这一情况,那便很容易引发设备出现故障或者是保护功能失效等问题。除此之外,配电线路的布局较为复杂,并且还存在着安全隐患,有一部分设计在进行时忽视了环境因素,这就使得防护等级不够充足。在制造环节同样也存在诸多问题,比如结构设计不够科学合理,工艺执行得不够到位,质量检测也不够严格等,这些问题最终导致产品性能呈现出参差不齐的状态,很难去满足多样化的产品使用需求^[1]。这些技术难点对配电箱的安全性、可靠性以及智能化发展形成了制约作用,所以需要系统性的解决办法来对其加以突破。

4.2 创新设计与制造技术应用

对于上述提到的技术问题而言,创新设计理念以及先进制造技术的应用无疑成为了极为关键的突破之处。在配置设计环节当中,运用基于大数据与人工智能所构建的负载预测模型,以此来提升负载分析工作的准确性与科学性,达成配电箱容量的动态优化目标。就元器件选用方面来讲,引入模块化及标准化的设计理念,进而提升其兼容性以及维护方面的便利程度。在配电线路设计这块,应用计算机辅助设计也就是 CAD 技术以及仿真技术,对线路走向还有安全防护措施加以优化。在制造这个过程当中,采用智能化的生产线以及自动化的装配技术,从而保证结构精度以及工艺的一致性,提升产品的质量水平^[2]。借助实施全过程的质量追溯以及智能检测的相关手段,对生产

环节当中的潜在风险予以实时的监控,实现制造过程的闭环式管理,大幅度提升制造的效率以及产品的可靠性。

4.3 智能化配电箱的发展趋势

随着智慧建筑以及物联网技术不断发展起来,智能化配电箱慢慢变成了行业所朝向的发展方向。智能配电箱把远程监控、故障诊断、能耗管理还有自动控制等一系列功能都集成到了一起,它可以达成实时数据的采集以及分析工作,能够在出现电气异常的时候及时发出预警,如此一来便能让用电安全性得到极大的提升,并且管理效率也会有所提高^[3]。智能化还能够很好地支持与建筑管理系统也就是 BMS 以及能源管理系统即 EMS 实现无缝对接,进而达成配电系统的协同优化效果。在未来,智能配电箱会结合人工智能以及大数据技术,去实现自适应调节以及预测性维护,以此来提升系统的智能程度以及运行的稳定性。绿色环保理念融入其中之后,促使智能配电箱在节能减排以及可持续发展方面发挥出重要的作用,推动建筑电气系统朝着高效、智能以及绿色这样的方向去转型升级。

5 结语

民用建筑配电箱属于电气系统极为重要的一部分,其配置是否合理以及制造质量的好坏,会直接对建筑的用电安全以及运行效率产生影响。本文针对配电箱配置设计原则以及制造标准展开系统研究,清晰明确了负载分析、元器件选型、线路设计还有安全保护这些关键环节,并且对制造材料、结构工艺以及质量控制的规范要求展开了深入剖析。在面临诸多技术难题的情况下,创新设计和智能制造技术的应用给配电箱性能的提升开拓出了有效的途径。展望未来的发展趋势,智能化配电箱将会成为行业发展的主流方向,推动建筑电气系统的安全性、智能化程度以及绿色化水平持续不断地提高。强化标准体系的建设工作,同时促进技术创新的融合,这是达成民用建筑配电箱高质量发展的关键保障所在。

[参考文献]

- [1]林洪钟.正常照明与集中电源或应急照明配电箱之间的关系探讨[J].建筑电气,2021,40(11):31-34.
- [2]许士杰,严明.家用配电箱设计方案及比较[J].现代建筑电气,2021,12(9):60-62.
- [3]牛嘉轩.基于超窄频网络连接的智能配电箱技术研究[J].南方农机,2020,51(11):193-199.

作者简介:胡艳强(1981.9—),单位名称:中建一局集团安装工程有限公司,毕业学校和专业:哈尔滨理工大学,电气工程及其自动化。

10kV 配电系统继电保护的常见问题和措施分析

曾 顺

中车株洲电力机车有限公司, 湖南 株洲 412000

[摘要]在现代电力系统中, 继电保护技术扮演着至关重要的角色, 尤其是在 10kV 配电系统中。其核心功能是确保电力设备的安全, 通过及时隔离故障区域, 防止故障扩展, 保障其他设备与线路的正常运行。随着电力需求的快速增长, 配电系统的规模和复杂性不断扩大, 传统的继电保护方式在面对新挑战时, 常常无法有效应对。电流互感器饱和、励磁涌流以及不匹配的保护设备等问题, 成为影响系统稳定性与可靠性的主要因素。文章分析这些问题, 并提出可行的技术措施, 以确保 10kV 配电系统能够在复杂环境中保持良好的运行状态。

[关键词]10kV 配电系统; 继电保护; 电流互感器; 励磁涌流; 保护设备

DOI: 10.33142/hst.v8i6.16929

中图分类号: TM77

文献标识码: A

Analysis of Common Problems and Measures of Relay Protection in 10 kV Distribution System

ZENG Shun

CRRC Zhuzhou Electric Locomotive Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan, 412000, China

Abstract: In modern power systems, relay protection technology plays a crucial role, especially in 10 kV distribution systems. Its core function is to ensure the safety of power equipment, by timely isolating the fault area, preventing the expansion of faults, and ensuring the normal operation of other equipment and lines. With the rapid growth of electricity demand, the scale and complexity of distribution systems continue to expand, and traditional relay protection methods often fail to effectively respond to new challenges. The saturation of current transformers, excitation inrush current, and mismatched protective equipment have become the main factors affecting system stability and reliability. The article analyzes these issues and proposes feasible technical measures to ensure that the 10 kV distribution system can maintain good operating conditions in complex environments.

Keywords: 10 kV distribution system; relay protection; current transformer; excitation inrush current; protection equipment

引言

10kV 配电系统在现代电力网络中发挥着重要作用, 其稳定性直接影响着区域电力供应的可靠性。随着电力需求不断增加, 配电系统在规模及复杂度上的提升, 对继电保护提出了更高的要求。继电保护不仅需实时监测设备状态, 还需在发生故障时迅速切除故障部分, 防止事故蔓延。然而, 随着系统复杂性的增加, 常见的保护问题逐渐显现, 如励磁涌流的影响、电流互感器饱和等问题, 这些问题若得不到及时处理, 会导致保护失效, 进而威胁电力系统的稳定运行。

1 10kV 配电系统继电保护的作用概述

10kV 配电系统中的继电保护的核心作用包括故障检测、设备保护、故障隔离以及提升系统可靠性等方面。通过迅速检测并响应故障, 继电保护能够在出现故障时采取有效措施, 防止设备遭受进一步损害, 并为系统的恢复赢得宝贵时间。随着智能化技术的发展, 现代继电保护不仅具备自动化控制能力, 还能自我恢复, 极大提升了系统运行的效率与可靠性。

1.1 故障检测与隔离

继电保护系统通过持续监测电流、电压等关键参数, 当发生故障时, 能迅速识别并触发保护措施, 从而及时断

开故障区域与其他正常区域的连接。保护系统响应的速度至关重要。通过快速切断电流, 继电保护能够减少电力系统的压力, 为故障排除与电力恢复提供了必要的时间。减少停机时间与设备损坏风险, 从而保障了电力供应的连续性。

1.2 设备保护

如果未能及时切断电流, 设备可能因过载、短路等故障而遭受严重损害, 甚至可能永久失效。继电保护系统通过迅速切断故障部分, 避免了设备长时间处于危险状态, 从而有效延长设备的使用寿命。例如, 在变压器发生短路时, 继电保护系统能够立刻切断电流, 防止过热或绝缘损坏等问题的发生, 不仅避免了故障扩展, 还防止了设备受到更严重的损害, 确保了电力系统的安全运行。

1.3 提升系统可靠性

继电保护系统的优化配置大大增强了配电系统的可靠性。通过合理部署保护装置, 系统能够实时监控设备的状态, 及时发现并响应潜在故障, 从而有效避免因设备老化、负荷波动等问题引发的系统停机。通过这种配置, 配电系统的运行稳定性得到了显著提高, 设备能够在非故障状态下稳定运行。智能化继电保护技术使得系统不仅可以自动检测潜在的故障, 还能在发生故障时自动恢复供电, 减少了停机时间, 提升了电力系统的整体可靠性与灵活性。

1.4 自动化与智能化发展

随着继电保护技术的不断发展,数字化与智能化已成为提升配电系统保护能力的重要途径。利用先进的智能算法,继电保护系统能够在故障发生前通过对系统状态的实时监控和数据分析,预测潜在的故障,并及时采取预防措施,能够提高系统对故障的响应速度,还能提高处理精度。现代继电保护系统还具备自动恢复供电的能力。发生故障后,系统能够自动检测并启动恢复措施,迅速恢复正常供电^[1]。这种自动化控制能力极大地增强了电力系统的自我修复功能,减少了人工干预的需求,进一步提高了系统的稳定性与效率。

2 10kV 配电系统继电保护的配置情况

继电保护的不同类型的保护配置,如线路保护、变压器保护、母联备投保护与 Pt 切换保护,在电力系统中发挥着不同但同样重要的作用。

2.1 线路保护

线路保护是配电系统中最为常见的保护形式,主要用于监测线路中的短路、过载等故障。一旦发生故障,保护装置会迅速切断故障部分,从而确保其他线路正常运行。为了确保保护的可靠性,线路保护一般配备速断保护、过电流保护及接地保护等多重保护方式。速断保护能够在电流短路时迅速断开线路,防止故障蔓延;过电流保护则有效防止设备因过载而损坏,及时切断电流;接地保护则用于防范接地故障,减少对系统的影响。多重保护的联动作用大大提高了线路保护的效率,确保了电力系统的正常运作。

2.2 变压器保护

变压器在配电系统中担负着至关重要的任务,其保护配置在确保系统安全方面起着核心作用。变压器保护包括差动保护、过电流保护与过电压保护,主要应对短路、过载及励磁涌流等故障。及时启动保护措施,有效切断电流,防止变压器遭受进一步的损害。差动保护可以通过检测变压器输入与输出电流之间的差异,及时发现内部故障;过电流保护则在变压器出现过载时,确保迅速断电,避免长期过载运行;过电压保护则用于防止电压异常对变压器造成损害。变压器保护通过多项措施协同作用,保障了设备的安全稳定运行。

2.3 母联备投保护

母联备投保护是配电系统中的重要保障手段,尤其在负荷较大或对电力供应要求高的地区更为常见。其作用是在主母线发生故障时,能够通过备用母联进行电力切换,保证供电系统的稳定与连续运行。备投母联切换系统通常与自动化控制系统结合使用,能够在主母线发生故障时自动完成切换,确保供电不中断。通过备投母联,电力系统能够在主母线故障时迅速恢复供电,避免长时间停电。此保护措施增强了配电网的灵活性与稳定性,尤其适用于负荷较重、重要负荷集中的地区。

2.4 Pt 切换保护

Pt 切换保护主要用于电压监控与调节,确保电力设备运行在安全电压范围内,避免电压波动对设备造成影响。电力设备对电压波动非常敏感,过高或过低的电压都会对设备造成损害^[2]。Pt 切换保护通过实时监测电压变化,在电压异常时及时调节,保障系统的稳定运行。当电压出现波动时,Pt 切换保护能够快速响应,调节电压源或负载,从而保证设备的安全运行。

3 概述 10kV 配电系统继电保护的常见问题

3.1 励磁涌流的影响

变压器在接通电源时,由于电流突然增大,常会出现励磁涌流现象。如果涌流的幅度过大,继电保护系统可能无法及时判断故障,甚至发生误动作。过度的励磁涌流会导致误报警或不必要的跳闸,进而影响系统的运行稳定。若未有效控制励磁涌流,保护系统的灵敏度将受到影响,无法在故障发生时迅速反应。这样,故障区域可能会扩展,最终危及整个系统的安全。对此问题的有效处理是保障电力系统正常运行的关键。

3.2 电流互感器过饱和

电流互感器(CT)负责监测电流,并为继电保护系统提供重要信号。然而,当电流达到较高值时,电流互感器可能发生饱和,这会导致其输出信号失真。电流互感器饱和时,继电保护系统可能无法正确判断故障情况,甚至会发生误动作。特别是在短路或过载情况下,饱和现象会更为严重,继电保护系统无法准确定位故障位置,导致保护系统未能及时隔离故障电流。若饱和问题未得到解决,继电保护的精准度将大大降低,继而影响整个电力系统的稳定性与安全。

3.3 开关保护设备选择不当

在继电保护系统中,开关保护设备的选择至关重要。若选择的开关设备与系统的实际需求不匹配,可能导致保护系统的反应迟缓,未能及时隔离故障。例如,开关设备的响应时间过长或额定电流范围不匹配,会导致继电保护系统无法迅速切除故障电流,延误保护动作。这种问题不仅增加了设备损坏的风险,还可能扩大故障范围,危及电力系统的正常运行。对于负荷较重或故障发生频繁的区域,开关保护设备的选择应更加谨慎,以确保故障发生时能够及时切断电流,保障系统安全。

3.4 继电保护定值配合不合理

继电保护定值的合理设置对于保护系统的稳定性至关重要。不合理的定值设定可能导致保护装置无法在故障发生时及时动作,甚至错误切断正常电路。如果定值设定过高,保护装置可能错过故障初期的反应时机,无法有效防止故障蔓延;若定值设定过低,则会导致正常运行中的设备被误切除,影响系统的稳定性。因此,合理的定值配置需要基于实际运行条件、负荷特性以及设备的工作范围

精心设计。不合理的定值设置会大幅降低继电保护系统的反应速度与准确性，从而影响系统的安全性。

4 10kV 配电系统继电保护常见问题的应对措施

4.1 控制励磁涌流过大

在变压器接入电源时，励磁涌流问题通常会导致继电保护系统受到影响，特别是当涌流过大时，可能引起误动作。为了解决这一问题，通常采用几种方法进行控制。首要措施是通过在变压器接入时使用串联电抗器，这有助于限制励磁涌流的幅度，从而避免过大的电流冲击对保护系统造成干扰。此外，合理安排变压器的投运顺序也是一种行之有效的控制措施。通过分阶段投运，不仅能够减少涌流对系统的影响，还能有效避免电流过大时引发的保护误动作。与此同时，选择性能优异的保护装置，尤其是那些具备高精度、高速度响应的设备，将极大提升保护系统的稳定性。

4.2 避免电流互感器饱和

电流互感器（CT）在继电保护系统中的作用至关重要，它提供了精确的电流测量数据，以支持故障判断。然而，当电流互感器发生饱和时，测量结果将出现失真，影响保护系统的准确性。因此，必须采取适当措施避免电流互感器饱和^[3]。首先，选用符合负载要求的电流互感器是非常必要的，特别是在高负载或复杂运行环境下，必须确保电流互感器具有足够的线性范围，能够在高电流条件下依然正常工作。此外，定期进行校准与维护工作也是确保电流互感器不发生饱和的关键措施。通过定期检查与调整电流互感器的性能，可以有效避免因设备老化或故障导致的饱和现象。最终，结合实时监控技术，可以实时追踪电流互感器的工作状态，确保其始终处于最佳工作条件，从而保障继电保护系统的正常运行。

4.3 改进配电所保护设备

随着电力需求的增长及配电系统复杂性的提高，传统的继电保护设备已不再适应现代电网的需求。因此，更新升级配电所的保护设备成为必要的举措。引入先进的数字化、智能化保护设备能够显著提升系统的响应速度与处理能力。智能保护装置不仅可以实时监控配电网的运行状态，还能根据负荷变化自动调节保护参数，以实现更加精准地保护。在发生故障时，这些设备能够迅速识别并采取相应措施，极大降低故障蔓延的风险。此外，数字化保护设备能够通过自我诊断与数据传输功能，提升系统的稳定性与可靠性。

4.4 定期巡视与检修继电保护设备

继电保护设备在长期运行过程中，可能因老化、磨损等原因导致性能下降，因此定期进行设备巡视与检修是必要的。这项工作能够及时发现设备潜在问题，防止设备故障或性能下降对系统造成不良影响。定期检查保护设备的

各个组成部分，尤其是关键部件，如电气连接、开关设备等，是确保继电保护系统稳定运行的关键环节。在巡视过程中，除了检查设备本身的物理状态，还应检测设备的运行参数与系统兼容性，确保其能在负荷波动或故障情况下正常工作。通过对保护设备进行功能性测试，验证其在各类负荷条件下的表现，确保其在发生故障时能够迅速响应。此外，定期的检查与维护还应关注设备所处环境的温湿度、通风情况等因素，保证外部环境对设备没有不良影响。

4.5 对继电保护工作人员的要求

为了确保继电保护设备在各种情况下能够正常运行，工作人员必须具备扎实的电力系统理论知识以及丰富的实践经验。定期对工作人员进行专业培训是提高其技能水平的重要手段。培训内容应涵盖继电保护设备的操作原理、常见故障的处理方法及应急响应措施等，确保工作人员在实际操作中能迅速应对各种情况。定期组织技术交流与应急演练，能够帮助工作人员熟悉复杂的故障情境，提高他们的应变能力^[4]。在演练中，通过模拟各种故障场景，工作人员能够熟悉设备的操作流程，掌握有效的故障处理方法。通过这种培训与演练，工作人员能够在面临紧急情况时，冷静应对，确保继电保护系统的安全稳定运行。

5 结语

10 kV 配电系统中的继电保护，不仅在设备安全方面发挥着关键作用，还能有效保证系统在故障情况下的稳定性。随着电力需求的上升，配电网的规模与复杂性不断增加，继电保护面临着更加严峻的挑战。若忽视励磁涌流、电流互感器饱和等问题，系统的保护功能可能会失效，从而影响电力供应的稳定。本文针对这些常见问题进行了深入探讨，提出了有效的解决措施，旨在为提升系统的可靠性与稳定性提供理论依据。在继电保护技术不断发展的背景下，数字化与智能化技术的引入将为系统提供更加灵活与高效的故障应对能力，未来有望进一步保障电力系统的安全运行。

[参考文献]

- [1]陈万钦.10kV 配电系统继电保护配置及整定计算[J].集成电路应用,2022,39(1):288-289.
- [2]姚聪周.6kV 供配电系统中继电保护装置的应用探究[J].科技视界,2019(14):47-48.
- [3]陈万钦.10kV 配电系统继电保护配置及整定计算[J].集成电路应用,2022,39(1):288-289.
- [4]付明立.10kV 高压配电系统及继电保护动作实例分析[J].现代建筑电气,2022,13(11):23-25.

作者简介：曾顺（1972.9—），男，汉族，中车株洲电力机车有限公司。毕业学校和专业：湖南株洲铁路电机学校，焊接专业。

基于大数据的变电站智能选址研究

谷 裕 毛瑞旭

沈阳市规划设计研究院有限公司, 辽宁 沈阳 110000

[摘要]变电站智能选址是支撑新型电力系统建设与电网高质量发展的关键环节,传统方法受限于静态经验模型与单一维度优化,难以应对新能源高渗透与多主体协同的复杂需求。以大数据技术为核心,构建“数据融合-模型优化-决策验证”的全流程智能选址框架。通过多源异构数据的时空对齐与特征挖掘,突破信息孤岛壁垒;结合多目标进化算法与空间聚类技术,实现经济性、可靠性及可持续性的动态均衡;依托 GIS 平台与案例实证,验证模型在城乡差异化场景下的适应能力。数据驱动的选址模式显著提升了规划方案的鲁棒性与决策效率,为电网低碳化、智能化转型提供了可复用的方法论支撑。

[关键词]大数据; 变电站; 智能选址

DOI: 10.33142/hst.v8i6.16923

中图分类号: P2

文献标识码: A

Research on Intelligent Site Selection of Substations Based on Big Data

GU Yu, MAO Ruixu

Shenyang Planning & Design Institute Co., Ltd., Shenyang, Liaoning, 110000, China

Abstract: Intelligent site selection for substations is a key link in supporting the construction of new power systems and the high-quality development of the power grid. Traditional methods are limited by static empirical models and single dimensional optimization, making it difficult to meet the complex needs of high penetration of new energy and multi-party collaboration. Build a full process intelligent site selection framework based on big data technology, including data fusion, model optimization, and decision verification. Breaking through the barriers of information silos through spatiotemporal alignment and feature mining of heterogeneous data from multiple sources; Combining multi-objective evolutionary algorithms and spatial clustering techniques to achieve a dynamic balance of economy, reliability, and sustainability; Based on the GIS platform and case studies, verify the adaptability of the model in differentiated urban-rural scenarios. The data-driven site selection model significantly improves the robustness and decision-making efficiency of planning schemes, providing reusable methodological support for the low-carbon and intelligent transformation of the power grid.

Keywords: big data; substation; intelligent location selection

引言

在能源革命与数字革命深度融合的背景下,变电站选址已从单纯的空间资源配置问题演变为涵盖电网安全、生态保护与社会效益的多目标决策命题。传统选址方法依赖人工经验与静态参数,存在负荷预测偏差大、空间约束考量片面等问题,难以适应高比例新能源接入与极端气候频发的新常态。尽管已有研究尝试引入优化算法与 GIS 技术,但多源数据割裂、模型泛化性不足等瓶颈仍未突破。聚焦大数据技术的赋能潜力,系统整合电力、地理、社会经济等跨领域信息流,创新性构建动态响应与多尺度协同的智能选址体系,旨在破解复杂环境下变电站规划的科学性与工程可行性的矛盾,为新型电力系统建设提供前瞻性解决方案。

1 变电站智能选址的理论与技术基础

智能变电站选址作为现代电网规划的核心环节,其理论与技术体系融合了电力系统优化、地理空间分析及数据科学等多学科成果。在理论层面,经典选址模型以供电半径约束、负荷均衡原则为基础,强调经济性与可靠性的协

同;随着新型电力系统的发展,多目标优化理论逐步成为主流,兼顾环保、社会效益等非经济因素,并通过帕累托前沿分析实现多维目标的动态权衡。空间地理约束的引入进一步拓展了选址的精细化维度,例如利用 GIS 技术评估地形地貌、人口密度及生态敏感区的空间叠加效应,使选址决策从抽象数学建模转向真实地理环境的映射。技术演进方面,大数据驱动的智能方法正逐步取代传统经验驱动模式,机器学习算法通过挖掘历史负荷与地理信息的隐含关联,构建预测与优化一体化的决策框架;深度学习则在复杂场景下提升了空间特征提取与非线性关系的建模能力。值得关注的是,数字孪生技术的兴起为选址研究注入新动能,通过构建虚拟电网与现实数据的双向交互系统,实现规划方案的动态仿真与实时反馈。当前研究趋势已呈现出明显的技术融合特征,未来或将通过人工智能与运筹学的深度交叉,推动选址模型向自适应、可解释的更高层级跃迁。

2 大数据驱动的变电站选址数据体系

2.1 多源数据分类与整合

多源数据的高效整合是支撑智能选址决策的关键前

提。从数据分类维度看,变电站选址所需信息可归纳为三大核心类别。其一为电力系统运行数据,涵盖历史负荷曲线、电网拓扑结构及设备参数,这类数据直接反映电网供需动态与物理约束;其二为地理空间数据,包括地形高程、土地利用类型、交通网络及生态敏感区分布,此类数据通过空间叠加分析揭示选址的可行性边界;其三为社会经济数据,涉及人口密度、产业布局与政策导向,其作用在于评估区域发展的长期需求与潜在风险。数据整合的核心挑战在于多源异构信息的时空对齐与语义统一,例如电力负荷的时序特征需与静态地理栅格数据建立空间映射关系,而政策文本中的定性描述则需转化为量化约束指标。当前主流技术路径包括基于本体的语义融合框架与分布式存储架构(如 Hadoop/NoSQL),前者通过领域知识图谱消解数据间的语义歧义,后者借助并行计算实现海量数据的高效存取。值得注意的是,多源数据的深度融合不仅需要技术手段的突破,更依赖于跨部门协作机制的完善,以打破电力、国土、环保等领域的数据壁垒,最终形成支撑智能决策的数据-知识协同网络。

2.2 数据预处理与特征工程

数据预处理与特征工程是构建高鲁棒性选址模型的核心环节。在数据预处理阶段,原始异构数据的噪声过滤、缺失值填补及标准化处理是首要任务,例如通过滑动窗口平滑技术抑制负荷时序数据的异常波动,或利用地理空间插值方法补全局部地形信息。特征工程则聚焦于从海量数据中提取与选址决策强相关的关键指标。一方面,基于领域知识的特征构造(如负荷密度指数、区域供电潜力评分)可将复杂业务逻辑转化为可量化参数;另一方面,数据驱动的特征选择技术(如随机森林特征重要性评估、互信息法)能够剔除冗余变量,避免维度灾难对模型性能的干扰。值得注意的是,时空特征的融合设计成为近年研究热点,例如将电力负荷的时序变化趋势与地理空间的邻域关联性结合,构建兼具动态与静态特性的复合特征。这一过程不仅依赖算法优化,更需深度融合电力系统专业知识与机器学习方法,最终实现从原始数据到可解释特征的智能跃迁。

2.3 数据质量评估与优化

数据质量是智能选址模型可靠性的核心基础。在评估过程中,需围绕一致性、完整性、准确性与时效性建立多维评价框架。一致性检验通过逻辑规则引擎识别数据矛盾,如电力设备坐标与地理信息系统的空间重叠冲突;完整性评估借助空值分布热力图定位数据缺失区域,并结合业务优先级制定补全策略;准确性验证需融合物理约束(如电网拓扑的基尔霍夫定律)与统计检验(如 DBSCAN 离群点检测),实现多角度交叉验证。针对不同质量问题,优化方法需分层实施:系统性偏差可通过构建电力领域本体库定义语义清洗规则,例如将模糊的“负荷中心”描述转换为坐标半径参数;动态噪声干扰则需在流式计算中嵌入

滑动窗口滤波算法,实时抑制数据采集中的瞬时异常。数据质量提升需形成动态闭环,例如将模型预测误差反向传导至数据清洗模块,利用反馈机制迭代优化清洗阈值。人机协同在复杂场景中尤为关键:地理信息中的生态保护区边界需结合遥感影像人工校核,而政策文件中的隐式约束(如“邻近居民区限制”)需通过自然语言处理与专家经验联合解析。当前技术探索中,基于可信计算的数据血缘追踪技术可精准定位污染数据源,而轻量化联邦学习框架能在保障隐私的前提下实现跨区域数据质量协同优化,为智能选址提供高置信度的数据基底。

3 规划阶段智能选址模型与方法

3.1 宏观选址需求与数据输入

宏观选址需统筹电网长期发展与区域空间承载力的动态平衡,其核心在于挖掘多维度需求与约束的耦合关系。从需求侧看,长期负荷预测需兼顾区域经济增长、新能源渗透及用户行为演变,而供给侧则需评估现有电网容量裕度及扩容潜力,二者共同划定变电站布局的战略方向。数据输入体系需覆盖电力、地理、社会经济的全要素信息。电力运行数据(如历史负荷曲线、设备老化率)为负荷预测提供时序基准;地理空间数据(地形起伏度、生态红线)通过栅格化处理生成选址禁区与优先区;社会经济数据(人口迁移趋势、产业规划)则用于预判未来能源需求的时空异质性^[1]。值得注意的是多源数据的时空尺度差异对模型输入构成显著挑战,例如年尺度政策规划与秒级电力数据的融合需依赖本体论框架或知识图谱技术实现语义对齐。当前研究正从静态数据驱动转向动态交互模式,通过引入实时气象、用地变更等流式数据,增强宏观选址的响应敏捷性,而跨领域数据共享机制的完善仍是突破信息孤岛的关键路径。

3.2 多目标优化模型构建

多目标优化模型是平衡变电站选址中多元矛盾需求的核心工具,其设计需兼顾经济性、可靠性与可持续性的协同优化。从目标函数构建来看,经济维度聚焦投资成本、运维费用及土地资源的集约利用;可靠性维度则通过供电半径均衡度、容载比冗余度等指标量化电网韧性;可持续性维度进一步引入生态影响因子,如噪声污染范围、景观协调性等非传统约束^[2]。在约束条件设计上,除电网容量、电压稳定性等物理限制外,还需整合地理空间刚性约束(如避让生态保护区、地质灾害频发区)与政策柔性引导(如区域发展规划权重)。当前主流求解方法可分为两类:其一是基于权重分配的标量化方法(如加权求和),依赖专家经验或熵权法动态调整目标优先级;其二是非支配排序的进化算法(如 NSGA-II、MOPSO),通过帕累托前沿生成多方案集供决策者权衡。值得注意的是,目标间的非线性冲突与动态耦合特性对模型求解效率提出挑战,例如环保成本骤增可能颠覆经济性最优解的地位。近年研究尝

试引入模糊逻辑或博弈论框架,以量化目标间的妥协空间,而基于强化学习的动态权重调整机制则为应对不确定性环境提供了新思路。未来模型需在可解释性与计算复杂度间寻求平衡,同时探索多目标协同优化的理论边界与工程实践的最优解域。

3.3 供电范围划分与站址优化

供电范围划分与站址优化的协同设计是平衡电网效率与公平性的核心命题。传统供电范围划分多基于几何学原理,例如 Voronoi 图通过空间距离划分服务区域,但其未充分考虑负荷密度差异与地理屏障的阻隔效应,导致理论模型与工程实践脱节。当前研究通过引入加权 Voronoi 算法,将负荷需求、线路损耗等因子量化为空间权重,实现服务半径的动态伸缩;同时,混合聚类方法(如 K-means 与 DBSCAN 结合)可兼顾负荷分布的聚集特性与地理连续性,避免孤岛式供电区的生成。站址优化则需在多目标框架下权衡经济成本与覆盖效率,例如遗传算法通过编码候选站址的经纬度坐标生成解集,并依据适应度函数(如最小化线损率、均衡负载率)迭代筛选;粒子群优化则凭借群体智能特性加速全局搜索,但其易陷入局部最优的缺陷仍需通过模拟退火等混合策略弥补。值得关注的是,电网拓扑约束的复杂性对优化算法提出更高要求,例如山地地形中线路迂回导致的等效距离修正、负荷中心迁移引发的动态权重调整,均需在模型中嵌入空间地理与时间序列的耦合分析。在实际应用中,可结合地形遥感数据与三维建模技术优化地理阻隔效应,例如通过数字高程模型(DEM)量化山体坡度对供电半径的衰减影响,动态调整 Voronoi 图的权重比例^[3]。针对负荷波动场景,引入时序注意力机制增强聚类算法的动态适应性,将历史负荷的季节性特征与实时用电行为关联,优化负荷分区的时效性权重。此外,多目标优化的协同策略需兼顾全局与局部利益,例如融合合作博弈论量化不同利益主体(政府、电网、居民)的诉求优先级,生成多方认可的妥协解集。在极端天气频发背景下,模型需嵌入韧性评估模块,以停电概率、灾后恢复成本等指标修正适应度函数,确保站址方案的抗风险能力。未来可探索迁移学习技术,将高负荷密度城区的优化经验迁移至乡村新能源接入区,减少重复建模的算力消耗,推动规划效率的跃升。

3.4 功能实现与验证

功能实现与验证是衔接理论模型与工程实践的核心环节,目标在于构建可落地的智能选址系统并确保其决策

可信度。功能实现层面,系统架构需整合数据层、算法层与应用层。数据层依托分布式存储技术(如 Hadoop)实现多源数据的实时存取;算法层通过模块化设计支持多目标优化、空间分析等模型的灵活调用;应用层则借助 GIS 平台或三维可视化引擎(如 Cesium)将抽象结果转化为可交互的选址热力图与方案对比视图。验证方法需覆盖技术性能与业务价值双重维度,技术验证通过仿真对比实验(如与传统经验法、单目标优化法的结果差异)评估模型的收敛速度与解集质量;业务验证则依赖专家评议与历史案例回溯,例如比对模型推荐站址与人工规划方案的吻合度,或通过灵敏度分析检验模型对政策突变、负荷波动的鲁棒性。值得注意的是,功能实现需嵌入人机协同机制,例如允许规划人员手动调整优化权重或引入领域知识修正候选站址,而验证过程则应避免“过拟合历史数据”的陷阱,需通过前瞻性推演(如模拟新能源大规模接入场景)验证模型的泛化能力。当前技术瓶颈在于动态数据更新与模型自优化的实时性矛盾,未来或需探索边缘计算与轻量化模型的结合,以实现“规划-验证-迭代”闭环的工程化部署。

4 结语

变电站智能选址的技术演进,本质上是电力系统规划从经验依赖型向数据-知识双驱动模式的结构转型。通过地理信息、负荷预测与设备状态的动态耦合,建立了多目标优化算法与时空约束建模方法,显著提升了选址方案在新能源消纳、供电可靠性及土地资源利用等维度的协同能力。当前实践表明,数据壁垒(如跨部门共享机制缺失)与算法局限性(如高维非凸优化中的局部最优陷阱)仍是制约规模化应用的主要瓶颈,而数字孪生技术通过构建物理-虚拟映射模型,为选址参数的动态修正提供了新的解决思路。

【参考文献】

- [1]徐华秒,张军伟.基于大数据的变电站智能选址研究[J].电力勘测设计,2020(2):129-134.
 - [2]张旭阳,章剑光,谢天祥,等.基于物联网大数据的变电站远程选址研究[J].自动化技术与应用,2023,42(7):112-114.
 - [3]刘云天.数字化背景下变电站工程智能选址及选线规划管理研究[D].北京:华北电力大学(北京),2022.
- 作者简介:谷裕(1988.6—),毕业院校:沈阳建筑大学,所学专业:电气工程及其自动化,当前就职单位:沈阳市规划设计研究院有限公司,职务:项目总监,职称级别:高级工程师。

电力工程施工技术创新与标准化工艺技术探究

王宗实¹ 赵航²

1 辽宁飞纵电力设计有限公司, 辽宁 沈阳 110000

2 沈阳电力勘测设计院有限责任公司, 辽宁 沈阳 110000

[摘要]文中系统剖析材料界面调控、设备集群协同及隐蔽工程无损感知等关键环节,揭示传统施工模式因技术离散化与质量不可控等系统性缺陷,构建数字孪生赋能的工艺参数链与智能感知网络协同创新框架。研究表明,通过建立工艺参数动态优化模型与缺陷自愈机制,可突破接地装置腐蚀抑制、电缆多场应力平衡等核心瓶颈,实现工程实体全生命周期性能的精准管控。研究提出基于量子传感阵列的施工质量场重构方法,融合材料基因组工程与非线性动力学仿真,预判极端工况下的电磁拓扑失稳风险,推动电力工程从经验驱动向数据智能范式跃迁,为新型电力系统构建具备环境自适应与故障容错能力的韧性基座提供理论支撑。

[关键词]电力工程; 施工技术; 标准化工艺; 创新

DOI: 10.33142/hst.v8i6.16922

中图分类号: TM73

文献标识码: A

Exploration on Innovation and Standardization Process Technology in Power Engineering Construction Technology

WANG Zongshi¹, ZHAO Hang²

1. Liaoning Feizong Electric Power Design Co., Ltd., Shenyang, Liaoning, 110000, China

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

Abstract: The article systematically analyzes key links such as material interface control, equipment cluster collaboration, and non-destructive perception of concealed engineering, revealing the systematic defects of traditional construction modes due to technological discretization and uncontrollable quality. It constructs a collaborative innovation framework of digital twin empowered process parameter chain and intelligent perception network. Research has shown that by establishing a dynamic optimization model of process parameters and a defect self-healing mechanism, core bottlenecks such as corrosion suppression of grounding devices and multi field stress balance of cables can be overcome, and precise control of the full life cycle performance of engineering entities can be achieved. The research proposes a construction quality field reconstruction method based on quantum sensing arrays, integrating material genome engineering and nonlinear dynamic simulation to predict the risk of electromagnetic topology instability under extreme working conditions, promoting the transition of power engineering from experience driven to data intelligent paradigm, and providing theoretical support for the construction of a resilient foundation with environmental adaptability and fault tolerance for new power systems.

Keywords: power engineering; construction technology; standardized process; innovation

引言

新型电力系统建设正面临新能源高渗透率与电力电子化设备规模化应用的双重范式革命,其引发的宽频域电磁扰动、多时间尺度动态响应等复杂工况,对工程施工的电磁拓扑设计、瞬态能量耗散能力及设备集群协同控制提出了颠覆性挑战。传统施工模式受限于工艺标准化滞后与技术协同壁垒,导致设备安装偏差的时空累积效应、电缆敷设多场耦合应力畸变、接地装置电化学-热力学交互腐蚀等系统性风险呈指数级增长。本文以多物理场耦合理论为基底,构建“量子化工艺基准-跨尺度参数优化-智能自愈调控”三位一体的技术重构框架:在空间维度上,通过电磁-机械-热力多场协同设计破解设备安装的误差链式传播难题;在时间维度上,研发基于深度强化学习的动态工艺参数链,实现电缆应力场与电磁干扰场的实时拮抗平

衡;在系统维度上,部署多模态感知网络驱动的质量熵值反馈环,形成施工缺陷的拓扑溯源与工艺自修正能力。研究聚焦施工要素的数字基因编码、材料界面量子态调控、非线性系统稳定性边界的智能预判等核心命题,通过标准化工艺参数库与自适应施工神经网络的深度耦合,重塑电力基础设施建设的确定性工程范式,为新型电力系统构建兼具韧性载体与智慧生命体特征的技术基座。

1 电力工程施工技术创新与标准化工艺的重要性

电力工程施工技术的范式革新本质上是构建新型电力系统物理载体的基因工程,其标准化工艺体系通过工艺参数的量子化基准设定,彻底消解了人为操作离散性引发的误差级联效应。技术创新则依托多物理场耦合感知网络与边缘智能体的深度渗透,形成施工要素的亚毫米级动态调控能力,例如基于磁致伸缩效应的螺栓预紧力闭环控制、

电缆形变场的数字孪生映射等技术突破。二者的深度融合重构了“工艺基因编码-数据赋能决策”协同机制，在新能源场站多端谐波耦合、柔性设备电磁暂态交互等新型技术场景中，实现了施工质量从经验黑箱向确定性控制的跨越。

2 电力工程标准化工艺技术研究

2.1 标准化工艺的准备阶段

在电力工程标准化工艺准备阶段，应统筹安排符合本项目需求的原材料及专业技术人员进场，并对其质量和资质进行严格核验。对于涉及特殊工种的作业任务，应认真审查相关作业人员的持证上岗情况，确保人员资质符合规范要求^[1]。同时，在准备过程中如发现设备或零部件存在缺陷，应及时向项目监理单位进行反馈和报告，杜绝未经授权擅自处置的问题行为，以确保后续施工环节的安全性与规范性。

2.2 电气设备安装技术规范

电气设备安装技术体系需实现机械-电气-环境的多物理场协同控制，其核心在于构建“量子级精度定位-拓扑自治连接-智能环境适配”的复合工艺链。变压器精准就位阶段，采用量子惯性导航系统与多自由度液压伺服机构联动，通过自抗扰控制算法消除运输振动导致的基准面偏移，实现本体三维姿态的亚微米级动态补偿。断路器机械特性调校创新应用多光谱融合诊断技术，结合红外热像仪检测传动机构摩擦热分布、紫外成像仪捕捉绝缘拉杆微放电痕迹，并通过深度神经网络解析分合闸线圈电流谐波特征，实现机械-电气参数的跨域匹配优化。二次回路接线实施毫米波雷达非接触式三维测绘工艺，基于电磁场逆问题求解技术重构线束拓扑关系，自动校验 CT/PT 绕组的电磁感应相位一致性，同时采用石墨烯基导电胶固化工艺强化屏蔽层端接点的载流稳定性。全封闭组合电器安装构建智能微环境调控系统，集成温湿度梯度补偿模块与纳米粒子吸附装置，通过模糊 PID 控制算法维持气室内露点温度 $\leq -40^{\circ}\text{C}$ 的极限干燥状态，并部署分布式声发射传感网络实时捕捉密封面应力松弛引发的微弱泄漏信号，形成多维度密封性能保障机制。

2.3 电气管道项目施工

电气管道施工需构建“地质力学适配-多物理场防护-智能运维预埋”的全周期技术体系，其核心在于破解复杂环境下的结构耐久性与电磁兼容性协同难题。针对腐蚀性地质区域，采用纳米级锌铝镁合金梯度镀层技术，结合分布式光纤腐蚀监测传感器网络，实现管道锈蚀速率的原位感知与缓蚀剂智能释放控制。穿越复合地层时，应用地质雷达波速反演算法动态修正管道敷设倾角，并植入形状记忆合金补偿器以消纳地基差异沉降引发的机械应力。在电磁敏感区域创新应用超导屏蔽层与铁氧体-石墨烯复合吸收体，构建宽频带电磁涡流抑制结构，通过拓扑优化算法设计非对称管道间隔布局，使电磁干扰衰减系数提升 3 个数量级。施工过程部署自主移动式激光扫描机器人，实时生成管道内壁三维点云模型，结合深度学习算法自动识别微米级毛刺与焊缝凸起，触发高精度等离子体抛光装置进行在线修复。全生命周期运维预埋方面，在管道关键节

点集成压电能量收集模块与 LoRa 无线传感单元，形成自供电的振动-温度-应变多参量监测网络，为智能电网的电缆载流量动态调控提供底层数据支撑。

2.4 接地装置标准化工艺技术要求

接地装置标准化施工需构建“散流效能优化-腐蚀动力学抑制-热力场协同设计”的多物理场耦合体系，其技术内核在于突破传统接地系统的静态性能局限。垂直接地极施工创新应用智能调控高频液压振动系统，基于动态阻抗反馈算法实时调整激振频率与贯入力矩，实现卵石地层中接地极轴线偏转角的角度级控制，同时植入分布式光纤应变传感单元监测施工过程中的机械应力分布。水平接地网焊接接头质量管控引入机器学习驱动的渗透探伤图像分析技术，通过卷积神经网络识别微米级裂纹的拓扑特征，并采用石墨烯-碳纳米管复合导电防腐涂层实现断面的自修复防护。针对高腐蚀性土壤环境，研发纳米级离子缓释接地极，其多孔陶瓷载体中嵌入 pH 响应型缓蚀剂微胶囊，可根据土壤酸碱度动态释放活性离子，同步降低接地电阻与腐蚀速率^[2]。铜钢复合界面处理采用超音速冷喷涂工艺，形成梯度过渡的金属间化合物扩散层，彻底消除异种材料接触电势差引发的电偶腐蚀风险。施工验证阶段融合宽频阻抗谱分析与时域反射技术，构建接地装置暂态散流能力的数字孪生模型，通过雷电流冲击仿真验证热稳定性裕度，并部署地电位梯度智能感知网络实时监测土壤干湿循环对接地性能的衰减效应，形成全生命周期性能预警机制。

2.5 电缆敷设施工

电缆敷设技术的革新聚焦于构建“物理防护-热力学平衡-电磁场协同”的全域智能调控体系，其核心在于破解复杂工况下的机械损伤累积、热应力集中与电磁干扰叠加等多重技术瓶颈。针对大截面电缆展放，研发基于光纤光栅阵列的分布式应变感知系统，通过实时解算绝缘层三维形变张量，驱动多段式履带输送机与液压伺服张力控制器形成闭环反馈链，实现展放路径的自适应优化与动态应力消解。排管敷设阶段创新应用纳米级自润滑涂层技术，采用气凝胶复合介质对管道内壁实施拓扑修复，同步部署微型爬行机器人搭载涡流探伤装置，生成管道缺陷的亚毫米级数字孪生模型，为牵引工艺参数优化提供高精度输入。直埋施工引入土壤介电特性反演算法，设计梯度式回填材料级配方案，结合压电式智能夯实装备的振动频谱调控功能，形成与电缆弯曲刚度匹配的力学缓冲层，并在地下关键节点植入量子点荧光标识带，实现非开挖条件下的厘米级定位精度。电缆终端安装工艺突破传统机械压接模式，开发基于多物理场耦合仿真的应力锥智能匹配系统，融合激光干涉仪与红外热像仪的多模态检测数据，通过深度强化学习算法动态优化压接压力-温度-速度参数链，消除界面微气隙引发的局部放电隐患。全线路热管理方面，构建“光纤测温-气象感知-载流量调控”的熵增抑制网络，集成相变储能模块与微型热电制冷装置，形成电缆运行热惯量的主动补偿能力，并通过电磁超材料屏蔽层的拓扑优

化设计,实现工频磁场与高频谐波的双重衰减,为电缆系统的全生命周期可靠运行奠定多物理场协同保障基础。

3 电力工程施工技术创新

3.1 传感器技术

电力工程施工场景的传感器技术革新正推动质量监测体系向多模态融合感知-边缘智能解析-量子级精度映射的三维范式跃迁。光纤光栅传感阵列通过飞秒激光微加工技术嵌入电缆附件分子结构层,动态捕获局部放电引发的瞬态热-力-化学多场耦合畸变,结合拓扑数据分析算法实现绝缘缺陷的亚毫米级定位与演化趋势预测。压电式加速度计阵列升级为 MEMS-NEMS 混合集成架构,在变压器油箱表面布设微纳级振动感知节点群,通过小波包-深度学习融合模型解析铁芯磁致伸缩与绕组电磁力的非线性谐振特征,实现机械松动的早期量子化预警。非接触式太赫兹成像系统与超表面超材料技术深度融合,开发出可穿透 GIS 设备复合绝缘材料的涡旋波束扫描探伤仪,通过轨道角动量编码技术重构绝缘子内部三维裂纹拓扑,分辨率突破衍射极限至纳米量级^[3]。施工人员智能装备体系引入仿生传感技术,安全帽集成石墨烯基柔性应力传感器与毫米波生命体征雷达,构建人体生物力学-环境风险场的数字孪生映射模型,通过联邦学习框架实现危险行为的跨项目知识迁移预警。

3.2 通信技术

电力工程通信技术的范式革新正推动施工要素互联向“量子级同步-语义化交互-穿透性传输”三维协同体系演进。5G-TSN 融合网络架构创新引入量子密钥分发机制,通过光频梳载波聚合技术实现施工要素的飞秒级时间同步,并基于智能超表面动态重构电磁波前相位,形成抗干扰的定向通信波束,保障复杂场景下的微秒级时延确定性。塔吊群协同控制系统突破传统 URLLC 架构局限,研发多智能体强化学习驱动的毫米波雷达阵列,通过超分辨率空间感知算法生成亚毫米级动态避障路径,并构建数字孪生赋能的吊装参数自主优化引擎。施工机械装备的异构互联体系升级为雾-边缘-云三级架构,采用光子晶体波导集成 OPC-UA 协议栈,实现液压控制器与激光定位仪等异质设备的语义级互操作,同步部署数字线程技术贯通全生命周期数据流。地下管网通信系统融合磁感应与地电场耦合原理,设计分布式 MIMO 透地传输阵列,通过极化编码技术突破岩层介质损耗瓶颈,构建人员定位、机械监控与地质预警的三维可视化平台。

3.3 数据处理技术

电力工程数据处理技术正经历从信息集成到认知跃迁的革命,其核心在于构建“量子计算加速-神经形态架构-拓扑数据分析”三位一体的智能决策中枢。数字孪生系统升级为多物理场耦合的超算平台,融合 FEA 与分子动力学跨尺度仿真,实现电缆弯曲过程中绝缘层分子链断裂能与宏观形变量的关联映射,通过深度强化学习算法自主优化牵引速度-温度-应力的动态平衡方程。施工缺陷知识图谱创新引入因果推理引擎,基于张量分解技术挖掘历史数据中隐含的工艺链失效传播路径,生成具有时空演化特性的三维风险热力图。

区块链存证体系与量子密钥分发技术融合,构建工艺参数的不可克隆数字指纹,实现从原材料溯源到运维检修的全生命周期可信追溯。施工进度管理突破传统离散事件仿真局限,开发数字线程驱动的系统,通过多智能体博弈模型模拟极端气候与供应链中断的级联效应,同步耦合边缘智能体的实时感知数据流,形成动态重配置的弹性工期预测网络。

3.4 安全技术

电力工程安全技术正经历从被动防护到主动免疫的范式跃迁,其核心在于构建“量子级感知-拓扑风险解构-自主防御”的全域安全神经中枢。施工人员定位系统升级为量子增强型 UWB 阵列,通过超表面透镜重构厘米级定位信号波前相位,并与数字孪生赋能的 BIM 模型深度耦合,实时解算人体运动轨迹与吊装机械臂的量子纠缠风险场。智能安全装备体系创新植入仿生学原理,安全绳集成类肌肉纤维致动器与拓扑应变传感网络,基于混沌理论预测坠落动力学演化路径,在 50ms 内触发多级气动-电磁复合缓冲装置,实现冲击能量的非线性耗散^[4]。地下管线探测系统融合超表面超构透镜与光子晶体光谱解析技术,通过轨道角动量编码穿透混凝土介质,重构地下 3m 内管线的亚毫米级电磁指纹图谱。跨项目风险共享机制突破联邦学习框架,研发量子同态加密驱动的隐私计算芯片,在施工机械边缘节点直接完成风险特征的张量分解与知识蒸馏,构建去中心化的威胁情报联邦体。

4 结语

电力工程施工技术的范式革命正驱动能源基础设施向“量子化精度-自主化演进-生态化融合”三维坐标系的战略跃迁。通过构建工艺参数的量子纠缠图谱与自组织工艺链,实现了施工质量场从离散纠缠到连续涌现的认知升级。多物理场数字孪生体与超导神经形态网络的深度耦合,正重塑施工要素的时空关联逻辑,使电缆弯曲形变预测、接地装置腐蚀动力学等传统难题突破经典力学边界。未来,拓量子材料与光子晶体传感阵列的跨维度集成,将催生具有环境自适应能力的基建生命体,其原子层自组装特性可实现绝缘缺陷的皮秒级自愈合。材料基因组工程驱动的施机器人集群,通过电子-声子耦合调控技术,可在强电磁干扰环境下实现纳米级精度的设备组态重构。

[参考文献]

- [1]袁春雷.电力工程施工技术创新与标准化工艺技术探究[J].城市建设理论研究(电子版),2025(8):148-150.
- [2]耿伟亚.电力工程施工技术创新及标准化工艺管理[J].科技风,2018(26):187.
- [3]施生雯.电力工程施工技术创新与标准化工艺管理研究[J].科技与创新,2021(9):113-114.
- [4]石勇,朱文娟.居配电力工程中关键节点施工技术创新与实践[J].电力设备管理,2024(1):52-54.

作者简介:王宗实(1991.5—),毕业院校:东北电力大学,所学专业:电力系统及其自动化,当前就职单位:辽宁飞纵电力设计有限公司,职务:输电线路电气设计,职称级别:中级。

新型电力系统独立储能电站研究

王 亮

河北能源工程设计有限公司, 河北 石家庄 050031

[摘要]近年来,以风力发电和光伏发电为代表的新能源存在出力不稳定的缺点,储能技术的发展可用来调节电力的供需平衡。但传统储能分散布置存在单体容量小、运维检修不方便、调度管理难度大等问题,同时难以发挥储能在用电保障、源网协调运行和综合效率提升等方面的作用。文中提出一种将分散布置的储能集中布置,同时将跟网型储能和构网型储能相融合的新型独立储能电站,并结合当地政策对收益分析进行探讨,以期给同类项目实践提供参考。

[关键词]新能源;储能技术;构网型储能;收益分析

DOI: 10.33142/hst.v8i6.16918

中图分类号: TM732

文献标识码: A

Research on Independent Energy Storage Stations for New Power Systems

WANG Liang

Hebei Energy Engineering Design Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050031, China

Abstract: In recent years, new energy sources such as wind power and photovoltaic power have the disadvantage of unstable output. The development of energy storage technology can be used to regulate the supply-demand balance of electricity. However, the traditional decentralized arrangement of energy storage has problems such as small individual capacity, inconvenient operation and maintenance, and difficult scheduling and management. At the same time, it is difficult to fully utilize the role of energy storage in electricity security, coordinated operation of the source network, and overall efficiency improvement. The article proposes a new type of independent energy storage power station that integrates decentralized energy storage with grid type energy storage and grid type energy storage, and discusses the benefit analysis in conjunction with local policies, in order to provide reference for similar project practices.

Keywords: new energy; energy storage technology; grid based energy storage; profit analysis

引言

在全球能源结构加速向清洁化、低碳化转型的背景下,以风能、太阳能为代表的可再生能源大规模并网,对电力系统的灵活性、稳定性和调节能力提出了更高要求。然而,可再生能源固有的间歇性与波动性,叠加电力供需时空错配的挑战,使得传统电力系统面临调峰压力增大、弃风弃光现象频发、电网安全风险上升等问题。在此背景下,储能技术作为支撑新型电力系统的关键基础设施,正从“配套角色”向“独立主体”演进。建设以新能源为主体的新型电力系统,成为推动电力清洁低碳发展的必然选择。

《国家发展改革国家能源局关于加快推动新型储能发展的指导意见》中指出,发展新型储能能够提升能源电力系统调节能力和综合效率,在推动能源领域碳达峰、碳中和过程中发挥显著作用。因地制宜发展电源侧新型储能,有利于提升电网安全稳定运行水平,增强电网薄弱地区的供电保障能力。

传统跟网型储能通过跟踪电网电压与频率实现功率调节,但在高比例新能源接入场景下,其依赖电网稳定信号的特点易导致系统惯量不足、抗扰动能力弱化。而构网型储能通过模拟同步机特性,可自主构建电网电压与频率,显著增强系统稳定性,却面临动态响应速度与多机协调控制等挑战。将二者技术特性深度融合,构建具有动态跟随

与主动构网双重能力的储能电站,既能实现快速功率响应,又可提供虚拟惯量、阻尼振荡等主动支撑功能,为高比例新能源电网提供“柔性骨架”支撑。进一步满足新型电力系统下区域内电网发展需要。

1 独立储能电站设计

1.1 建设背景及电网现状

某企业在河北南网某地区建设三个光伏发电项目,每个项目配置储能容量不同。计划将不同项目分散布置的储能进行集中布置,将碎片化电源侧储能整合为“共享储能”,合建一座独立储能电站。以下为该企业 2021 年保障性和市场化三个项目的建设清单:

表 1 该企业 2021 年保障性和市场化三个项目的建设清单

项目名称	装机容量	类别	储能功率	储能容量
400MW 农光互补光伏项目 A	400	保障性 10%2h	40	80
350MW 光伏发电项目 B	350	市场化 10%4h	35	140
250MW 光伏发电项目 C	250	市场化 10%4h	25	100
合计	1000		100	320

本着建设区域电网发展需求的原则,企业经过与电网充分沟通后,确定把光伏发电项目 C 所在地一座 110kV 变电站 A 作为独立储能电站的接入站。该站供电负荷比较单一,主要为一般工商业和居民负荷,涉及少量军工和

水力负荷等,供电区域涉及 5 个乡镇,供电面积约 420 平方公里,人口 7.4 万人。未来负荷增长仍将以当地旅游、小工商业和居民煤改电为主。

110kV 变电站 A 的主变容量为 $2 \times 40\text{MVA}$,已达终期主变建设规模。由于两回同杆并架 110kV 线路供电,电源点均来自 220kV 变电站 B。2021 年最大供电负荷 31MW (考虑 35kV 及以下光伏供负荷因素,实际最大负荷约 54MW),年供电量 0.8 亿 kWh。剔除光伏出力影响,预计 2025 年最大负荷达 70MW。

110kV 变电站 A 现状接入新能源容量为 153.8MW (110kV 并网 T 接入 50MW, 35kV 并网 60MW、10kV 及以下并网 25.8MW),新能源接入容量远超主变容量。新能源年度发电量达 1.34 亿 kWh,目前新能源年发电量已经超过年供用电量,属于典型的新能源高占比地区。110kV 变电站 A 电网现状及电源系统图如下图 1 所示:

1.2 储能电站设计方案

结合新能源配建储能的规模和时序,储能电站建设总容量为 100MW/320MWh,包含 40MW/80MWh 构网型储能系统和 60MW/240MWh 跟网型储能系统。分别配置 1 套储能监控系统,各自独立调度。储能电站内,新建 1 座由光储一

体系统和构网型储能系统合建的 35kV 开关站、新建 1 座跟网型储能系统组成的 110kV 升压站,如图 2 所示。

光储一体系统: 10MW 光伏单元和 10MW/20MWh 储能系统采用直流侧耦合方案设计,汇集后接入光储一体机。共分为 3 个 2.5MW 单元和 2 个 1.25MW 单元,设备均布置于光伏阵列区域,规划 1 回储能集电线路接入新建 35kV 开关站。

构网型储能系统: 30MW/60MWh 由 10 个 3MW/6MWh 构网型储能单元组成,设备安装于储能电站区域,规划 2 回储能集电线路接入新建 35kV 开关站。

跟网型储能系统: 一期建设 35MW/140MWh 跟网型储能系统 (光伏发电项目 B 配套建设); 二期建设 25MW/100MWh 跟网型储能系统 (光伏发电项目 C 配套建设); 设备均安装于储能电站区域; 规划 3 回储能集电线路接入新建 110kV 升压站。

1.3 储能电站接入方案

储能电站采用分层分级的接入方案: 40MW/80MWh 构网型储能接入变电站 A 中 1#主变低压侧 35kV I 段母线; 60MW/240MWh 跟网型储能接入变电站 A 中 110kV II 段。储能电站接入后的变电站 A 地区的电网系统图如下图 3:

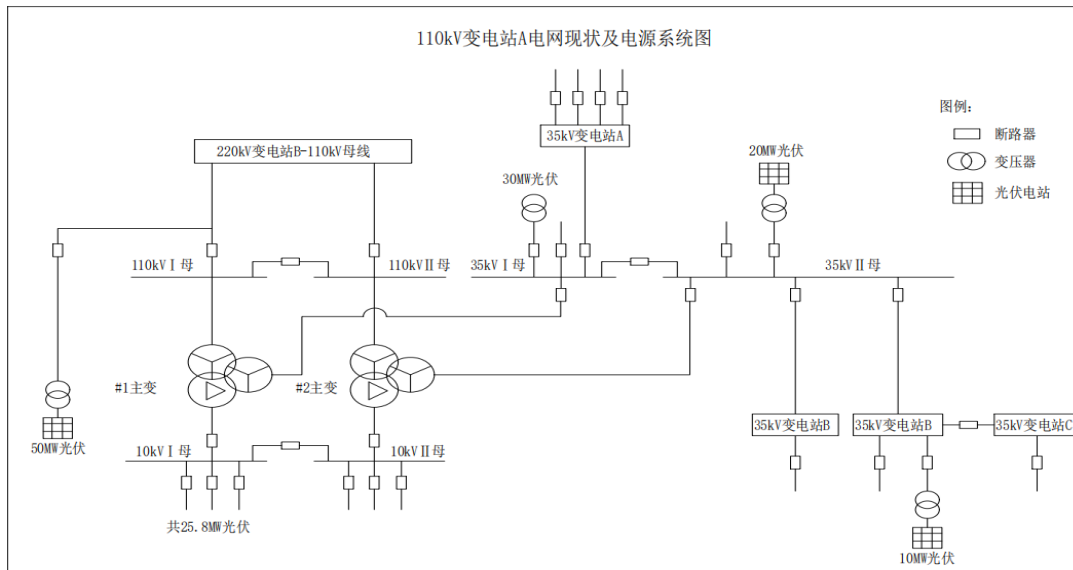


图 1 110kV 变电站 A 电网现状及电源系统图

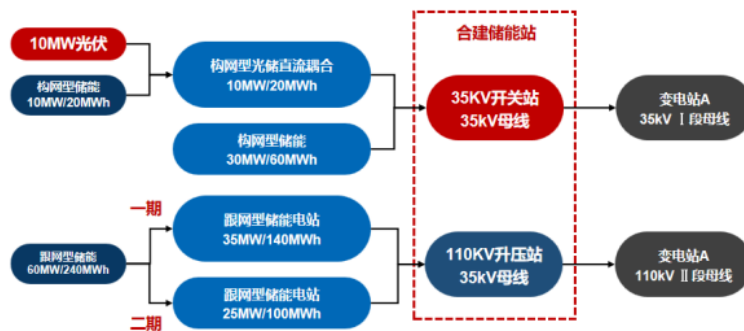


图 2 独立储能电站拓补图

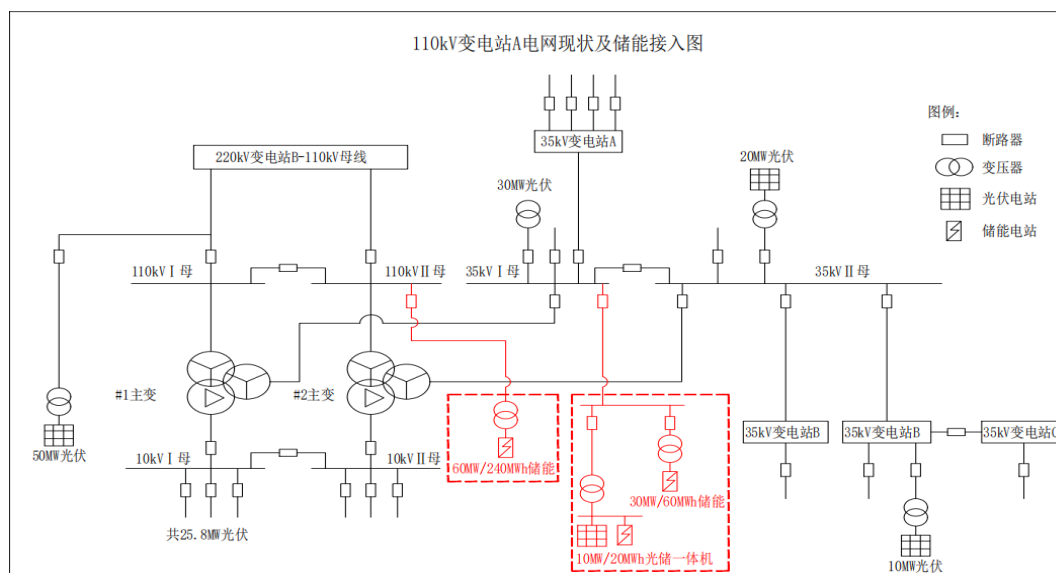


图3 储能电站接入电网系统图

2 新型独立储能电站建设意义

2.1 工程实际意义

(1) 提高系统最大供电容量。变电站 A 主变容量 $2\times 40\text{MVA}$ ，已达终期主变建设规模，预期 2025 年实际最大负荷约 70MW，存在主变 N-1 过载风险，需要切负荷的运行情况。

储能电站接入后，储能系统可在大负荷期间释放电力，缓解设备重过载风险，延缓或替代输变电设施投资，新增供电能力 26MW 以上。

(2) 提升末端电网运行可靠性。变电站 A 位于电网末端，仅由变电站 B 直出的同塔双回线路供电，若双回线路或 50MW 光伏 T 接线路故障，将导致变电站 A 供电电源全失或单电源供电。

储能电站采用电化学储能电池技术，拥有良好的有功及无功快速响应能力，构网型储能可毫秒级速度响应应急处理，自动转离网运行，大大提高了电网安全可靠运行能力。

(3) 促进新能源的接入和消纳。变电站 A 供电区内光伏发展较快，2021 年最大反送功率 52.6MW。受限于主变 N-1，目前 35kV 及以下已无接入新能源能力；双回供电线路导线型号均为 LGJ-240，热稳极限为 94MW，考虑 50MW 光伏项目 T 接后，并网线路 N-1 方式下，可接入新能源能力仅 1.4MW。

储能电站接入后，储能系统可在光伏大发期间充电调峰，解决变电站 A 主变、并网线路反送 N-1 过载风险，缓解清洁能源电力输出受限状况，平缓电源的出力波动，提高线路利用率及外送能力，最大可提升新能源接入能力约 35MW。

(4) 降低电网损耗及削峰填谷。一是降低电网的电能输配损耗。当线路总输送电量，通过调节输电网的输送功率曲线，在保障线路输送电量的同时，减小电网功率

波动，降低线路及变压器等相关设施设备的损耗，提高电网运行经济性水平。二是缓解调度在用电高峰期的调峰压力。储能电站通过共享储能等创新模式，实现大规模集中统一调度，可有效缓解地区迎峰度夏供电紧张、区域内调峰能力偏低等问题。

(5) 参与调峰调频等电力辅助服务。电化学储能能够以毫秒级的速度，快速响应电网需求，并可实时、精确控制充放电过程，实现容量调节，有效提高大电网的调峰调频能力。

2.2 工程示范意义

(1) 兆瓦级光储一体机系统。10MW 光伏与 10MW/20MWh 储能按照直流耦合设计组成光储一体机系统，在并网运行过程中可以模拟旋转电机的特性，为系统提供转动惯量及短路容量，提供高性能一次调频、调压、阻尼控制等功能。

(2) 构网型储能多机并联。48 台构网型设备自同步并列运行，解决多电压源并列运行的协调控制难题，同时，可实现多机主动并网离网转换。

(3) 构网型储能系统具备离并网无缝切换、黑启动功能。构网型储能并网状态时，以经济优化、辅电压频率支撑为控制目标；离网状态时，以系统电压频率稳定为控制目标。计划性离并网切换时，通过储能、光伏功率的快速控制，实现平滑切换；

构网型储能具备黑启动功能，非计划性离并网切换时，通过快速隔离非构网区、实现构网区在线无缝切换，控制系统电压频率，实现 110kV 变电站 A 所带负荷及新能源离网不间断运行。

(4) 探索新型电力系统解决方案。在 10kV、V、110kV 电网按照兆瓦级、十兆瓦级、百兆瓦级试点，建设发展智能微电网技术形态，提升大电网延伸困难地区的供电可靠性，

表2 河北省独立储能政策支持文件

发布时间	政策名称	要点内容
2024.1.27	《关于制定支持独立储能发展先行先试电价政策有关事项的通知》	1、容量：不低于 100MW，放电时长不低于 4h，2024 年以前的不低于 2h； 2、容量补贴：100 元/kW~50 元/kW，按照 2024 年并网时间 5 月—12 月逐次退坡。 3、调度次数：年调用完全充放电次数原则上不低于 330 次。
2024.5.22	关于印发《河北南部电网电力现货市场连续试运行工作方案的通知》	1、已转入商业运营的独立储能项目，可自主选择是否参与现货交易； 2、交易价格由发电企业、电力用户通过市场化方式在“基准价+上下浮动”范围内形成，上下浮动原则上均不超过 20%。其中，平段基准价为 0.3644 元/kWh，高峰、低谷时段基准价分别是平段基准价的 1.7、0.3 倍，尖峰时段价格在高峰电价基础上再上浮 20%。充电电量不承担输配电价、系统运行费用、政府性基金及附加，不考核功率因数，按规定承担上环节线损费用。
2024.6.6	《关于开展 2024 年共享储能转为独立储能项目申报工作的通知》	1、容量：共享储能不低于 100MW，不超过 300MW，放电时长不低于 2h；新能源配建储能不低于 10MW，放电时长不低于 2h； 2、35kV 及以上电压等级接入； 3、具备独立的 AGC/AVC 调度功能，独立计量功能。
2024.8.1	《关于促进独立储能加快发展有关事项的通知》	1、2024 年 9 月 30 日起，鼓励优先通过租赁方式配置储能，不再单独配建容量低于 100MW/200MWh 时的储能设施； 2、结合电力保供和新能源消纳需求科学规划独立储能项目，南网区域优先在电网关键节点布局独立储能项目提升电网运行保障能力，冀北区域优先在新能源富集地布局独立储能项目促进新能源送出和消纳。 3、调度次数：年调用不低于 330 次。调度模式：优先采用谷充峰放。

探索建设以新能源为主体的新型电力系统解决方案。

综上可得，项目投资收益率（税前）大于 15.8%，收益可观。

3 储能系统收益分析

3.1 河北省独立储能电站政策文件

近年来，河北省发改委围绕支持储能发展的运行机制、电价政策出台了一系列文件，如表 1。

3.2 储能电站经济效益

根据河北省独立储能政策，电站盈利模式分为容量租赁、容量电费和电能量交易三部分。本项目规划投资 4.3 亿，财务评价计算期取 26 年，其中第一年为建设期，生产运营期 25 年。

（1）容量租赁。目前按照 140 元/kW h/年进行测算，此部分收益为 4480 万元/年。

（2）容量电费。根据河北省发改委关于制定支持储能发展先行先试电价政策有关事项的通知：2024 年 5 月 31 日前并网的，年度容量电价为 100 元/kW 执行；2024 年 6 月 1 日-9 月 30 日并网的，容量电价逐月退坡，分别为 90 元/kW、80 元/kW、70 元/kW、60 元/kW；2024 年 12 月 31 日并网的，容量电价为 50 元/kW。

本电站计划在 2024 年 5 月前并网，此部分收益为 1000 万元。

（3）电能量交易。根据河北省发改委《关于促进独立储能加快发展有关事项的通知》，储能原则上完全充放电次数不低于 330 次，调度模式优先采用谷充峰放。峰谷价差按 0.49 元/kW·h（含税）进行测算，项目此部分收益为 3958 万元/年。计算方法为：0.49（电费收益）*330（次数）*320000（储能容量）*85%（系统综合效率）*90%（充放电深度）。

4 结语

相比新能源强配储能，电网关键节点对于储能需求更为迫切，在电网关键节点建设储能，相比分散在新能源的强配储能，储能容量建设需求可以降低 30%左右。结合构网型储能技术，在电网局部支撑较弱地区，能够提升新能源大规模、高比例接入情景下的电网安全性和供电可靠性。同时可以解决新能源强配储能没有盈利模式，充放电损耗自担的问题，实现储能设备利用小时数及项目收益的双重提升。构建新型电力系统储能电站能够进一步助力我国实现碳达峰和碳中和的目标。

【参考文献】

- [1]李春鹏,张晓红.构网型储能技术助力提升新型电力系统稳定性[J].质量与认证,2025(8):67.
- [2]孙广宇,韩子娇.构网型储能黑启动系统自激振荡机理分析[J].东北电力技术,2025(5):142.
- [3]万雄彪,伍阳阳.基于构网型储能的电网黑启动策略研究[J].电气应用,2025(4):85.
- [4]韦宏路.基于新型电力系统下的电化学独立储能电站运营模式与收益分析研究[J].红水河,2025(9):73.
- [5]刘长春.储能技术在新能源电气系统的应用探析[J].中国战略新兴产业,2024(3):215.

作者简介：王亮（1983—），男，汉族，河北省石家庄市，研究生，工程师，研究方向微电网系统方案设计，从事电力设计工作。

浅析发电机出口 PT 断线故障

李雪鸥

江苏淮阴发电有限责任公司, 江苏 淮安 223001

[摘要]发电机出口 PT 断线是发电机运行中一种常见的故障。故障发生不仅会导致发电机各参数指标异常, 在处理过程中也容易出现误操作和人身伤害, 严重威胁电网稳定运行和企业安全发展。文章以某电厂#4 机组发电机出口 PT 配置为例, 对两起发电机出口 PT 断线故障的现象、排查和处理进行了详细的分析, 并就改进措施和注意事项进行探讨, 为发生同类故障时的分析和处理提供参考和指导。

[关键词]发电机; PT; 断线; 慢熔; 故障处理

DOI: 10.33142/hst.v8i6.16909

中图分类号: TM645

文献标识码: A

Brief Analysis of PT disconnection Fault at Generator Outlet

LI Xueou

Jiangsu Huaiyin Power Generation Co., Ltd., Huai'an, Jiangsu, 223001, China

Abstract: PT disconnection at the generator outlet is a common fault during generator operation. The occurrence of faults not only leads to abnormal parameters of the generator, but also easily results in misoperation and personal injury during the handling process, seriously threatening the stable operation of the power grid and the safe development of the enterprise. The article takes the PT configuration at the outlet of Unit # 4 generator in a certain power plant as an example, and provides a detailed analysis of the phenomena, troubleshooting, and handling of two generator outlet PT disconnection faults. Improvement measures and precautions are also discussed, providing reference and guidance for the analysis and handling of similar faults.

Keywords: generator; PT; disconnected wire; slow melting; fault handling

引言

发电机出口 PT 是保证发电机安全稳定运行的重要电气设备, 在发变组中起到测量、保护等作用。为降低设备故障率, 提高设备运行可靠性, 部分运行机组会将发电机出口 PT 的二次熔丝改造成空气开关, 因此, 现有发生的 PT 断线故障主要集中在发电机出口 PT 的一次熔丝断线上。一旦发生 PT 断线故障, 可能导致发变组保护闭锁, 影响发电机励磁调节, 严重时可能导致保护误动作, 机组跳机, 严重影响设备运行稳定与安全。

1 设备简介

某电厂#4 机组为哈尔滨汽轮发电机厂生产的 QFSN-330-2 三相同步汽轮发电机, 额定功率为 330MW, 额定功率因数为 0.85 (滞后), 发电机经分相封闭母线与主变压器相连接, 中间不设发电机出口断路器。^[1]

发电机的励磁采用自并励静止励磁系统, 励磁调节器为国电南瑞科技的 NES6100 型发电机励磁调节器。由 A B 两套调节器及一台工控机等组成。基本功能是调节和控制发电机的机端电压, 正常运行为主调节通道输出脉冲, 自动控制功率柜内可控硅, 从调节通道处于热备用状态。从通道跟踪主通道的调节角度值及控制给定值, 输出脉冲被阻断在主/从切换输出之前。主/从通道可实现手动/故障切换。^[2]

发变组保护配置的是国电南自的 DGT801 型数字式发电机变压器保护装置。分为 A、B、C 柜, 其中 A、B

柜为相同的保护配置 (双套化), 为电气量保护; C 柜为非电气量保护, 包括瓦斯、温度、绕组温度、压力释放、冷却器全停、油位等。^[3]

发电机出口设置有 3 组 PT, 一共 9 个单相 PT 手车, 分别为 A 柜 1PTA、2PTA、3PTA, B 柜 1PTB、2PTB、3PTB, C 柜 1PTC、2PTC、3PTC。每个 PT 手车均有 1 值高压熔丝、二次插件和 PT 本体组成, PT 二次开关则统一布置在发电机 PT 二次端子箱内。发电机出口 PT 由大连北方互感器集团有限公司生产, 布置在汽机房 6.3m 层励磁变旁边, 型式为单相环氧树脂浇注绝缘, 1PT、2PT 为半绝缘型电压互感器, 3PT 为全绝缘型电压互感器, 变比为 $20/\sqrt{3}/0.1/\sqrt{3}/0.1/\sqrt{3}/0.1/3$ 。其中, 1PT 主要输出至发变组变送器屏、同期屏、发变组保护 A 柜、励磁调节器 A 通道、故障录波屏等, 2PT 主要输出至发变组厂用电电度表屏、发变组保护 B 柜、励磁调节器 B 通道、故障录波屏, 3PT 主要输出至发变组保护 A、B 柜。

2 故障处理

2.1 发电机出口 1PTC 相故障

2.1.1 故障现象

2025 年 2 月 3 日, 10 点 28 分, #4 机组 30% 负荷深调, 值班人员值班时发现#4 机组 DCS 报警信号: “发电机励磁调节器 PT 断线” “发电机励磁调节器 A 套故障”。DCS 电气画面数据显示无异常, 就地检查发现励磁调节

器由 A 套主套切换为 B 套主套运行。

2.1.2 故障分析

#4 机组配置的国电南瑞科技的 NES6100 型发电机励磁调节器，带有 PT 熔断器断线检测功能，其判据采用的是负序反时限，如表 1 所示。

表 1 PT 熔断判据定值表

负序电压% $\geq$	动作时间 S
5	0.06
4	0.4
3	5
2	10
1	20

当励磁调节器主套测得负序电压后，按照上表，达到定值持续时间大于动作时间时，即发出 PT 断线故障信号，主套自动切换为从套。

根据现场现象，发变组保护 A、B 柜均未发出 PT 断线报警，而励磁调节器发出断线报警，且自动由 A 套主套运行切换为 B 套主套运行，可以初步判断为 1PT 一次熔丝出现慢熔现象。在 PT 二次端子柜处，测量 1PT 二次侧的 $U_{AB}=100V$ ， $U_{BC}=97V$ ， $U_{AC}=96V$ 。由此，判断出#4 发电机出口 1PTC 相一次熔丝发生了慢熔现象，需退出 1PT 更换熔丝。

2.1.3 故障处理

汇报值长及相关领导，退出发变组 A 柜相关保护。交代值盘人员，维持机组稳定参数运行，不得盲目调节发电机的有功、无功负荷，严密监视发电机定子电流和转子电压、电流，并加强对蒸汽参数的监视和控制。

操作人员至 PT 二次端子箱处，拉开 1PT 对应的二次侧开关，此时可以观察到 DCS 画面上“YH 断线”光字牌亮，故障录波启动录波信号来。

采取穿戴绝缘手套、绝缘靴等防护措施后，操作人员将 1PTC 相手车拉至检修位置，检查触头，本体及高压熔丝。测量高压熔丝直流电阻已达 27.5Ω ，与开机前测量数值 14Ω 相比变化明显，确认熔丝已出现慢熔现象。

更换熔丝后，将 1PTC 相手车送至工作位置，再次测量二次端子箱 1PT 各相电压正常，送上 1PT 对应各二次

侧开关后，发变组 A 柜、励磁调节器报警信号消失，投入发变组 A 柜相关保护，机组恢复正常运行。

2.2 发电机出口 3PTB 相故障

2.2.1 故障现象

2025 年 2 月 16 日，12 点 19 分，#4 机 DCS 发“YH 断线”报警，发电机各相电压正常、线电压正常。就地检查发变组 A、B 柜“YH 断线”报警灯亮，励磁调节器 A 套运行，未切换主从套。

2.2.2 故障分析

#4 机发变组保护使用的南自 DGT801 采用的是电压平衡式 TV 断线判别逻辑，即对比普通 PT 和专用 PT 的同名相间电压差，当电压差大于整定值时，根据普通 PT 二次是否存在负序电压来判别断线发生在普通 PT 还是专用 PT 一次侧。逻辑图如图 1 所示。

在图 1 中， ΔU_{ab} 、 ΔU_{bc} 、 ΔU_{ac} 分别为两组 PT 的同名相间电压差； ΔU 、 ΔU_{2g} 分别为压差定值、负序电压定值。

由图 1 可以看出：当压差 ΔU_{ab} 或 ΔU_{bc} 或 ΔU_{ca} 大于整定值，而普通 PT 二次无负序电压时，装置判定为专用 PT 一次断线，去闭锁匝间保护；而当压差大于整定值，普通 PT 二次负序电压大于整定值时，装置判定为普通 PT 一次断线，去闭锁定子接地保护等用到普通 PT 电压的保护。

根据保护柜设定，1PT 和 2PT 为普通 PT，3PT 为专用 PT。查看发变组 A、B 柜“YH 断线”相关报文，动作信号为“TV 断线（专用）”，普 $U_2=0.1065V$ 在 PT 二次端子柜处，测量 3PT 的 $U_{AB}=93V$ ， $U_{BC}=94V$ ， $U_{AC}=100V$ 。可以判断为 3PT 一次熔丝 B 相发生熔断故障。

2.2.3 故障处理

汇报值长及相关领导，退出发变组 A、B 柜匝间保护。操作人员至 PT 二次端子箱处，拉开 3PT 对应的二次侧开关。采取穿戴绝缘手套、绝缘靴等防护措施后，操作人员将 3PTB 相手车拉至检修位置，检查触头，本体及高压熔丝。检查发现 3PTB 相高压熔丝熔断，更换新熔丝并检查正常后，将 3PTB 相手车送至工作位置。再次测量二次端子箱 3PT 各相电压正常，送上 3PT 对应各二次侧开关后，发变组 A、B 报警信号消失，投入发变组 A、B 柜匝间保护，机组恢复正常运行。

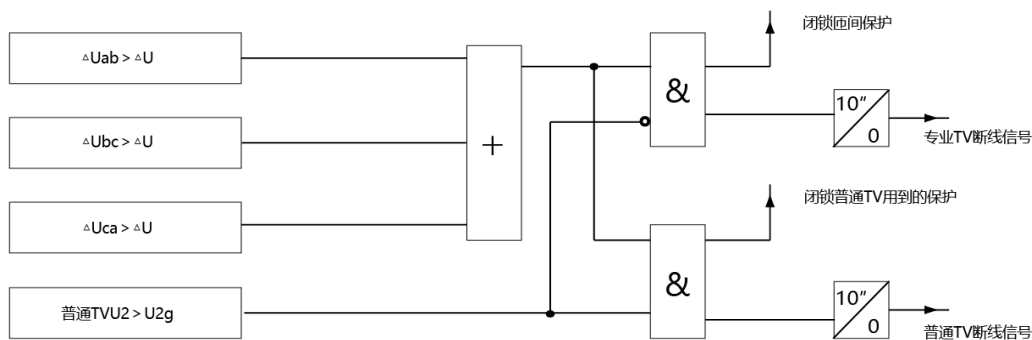


图 1 电压平衡式 TV 断线判别逻辑框图

3 防范措施及注意事项

发电机出口 PT 断线故障是机组运行中一种常见故障,但如不能及时发现及时处理,也会对机组的安全稳定运行造成严重后果。通常需要在运行中消除故障,运行中处理此类故障时必须判断准确,执行操作要规范明确,防止因误操作导致的保护误动和人身伤害。

(1) 加强运行监视,及时发现 PT 断线报警,当值班长要及时联系检修,同时安排运行人员至就地检查报警、报文,并根据 PT 二次端子柜电压判断故障 PT 和故障相。

(2) 技术监督人员应未雨绸缪,做好备品备件储备工作,准备好相应的备用熔丝,并妥善保存。备用熔丝采购时,应注意采用行业内使用较多,质量口碑较好的熔丝品牌,需要甄别部分型号是否具有支撑柱结构,以减少慢熔情况的发生。

(3) 现场进行事故处理时,技术支持人员应到场提供技术支持,做好事故预想和应急处置方案。在运行规程编写中,加入相关故障处理内容,并在日常运行人员技术培训中加强对相关内容的培训。

(4) 运行人员至现场处置时,应两人一组,一人监护,一人操作,并携带对讲机,保持与集控室的通讯畅通。操作过程应有摄像记录,并正确穿戴绝缘手套、绝缘靴等防护器具。将 PT 手车拉出后应当先进行验电,操作过程中要确保核对准确,防止发生误操作和触电人身伤害。

(5) 检查更换操作应按照运行规程规定或事故处理预案执行,确保故障 PT 低压侧小开关已全部断开,再对一次侧 PT 手车执行退出操作。

(6) 在发电机 PT 断线故障处理过程中,应维持机组负荷稳定,必要时可向省调申请退出机组 AVC、PSS、AGC 和一次调频,退出机组协调,汽轮机改阀控运行。同时,安排专人监视自动励磁装置运行情况,当备用通道再次发生断线故障时,应立即切换至手动方式调节。

(7) 更换高压熔丝前,应确保更换熔丝型号一致,并用万用表测量直流电阻正常,确认熔丝完好后再更换,在条件允许的情况下,建议对故障 PT 三相一次熔丝全部更换,以减小同一 PT 重复发生断线故障的概率。

(8) 在执行保护投退操作时,应当严格遵守相关保护投退制定规定,汇报值长,并经相关机构或领导同意后,再执行退出操作。

(9) 除了高压熔丝的熔断故障外,慢熔也是一种常见的熔丝故障现象。从熔断器的设计原理来看,若有大的故障电流经过熔丝时,由于金属效应(难熔金属在某种合金状态下会成为易熔材料),熔丝将首先在焊有锡球的地方熔断,随之在电弧的作用下使熔丝沿全长迅速熔化,所产生的电弧在石英砂的作用下迅速熄灭。由于现场的运行

环境比较恶劣,使熔丝在重力和热积累的作用下出现老化,可能导致在正常的工作电流下发生断裂,由于熔断器是在正常的工作电流下熔断的,熔丝的熔断时间比较长,在熔丝阻值逐渐变大的过程中,造成该相电压的幅值下降,从而引起相关保护的误动作。

(10) 排查厂内各机组的励磁调节装置是否具有熔断检测功能,对不具相关功能的励磁调节装置进行改造升级。励磁用发电机出口 PT 经常会发生高压侧熔丝松动和慢熔式熔断器阻值变大等异常情况,导致 PT 二次侧电压下降和波动,以及 AVR 装置内部机端电压采样值也相应的下降和波动。在自动电压控制(电压闭环)方式下的 AVR 装置会立即实时相应的增加励磁输出,以图把机端电压稳定在给定值水平。从而,导致发电机机端电压大幅抬高,并同时伴有有机端电压、有功和无功的大幅波动。从励磁调节器的 PT 熔断判据就可以发现其对发电机出口 PT 一次熔丝的慢熔现象有较高的灵敏度,可以先于发变组保护装置发现 PT 一次熔丝异常,从而避免慢熔时因未达 PT 断线故障阈值,保护不动作,励磁调节器一直增加励磁的情况发生,大大降低因发电机出口 PT 一次熔丝慢熔导致发电机误强励和过电压事故率。

(11) 应利用机组检修,定期整体更换发电机出口 PT 一次熔丝,检查 PT 高压熔丝夹具有无变形松动,与熔丝接触是否良好,如有异常应及时更换。

4 结语

发电机出口 PT 断线故障对机组安全稳定运行的影响较大,一旦发生故障通常还需要在线处理,对运行人员的判断、分析、操作处理能力要求较高。本文以两起发电机出口 PT 断线故障为例,从现场的实际现象及相关数据入手进行分析判断处理,最终故障得到妥善处理。并由此总结了相应的防范措施和注意事项,为发生同类故障分析和处理提供参考和指导。

[参考文献]

- [1] 哈尔滨电机厂有限责任公司.QFSN-330-2 型汽轮发电机产品说明书[Z].哈尔滨:哈尔滨电机厂有限责任公司,2007.
- [2] 国电南瑞科技股份有限公司.NES6100 系列发电机励磁调节器用户指南[Z].南京:国电南瑞科技股份有限公司,2015.
- [3] 国电南京自动化股份有限公司.DGT801 数字式发电机变压器保护技术说明书[Z].南京:国电南京自动化股份有限公司,2000.

作者简介:李雪鸥(1990.2—),单位名称:江苏淮阴发电有限责任公司;毕业学校和专业:南京工程学院 电气工程及其自动化(电力系统及其自动化)。

输变电工程施工质量控制的关键问题与对策研究

丘晓卿

广东电网能源发展有限公司, 广东 广州 510165

[摘要]随着我国电力系统规模逐步扩大,输变电工程在电网建设里属于重要环节,其施工质量好坏会直接影响电力系统的运行安全以及稳定性。当下在工程实践方面,输变电施工过程依旧存在不少质量控制方面的问题。综合输变电线路的施工特性,从设计环节、准备环节、施工环节、设备安装与调试环节等关键环节着手,深入剖析施工质量控制里存在的主要问题以及影响因素,接着给出一系列有针对性的改进办法,像完善质量管理体系、强化施工过程管控、提高人员技术能力、健全材料采购机制、引入智能化质量控制手段等等,希望能够为提升输变电工程施工质量给予参考以及借鉴。

[关键词]输变电工程;施工质量;问题分析;质量控制;对策研究

DOI: 10.33142/hst.v8i6.16919

中图分类号: TM7

文献标识码: A

Research on Key Problems and Countermeasures of Construction Quality Control in Power Transmission and Transformation Projects

QIU Xiaoping

Guangdong Power Grid Energy Development Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong, 510165, China

Abstract: With the gradual expansion of China's power system, power transmission and transformation projects are an important part of power grid construction, and their construction quality will directly affect the operation safety and stability of the power system. At present, there are still many quality control issues in the construction process of power transmission and transformation in engineering practice. Based on the construction characteristics of comprehensive transmission and transformation lines, starting from key links such as design, preparation, construction, equipment installation and commissioning, this paper deeply analyzes the main problems and influencing factors in construction quality control, and then proposes a series of targeted improvement methods, such as improving the quality management system, strengthening construction process control, enhancing personnel technical capabilities, improving material procurement mechanisms, introducing intelligent quality control methods, etc, so as to provide reference for improving the construction quality of transmission and transformation projects.

Keywords: power transmission and transformation engineering; construction quality; problem analysis; quality control; countermeasures research

引言

在我国能源结构转型以及电力系统现代化推进的过程中,输变电工程属于电网运行的关键支撑部分,其施工质量和电能传输效率、系统运行安全紧密相关。随着工程规模变得越来越大、施工环境愈发复杂起来,传统质量管理模式遇到了十分严峻的挑战。怎样去识别潜在隐患、把控关键环节、构建科学且高效的质量控制体系,这已然成为当前工程建设里极为关键的课题。从输变电工程施工特性着手,全面且细致地梳理施工全过程当中的主要质量问题及其形成原因,给出具有针对性的控制策略,以此来切实提升工程施工质量水平。

1 输变电工程线路的施工特点

输变电工程线路的施工特点,线路设计对于输变电中线路走向的科学规划至关重要,对维持电力系统的正常运行也起到重要的作用。输变电线路是电力系统最核心的部分之一,负责电力的输送和分配。对电力系统来说,有效的施工技术的应用能够提高输变电线路施工的实际质量,

保证电力输送的安全,如果施工的质量得不到保证,那么有可能会发生重大停电事故,给社会经济的发展和人们的正常生活带来严重的损失和影响。从中可以看出,输变电工程线路施工具有明显的重要性特征和风险性特征,在施工的过程中需要具备较高技术水平的人员来完成施工的组织设计和实际工作的开展,同时在施工中也要考虑外界因素带来的影响,并且协调好内部因素,提升施工的组织效率,给予施工安全保障。

2 施工质量控制的关键问题分析

2.1 设计阶段存在的质量控制问题

设计阶段作为输变电工程建设的起始环节,其具备的科学性以及合理性会在很大程度上决定后续施工的可行性还有质量得以保障的程度。在实际开展的工程项目当中,经常会因为勘察所获取的数据不够全面,并且地形地质方面的相关信息出现缺失的情况,使得设计图纸和施工现场呈现出不相符的状态,如此一来便引发了施工返工、工期出现延误以及成本有所增加等一系列的问题。部分设计单

位在面临时间较为紧张、任务量颇为繁重的情形下,存在着设计深度不够、技术规范在执行方面落实不到位以及标准选型不够统一等诸多现象,这些情况对施工技术方案的顺利实施以及质量控制目标的达成都产生了影响。与此针对特殊地形以及复杂地质条件所制定的应对预案有所欠缺,没有充分地考虑到后续施工过程中可能出现的风险应对情况,进而使得施工当中的不确定性进一步增大。所以,强化设计阶段的质量控制工作,提高设计的精度以及增强其前瞻性,这无疑是保障施工质量最为关键的前提条件。

2.2 施工准备阶段的问题

施工准备阶段作为连接设计与实施的关键过渡环节,其工作质量对工程建设的效率与质量有着直接影响。在输变电工程里,此阶段往往被忽视或者仅仅走个过场,存在前期计划不够细致、施工组织设计不完备、技术交底不彻底、现场勘察敷衍了事等情况。部分施工单位对于施工现场环境、交通运输条件、地质状况以及气候影响评估不够全面,没有科学地编制施工进度计划与资源配置方案,致使后续施工过程中频繁出现调整情况,效率也较低下。并且,施工人员的培训和技术交底不充足,现场管理制度也未能得到有效落实,这使得施工质量风险增加。所以,施工准备阶段要强化前期筹划与资源整合,保证各项准备工作精准且充分,为高质量施工奠定良好的基础。

2.3 施工过程中的质量隐患及技术短板

施工阶段是实际落实设计意图以及实现工程实体转化的关键环节,其中的质量控制显得格外重要。在工程实践当中,往往会出现作业标准不够统一、施工技术不够规范、操作流程执行不到位等情况,特别是在基础施工、电缆敷设、铁塔组立等关键工序方面,部分操作人员缺少规范意识,甚至为了赶工期而对施工质量予以忽视,如此一来便埋下了安全隐患。有些施工单位设备已经老化、工艺比较落后,又缺乏现代化施工技术方面的支持,使得质量控制手段滞后,质量问题也很难被及时发现并纠正。与此施工过程中还存在着资料管理不规范的情况,质量记录时常出现缺失或者造假的现象,这对工程后期的验收以及运行评估均产生了影响。所以,一定要严格规范施工工艺流程,强化现场质量巡检以及动态管理,以此来保障施工过程能够处于可控且可追溯的状态。

2.4 设备安装与调试阶段的质量问题

设备安装以及调试这一阶段,在输变电工程迈向投运的进程中属于极为关键的节点,其质量状况会直接对工程的整体性能以及运行稳定性起到决定性作用。然而在实际的操作过程当中,往往会因为安装人员的技能未达到标准要求、安装工艺不够规范、调试过程缺少科学合理的流程等原因,进而引发设备出现故障或者性能出现异常的情况。比如说,在变压器安装的过程当中,如果未严格按照规范执行附件安装前的器身内部检查,未对绝缘构件状态进行

确认或存在遗留异物等问题,就可能在后续运行中引发设备短路、击穿等隐患。此外,在抽真空、真空注油和热油循环等关键工序中,若工艺控制不严或参数设置不合理,也可能影响设备绝缘性能和运行安全。在调试阶段,要是测试仪器使用得当、参数设定存在错误,那么就有可能将潜在的设备缺陷给掩盖住,从而为后续运行埋下隐患。与此部分单位在设备验收这个环节往往只是走个过场,缺乏一套全面且系统的测试与评估办法,所以无法有效地对系统性的问题加以排查。所以说,应当强化针对设备安装过程中的工艺指导以及质量检验工作,建立起系统化的调试流程,并且构建起问题闭环处理的机制,以此来保障设备运行具备可靠性以及安全性。

3 影响输变电工程施工质量的主要因素

3.1 材料设备质量控制难点

材料设备于输变电工程施工而言,乃是核心资源所在,其质量的好坏直接牵涉到工程实体的稳固程度以及运行时的安全状况。当下,在部分工程项目当中,材料采购这个环节存在着管理方面的疏漏情况,有一部分供应商的资质审查不够严谨细致,这就使得低质或者假冒伪劣的产品能够流入到施工现场。除此之外,设备在运输以及储存的过程中,其管理也做得不到位,如此一来,就致使部分关键部件在尚未投入使用之前就已经出现了损伤或者是性能方面出现了劣化的情况。材料设备的检测环节在执行的时候力度不够,没能严格依照标准去开展进场检验以及抽样复测工作,这无疑降低了质量把控所具有的有效性。新型设备的应用增加了安装以及调试的复杂程度,这对于施工单位的技术能力以及质量管理水平提出了更高的要求。所以说,得从采购、运输、储存、检测等诸多环节着手去开展相关工作,构建起一个闭环式的材料设备质量控制体系,以此来全方位地保障施工基础的质量。

3.2 外部环境及施工条件影响

输变电工程施工往往要面对复杂地形、恶劣气候以及广阔地域跨度等诸多情况,这些外部环境因素给施工质量带来了不小挑战。比如,高山、丘陵、沙漠、湿地这类特殊地貌条件,不但让基础施工的难度有所增加,而且使得结构稳定性的把控难度加大;高温、严寒、暴雨、大风等极端气候,有可能致使混凝土强度下降、施工机械故障频发、人员操作安全风险升高。除此之外,工程所在地的交通状况、施工场地的可达性、水源与电源供应条件等,都会对施工组织以及资源配置产生直接的影响。所以,在施工开始之前,得充分评估外部环境风险,制定出科学合理的应对方案,借助技术适配、组织优化以及环境监测等方式,切实减轻自然条件给工程质量带来的不利影响。

4 输变电工程施工质量控制对策研究

4.1 完善质量管理体系

构建一套科学且系统的质量管理体系,这可是提升输

变电工程施工质量的根基所在。该体系得把质量控制组织机构的分工给明确清楚,要把质量管理标准统一去制定,还得让质量职责在各个层级都能落实到位,并且要建立起全过程的动态监管机制。项目建设单位得牵头去建立以目标管理作为核心的质量控制制度,要清楚地明确设计方、施工方、监理方以及业主等各方面各自的质量责任,进而形成一个闭环管理的链条。与此还要促使质量管理朝着信息化、标准化的方向去转变,构建起能够采集、分析以及反馈质量数据的系统,进一步强化对质量行为以及其结果的可视化管理。借助制度方面的建设以及管理手段的创新举措,提高施工全程的质量管理水平,从而给工程建设的安全且高效的实施给予制度层面的有力保障。

4.2 强化施工过程管控

施工过程对于工程质量的达成而言属于极为关键的阶段,在此阶段需要着重强化对工艺执行方面、现场管理层面以及问题处置环节的全过程控制举措。一方面要严格依照施工技术标准以及操作规程来切实执行相关工作,针对那些重点工序以及关键节点应当设立起质量控制的红线,决不允许出现违规操作的情况。另一方面得进一步强化现场管理人员对于自身责任的落实情况,促使质量巡检、过程抽查以及问题整改能够形成一种常态化的机制,以此保证质量问题可以做到早一点被发现、早一点得到处置。除此之外,还应当加大对施工过程数据的实时采集以及分析力度,借助视频监控、智能传感等一系列手段来提高现场的透明程度以及可控的程度,从而实现从以往的事后纠偏向如今的事前预警以及过程控制这样的转变。

4.3 提升人员培训与技术管理能力

人力资源属于质量控制当中的核心要素之一,要提升施工人员以及管理人员的综合素质,这可是提高施工质量极为关键的一条路径。应当着手建立起较为完善的人员培训体系,依据不同岗位所承担的职责来展开分层分类的技术培训,培训内容需包含施工标准、操作技能、安全意识等诸多方面。与此得着重强化对项目经理、技术负责人等这些关键岗位人员的专业能力方面的培养工作,促使项目管理能力能够和工程实际紧密结合起来^[1]。要积极鼓励身处施工一线的人员参与到质量改进以及技术革新的相关实践当中,进而营造出一种全员都重视质量并且积极推动质量提升的良好管理氛围。借助人才队伍建设这一举措,筑牢质量控制在执行层面的基础。

4.4 加强材料设备的采购与检验制度

建立健全的材料设备采购以及检验方面的制度,这无疑是一项能够有力保障施工质量的关键举措。要严格把控供应商的筛选机制,着手建立起合格供应商的相关名录,并且构建起完善的信誉评估体系,以此来保证采购的来源是可靠的,所涉及的质量也是可以得到有效控制的。需要对采购流程予以规范,在合同执行环节、交货验收环节等

等这些重要环节,都要加强相应的监督检查工作,从而切实防止那些质量低劣的材料设备流入到施工工地当中。与此还应当进一步强化针对进场材料的检验复测相关机制,务必要确保所有的关键物资都必须经过标准的检测程序之后,才能够正式投入到实际使用当中^[2]。除此之外,还可以积极去探索并应用像 RFID、区块链这类新技术,借助这些技术对材料设备在整个流通的全程都能够实现可追溯的管理方式,进而有效提升采购管理工作的透明程度以及工作效率。

4.5 建立全过程监理与验收机制

全过程监理以及验收机制构成了施工质量控制方面的最后一道防线。应当清晰界定监理单位所拥有的职责权限,着重强化其于设计审查、施工检查、材料验收以及工序监督等诸多方面所具备的独立监督作用。构建起从开工准备一直到最终交付的多层级验收体系,务必要保证每一个阶段、每一部分工程均需经过严格的质量评估之后才能够进入到下一个环节当中^[3]。与此需要强化监理过程在信息化方面的建设工作,促使监理数据能够实现实时上传,让问题可以在线上反馈,并且做到处理结果的闭环管理,以此来提升监理工作的效率以及其自身的权威性。

5 结语

输变电工程是电力系统能够安全且稳定运行的关键基础所在,其施工质量控制工作的开展情况,直接关系到国家能源基础设施建设能否取得成功。从设计的最初源头开始,一直到施工的整个过程,再接着设备安装以及系统调试这些环节,质量控制工作都会面临诸多挑战,同时还有各种复杂因素相互交织在一起。从多个不同维度较为系统地分析输变电工程施工当中存在的那些关键问题及其产生的原因展开了分析,在此分析的基础之上,还提出了涉及管理体系、人员能力、技术手段、材料控制以及智能化发展等方面的多元对策。借助构建起系统化、科学化以及智能化的质量管理体系,推动在施工全过程中的质量监管工作以及持续不断地改进,这将会为达成输变电工程的高质量建设目标给予强有力的支撑,从而确保电力系统可以安全且高效地运行。

[参考文献]

- [1]贾瑞波.输变电工程线路施工技术分析[J].电力设备管理,2024(23):225-227.
 - [2]孙俊.输变电工程线路施工技术研究[J].建筑与预算,2023(7):68-70.
 - [3]张国龙.输变电工程线路施工技术分析[J].光源与照明,2024(2):156-158.
- 作者简介:丘晓卿(1988.6—),毕业院校:电子科技大学中山学院,所学专业:电气工程及其自动化,当前就职单位:广东电网能源发展有限公司,职务:广能发四公司安监部部长,职称级别:中级工程师。

水电厂继电保护系统常见故障判断与处理对策

刘小莉

大唐甘肃发电有限公司碧口水力发电厂, 甘肃 陇南 746412

[摘要]在水电厂的实际运行过程中,发电机、变压器、断路器等电气一次设备常因外部因素引发故障。若继电保护系统未能及时且准确地切除故障部分,可能导致设备损坏或其他保护装置误动作,进而扩大故障影响范围,降低电网的运行安全性和可靠性。本论文简要阐述了继电保护中隐藏故障的情况,并提出了针对水电厂继电保护故障的具体诊断方法与处理对策。

[关键词]继电保护;故障诊断;处理对策

DOI: 10.33142/hst.v8i6.16910

中图分类号: TM622

文献标识码: A

Common Fault Diagnosis and Treatment Measures for Relay Protection System in Hydropower Plants

LIU Xiaoli

Bikou Hydropower Plant of Datang Gansu Power Generation Co., Ltd., Longnan, Gansu, 746412, China

Abstract: In the actual operation of hydropower plants, electrical primary equipment such as generators, transformers, and circuit breakers often fail due to external factors. If the relay protection system fails to timely and accurately remove the faulty part, it may cause equipment damage or other protective devices to malfunction, thereby expanding the scope of the fault and reducing the operational safety and reliability of the power grid. This paper briefly explains the situation of hidden faults in relay protection, and proposes specific diagnostic methods and treatment strategies for relay protection faults in hydropower plants.

Keywords: relay protection; fault diagnosis; treatment measure

引言

随着我国电力工业不断发展,水电作为清洁且可再生的重要能源,其安全稳定运行对于保障电网可靠性及经济性具有重要意义。继电保护系统是水电厂电气设备关键的安全防护装置,负责及时检测并隔离各类电气故障,以保障设备与人身安全,防止事故扩大。然而,随着设备运行时间延长以及外部环境变化,继电保护系统会出现老化,其在实际运行过程中不可避免会出现误动、拒动、整定不合理等故障,影响水电厂正常发电,而且有可能致使设备损坏,甚至引发重大事故。因此,深入剖析水电厂继电保护常见故障类型及其诊断与处理方法,具备重要的理论价值与实际意义。本文目的在于全面分析继电保护故障呈现的形式以及形成原因,探究多种诊断技术以及处理对策,提高继电保护系统的可靠性与智能化程度,为水电厂安全运行提供有力支撑。

1 继电保护在水电厂中的作用

继电保护在水电厂中具有关键作用,是保障电力系统安全、稳定、可靠运行的重要技术手段。水力发电系统作为电力系统的核心能源之一,运行期间涉及众多电气设备,如发电机、变压器、母线以及断路器等。一旦此类设备出现故障,可能导致系统瘫痪,甚至引发大面积停电事故。继电保护系统能在故障发生时,通过快速且精准的检测与判断操作,切断故障设备或线路,将故障限制在最小范围内,防止事故扩大,进而保障人身及设备安全。同时,继

电保护还具备选择性、灵敏性、速动性及可靠性等技术特性,能区分不同种类的电气故障,并依据预设定值进行有针对性的动作控制。此外,在系统正常运行时,继电保护装置通过持续监测电流、电压、频率等参数,为运行人员提供实时数据支持及运行状态分析服务。因此,继电保护不仅是电力系统的“安全卫士”,也是实现自动化运行管理、提升运行效率、减少故障损失的关键组成部分。

2 继电保护常见故障类型分析

2.1 误动作

在继电保护系统运行中,误动作是一种常见且影响较大的问题。它指的是在没有实际故障的情况下,保护装置错误地发出跳闸指令,切除了非故障线路或设备。这种情况会扰乱电网的正常运行,降低系统的稳定性和安全性。导致误动作的原因很多。首先,外部干扰容易引起保护装置误判。例如,强电磁干扰、操作过电压、雷电感应等,都可能对二次回路造成干扰信号。其次,整定参数设置不合理也是一个重要因素。如果灵敏度设置过高,或者定值配合不当,装置可能会将正常的负荷波动误判为故障。此外,接线错误或者回路接触不良,也会导致信号失真,干扰装置对实际运行状态的判断。软件问题也不能忽视。一些装置在运行中可能存在算法设计缺陷或通信误码,这也可能触发误动作。保护装置内部元器件老化或损坏,同样会影响其判断的准确性。为了减少误动作的发生,工程人员应合理设置保护定值,做好接线检查,加强现场抗干扰

措施,并定期维护设备。

2.2 拒动

拒动是继电保护系统中一种较为严重的问题。它指的是电力系统在发生实际故障时,保护装置没有按设定动作,未能及时切除故障线路或设备。这种情况容易导致故障持续扩大,甚至造成设备损坏或系统不稳定。造成拒动的原因有很多。常见的一类是硬件问题,比如继电保护装置中的元器件老化、损坏,可能会让装置无法正确接收或处理信号。还有一种情况是接线方面的故障,例如接线错误、二次回路断线、互感器损坏或者极性接反,这些都会干扰装置的正常判断。除了硬件故障,参数设置不合理也是拒动的重要诱因。如果整定值设置不准确,保护装置可能因为灵敏度不足或动作时间过长而错过故障初期的有效识别。这种情况在短路电流较小或接地电阻较大的场景中更容易发生。此外,一些系统性问题也可能引起拒动。比如通信异常、信号传输出错,或者保护装置内部软件发生故障。

2.3 整定不合理

整定不合理是继电保护系统中常见的问题,它直接影响保护装置的性能和电网的安全运行。具体表现为保护装置的动作电流、动作时间和灵敏度等参数设置不合适,导致保护范围无法准确覆盖需要保护的区域,或者覆盖范围过大,影响系统的选择性和灵敏性。当整定值设置过高时,保护装置可能无法在故障发生时及时动作,形成保护死区,部分故障设备无法被及时切除,带来安全隐患。相反,如果整定值设置过低,保护装置容易在正常运行中的轻微波动或暂态干扰时误动作,干扰电力系统的稳定运行。此外,整定不合理还会导致多级保护装置之间配合失衡。上一级保护可能过早动作,而下一级保护无法有效接替,破坏了保护系统的协调性,影响整体保护效果。

2.4 二次回路故障

二次回路故障是继电保护系统中常见且影响较大的问题。它主要发生在保护装置与电流、电压互感器之间的信号采集和传输线路上。接线松动、导线断裂、绝缘破损、短路、接地不良或接线错误等情况,都会影响保护装置对一次系统状态的准确判断。二次回路承担着传递故障信号和执行跳闸命令的重要任务。一旦回路出现异常,就可能导致保护装置误动作或拒动。比如,电流回路断线会让保护装置无法获取正确的电流信号,从而误判系统无故障,造成拒动。电压回路若短路或极性接反,可能导致误判,触发不必要的跳闸。除此之外,施工质量问题、线路老化腐蚀以及潮湿环境下的绝缘退化等因素,也容易引发二次回路故障。

2.5 装置自身故障

装置自身故障是继电保护系统中一个必须重视的问题。它指的是保护装置本体在使用过程中,由于内部硬件损坏、软件异常或元件老化等原因,导致功能出现异常。装置故障可能表现为误动作、拒动、动作延迟或信号处理

错误,严重时甚至会导致整个保护系统失效。随着保护装置逐渐走向数字化和智能化,内部结构变得更加复杂,对硬件和软件的稳定性要求也更高。但在长期运行过程中,温度变化、潮湿、灰尘和电磁干扰等外部环境因素,会加速元件老化,甚至引发短路、虚焊或接触不良,影响装置正常工作。此外,软件方面也存在隐患。程序漏洞、设计缺陷或不当的版本升级,都可能导致保护算法出错或误判故障。如果装置的自检功能失效,这些问题往往难以被及时发现,增加了系统运行风险。

3 继电保护故障诊断方法

3.1 波形分析法

波形分析法是在继电保护故障诊断的常用技术手段,通过分析电气设备运行期间采集的电流、电压等相关波形数据,判断故障性质、所在位置及发展进程。水电厂继电保护装置通常具备故障录波功能,异常时自动记录故障发生前后的波形信息。通过对比分析波形、幅值、相位等特征可判断短路、接地或过负荷故障,且能够区分单相故障或相故障。如:若出现三相电流不对称,则可能是单相接地故障;若出现电流突增且电压骤然下降,则可能是短路故障。

3.2 故障录波与事件记录分析

故障录波与事件记录分析是继电保护系统中故障判断极为重要的方法。继电保护装置可自动记录故障时的电流、电压波形及相关的事件信息,为故障分析提供初始数据支持。若发电机、变压器、母线、互感器、接地设备、断路器等出现故障,继电保护装置会快速记录故障瞬间详细的电气参数变化且将其进行存储。而此录波数据能够反映故障类型、发生时间、持续时间及保护装置动作情况。技术人员通过对录波文件及事件记录进行分析,即可精准判断故障发生的原因以及具体位置,亦能判断保护装置动作的正确性。

3.3 逻辑判断与模拟测试法

逻辑判断以及模拟测试法是继电保护故障判断的重要手段。通过对继电保护装置逻辑功能及动作流程的分析与验证,识别并排除故障。逻辑判断依据保护装置内部逻辑及现场数据,推断保护动作合理性^[1]。模拟测试是通过运用专门的继电保护测试仪器,去模拟故障电流、电压等信号输入,进而检测保护装置的动作时间、动作方式以及输出信号是否契合设计要求。

3.4 智能诊断技术应用

智能诊断技术在继电保护故障诊断中的作用日益凸显,如专家系统和人工智能技术。专家系统利用电力系统运行经验和专家知识,对继电保护故障进行自动判断及推理分析,快速识别复杂故障类型及异常现象。人工智能技术(如机器学习、神经网络、模糊逻辑等)从历史故障数据中学习规律,提取故障特征,实现对未知或新型故障的智能化识别及预测。

4 继电保护常见故障处理对策

4.1 故障识别与响应流程

故障识别与响应流程是继电保护系统里极为重要的一部分,它肩负着让电力系统在出现异常状况时能快速且精准作出反应的重要职责,此流程的有效与否和电网的安全性、稳定性有着紧密联系。该流程依靠对电力系统关键参数展开实时监测,像电流、电压、频率以及功率等多个方面的数据,凭借预先设置好的保护逻辑以及合理的整定值,可以快速分辨出异常信号,达成对潜在故障的初步判定。一旦保护装置察觉到异常并且做出动作或者发出报警信号,控制中心还有运维人员就会立刻调取故障录波数据以及相关事件记录,这些数据 and 现场视频监控、环境监测信息相互结合,经过多层次、多角度的细致分析,精准确定故障的具体属性、发生地点以及影响范围,确保能够全面掌握故障的情况。接着,依据故障的种类、严重程度以及当前电力系统的运行状态,按照既定的响应预案,采取科学有效的处理办法,比如切断故障设备来隔离异常区域,切换备用线路以保证电力供应的连续性,或者启动备用电源以维持系统的稳定运行,以此最大限度地降低故障给整体电网带来的冲击。与此应急预案的启动保障了现场技术人员能够快速调动起来、准确开展现场检查与维护作业,彻底排查并消除所有的潜在隐患,避免类似故障再度出现。整个流程一方面依靠高效的硬件设备以及精准的保护逻辑,另一方面要充分挖掘数据采集与分析的智能化优势,借助实时信息共享以及多维度数据融合,提高故障识别的速度和准确度,强化响应措施的科学性与针对性,最终达成对复杂电力系统的动态风险管控以及稳定运行的保障,这在推动继电保护系统朝着智能化、数字化方向升级方面有着重要意义,也为电网的安全运营以及可靠供电打下了稳固的基础。

4.2 整定值调整与优化

整定值的调整与优化,在继电保护系统的维护以及故障处理流程里,属于极为关键的工作环节。它会直接对保护装置于故障发生时刻的响应速率以及响应准确性产生影响,可防止因整定不妥当而引发的误动或者拒动方面的问题,进而保障电力系统能够安全且稳定地运行。整定值的设定务必要以对电力系统的结构、运行条件还有设备特性有着透彻的理解为基础,要保证在复杂且多变的电力环境当中,保护装置可以精准地识别出故障并且迅速地做出相应动作。在制定整定值的时候,得综合考量诸多因素,像系统负荷呈现出的动态变化情况、有可能出现的故障电流幅值大小、故障类型以及其持续的时间长度等等,并且要格外看重保护装置彼此之间的协调配合状况,以此来确保保护层级清晰明确,故障能够被快速并且准确地定位到,与此同时把故障隔离的范围控制在尽可能小的限度之内,避免给正常的电网运行带来不必要的影响^[2]。考虑到电力

系统的负荷以及网络拓扑结构处于不断的变化之中,所以整定值不可以一成不变,必须要凭借定期开展的复核工作以及动态的调整操作来契合系统的运行特性,从而保证保护性能能够一直保持在优良的状态。当下,随着计算仿真技术以及智能优化算法发展速度极快,借助这些先进的技术手段针对整定参数展开科学的优化,使得整定工作的精准程度以及实用价值都得到了大幅度的提升,对于构建更为智能化且具备自适应能力的继电保护体系是很有帮助的。把在线监测系统实时所采集的数据和故障录波信息相结合起来,能够针对运行过程中出现的异常情况做出及时的响应与调整,有效提高保护装置的動作准确率以及系统整体的安全稳定性。

4.3 二次回路检修与校验

二次回路的检修以及校验属于保障继电保护系统可以长期达成安全、稳定且可靠运行的关键技术环节,其关键之处就在于要保证保护装置所接收到的还有所传递出去的电流、电压以及控制信号等一系列信息在传输进程当中不会出现畸变或者延迟的情况,进而达成在故障出现之时保护系统能够快速予以识别并且准确做出相应动作的目标。二次回路在电力系统里充当着信号通道的角色,一般是由继电器、辅助触点、连接端子、保护装置内部的回路还有控制信号传输线路等诸多不同部分组合而成的,整体结构颇为复杂,而且节点数量也相当多。在历经长时间的运行过程当中,这些各个组件特别容易受到外部环境条件发生变化、存在电气干扰、出现机械振动、有潮湿腐蚀情况以及人为操作不够恰当等多种多样因素的作用影响,进而致使产生诸如接触状况不好、绝缘出现老化现象、导线发生断裂、出现短路等各类故障,如此一来,不但会使得保护装置呈现出误动作、拒动作之类的异常举动,而且还极有可能致使设备故障进一步扩大、保护系统无法正常发挥作用乃至引发电网方面的事故。所以说,在日常的运行维护工作开展期间,务必要对二次回路的定期检修以及严格校验给予极为高度的重视,借助于针对线路连接实际状况展开的全方位物理层面的检查、对绝缘电阻以及回路电阻进行精准细致的测试还有对动作性能实施功能方面的验证等方式,彻底且细致地去排查那些潜在存在的各种隐患,以此来确保整个系统能够处于一种良好的工作状态之中。与此还需要综合考虑保护装置的动作逻辑情况、整定值的具体设置状况以及历史运行的各项参数等因素来进行系统性层面的校验,从而确认二次回路是否可以在各种各样的工况情形之下都能够正确地去执行保护逻辑^[3]。

4.4 装置更新与系统升级

装置更新以及系统升级对于继电保护系统的维护与故障处理而言,有着无可取代的重要作用。尤其是在电力技术持续革新、水电厂运行环境愈发复杂的状况下,传统继电保护设备由于存在技术较为落后、响应速度迟缓、抗

干扰能力不够强以及运行年限过长而引发的性能衰退等一系列问题,已经很难契合现代电力系统对于快速响应、高精度判断以及智能化管理所提出的严格要求了。为了提高整个保护系统的运行可靠性与智能程度,需要及时对老旧设备予以更新替换,选用那种拥有高速运算处理能力、能够进行多功能保护逻辑配置、具备高精度测量以及自诊断功能的新型数字化继电保护装置,这无疑成为了提升系统故障识别精度以及响应效率极为关键的手段。与此系统升级方面的工作同样需要同步开展,其不但涵盖保护装置内部软件平台的版本更新以及功能拓展,而且还涉及到对通信协议加以优化并实现统一,以便能够符合 IEC 61850 等现代通信标准的相关要求,从而进一步增强保护系统和调度自动化系统、远程监控平台之间的兼容性以及互操作性^[4]。除此之外,随着像大数据分析、人工智能算法这类智能分析技术在电力系统当中得到广泛运用,把智能决策功能融入到继电保护系统里,便能够达成更为高效的故障预警、趋势识别以及策略优化,进而大幅度提升系统在运行监控以及事故预防方面的主动性与智能化水准。

5 结语

水电厂继电保护系统是保障电力设备及电网安全的重要防线,其稳定运行对水电厂安全高效发电具有关键作

用。深入分析继电保护常见故障并诊断处理,可有效找出故障原因,及时采取恰当处理办法,防止事故发生及扩大。随着智能化技术不断发展,运用先进诊断方式及现代化管理手段,可提升继电保护系统可靠性及响应速度。未来,需强化继电保护装置维护管理及技术升级工作,推动智能诊断技术广泛应用,优化故障处理流程,确保水电厂继电保护系统保持良好状态,为电力系统安全稳定运行提供坚实保障。

【参考文献】

- [1]胡喆.水电厂继电保护隐性故障诊断方法研究[J].通讯世界,2024,31(8):106-108.
- [2]何占义.水电厂继电保护检修分析[J].电气时代,2020(11):42-44.
- [3]万宏程.水电厂继电保护应用分析[J].技术与市场,2015,22(12):192.
- [4]李易.水电厂继电保护的故障诊断研究[J].科技与创新,2015(5):85-88.

作者简介:刘小莉(1987.11—),毕业院校:兰州理工大学,所学专业:电气工程及其自动化,当前就职单位:大唐甘肃发电有限公司碧口水力发电厂,职务:闸门班技术员,职称级别:工程师。

电力工程安装施工中的质量控制分析

谢春浪

亿利洁能股份有限公司达拉特分公司, 内蒙 鄂尔多斯 014300

[摘要]近些年来,伴随着我国社会经济的快速发展,电力工程建设项目数量持续增加,电力工程安装施工的质量控制显得尤为重要。传统安装技术存在施工周期偏长、劳动强度大以及安装精度与质量控制难以得到保障等诸多挑战,已经无法满足电力行业快速发展的需求。提升并优化安装施工质量,既是提高工程效率和施工质量的必要条件,也是推动电力行业朝着绿色化、智能化方向转型的关键保障。鉴于此,文章针对电力工程安装施工中的质量控制问题展开简要分析,希望能为相关领域提供一定的参考与借鉴。

[关键词]电力工程; 电力安装施工; 质量控制

DOI: 10.33142/hst.v8i6.16894

中图分类号: TU712

文献标识码: A

Quality Control Analysis in Power Engineering Installation and Construction

XIE Chunlang

Dalad Branch of Elion Clean Energy Co., Ltd., Ordos, Inner Mongolia, 014300, China

Abstract: In recent years, with the rapid development of Chinese social economy, the number of power engineering construction projects has continued to increase, and the quality control of power engineering installation and construction has become particularly important. Traditional installation techniques face many challenges such as long construction periods, high labor intensity, and difficulty in ensuring installation accuracy and quality control, which can no longer meet the rapid development needs of the power industry. Improving and optimizing the quality of installation and construction is not only a necessary condition for improving engineering efficiency and construction quality, but also a key guarantee for promoting the transformation of the power industry towards green and intelligent direction. In view of this, the article briefly analyzes the quality control issues in the installation and construction of power engineering, hoping to provide some reference and inspiration for related fields.

Keywords: power engineering; power installation construction; quality control

引言

伴随社会经济的快速向前发展以及工业化进程持续推进这一情况,电力已然成为现代社会所不可或缺的基础能源,其供应所具备的稳定性与安全性,对于国民经济以及人民生活而言,有着极为重要的影响作用。电力工程安装施工属于电力系统建设其中的一个十分关键的环节,其质量的好坏,直接牵涉到整个电力系统在运行过程中的安全状况以及可靠性程度。不过,在实际开展工程建设的这个过程当中,由于受到技术水平、管理体制、施工环境等诸多方面不同因素的作用影响,电力工程安装施工出现质量问题的情况是时常存在的,这在很大程度上对工程的安全运行以及使用寿命形成了严重的制约。近些年来,随着电力工程规模呈现出不断扩大的态势,同时施工技术也变得日益复杂起来,传统的质量控制方法已经很难去契合现代电力工程建设的实际需求了,迫切需要借助系统化且科学化的质量控制策略来对其加以改进并实现提升。所以说,对电力工程安装施工当中存在的质量问题展开深入细致的分析,并且针对切实有效的质量控制措施予以探讨,这对于保障工程质量、提高施工效率以及降低安全风险等方面来讲,都有着不容忽视的现实意义以及应用价值。本

文会围绕电力工程安装施工的质量控制现状展开全面且详尽的剖析,着重就其质量问题以及与之相对应的控制策略展开探讨,目的就在于给相关企业以及管理部门给予理论层面的参考依据以及实践操作方面的指导,进而推动电力工程施工质量能够得以持续不断地提升。

1 电力工程安装施工中质量控制的意义

电力工程安装施工里的质量控制,其意义可从多个方面体现出来,比如能保障工程安全运行,可提高经济效益,能让设备使用寿命得以延长,还能够推动行业朝着规范的方向去发展等等。电力工程属于国家基础设施当中极为重要的一部分,它的安装施工质量跟电网系统的稳定性以及安全性是紧密相连的。要是施工过程中质量控制没做好,那设备出现故障、系统发生瘫痪这类情况就容易出现,甚至还可能引发严重的安全事故,进而给社会造成极大的损失。质量控制好的话,能有效把返工以及维修的次数减少下来,如此一来,工程运行以及维护的成本就会降低,项目的整体经济效益也就能得到提高了。而且高质量的施工能够让电力设备的使用年限变长,使得工程整体的技术水平以及服务能力都得到提升。随着我国电力行业快速发展以及技术不断更新换代,行业对于施工质量的要求变

得越来越高了。健全的质量控制体系一方面能增强企业在市场上的竞争力,另一方面也有助于推动整个电力工程建设朝着标准化、规范化的方向去发展。所以说,强化电力工程安装施工当中的质量控制,这既是确保工程质量的基本要求,也是实现可持续发展战略目标的关键保障所在。

2 电力工程安装施工中的质量问题

2.1 质量控制体系不完善

在电力工程安装施工期间,质量控制体系不够完善的情况普遍存在,部分施工单位在项目实施时缺少系统化且标准化的质量管理机制,对施工各个环节的质量控制没有统一规范,责任划分也不明确,使得施工过程中的质量管理陷入混乱,监督执行效果不佳,有些企业依旧采用传统管理模式,未及时引入先进质量控制技术与管理理念,致使质量管理信息滞后,手段落后,难以对施工全过程实施有效监管,而且工程项目管理层对质量控制体系建设重视不够,没有建立完善的组织架构与质量管理制度,这进一步降低了施工质量控制的系统性和科学性,加大了工程质量波动以及安全隐患出现的风险。

2.2 对原材料的监管存在不足

在电力工程安装施工期间,对原材料监管有所欠缺,这是影响工程质量的关键要素之一。原材料乃是施工质量的根基所在,它的性能状况以及是否合格,会直接影响整个工程的安全性与稳定性^[1]。可是在实际施工过程中,部分施工单位针对原材料采购、验收还有储存等各个环节,都缺少严格的监管举措,时常出现未依据规范去检验材料质量的情况,或者对材料出厂合格证、检测报告等重要资料的审核工作被忽视掉。因为有些项目工期紧迫且成本压力颇大,有个别单位为了节省成本,有可能会选用价格偏低但质量不过关的材料,如此一来便增加了工程潜在的质量风险。与此材料进场之后的储存与管理工作也往往不够规范,存在着堆放杂乱无章、防护措施不到位等一系列问题,致使材料性能受到损害,进而对施工质量产生影响。

2.3 电力施工人员技术有待提高

电力工程项目建设施工环节通常规模庞大且结构复杂,整个工程过程往往呈现出较高的复杂性和协调难度。这就要求参与项目的施工技术人员不仅具备扎实的行业专业知识,还能够将理论与实践紧密结合,充分发挥专业价值。随着社会的不断进步和科技水平的不断提升,电力行业不断涌现出更加先进的设备、技术和管理模式,管理人员必须紧跟时代发展的步伐,深入了解行业现状和发展趋势,提升自身的综合素质与能力。然而,实际情况中,部分电力工程管理人员的专业能力存在一定局限,他们所掌握的知识较为基础且缺乏系统性,缺少必要的专业培训,同时工作中学习积极性不足,导致管理水平难以有效提升,进而影响工程的整体管理效果。

2.4 工程监理不到位

在电力工程展开安装施工期间,工程监理工作做得不到位的情况,这无疑是影响施工质量的关键问题当中的一个。监理单位本该是把控工程质量和施工进度的重要监督力量,在施工的各个阶段,其应当针对施工质量、技术标准以及安全措施等方面来开展全面且细致的把控与检查工作。可在实际的操作流程里,部分监理人员自身专业素质有所欠缺,责任意识也比较淡薄,所以并没有严格地去履行监督方面的职责,出现了诸如流于表面形式、检查不够细致等一系列的现象。还有的监理单位和施工单位之间关系颇为密切,甚至存在着失察以及包庇等不良行为,没办法及时察觉并阻止施工当中出现的违规操作以及质量隐患等问题^[2]。因为工程量颇为庞大,任务也十分繁重,一些监理单位在人力配备这个方面存在着一定的不足,这就使得对施工现场展开巡查的频次变得比较低,巡查所能够覆盖的范围也是有限的,进而对监理工作的有效性产生了影响。

3 电力工程安装施工中的质量控制策略

3.1 建立健全质量控制体系

健全的质量控制体系是提高电力工程安装施工质量的关键保障,也是达成工程安全、高效以及可持续发展的重要环节。一个科学且完备的质量控制体系应当涵盖施工的整个过程,从项目立项开始,经过设计审查、材料采购、施工组织以及现场管理等环节,一直到竣工验收以及后期维护,构建起全方位且系统化的质量管理网络。一开始,要依照国家标准以及行业规范来制定行之有效的质量管理制度以及操作流程,清楚界定各个环节的质量标准与控制要点,保证施工活动有章可循、有据可依。接着,在体系建设方面要明确责任主体,将质量管理职责进一步细化,促使项目管理层、施工队伍以及监督机构达成有效协同,形成“谁主管、谁负责”的责任机制。与此应当引入现代信息技术手段,像是 BIM 技术、质量管理信息系统以及移动现场监控设备,以此实现质量数据的实时采集、传输以及分析,提升质量管理的透明度以及响应速度。质量控制体系还应包含持续改进机制,通过针对施工过程中的质量问题展开科学分析并加以总结,制定具有针对性的整改措施,不断对施工工艺以及管理方法予以优化。

3.2 加强对电力工程原材料采购环节的控制

强化对电力工程原材料采购环节的把控,这属于保证工程质量的关键基础部分,它和后续施工的安全性以及可靠性有着直接关联。需要构建起较为严格的供应商准入方面的制度,针对供应商的资质状况、生产的能力水平、产品的质量情况以及信誉程度等方面展开全面且细致的评估,并且要实施动态化的管理举措,以此来保障采购渠道能够保持稳定状态,同时也让材料的质量具备可追溯的相关特性。在采购的过程当中,应当严格依照技术规范以及质量标准来执行各项事宜,清晰明确地界定对于原材料性

能指标方面的要求、检测的具体方法以及验收所依据的标准等内容,防止出现不合格的材料进入到施工现场的情况。与此还得进一步完善材料检验以及验收的流程安排,施行进场材料按照批次来进行检测的制度,另外还要落实抽样复检的相关规定,依靠第三方具有权威性的检测机构针对关键材料展开质量认证工作,从而确保检测所得的数据是客观且公正的。在采购环节里面,还应当引入信息化的管理手段,借助采购管理系统以及物资追踪平台达成对材料采购、运输以及储存整个过程的数字化监管目标,提升管理工作的透明程度以及响应的速度^[3]。除此之外,要加强和设计单位以及施工单位之间的沟通与协调工作,保证采购的材料能够契合设计方面的要求以及施工的实际需求情况,避免因为材料不符合要求而引发的返工现象以及资源浪费问题。

3.3 提高电力施工人员技术能力

提升电力施工人员的技术能力乃是保证电力工程安装施工质量的重要保障,会对工程的安全性以及施工效率产生直接影响。一方面要建立起系统化的人才培养机制,借助理论培训与实践操作相互融合的方式,全方位地提升施工人员对于电力设备安装规范、施工工艺流程以及安全操作规程的理解与掌握程度,培训内容不但包含基础电力知识,而且还需融入新技术、新材料以及先进施工方法,以此确保施工人员能够契合现代电力工程日趋复杂且技术含量颇高的施工要求;另一方面应当施行分级管理与技能认证制度,针对不同岗位的施工人员开展技术等级划分以及能力评估工作,明晰岗位职责与技术标准,推动专业化队伍的建设进程,借助设立技术竞赛、经验交流以及现场指导等多种多样的手段,激发施工人员的学习积极性与创新意识,促使技术水平得以持续提升,企业还需重视技术骨干的培养与引进,构建起以技术带头人为核心的技术团队,推动施工技术的传承与创新,结合现代信息技术,大力推广BIM、智能检测设备等数字化工具的应用,提高施工人员对工程细节的把控能力以及现场问题的应变能力。

3.4 做好工程监理工作

做好工程监理工作,在保障电力工程安装施工质量方面,称得上是极为重要的一环,也是行之有效的办法。监理单位得把自身的技术监督以及质量管理职能切实发挥出来,要严格依照国家相关的法规、标准还有合同所提出的要求,针对施工的整个过程展开全方位且多层面的监督以及检查活动。在实际开展工作的过程当中,监理人员需

要拥有较高的专业技术方面的水准,同时还得具备丰富的现场管理方面的经验,如此才能够及时察觉到施工当中存在的质量隐患以及安全风险,并且还能够给出科学且合理的整改方面的建议。与此应当去建立起较为完善的监理工作相关制度,要把监理责任、工作流程以及质量验收的标准都给明确清楚,以此来保证监理工作具备规范性以及系统性。监理单位还应当进一步强化与施工单位、设计单位以及业主之间的沟通与协调事宜,推动各方的信息可以及时地实现共享,进而形成一股合力,共同推动质量管理向前发展^[4]。要充分借助现代信息技术方面的手段,比如数字化管理平台、现场视频监控以及数据采集系统等等,达成对施工进度、质量状况以及安全措施实时动态监控目的,以此提升监理工作的透明程度以及工作效率。

4 结语

在电力工程安装施工环节,其质量控制对于保证工程可以安全且稳定地运行而言,有着极为重要的意义。就目前的情况来看,存在着质量控制体系不够完善、对原材料的监管力度不足、施工人员的技术水平需要进一步提升以及工程监理工作做得不到位等一系列问题。针对这些情况,必须要采取那些科学且行之有效的策略来加以改进。通过去建立健全的质量控制体系、强化原材料采购方面的管理、提高施工人员的技术能力以及加强工程监理相关工作,如此便能够有效地提升施工的质量水平,减少安全隐患,进而确保电力工程可以顺利竣工,并且能够安全地运行。在未来,应当持续不断地推进质量管理方面的创新以及完善工作,促使电力工程施工质量朝着更高的标准不断发展,从而为我国电力事业实现可持续发展给予坚实的保障。

【参考文献】

- [1]代肖东,李振龙.电力工程安装施工中的质量控制分析[J].城市建设理论研究(电子版),2025(15):7-9.
- [2]孙顺顺,史宏伟.浅谈电力工程安装施工中的质量控制策略[J].模具制造,2023,23(10):247-249.
- [3]何海江.电力工程安装施工中的质量控制策略探讨[J].中国设备工程,2024(19):245-247.
- [4]何梦池,汪宏达,向阳.新时代电力工程安装施工中的质量控制方式[J].电子元器件与信息技术,2024,8(10):191-193.

作者简介:谢春浪(1985.4—),单位名称:亿利洁能股份有限公司达拉特分公司,毕业学校和专业:内蒙古科技大学——专业:机电一体化。

10kV 继电保护装置的运行维护管理

黑 晋

国家广电总局五五四台, 河南 郑州 450100

[摘要]当下, 10kV 供电系统在我国电力系统里属于极为关键的构成部分, 和工业生产以及居民日常的生活紧密关联着。要想提升我国的整体供电质量, 首要之事便是要保证 10kV 供电系统里面的继电保护装置能够稳定地运行起来。唯有确保继电保护系统的可靠程度, 才能够使得电力系统在发电环节、输电环节、变电环节以及用电环节均能够正常且有秩序地运行, 进而对电力系统的安全运转以及高效运转给予有力的支撑。

[关键词]10kV 继电保护装置; 运行维护; 维护管理

DOI: 10.33142/hst.v8i6.16890

中图分类号: TM774

文献标识码: A

Operation, Maintenance and Management of 10kV Relay Protection Device

HEI Jin

National Radio and Television Administration 554, Zhengzhou, He'nan, 450100, China

Abstract: Currently, the 10kV power supply system is a crucial component of Chinese power system, closely related to industrial production and daily life of residents. In order to improve the overall power supply quality in our country, the first priority is to ensure that the relay protection devices in the 10kV power supply system can operate stably. Only by ensuring the reliability of the relay protection system can the power system operate normally and orderly in the generation, transmission, transformation, and consumption stages, thereby providing strong support for the safe and efficient operation of the power system.

Keywords: 10kV relay protection device; operation and maintenance; maintenance management

引言

伴随着电力系统持续向前发展以及电网结构变得愈发复杂起来, 继电保护已然成为保障电力系统能够安全且稳定地运行的一个极为关键的环节, 其自身所具有的重要性也一天比一天更加突显出来。10kV 电压等级属于中压配电网当中极为重要的一部分, 在城市供电领域、工业企业的用电场景以及农村电网之中都有着十分广泛的运用, 而在其中的继电保护装置, 肩负着及时准确地识别出故障情况、快速有效地切除出现故障的电路、切实防止事故进一步扩展开来的这样一份极为重要的使命。优秀的继电保护性能, 一方面可以切实有效地保障供电设备以及线路处于安全的状态, 另一方面还能够在最大程度上减少故障给用户正常用电所带来的影响。所以说, 科学并且合理地开展针对 10kV 继电保护装置的运行以及维护管理工作, 对于提高电力系统的运行效率以及供电的可靠性而言, 有着不容忽视的重要意义。当下, 随着智能化电网技术不断地得到推广与应用, 对于继电保护装置也就提出了更高层次的要求, 它不但得具备高灵敏度、高选择性以及高速动作性能这些特点, 而且在运行维护的过程当中, 还务必要达成精细化管理以及规范化操作这样的目标。本文将会围绕电力系统故障所呈现出的特点、继电保护装置所应当具备的基本性能要求以及其在运行维护方面所涉及的关键技术等方面来展开探讨, 目的就在于能够为 10kV 继电保

护装置的管理和应用给予相应的理论支撑以及实践方面的参考依据。

1 电力系统故障的特点

电力系统故障呈现出突发性、复杂性以及多样性等特征, 一般会以短路、接地故障、设备绝缘遭到破坏或者电气连接出现异常等方式呈现出来。这些故障往往在毫无征兆的情况下突然发生, 并且持续的时间也相对较短, 然而却给系统的安全运行以及设备的稳定性带来了极为严重的威胁。一旦发生故障, 就有可能导致电流急剧升高、电压快速下降, 从而引发电力设备出现过热、损坏甚至是连锁故障的情况, 对电网的供电可靠性与安全性产生十分不利的影响。而且电力系统故障的类型多种多样, 其中包含有单相接地故障、两相短路故障, 还有像三相短路这类较为复杂的故障形态, 不同的故障其对系统所产生的影响程度以及相应的处理方式也都各不相同^[1]。故障产生的原因一方面存在外部环境方面的因素, 像是雷击、树木倒伏、动物触碰线路等情况, 另一方面也有设备老化、绝缘破坏、操作失误等内部的因素。鉴于电力系统自身的结构比较复杂, 所涉及的设备数量众多, 故障传播的路径也是多种多样且难以准确预测的, 所以对于故障的及时检测、准确定位以及有效隔离就提出了相当高的技术方面的要求, 以此来保证电力系统可以快速恢复到正常的运行状态, 切实保障供电的连续性与稳定性。

2 10kV 继电保护装置的基本性能要求

2.1 保护装置的选择性

保护装置所具有的选择性这一特性,指的是继电保护系统可精准区分故障发生的范围,确保仅仅切除出现故障的电力设备或者线路,不会对系统里其他处于正常运行状态的部分产生影响。出色的选择性能避免保护装置因为出现误动作而致使非故障区域发生停电的情况,以此来保障电力系统的稳定运行以及供电的连续性。为了达成选择性,一般会把电力系统划分成多个保护区,在每一个保护区之内的保护装置仅仅针对本区域的故障做出反应,防止对相邻区域形成干扰。与此保护装置需要具备区分不同类型故障的能力,能够辨别出永久性故障与瞬时故障,避免因短暂故障而引发不必要的保护动作。

2.2 继电保护装置的灵敏性

继电保护装置的灵敏性具体指的是该装置具备及时且精准地检测出系统里微小故障电流或者异常信号的能力。要是保护装置灵敏性比较高的话,那么它就能保证在故障刚开始出现的时候立刻做出响应,迅速将故障的部分切除掉,如此一来便能够阻止故障进一步扩大,进而保障电力系统可以安全且稳定地运行。灵敏性要求保护装置针对不同类型故障电流都得维持足够的感知能力,不管是在远端出现的小电流故障,还是靠近设备的低幅度异常情况,都能够准确地识别出来并且触发保护动作。与此灵敏性务必要和选择性相互结合起来,避免因过于灵敏而致使出现误动作的情况,要保证保护装置在确保灵敏度的基础之上不会对正常的运行产生影响。

2.3 继电保护装置的可靠性

保护装置的可靠性主要体现在其设计原理的科学性、计算的严谨性以及安装调试过程的准确性。同时,对装置各个组成部件的质量也提出了较高要求,需确保其稳定、安全、性能可靠。此外,保护装置的程序设置与运行维护应当简明高效,尽量避免复杂冗余,以提升整体运行的可控性和稳定性^[2]。可靠的继电保护装置应能够准确识别电力系统中故障发生的位置,并迅速作出响应,切除故障线路,防止故障范围扩大,从而将系统损失降至最低,确保供电系统的安全和连续运行。

2.4 继电保护装置的速动性

继电保护装置的速动性指的是该装置在察觉到故障信号之后,可迅速做出相应反应并且及时将故障电路切断的一种能力。这种高效的速动性在防止故障进一步扩大、降低设备遭受损坏的程度以及保障电力系统能够安全稳定地运行等方面有着十分重要的意义。继电保护装置务必要在极为短暂的时间内精准识别出故障的具体类型以及故障发生的准确位置,并且要迅速启动与之相对应的保护举措。特别是在出现短路以及过载这类较为严重的故障情形之下,更是需要达成快速断开的效果,从而防止事故的

影响蔓延至更大的范围当中。速动性的达成依靠的是保护装置所具备的灵敏检测功能以及快速执行的相关机制,与此同时还需要对动作时间加以合理地设定,以此来保证在确保系统稳定性得以维持的前提之下,尽可能地将故障隔离所需的时间缩短。

3 10kV 继电保护装置的运行维护

3.1 反时限过流保护

反时限过流保护属于10kV继电保护装置里常见且颇具实用价值的一种保护形式。它的基本原理在于,当电流超出所设定的整定值之后,保护装置并不会马上采取行动,而是依据电流的具体大小来确定动作所需的时间,也就是电流越大,其动作时间就越短,借此达成针对电网内不同严重程度故障做出有效反应的目的。此种保护方式一方面可确保对严重的短路故障予以快速切除,进而降低设备遭受损坏的风险;另一方面又能给轻微过流留出一定的延迟时间,避免因瞬时性的波动或者暂态扰动而引发误跳闸的情况出现,由此提升供电系统的稳定性以及运行的连续性。反时限过流保护一般会和下级的保护装置联合起来使用,凭借对时间-电流特性曲线加以整定的方式,实现上下级保护之间有选择性的动作,防止出现跳闸范围过大的事故。在实际的运行与维护环节当中,得定期针对保护装置的動作特性展开测试与校验工作,查看其整定值、动作时间是否和设计情况相符,并且要对电流互感器、二次回路连接等方面展开全面细致的排查,以此保证保护动作的准确性与可靠性,进而为电力系统安全稳定地运行给予有力的保障。

3.2 定时限过流保护

定时限过流保护属于10kV继电保护装置里的一种基本且广泛运用的保护形式。它的运作原理是这样的:当系统电流超出所设定的整定值之后,经过事先设定好的固定时长的延迟,保护装置才会启动并执行跳闸操作,进而将故障线路给切除掉。此保护形式有着结构较为简单的特性,其动作原理也较为明晰,尤其适合在电网结构相对稳固、故障电流水平相对好判定的系统当中应用。定时限过流保护具备不错的可控性以及协调性,在多级保护装置相互之间,能够凭借对各级动作时间做出精准设定的方式,达成上下级保护装置有序配合的效果,以此来保障在故障被切除的时候仅仅切断受到波及的部分,防止出现停电范围扩大的情况^[3]。在开展运行维护工作的进程当中,需要定期针对定时限保护的电流整定值以及动作时间展开校验,从而确保它们能够和实际系统的运行状态相契合,避免因设定不妥当或者装置老化而引发的误动作或者拒动作现象出现。

3.3 电流速断保护

电流速断保护属于10kV继电保护装置里响应速度最为迅速的一种保护形式,其工作原理在于当电流于瞬间超

出所设定的速断值之际,保护装置会立刻采取行动,快速将故障电路切除掉,而且不会带有任何时间方面的延时情况。此保护方式主要针对短路等较为严重的故障情形而设置,具备动作速度快以及可靠性程度较高的特性,可以在故障刚刚出现的时候迅速地切断电源,切实有效地防止故障电流进一步扩大蔓延,从而减少设备遭受损坏的程度,进而保障整个系统的安全无虞。电流速断保护一般而言是适用于电流互感器精度相对较高、短路容量比较可观并且故障定位较为清晰明确的系统段落,在实际的应用过程当中,为了避免保护范围过宽或者出现误动作的情况,往往会和反时限或者是定时限过流保护联合起来一同使用,以此构建起多层次且相互之间能够协调配合的保护体系。在日常的运行维护工作开展期间,需要着重去检查速断保护的整定值是不是契合系统短路容量以及设备所能承受的能力,并且要定期实施测试以及校验操作,以此来保证装置在碰到大电流故障之时能够马上启动起来,确保其动作是可靠的。

3.4 三段式过流保护装置

三段式过流保护装置属于10kV继电保护系统里常见的一种综合性保护手段,它一般是由速断保护、限时速断保护以及定时限过流保护这三个部分构成的,分别与第一段、第二段还有第三段保护相对应。其中第一段是瞬时速断保护,当故障电流达到所设定的数值,并且没有延时的情况之下就会立刻采取行动,其主要作用是用来切除距离保护装置比较近的那种严重的故障;第二段则是限时速断保护,在有一定延时的时间段内会采取行动,它的作用是保护那些距离稍微有点远、不过依然处于本保护范围之内故障;第三段为定时限过流保护,它的延时时间是最长的,主要用于配合上级或者相邻的保护装置,以此来达成系统级别的故障隔离以及选择性的跳闸。三段式过流保护能够依据不同的故障状况给出分级的响应,从而提升故障识别的精确度以及系统动作的协调性,切实有效地防止出现误动或者保护死区的情况。这种保护方式特别契合配电线路较为复杂、电源方向多变并且电流幅值存在较大差异的场合,对于提高系统的运行可靠性以及稳定性有着帮助。在日常的运行维护工作当中,需要着重针对三段保护的整定参数展开核查以及定期的试验,要保证三段动作的逻辑是正确的、时间的配合也是合理的,与此同时还要强化对电流互感器、二次回路以及保护装置自身主体的巡检,确保其在故障发生之时可以快速且精准地发挥出保护的作用,尽最大可能地削减电力系统故障所带来的影响。

3.5 日常检查与故障处理

在10kV继电保护装置处于运行维护状态期间,日常检查以及故障处理这两个方面称得上是保证其能够稳定

且可靠地运行的关键所在。就日常检查来讲,其中的工作应当涵盖针对保护装置的外观、接线的具体状况、信号所指示的情况、端子的连接情况、电源电压的状态以及装置本体的运行状态展开的全方位巡查,着重去检查是否有出现松动、锈蚀、发热或者老化之类的异常情况,并且要及时将这些潜在的隐患给找出来并予以排除掉。与此还需要按照一定的周期去对保护装置的各项整定值进行仔细的核对,务必要让其参数设置和系统运行的实际要求达成一致,如此一来才能够避免出现误动作或者是拒动作这样的情况。而对于保护装置所记录下来的动作信息以及报警信号,那就得认真去剖析其发生的具体时间、动作所属的类型以及和之相关的设备在运行方面的实际情况,从而判断一下究竟是否存在实际的故障亦或是装置自身出现了异常^[4]。要是发现了保护装置出现了误动作、拒动又或者是失灵这类故障的时候,那么就得马上采取应急的相关举措,比如说切换到备用保护,或者是采取人工来进行干预的方式,与此同时还要组织起专业的人员来开展故障分析以及排查工作,这当中就包含了对电流互感器、二次回路、通信模块、继电器本体等诸多部分展开的检查测试,以此来弄清楚故障产生的根源并且及时地将其修复好,进而确保装置能够恢复到正常的运行状态之中。

4 结语

10kV继电保护装置在电力系统里有着极为关键的作用,其运行时的稳定性以及可靠性和供电系统的安全、效率紧密相连。伴随电力系统规模变得越来越大,技术也在不停地发展进步,对于继电保护装置的运行维护管理的要求也越来越高。强化对保护装置各项性能的了解掌握,规范日常的检查流程以及故障处理流程,合理地配置并优化保护策略,如此一来,既能有效提高设备的运行质量,又能提升系统应对突发故障的能力。以后,需进一步借助智能化的手段和信息化的管理模式,促使继电保护装置朝着自动化、精细化的方向发展,以此给电力系统的安全稳定运行给予更为稳固的技术保障。

【参考文献】

- [1]刘刚,周光全,王欣书.10kV继电保护装置的运行维护管理[J].电工文摘,2017(1):45-47.
- [2]陈建波.关于10kV继电保护装置的运行维护的分析[J].黑龙江科技信息,2010(34):17.
- [3]姚强文.500kV变电站继电保护装置的运行维护探讨[J].电子世界,2014(10):43.
- [4]刘敬远.10kV供电系统继电保护的运行及管理对策[J].建材与装饰,2016(50):241-242.

作者简介:黑晋(1977.5—),单位名称:国家广电总局五五四台,毕业学校和专业:西安交大电力系统及自动化。

自动化技术在输配电及用电工程中的应用分析

王 毅

新疆兵团市政轨道交通（集团）有限公司，新疆 乌鲁木齐 830000

[摘要]经济社会在高质量、高水平建设下使人们对电力需求量更大，导致输配电及用电工程工作压力更大，为充分应对当今快速发展趋势需增加自动化技术模式。但自动化技术在输配电及用电工程中实际使用现状不佳，还需完成具体优化来彰显其价值。以下对某个案例调查了解自动化技术的实际应用优势以及在输配电及用电工程中的现状，对此给出具体应用策略。

[关键词]输配电；用电工程；自动化技术

DOI: 10.33142/hst.v8i6.16917

中图分类号: TM76

文献标识码: A

Analysis of the Application of Automation Technology in Transmission, Distribution, and Power Engineering

WANG Yi

Xinjiang Bingtuan Municipal Rail Transit (Group) Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

Abstract: Under the high-quality and high-level construction of the economy and society, people's demand for electricity has increased, leading to greater pressure on transmission, distribution, and power engineering work. In order to fully respond to the rapid development trend today, it is necessary to increase automation technology models. However, the actual use of automation technology in power transmission and distribution as well as electrical engineering is not satisfactory, and specific optimizations need to be completed to demonstrate its value. The following is a case study to understand the practical application advantages of automation technology and its current situation in power transmission, distribution, and consumption engineering, so as to provide specific application strategies for this.

Keywords: power transmission and distribution; electrical engineering; automation technology

城市化进程随着社会经济发展不断加快，随之电力系统日益复杂、多元化趋势显著。加上电力系统内增加清洁能源导致配电网复杂程度增加，传统应用模式与其需求不满足。自动化技术在监控、调度和故障处理中发挥有效功能，能够增强电力企业的响应功能、检测能力，且各项资源得到优化配置，使输配电及用电工程向着智能化和现代化模式进步。

1 输配电及用电工程中应用自动化技术优势

1.1 灵活与高效

系统的高效运行是基于先进自动化控制技术完成，能够实时监测输配电流程，以免在电力传输中造成消耗增加现象，有利于能源的充分应用，例如：自动化系统能够对线路的负荷情况详细监测，且综合用电的实际需求对输配电的路径科学调整，保证资源配置更有效，尤其针对高峰期用电情况需系统对其响应及时，促使电力区域内的负载情况得到优化调整，以免因为过载电力发生断电现象，且很大程度上运行成本也会减少。系统的灵活运行使其针对不同的运行条件和需求，特别对输配电系统设计期间若发生问题或变化，则整个调节复杂，消耗时间，设计中经智能化控制能够与多变需求有效符合。分布式能源应用，使自动化技术和风能、太阳能形成结合，供电运行更加稳定；其灵活性还针对不同用户做出不同响应，如：工业、商业或者家庭等用户，基于自动化技术支持下的配电系统分析，按照不同用户的负荷选择个性化服务。

1.2 智能与快捷

针对输配电系统内大量数据信息需基于人工智能算法、大数据分析评估其故障，经过监测和潜在风险评估，能够提前对其维护，以免因为事故突发带来危害，这种智能化特征使电网运行率有效提升。传统智能化电网在故障检测、故障处理中都为人工方式，整体需较长时间，容易面临大范围停电、设备损伤等。自动化系统则不同，通过现代技术应用（通信技术、智能传感器），故障位置能够及时确定并给出隔离措施以及完成电力负荷调整等，以免因为故障给其他地区的供电情况带来不良影响。

1.3 服务与安全

自动化技术应用使人们获得的服务更全面，如：使用智能化电表、分析用户的用电数据信息等，方便对用电费用实时统计，也能为用户节能用电提供有效意见。同时，该系统还可综合用户对电力系统使用习惯、历史信息对未来的用电需求进行预测，方便电网供需均衡，整体服务能力增强。针对电力系统具备的安全性，其内容包括实时监测、评估系统运行状态等，将其作为条件发现设备的应用故障得到处理；针对系统应用的安全性方面，基于自动化技术方便对大量数据信息传输和处理，加上防火墙技术、加密技术使用均能使数据信息安全得到维护，避免造成信息泄露。

2 实例调查

对某地区的电力系统情况调查，发现地区由于输配电设

备出现老化导致线损率提升,且对故障定位需较长时间,调查发现平均达到 45min,这一系列问题使用户每年停电时间增加。2023 年,该地区致力于完成智能电网自动化改造,保证在输配电、统计用电量方面实现有效管理。基于自动化技术应用,地区内电力系统应用得到优化,具体应用内容为表 1。经自动化技术应用后,该地区的电力系统得到优化,在 2020 年(优化前)到 2023 年(优化后),相互对比发现均得到改善,具体如表 2。从表 1 和表 2 分析,证明自动化技术应用保证供电合理、安全性,故障处理率提升。为使自动化技术在输配电及用电工程中充分应用,还需对实际应用现状分析,并对此给出实际应用策略。

表 1 自动化技术在地区内电力系统应用中得到优化

应用技术	应用功能	应用场景
电网监控系统	对电压、电流和功能等监测	输配电设备
配电自动化系统	对故障完成自动隔离	配电网故障中
智能电表	抄表以及分析用电数据均能远程完成	管理用户侧用电情况
需求侧响应	高峰负荷完成动态调整	保证工业用户用电错峰使用
自愈控制系统	应用 AI 完成定位与预测故障	评估输电线路故障

表 2 2020 年(优化前)到 2023 年(优化后)前后相互对比

内容	优化前(2020 年)	优化后(2023 年)
线损率	8.7%	2.4%
停电时间(每年)	6.8 小时	1.1 小时
故障定位时间	45 分钟	3 分钟
满意度	70%	89%
高峰负荷调节能力	0.1%	13.4%

3 输配电及用电工程中应用自动化技术现状

3.1 智能化设备和系统普及率低

自动化设备使用多处于发达地区、资质更高的电力企业,且智能电网得到逐渐发展以及技术不断创新。但与其不同的是,一些偏远地区、资质较低的电力企业则因为技术和资金影响发展智能化落后,甚至电网监测还在使用传统操作模式和监控模式,这种情况导致电力系统的自动化程度较低,无法有效保证电网得到安全、稳定运行。智能化和自动化电网运行需大量资金和技术,这种情况下导致一些小型电力企业面临较大压力,加上一些传感器、智能电表等更新、维修等也需高成本,使相互之间在系统应用方面面临较大差距^[1]。

3.2 数据安全和隐私问题仍存在

自动化技术下的输配电及用电工程运行需传感器、智能电表、远程监测设备等等,这些系统均需在互联网支持下完成数据传输和控制。但大量数据信息在传输中面临一定安全,可能发生安全事故等,甚至影响电力系统的安全运行。同时,电力系统内的信息还存在一定敏感性,若用户的用电情况被泄露则安全性无法保证。所以,在监测电力系统运行情况中,未增加安全措施则总体运行将被威胁,需引起重视。

3.3 标准化和结合化问题

智能变电站中经自动化技术、监控系统应使系统之间的数据信息交换受限,其原因多是通信协议、数据格式不标准,导致电力系统内的自动化设备应用达不到结合。电力系统内的自动化技术表现为多个类型,不同类型系统均需配备不同设备和技术,系统之间结合面临一定难度,若相互之间无法联合、集成,则导致电力系统的自动化程度降低,无法确保其获得较高经济效益。因此,要关注系统应用的标准化和结合化问题。

4 输配电及用电工程中应用自动化技术实施策略

4.1 完善基础建设

电力系统内的基础设施与整个输配电工作、用电工程的稳定性存在较大关系,需按照实际情况对其优化并达到自动化建设,如:制定符合的执行方案。输配电及用电工程整体建设较为复杂,会给施工技术、技术人员提出更高要求,且需更多建设资金,总体发展周期长。这种情况下需输配电及用电工程建设中渗透自动化技术,在技术支持下调查工作内容,既要使建设质量得到保证,也要体现技术的实际应用作用。输配电及用电工程执行前期阶段,对各项信息有效协调,并对具体实施方案完成优化和整改,还需综合自动化技术使用情况系统协调,特别应用中具备的可靠性、稳定性,使其与用户的实际需求符合,保证系统供电的自动化程度增强,从而为电力企业高效益发展提供支持^[2]。

4.2 设计电力系统

对电力系统设计面临一定复杂性,需在前期工作中对分布结构完成系统优化,如:警报设计、信号设计、系统结构设计等,使每个系统运行获得一定独立性特征,以免系统之间相互关联增加故障,防止给整个电力系统运行带来威胁以及预防后期维修难度增加。基于此,设计电力系统过程中,在保证系统运行具备一定独立性前提下,还需注意兼容性、扩展性,保证电力系统运行率提升。针对电气自动化系统内部,其中包括软件和硬件、多种类型接口、多种类型零部件等等,这些均会导致自动化设备内环境发生变化,不利于发挥良好的控制效果。因此,确保兼容性、扩展性一致对系统运行效率提升有效,使系统运行的可靠性增强。

4.3 配电和运维

电力传输中自动化技术应用为其中基础条件,如: DSP 数字信号处理技术使配电系统自动化程度增强,且数据传输中的异常因素消除,数据信息传输环境更安全,很大程度上为用户获取电力供应提供方便,实现电力的快速运输。自动化技术基于其灵敏性还能完成有效信息接收,如:使用递归虚拟流算法使系统数据信息有效生成,计算率提升且完成自动化配电,随着配电质量提升也能有效控制配电中的隐患,资源应用率提升,方便电力调度。自动化技术应用于输配电及用电工程中不仅体现基础功能,其优势更多,如:覆盖区域更大、用户量多,但也需要更多技术人员。特别在现代信息技术发展下,输配电及用电工程的自动化技术应用使设备运行、设备维护率提升,确保整个配

电网运行更稳定,比如:设立数据库、针对关键设备,基于通信网络技术使用使系统控制的自动化程度增强。配电运维阶段,自动化技术方便检测输配电及用电工程运行实际情况、促使检测工作具体,整个设备也得到稳定运行。自动化技术针对检测工作也可达到自动化监督作用,如:巡查故障、处理故障等,输配电及用电工程运行率均得到提升^[3]。

4.4 高温应对

自动化技术对输配电及用电工程运行率提升关键,但为了对技术应用效果再次增强,还需对高温情况积极应对,减少自然环境的危害,防止停电事故增加。该情况下需认识到自动化技术应用优势、特点,将其有效应用于输配电线路或者设备调度中,对电力设备运行中的问题积极解决,再按照调度信息制定有效的实施方案,以使整个系统运行更加稳定、更加安全。夏季较为炎热情况下空调应用数量增加,同时空调用电负荷量增大,为使电力得到充足供应,输变电设备、电气设备均需加强维护、调度等,期间均需给出有效措施处理。因此,为应对高温环境建议使用自动化技术,对电力系统中的用电负荷问题积极解决、解决不稳定运行问题等^[4]。

4.5 降低电能消耗

输配电及用电工程中应用自动化技术达到电力合理输送,资源应用率提升。对电力实际传输中,发展智能化成为当前发展需要,使用计算机技术能够对多个传输、管控阶段优化,且计算更加精准,电力输送成本有效控制。输配电及用电工程中的自动化技术还承担着测定隐藏隐患作用,利用科学方法对输配电及用电工程整个运行完成远程控制,保证风险率降低和维护其稳定与安全。例如:远程控制中按照系统内的数据信息方便掌握电力系统运行情况,针对传输中的故障也可以使用先进技术对其问题、原因调查,以促使电力系统运输中的故障得到解决^[5]。

4.6 稳定控制

电网在现如今发展规模逐渐扩大,但同时对于电力系统的维护难度也在增加。基于传统技术方式明显不佳,需积极渗透互联网技术、现代信息技术等控制电网,如:增强电网的防御功能,为电网安全运行创建稳定环境。在自动化技术支持下稳定控制,为避免系统受到外部威胁研发主动防御系统,对不同破坏加强识别。针对局部电网信息保护装置、稳定控制装置需基于自动化技术应用模式下相互协调,使其应用与电网需求符合。

4.7 防雷检测

防雷技术在输配电及用电工程中应用使电网系统运行更加稳定、线路运行更可靠。对防雷技术使用中,还需对其完成优化升级:第一,增强防雷击功能。基于自动化技术下的防雷设备能自动跳闸,设备防雷效果增强。第二,避雷装置设置更合理。通过前期准备预防雷雨影响输配电及用电工程,且运行中产生的感应电压降低,尽管细微变化也能及时反应,方便系统的整体控制。第三,控制杆塔

接地电阻。电路中对电阻器的应用有效布置,使电流运行有效,防止线路应用中绝缘子电压增加^[6],如图1所示。



图1 避雷装置

4.8 协调互联网技术

输配电及用电工程中应用5G技术获得强大支撑,经自动化技术和5G技术使用实现数据信息收集程度增强,且电网运行中的诊断工作和维护工作有效。针对问题也能经技术协同应用完成输配电及用电工程故障处理。为了对电网中隐患加强防范,还需对系统完成系统检查,如:掌握配网设施运行情况、云端检查台区,调查设备隐患、电网运行情况等,对各项流程和执行任务合理分配,以促使电力系统得到可靠运行。

5 结语

输配电及用电工程中使用自动化技术使电力输送质量、输送效率提升,电力企业运行成本得到控制,随着电力资源优化配置获取更高效益。自动化技术应用模式下,需按照输配电及用电工程的实际现状完成技术方案设定,确保电力得到稳定、安全供应。

【参考文献】

- [1]肖克坚,石国彬,尚瑞雪.输配电及用电工程中自动化技术的优势和应用分析[J].模型世界,2024(4):178-180.
 - [2]赵长浩.输配电及用电工程自动化技术分析[J].仪器仪表用户,2025,32(2):134-136.
 - [3]董慧,杨全恒.自动化运行技术在输配电及用电工程中的应用策略分析[J].消费电子,2025(2):74-76.
 - [4]周国威,方可.自动化技术在输配电及用电工程中运用分析[J].电气技术与经济,2024(6):123-125.
 - [5]王宇.基于IP技术的输配电用电工程自动化运行系统设计[J].通信电源技术,2024,41(15):10-12.
 - [6]张吉海,樊盛梁.探究自动化技术在输配电及用电工程中的应用[J].电子元器件与信息技术,2024,8(11):282-284.
- 作者简介:王毅(1999.3—),女,青岛理工大学,新疆兵团市政轨道交通(集团)有限公司,科员,助理工程师。

一种继保室二次屏柜安措实施远方调控装置

周威铮 夏家辉 马秀林 蒋伟 谢浩然 陈伟华

国网浙江省电力有限公司台州供电公司, 浙江 台州 318000

[摘要]针对变电站继保室在综合性检修期间二次工作柜屏柜众多、工作范围广导致安措难以准确可靠实施的问题,提出一种继保室二次安措远方调控实施布置装置,以利于现场运维人员快速完成继保室屏柜安措布置,提高屏柜布置准确率和工作效率。该装置由上位机控制单元、现场信号接收装置和智能安措布置装置构成。首先,基于远动通信和移动互联云端技术设计了上位机控制单元,并搭建主控机组态和移动端小程序平台实现二次柜安措指令的传输;其次,利用信息接收装置接收远方安措实施命令,同时对站内屏柜安措状态进行监测并实时上送远方主控机;最后,由现场智能安措装置实现屏柜红布幔及“在此工作”标识的自动化布置,并搭配 5G 串口上送屏柜信息。

[关键词]继保室;二次屏;安措;自动化布置;5G

DOI: 10.33142/hst.v8i6.16911

中图分类号: TM63

文献标识码: A

A Remote Control Device for Implementing Safety Measures for Secondary Screen Cabinets in Relay Protection Rooms

ZHOU Weizheng, XIA Jiahui, MA Xiulin, JIANG Wei, XIE Haoran, CHEN Weihua

State Grid Zhejiang Electric Power Co., Ltd. Taizhou Power Supply Company, Taizhou 318000, Zhejiang

Abstract: In response to the problem of numerous secondary work cabinets and wide work scope in the substation relay protection room during comprehensive maintenance, which makes it difficult to accurately and reliably implement safety measures, a remote control and implementation device for secondary safety measures in the relay protection room is proposed to facilitate on-site operation and maintenance personnel to quickly complete the layout of relay protection room cabinets and improve the accuracy and efficiency of cabinet layout. The device consists of an upper computer control unit, a field signal receiving device, and an intelligent safety measure layout device. Firstly, based on remote communication and mobile internet cloud technology, an upper computer control unit was designed, and a main control computer configuration and mobile mini program platform were built to achieve the transmission of secondary cabinet safety instructions; Secondly, the information receiving device is used to receive remote safety measures implementation commands, while monitoring the safety measures status of the on-site cabinets and sending it to the remote main control machine in real time; Finally, the on-site intelligent safety measures device is used to automate the layout of the red cloth curtains and the "work here" signs on the cabinets, and to transmit cabinet information through a 5G serial port.

Keywords: relay protection room; secondary screen; safety measures; automated layout; 5G

引言

随着坚强智能电网概念的提出,我国电力行业进入快速发展阶段,基础电力工程建设项目逐年递增,特高压输电线路、超高电压变电站等新建工程顺利投入运行。变电站数目增多对设备运维和检修人员的工作质量与效率提出了更高要求。当前变电站“无人值守”模式^[1]正在推广应用,通过使用巡检机器人^[2]在站内对运行设备进行日常巡视,节约人力成本,降低工作人员人身安全风险,提高设备运维效率。当站内设备出现故障隐患缺陷时,需检修人员到现场进行缺陷消除及故障排雷工作。根据国家电网公司企业标准《电力安全工作规程变电部分》^[3],检修人员开展检修工作前的安全措施需由运维人员进行布置。其中继保室的安全措施要求是在所工作的范围的屏柜前后方放置“在此工作”标识牌,以及在相邻屏柜的前后悬挂红布幔来有效区分检修与运行屏柜,防止检修人员误入其他运行间隔设备,保障检修人员人身和设备安全。

继保室屏柜规格为 2260×800×600 (mm)^[4],现有的站内巡线机器人高度为 1m 难以实现红布悬挂自动化,仍然需要人为进行红布幔的放置。当变电站进行综合性检修时,工作所涉及的继保室屏柜数目众多,需要运维人员投入大量精力进行屏柜名称编号的逐一核对以确保工作的安全开展。而当检修人员开展变电站继保室二次设备计划性不停电消缺时,需派遣运维人员前往完成仅单个屏柜或少量的屏柜的简单安全措施实施,造成运维人力成本过高。本文提出一种继保室二次屏柜安措实施远方调控装置,旨在实现运维人员在主站远程布控继电保护屏柜安全措施,节省人力资源,同时该装置涵盖全部屏柜名称及编号,可以精准高效锁定保护屏柜,有效降低安措布置屏柜的失误率。

1 继保室二次屏柜安全措施

由于部分老旧变电站投运年限久远,站内安全劳动器具较为简陋,继保室二次柜的红布幔悬挂需变电运维人员打开检修设备屏的相邻屏柜门将其夹住固定,而二次屏柜

上方存在电压空开等设备,悬挂红布幔时存在误碰空开,导致装置失去交流电压保护拒动风险。为避免此类事故,检修人员安装了“拉升式红布幔”,这种新式红布幔通过人为手动拉升来实施安措,较传统红布更为方便,但仍会存在因工作人员走错设备间隔的风险。此外“在此工作”标识牌放置在地面,在变电站综合性检修期间,由于工作二次屏众多,继保室的工作人员数量多,人流量大,极易造成现场人员误踢到“在此工作”标识牌,如果恢复不及时,易造成检修人员直接误入运行设备间隔的重大隐患。

为了有效解决上述问题,本文提出一种继保室二次屏柜安措实施远方调控装置,实现运维人员在集控站远程实施继保室安全措施的布置,如图1所示,包含上位机控制单元、现场信号接收装置和智能安措布置装置三大模块。

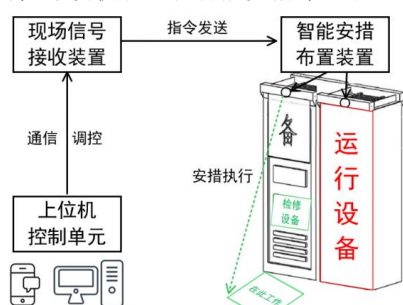


图1 远方调控二次安措原理图

2 智能安措布置装置

所提出的智能安措布置装置在接收到远方调控令后可以自动完成二次柜红布幔升降及“在此工作”标识投影。红布幔的升降通过步进电机驱动,“拉升式红布幔”结构由收卷箱、导向板和连接板等组成,如图2所示。收卷箱的底端两侧设置有导向板,两个导向板之间为红布幔,红布幔的一端位于收卷箱内固定,红布幔的另一端连接有连接板,连接板的底端中部设置有配重块,连接板的两端均固定连接有滑板,滑板位于导向板上开设的滑槽内。导向板对连接板起到导向作用,使得连接板带动红布幔竖直上下移动,不会发生偏移;配重块使连接板带动红布幔向下移动,同时避免红布幔在移动的过程中出现褶皱。



图2 拉升式红布幔结构

2.1 智能安措布置装置工作原理

智能安措布置装置的原理为,将励磁线圈置于收卷箱内部,当二次屏柜处于正常状态下或检修情况时,励磁线圈得

电吸引配重块使得红布幔无法下滑,此时步进电机不工作。在收到“屏柜运行”指令后励磁线圈失电,步进电机与配重块配合动作,使得红布幔缓慢下降并至定位点后停止工作,此时红布幔悬挂拉直。在收到下一次命令后,步进电机反转,拖动红布幔卷帘缓慢上升,并由配重块保持红布幔无褶皱与卡顿,直至励磁线圈吸住配重块后停止转动恢复常态。步进电机经串口控制,具有操作简便、抗干扰强、性能稳定、经济性好等优点,可设置脉冲、角度、圈数三种控制方式,实现电机启停、中止、正反转等操作。“在此工作”标识投影由串口继电器控制激光投影灯开启与关闭,激光投影灯装置设在收卷箱的中部。当串口继电器收到“在此工作”指令后,控制激光投影灯向地板投影“在此工作”绿框作业范围。

2.2 智能安措布置装置硬件组成

本文所使用的串口步进电机和串口继电器均采用标准 Modbus-RTU 协议,电路原理图如图3所示。

智能安措布置装置由电源模块、步进电机驱动模块以及继电器驱动模块构成。电源模块 K7803 提供稳压电源 3.3V 给控制系统和步进电机驱动芯片。步进电机驱动芯片为 MS35774,是高精度低噪声的两相步进电机驱动芯片。芯片集成了过温保护、欠压保护、过流保护、短地保护、短电源保护等功能,并通过单片机引脚来控制步进电机动作。继电器驱动模块采用 NPN 三极管来控制继电器的开合。

3 现场信号接收装置

3.1 现场信号接收装置工作原理

所提出的现场信号接收装置负责收集远方指令与继保室内各智能安措装置的通讯,对上级控制单元通讯采用远动光缆传输与移动加密 5G 传输 2 种方式,对站内设备采取 5G 频段与站内各信号采样装置通讯,通常安装在继保室入口。信号采样装置对独立二次屏柜的红布幔、在此工作射灯的串口位置信号进行采集,使用 5GDTU 设备,将 5G 数据转为 RS485 通信发送接收的数据方式,直接连接串口步进电机和串口继电器进行控制。

3.2 现场信号接收装置硬件组成

现场信号接收装置内置设计有 RS485 分线器,通过主机隔离的方式可解决 Modbus-RTU 协议规定中只允许存在一个主机的限制,因此本文设计的装置可实现远程主控电脑和移动手机端并行操作控制,其电路原理图如图4所示。现场信号接收装置由电源模块、隔离 RS485 模块和单片机控制模块组成。

现场信号接收装置由电源模块、隔离 RS485 模块和单片机控制模块构成。电源模块 K7803 提供稳压电源 3.3V 给控制系统。主机 1、主机 2 和从机的 485 通信模块均采用 TDA51S485HC 隔离型半双工增强型收发器,其具有高电磁抗扰度和低辐射特性,总线负载能力可达 256 个节点单元,总线传输速率可达 500kbps,能够满足多节点设计需求。TDA51S485HC 器件具有高绝缘能力,有利于防止数据总线或其他电路上的噪声和浪涌进入本地接地端,从而干扰或损坏敏感电路。单片机控制模块主控芯片为 STM32G070RBT6,

采用 Cortex-M0+内核，主频高达 64MHz，具有低功耗和高 效能，可实现通信的时序控制，避免多主机冲突。

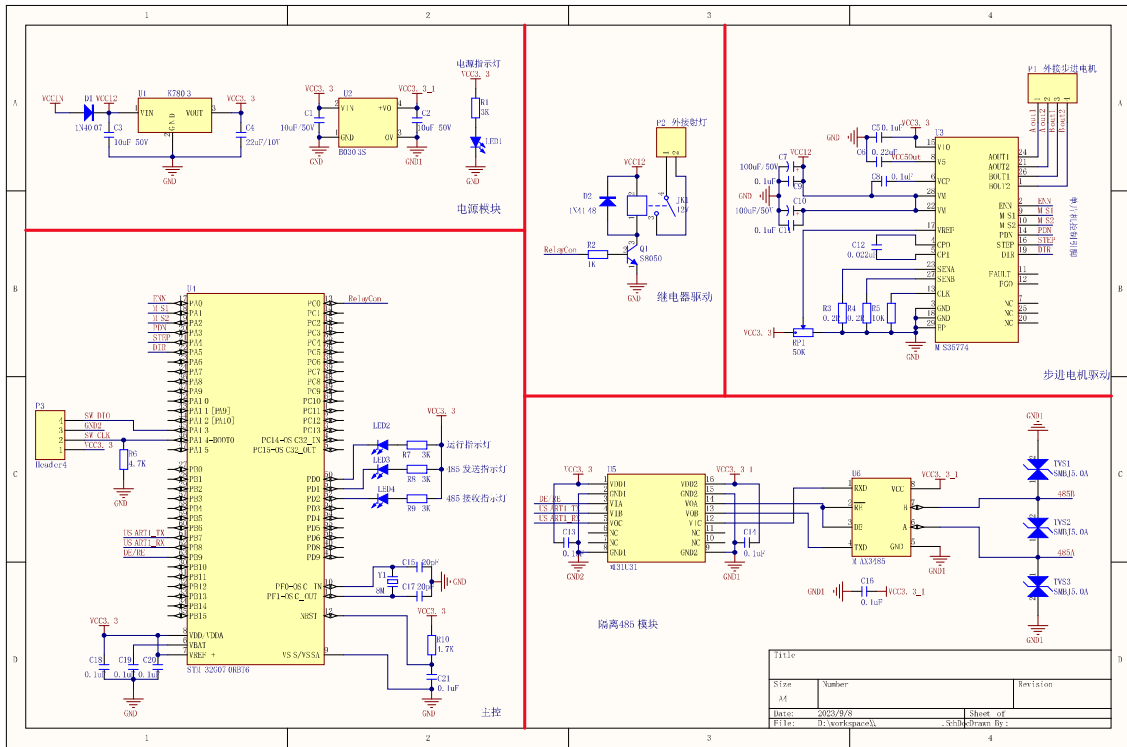


图 3 串口步进电机与串口继电器电路原理图

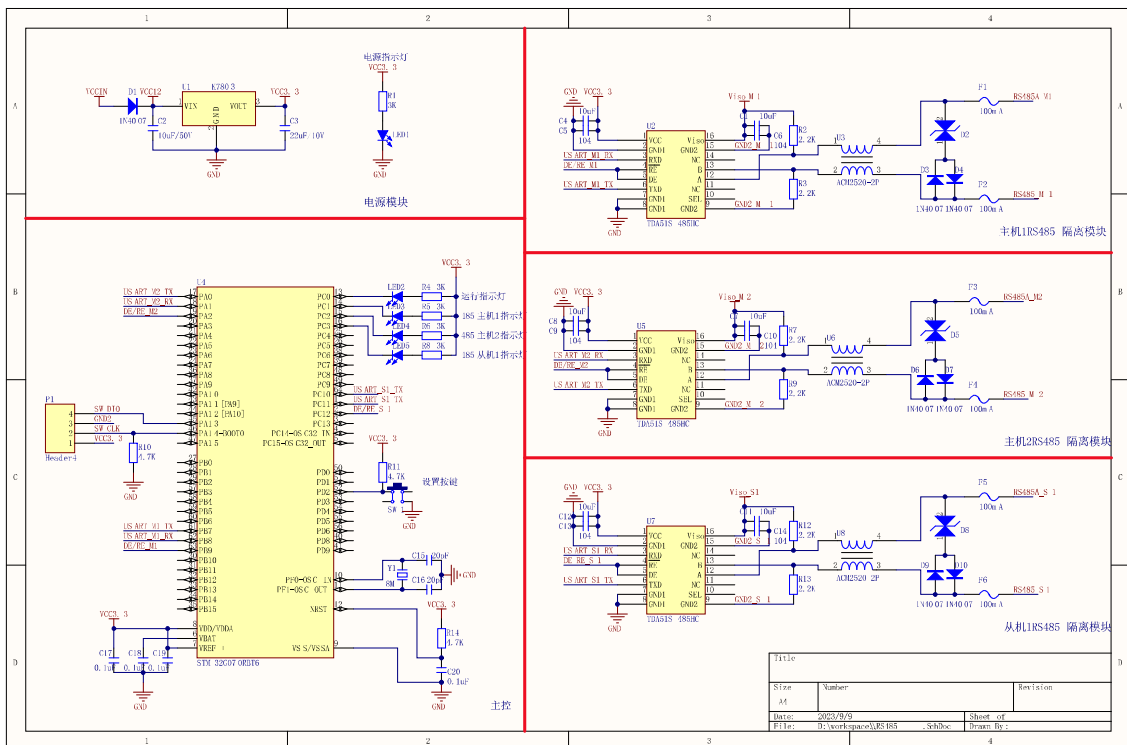


图 4 RS485 分线器电路原理图



图5 远方调控二次安措软件界面图

4 上位机控制单元

上位机控制单元可实现变电站运维人员在远程状态下发送二次安全措施布置指令,并经远动通信将控制命令下发到现场信号接收装置。同时上位机控制单元内涵盖全区域各变电站继保室二次屏柜位置及编号,实现操作指令的精准可靠下达。目前国内变电站内通讯采用 IEC61850 规约,以光缆为媒介实现远距离信息传输,运维操作人员可利用内网办公机搭建的控制单元组态软件进行控制,软件界面如图 5 所示。同时上位机控制单元实时接收站内屏柜设备的上传信号(红布幔位置、显影开、显影关等),以供运维人员实时监控管理。



图6 远程继保室二次安措布置小程序界面

考虑到站内远动通信网络可能由于检修人员进行远动机维护的原因出现偶发性通信中断,导致主控机无法远程实调控实施继保室二次安措工作,同时为方便变电运维人员能够实时随地监测站内屏柜信息,本文搭建了基于 5G 移动网络的二次安措布置控制平台,通过云扩展的小程序接口,实现数据移动加密传输功能。变电运维人员可通过手机移动小程序向站内信号接收装置发送指令,小程序控制界面如图 6 所示。

5 结语

本文基于远动通信和移动互联云端技术,提出一种继保室二次安措远方调控实施布置装置,变电站运维工作人员利用该装置可在远程通过主控电脑或手机移动端向站内的信息接收装置发送二次安措布置工作指令,该装置适用于远方光缆通讯和 5G 移动网络,并由工作现场二次屏柜上的智能安措布置装置实现红布幔的升降和“在此工作”标识的投射,实现了继保室二次安措的自动化执行,解决了继保室现场由于工作混乱造成的安全措施被改变的问题,有效降低了运维人力成本和安措布置工作的失误率。

基金项目:浙江省电力有限公司科技科技项目(基于 5G 技术的辅控平台远程布置安措关键技术研究及现场应用 5211TZ23000W)。

[参考文献]

- [1]胡信超,赵玉才.无人值守变电站智慧运维建设方案研究[J].设备管理与维修,2023(5):141-143.
- [2]孙晓迪.智能巡检机器人在变电运行中的应用[D].山东:山东大学,2019.
- [3]Q/GDW 1799.1 电力安全工作规程变电部分[S].
- [4] DL/T 720-2013 电力系统继电保护及安全自动装置柜(屏)通用技术条件[S].

作者简介:夏家辉(1996—),男,硕士研究生,工程师,所从事的工作方向:电力系统继电保护。

锅炉燃烧配风自动控制对热效率的提升作用

张嘉文

江西赣能股份有限公司丰城发电厂, 江西 宜春 331100

[摘要]本研究针对锅炉燃烧配风环节,通过构建参数实时采集与监测体系,建立基于氧含量-烟气温度双变量的动态配风控制模型,并设计实施智能自动控制系统,该系统可依据锅炉负荷变化,实现送风量与配风比例的自适应调节,通过闭环反馈机制动态修正燃烧工况,实际运行数据表明,系统能够有效降低过剩空气系数,显著提升燃烧效率与热效率,实现燃料消耗与污染物排放的双重削减,为工业锅炉节能增效与绿色运行提供技术支持。

[关键词]锅炉燃烧;配风自动控制;热效率提升;智能调节;氧含量反馈

DOI: 10.33142/hst.v8i6.16902

中图分类号: TK223

文献标识码: A

The Effect of Automatic Control of Boiler Combustion Air Distribution on Improving Thermal Efficiency

ZHANG Jiawen

Fengcheng Power Plant of Jiangxi Ganneng Co., Ltd., Yichun, Jiangxi, 331100, China

Abstract: This study focuses on the combustion air distribution process of boilers. By constructing a real-time parameter collection and monitoring system, a dynamic air distribution control model based on oxygen content flue gas temperature dual variables is established, and an intelligent automatic control system is designed and implemented. The system can adaptively adjust the air supply and distribution ratio according to changes in boiler load, and dynamically correct the combustion conditions through a closed-loop feedback mechanism. Actual operating data shows that the system can effectively reduce excess air coefficient, significantly improve combustion efficiency and thermal efficiency, achieve dual reduction of fuel consumption and pollutant emissions, and provide technical support for energy-saving, efficiency improvement and green operation of industrial boilers.

Keywords: boiler combustion; automatic air distribution control; improved thermal efficiency; intelligent regulation; oxygen content feedback

引言

在能源成本攀升与环保政策趋严的双重背景下,提升工业锅炉热效率成为实现节能减排的关键路径,燃烧配风作为影响锅炉运行性能的核心要素,其比例精准度直接关联燃料燃尽率与污染物生成量,传统人工配风模式受经验主观性、响应延迟性制约,难以适应负荷动态变化需求,引入智能化自动控制系统,通过实时监测与动态调节优化配风过程,不仅可提升燃烧稳定性与经济性,更能满足环保排放要求,对推动工业锅炉高效、清洁运行具有重要现实意义与应用前景。

1 锅炉燃烧配风机制与传统控制存在的问题

1.1 锅炉燃烧过程及空气供给的基本原理

锅炉燃烧本质上是燃料化学能经高温氧化反应转化为热能的过程,其核心在于燃料与空气的高效混合与充分反应,作为燃烧反应的必要条件,氧气供给直接决定燃烧过程的完整性与效率,因此空气供给系统成为锅炉稳定运行的核心组件,在实际运行中,空气由鼓风机输送至炉膛,与燃料充分混合后引发燃烧反应,产生的高温烟气通过热交换器加热锅炉水或实现热能传递。

在燃烧控制体系中,空气供给通常划分为一次风与二次风协同作业,一次风承担输送燃料并启动初始燃烧的功

能,其风速与风量直接影响燃料的分散程度和着火稳定性;二次风则在燃烧中后期介入,通过补充氧气促进燃料的完全燃烧,提升燃尽率,由于锅炉负荷波动、燃料特性差异及燃烧工况变化,配风系统需具备动态调节能力。

1.2 理论空气量、过剩空气系数与热效率的关系

理论空气量是燃料完全燃烧所需的最小空气量,该参数基于燃料的化学组成和化学反应式计算得出,在理想条件下,当实际供风量与理论空气量相等时,燃料可实现完全燃烧,但受混合效率、反应时间等实际因素制约,此理想状态难以达成。过剩空气系数与锅炉热效率呈非线性关联,其数值选择对燃烧经济性具有决定性影响,当过剩空气系数过低时,氧气供给不足导致燃料无法充分燃烧,产生一氧化碳、碳氢化合物等污染物,并伴随黑烟排放;反之,系数过高则使过量空气吸收大量热量,造成排烟热损失显著增加,进而降低锅炉整体热效率。

1.3 传统人工配风方法的问题分析

(1) 响应滞后性。人工配风依赖操作人员观察锅炉运行参数后,手动调节风门位置以及风机风量,调整频率受人工监控时间间隔的局限,难以迅速应对负荷的变动,此滞后状况往往造成燃烧状态有较大幅度的波动,有碍锅炉实现稳定运行。

(2) 依赖操作经验。传统配风方法极大地依靠操作人员的现场经验及判断力,不同班组、人员间调节策略的差异十分显著,往往会造成运行参数波动和效率高低不一,处于人员经验匮乏或操作出错时,甚至会出现燃烧不完整、炉膛温度过高这类不良结果。

(3) 难以实现实时优化。人工控制受信息获取的滞后、控制手段粗糙的影响而受限,难以达成按秒级变化精准调节风量的目标,更无法借助氧量、烟气温度等多维数据对燃烧状态做动态优化,这引发锅炉运行长期处于次优,甚至低效的局面。

1.4 传统配风对热效率的负面影响案例简析

在某燃煤工业锅炉的运行实例里,因长期采用人工配风这种模式,过剩空气系数维持在 1.8 以上,远超 1.2~1.4 的最佳控制界限,过多空气不仅让燃烧温度下降,还造成大量未被利用的热能随烟气排放出去,经测算可知,热效率损失达 5% 以上,部分企业在高负荷状态下人工调风出现滞后现象,引起燃烧欠佳、黑烟排放且煤耗提高的情况,这些案例充分彰显了,传统配风方式在动态响应能力及调节精度上存在明显欠缺,难以契合现代高效且环保锅炉的运行规范。

2 自动配风控制系统的技术原理与构成

2.1 系统结构构成

自动配风控制系统主要是由风门执行机构、氧量在线分析仪、温度/压力传感器及控制器与算法模块等关键组件搭建而成,各组件彼此协作配合,完成燃烧配风的智能式调控。

调节送风量及配风比例的核心装置为风门执行机构,多采用电动或者气动的执行器,其响应迅速,定位精准度高,可按照控制信号自动把风门开度进行调整,实现空气供应与燃料燃烧实时匹配,实时监测锅炉烟气中含氧量由氧量在线分析仪完成,为评定燃烧状态给出关键依据,是反馈控制过程中的关键传感装置。

于锅炉主要管道及烟道位置布置温度与压力传感器,可连续采集燃烧温度、炉膛压力以及排烟温度等运行参数,为控制系统提供燃烧效率及安全性的评判根据,控制器跟算法模块作为系统的脑力核心。

2.2 控制策略与调节方式

自动配风控制系统控制策略的构建,一般以 PID 控制为基础,采用比例 (P)、积分 (I) 和微分 (D) 三个环节对氧含量误差开展反馈式调节,由此完成对风门开度或者风机转速的精细把控,PID 控制有着结构简单、响应迅速、调节精度佳等长处,符合工业锅炉实时控制方面需求。

为提高系统对复杂燃烧环境的适应水平,某些先进的控制系统额外引入了模糊控制或神经网络控制技术,模糊控制依靠规则推理展开,能于系统模型不精准、存在不确定性之际,仍旧展现出较强的调节本领。

系统多数采用实时动态调节及预测反馈机制,借助对燃烧负荷、氧量变化、烟气温度等多变量的实时分析,预测负荷变化态势,预先对风量设定做修正,防止出现滞后

状况,促进燃烧稳定性进而提高热效率。

2.3 与锅炉主控系统的集成模式

自动配风控制系统往往与锅炉主控系统 (像 DCS 或 PLC) 实现深度集成,搭建起统一的运行管控平台,采用标准通信协议,配风系统能把采集到的实时数据传递给主控系统,完成对锅炉整体运作状态的集中监控与统筹调控。

在实际应用的场景下,自动配风模块可当作主控系统的子模块运行,还可独立部署,然后跟主控系统达成互联互通联动效果,系统可依照主控系统输出的负荷指令自动调控送风量,跟燃料供给实现动态的契合,且在锅炉出现异常状态的情况下协同响应,提高锅炉运行的安全性和可靠水平。

该集成模式既提升了系统协同运作能力,也提高了控制精度,也方便操作人员经由统一界面对锅炉运行实施监视和干预,很大程度简化了操作流程及管理难度。

3 自动配风系统对锅炉热效率提升的实际作用分析

3.1 实验或工程案例介绍

某大型化工企业的燃煤锅炉改造项目实施期间,采用自动配风控制体系,对一台额定蒸发量达 20t/h 的链条炉实施升级改造,系统借助氧量闭环控制的手段,马上调整风门的开度大小,维持排烟含氧量于合理界限内,为核实系统起到的效果,进行了连续一个月的跟踪记录 and 对比分析,对象是改造前后的锅炉运行参数。

系统实施工作开展前,依靠人工对风门进行调节以运行锅炉,氧含量出现大幅波动,燃烧状态稳定性欠佳,平均起来热效率为 78.2%;系统正式启用后,氧含量维持在 3.8%~4.5% 这个范围,燃烧实现更充分效果,锅炉热效率涨至 83.7%,单位蒸吨的耗煤从原本的 142kg 降至 131kg,节能收效明显。

经排烟分析数据显示出,自动控制系统极大地降低了烟气中一氧化碳 (CO) 及氮氧化物 (NO_x) 的排放浓度,原本 245ppm 的 CO 减少到了 91ppm,原先 485ppm 的 NO_x 降至 360ppm,显示出配风优化有效增进了燃烧完全度与环境排放成效。如表 1 所示。

表 1 指标对比

指标对比	改造前	改造后	变化幅度
锅炉热效率 (%)	78.2	83.7	↑ 5.5
单位蒸吨耗煤 (kg)	142	131	↓ 11
CO 排放浓度 (ppm)	245	91	↓ 62.9%
NO _x 排放浓度 (ppm)	485	360	↓ 25.8%

3.2 效果评估指标

热效率提升幅度是衡量自动配风系统效能的核心参数,以实际工程案例数据为据,系统投运后锅炉热效率从 78.2% 提升至 83.7%,实现 5.5% 的增长,直观体现燃料化学能向热能的转化效率优化,同时有效降低了排烟热损失与不完全燃烧损失,经能耗核算,该系统每年可减少煤炭消耗约 480t,

对应碳排放量削减超 1200t，显著提升能源利用效率。

能耗降低指标在动态工况下优势显著，面对负荷波动，自动配风系统凭借实时调节能力，精准匹配风量与燃料量，确保锅炉稳定运行于高效燃烧区间，实测数据显示，在高负荷工况下，系统单位热能产出成本同比下降 8%，有效规避了传统人工调节模式下因风量失衡导致的能源浪费问题。

环境指标改善程度是系统环保价值的重要体现，通过精确控制氧含量，系统将一氧化碳（CO）排放浓度从 245ppm 降至 91ppm，降幅达 62.9%；氮氧化物（NO_x）排放浓度从 485ppm 降至 360ppm，下降 25.8%。

3.3 经济与环境效益分析

自动配风系统创造的经济效益呈现多元化特征，以年运行时长 8000h 计算，系统每小时节煤量达 11kg，年度累计节约燃煤 88t，按 800 元/t 的煤炭价格估算，仅燃料成本一项每年可节省约 7 万元，若叠加政府节能减排补贴、碳排放权交易收益等附加经济价值，系统的综合投资回报率将进一步提升。在环境效益层面，系统展现出显著的减排成效。经测算，每年可减少二氧化碳（CO₂）排放约 220 吨，同时大幅削减二氧化硫（SO₂）、氮氧化物（NO_x）等大气污染物排放。如表 2 所示。

表 2 经济与环境效益分析

项目	数值估算
年节煤量（吨）	≈88
年节约燃料成本（元）	≈70,000
年减排 CO ₂ （吨）	≈220
CO、NO _x 减排比例	CO ↓ 62.9%，NO _x ↓ 25.8%

经过综合分析可察，自动配风控制系统对锅炉运行状态的优化体现在技术层面，还明显增强了经济性与环保水平，属于实现工业锅炉节能提效的有效手段。

4 推广应用中的挑战与发展趋势展望

4.1 当前应用中存在的问题

自动配风控制系统的控制精度高度依赖传感设备的可靠性，氧量分析仪、温度压力传感器易受高温、腐蚀、粉尘等恶劣环境影响，出现信号漂移、数据失真或硬件故障，一旦传感器性能下降，系统接收的烟气氧含量、炉膛温度等关键参数将偏离实际值，导致控制算法误判，引发风量调节失准，甚至造成燃烧工况恶化。

系统维护的复杂性成为制约其广泛应用的技术瓶颈。自动配风系统集成 PID、模糊控制等多种算法，涉及传感器、执行机构、通信网络等多类硬件设备。在高温、高湿、强电磁干扰的锅炉房环境中，设备故障率显著增加，而故障排查需兼具自动化控制、电气维护、通信协议等多领域知识成本与收益的矛盾阻碍了技术普及。自动配风系统的初期投资涵盖传感器阵列、控制器、执行机构等硬件采购，以及安装调试、系统编程、人员培训等费用，对于中小企业而言资

金压力较大，尽管长期节能效益可观，但多数企业更关注短期现金流，加之初期系统调试需消耗大量人力物力，导致投资回报周期延长，降低了企业采用新技术的积极性。

4.2 未来发展方向

智能化升级将成为自动配风系统的核心趋势，借助大数据分析平台，系统可整合锅炉历史运行数据、实时负荷曲线、天气预报等多维信息，运用深度学习、强化学习等人工智能算法，构建动态燃烧模型，实现基于预测的自适应配风控制。例如。模块化与标准化设计是推动产业规模化的关键路径，将传感单元、控制模块、执行机构进行标准化封装，可大幅简化系统安装流程，降低工程实施难度，统一通信协议和数据接口规范，能够实现与不同品牌锅炉主控系统、DCS 平台的无缝对接。

与碳排放监管体系的融合是顺应“双碳”战略的必然选择，自动配风系统实时采集的氧含量、排烟温度、燃料消耗量等数据，可直接用于计算碳排放强度与总量。

4.3 推广建议

政策驱动与财政激励是加速技术推广的核心动力，政府可设立专项节能改造基金，对采用自动配风系统的企业给予设备补贴；通过税收减免、绿色信贷优惠降低企业投资成本。针对中小企业技术与资金短板，可开发轻量化自动配风系统，简化控制架构与操作流程，降低部署成本，推广“设备租赁+远程运维”服务模式，由专业机构提供设备安装、调试、维护一站式解决方案。

5 结语

自动配风控制系统在提升锅炉能效、降低污染物排放方面已展现显著成效，契合“双碳”战略目标与工业绿色发展需求，尽管当前面临传感器可靠性、维护成本、初期投资等挑战，但随着智能化、模块化技术的突破，以及政策支持与服务模式创新，该技术将逐步克服应用障碍，在工业锅炉领域实现更广泛的应用，为能源节约与环境保护提供有力支撑。

[参考文献]

- [1]程相澳.生物质锅炉燃烧特性分析及配风自动控制系统研究[D].河南:河南农业大学,2024.
 - [2]张源博.电站锅炉燃烧器配风控制逻辑策略研究[D].吉林:吉林大学,2020.
 - [3]周铮.生物质锅炉自动控制系统的设计与研究[D].武汉:武汉理工大学,2020.
 - [4]冯惠.发电厂锅炉燃烧控制系统的调整策略分析[J].集成电路应用,2023,40(6):346-347.
 - [5]王晓炜,张志耀,许晓峰,等.生物质循环流化床锅炉燃烧波动分析与对策[J].工业锅炉,2023(4):21-23.
- 作者简介：张嘉文，男，19960425，沈阳化工大学，能源与动力工程。

轨道式渠道自动测流系统在三屯河灌区的应用

翟新峰 徐刚 闫世荣 叶尔努尔·吐尔逊

昌吉市水利管理站, 新疆 昌吉 831100

[摘要]针对三屯河灌区传统水文测验方法效率偏低、精度不足的突出问题,本研究设计并应用了基于动态断面分割与分层流速算法的轨道式渠道自动测流系统。该系统由上位机、测流小车及内部的悬浆流速仪、运行轨道,测流房组成,通过测流车沿预设轨道预设定位,实现全断面流量的精准测算。2020—2024年实地应用表明:在运行过程中,通过深度对接三屯河智慧灌区E平台,构建了与农业水价改革、应急管理系统、运行管理标准化等多维度数据通道,形成“监测-分析-决策-执行”全链条管理机制。实践证明,该系统的实施,为西北干旱区灌区数字化转型提供了有效的实践参考和可复制的技术解决方案。

[关键词]三屯河灌区;轨道式自动测流系统;应用

DOI: 10.33142/hst.v8i6.16927

中图分类号: TV6

文献标识码: A

Application of Automatic Flow Measurement System for Rail Channel in Santun River Irrigation Area

ZHAI Xinfeng, XU Gang, YAN Shirong, YEERNUER Tuerxun

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

Abstract: In response to the prominent problems of low efficiency and insufficient accuracy of traditional hydrological measurement methods in the Santun River Irrigation Area, this study designed and applied a track type channel automatic flow measurement system based on dynamic section segmentation and layered flow velocity algorithm. The system consists of an upper computer, a flow measurement car, an internal suspended propeller flowmeter, a running track, and a flow measurement room. Through the preset positioning of the flow measurement car along the preset track, accurate measurement of the full section flow rate is achieved. Field applications from 2020 to 2024 have shown that during operation, a multi-dimensional data channel has been established through deep integration with the E platform of the Santun River Smart Irrigation Area, including agricultural water price reform, emergency management system, and standardized operation management, forming a "monitoring - analysis - making decision - execution" full chain management mechanism. Practice has proven that the implementation of this system provides effective practical references and replicable technical solutions for the digital transformation of irrigation areas in the arid northwest region.

Keywords: Santun river irrigation district; track based automatic flow measurement system; application

引言

在农业灌溉和水利工程运行管理中,精准的水文数据是科学决策的基础。新疆昌吉市三屯河灌区作为国家大型灌区,水资源的合理分配与管理直接关系到农业生产的稳定与区域经济的可持续发展。近年来,随着智慧水利建设的推进,轨道式自动测流车作为一种先进的水文量测设备,在三屯河灌区西干渠首站得到了成功应用,不仅提升了水文量测的精度和效率,也为灌区的智慧化、数字化管理提供了有力支持。

1 背景介绍

三屯河灌区地处新疆天山北麓中段,准噶尔盆地南缘,东与头屯河灌区接壤,西与呼图壁河灌区相邻,控制灌溉面积为110万亩,为新疆大型灌区。三屯河承担着昌吉市防汛抗旱、城市供水和农业灌溉等任务,是保障昌吉乃至新疆粮食安全的重要基地。西干渠首站作为灌区的重要节点,控制灌溉面积54万亩,其水量量测数据的准确性直接影响到灌区的调度与管理。然而,使用传统的流速仪量

水,结果较为精确,但测流和计算流量比较费时、繁琐^[1],且易受人为因素影响。基于此,三屯河灌区对测水量水设施开展进一步改进,优化配置供水,引进轨道式渠道断面自动测流系统。

2 轨道式渠道断面自动测量系统

轨道式渠道断面自动测流系统是一种综合性的测量控制系统。该系统以计算机网络技术和自动化技术为核心,通过系统集成的方法,实现了水深、水位、分层流速等多个参数的自动测量与断面流量的自动计算的测流系统。同时,该系统具备自主充电、自动启闭测流房卷帘门等功能,实现真正意义上的无人值守和全自动测量^[1],是一种简单快捷,操作简便的自动测流系统。

2.1 系统构架及功能

三屯河灌区轨道式渠道断面自动测流系统由上位机、测流车、测流房、测流轨道等四个部分组成。测流房建在测流渠道左岸,在测流渠道断面上修建一座钢构测桥,在测桥下游侧铺设两条三角形平行轨道,轨道的一端铺设到

测流房内,测流车置于测流房内的轨道上。上位机控制软件可远程控制并监控整个测流过程,同时具备动态仿真功能,可动画仿真整个测流过程。测流车采用模块化设计,具有现场操作和远程操作功能。

轨道式渠道自动测流系统具有自动采集水位、分层流速,自动测量水深、泥位的功能^[2],同时还具有根据采集的数据自动计算断面面积计和断面流量,并能自动生成数据报表的功能,同时经后期整合,实现三屯河灌区轨道式渠道断面自动测流系统与三屯河智慧灌区 E 平台的集成与共享。系统自动程度高,可预设测流时间,操作简单明了,在整个测流过程中,可实现无人值守。

2.2 系统应用范围

三屯河灌区轨道式渠道断面自动测流系统采用 TKDZ-BP01 型测流车,该型号测流车适用范围为渠道宽度在 100m 以内,渠道深度在 10m 以内,设计流速为 $3\text{m}^3/\text{s}$ 以下的渠道断面。

2.3 垂线设置

以三屯河灌区西干渠首总干渠为例,总干渠为梯形渠道,设计流量 $34\text{m}^3/\text{s}$,加大流量 $40\text{m}^3/\text{s}$,根据渠道实际情况,在总干渠测流断面上设置了 4 条测量垂线,共有五个测量区间,系统根据测流小车测出的水位、设置的垂线条数,根据已设置的四个测点的点位,测流车依次行驶到各点位进行量测(图 1 所示)。后期,在系统运行过程中,可根据实际需要增减测量垂线数。

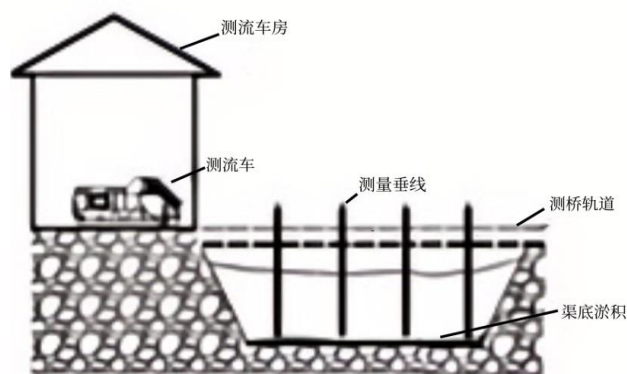


图 1 渠道断面自动测量系统示意图

3 轨道式渠道断面测流原理

轨道式渠道断面测流系统基于动态断面分割法与分层流速积分原理,通过自动化机电协同控制实现全断面流量精准测算。测流车搭载悬桨式流速仪,并可预设动态停机位置,在接收到中控室指令后,沿预设轨道执行自主测量。

4 系统操作

西干渠首轨道式渠道自动测流系统操作分现地操作和远程操作,现地操作和远程操作皆为自动运行模式。现地操作是管理人员在现场操控测流车操作面板上的“运行”按钮,测流车开启自动测流。远程操作是管理

人员通过上位机软件进行自动测量操作控制。远程操作深度集成三屯河智慧灌区 E 平台,管理人员通过工作站或移动终端访问控制界面。不论是远程操作还是现地操作,只要处于测量状态,其测流的整个过程都以动态的形式在测流主界面上显示。

5 应用效果

5.1 完整直观

西干渠首轨道式渠道自动测流系统能完整直观展现渠道断面测流车的运行状态、测流垂线的条数、流速、流量及渠道淤积情况,并自动计算出淤积深度及实时平均流速。实时平均泥位数据和实时平均流速数据,并以曲线图的形式在测流主界面上展现,为掌握渠道断面流量、淤积等情况提供了动态数据支撑。

5.2 操作简单

实施轨道式渠道自动测流系统远程控制操作时,在渠首站中控室的上位机软件上,一人操作便可完成,操作简单。同时,根据需要也可预定自动测流时间,全程无需人员干预,极大提高了工作效率。实施现地操作时,启动设备,点击开始按钮,即可完成流量测量工作。

5.3 提升精度

与传统的人工量测方式相比,轨道式渠道自动测流车能够自动采集水位、泥位等数据,实现对水体流量、流速等数据的精确测量,减少了人为误差,提高了量测数据的准确性和可靠性。

5.4 集成与共享

三屯河灌区轨道式渠道自动测流系统 2019 年开始运行,运行初期为独立的测流系统。2021 年,系统接入已运行的三屯河智慧灌区 E 平台,实现数据互通和资源共享。通过构建统一的水利信息化平台,为灌区的智慧化、数字化管理提供了有力支持。

5.5 数据分析

三屯河灌区西干渠首自动测流车运行以来的量测数据和人工测流结果对比(见表 1),其测流数据是在相同条件下采集所得。通过计算得相对误差 $\delta=0.582\%$,通过测流车自动测流和手动测流对比,测流数据偏离程度很小,系统误差在 1% 范围内,流量误差符合渠道流量测验规范的要求。

6 结语

轨道式渠道自动测流系统在三屯河灌区的成功实践,实现了灌区水文监测从离散人工观测向智能连续感知的技术跨越。通过动态垂线布设机制与多源传感器融合技术,系统有效克服了传统方法在边坡塌方、高含沙水流等复杂工况下的测量局限。运行数据表明,系统使单次测流时间由 45min 缩减至 8min,人力投入降低 85%。后续研究将探索与无人机巡渠系统的空天地协同监测模式,以期构建全域覆盖的智能水文监测网络。该系统的工程实践经验,

表 1 测流车流量量测数据对比

测量序号	渠道水深 (m)	测量流量 Q1 (m ³ /s)	测流车测流量 Q2 (m ³ /s)	流量差 Q2-Q1 (m ³ /s)	相对 Q1 误差 δ (%)
1	0.759	6.319	6.58	0.261	4.130
2	1.03	9.555	9.83	0.275	2.878
3	0.91	8.218	8.51	0.292	3.553
4	0.768	6.367	6.27	-0.097	-1.523
5	1.11	10.482	10.94	0.458	4.369
6	1.54	18.598	18.71	0.112	0.602
7	1.57	19.586	19.37	-0.216	-1.103
8	1.778	23.135	23.07	-0.065	-0.281
9	1.759	22.963	23.14	0.177	0.771
10	1.591	20.059	19.48	-0.579	-2.886
11	1.499	17.951	18.16	0.209	1.164
12	1.529	18.966	19.06	0.094	0.496
13	1.15	11.921	12.25	0.329	2.760
14	0.607	4.216	4.22	0.004	0.095
15	0.722	5.315	5.18	-0.135	-2.540
16	1.352	15.031	15.22	0.189	1.257
17	1.423	16.99	16.67	-0.32	-1.883
18	1.508	18.366	18.01	-0.356	-1.938
19	1.5	17.927	17.51	-0.417	-2.326
20	1.43	16.174	16.52	0.346	2.139
21	1.42	15.66	16.24	0.58	3.704
22	1.57	19.26	19.65	0.39	2.025
23	1.69	21.883	21.53	-0.353	-1.613
24	1.59	20.165	20.19	0.025	0.124
平均					0.582

为智慧水利建设提供了标准化技术路径,对提升干旱区水资源管理效能具有重要参考价值。

[参考文献]

[1]栗克国,孟祥杰,李志飞,等.一种轨道式渠道自动测流系统的研制与应用[J].人民黄河,2018(7):69-70.

[2]袁明霞,王爱苹.渠道断面自动测流系统在位山灌区测水量中的应用[J].黑龙江水利科技,2022(4):183-185.

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。

供水工程蓄水池施工质量智能监测系统的构建与应用

姜敬德

新疆交通建设集团股份有限公司, 新疆 乌鲁木齐 830000

[摘要]传统蓄水池施工质量监测手段存在效率不高以及实时性不够的状况,文章选取第十四师昆玉市供水工程蓄水池施工作为背景,给出了一种依靠物联网和大数据技术的施工质量智能监测系统,此系统借助集成多种传感器来实时获取基坑变形、混凝土温湿度、钢筋应力以及满水渗漏等关键参数,并且融合无线传输、边缘计算还有云端分析技术,达成对施工全程的动态监控以及智能预警,实际运用说明,该系统能把基坑位移误差控制在 $\pm 1\text{mm}$ 以内,混凝土裂缝出现率下降了42%,满水试验一次合格率提高到了98%,在复杂地质条件之下,对施工质量的管控效率有了明显提高,给同类工程带来了可复制的智能化解决办法。

[关键词]智能监测系统;施工质量;物联网技术;蓄水池工程

DOI: 10.33142/hst.v8i6.16899

中图分类号: TP277

文献标识码: A

Construction and Application of Intelligent Monitoring System for Construction Quality of Water Supply Engineering Reservoir

JIANG Jingde

Xinjiang Communications Construction Group Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

Abstract: The traditional reservoir construction quality monitoring methods are inefficient and not real-time enough. The article selects the reservoir construction of the 14th Division Kunyu Water Supply Project as the background, and gives an intelligent monitoring system for construction quality relying on the Internet of Things and big data technology. This system uses integrated multiple sensors to obtain key parameters such as foundation pit deformation, concrete temperature and humidity, reinforcement stress, and full water leakage in real time, and integrates wireless transmission, edge computing, and cloud analysis technology to achieve dynamic monitoring and intelligent pre alarm throughout the construction process. The actual application shows that the system can control the displacement error of foundation pit within $\pm 1\text{mm}$. The occurrence rate of concrete cracks has decreased by 42%, and the pass rate of full water test has increased to 98%. Under complex geological conditions, the efficiency of construction quality control has been significantly improved, bringing replicable intelligent solutions to similar projects.

Keywords: intelligent monitoring system; construction quality; Internet of Things technology; reservoir project

引言

蓄水池在供水工程当中属于核心的储水设施,其结构稳定性的高低以及防渗性能的好坏,都和供水系统的安全运行紧密相关。第十四师昆玉市的供水工程位于塔里木盆地的西缘位置,这里的地质条件相当复杂,在施工期间面临着诸如基坑出现坍塌情况、混凝土发生开裂状况以及渗漏风险比较高等诸多方面的挑战。

1 工程概况

1.1 工程特点与质量管控难点

第十四师昆玉市供水工程所涉及的蓄水池,其所在位置处于塔里木盆地的西缘区域,在这里,地质方面的条件呈现出较为复杂的状况,同时施工所处的环境也极为苛刻。就基础持力层而言,是由含砂低液限粉土以及粉土质砾共同构成的,这两者的承载力分别达到了110kPa以及260kPa,在基坑进行开挖作业的过程中,边坡出现滑移的风险是比较明显的。该工程所在的区域,地震动峰值加速度能够达到0.20g,这对应的地震烈度为Ⅷ度,如此一来,便对结构的抗震性能以及施工期间的稳定性提出了极高

的要求。当地的年蒸发量是非常高的,达到了2620mm,在混凝土养护的整个时期内,水分会快速地蒸发掉,这就很容易引发干缩裂缝的出现,从而使得质量控制的难度进一步加大。从施工工艺的角度来讲,基坑是按照1:1的坡比来分两层台阶进行开挖的,其中第二层的深度为3.5m,并且还预留了宽度为1.5m的马道,需要对边坡位移进行实时的监控,以此来防止出现坍塌的情况。对于混凝土工程来说,要求底板与侧墙要分两次来进行浇筑,施工缝处要设置止水带,并且入模的温度必须要控制在 30°C 以内,内外的温差也不能超过 20°C ^[1]。满水试验的时候,需要分三次来注水,每次的注水量是设计水深的1/3,注水的速率是有限制的,限制为2m/24h,并且还需要精准地定位到渗漏点。这些相当严苛的工艺标准,无疑对监测系统的实时性、精度以及覆盖范围都提出了更高的要求。

1.2 传统监测方法的局限性

传统监测手段依靠人工巡检以及实验室抽检,存在明显缺陷,如边坡位移监测每天仅仅开展一次,没办法捕捉到瞬时变化,混凝土强度检测需要3~7天才能够获取结

果,难以及时对施工调整予以指导,在满水试验当中,渗漏点凭借目测来判断,漏检率高达 30%,而且钢筋绑扎间距、模板垂直度等参数运用卷尺测量,精度不够 $\pm 5\text{mm}$,这些局限性致使质量管控出现滞后情况,难以应对复杂地质以及高标准施工需求。

2 智能监测系统设计

2.1 系统总体架构

智能监测系统运用的是“端-边-云”协同架构,其可划分为感知层、边缘层以及云端层。感知层方面,会部署高精度 GNSS 位移监测站、光纤光栅传感器还有温湿度传感器,这些部署会涉及到基坑边坡、钢筋骨架以及混凝土结构等极为关键的部分。边缘层这边,会配置华为 Atlas 500 智能网关,借助它来达成数据的本地预处理以及异常阈值的判断,如此一来便能够减轻云端的负载情况。而在云端层,是通过 4G/5G 网络把数据上传至时序数据库 InfluxDB 的,并且会凭借机器学习算法展开趋势分析以及风险预警方面的相关工作,最后再通过 BIM 可视化平台将实时监测的结果呈现出来。

2.2 传感器网络设计与选型

在对基坑稳定性展开监测的时候,所选用的是水平精度能够达到 $\pm 1\text{mm}$ 的 Leica GM30 GNSS 接收机。将这台接收机沿着基坑边坡的顶部、马道以及坡脚每隔 10m 布置一台。与此还结合了倾角传感器以及土压力盒,以此来综合对边坡的位移情况、倾角状况以及土压力的变化情况进行评估。对于混凝土质量的监测,则是采用了埋入式的无线温湿度传感器,按照 $1.5\text{m} \times 1.5\text{m}$ 的网格方式将其布设在底板、侧墙以及施工缝的位置上,从而能够实时地对温湿度梯度加以监测。并且,在此期间,还将光纤光栅传感器粘贴在主筋的表面,用以测量混凝土的收缩应变情况。到了满水试验阶段,会把振弦式渗压计布设在池壁的外侧,用于监测静水压力。超声波水位计会被安装在注水口与排水口处,进而实现对水位波动的高精度跟踪。

2.3 数据传输与边缘计算

为了应对野外环境通信覆盖所面临的难题,该系统选用 LoRa 无线传输协议,其通信距离能够达到 3 公里之远,而功耗仅仅只有 10mW。边缘计算网关当中内置了经过轻量化的 LSTM 模型,可实时对位移速率、温升梯度等一系列关键指标展开计算,同时借助小波变换来针对原始数据实施降噪以及压缩操作,使得有效负载得以减少 60%^[2]。就好比在基坑开挖这一阶段,边缘节点每隔 10min 便会上传一次经过预处理之后的位移数据,要是检测到速率超出限定范围,就会立刻触发本地报警功能,从而防止因为网络延迟的缘故致使响应出现滞后的情况。

2.4 云端分析与预警模型

云端数据库会把 BIM 模型 ID 和施工工序时间戳关联起来,以此来达成数据以及进度的动态匹配效果。就预警算法而言,基坑位移运用卡尔曼滤波来预测其趋势走向,要是速率超出 3mm/h 或者累计位移达到 50mm 的情况出现,就会触发红色警报;混凝土裂缝风险借助温度-应力耦合模

型来进行判定,一旦温差梯度超过 5°C/h ,便会启动预警机制;渗漏定位则要把渗压计数据和三维渗流有限元模型相结合,经过反演处理,确保坐标误差能够控制在 0.5m 以内。

3 系统应用与实施

3.1 基槽开挖阶段的应用

在基槽开挖这个阶段当中,智能监测系统借助高精度 GNSS 接收机来实时获取边坡位移方面的数据。设备是沿着基坑边坡的顶部、马道以及坡脚每隔 10m 布置一台,而且数据采集的频率被设定为每分钟采集一次,以此来保障能够对动态变化情况进行连续不断的监控。就好比说,某一段基坑由于粉土质砾层出现了局部松散的情况,系统监测到其位移速率在短短 2h 之内就从 1.5mm/h 猛然增加到了 3.8mm/h ,已然超过了预先所设定的 3mm/h 这一阈值,于是便立刻通过施工机械指挥员佩戴的智能手环来推送红色预警信息。与此系统会自动调取该区域的地质雷达扫描数据,从中可以看出土层的含水率处于偏高的状态,紧接着就指导把开挖坡比从原先的 1:1 调整成为 1:1.2,并且还增设了间距为 1.5m 的土钉支护措施。经过这样的调整之后,位移速率在 4h 之内又回落到了 1.2mm/h ,累计位移最终也稳定在了 42mm ,这个数值是低于设计所允许的 50mm 限值的。基坑四周布置了水位传感器来实时监测排水沟的深度情况。在某次连续降雨的时候,水位上升到了 52cm ,此时系统会自动开启备用泵站,在 30min 的时间里把水位降低到 48cm ,如此一来便避免了基底粉土层因为浸水而发生软化,进而引发承载力出现下降的情况。整个这个过程完全是依靠边缘计算网关来进行控制操作的,根本不需要人工去干预,这无疑大大提升了应急响应的工作效率。

3.2 混凝土浇筑阶段的应用

在混凝土浇筑期间,埋入式的无线温湿度传感器按照 $1.5\text{m} \times 1.5\text{m}$ 的网格分布于底板以及侧墙之上,其深度分别能够达到浇筑厚度的 $1/2$ 以及 $2/3$ 的位置,以此来实时监测核心温度梯度。在某一次浇筑的时候,由于外部气温升高到了 38°C ,入模温度也达到了 32°C ,于是系统启动了喷雾降温装置,借助环形布置的雾化喷嘴对模板表面不断地进行喷淋操作,在 20min 的时间里将入模温度降低到了 28°C 。与此热像仪扫描之后发现侧墙中部存在着一片呈现“冷缝”的区域,系统会自动对该位置进行标记,并且通知施工班组开展二次振捣工作,以此消除冷缝所带来的隐患。分层浇筑的高度是借助光纤光栅传感器和 BIM 模型相互联动来加以控制的。就好比说,侧墙在设计时所确定的浇筑高度是 3.5m ,而传感器能够实时地反馈出当前的实际高度是 3.48m ,其误差仅仅只有 2cm ,此时系统会发出提示,让施工人员继续浇筑直至达到 3.52m 之后再停止,从而切实有效地把误差控制在正负 1cm 的范围之内。振捣器当中内置有三轴加速度计,它负责采集振捣频谱方面的数据,一旦检测到某个特定区域的密实度达到了 $0.85\text{g}^2/\text{Hz}$ 这样的程度,那么系统就会自动地将该点位的振捣时间延长 10s,以此来促使最终的密实度能够顺利达标。

3.3 满水试验阶段的应用

在满水试验期间,振弦式渗压计按照每隔5米的间距布置在池壁的外侧,超声波水位计则安装在注水口以及池顶检查口处,相关数据每隔5min便会同步更新一次。在某次注水操作直至达到2m深度的时候,系统检测到池壁东南角的渗压值出现了从45kPa下降至43.2kPa的情况,据此判定该处存在潜在的渗漏点。随即,无人机便搭载着热红外相机针对这一区域展开网格化的扫描作业,经过扫描发现池壁表面存在着温度相差2.5℃的异常区域,经过人工再次核查之后确认到了一条长度约为20cm的微裂缝。维修班组采用了环氧树脂注浆的方式来对裂缝进行处理,仅仅花费了3h就完成了修复工作,相比于传统的依靠目测来进行排查的方式,足足节约了8h的时间^[3]。试验数据借助云端平台能够自动生成规范化的《满水试验记录表》,其中囊括初始水位、24h降幅、渗压变化曲线等相关参数,同时与监理电子签名模块实现关联。就好比在某一次试验当中,系统所记录的初始水位是3.02m,在经过24h之后水位降低到了3.00m,其降幅达到了2cm,随后会自动生成验收报告并且推送给监理方,整个过程都不需要纸质文件进行流转。

3.4 系统集成与协同管理

BIM可视化平台把传感器数据和施工进度紧密融合起来,还能够支持对三维模型进行剖切操作,以便查看内部监测点的实际状态。比如说,在侧墙完成浇筑之后,该平台会显示出某个区域的温度比周边区域高出4℃,并且能够自动关联到这个点位的施工日志,经过查看可以发现它属于最后进行浇筑的区域,其散热条件相对来说比较差,于是便立即通知养护班组去加铺双层土工布来起到保温的作用。移动终端APP整合了语音指令的功能,项目经理能够通过发出语音命令比如“查看基坑位移预警”来调取实时的相关数据,或者发出“调度泵站”的语音命令来实现远程对设备的启闭操作。所有的监测数据都会按照施工标段以及工序来进行分类存储,并且会和《混凝土结构工程施工质量验收规范》中的条目自动建立起关联关系,从而达成数字化质检档案的一键生成效果。

4 应用效果评估

4.1 质量提升效果

该系统投入使用之后,基坑所累计产生的位移其最大值仅仅只有47mm,这一数值远远低于设计时所设定的50mm限值,并且在整个过程中也并未出现边坡滑移方面的任何事故。就混凝土而言,其裂缝的发生率出现了较为显著的降低,从原本的7.2%降到了4.1%,而且其中因为温控方面出现问题而导致的裂缝所占的比例更是大幅下降,从65%减少到了18%。经过检测发现,混凝土28天后的抗压强度全部都达到了相关标准,不仅如此,其强度的离散系数还得到了进一步的优化,由原先的12%优化调整到了7%。满水试验的一次合格率也有了明显提升,达到了98%,其中仅有两处出现渗漏的情况,而这两处渗漏点是因为施工缝在处理上存在一些瑕疵所导致的,针对这些渗漏点进行修复所花费的时间也大幅度缩短了,从之前的平均12h缩短到了4h。就好比在某次试验当中,该系统在注水阶段便预警到池

壁接缝处出现了渗压异常的情况,进而能够提前介入并展开相应的处理工作,如此一来便避免了因注水完成之后返工而造成的长达72h的工期延误情况出现。

4.2 效率与成本优化

系统,使得质量巡检人员减少了70%,原本需要8名质检员每日巡查6h,如今只需要2个人来负责设备维护以及数据复核工作,累计节省了15.2万元的工时成本。借助实时预警功能,成功避免了3次返工事件的发生,其中包括一次底板钢筋间距偏差的修正情况,还有两次模板垂直度的调整事宜,由此节约了38万元的返工费用。混凝土浇筑量误差也从原先的±5%压缩到了±2%,减少了120立方米的浪费,相当于节省了24万元的成本。总工期更是从60d缩短到了55d,在此期间,基槽开挖阶段节约了3d时间,满水试验阶段则节约了2d时间。

4.3 安全风险管控

系统累计触发预警32次,包括5次红色预警、18次黄色预警和9次蓝色预警。红色预警事件中,最快响应时间为8min,通过暂停开挖、增设支护等措施实现零伤亡。AI算法提前3d预测底板中部温差梯度将升至5.2℃/h,系统自动启动喷雾养护与遮阳棚覆盖,将实际梯度控制在4.8℃/h,避免经济损失约80万元。

4.4 技术经济性分析

系统初期投入120万元,包括72万元传感器设备、28万元边缘计算网关及20万元软件平台。间接收益方面,减少返工节约58万元,工期压缩降低管理成本32万元,材料节约24万元,综合收益达214万元,投资回报率78.3%^[4]。此外,系统积累的12TB施工数据为后续工程提供优化模型训练样本,预计可使同类项目监测成本降低20%。

5 结束语

文章所设计的智能监测系统于第十四师昆玉市供水工程当中得以成功应用,其对蓄水池施工质量管控水平的提升效果颇为显著。展望未来,借助融合数字孪生技术的方式,能够达成施工全过程仿真预演的目的;通过引入5G专网,则可强化数据传输的实时性;开发自适应学习算法亦能进一步促使预警准确率得以提高。该系统的实践经验,给处于高烈度地震区的水利工程带来了可予以推广的智能化解决办法,具备十分重要的工程价值以及社会意义。

【参考文献】

- [1]崔宁宁.静宁县甘沟镇等6乡镇农村供水存在的问题及对策[J].云南水力发电,2023,39(11):326-330.
- [2]汤华.论蓄水池施工工艺流程中的关键技术与管理[J].水上安全,2024(9):16-18.
- [3]李琳.农村供水工程水源泵站及输水管道设计分析[J].水利技术监督,2024(7):73-76.
- [4]张本华.引洮供水二期配套工程调蓄水池沿河防护设计[J].山西水利科技,2024(3):1-4.

作者简介:姜敬德(1992.10—),毕业院校:大理理工大学,所学专业:水利水电工程,当前就职单位名称:新疆交通建设集团股份有限公司,职称级别:中级工程师。

基于 PLC 的供配电自动化控制系统设计与优化

王 飞¹ 姚慎康² 陈 英²

1 杭州天泽净化科技有限公司, 浙江 杭州 310000

2 杭州天创环境科技股份有限公司, 浙江 杭州 310000

[摘要]现代供配电系统对自动化和智能化水平的要求不断提升, 于是以 PLC 为核心控制单元构建了自动化控制系统, 该系统靠模块化设计, 能实时监控配电设备、诊断故障并进行远程操作, 可有效提升供配电系统的运行效率与安全性, 而且根据现场运行数据优化控制逻辑和通信结构, 能显著降低能耗和故障率, 研究显示该系统响应速度快、稳定性高、扩展灵活, 工程应用前景良好。

[关键词]PLC 控制; 供配电系统; 自动化; 系统优化; 智能监控

DOI: 10.33142/hst.v8i6.16898

中图分类号: TP2

文献标识码: A

Design and Optimization of Power Supply and Distribution Automation Control System Based on PLC

WANG Fei¹, YAO Shenkang², CHEN Ying²

1. Hangzhou Tianze Purification Technology Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310000, China

2. Hangzhou Tianchuang Environmental Technology Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310000, China

Abstract: With the continuous improvement of automation and intelligence level in modern power supply and distribution systems, an automation control system has been constructed with PLC as the core control unit. The system relies on modular design to monitor power distribution equipment in real time, diagnose faults, and perform remote operations, which can effectively improve the operational efficiency and safety of the power supply and distribution system. Moreover, by optimizing the control logic and communication structure based on on-site operation data, it can significantly reduce energy consumption and failure rate. Research has shown that the system has fast response speed, high stability, and flexible expansion, and has a good prospect for engineering applications.

Keywords: PLC control; power supply and distribution system; automation; system optimization; intelligent monitoring

引言

工业自动化水平不断提升, 传统供配电系统在运行效率、管理方式、故障应对上满足现代化需求已难, 而 PLC 这种高效、稳定且可编程的控制技术正广泛用于各类自动化系统, 给供配电领域变革带来新契机, 并且引入 PLC 控制后供配电设备能被实时监控与智能管理, 系统稳定性与安全性也能显著提升, 当前工程技术人员关注的热点问题是怎样充分发挥 PLC 技术优势构建高效、可靠、智能的供配电控制系统。

1 PLC 技术在供配电自动化系统中的应用价值分析

智能化建设加速发展, 供配电系统自动化、智能化水平被要求得更高, 而 PLC 技术有着稳定、灵活、可编程等优势, 是实现高效控制的关键工具。

1.1 技术特点与优势

PLC (可编程逻辑控制器) 结构紧凑、模块组合灵活且抗干扰性能强, 在工业自动化控制场合被广泛应用。与传统继电器—接触器系统相比, PLC 响应速度更快、逻辑处理能力更强, 通过程序就能灵活设定复杂控制流程和逻辑判断, 从而大幅提高系统自动化水平。在供配电系统里, PLC 支持多种通信协议, 可与上位机、HMI 等设备无缝连接, 还能实现电源状态、电压电流、开关状态等参

数的实时采集与控制。它为模块化结构, 便于扩展、维护和升级, 特别适用于数据中心、医院、工厂等对控制连续性要求高的场所。一旦使用冗余热备、双 CPU 等容错手段, 在关键设备故障时 PLC 就能自动切换, 保障系统不间断运行, 其可靠性和智能化管理优势非常高。

1.2 应用于系统设计

供配电系统结构设计时, 人们广泛把 PLC 作为主控单元嵌入控制柜, 再结合电压互感器、电流传感器、温度检测器等外围设备构建起全面自动化监控体系, PLC 程序逻辑设定后, 系统就能精确控制主电源回路、备用电源切换、无功功率补偿等功能模块并自动进行故障诊断、报警提示、电源切换等操作, 从而最大程度减少人为干预, 降低误操作风险, PLC 通信接口可与 SCADA、DCS 等上位系统集成构建集中管理和远程监控双重机制, 使供配电系统运维效率大幅提高, 能耗优化上, PLC 能实时采集负载运行参数, 动态调整供电方案, 电能利用效率得以提升, 这是实现绿色节能控制的关键支撑手段。

1.3 提升运维效率

供配电系统运行维护阶段, PLC 系统智能化管理优势卓越, 其内置自诊断功能可实时监测各个系统模块, 自

动记录运行状态、报警信息、故障代码和时间戳等关键数据,为故障分析和维护决策提供详实依据,运维人员通过人机界面(HMI)以图形方式直观查看系统运行状态、开关位置、电流电压曲线等信息,无需进入高压机柜或中控室就能远程调整参数、升级程序、优化运行策略,从而大大降低人力成本和安全风险,并且 PLC 能连续记录大量运行历史数据,结合边缘计算或上传到云平台,为能耗评估、故障趋势预测、系统优化调整提供数据支撑,使供配电系统从“被动维护”变为“主动运维”,提高稳定性和可靠性,为企业构建数字化、智能化能源管理体系奠定坚实基础,推动传统电气管理迈向高效、可视、可控的现代运维模式。

2 供配电自动化控制系统的整体架构设计

供配电自动化控制系统运行效率与稳定性直接受其结构设计影响,只有系统架构科学合理,多层级控制、功能模块互联、高效数据采集与处理才有望实现。

2.1 系统组成模块

电力现场设备、PLC 控制单元和上位监控平台这三部分构成了整个 PLC 供配电控制系统,由此构建智能化自动控制体系。变压器、断路器、开关柜、电能计量装置及无功补偿装置等现场设备承担电能传输、保护和基础测量的工作以保障供电稳定性。PLC 控制单元作为系统的核心连接传感器和执行器,实现状态采集、逻辑判断、控制指令下发等功能,堪称系统的“中枢神经”。上位监控平台集成人机界面(HMI)、数据库和分析工具并与 PLC 通信,实现远程控制、数据可视化、报警记录、参数配置等功能。通过标准通信协议,这三者互联互通形成一个运行高效、响应灵敏的闭环控制系统,强有力地支撑供配电系统智能化、自动化管理。

2.2 通信网络设计

PLC 供配电系统里,通信网络犹如神经通道,对各模块协同运行有关键意义,通常系统会用工业以太网和 RS485 总线混合组网来保障数据传输速度和抗干扰性能。现场层中,PLC 跟变压器、开关柜等设备通过 Modbus、PROFIBUS 等工业总线协议实时通信,从而能高效采集数据并精准下达控制指令。控制层和管理层之间,PLC 和上位监控平台采用 TCP/IP 协议双向高速稳定通信,可满足远程访问、维护和参数调取等需求。网络架构里设计了冗余通道、自动切换网关,还有工业级防雷击、防电磁干扰措施,这能提升系统整体通信可靠性,有效保障复杂高压强磁环境下通信系统持续稳定运行,从而奠定供配电系统智能化管理的坚实基础。

2.3 控制逻辑规划

供配电系统架构设计时,电源切换、故障隔离、报警响应、负载优先级等实际需求需在控制逻辑编排中被充分考虑,并且 PLC 编程可采用梯形图、功能块、顺序图等方式设定自动、手动、检修、紧急停机等多种运行模式以灵活应对不同工况,各逻辑模块既能独立运行又可根据系统状态联动响应,某回路电流异常时 PLC 自动切换到备用电源且触发声光报警、人机界面提示、远程告警,控制程

序设计成模块化结构方便系统升级和维护,将功能单元独立封装可提升程序可维护性和系统可扩展性从而保障系统在后续应用中持续优化和适应的能力。

3 PLC 控制模块的功能实现与逻辑优化

供配电自动化系统的核心是 PLC 控制模块,系统响应速度、控制精度和运行安全性直接受其功能实现与逻辑结构影响,优化控制逻辑就能显著提升系统智能化水平和整体效能。

3.1 核心控制功能

供配电系统中关键设备的开关操作、电压电流监测、过载保护、无功补偿控制以及备用电源切换等功能主要由 PLC 控制模块承担,PLC 凭借数字量输入输出(DI/DO)和模拟量输入输出(AI/AO)接口实时采集母线电压、电流、电度等各类信号,并用处理结果驱动开关量输出从而下达控制命令,且 PLC 内部可设定时间延迟、联锁逻辑以及优先级判断以保证操作的正确性与安全性,主电源失压时 PLC 就能自动控制切换到备用电源并记录事件数据供后台分析用。

3.2 逻辑结构优化

PLC 控制程序要适应复杂运行环境就得采用模块化、分层次的逻辑结构,模块化设计使各功能单元可独立开发与维护,如主电源控制模块、负载管理模块、报警模块等都有独立功能段,分层设计将底层设备控制、中层逻辑判断、上层数据通信分得很清楚从而提升程序的可读性和可扩展性,设置中断处理机制和优先级调度可提高系统多任务并发时的响应能力,优化时要靠仿真模拟和现场调试不断完善逻辑结构才能保证多种运行工况下系统稳定运行。

3.3 异常处理策略

供配电系统运行时设备故障、电压波动等异常情况不可避免,PLC 控制模块要有完善的故障检测与处理机制,过载、电压偏移、短路等都要能快速识别并触发保护逻辑,并且系统能设置多级报警响应机制,轻微异常发提示信号,严重故障执行断电保护、报警联动和数据上报等操作,而且 PLC 还得对历史故障记录分类,帮助运维人员做趋势分析和故障预测,通信中断、模块失灵等故障也应该设置旁路运行或手动接管逻辑以保证供电不断,提高系统容错能力和运行可靠性。

4 系统运行性能测试与优化策略探讨

供配电自动化控制系统好不好核心指标是系统运行性能,通过全面运行测试和针对性优化既能验证系统稳定性,又能提升系统在实际应用中的可靠性与智能化水平。

4.1 运行稳定性与响应速度测试

系统正式投运前,需从多维度对运行稳定性与响应速度进行测试,测试内容包括电源切换响应时间、过载识别速度、开关执行延迟、通信时延等关键参数,模拟主电源断电场景时,系统平均切换时间被控制在 1.5s 以内且备用电源投入迅速,连续供电得到有效保障,过流或短路状态识别以及执行断电操作普遍 100ms 内就能完成且响应效率极高,高频电磁干扰模拟还验证了 PLC 的抗干扰性

能,系统运行没明显信号漂移或误动作,表明其在复杂工业环境适应能力优良,测试指标显示,系统控制操作能够快速、稳定、精准实现。

4.2 控制精度与数据一致性验证

电气参数的采集与控制精度除系统响应能力外也得全面验证,将 PLC 采集的电压、电流、功率因数等实时数据与高精度测量仪器结果对比,系统误差大多在 $\pm 1.5\%$ 以内,可完全满足工业级控制精度要求,在工况中负载频繁变化时数据波动系统捕捉灵敏,能准确反映负荷特征并实现智能判断和自动调节,而且系统通信机制支持多源数据同步,可保证各节点之间信息一致,避免数据偏差导致的误操作,为验证数据一致开展了不同通信路径和控制周期下的长时间运行测试,系统表现稳定、数据同步良好,这说明了在复杂控制网络里具备高可用性和协调性。

4.3 优化策略与系统性能提升

以性能测试为基础进一步提出针对性优化策略,提升系统运行效能与用户体验。在程序逻辑里添加自学习功能模块,它能依据历史数据动态调整负载切换策略和设备启动顺序以避免电流冲击。优化 PLC 的扫描周期与中断优先级设置来缩短关键任务响应时间,提高系统整体运行效率。在硬件方面引入高速 ADC 模块和冗余通信网关以提升数据采集速度和通信稳定性。开发可视化运维界面以满足运维需求并集成实时曲线分析、故障趋势预测、能耗统计等功能,有助于管理人员进行精细化运维。上述多维优化措施让系统在连续运行时平均响应延迟降低 18%、通信中断率减少 40%、故障恢复时间缩减一半,性能显著提升。

5 基于工程实践的系统应用成效与发展展望

PLC 在供配电自动化控制系统中的综合性能与应用价值通过实际工程项目的部署运行能得到全面检验,从工程实践总结经验有助于推动系统在更大范围、更高层级的持续优化与推广。

5.1 工程项目中的应用表现

某工业园区变配电工程全面部署应用的 PLC 自动化控制系统包含 10 多个低压配电室和两座主变电站,集成远程监控、能耗统计、故障预警等功能模块,实际运行时供电参数可被系统全天候实时采集和反馈,异常发生时能在毫秒级响应时间内启动保护动作且人机界面同步告警,连续 3 个月运行监测系统在线稳定率保持 99.8%且故障响应平均时间不到 1.3s,比传统人工控制方案好得多,可自动切换电源、智能识别负载优先级,有效减少电能浪费且运维成本降低约 18%,可见 PLC 控制系统提升供电可靠性,在能源管理和设备保护方面效益显著。

5.2 技术优势的综合体现

PLC 系统在集成性、智能化与灵活性方面的优势被工程实践进一步凸显出来,由于系统是模块化设计的,各功能板块能按需配置或扩展,极大地提升了工程实施的适配性,在

电力波动频繁、负荷复杂变化的现场环境中,PLC 靠自适应逻辑调节与状态记忆功能,能对重要负载优先保护并进行动态平衡调整,并且系统支持多种通讯协议,可与现有能源管理系统、楼宇自动化平台无缝对接,增强了整体信息联动能力,项目里采用了移动端控制终端,管理人员能随时远程查看供电状态与能耗趋势,提升了数据的可视化与管理的智能化水平,从实践效果来看,这个系统已不只是一个“控制终端”,而是逐渐变成支撑智能供电体系建设的“神经中枢”了。

5.3 智能发展趋势与未来方向

未来,供配电自动化中的 PLC 控制系统会朝着更高智能化、更强融合性发展,一方面,人工智能和边缘计算技术融入后,PLC 系统数据分析、故障预测和自主优化能力会更强,从而从“被动响应”转为“主动决策”,另一方面,系统开放性和互联能力会进一步提升,能更广泛地对接能源管理平台、智慧园区系统、工业互联网平台等以达成跨系统数据共享和协同控制,由于节能减排和绿色发展要求愈发凸显,PLC 系统也会集成更精细的能效控制模块,借助实时能耗分析和策略推送,引导用户科学用电、绿色运维,系统软硬件会不断向小型化、高速化、低功耗发展,进而进一步拓展其在智能楼宇、新能源电站、微电网等新兴场景的应用范围,PLC 控制系统在未来电力自动化领域的角色将更核心、更多元。

6 结语

PLC 供配电自动化控制系统有着高度的稳定性、灵活性和智能化特点,在实际工程里优势显著,从系统架构设计、功能实现,到运行优化,再到工程应用和未来发展方向都展现出强大的应用潜力和技术生命力,模块化设计、逻辑优化与智能控制相结合提升了供电系统的运行效率和安全性且为能源管理和智慧运维可靠支撑,新一代信息技术不断融合会使 PLC 控制系统在智能电力领域持续迭代升级有助于构建更高效、绿色、智能的供配电管理体系。

【参考文献】

- [1]姜悦.基于 PLC 的楼宇供配电系统研究[D].吉林:吉林建筑大学,2017.
- [2]韦奇.贵港棒材生产线电气控制系统设计与实现[D].沈阳:东北大学,2019.
- [3]陈龙.节制闸供配电系统及自动化控制系统设计探析[J].黑龙江水利科技,2019,47(11):58-60.
- [4]陈浩.电气自动化控制在供配电系统中的运用[J].当代化工研究,2020(20):81-82.
- [5]李振宇.基于 PLC 的供配电监控系统设计探讨[J].矿业装备,2020(1):30-31.

作者简介:王飞(1986.6—),毕业院校:中国计量大学现代科技学院,所学专业:测控技术与仪器,当前就职单位:杭州天泽净化科技有限公司,职务:电气工程师,职称级别:中级工程师。

智能变频器技术在现代供热系统中的应用及发展趋势

于红峰

新疆天富能源股份有限公司供热分公司, 新疆 石河子 832000

[摘要]文章先简单介绍了智能变频器技术, 对其用途以及性能优点进行总结, 并分析其技术原理, 结合与阀门调节的对比, 并结合相关案例, 分析变频调节在现代供热系统中的节能效果结合。最后还对智能变频技术在现代供热系统领域的发展趋势进行分析, 旨在能够为相关技术研究带来一定的参考借鉴。文章认为, 智能变频器的节电率明显高于阀门调节的方式, 在供暖系统中的应用完全可行。

[关键词]智能变频器; 现代供热系统; 应用; 发展趋势

DOI: 10.33142/hst.v8i6.16889

中图分类号: TP3

文献标识码: A

The Application and Development Trend of Intelligent Frequency Converter Technology in Modern Heating Systems

YU Hongfeng

Heating Branch of Xinjiang Tianfu Energy Co., Ltd., Shihezi, Xinjiang, 832000, China

Abstract: The article first briefly introduces the technology of intelligent frequency converters, summarizes their applications and performance advantages, analyzes their technical principles, compares them with valve regulation, and combines relevant cases to analyze the energy-saving effect of frequency conversion regulation in modern heating systems. Finally, the development trend of intelligent frequency conversion technology in the field of modern heating systems is analyzed, aiming to provide some reference and inspiration for related technology research. The article believes that the energy-saving rate of intelligent frequency converters is significantly higher than that of valve regulation, and their application in heating systems is completely feasible.

Keywords: intelligent frequency converter; modern heating systems; application; development trend

引言

供热系统作为能源转换与利用的关键环节, 供热系统的能效提升与环保性能优化成为了行业内外关注的焦点。而智能变频器技术, 作为现代电力电子技术的杰出代表, 以其卓越的调速性能、高效的能源利用以及智能化的控制能力, 通过精确控制电机转速, 实现了对供热系统中水泵、风机等关键设备的无级调速, 有效降低了设备的能耗与磨损, 提高了系统的整体运行效率。同时, 结合物联网、大数据、云计算等先进技术, 智能变频器还能够实现远程监控、故障诊断与数据分析等功能, 为供热系统的智能化管理提供了有力支持。而未来, 随着技术的不断进步与市场的持续拓展, 智能变频器技术在现代供热系统中的应用前景将更加广阔。一方面, 随着能效标准的不断提高与环保政策的日益严格, 供热系统对高效、节能、环保的变频器产品需求将持续增长; 另一方面, 随着物联网、人工智能等技术的深度融合与应用, 智能变频器将向更加智能化、网络化、集成化的方向发展, 为供热系统的智能化升级提供更加全面、深入的解决方案。

1 智能变频器技术

智能变频器是一种高度集成化的电力电子控制设备, 该技术融合了先进的电力电子技术、微处理器技术、控制理论及通讯技术, 能够实现对交流电机转速、转矩及功率

等参数的精确控制与调节, 通过内部复杂的电路结构与智能算法, 将输入的固定频率、固定电压的交流电转换为频率、电压均可调节的交流电, 从而驱动电机按照预设的曲线或根据负载变化实时调整运行状态。

该技术的核心功能与用途就在于调速, 同时也兼备了过载保护、过压保护、欠压保护、短路保护等功能, 确保电机在复杂多变的工况下安全运行。同时也能够根据电机负载的变化自动调整输出频率与电压, 使电机始终保持在最佳效率点运行, 从而实现显著的节能效果。

此外, 智能变频器还具备强大的通讯能力, 支持多种通讯协议与接口, 能够轻松接入工业自动化控制系统, 实现远程监控、故障诊断与数据分析等功能, 使得智能变频器成为现代工业控制系统中不可或缺的重要组成部分。

2 智能变频器技术的基本原理与优势

智能变频器技术的基本原理在于应用先进的电力电子技术和微处理器控制技术, 通过改变电机工作电源的频率和电压, 从而实现对交流电机转速、转矩及功率等参数的精确调节。具体而言, 智能变频器先将输入的工频交流电源, 通过整流器转换为直流电源, 即为整流。随后, 直流电源经过滤波电路进行平滑处理, 以消除整流过程中产生的脉动电压和电流, 确保后续逆变过程的稳定性。而滤波后的直流电源被送入逆变器, 逆变器利用电力电子开关

器件的快速通断作用,将直流电逆变为频率和电压均可控的交流电。这一过程中,智能变频器的微处理器控制系统根据预设的控制算法或接收到的外部控制信号,实时调整逆变器中开关器件的通断状态,从而改变输出交流电的频率和电压,实现对电机转速的精确控制。为确保电机在复杂多变的工况下安全运行,智能变频器还具备多种保护功能和智能控制策略,如过载保护、过压保护、欠压保护、短路保护等,同时,通过内置的传感器和检测电路,智能变频器能够实时监测电机的运行状态以及电流、电压、转速、温度等参数,并根据监测结果自动调整控制策略,以优化电机的运行效率和性能。

传统阀门调节的方式存在明显的弊端,以水泵为例,水泵调节运行主要基于水泵学比例率这一理论,针对于同一台水泵,在不同转速运行的状态下,假设水泵的流量为 Q ,扬程为 H ,轴功率为 P ,转速为 n ,其关系主要如下:

$$Q_1/Q_2=n_1/n_2 \quad (1)$$

$$H_1/H_2=(n_1/n_2)^2 \quad (2)$$

$$P_1/P_2=(n_1/n_2)^3 \quad (3)$$

根据上述公式可知,在转速降低的情况下,其功率的减少量相比于流量的减少量明显较大,在降低水泵转速的情况,很有可能会降低单位供水量的电耗情况。而从电工学的角度来看,电器及的转速与输入频率也存在着如下的关系,其中 f 为电源频率; s 为滑差率; p 为极对数。

$$n=60f(1-s)/p \quad (4)$$

而与阀门调节相比,智能变频器在现代供热系统中的节能效果尤为突出,其理论对比数据具体如表 1 所示。

表 1 阀门调节与智能变频器的对比

对比项	阀门调节	智能变频器
节能原理	通过调节阀门开度控制流量与温度,存在节流损失	通过精确控制电机转速与输出功率,实现按需供热、动态调节
节能效果	能量损失大,尤其是节流损失显著	显著减少无效功耗,提高能源利用效率
调节精度	调节精度相对较低,存在滞后性	高频率 PWM 调节,响应速度快,调节精度高
保护功能	依赖机械部件的可靠性,保护功能有限	内置多种保护功能与智能控制策略,确保设备安全运行
监测与控制	监测与控制能力较弱,依赖人工巡检	实时监测设备状态与参数,自动调整控制策略,提高自动化与智能化水平
运维成本	运维成本较高,需定期检修与更换阀门	运维成本较低,减少人工巡检与故障处理时间
环保效益	能源浪费较多,不利于节能减排	显著降低能耗,减少污染物排放,促进环保

3 在供暖系统中采用智能变频器的节电效果分析

以某北方城市的大型热力公司为例,面对冬季供暖的巨大能耗挑战,决定对其供暖系统进行智能化改造,核心措施之一便是引入智能变频器技术。该公司原有的供暖系

统主要依赖传统的阀门调节来控制循环水泵的流量,以满足不同区域的供暖需求。然而,这种调节方式存在显著的能量损失,尤其是在阀门节流过程中,大量能量以热能形式散失,同时电机也常处于满负荷或接近满负荷运行状态,导致无效功耗增加。为改善这一状况,公司决定在供暖系统中全面采用智能变频器,通过精确控制电机的转速,实现了对循环水泵流量的动态调节。在供暖初期和末期,当室外温度较高、供暖需求较小时,智能变频器自动降低水泵的转速,减少流量输出,从而显著降低能耗。而在供暖高峰期,当室外温度骤降、供暖需求激增时,智能变频器则迅速提升水泵转速,确保供暖效果不受影响。

经过一个供暖季的实际运行,该热力公司统计了相关数据并进行了深入分析。结果显示,采用智能变频器后,供暖系统的整体能耗较改造前降低了约 25%。具体而言,循环水泵的平均运行功率下降了约 20%,电机运行效率显著提升,无效功耗大幅减少。此外,由于智能变频器具有精确的调节能力和快速的响应速度,供暖系统的调节精度也得到了显著提升,室内温度波动范围减小了约 30%,进一步提升了用户的供暖体验。

以其中的水暖厂 21#换热站供暖水系统为例,该系统采用了 110kW 的循环泵以及变频器一开一备用运转,在采暖期,循环泵频率设置在 $f=33\text{Hz}$,经计算,该换热站的变频调速消耗功率为 31.62kW,节电率为 71.25%,年节电量为 $(110-31.62) \times 151 \times 24 = 28.4$ 万 kW.h,电价按照 0.57 元/kW.h 来计算的话,一年能节约下来的资金高达 16.188 万元。如果选用价格为 8.5 万元的变频器,那么静态投资的回收期则为一个采暖期。

4 智能变频器技术在现代供热系统中的发展趋势分析

4.1 应用现状

随着全球能源危机的加剧和环保意识的提升,供热系统作为能源消耗大户,其运行效率与环保性能越来越受到社会各界的关注。智能变频器技术以其高效、精准、智能的调节能力,在供热系统中展现出了巨大的应用潜力和价值。目前来看,智能变频器技术在现代供热系统中的应用已十分广泛,涵盖了从热源到用户端的各个环节。在热源端,智能变频器可用于控制锅炉鼓风机、引风机以及给水泵等关键设备的转速,实现燃烧过程的最优化控制,提高热效率并减少污染物排放。在输配端,智能变频器则广泛应用于循环水泵的调速控制,通过实时调节水泵的流量与压力,确保供热系统在不同工况下的稳定运行,同时有效降低能耗。在用户端,智能变频器还可与智能温控系统相结合,根据室内温度和用户需求自动调节供热量,提升用户的舒适度与满意度。

同时,通过集成先进的传感器、控制器和通信技术,智能变频器能够实时监测设备的运行状态、能耗情况以及

环境温度等参数,并根据预设的控制策略进行自动调节与优化控制,不仅提高了供热系统的运行稳定性和可靠性,还降低了对人工操作的依赖程度,减轻了运维人员的工作负担。并且智能变频器还具备故障诊断与预警功能,能够及时发现并处理潜在故障问题,避免设备损坏和事故的发生。

但同时,基于现状条件来看,还是存在着一系列的负面因素。首先高初期投资成本是阻碍变频器普及的一大障碍,尤其是对于预算有限的供热系统而言,采用智能变频器技术的初期投入较大,增加了系统的整体成本;其次,变频器对运行环境的要求较高,若未能妥善安装与维护,其易受环境影响而降低性能,如潮湿、高温环境可能导致变频器故障率上升,影响供热系统的稳定性;再者,变频器运行产生的谐波干扰可能对供电网络及附近电子设备造成不利影响,需额外配置滤波器等设备来减轻这一问题。

4.2 发展趋势

在现代供热系统中,智能变频器技术正逐步成为提升能效、优化运行管理的关键手段。在科技飞速发展,以及城市化进程的共同推动之下,供热系统面临着越来越高的能效要求与环保挑战。而智能变频器技术,凭借其精准调控、节能减排的显著优势,正引领着现代供热系统向智能化、绿色化方向迈进。基于当前现状来看,本文认为,该技术在现代供热系统领域中的发展趋势主要以下面几方面为主:

①节能减排:智能变频器技术通过调节电动机的转速,实现对供热系统中泵、风机等设备的精细控制。这种控制方式能够根据系统负荷的实时变化,自动调整供电频率,使设备始终运行在最佳效率区间,从而显著降低能源消耗。在北方集中供热系统中,锅炉鼓风机、引风机、循环水泵等大功率设备是能耗的主要来源。采用智能变频器进行调速控制,不仅能够有效降低电能消耗,还能减少煤炭等一次能源的浪费,实现节能减排的目标。未来,随着技术的不断进步和成本的进一步降低,智能变频器在供热系统中的普及率将持续提升,为节能减排事业贡献更大力量。

②运行稳定:智能变频器技术的优势就在于自适应能力和实时调控能力,能够根据供热系统的实际需求,自动调整设备的运行参数,确保系统运行的稳定性和可靠性。以往的供热系统中,由于设备启动和停止的频繁切换以及负荷的波动变化,往往会导致系统运行不稳定,甚至引发故障。而智能变频器通过平滑调节转速,减少了设备的机械冲击和磨损,延长了设备的使用寿命。同时,智能变频器还具备故障诊断和预警功能,能够及时发现并处理潜在

问题,确保供热系统的安全稳定运行。

③智能管理:随着物联网、大数据、人工智能等技术的快速发展,智能变频器技术正逐步与这些先进技术相融合,推动供热系统的智能化管理。通过构建智慧供热系统,可以实现对热源、热网、热力站、热用户等各个环节的实时监控和精准调控。智能变频器作为系统中的关键设备之一,其运行数据将被实时采集并传输至云端平台进行分析处理。基于大数据分析的结果,系统能够自动调整运行策略,优化供热效果,提升用户体验。

④绿色发展:在碳达峰、碳中和目标的引领下,供热系统的绿色化发展已成为行业共识。智能变频器技术作为节能减排的重要手段之一,将在绿色供热体系中发挥重要作用。通过推广智能变频器技术,可以降低供热系统的能耗和排放水平,减少对环境的污染和破坏。同时,智能变频器技术还可以与太阳能、地热能等可再生能源技术相结合,构建多能互补的供热系统,进一步提升系统的绿色化水平。而随着科技技术的不断突破,该技术的应用场景也势必会得到进一步的拓展,在绿色供热领域发挥更加重要的作用。

5 结语

综上所述,本文先从理论的角度,分析智能变频器技术的核心特征及其优势,并与传统的阀门调节的方式进行对比,探究该技术在供热系统中的应用优势。之后还结合我国北方地区的实际案例,对上文分析内容进行论证。本文认为,智能变频技术在现代供热系统中的应用优势不可否认,但是也面临着成本高、稳定性不足、环境干扰等一系列问题,因此本文建议应当进一步加强技术研发力度,积极对接当前先进科技技术,以迎合可持续发展战略,为社会绿色供热带来积极影响。

[参考文献]

- [1]郭全伟,范增博,张成双,等.EACHTCS 智能变频除湿热泵烤房研究与应用[J].福建农业科技,2024,55(4):56-59.
- [2]李嘉平,陈杨,贾晓飞.供热系统的监测控制改造技术及应用[J].中小企业管理与科技(上旬刊),2015(5):123.
- [3]赵立新.供热系统监测与控制改造技术探究[J].河南科技,2014(11):101.
- [4]丁伟.热电供热系统的集成节能技术探讨[J].电子技术与软件工程,2013(20):159.
- [5]李利新.供热系统智能控制节能改造技术应用[J].山西大同大学学报(自然科学版),2011,27(4):72-75.

作者简介:于红锋(1971.4—),男,汉族,工程师,专业机电工程及其自动化。

火电厂锅炉变负荷运行节能控制方法

王 顺

江西赣能股份有限公司丰城发电厂, 江西 宜春 331100

[摘要]本研究针对火电厂锅炉变负荷运行场景,提出通过燃烧过程优化、空气配比动态调节、智能控制系统引入及辅助设备协同调控的综合技术路径,实现多工况下的高效节能运行,基于负荷变化特征构建燃烧优化模型与热力系统协调控制策略,有效提升燃烧效率,降低煤耗与污染物排放,通过 DCS 系统与数据驱动控制算法的深度融合,实现运行参数实时精准调控,增强系统响应速度与热效率,保障机组在宽负荷范围内稳定经济运行。

[关键词]变负荷运行; 节能控制; 燃烧优化; 智能调控; 热效率提升

DOI: 10.33142/hst.v8i6.16904

中图分类号: TM621

文献标识码: A

Energy-saving Control Method for Variable Load Operation of Boilers in Thermal Power Plants

WANG Shun

Fengcheng Power Plant of Jiangxi Ganneng Co., Ltd., Yichun, Jiangxi, 331100, China

Abstract: This study focuses on the variable load operation scenario of thermal power plant boilers and proposes a comprehensive technical path through combustion process optimization, dynamic adjustment of air ratio, introduction of intelligent control system, and collaborative control of auxiliary equipment to achieve efficient and energy-saving operation under multiple working conditions. Based on the characteristics of load variation, a combustion optimization model and a coordinated control strategy of thermal system are constructed to effectively improve combustion efficiency, reduce coal consumption and pollutant emissions. Through the deep integration of DCS system and data-driven control algorithm, real-time and accurate control of operating parameters is achieved, enhancing system response speed and thermal efficiency, and ensuring stable and economic operation of the unit in a wide load range.

Keywords: variable load operation; energy-saving control; combustion optimization; intelligent regulation; thermal efficiency improvement

引言

在电力系统深度调峰背景下,火电厂锅炉面临日益频繁的负荷波动,传统控制策略因调节滞后、多目标协调能力不足,难以同时满足效率提升与环保合规的双重需求,负荷变化直接引发燃烧稳定性下降、煤耗率上升及氮氧化物(NO_x)排放波动等问题,成为制约火电机组绿色高效运行的关键瓶颈,本研究聚焦变负荷工况下的燃烧特性与控制难点,通过智能技术与优化算法的集成应用,探索提升锅炉变负荷适应性的节能控制策略,为火电厂低碳转型提供技术支撑。

1 锅炉变负荷运行特点与能耗分析

1.1 负荷变化对锅炉运行参数的影响

锅炉运行参数随负荷波动呈现显著变化特征,炉膛温度、排烟温度与炉膛压力等关键指标均受直接影响,高负荷工况下,燃料充分燃烧促使炉膛温度上升,传热效能得以优化,排烟温度维持合理区间,利于降低能耗,而进入低负荷运行阶段,燃料供给量减少致使燃烧区域温度下降,不完全燃烧加剧,排烟温度往往随之攀升,造成热损失显著增加。

同时,空气与燃料配比调节难度加大,易引发氧量失衡问题,直接干扰燃烧效率。炉膛负压波动频率显著提升,

对引风系统调节能力提出更高要求,若控制系统响应存在延迟,极易诱发“黑烟”排放、飞灰含量超标等不稳定现象,威胁锅炉运行安全并影响环保性能。

1.2 常见运行问题分析

变负荷运行过程中,燃烧稳定性降低、煤耗攀升及污染物排放超标构成主要运行挑战,燃烧稳定性问题突出表现为炉内火焰剧烈晃动,低负荷(30%以下)运行时更易出现灭火或回火现象,不仅危及锅炉本体安全,还会对受热面设备造成损害。

煤耗增加根源在于燃烧效率衰减、引送风系统效能下降及热能利用不充分,实际运行数据显示,某火电厂锅炉在 50%负荷工况下,单位电量煤耗较满负荷设计值高出约 12%,污染物排放方面, NO_x 、CO 等有害气体浓度随氧量控制精度下降而显著上升,导致排放指标突破环保限值,影响企业达标排放考核。

1.3 不同负荷区间锅炉能效变化规律

锅炉运行能效在 70%~100%负荷区间表现最佳,该区间内燃烧稳定、换热高效且系统协同性良好,当负荷降至 60%以下时,锅炉效率呈现明显下滑趋势,煤耗增速显著加快,其热效率曲线呈现典型抛物线形态,在中高负荷段达到峰值后,随负荷降低急剧下降。

这一变化规律表明,减少低负荷运行时长或优化控制策略对提升能效至关重要,实测数据显示,锅炉在 70%、50%、30% 负荷工况下,热效率分别可达 90%、83%、75%,充分反映出控制策略对运行能效的关键影响。

1.4 能耗指标计算与典型负荷下的对比数据分析

锅炉运行能耗评估通常采用单位发电煤耗 (g/kWh)、锅炉热效率 (%)、排烟热损失 (q_3)、化学未完全燃烧热损失 (q_4) 等核心指标进行量化分析,如表 1 所示。

表 1 600MW 亚临界锅炉在不同负荷下的主要能耗数据

负荷 (%)	单位煤耗 (g/kWh)	锅炉热效率 (%)	排烟损失 q_3 (%)	化学热损失 q_4 (%)
100	278	90.2	5.1	1.3
75	295	87.5	6.8	2.0
50	312	83.1	8.5	3.6
30	339	75.8	11.2	4.9

监测数据清晰表明,锅炉负荷降低过程中,单位发电煤耗呈明显攀升态势,热效率同步下滑,排烟损失、化学不完全燃烧热损失等指标持续恶化,这种变化趋势充分说明,针对低负荷工况制定精细化调控方案势在必行,此举不仅有助于降低运行能耗、延长设备服役周期,更能显著提升机组运行的经济效益,实际运行中。

2 燃烧优化与空气配比控制策略

2.1 在线检测与燃烧状态诊断方法

准确获取燃烧状态信息是实现锅炉燃烧优化的基础,当前火电厂普遍应用氧量分析仪、红外 CO 检测仪、烟气温度传感器等在线监测设备,实时采集烟气氧含量、CO 浓度、NO_x 排放等关键参数,其中,氧含量变化直观反映空气过剩程度,CO 浓度则是衡量燃烧充分性的重要依据。

通过将在线监测数据与锅炉分散控制系统 (DCS) 深度融合,可实现燃烧工况的实时诊断与故障预警,当监测到 CO 浓度异常升高且伴随炉膛温度波动时,系统可快速判定存在局部燃烧不充分或配风失衡问题,进而指导操作人员精准调节燃料供给与空气配比,有效避免能效降低和污染物超标风险。

2.2 空燃比动态调整与配风技术

空气与燃料的合理配比是保障锅炉高效燃烧的关键因素,科学的空燃比设置既能确保燃料完全燃烧,又能减少因过量空气导致的热损失,现有空燃比控制策略多以锅炉负荷为基准,结合氧量反馈信号动态调节送风量,实现精细化控制。在配风技术方面,采用前后墙对冲燃烧、四角切圆燃烧等先进方式,可有效改善炉膛气流分布与火焰中心位置,防止偏燃、偏流现象,提升燃烧稳定性。

2.3 分级燃烧与低氮燃烧策略

在追求高效燃烧的同时,控制氮氧化物排放是锅炉优化运行的重要目标,分级燃烧技术通过分阶段引入燃料或空气,在主燃区营造还原性气氛,有效抑制热力型 NO_x

生成,常见的分级方式包括空气分级、燃料分级及烟气再循环等。

低氮燃烧器的应用可进一步优化火焰形态,降低局部高温区域,从而减少 NO_x 生成量,某 600MW 机组采用分级燃烧与低氮燃烧器相结合的技术方案后,NO_x 排放浓度从 500mg/Nm³ 降至 200mg/Nm³ 以下,且未对锅炉热效率产生明显影响,实现了环保效益与节能效果的协同提升。

2.4 燃烧优化对节能与环保的协同增效作用分析

燃烧优化技术的应用可显著降低煤耗、提升热效率,同时有效减少污染物排放,提高环保达标率,实践表明,综合实施各项优化措施后,锅炉运行煤耗可降低 2%~5%,单位电量热耗减少约 100kJ/kWh,烟尘和 SO₂ 排放量也明显下降,兼具良好的经济与环境效益。

此外,燃烧优化有助于减少炉膛结焦和受热面积灰,提升换热效率,延长设备检修周期,降低维护成本,通过构建“在线监测-智能诊断-精准优化-实时反馈”的闭环控制体系,可实现燃烧过程的精细化管理,为火电厂高效低碳运行提供有力技术支撑。

3 智能控制与自动化节能策略

3.1 基于 DCS 系统的锅炉自适应负荷控制策略

分布式控制系统 (DCS) 作为火电厂自动化控制的核心枢纽,集成数据采集、实时监控与参数调节等功能,为锅炉负荷动态调整提供精准技术支撑,在变负荷运行场景下,DCS 通过闭环控制锅炉主汽温度、主汽压力、水位及氧含量等关键参数,实现运行状态的自适应调节。

自适应负荷控制策略依据负荷变化趋势及历史运行数据,动态优化控制模型中的比例、积分、微分参数,显著提升对非线性系统的响应性能,例如,当锅炉负荷快速下降时,DCS 系统基于预测算法提前感知温度过冲风险。

3.2 应用人工智能与大数据分析的运行优化模型

伴随人工智能与大数据技术的深度发展,锅炉节能运行进入智能化新阶段,通过对海量历史运行数据开展聚类分析、模式识别与回归建模,可构建锅炉运行数字孪生模型,精准预测不同负荷工况下的最优控制参数组合,实现精细化运行优化。

基于神经网络、遗传算法、强化学习等人工智能技术构建的智能决策模型,能够实时分析运行状态与目标参数的偏差,动态生成最优调节方案,以深度学习训练的燃烧优化模型为例,该模型可综合锅炉实时负荷、环境温度、煤质特性等参数,智能推荐最佳空燃比与配风策略,实测可提升燃烧效率 2%~3%,同步降低煤耗与污染物排放水平。

3.3 模糊控制、PID 整定与专家系统辅助控制方法

针对锅炉系统多工况耦合、参数强非线性、大滞后及动态变化频繁的特性,传统 PID 控制存在调节精度不足的问题,为提升控制效能,引入模糊控制算法与改进型 PID 整定策略成为关键技术路径,模糊控制基于经验规则

与实时参数变化,实现控制量的自主调节,尤其适用于负荷剧烈波动场景。

融合专家系统构建的智能辅助控制体系,将知识驱动与规则推理有机结合,专家系统凭借内置的操作逻辑与工况分析能力,可快速识别异常运行状态并提供优化建议,有效弥补人工操作经验局限。

通过集成 PID 优化、模糊推理与专家决策,可构建全工况自适应调节框架,显著提升自动化水平,降低人为操作误差,为锅炉高负荷效率与低负荷稳定性提供双重技术保障。

4 辅助系统协同与系统热力优化

4.1 给水系统、引风送风系统的协同节能调节

给水系统作为锅炉热力循环的物质与能量传输枢纽,其运行效率对整体能耗具有决定性影响,在变负荷工况下,主蒸汽压力、温度随负荷波动产生动态变化,传统定速泵供水模式易出现流量调节滞后或过度供水问题,采用变频调速泵组结合智能 PID 控制算法,可依据蒸发量、主汽压力等参数实时调整给水流量,实现给水与负荷的精准匹配,某 300MW 机组应用数据显示,变频改造后给水泵平均节电率达 18%,同时避免了因过量供水导致的额外蒸发能耗。

引风送风系统是保障锅炉稳定燃烧的核心子系统,其风量调控需与燃料输入、炉膛负压及空燃比策略形成动态协同,引入基于变频器的风机智能控制技术,通过采集氧量、负荷指令、炉膛压力等多参数构建模糊控制模型,可实现一、二次风量与负荷变化的毫秒级响应,在典型变负荷运行场景中,引送风机联合优化控制使风机电耗降低 8%~12%,厂用电率下降 0.5%~0.8%,有效提升了机组运行经济性。

4.2 抽汽供热与余热利用技术在变负荷条件下的匹配

在热电联产机组中,抽汽供热系统承担着能源梯级利用的重要功能,但变负荷运行时抽汽参数波动易导致汽轮机效率下降与热网供需失衡,通过构建“抽汽量-热网流量-蓄热调节”联动控制策略,结合相变蓄热装置的动态调峰能力,可实现热电解耦运行,某供热机组应用案例表明,该技术使供热负荷响应速度提升 30%,汽轮机热耗率降低 3.2%,显著提高了供热系统的稳定性与经济性。

锅炉尾部烟气余热回收是低负荷节能的关键突破口,采用低温省煤器与冷凝式换热器组合装置,可将排烟温度从 130℃降至 90℃以下,回收的余热用于加热补给水或厂区供暖,在 60%以下低负荷工况中,余热回收系统可使锅炉热效率提升 2%~4%,年回收热量相当于节约标煤约 3000t,该技术不仅减少了排烟热损失,还降低了脱硫系统的耗水量,实现了能源与资源的双重节约。

4.3 系统综合效率提升策略

火电厂锅炉节能增效不能仅着眼于单个设备改进,需实现各子系统的协同运作,从而达成整体能效的最优化,构建系统级优化模型,将锅炉本体、给水处理、引风送风、

烟气排放、燃料输送、除灰除渣等系统进行集成,实现多参数的协同控制。

建立运行工况评估体系与班组能效考核制度,促使运行人员依据能耗指标优化操作策略,形成节能管理的闭环机制,在某 600MW 机组的实践中,通过实施系统集成优化方案,单位发电量煤耗降低 4g/kWh,热效率提升 1.8%,充分彰显了协同调节在节能方面的显著成效。

4.4 系统热力过程模拟与节能潜力评估

运用热力系统建模与仿真技术,能够精准还原锅炉各子系统的运行状况,对热量传递、能量损耗及设备负荷分配进行量化分析,EBSILON、GateCycle 等专业模拟软件可对不同负荷条件下的热力循环过程进行模拟,开展系统能量平衡计算与优化诊断,为节能改造方案制定提供数据支持。

通过模拟分析能够定位系统高耗能环节与低效运行设备,评估各类技术改造措施的节能效果,以低负荷运行为例,模拟发现引风风机运行效率较额定值低 30%以上,据此提出加装变频器的优化建议,热力模拟结果还可指导设备选型与参数匹配,确保系统设计契合实际运行需求,提升技术经济效益。

将系统模拟分析与数据评估相结合,为火电厂节能工作提供科学依据,推动运行管理从经验驱动向数据驱动转变,实现辅助系统协同效率的最大化与节能潜力的充分挖掘。

5 结语

对火电厂锅炉变负荷运行特性深入剖析,结合燃烧优化策略、智能控制技术以及辅助系统协同调节手段,可实现机组在复杂工况下的高效节能运行,优化燃烧空气与燃料比例,引入智能控制算法与热力仿真技术,有效提升了锅炉燃烧效率与整体热效率,降低了燃煤消耗与污染物排放,依托 DCS 系统实施协同控制策略,保障了各子系统的动态响应与有机联动,兼顾运行安全性与经济性,未来需持续推进智能化改造与数据驱动优化,为火电厂绿色低碳转型筑牢技术根基。

[参考文献]

- [1]慕昀翰.基于燃煤机组深度调峰安全性条件下负荷优化分配[D].北京:华北电力大学(北京),2021.
- [2]高耀岩,王林,高海东,等.火电厂智能控制系统体系架构及关键技术[J].热力发电,2022,51(3):166-174.
- [3]戴赞.基于 APHC 控制策略的火电厂烟气 NOX 浓度控制与优化[D].湖北:湖北工业大学,2021.
- [4]鲁骥.火电厂锅炉燃烧控制系统优化[D].青岛:青岛科技大学,2019.
- [5]罗文强.火电厂集控运行技术与机组协调控制研究[J].电力设备管理,2024(20):86-88.

作者简介:王顺(1998.5—),男,沈阳工程学院,能源与动力工程。

紫兰坝电站机组停机蠕动原因分析

万奇奇

宝珠寺水力发电厂, 四川 广元 628003

[摘要]紫兰坝电站3台灯泡贯流式水轮发电机组至2013年以后, 机组停机经常出现蠕动现象, 甚至无法停机, 在后期的检修中也对其蠕动原因进行多次分析及控制环技改。但是, 在检修或技改后, 机组运行一段时间还是会出现停机蠕动现象, 并未从根本上解决此问题。针对此问题, 根据多次检修实际情况分析, 找到了其根本原因。在3号机组大修后机组运行一年时间观察机组停机状态, 效果明显。为以后贯流式机组停机蠕动或者无法停机的问题解决提供参考。

[关键词]贯流式机组; 控制环; 夹板; 抗磨板; 停机蠕动

DOI: 10.33142/hst.v8i6.16913

中图分类号: TV73

文献标识码: A

Analysis of the Reasons for the Shutdown and Creeping of the Units at Zilanba Power Station

WAN Qiqi

Baozhusi Hydroelectric Power Plant, Guangyuan, Sichuan, 628003, China

Abstract: After 2013, the three bulb through flow water turbine generator units of Zilanba Power Station often experienced creeping phenomenon when the units were shut down, and even could not be shut down. In the later maintenance, the reasons for creeping were analyzed multiple times and the control ring was modified. However, after maintenance or technical renovation, the unit still experiences shutdown and creeping phenomena after running for a period of time, and this problem has not been fundamentally solved. Based on multiple maintenance analyses, the root cause of this issue has been identified. After the major maintenance of Unit 3, the shutdown status of the unit was observed for one year, and the effect was significant, in order to provide reference for solving the problem of creeping or inability to shut down the flow turbine unit in the future.

Keywords: flow-through unit; control loop; splint board; wear resistant plate; shutdown creep

引言

紫兰坝水电站坝址位于四川省广元市境内, 是嘉陵江支流——白龙江干流梯级开发规划中的最后一级, 上游距宝珠寺水电站 14km, 下游距虎头寺水电站 6km。电站采用灯泡贯流式机组, 总装机容量 102MW(3×34MW), 由东方电机厂设计制造, 其水轮机型号: GZ(836)-WP-535, 发电机型号: SFWG 34-44/6020, 卧轴悬挂式、两支点、密闭强迫空冷。然而, 自 2017 年以来, 机组在停机过程中经常出现蠕动现象, 严重影响了电站的安全运行和经济效益。针对此问题, 本文进行了深入的研究和分析。

1 机组停机蠕动现象及影响

紫兰坝为卧式安装, 紫兰坝电站的灯泡贯流式机组在停机过程中, 接力器控制控制环带动拐臂迅速关闭活动导叶以切断水流, 确保水轮机能够安全停机。然而, 机组在停机时却经常出现蠕动现象, 表现为导叶关闭不严或无法完全关闭, 导致机组无法稳定停机。这种现象不仅影响了机组的正常运行, 还可能导致机组损坏或安全事故的发生。

其中控制环套装在导水机构外配水环下游侧, 在主接力器方向, 安装有重锤, 重锤底部设计专用的活动坑洞, 控制环设计了 32 块对夹立抗磨板及 16 块底抗磨板, 以保证控制环运行平稳。

2 检修及技改历程

2.1 控制环技改

紫兰坝电站导水机构投产发电以来未对其进行检修。2017 年 3 台机存出现不同程度无法正常关机的现场。2018 年 4 月对 3F 机组导水机构进行检修, 消除无法正常关机的现象, 但机组运行 2 个月后发现机组出现停机蠕动, 分析原因为控制环底抗磨板和立抗磨板数量不足, 控制环运动不规律。在 2018 年 11 月 2F 机组检修中, 调整检修方案后, 机组运行状况良好。

处理流程:

(1) 控制环拆除: 使用副钩受力, 调整两个手拉葫芦, 用 S46 的敲击扳手将控制环组合面 M30 的螺栓全部松出。副钩继续受力两葫芦配合系上缆风绳。起吊控制环分开 200mm, 检查钢丝绳受力情况良好, 控制环继续起升至比行走通道上最高障碍物高出 200~300mm 即可; 任何人在没有得到指挥人员命令的情况下严禁操作, 起吊作业现场严禁无关人员逗留。将其上半段吊出至安装间下游侧, 先立着放置, 取下两个手拉葫芦, 使控制环单个吊点受力将其放倒。平吊至安装间上游侧检修位置方木上。继续利用副钩和左岸电动葫芦以及导叶外环下部两侧的手拉葫芦, 缓慢的将控制环下半段旋转至导叶外环顶部, 用同样的方法将下半段吊出。

(2) 返回设备制造单位(东方电机厂)处理:控制环运输到场后,拆除控制环并分瓣,由专门大件运输单位负责运输,控制环最大外圆直径 5230mm,控制环总重 8058kg。控制环返厂处理:控制环组圆,控制环安装于龙门铣,并找正、找平,测量控制环 16 对支撑板把合面水平度,如支撑板把合面水平度超标,采用车铣的方式将所有把合面调整到同一水平面上,否则不予处理,在原相邻两对支撑板中间增加一对同尺寸支撑板,新增 14 对,共计 30 对,新增支撑板及支撑板螺栓、销钉由设备制造单位提供,新增支撑板非把合面喷涂控制环本体相同油漆。

(3) 修后效果:通过返厂增加了 14 对导叶控制环限位块,对导叶控制环所有抗磨板进行了更换,确认新的抗磨板厚度为 3mm。将新的抗磨板螺孔逐一用铰子铰出与限位块螺栓孔贴合的凹槽。用新的铜螺丝将抗磨板把合在限位块上。并在两端各焊接一个限位块,限位块厚度不得高于抗磨板。新的非金属抗磨板无刮伤(擦划)和焊渣烧烫坑,磨板紧固、无脱落。将限位块回装于控制环上,复测上下游两侧抗磨板间距为 64mm。检查滑轨光滑无高点,测量滑轨厚度。在抗磨板上均匀涂抹一层二硫化钼,回装控制环,检查抗磨板润滑良好,控制环动作平稳、无摆动、无杂音。

但是机组在运行近一年的时间后,三台机组又出现机组蠕动现象。抗磨板不足不是机组停机蠕动的根本原因。

2.2 重锤检修:

在三台机组再次出现停机蠕动后,检修人员每年对机组的导叶间隙及压紧行程进行调整,每次检修后机组停机仅能短时间保持正常,一段时间后,仍会出现停机蠕动现象。

在 2022 年 x 月 x 号机组季节性检修中,检修人员偶然发现重锤底部出现杂物堆积,造成重锤无法全部下落,控制环行程受阻,导叶关闭不严的现象。

处理流程:

(1) 控制环拆除:将控制环与导水机构使用挡块焊接,使用副钩受力,调整两个手拉葫芦,将控制环与重锤连接销拆除。

(2) 重锤的吊装与拆除:吊装准备:使用合适的起重设备,如起重机或吊车,确保吊装设备的承载能力大于重锤的重量。吊装操作:将吊钩连接到重锤的吊环上,缓慢起吊,确保重锤平稳上升。拆除固定件:在重锤被吊起后,完全拆除其固定螺栓和其他连接件。缓慢下放:将重锤缓慢下放至地面或其他安全位置,使用脚手架管子将其固定,在防止过程中避免撞击。

(3) 处理:在对重锤底部清理直至可见底部基础,重新调整导叶间隙、压紧行程合格。

(4) 安装重锤:使用副钩受力,调整两个手拉葫芦,将控制环与重锤连接销安装。安装后动作控制环观察重锤

下落后与底部基础应保持较大间隙。调整清理现场:清理拆除后的现场,检查是否有遗留的工具或部件。检查设备:对拆除后的机组相关部件进行检查,确保没有因拆除操作而损坏。

重锤底部清理后,机组停机正常仅保持了两个月时间。可见,重锤无法下落不是其根本原因。

2.3 2 号机组 1 号拐臂固定螺栓断裂:

2023 年 6 月,在紫兰坝维护工作中,检修人员发现 2 号机组 1 号套筒固定螺栓断裂,如图 2 所示,查看断裂现象为,固定螺栓发生剪切,从而发生断裂。但是,套筒套装在导水机构套筒底座上,为固定部件,不应发生转动,同时安装时需要近 50T 的压力,即使导叶轴旋转,同样不可能带动套筒旋转。检修时,检修人员将套筒取出,测量套筒内轴套内径公差在正常范围内,同样将其泡在水中,经过今天检查内径未增加。



图 2 套筒螺栓断裂图

检修人员扩大检查范围,发现 15 号套筒固定螺栓已发生变形。分析为连锁反应。检查 1 号、15 号拐臂发现,其磨损部位相同,如图所示,测量上半部拐臂与套筒之间间隙发现局部间隙为 0 但是两侧及底部间隙较大。最终可以确定拐臂出现此现象为连锁反应,可以确定为控制环出现问题。检查控制环与导轨间隙发现上半部为 0,底部为 3.15mm,超出设计间隙 1mm,而控制环底抗磨板抗磨层厚度为 1mm,经过检查和分析,发现拐臂与套筒之间间隙异常,导致拐臂磨损和螺栓断裂。同时,检查控制环与导轨间隙发现超出设计间隙,底抗磨板抗磨层已完全磨损。这表明控制环出现问题导致了机组停机蠕动。

2.4 机组停机蠕动原因分析

经过多次检修和技术改造以及长期的观察和分析,我们得出了机组停机蠕动的根本原因:

(1) 控制环与导轨间隙过大。

控制环与导轨之间的间隙是保证控制环平稳运行的关键因素之一。然而,由于长期运行和磨损,控制环与导轨之间的间隙逐渐增大,超出了设计范围。这导致控制环在运行时产生晃动和不稳定,进而影响了导叶的关闭效果。

(2) 底抗磨板磨损严重

底抗磨板是控制环的重要组成部分,用于承受控制环运行时的摩擦和磨损。然而,由于长期运行和缺乏维护,底抗磨板磨损严重,抗磨层已完全磨损。这导致控制环在

运行时与导轨之间的摩擦增大,加剧了控制环的不稳定性。

(3) 拐臂与套筒间隙异常拐臂与套筒之间的间隙是保证拐臂正常工作的关键因素之一。然而,由于安装或运行过程中的误差和磨损,拐臂与套筒之间的间隙出现异常。这导致拐臂在运行时产生晃动和不稳定,进而影响了导叶的关闭效果和控制环的稳定性。

(4) 重锤底部杂物堆积重锤底部杂物堆积是导致机组停机蠕动的另一个重要因素。杂物堆积导致重锤无法全部下落,控制环行程受阻,导叶关闭不严。虽然清理杂物后机组停机正常了一段时间,但由于未从根本上解决问题,蠕动现象再次出现。

但是,在本次检修中未对抗磨板进行处理,仅是调整导叶间隙、压紧行程及重锤基坑底部后恢复运行。机组运行一星期后再次出现停机蠕动。

2023年,在3号机组大修中,对机组控制环解体检查,发现上半部底抗磨板抗磨层已磨损,控制环导轨同样出现损伤。经过协商提出最终的处理方案。

2.5 针对机组停机蠕动的根本原因,我们提出了以下解决方案

(1) 更换底抗磨板并增加抗磨层为了解决底抗磨板磨损严重的问题,我们决定更换新的抗磨板,并增加抗磨层至3mm,此时抗磨板厚度为5mm。这不仅可以提高底抗磨板的耐磨性,还可以减少控制环与导轨之间的摩擦和磨损。同时,我们对导轨顶部及两侧进行了车床消磨处理,并喷涂了抗磨涂层,以提高导轨的耐磨性和抗腐蚀性。

(2) 调整控制环与导轨间隙为了解决控制环与导轨间隙过大的问题,我们对控制环进行了全面的检查和修复。通过调整控制环与导轨之间的间隙,使其符合设计要求。同时,我们对控制环进行了全面的润滑处理,以减少运行时的摩擦和磨损。

(3) 修复拐臂与套筒间隙异常问题为了解决拐臂与套筒间隙异常的问题,我们对拐臂和套筒进行了全面的检

查和修复。通过调整拐臂与套筒之间的间隙和紧固程度,确保其符合设计要求。同时,我们对拐臂和套筒进行了全面的润滑处理,以减少运行时的摩擦和磨损。

(4) 清理重锤底部杂物并加强维护为了避免重锤底部杂物堆积导致的问题,我们对重锤底部进行了全面的清理和检查。同时,我们加强了机组的日常维护和管理,定期对机组进行检查和维修,以确保其正常运行和安全可靠。

在实施上述解决方案后,我们对机组进行了长期的观察和监测。结果表明,机组停机蠕动现象得到了明显的改善和消除。机组在停机时能够迅速、平稳地关闭导叶并切断水流,确保了水轮机的安全停机。同时,机组的运行效率和稳定性也得到了显著的提高。

3 结论与展望

本文通过对紫兰坝电站机组停机蠕动的深入研究和分析,得出了机组停机蠕动的根本原因并提出了有效的解决方案。通过实施解决方案并对机组进行长期的观察和监测,我们验证了解决方案的有效性和可靠性。这为解决类似问题提供了有益的参考和借鉴。

展望未来,我们将继续加强对机组的日常维护和管理,定期对机组进行检查和维修。同时,我们将积极引进和应用新技术和新设备,不断提高机组的运行效率和稳定性。我们相信,在全体员工的共同努力下,紫兰坝电站一定能够实现更加安全、高效、稳定的运行目标。

【参考文献】

[1]东方电机股份有限公司.(SFWG34-44/6020)紫兰坝灯泡贯流式水轮发电机产品说明书[M].福建:福建九州南平电机厂,2004.

[2]刘国选.灯泡贯流式水轮发电机组运行与检修[M].北京:中国水利水电出版社,2006.

作者简介:万奇奇(1987—),男,宝珠寺水力发电厂工程管理部,大学本科学历,高级工程师,长期从事电力设备检修及管理工作。

大数据驱动的水电站智能化运行系统构建与应用

禄 通

大唐甘肃发电有限公司碧口水力发电厂, 甘肃 陇南 746412

[摘要]大数据时代给各个行业都带来了效率提升的机遇,水电站智能化系统的构建是推动水电行业高效、绿色发展的关键方向,水电站智能化运行系统能够借助大数据技术,实现对海量数据的实时采集、分析以及智能决策,提高设备运行监测精度和故障预测能力,优化资源配置与调度管理,进而增强水电站的安全性和经济效益。本论文围绕大数据驱动的智能化运行系统构建,探讨其核心技术与应用实践,为水电站智能化升级提供理论支持和技术参考,推动水电行业进入数字化、智能化的新时代。

[关键词]大数据驱动; 水电站智能化; 运行系统; 系统构建; 技术应用

DOI: 10.33142/hst.v8i6.16906

中图分类号: TV736

文献标识码: A

Construction and Application of Intelligent Operation System for Hydropower Stations Driven by Big Data

LU Tong

Bikou Hydropower Plant of Datang Gansu Power Generation Co., Ltd., Longnan, Gansu, 746412, China

Abstract: The era of big data has brought opportunities for efficiency improvement to various industries. The construction of intelligent systems for hydropower stations is a key direction for promoting efficient and green development in the hydropower industry. The intelligent operation system of hydropower stations can use big data technology to achieve real-time collection, analysis, and intelligent decision-making of massive data, improve equipment operation monitoring accuracy and fault prediction ability, optimize resource allocation and scheduling management, and thereby enhance the safety and economic benefits of hydropower stations. This paper focuses on the construction of an intelligent operation system driven by big data, exploring its core technologies and application practices, providing theoretical support and technical references for the intelligent upgrading of hydropower stations, and promoting the hydropower industry to enter a new era of digitization and intelligence.

Keywords: big data driven; intelligentization of hydropower stations; operating system; system construction; technical application

引言

随着信息技术不断向前发展,大数据时代已然来临,在这样的大背景之下,传统水电站在运行管理方面遇到了前所未有的挑战,同时也迎来了诸多机遇。水电站属于极为重要的清洁能源供应设施,其能否安全且稳定地运行,直接和电网的可靠性以及区域能源结构的优化程度紧密相关联。不过,传统的那种运行管理模式常常依靠人工经验来开展工作,对于实时数据往往做不到全面的监控,也缺少智能分析手段,如此一来便很难契合现代水电站所提出的针对高效、精准以及智能化管理方面的种种需求。借助大数据技术去构建智能化运行系统,可以达成对水电站设备的状态、环境的各项参数以及运行数据等进行实时的采集、存储以及分析的目的。凭借着先进的数据处理办法以及机器学习算法,能够进一步提升在故障预测、风险评估以及决策支持等方面的能力,进而让水电站的运行效率得以明显提高,安全水平也能获得相应的提升。本文将会对由大数据驱动的水电站智能化运行系统的架构设计情况、其中涉及的关键技术以及实际应用状况展开较为系统的探讨,希望通过这样的探讨能为推动水电行业实现数字化转型以及智能升级给予一定的理论层面的支持,并且提

供技术方面的参考依据,以此来促使水电资源能够得到更为科学的管理,实现可持续的发展态势。

1 大数据技术在水电站智能化运行中的作用

大数据技术在水电站智能化运行方面有着极为关键的作用,其已然成为达成高效、安全且智能管理的重要支撑所在。伴随水电站设备数量以及数据规模持续不断地增长起来,传统的数据处理以及监控的方式已经很难去契合现代水电站对于实时性以及精准性方面的要求了。大数据技术凭借对海量的、多源的、多维度的数据展开采集、存储、处理以及分析等一系列操作,能够完整且细致地呈现出水电站的运行状态以及环境方面的变化情况,进而为设备的运行维护工作、故障诊断事宜以及能效优化等相关事项给予科学层面的依据。凭借着大数据分析手段,水电站可以实现针对设备运行趋势的预测功能,能够提前去识别出潜在的风险点,防止因突发性故障而引发的经济损失以及安全隐患出现。除此之外,大数据技术还能够助力智能调度以及优化决策的开展,以此来提升水电资源的利用效率以及经济效益水平。通过将历史数据与实时数据加以整合,并且结合像机器学习这类较为先进的算法,水电站的运行管理正朝着更为自动化以及智能化的方向不断发展前行,其运

行的可靠性以及管理水平都得到了大幅度的提升。

2 智能化运行系统架构设计

2.1 系统总体架构

智能化运行系统的总体架构乃是构建高效且可靠的水电站智能管理平台的根基所在,其一般是由感知层、网络层、数据层、应用层以及安全保障层这五大核心部分所构成的。感知层借助传感器以及各类监测设备来实时且细致地采集水电站的运行相关数据,像机组的具体状态、水流的各项参数以及环境方面的诸多信息等等,以此来保证所采集数据能够做到极为全面并且高度准确。网络层的主要职责在于将经由感知层采集而来的海量数据凭借稳定且高速的通信网络顺利传输到专门的数据处理中心,进而切实保障这些数据能够实现实时的传输以及高效的流通运转。数据层重点负责数据的存储、管理以及初步的处理工作,通过运用大数据平台以及云计算技术,达成对海量数据进行高效存储以及快速检索的目的,同时也为后续的分析环节筑牢了坚实的基础^[1]。应用层依托先进的算法以及人工智能技术,针对数据展开深入且细致的分析与挖掘操作,以此来支撑起诸如智能决策、故障预测、能效优化以及运行调度等一系列功能的实现,从而进一步提升水电站在自动化以及智能化方面的整体水平。

2.2 数据采集与传感技术

数据采集以及传感技术在智能化运行系统里属于极为关键的基础环节,它直接对系统感知水电站运行状态的能力以及数据质量起到决定性作用。布置各类高精度传感器,像压力传感器、温度传感器、流量计还有振动传感器等等,系统可实时监测机组设备的运行参数、水流变化情况、环境条件以及设备健康状况。这些传感器一般都拥有高灵敏度、稳定性以及抗干扰能力,能够在复杂工业环境下长时间可靠地开展工作。采集所得的数据不但包含传统物理量,而且涉及图像、声波等多种形式的信息,能够满足从多个维度、多个角度展开监控的需求。现代传感技术还融入了无线传输以及低功耗设计,这便让数据采集变得更为灵活且高效,减少了对现场布线及维护的依赖程度。与此传感设备朝着智能化方向发展,使得部分数据预处理以及异常检测能够在采集端就完成,从而减轻了数据传输以及后端处理方面的压力。

2.3 数据传输与存储技术

数据传输与存储技术在智能化运行系统里属于极为关键的环节,其主要负责把所采集来的大量数据有效地且稳定地传送到后台系统,并且要妥善地予以存储。要契合水电站那种复杂环境下数据传输的需求,系统往往会采用多种通信技术相互融合的方式来达成目的,像有线网络、无线传感网络还有光纤通信等等,以此来确保数据传输具备实时性以及可靠性这两方面的特性。与此对于传输进程当中有可能会出现的干扰状况以及数据丢失的问题,会运用数据校验、纠错以及冗余备份等技术手段,进而提升传输工作的准确性与稳定性。在数据存储这个层面上,系统

把本地数据库和云端存储技术相互结合起来,去构建起一种分布式且呈多层次分布的存储架构,如此一来既能保障数据能够实现快速的访问以及高效的处理能力,又能达成数据安全备份以及灾难恢复的目标^[2]。将大容量且性能出色的存储设备同智能化的数据管理系统相互配合起来,可对结构化以及非结构化数据的存储需求给予支持,从而满足那种复杂多样化的数据格式以及各类不同的访问方式。

2.4 数据处理与分析技术

数据处理与分析技术作为智能化运行系统的关键部分,负责针对所采集的大量运行数据展开清洗、转换、融合以及深入挖掘等工作,进而从中提取出有实际价值的信息与规律。该技术运用较为先进的数据预处理手段来清除噪声以及异常值,以此确保数据的质量,而且依靠多源数据融合技术把来自不同传感器以及系统的数据加以整合,达成数据的统一管理以及协同分析的目的。凭借大数据分析平台以及分布式计算框架,系统可以高效地处理海量数据,为实时和离线分析提供支持。借助应用统计分析、机器学习、模式识别以及人工智能算法,系统可实现对设备状态的精准诊断、故障预测以及运行优化。

2.5 智能决策与控制技术

智能决策与控制技术属于智能化运行系统里的关键构成部分,其主要承担着依据数据分析所得到的结果以及实时监测获取的信息,自动地去制定出运行策略并且落实精准控制的任务,从而达成水电站设备能够高效、安全且稳定运行的目的。此项技术借助引入人工智能、专家系统还有优化算法,可针对复杂的运行环境以及多变的工况展开动态建模以及实时决策操作,能够迅速对突发事件和异常状况做出响应。智能决策系统把历史数据与实时数据相结合起来,凭借机器学习模型来预测设备性能以及潜在故障,进而制定出科学合理的维护以及调度方案,并且在此过程中还会对能量输出以及资源配置加以优化。在控制这个层面上,系统依靠自动化控制器以及执行机构,对水轮机、发电机以及辅助设备达成精确的调节效果,以此保证设备参数始终维持在最优的范围之内,从而促使运行效率得以提升,设备寿命也能获得延长。

3 关键技术研究

3.1 物联网技术在水电站中的应用

物联网技术在水电站的应用,使得设备的互联互通以及智能管理水平得到了大幅度的提升。通过安装各式各样的传感器以及智能终端,物联网达成了对水电站关键设备还有环境参数展开实时监测的目标,其中涵盖了水位、水流、温度、压力、电流等诸多维度数据的采集工作。凭借无线通信技术,这些所采集到的数据可以迅速地传送到中央控制系统或者云平台,进而实现远程监控以及集中管理的功能。物联网一方面提升了数据采集的准确性与及时性,另一方面还能够对设备状态予以实时诊断,并且发出异常预警,切实有效地降低了设备出现故障的风险^[3]。除此之

外,物联网技术推动了自动化运维以及智能调度的实现,让水电站能够依据实时数据自动地去调整运行参数,以此来优化发电效率以及资源的利用情况。

3.2 大数据处理与实时分析技术

大数据处理以及实时分析技术在水电站智能化运行方面占据着极为关键的地位。它可高效地处理来自诸多传感器以及设备所形成的数量庞大且类型多样的数据,以此来保证系统能够对运行状态予以即时的感知,并且能够做出快速的响应。该技术借助分布式计算与存储架构,达成对海量数据的高速采集、清洗、存储以及管理,进而保障数据具备完整性以及一致性。依靠实时分析技术,系统能够针对数据流展开在线处理操作,快速地识别出设备出现的异常情况、环境发生的变动以及潜在存在的风险,从而为动态决策以及自动化控制给予有力支撑。除此之外,凭借先进的机器学习以及数据挖掘算法,大数据处理技术可以从历史数据当中提炼出规律,进而实现对故障的预测、性能的优化以及能效的提升。

3.3 机器学习与故障预测技术

机器学习以及故障预测技术于水电站智能化运行方面有着颇为关键的作用。其借助对海量历史运行数据以及实时监测数据展开详尽剖析的方式,可自动辨别出设备运行所遵循的规律以及潜在存在的异常模式,进而达成早期故障预警以及精准诊断的目的。运用监督学习、无监督学习还有深度学习等多种多样的算法,机器学习技术能够搭建起高效的故障预测模型,以此来精准捕捉设备状态出现的细微变动,识别出故障信号,提高预测所具有的准确性以及可靠性。经过对设备运行所处的环境状况、负荷发生的变化以及历史故障数据加以综合性的分析,该系统便能完成对设备健康状况的动态化评估工作,提前对可能出现的故障风险做出预判,引导运维人员展开具有针对性的检修与维护操作,以此降低因突发故障而致使的停机时长以及由此产生的经济损失。

3.4 云计算与边缘计算的集成应用

云计算和边缘计算的集成运用在水电站智能化运行体系里有着极为重要的意义。把这两者的优势结合起来,便能够达成数据处理所具备的高效性以及实时性。云计算凭借着其颇为强大的计算能力,还有海量的存储资源,可以针对水电站各类设备以及传感器所产生的大规模数据展开集中化的管理操作,进行较为深入的分析,并且能够实现长期的存储,以此来为智能决策给予稳固可靠的数据方面的有力支撑。而边缘计算会把部分数据处理的任务下放到距离数据源比较近的边缘设备那里,进而实现对关键数据的快速响应以及在本地的实时处理,如此一来便降低了数据传输时出现的延迟情况,同时也缓解了带宽方面所面临的压力。这两者协同起来加以运用,一方面提升了系统的处理效率,另一方面也加快了系统的响应速度,而且还强化了系统的稳定性以及安全性^[4]。在发生突发事件或者出现网络异常的情形之下,边缘计算能够确保关键控制以及监测功能可以持续不断地

正常运行,从而保障水电站能够安全地开展生产活动。

3.5 网络安全与数据保护技术

网络安全以及数据保护技术对于水电站智能化运行系统的稳定且安全地运行而言,属于极为关键的一个环节。伴随大数据、物联网还有云计算技术得到广泛的应用,水电站所面临的网络攻击以及数据泄露的风险呈现出日益复杂的态势。要想保证系统当中数量众多的敏感数据以及控制指令能够实现安全的传输与存储,那就得采取有着多个层次、多个维度的安全防护举措,像身份认证、访问控制、数据加密、入侵检测以及防火墙技术等等都包含在内。与此还需建立起完善的安全生产管理体系以及应急响应机制,以便能够及时地察觉到各种各样的网络威胁以及攻击事件,并且给予妥善的应对,进而防止出现系统瘫痪或者数据被篡改的情况。数据保护不单单涉及到对数据的机密性、完整性以及可用性的保障方面,而且还涵盖了备份与恢复策略,以此来确保关键数据在发生意外状况的时候可以快速地恢复过来,从而把损失减少到最低限度。

4 结语

大数据技术一直在不断发展并得到广泛应用,在这样的背景下,构建水电站智能化运行系统已然成为提升水电站管理水平以及运行效率的一条重要路径。该系统把物联网、云计算、机器学习等诸多先进技术加以整合,如此一来,其不但可以达成对设备运行状态进行实时监测以及精准分析的目的,而且能够较为有效地预测可能出现的潜在故障,进而提升安全保障方面的能力以及资源利用的效率。在往后的日子里,伴随技术不断趋向成熟并且逐步普及开来,由大数据所驱动的智能运行系统会在水电站运营管理当中起到越发关键的作用,推动水电行业朝着智能、高效、绿色这样的方向不断地向前发展,从而为能源领域的可持续发展增添更多的助力。

[参考文献]

- [1]戴蕾.智能化水电站发展前景浅析[Z]//中国水力发电工程学会自动化专业委员会.中国水力发电工程学会自动化专委会 2022 年年会暨全国水电厂智能化应用学术交流会会议论文集.南瑞集团(国网电力科学研究院)有限公司,2022:380-382.
 - [2]王仲.基于大数据技术的水电站运行管理分析[J].信息记录材料,2019,20(12):153-155.
 - [3]陈敏,刘卫国,徐勇晖.智能化技术在水电站中的应用研究[J].电子元器件与信息技术,2024,8(6):88-89.
 - [4]马月姣,刘永珺,胡丰,等.智能化水电站技术应用[J].科学技术创新,2020(28):99-100.
- 作者简介:禄通(1997.6—),男,毕业院校:甘肃钢铁职业技术学院,所学专业:电气自动化,当前就单位:大唐甘肃发电有限公司碧口水电厂,职务:运行值班员。职称级别:助理工程师。

数字孪生技术在水利工程运行管理中的分析与探索

陈剑¹ 冷渊²

1 镇江高新区蒋乔街道办事处, 江苏 镇江 212000

2 江苏河海建设有限公司, 江苏 镇江 212000

[摘要]数字孪生技术是物理世界和虚拟空间深度融合的重要纽带,它正在对水利工程的运行管理模式产生深远影响。它的关键之处在于给物理工程打造出一个能够动态呈现的虚拟映射,依靠实时数据来驱动,并且借助多维度模型进行仿真操作,以此达成对工程状态的全方位感知、对运行过程的精准推算、对管理决策的智能优化以及对风险态势的提前预警。文章全面阐述了数字孪生技术在提高水利工程实时监测能力、智能决策水平、预测性维护效果以及全生命周期管理效能方面的重大意义;细致探究了其在运行维护体系、流域水情监测、水资源管理以及生态保护等核心领域所具备的研究价值;精心构想出了系统的整体框架,着重分析了虚拟体构建、数据流转、模型集成以及仿真控制等关键环节的具体设计路径以及相应的支撑技术。

[关键词]数字孪生; 水利工程; 运行管理

DOI: 10.33142/hst.v8i6.16905

中图分类号: TV697

文献标识码: A

Analysis and Exploration on Digital Twin Technology in the Operation and Management of Water Conservancy Projects

CHEN Jian¹, LENG Yuan²

1. Jiangqiao Street Office, Zhenjiang High tech Zone, Zhenjiang, Jiangsu, 212000, China

2. Jiangsu Hehai Jianshe Co., Ltd., Zhenjiang, Jiangsu, 212000, China

Abstract: Digital twin technology is an important link for the deep integration of the physical world and virtual space, and it is having a profound impact on the operation and management mode of water conservancy projects. Its key lies in creating a dynamic virtual mapping for physical engineering, driven by real-time data, and utilizing multi-dimensional models for simulation operations, in order to achieve comprehensive perception of the engineering status, accurate calculation of the operating process, intelligent optimization of management decisions, and early warning of risk situations. The article comprehensively elaborates on the significant importance of digital twin technology in improving the real-time monitoring capability, intelligent decision-making level, predictive maintenance effectiveness, and full lifecycle management efficiency of water conservancy projects; Thoroughly explored its research value in core areas such as operation and maintenance system, watershed water situation monitoring, water resource management, and ecological protection; The overall framework of the system was carefully conceived, with a focus on analyzing the specific design paths and corresponding supporting technologies for key links such as virtual body construction, data flow, model integration, and simulation control.

Keywords: digital twin; water conservancy engineering; operation management

水利工程属于国家水资源调控、防洪减灾、供水保障以及生态修复方面的核心基础设施,其能否安全、高效且智能地运行,与国计民生紧密相关。传统运行管理模式大多依靠有限监测点所获取的信息以及凭借经验来做决策,在状态感知的全面程度、风险预警的及时程度、资源配置的精准程度以及管理决策的科学程度等方面都面临着诸多严峻挑战。物联网、大数据、人工智能以及建模仿真等数字技术发展十分迅速,这为解决上述难题开辟了全新的途径。数字孪生技术,借助构建物理实体于虚拟空间中的动态且高保真的映射,并且依靠实时数据驱动来达成虚实之间的交互、迭代优化以及智能决策,正在逐步成为推动水利工程运行管理方式发生变革的关键核心力量。

1 数字孪生技术在水利工程运行管理中的重要性

1.1 实现工程状态实时感知与可视化

数字孪生体与物联网感知网络所获取的海量、多源且

实时的数据实现了深度融合,由此突破了传统监测手段在空间覆盖范围、时间密度以及信息维度方面存在的种种局限。它将坝体应力应变情况、库区水位流量状况、闸门启闭的具体状态、机电设备的工况、库岸地质位移情况以及水质参数等诸多方面的多维信息加以整合,进而于虚拟空间当中构建起工程全要素、全场景并且全时域的动态镜像。管理者能够凭借高度可视化的孪生界面,较为直观地洞悉工程整体的运行态势,精准地定位出局部出现异常的区域,达成从宏观全景至微观细节的无缝穿透式监控,彻底转变以往那种依赖报表与图表形成的抽象认知模式。

1.2 赋能运行决策智能化与精准化

基于实时数据驱动构建起来的数字孪生体,有着颇为强大的模拟推演以及预测分析方面的实力。其能够将水力学、结构力学、水文学等多个学科领域的机理模型加以集成,同时还会融合像机器学习、深度学习这类数据驱动算

法,进而于虚拟环境当中针对复杂的运行工况展开高保真的仿真操作。就好比说,在开展防洪调度相关工作的时候,它便可以极为迅速地去模拟在不同降雨情形之下、不同泄洪方案之中的库区水位状况、下游河道的演进情况以及风险所可能产生的影响范围;而在水资源调配方面,它同样能够精准地去预测在不同调度策略作用之下所呈现出的供需平衡状况以及生态流量保障的效果。这样一种“先进行试验再付诸行动”的虚拟推演的能力,能够为管理者给予科学且量化的决策方面的依据,进而使得调度方案在精准性、预见性以及抗风险能力等方面都获得较为显著的提升。

1.3 驱动管理模式向预测性、主动性转变

传统水利工程在维护方面,大多采用定期检修或者在出现问题之后才进行应急处理这样的模式,如此一来,其效率就会比较低,并且处于一种较为被动的状态。而数字孪生技术不一样,它会持续去分析运行数据以及模型仿真的结果,凭借这种方式,能够很好地识别出设备性能出现退化的趋势、结构损伤演化的规律,还有那些潜在的风险隐患^[1]。再结合故障预测以及健康管理方面的相关理论,就能够达成对关键设备剩余使用寿命做出精准预测的目标,同时还能对结构安全状态展开动态的评估,并且对于突发险情可以实现早期的预警功能。

1.4 提升工程全生命周期管理效能

数字孪生体全程伴随水利工程,从规划设计环节开始,一直到施工建造阶段,再到长期的运行维护时期,直至最终的退役阶段。在设计阶段的时候,能够借助它来开展虚拟验证方面的相关工作,进而对设计参数加以优化。到了施工阶段,它可以用来监控工程的进度以及质量情况,并且还能和 BIM 模型相互结合起来。而在运行阶段,所积累起来的海量数据会和模型一同持续地进行迭代优化操作,这为后续可能开展的改扩建工作以及性能提升事宜提供了极为宝贵的历史依据,同时也搭建起了相应的仿真平台^[2]。这样一种贯穿于整个过程始终的数字连续性特点,切实保证了工程信息资产能够得以完整地进行积累,并且可以实现高效的复用,还成功打通了工程各个阶段之间存在的信息壁垒,从而大幅度提升了工程在规划、设计、施工以及运维等方面一体化协同管理的整体效能以及可持续发展的能力。

2 数字孪生技术在水利工程运行管理中的研究方向

2.1 助力运行管理和工程维护体系建设

一项水利工程可能兼有防洪度汛、发电供电、农田灌溉、城镇供水和改善环境等多方面的作用,具有很强的综合性,各水利工程对水资源的要求不同,相互配合又彼此影响。水利工程运行管理单位针对水利工程自身运行特性,在数字孪生虚拟体中模拟各项工作任务的任务的进程,通过分析模拟运行数据,及时掌握运行中的各种情况,发现工程运行缺陷和问题。同时,结合外界环境变化,对运行管理及时有效地调整,实时监测水利工程运行安全,实现水利工程的智能化运行。

数字孪生技术在水利设施设备维修养护工作中,通过采集实时监测数据、数字孪生数据,并以历史数据为依据、以数字模型为架构对水利设施设备进行分析,制定合理的解决方案,这样既能提高养护水平,又能大大提高工作效率,通过信息数据对缺陷和故障做出快速反应,减少水利工程运行管理部门的人力、物力、财力投入,使水库运行实现维修养护专业化、高效化管理,实现水利工程的安全稳定运行^[3]。

2.2 为建设流域水情监测体系提供支持

数字孪生构成了构建智慧流域的关键基础。在研究方面,需要将关注点集中于如下方面:着手构建起流域级别的空天地一体化立体感知网络,并且建立起数据高效融合的相关机制,以此来给孪生体给予全方位的、涉及所有要素的、具备高时空分辨率的水情数据方面的有力支撑;着力研发那种能够实现多尺度水文水动力耦合的高精度仿真模型,达成从单一工程一直到整个流域范围内的水文过程、洪水演进情况以及水资源在时空分布上的精准模拟与预测效果;深入探索依托孪生体所开展的雨洪资源联合调度相关事宜、针对旱情的动态评估以及相应的应对措施、水生态过程的模拟等方面的应用情况,从而进一步提升对流域进行统筹管理的能力。

2.3 提升水利工程运行中水资源科学管理水平

数字孪生给水资源的精细化管理工作带来了十分有力的工具。着重去研究构建这样一个平台,那就是水资源配置以及调度方面的数字孪生仿真优化平台,这个平台能够对多水源、多用户还有多目标情况下的复杂决策模拟给予支持。同时还要去开发那种基于孪生体的取用水实时监控技术,还有用水效率的动态评估技术以及能够生成优化建议的技术。要研究把气象预报、需水预测以及工程状态融合起来的水资源供需平衡智能预警与自适应调度方法。还要去探索像水权交易、生态补偿这类机制在孪生环境里该如何进行模拟评估以及获得相应的支持。

2.4 推动水资源保护和生态区建设

将生态环境保护目标融入水利工程运行的数字孪生体系。研究内容涉及构建河流生态系统响应模型,模拟不同调度方案对生态要素的影响,开发生态流量实时监控、保障效果评估与优化技术,研究工程运行与区域水环境质量、水土保持的协同模拟与调控方法,探索生态修复工程规划、效果模拟与后评估应用。

3 数字孪生技术在水利工程运行管理中的具体设计

3.1 整体构想

水利工程数字孪生系统的感知层依靠智能传感器、无人机、遥感卫星等,采集物理世界数据,传输层用物联网等技术构建数据传输网络,数据与模型层是核心,应用服务层开发核心应用模块,交互反馈层反馈结果给物理工程实体。

3.2 仿真控制

要设计能够支持多物理场耦合的仿真引擎,此引擎得

能高效地去求解那些像水动力、结构力学、渗流以及水质等相互之间有作用的复杂问题。要达成多时间尺度仿真的实现,以满足从设备瞬态响应的秒级情况一直到年际尺度水文情势变化分析这样不同层面的需求。还要构建起实时或者超实时的仿真能力,在一些关键决策支持的场景当中,得在物理过程尚未发生之前就把仿真的推演给完成了。要去开发用于仿真流程自动化的管理工具,以此来支持对仿真场景的快速配置操作,还有任务的调度安排、参数的管理工作以及对结果展开分析等工作。在仿真过程中,要始终和物理实体保持着极为紧密的数据驱动以及交互控制关联,依据实时数据来动态地修正模型的各项参数以及边界条件,并且要把仿真所输出的优化方面的建议或者是控制指令切实作用到物理系统的执行机构之上。

3.3 水利工程数字孪生系统设计思路

3.3.1 数字孪生虚拟体体系方案设计

虚拟体乃是物理工程于数字空间所对应的等价映射形态。其设计应当涵盖如下方面:要包含高精度的几何模型,借助 GIS、BIM 以及倾斜摄影测量等相关技术来构建工程以及环境方面从毫米级直至公里级跨度的多尺度三维可视化模型;还需有集成多物理场机理模型,将水力学、水文学、结构力学、土力学、材料科学等诸多领域中的数学模型加以整合,以此精准描绘水流运动、结构响应、渗流稳定等一系列物理过程;另外行为模型与规则模型也是必要的,通过它来定义工程设备的操作逻辑、调度规则、安全阈值以及管理规程等运行方面的诸多约束条件,同时也规定智能体的行为方式;最后还有数据驱动模型,运用机器学习、深度学习等手段,从历史数据以及实时数据当中去挖掘运行规律,进而构建设备性能退化预测、异常检测等各类模型。

3.3.2 水利工程数字孪生数据采集与传输设计

数据对于孪生体而言,就好比是其血液一般的存在。在采集端的设计方面,务必要做到能够涵盖诸多不同类型的数据,像结构安全监测方面的数据、机电设备状态相关的数据、水文水情方面的数据、环境数据以及管理业务方面的数据等,都要涉及在内,并且要着重去关注传感器的智能化特性、朝着微型化方向的发展情况、低功耗的要求以及在部署时所具备的高可靠性。而在传输层的设计环节当中,则需要着力去解决一些关键问题,比如异构网络的融合难题、海量数据要实现高效的传输、保证低时延且高可靠的通信、数据传输过程中的安全防护等等。并且要着手去构建一个统一的数据接入平台,以此来达成多源异构数据能够实现标准化的接入操作、完成数据的清洗处理工作、实现数据的融合整合以及做好数据的存储管理工作。

3.3.3 水利工程数字孪生模型设计

模型设计在构建高保真虚拟体方面占据着极为重要的位置,其框架应当具备模块化、层次化以及可扩展等特性。其中,模型融合无疑是一项十分关键的挑战,具体而言,要达成机理模型与数据驱动模型的融合,借助物理规

律来对数据模型加以约束,并且运用数据模型去修正机理模型的参数或者弥补该模型存在的不足之处;还要实现多尺度模型的耦合,比如把宏观层面的流域水文模型和微观层面的工程水力学模型紧密且无碍地衔接起来;得实现多时间尺度模型的协同,以此来契合不同分析任务的各项需求^[4]。并且,模型校核、验证以及确认这一系列的过程务必要贯穿于模型的整个生命周期当中,要充分利用历史数据以及实时数据不断地对模型参数进行校准,以此来验证模型预测的精度,最终确认模型针对特定应用场景所具有的适用性。

3.4 水利工程数字孪生系统相关技术

实现上述设计构思,离不开一系列关键技术作为支撑:物联网以及智能感知技术能够为数据源头带来源源不断的活水;多源异构数据融合技术可消除信息孤岛现象;多物理场耦合建模仿真技术是虚拟体高保真度得以实现的基础所在;人工智能和大数据分析技术赋予了智能诊断、预测以及决策的能力;高性能计算与云计算技术可保障复杂模型得以高效求解,并且能够处理海量数据;可视化与人机交互技术能够提供直观且高效的监控以及操作界面;边缘计算技术实现了数据的就近处理,从而降低了传输时延以及带宽压力;信息安全技术则可保障系统以及数据的安全与可靠性。

4 结语

数字孪生技术构建起水利工程物理实体和虚拟模型之间深度交互且能持续迭代的融合体系,这给破解传统运行管理于状态感知、风险预判、决策优化以及模式创新等方面所存在的瓶颈带来了极具革命性的解决办法。它的核心价值体现在把工程运行状态变得全息透明化了,让管理决策过程走向科学智能化,并且使得维护策略达成预测主动化,这些都贯穿于提升工程全生命周期的管理效能当中。系统设计的重点在于构建高保真、多维度并且能够动态演化的虚拟体体系,要打通实时且精准的数据采集传输链路,达成多维多尺度模型的深度融合以及高效的仿真效果,同时还要集成应用物联网、大数据、人工智能以及云计算等一系列前沿技术。虽说在模型精度、数据质量、标准规范以及系统集成等方面依然面临着诸多挑战,不过数字孪生技术毫无疑问是水利工程运行管理朝着数字化、网络化以及智能化转型升级的必然走向和核心推动因素。

[参考文献]

- [1]冯海军.数字孪生技术与智慧水利建设探究[J].科技与创新,2024(24):95-101.
- [2]夏红明,张国文,喻未.数字孪生技术在泵站运行管理中的应用[J].南昌工程学院学报,2025,44(1):21-26.
- [3]徐文浩.数字孪生技术在调水工程建设与管理中的应用研究[J].工程技术研究,2025,10(6):124-126.
- [4]李远强.数字赋能河湖长制的实现路径与对策[J].广西水利水电,2025(2):94-100.

作者简介:陈剑(1988.11—),男,本科,汉族,专业:建筑环境与设备工程。

火力发电厂锅炉燃烧效率提升控制策略

王志春

江西赣能股份有限公司丰城发电厂, 江西 宜春 331100

[摘要]为解决火力发电厂锅炉燃烧环节燃料利用率欠佳、能耗居高不下的难题,借助智能控制系统搭建实时监测与动态调控架构,精准优化空燃配比以强化燃烧效能,同时,构建精细化燃料质量管理体系,科学掺配多元煤种稳定热值输出,并运用大数据分析技术对核心运行参数实施预测性反馈控制,保障锅炉运行的高效性与稳定性,实践表明,该方案显著降低煤耗与污染物排放,提升机组经济性能与环境适应性,为火电行业绿色低碳转型提供技术路径。

[关键词]锅炉燃烧效率;智能控制系统;空气配比优化;燃料管理;大数据调控

DOI: 10.33142/hst.v8i6.16903

中图分类号: TM62

文献标识码: A

Control Strategy for Improving Combustion Efficiency of Boilers in Thermal Power Plants

WANG Zhichun

Fengcheng Power Plant of Jiangxi Ganneng Co., Ltd., Yichun, Jiangxi, 331100, China

Abstract: In order to solve the problem of poor fuel utilization and high energy consumption in the combustion process of boilers in thermal power plants, a real-time monitoring and dynamic control architecture is built with the help of intelligent control systems to accurately optimize the air-fuel ratio to enhance combustion efficiency. At the same time, a refined fuel quality management system is constructed to scientifically mix multiple types of coal to stabilize the calorific value output. Big data analysis technology is used to implement predictive feedback control on core operating parameters to ensure the high efficiency and stability of boiler operation. Practice has shown that this solution significantly reduces coal consumption and pollutant emissions, improves the economic performance and environmental adaptability of the unit, and provides a technical path for the green and low-carbon transformation of the thermal power industry.

Keywords: boiler combustion efficiency; intelligent control system; optimization of air ratio; fuel management; big data regulation

引言

在“双碳”战略深入推进的背景下,火力发电厂既要确保电力稳定供应,又需应对节能减排与效率提升的双重挑战,锅炉作为火电生产的核心设备,其燃烧效率直接关联煤耗指标与污染物排放水平,当前,部分火电机组存在燃烧控制模式粗放、能源损耗显著等问题,制约行业可持续发展,通过技术创新优化锅炉燃烧过程,提升能源利用效率,已成为火电企业实现绿色转型的关键着力点。

1 燃烧控制系统的智能化改造策略

1.1 传统燃烧控制系统的局限性

当前火电厂锅炉燃烧控制以 DCS 分散控制系统为主,其核心依赖固定控制模型与人工经验设定参数,在复杂工况下的调节能力显著受限,当机组面临负荷频繁波动或煤质显著变化时,传统控制方式因缺乏动态响应机制,难以实时优化燃烧状态,常导致燃料不完全燃烧、排烟热损失增加等问题,直接引发煤耗上升与污染物排放超标。

此外,DCS 系统的数据处理能力局限于单维度控制逻辑,无法建立炉膛燃烧状态、风煤配比、烟气参数等多变量间的动态关联模型,由于缺乏前瞻性调节能力,系统只能在燃烧异常后被动调整,导致锅炉运行效率长期处于非最优区间,难以满足“双碳”目标下的精细化控制需求。

1.2 智能控制技术提升燃烧效率的路径

随着人工智能与工业大数据技术的发展,神经网络控制、自适应控制等智能算法逐步应用于锅炉燃烧系统,此类技术通过对历史运行数据的深度挖掘,结合实时传感器反馈信息,构建多变量动态预测模型,实现对炉膛温度场、燃烧效率、负荷变化的精准辨识与动态调控,即使在煤种多变、工况复杂的场景下,智能系统仍能自动优化运行策略,维持锅炉高效稳定燃烧。

智能控制系统的核心优势体现在多维数据融合与动态优化能力:通过整合烟气成分、氧含量、炉膛热力分布等实时数据,借助大数据分析与预测算法,精准调节风煤比、给煤量、燃烧器摆角等关键参数,其自适应调节特性可快速响应燃料品质波动与负荷变化,减少人工干预频次,实现“低扰动、稳燃烧、高效率”的控制目标,为火电锅炉智能化升级提供核心技术支撑。

1.3 智能燃烧系统的实际应用成效分析

某 600MW 火电机组投用智能燃烧优化系统后,在节能降耗与环保减排领域成效斐然,运行监测数据显示,锅炉平均热效率提升 1.2%,单位发电量煤耗降低 3.5g/kWh,按年度运行时长计算,可节省标煤约 5000t,减少二氧化碳排放量超 1 万 t,系统通过实时采集燃烧器运行参数、

烟气氧含量、炉膛温度场等多维数据,经智能算法分析后动态调整燃烧策略,有效改善了燃烧均匀度,增强火焰稳定性,优化燃烧区域热负荷分布,显著降低了机组整体运行成本。

该智能系统在复杂工况适应性上表现突出,能够针对煤质变化、负荷波动等动态因素,自动优化燃烧参数配置,大幅减少人工干预次数,规避人为操作导致的效率损耗,凭借快速的响应机制与精准的控制能力,系统在确保机组安全运行的同时,持续维持锅炉高效运转,实际应用表明,智能化燃烧控制技术已成为提升火电机组性能与经济效益的核心驱动力,具备良好的技术普适性与推广价值。

2 燃料质量管理与进煤控制优化策略

2.1 煤种理化性质对燃烧效率的影响

煤炭的理化特性是决定锅炉燃烧效率的关键因素,其中热值、挥发分和灰分三项指标影响最为显著,高热值煤炭蕴含更高能量,有助于提升锅炉整体热效率;高挥发分煤种易燃且着火温度低,能够促进火焰稳定形成与均匀扩散;而高灰粉煤燃烧后产生的大量炉渣,易附着在锅炉受热面,降低热量传递效率,甚至引发受热面结渣、腐蚀等问题,威胁锅炉长期稳定运行。

在多煤种掺烧或煤质频繁波动的工况下,燃料特性的不确定性会导致火焰形态改变,影响燃烧器喷口火焰稳定性,严重时可能引发灭火、结焦或污染物超标等安全隐患,因此,精准测定各煤种热值、挥发分、灰分等参数,科学设计掺配方案,实现燃料特性与锅炉燃烧系统的良好适配,是提升燃烧效率、保障机组稳定运行的重要基础。

2.2 煤质在线监测与精准配煤技术的运用

传统煤质检测依赖人工采样与实验室化验,存在检测周期长、效率低等弊端,其滞后性导致检测结果无法及时反映进煤真实情况,在煤质频繁波动或多煤源掺烧场景下,这种检测方式极易引发燃烧控制失准,进而影响锅炉热效率与运行安全性。随着现代燃烧系统对燃料品质实时把控需求的提升,亟需更为高效精准的检测技术。

煤质在线监测系统借助高精度传感器与数据分析模块,可对煤炭热值、水分、灰分、硫分等核心指标进行实时监测,该系统能持续追踪进煤品质动态变化,一旦出现异常即刻反馈信息,为操作人员决策及燃烧控制系统调节提供即时数据支撑,有效避免因煤质突变导致的燃烧不稳定、污染物排放超标的问题。

基于在线监测获取的实时数据,精准配煤技术通过构建煤种热值预测模型与燃烧适配算法,并结合锅炉实时负荷、炉膛温度、烟气氧含量等运行参数,智能生成最优配煤方案,该技术摒弃传统经验判断模式,实现从“事后补救”到“实时预测优化”的转变,显著增强燃烧系统稳定性与能源利用效率,为锅炉运行向数字化、智能化转型筑牢技术根基。

2.3 “精细掺配+实时调控”模式优化燃烧过程

“精细掺配+实时调控”模式作为融合燃料管理与运行控制的创新策略,通过科学调配不同煤种,实现混煤热值、挥发分等参数的稳定控制,有效缓解煤质波动对燃烧稳定性的影响,这种精细化掺配方式能够增强燃料与锅炉的适配程度,优化火焰中心位置,提升着火稳定性,从根源上保障燃烧过程的连续性与可靠性,成为提升燃烧效率的基础保障。

在此基础上构建的实时调控机制,依托锅炉运行监测系统与智能控制平台,对煤质特性、负荷变化、炉膛温度、烟气含氧量等数据进行实时解析,进而动态调整给煤量、配风量及燃烧器角度,形成闭环优化控制体系,实际应用表明,该模式显著降低了结渣、结焦等异常工况发生率,提高煤炭燃尽程度,延长设备检修周期,有效提升火电机组整体运行效率与经济效益,为实现高效、稳定、低耗的生产目标提供有力支撑。

3 空气配比与燃烧风系统优化调控

3.1 空气过量系数对燃烧效率的影响机理

空气过量系数作为表征锅炉实际供氧量与燃料理论需氧量比值的核心参数,直接决定燃烧过程的充分性与系统热效率,当该系数处于较高水平时,尽管能够确保燃料完全燃烧,但过多的空气会吸收大量燃烧热能并随烟气排出,显著增加排烟热损失,导致锅炉热效率降低;反之,若空气供给不足,燃料无法获得充足氧气进行完全燃烧,将产生大量一氧化碳等可燃气体,不仅降低燃烧效率,还可能引发烟气黑度超标与污染物排放增加等问题。

对于煤粉炉,在稳定负荷工况下,将空气过量系数控制在1.1~1.3区间内,既能实现燃料充分燃烧,又可平衡能效与环保要求,系数控制失准将带来双重风险:过高会造成能源浪费,过低则威胁运行安全并加剧环境压力,通过优化燃烧控制策略,实现空气过量系数的精确调节,能够有效降低飞灰含碳量,减少腐蚀性气体生成,对提升锅炉运行经济性与稳定性、推进高效清洁燃烧具有关键作用。

3.2 各级燃烧风的作用与优化分配

锅炉燃烧风系统通常包含一次风、二次风和三次风(若配置),不同风级在燃烧过程中承担差异化功能,一次风的核心作用是输送煤粉至炉膛,并为初始燃烧提供部分氧气,其风速与风量直接影响煤粉分散度及着火稳定性;二次风则在燃烧主阶段介入,通过补充氧气和调控火焰形态,维持燃烧区域温度场均匀性;三次风(若存在)一般用于强化烟气混合或在特定区域助推燃烧。

科学分配各级风量比例是燃烧优化的关键环节,对火焰中心定位、结渣控制及 NO_x 减排具有显著影响,以典型煤粉炉为例,一次风量通常占总风量的30%~35%,二次风占比60%~65%,三次风占比则根据实际需求微量配置,风量分配需动态适配煤种挥发分、灰分特性及负荷波动,

如表 1 所示。

表 1 风类占比范围 (%)

风类	占比范围 (%)	主要作用
一次风	30~35	输送煤粉、初始助燃
二次风	60~65	维持火焰形态、补充氧气
三次风 (有时)	<5	控制局部燃烧、辅助 NO _x 控制

3.3 风机调速与氧量反馈调节优化风煤比

传统锅炉风量调节采用手动风门控制或风机定频运行模式,存在响应迟缓、调节粗放的弊端,难以适应负荷变化与煤质波动,常造成风煤配比失衡,影响燃烧效率与系统稳定性,应用风机变频调速技术后,系统可依据实时负荷自动调整风量,大幅提升调节灵敏度与精准度,同时降低风机运行能耗,减少无效能源损耗。

在此基础上,通过整合烟气氧含量实时监测数据,构建风煤比闭环反馈控制系统,一旦检测到氧含量偏离设定阈值,系统立即分析偏差原因并动态调节送风量,确保燃烧过程始终处于最佳供氧量状态,实际运行数据显示,该技术组合可使锅炉热效率提升 1%以上,氮氧化物排放量降低约 15%,有效实现燃烧优化,兼顾环保效益与经济收益,成为推动锅炉智能化控制的关键技术路径。

4 锅炉运行参数的实时监测与动态调整

4.1 关键运行参数对燃烧效率的影响

锅炉燃烧效率受多种运行参数综合作用,其中炉膛温度、烟气含氧量及锅炉负荷是核心影响因素,炉膛温度直接体现燃烧反应强度,温度偏低易导致燃料不完全燃烧,温度过高则可能引发炉管超温、受热面结渣等问题,维持适宜且稳定的炉膛温度,是保障高效燃烧、延长设备寿命的必要条件。

烟气含氧量作为衡量空气过量系数的关键指标,可直观反映燃烧过程供氧合理性,含氧量过高意味着过量空气带走大量热量,增加排烟热损失;含氧量过低则导致供氧不足,造成不完全燃烧,此外,锅炉负荷变化直接改变燃料与空气需求比例,运行中需及时调整相关参数,避免因调节滞后导致热效率下降或运行工况波动。

4.2 工业互联网与大数据分析助力智能调节

伴随“工业互联网+”技术的深入应用,火力发电厂逐步构建起以智能传感网络、高速通信链路和边缘计算单元为架构的运行监控体系,该体系可对锅炉数百项核心运行参数进行毫秒级高频采集与可视化呈现,为智能决策提供海量数据基础。

依托大数据分析技术,能够建立锅炉运行的多维度数

学模型,挖掘参数间的潜在关联规律,通过融合历史运行数据与实时监测信息,系统可精准预测锅炉运行趋势,并借助自学习算法持续优化控制策略,当检测到负荷快速上升趋势时,系统可提前自主调节给煤量与送风量,有效规避传统控制的响应延迟问题,显著提升控制精度与系统运行稳定性,为锅炉高效燃烧提供数据驱动的决策支持。

4.3 构建“预测—诊断—调控”一体化运行机制

传统锅炉运行管理模式高度依赖人工经验判断,缺乏前瞻性预警与主动调控能力,往往在故障发生或效率下降后才进行被动处置,“预测-诊断-调控”一体化运行机制的引入,彻底革新了这种局面,系统通过对运行参数的时序分析,预判锅炉潜在异常或效率衰退风险。

确诊问题后,调控模块基于优化算法联动控制系统,自动调节给煤量、送风量、燃烧器摆角等关键参数,形成闭环控制回路,实际应用表明,该机制可减少超 20%的人工干预频次,大幅提升锅炉运行稳定性,同步实现能耗降低与响应加速,保障锅炉持续运行于高效热效率区间,成为火电企业智能化转型的重要技术路径。

5 结语

通过对锅炉燃烧全流程的系统性优化,涵盖智能燃烧控制系统升级、燃料精细化管理、空气配比精准调节以及运行参数动态监控等关键环节,能够显著提升火电厂锅炉的燃烧效率,有效降低能源消耗与污染物排放,这些优化策略的实施,不仅强化了锅炉运行的安全可靠,更为火电行业实现节能降碳、绿色发展目标提供了坚实的技术保障,随着智能化技术的持续创新突破,锅炉燃烧控制将向更高精度、更高效率方向迈进,有力推动火电产业的高质量可持续发展。

【参考文献】

- [1]曹昊,高宇,彭彬彬,等.基于余热回收的火力发电厂热力系统节能设计[J].电气时代,2024(12):57-60.
- [2]黄蓬阳.火力发电厂锅炉节能降耗的对策与措施探究[J].科技与创新,2019(16):85-86.
- [3]刘成鹏.火力发电厂锅炉燃烧效率优化策略研究[J].造纸装备及材料,2025,54(2):100-102.
- [4]曹一峰.火力发电厂锅炉节能降耗策略[J].中阿科技论坛(中英文),2021(3):52-54.
- [5]王誉仁.火力发电厂锅炉燃烧效率与环保性能优化措施[J].造纸装备及材料,2025,54(2):97-99.

作者简介:王志春(1992.9—),男,南昌大学,能源与动力工程。

变压器节能与安全运行方式的分析与选择

贾世明

中车株洲电机有限公司, 湖南 衡阳 421200

[摘要]随着电力系统持续朝着高效、智能以及安全的方向推进发展,变压器身为输配电系统里极为关键的设备,对其运行方式进行优化已然成为实现节能降耗并且保障运行安全的一项重要途径。从变压器运行方式的各类分类及其所具备的特性方面着手出发,对不同运行方式给能耗与损耗带来的影响机制展开了一番较为细致的剖析,并且综合考量安全运行当中的诸多关键要素,进而提出了多种多样的优化运行策略。科学合理地选择运行方式,不但能够使能耗得以降低,还能让设备的使用寿命得到延长,而且可切实有效地提高系统的运行稳定性以及安全程度。最终在对多种运行方式加以对比分析的过程当中,明确指出智能化、动态化的管理模式将会是未来变压器运行优化所着重发展的主要方向。

[关键词]变压器运行方式; 节能优化; 安全运行; 能耗分析

DOI: 10.33142/hst.v8i6.16895

中图分类号: TM421

文献标识码: A

Analysis and Selection of Energy-saving and Safe Operation Modes for Transformers

JIA Shiming

CRRC Zhuzhou Electric Machinery Co., Ltd., Hengyang, Hunan, 421200, China

Abstract: With the continuous development of the power system towards high efficiency, intelligence, and safety, transformers, as extremely critical equipment in the transmission and distribution system, optimizing their operation mode has become an important way to achieve energy conservation, reduce consumption, and ensure operational safety. Starting from the various classifications of transformer operation modes and their characteristics, a detailed analysis was conducted on the impact mechanism of different operation modes on energy consumption and losses, and various optimization operation strategies were proposed by comprehensively considering the many key elements in safe operation. Scientifically and reasonably selecting the operating mode can not only reduce energy consumption, but also extend the service life of equipment, and effectively improve the stability and safety of the system operation. In the process of comparing and analyzing multiple operating modes, it is clearly pointed out that intelligent and dynamic management mode will be the main direction for the future optimization of transformer operation.

Keywords: operation mode of transformer; energy-saving optimization; safe operation; energy consumption analysis

引言

随着能源结构不断调整以及电网智能化程度持续提升,变压器在节能方面以及安全运行方面所存在的问题,逐渐受到了越来越多的关注。传统的运行管理模式,已经没法契合当下电力系统对于高效运行、安全运行以及低碳运行这些方面的要求了,迫切需要借助科学合理的运行方式方面的优化举措,达成对能耗以及运行风险这两方面的有效把控。特别是在电网负荷常常出现变化且变化频次较高、用户的需求也呈现出多样化特点这样的大背景之下,怎样依据实际的运行状况去挑选出最为契合的变压器运行模式,这已然成为了提升整体运行效率并且确保系统能够安全稳定运行的关键性研究内容。从运行方式分类、能耗对比以及安全策略等多个不同维度来开展较为系统的相关研究,以此给推动变压器运行优化给予一定的理论层面的参考依据以及实践操作的具体路径。

1 变压器运行方式的分类与特性分析

1.1 常见运行方式类型

变压器的运行方式存在诸多类型,像单台独立运行、

多台并联运行、轮换运行以及分时运行等等。单台运行这种方式比较适合负荷相对较小或者设备冗余度不高的情况,它的运行操作较为简单,管理方面所花费的成本也较低,然而灵活性欠缺一些。并联运行是借助多台变压器一起来承担负载,如此一来,既能提高系统供电的可靠性,又方便在负荷出现波动的时候达成动态负载的均衡状态。轮换运行通常是为了延长设备的使用寿命而采用的一种方式,通过轮流来分配各变压器的运行时间,以此来减少某一变压器因长时间处于高负载运行状态而产生的损耗以及老化的程度。分时运行则是要结合负荷曲线,在用电高峰时段和低谷时段去切换设备的运行状态,从而能够适应负载的变化情况并且提升能源的利用效率。

1.2 不同运行方式的技术特性与适用条件

各类运行方式在技术特性方面有着较为明显的区别。单台运行的方式,其结构相对简单,比较适宜于那种运行环境较为稳定、负荷变化幅度较小的场合。而并联运行这种方式,它所具备的调节能力是比较强的,并且还有着不错的负载冗余性,所以更适合在大功率供电系统当中运用,

或者是在那些对可靠性要求颇高的场合使用。轮换运行这种方式,则是需要依靠良好的监控系统以及周密的运行计划来支撑的,它比较适用于那种拥有两台或者两台以上冗余设备的配电场景。至于分时运行这种方式,是需要具备高精度的负荷预测以及自动化控制系统才行的,目前在工业领域里,尤其是在那些峰谷负荷差异比较显著的地区,它的应用范围是很广泛的。从整体的角度来讲,在选择运行方式的时候,是需要综合地去考量负荷类型、变压器容量、系统的冗余度以及经济性和安全性等方面的要求的。

1.3 运行方式对节能与安全运行的影响机理

运行方式存在差异,这将会对变压器的能耗状况以及运行安全性产生直接的影响。要是长时间处于高负荷的状态下运行,那么铜损以及铁损就会有所增加,并且设备老化的速度也会加快。倘若能够做到合理的负载分配,同时采用并联的方式去运行,如此一来便可以有效地减轻单台变压器在工作过程中所面临的压力,进而达成能量损耗方面的均衡状态以及实现对其的优化。与此要是运行方式不够合理的话,那么就有可能引发诸如电压出现波动、发生过载或者短路等一系列的问题,这些情况无疑会对系统的稳定运行造成影响。所以说,科学地去选择运行方式,一方面能够实现节能的目标,另一方面更是确保电力系统能够安全且可靠地运行的关键前提所在。

2 不同运行方式下的能耗与损耗对比分析

2.1 空载损耗与负载损耗计算方法

变压器的损耗其实是有两大部分的,其一是空载损耗,其二是负载损耗。空载损耗还有另外一个名字叫做铁损,它主要是出现在励磁电流起作用的时候,而且和电压以及铁芯结构有着十分密切的关联,基本上是不会随着负载情况的变化而有所改变的。而负载损耗又被称为铜损,它是和通过绕组的电流呈现出平方的关系的,并且会随着负荷的变动而发生相应的变化。一般而言,空载损耗能够凭借在额定电压条件下的测量所得到的数值来获取,然而负载损耗就需要依据负载电流、绕组电阻以及负荷率等诸多参数来进行综合性的计算了。对运行方式进行优化,说到底就是在不同的负荷条件之下对这两类损耗加以平衡,进而实现节能这样一个目的。

2.2 有功与无功损耗的评估

在实际运行期间,除了要考量空载以及负载所造成的损耗之外,还得对有功损耗还有无功损耗加以评估。有功损耗是以热能这种形式来呈现电能的消耗情况的,它会直接引发能源方面的浪费。而无功损耗虽说并不会转化成热能,然而它能够使得系统电流有所增加,让线路负载进一步加剧,并且还会引起电压出现波动的现象。不同的运行方式会让变压器的无功输出能力产生变化,而这又会对系统的无功功率平衡以及电能质量带来影响。所以,在开展节能评估工作的过程中,需要将变压器的有功损耗与无功

损耗综合起来进行分析,从而确定出最为理想的运行方式。

2.3 电流、电压与负载率的影响因素

电流以及电压所发生的种种变化,对于变压器在实际运行过程中的状态而言,会产生颇为重要的影响。负载率属于评估变压器运行效率时的一项关键指标,倘若其过低,那么空载损耗所占的比例便会变得过大。电压一旦过高,那么空载损耗也会随之提升起来;而电流要是过大的话,那么负载损耗以及绕组发热的程度均会有所增大。所以说,在针对运行方式进行选择的时候,得依据实时的电流状况、电压情况以及负载率的实际状态来动态地去调整相应的运行策略,从而达成经济运行和安全运行二者之间的平衡状态。

2.4 总能耗比较与节能潜力评估

对各类变压器在不同运行状态下的空载损耗、负载损耗以及系统整体有功、无功功率的变化加以综合分析,并且进行量化汇总,便能够较为精确地对其在各种工况之下的总能耗水平予以评估。空载损耗主要是由铁芯的磁滞以及涡流损失所造成的,基本上不会随着负荷的变化而变化。然而负载损耗却和负载电流的平方呈正比关系,会受到负荷波动的影响。所以,在实际运行期间,倘若采用合理的并联运行、轮换运行或者分时运行等相关策略,尤其在负荷变化比较频繁的场合,比如城市配电网、工业园区还有商业综合体等地方,就能够有效地减少整体运行过程中的损耗总量,提升变压器的能效比。特别是当电力负荷呈现出十分明显的“峰—谷”特点的时候,合理运用动态调控的分时运行方式,借助在低谷时段进行合并运行、在高峰时段均衡负荷这样的办法,不但能够削减低效率运行所产生的能耗浪费,而且还可以延长设备的使用寿命,进一步减少运行维护的成本。把历史运行数据以及实时监测信息综合起来开展的总能耗评估工作,既能够为运行策略的科学优化给予可靠的决策依据,又能够为节能改造项目的经济性论证以及能效管理提供强有力的支撑,属于达成电力系统节能降耗目标的一项重要技术途径。

2.5 节能型变压器与智能运行技术应用

近些年,节能型变压器像是 S11、S13 型号这些,因为它们空载和负载损耗都比较低,所以在各种各样的供电系统当中得到了相当广泛的推广以及应用。这类变压器是通过运用具有高导磁性能的硅钢片,还有低损耗的铁芯材料,并且结合优化后的绕组结构以及油路系统的设计方式,在确保电气性能保持稳定的情况下,切实有效地把运行过程中出现的能量损耗给降低了。尤其是在处于轻负载或者间歇性负载这样的运行工况之下,它所呈现出的节能效果更是格外明显。伴随智能电网技术持续不断地向前发展,智能监控以及运行调控系统也逐渐开始融入到现代的变压器里面了,进而达成了像运行状态的实时采集、负荷变化趋势的预测、无功功率的自动补偿、故障诊断的预警以

及多个变压器之间的自动切换等一系列的一体化智能管理功能。借助对电压、电流、温度、油位、功率因数等等这些关键的运行参数展开动态的监测,智能系统能够依照预先设定好的策略来自动地去调整运行的方式,从而避免出现长时间处于轻载状态并且损耗较高的那种运行情况,既有效延长了设备的使用寿命,又大幅提升了变压器的整体运行效率以及能源的利用水平,这已然成为了当下变配电系统节能升级的一个极为重要的发展方向。

3 运行安全性与优化策略分析

3.1 短路电流对变压器运行安全的影响

短路故障属于变压器在运行进程里最为常见并且极为危险的一种异常状况。当短路电流流经变压器绕组之际,会生成大量的热能以及电动力。要是没能及时对故障电流予以切除,那么便极有可能致使出现绝缘击穿、线圈发生变形乃至设备被烧毁等诸多严重的后果。不同的运行方式对于短路电流的承载能力有着明显的影响,就好比并联运行能够对故障电流起到分担的作用,进而使得单台设备遭受损害的风险得以降低^[1]。所以说,针对运行方式进行优化的时候,务必要全面且细致地考量系统的短路能力以及保护方面的配合事宜。

3.2 热稳定、电动稳定与保护配置

变压器于长时间的运行进程当中,务必要维持不错的热稳定状态以及电动稳定状况,要尽力防止因温升情况或者电动力缘故致使设备遭受损坏。对保护装置予以合理的配置,像过载保护、温度控制还有差动保护等,这在保障其安全运行方面是极为关键的^[2]。并且,在不同的运行方式之下,负荷分布会存在差异,所以对于保护参数的设置同样需要做出与之相应的调整。凭借着建立起多级的保护机制,能够保证在故障出现初期便能及时作出响应,进而最大限度地减少设备受到的损伤以及系统的风险。

3.3 节能与安全的运行模式协同优化

节能和安全在变压器运行管理方面常常存在着一定矛盾。节能运行模式着重于在能够满足负载需求的基础之上达成高效且能耗低的运行状况,其更偏向于借助诸如降低负荷、对运行时间段予以优化以及削减备用容量等办法来降低能耗。然而安全运行模式则把关注点更多地放在了系统的稳定性以及冗余配置上,强调在出现极端负载或者突发故障的情形下要拥有足够的运行裕度以及抗风险的能力^[3]。所以,在实际的操作运用当中,这两个方面需要依靠协同优化的策略来达成平衡,而其中的关键点就在于在不会使系统安全水准降低的情况下达成节能的目的。此过程得综合考量像负荷波动的具体特性、变压器的老化实际状态、短路电流所能承受的能力、运行风险所处的等级以及设备剩余的容量等诸多因素,并且要联合历史能耗方面的数据以及实时运行的相关信息,凭借多目标优化的模型以及智能调度的算法,去制定出那种能够动态调节的

运行方案。通过设定合理的运行阈值、采用分级的管理模式以及实施柔性切换的策略,便能够在不同的负荷情境之下实现安全性与节能性最为理想的匹配,进而切实有效地提升供电系统整体的运行品质、经济方面的效益以及绿色运行的水准。

3.4 智能监测与运行管理策略

现代电力系统对变压器运行的安全性和效率提出了更高的要求,传统依靠人工巡检以及定期维护的方式已经很难满足高效、精准且实时管理的需求了。于是,智能监测与运行管理系统就诞生了,它成为了提高电力设备智能化程度的重要支撑。该系统以先进的传感器技术作为基础,结合高带宽且高可靠性的通信网络,能够实现对变压器绕组温度、油温、负载电流、电压波动、有功无功功率、功率因数以及谐波水平等关键运行参数进行全天候的实时采集,并且借助边缘计算与云平台协同处理来达成快速响应的效果。凭借大数据分析技术以及机器学习算法,系统不但可以精准地判断设备的运行状态与健康状况,而且能够开展趋势预测与风险评估,识别出绝缘老化、过载隐患、局部放电等潜在故障因素。在此基础之上,智能系统可以根据预设的规则或者优化模型自动调节运行方式,像是优化变压器并联运行策略、动态切换负载、调整无功补偿策略等等,进而实现远程控制、预防性维护以及故障自诊断。通过智能监测与运行管理的紧密结合,既提高了变压器系统的安全性与可靠性,也明显提升了其运行效率与管理水平,为达成配电系统的智能化与绿色低碳目标给予了强有力的支撑。

4 结语

变压器在电力系统里属于核心设备范畴,其运行方式若能科学地加以选择并予以优化,那么这不但会对能耗水平产生直接的影响,而且对于整个系统的安全稳定状况同样有着十分密切的关系。经过针对运行方式进行分类、能耗展开对比以及安全策略展开相关研究之后,本文找出了不少能够适应不同运行条件的优化路径。在未来,随着智能电网以及数字化调度系统持续向前推进,在这样的大背景之下,那种具备智能化特点且是动态化的运行管理模式将会成为提高变压器运行效率以及保障其安全性的极为关键的手段。

[参考文献]

- [1]郭忠华,许猛.变压器节能与安全运行方式的分析与选择[J].资源节约与环保,2020(10):1-2.
- [2]周文琪.节能技术在电力变压器设计中的应用[J].电子技术,2022,51(9):312-313.
- [3]邱必宝,宋新勇.变压器经济运行及节能潜力分析[J].科技风,2022(2):109-111.

作者简介:贾世明(1985.5—),毕业院校:湘潭大学,所学专业:过程装备与控制工程,当前就职单位:中车株洲电机有限公司,职务:长期从事输变电行业技术研发、高压试验和管理工作的中级工程师。

浅谈水电厂机械设备检修与维护管理

陈献军

大唐甘肃发电有限公司碧口水力发电厂, 甘肃 陇南 746412

[摘要]自改革开放开始,我国水电建设项目的数量以及质量都获得了十分突出的提升。不过,随着水电厂内部的机械设备长时间地运行下去,设备所承受的负荷也在不断地变重,故障频繁出现已然成为一种普遍存在的问题。要想保障水电厂能够正常地运行起来,防止因为机械故障而引发的停机风险出现,就必须针对相关的设备展开定期的维护以及管理工作。鉴于此,本论文围绕着水电厂机械设备的维护这一问题,相应地提出了检修方案以及管理措施,希望能够为我国水电厂机械设备检修工作方面的优化给予一定的参考,推动水电厂社会效益与经济效益的双双提升。

[关键词]水电厂; 机械设备; 检修与维护; 维护管理

DOI: 10.33142/hst.v8i6.16907

中图分类号: TV738

文献标识码: A

Brief Discussion on Maintenance and Management of Mechanical Equipment in Hydroelectric Power Plants

CHEN Xianjun

Bikou Hydropower Plant of Datang Gansu Power Generation Co., Ltd., Longnan, Gansu, 746412, China

Abstract: Since the beginning of the reform and opening up, the quantity and quality of hydropower construction projects in China have been significantly improved. However, as the mechanical equipment inside the hydropower plant continues to operate for a long time, the load borne by the equipment is constantly increasing, and frequent failures have become a common problem. To ensure the normal operation of hydropower plants and prevent the risk of downtime caused by mechanical failures, regular maintenance and management of relevant equipment must be carried out. In view of this, this paper focuses on the maintenance of mechanical equipment in hydropower plants and proposes corresponding maintenance plans and management measures, hoping to provide some reference for the optimization of mechanical equipment maintenance work in hydropower plants in China, and promote the dual improvement of social and economic benefits of hydropower plants.

Keywords: hydroelectric power plants; mechanical equipment; inspection and maintenance; maintenance

引言

现代工业不断发展,水电是关键清洁能源,对电力供应、经济发展影响大。水电厂机械设备很核心,其状态好坏关系发电效率和安全。设备长时间运转,磨损、腐蚀等问题多,不科学检修维护易出故障,还可能出事故,严重影响电站运营。所以,加强水电厂机械设备检修维护,提高设备安全性、可靠性,是保障水电站高效稳定运行的重要研究课题。本文聚焦水电厂机械设备检修维护情况,探索设备管理改进办法,希望能提高水电厂设备管理水平,推动水电产业健康发展。

1 水电厂机械设备检修及维护管理的重要性

水电厂的机械设备属于水电站运行当中的核心构成部分,其实际的运行状态同电站的发电效率以及安全稳定性是紧密关联的。就机械设备而言,其检修以及维护管理工作既然是保障设备可以正常运行、避免出现突发故障的关键环节,那么它同时也是用来延长设备使用寿命、促使运行成本得以降低的重要举措。随着水电厂设备变得日益复杂,并且自动化水平也在持续提升,在机械设备长时间运行的过程当中,不可避免地就会出现磨损、疲劳还有老

化的种种现象。要是缺少科学且合理的检修维护管理,那便很容易致使设备性能出现下滑的情况,甚至还会引发重大事故,如此一来,对电站的安全生产以及供电可靠性会产生极为严重的影响。所以,强化对机械设备的检修与维护管理,一方面能够做到及时察觉并排除潜在的故障,进而保证设备能够高效且稳定地运行;另一方面还能够提升设备维护所具有的针对性以及有效性,达成预防性维护和故障维修相互融合的效果,最终以此来保障水电厂的经济效益与社会效益,推动整个电力系统的安全运行水平得以提升。

2 水电厂机械设备的检修维护

2.1 机组冷却器漏水

机组冷却器属于水电厂机械设备里的重要组成部分,它肩负着给发电机以及相关设备给予冷却的极为关键的任务,其能够正常运行与否,会直接对机组的整体性能以及安全稳定性产生影响。在长时间的运行进程当中,机组冷却器因为受到水质出现变化、遭受腐蚀、形成结垢还有机械磨损等诸多方面的因素的作用,所以很容易就会出现漏水的情况。冷却器一旦漏水,那么不仅会让冷却的效果

有所降低,使得设备出现过热的风险增大,而且还极有可能致使电气绝缘性能有所下滑,并且让机械部件的损坏速度加快,最终对机组的运行安全以及发电效率都会造成影响^[1]。要是漏水的问题没有能够及时地被察觉到并且加以处理,那么就有可能致使冷却水与其他像润滑油这类的介质相混合,进而引发设备遭受二次损坏,使得维修的难度以及成本都相应地增加起来。

2.2 发电机运行温度异常升高

发电机属于水电厂极为关键的核心发电设备,其运行温度能够保持稳定这一情况,对于确保发电机可以正常开展工作以及促使使用寿命得以延长而言,是相当重要的。不过在实际的运行进程当中,发电机运行温度出现异常升高的状况,称得上是比较普遍并且也比较严重的一个问题。温度异常升高的情况,有可能是由多种多样的原因所引起的,像绕组绝缘出现老化现象、冷却系统发生故障、轴承润滑状况欠佳、电气接触存在不良情况以及负载出现波动等等这些都包含在内。温度一旦升高,那么就会使得发电机内部的绝缘材料老化的速度加快起来,绝缘强度也会随之降低,并且还有可能致使绕组因为受热而产生变形,甚至进而引发绕组短路以及机械方面的损坏。除此之外,长时间处于高温状态之下进行运行,会对发电机的整体性能产生影响,让故障出现的风险有所增加,要是情况严重的话,那么就有可能导致设备停止运转,进而对电站的安全且稳定的运行以及发电效率都造成影响。

2.3 离心泵的轴承检修

离心泵属于水电厂里常见的辅助设备范畴,它的实际运行状况会对水循环系统的正常运转产生直接的影响。轴承身为离心泵极为关键的支撑部件,起着承载转子以及确保转动平稳的重要作用。设备在长时间的运行过程当中,轴承处于既要承受高负荷又要进行高速运转这样一种条件之下,就比较容易滋生出诸如磨损、润滑状况欠佳、出现疲劳损坏或者是遭受腐蚀等一系列的问题,进而使得轴承的温度有所升高,振动的程度不断加剧,甚至还会出现卡死这样的现象。要是轴承出现了故障,那么这不但会致使离心泵的运行效率受到波及,而且还极有可能诱发机械部件接连不断地出现损坏情况,如此一来便会让设备维修的工作变得更为复杂,同时也使得维修的成本有所增加。与此轴承故障甚至还可能致使系统运行被迫中断,最终对整个水电厂的稳定生产局面造成影响。

3 加强水电厂机械设备检修维护管理的对策

3.1 转变传统机械设备维护观念

在水电厂的运行过程中,安全始终是最基本的保障和前提,它不仅直接关系到生产活动的各个环节,还紧密关联着工作人员的人身安全。因此,水电厂必须积极转变传统的机械设备维修观念,摒弃以往单一依赖维修人员的管理模式,倡导全员参与、协同配合的设备管理理念。通过

建立完善的全过程设备管理体系,从设备运行监测、故障预警到维护检修各个环节都纳入管理视野,确保设备状态实时掌握。这样不仅能够及时发现和识别设备潜在故障,还能科学制定并实施有针对性的维护措施,最大限度地降低故障发生率和安全隐患^[2]。全面、系统的设备管理不仅提升了机械设备的运行效率和稳定性,也有效保障了水电厂的安全生产环境,促进设备的高效、持续运转,最终为水电厂的安全运营和经济效益提供坚实保障。

3.2 做好机械设备整修前的准备工作

做好水电厂机械设备整修前的各项准备工作,对于提高设备检修维护的质量以及效率而言,属于极为关键的一个环节。一方面要依据设备的实际运行数据以及过往的历史维护记录,细致开展设备状态评估以及故障诊断工作,精准识别出设备所存在的潜在问题以及那些关键的维修点,进而为后续科学制定整修方案给予可靠的参考依据;另一方面需要制定出详尽完备的整修计划,合理安排检修时间以及调配相关资源,同时协调好各个相关部门以及人员,保证各项工作的各个环节能够紧密衔接起来,防止因为准备不充分而出现施工延误的情况发生。与此还得提前做好备件的采购以及管理工作,确保所有用于更换的部件都能够符合技术规范以及质量方面的要求,以此来减少在施工现场出现等待以及返工的风险情况。针对从事整修工作的人员,应当开展专门的技术培训以及安全方面的教育工作,提升他们的专业技能水平以及风险防范意识,确保维修操作能够规范且安全有序地开展。现场环境的准备工作也同样重要,要合理规划检修的区域范围,进一步完善安全防护的相关设施,并且建立起应急响应的机制,力求将安全隐患以及环境影响降到最低限度。

3.3 通过 FMEA 明确零部件失效的预防等级

在水电厂机械设备检修维护管理当中,运用失效模式及影响分析(FMEA)方法来明确零部件失效的预防等级,有着重要的战略意义以及实践价值。FMEA 属于一种系统性的风险评估工具,其可从根源上将设备零部件在运行进程中潜在的失效模式以及由此产生的具体影响都揭示出来。通过对失效原因、失效概率还有失效后果展开科学的量化分析,能为管理者给予较为完备且细致的风险等级划分依据。具体来讲,FMEA 可助力技术人员以及管理层精准地识别出那些对设备安全运行、生产效率以及环境安全有着重大影响的关键零部件,区分不同失效模式的严重程度与发生的可能性,进而有针对地去制定分层分类的维护策略以及检修计划,防止资源出现盲目的浪费情况。并且,FMEA 还支撑着维护计划的动态调整机制,随着设备运行环境与状态的改变,以及新技术与新数据的引入,风险等级能够持续更新与优化,让维护措施具备更强的前瞻性与适应性。凭借这样科学化且系统化的风险管理方式,水电厂不但能够达成对关键设备部件的重点聚焦,及时察觉并

清除隐患,大幅降低设备故障率与停机风险,而且还能提高检修维护工作的效率与精度,促使维护模式从传统的事后维修朝着预防性维护以及预测性维护转变^[3]。FMEA 的应用还推动了跨部门协作以及信息共享,强化了维护团队对于设备潜在风险的共识以及应对能力,推动水电厂机械设备管理体系走向规范化与标准化建设之路。

3.4 加强定期检修计划管理及监管力度

加强定期检修计划管理以及监管力度,这是提升水电厂机械设备运行可靠性以及维护效率的关键保障所在。要科学制定检修计划,这就得充分结合设备的技术状态、所处的运行环境以及历史维修数据等情况来综合考量。借助状态监测以及风险评估等方法,合理地确定检修周期和具体检修内容,以此来保证检修工作的针对性与时效性,防止出现过度检修或者检修滞后等情况所引发的设备故障问题。要强化对检修计划执行的全过程监管,需要建立起完善的监督机制以及责任追究体系,确保每一项检修任务都能够按照计划保质保量地完成。监管工作应当借助现代信息技术手段,实现对检修进度、质量以及安全等关键指标的实时监控与反馈,能够及时发现其中存在的偏差,并且采取相应的纠正措施,从而保障检修工作的透明度、规范性以及高效性。与此还要加强对检修人员的培训以及考核工作,提升他们自身的专业技能以及责任意识,推动检修流程朝着标准化、规范化方向去执行。检修过程中对于安全管理也要予以重视,要严格落实安全操作规程,防范因检修操作不当而引发的设备二次损坏或者是安全事故等问题。

3.5 定期开展检修人员技术培训工作

在水电厂机械设备检修维护管理方面,定期去开展针对检修人员的技术培训工作,这无疑是一个十分重要的核心环节,其对于提升整体维护水平以及保障设备能够安全且稳定地运行有着极为关键的作用。就当下而言,随着机械设备技术在不停地向前发展,其自动化程度以及智能化程度也在不断地提高,在这样的大背景之下,检修人员仅仅依靠掌握传统的机械维修技能已经远远不够了,他们还必须要对现代化的监测诊断技术、自动控制系统以及信息化管理工具的应用方式十分熟悉才行,只有这样才能很好地去适应那复杂且多变的设备运行环境,也才能够满足故障处理的相关需求。而开展系统并且持续不断的那种技术培训,便能够在很大程度上有效地对人员技能方面存在的不足以及知识更新速度相对滞后的这些问题加以弥补,进而帮助检修人员能够更为深入地去理解设备的内部结构、运行的基本原理,还有常见故障所具有的特征以及形成的原因,如此一来便可以使故障诊断的准确性得以提

高,维修操作的规范性也能够得到增强。除此之外,在培训的过程中还需要格外注重将理论与实践紧密地结合起来,可以通过对具体案例展开分析、在实际现场进行演练以及模拟故障处理等方式,以此来进一步增强检修人员在实际操作方面的能力以及应对突发情况时的应急处置能力,进而达到降低设备出现停机的时间以及减少维修过程中存在风险的目的^[4]。技术培训的内容还应当包含安全生产规程以及环境保护的要求,以此来强化检修人员在安全方面的意识以及肩负的责任意识,从而防止因为操作不妥当而引发的各类事故以及环境污染等问题的发生。与此还要建立起较为完善的培训评估机制,借助考核以及绩效反馈等手段,推动培训效果能够持续不断地得以提升,促使检修队伍的专业水平实现动态的发展。随着数字化管理以及智能化技术的广泛推广,培训内容还应当把与之相关的软件系统的应用技能涵盖进去,以此来推动检修维护工作朝着信息化以及精细化管理的方向迈进。

4 结语

水电厂机械设备的检修与维护管理工作,乃是保障电站可以安全且稳定地运行的关键基础所在。借助科学且合理的维护举措以及系统化的管理方式,是能够有效地对设备故障加以预防的,同时还能提升设备的运行效率,并且能让机械设备的使用寿命得以延长。伴随着技术在不停地向前发展,水电厂就需要强化针对检修人员展开的技术培训工作,要将检修维护制度进一步予以完善,并且要积极地引入那些先进的监测以及诊断技术,进而达成设备维护方面的智能化与精准化目标。唯有不断地去优化检修维护管理工作,才能够切实保障水电厂机械设备能够高效地运行起来,从而推动水电产业朝着可持续发展的方向迈进,有力地促进绿色能源的充分利用,最终为国家能源安全以及经济发展作出更多的贡献。

【参考文献】

- [1]赵海雄.水电厂机械设备检修及维护管理的实践探讨[J].广西电业,2023(5):20-23.
- [2]王兆禹.水电厂机械设备检修及维护管理问题研究[J].城市建设理论研究(电子版),2017(28):95-96.
- [3]陈红稳.水电厂机械设备检修及维护管理问题分析[J].工程建设与设计,2022(2):186-189.
- [4]聂学兵.水电厂机械设备检修及其维护管理[J].科技创新,2018(12):177-178.

作者简介:陈献军(1998.5—),毕业院校:河西学院,所学专业:能源与动力工程,当前就职单位:大唐甘肃发电有限公司碧口水力发电厂,职务:检修工,职称级别:助理工程师。

低压变频器过载故障模式识别与现场处理方法研究

孙 超

大唐宝鸡热电厂, 陕西 宝鸡 721000

[摘要] 工业自动化水平不断提高, 低压变频器作为关键驱动设备在各类生产系统广泛应用, 由于工作环境复杂、负载波动频繁, 变频器运行时过载故障常见且影响大, 因此文中梳理低压变频器过载故障主要模式, 从故障成因、表现特征、演变过程构建故障识别方法体系, 依据不同工况实际案例提出快速响应的现场处理技术路线, 兼顾安全性、可操作性、恢复效率, 其研究结果给变频器现场运维提供理论支撑与实践指导, 有助于提升系统整体稳定性和设备运行寿命。

[关键词] 低压变频器; 过载故障; 故障模式识别; 现场处理; 故障诊断

DOI: 10.33142/hst.v8i6.16891

中图分类号: TN915

文献标识码: A

Research on Mode Recognition and On-site Handling Method of Overload Fault in Low Voltage Inverter

SUN Chao

Datang Baoji Thermal Power Plant, Baoji, Shaanxi, 721000, China

Abstract: With the continuous improvement of industrial automation level, low-voltage frequency converters are widely used as key driving equipment in various production systems. Due to the complex working environment and frequent load fluctuations, overload faults are common and have a significant impact during the operation of frequency converters. Therefore, this article summarizes the main modes of overload faults in low-voltage frequency converters, constructs a fault identification method system from the causes, performance characteristics, and evolution process of faults, and proposes a fast response on-site processing technology route based on actual cases of different working conditions, taking into account safety, operability, and recovery efficiency. The research results provide theoretical support and practical guidance for on-site operation and maintenance of frequency converters, which helps to improve the overall stability of the system and the service life of equipment.

Keywords: low voltage frequency converter; overload fault; fault pattern recognition; on-site handling; fault diagnosis

引言

低压变频器调速性能优异且节能效果显著, 成了现代工业电气控制系统的重要组成部分, 但长期运行时过载故障频发, 故障较轻会影响生产节奏, 严重时设备损坏, 更甚者会引发安全事故, 因此工程技术人员重点关注如何准确识别故障模式并采取有效的现场处理措施, 本文总结变频器过载故障类型后构建系统识别方法, 再结合实际操作提出现场处理策略以提升运维效率和系统稳定性。

1 低压变频器的结构与运行机制

1.1 控制原理与基本构成

低压变频器基本原理是怎样的? 它能精确控制电机转速和扭矩靠的是改变电动机输入电源的频率和电压, 其有整流单元、滤波单元、逆变单元、控制单元和人机界面这些核心构成部分, 交流电被整流单元变成直流电且电压波形经滤波单元变得平滑后逆变单元把直流电转成频率能调的交流电给电机用, 控制单元多由 DSP 或者微处理器组成且信号处理、运行策略设定、故障监控这些事归它管, 人机界面用来设置参数、监视运行情况、显示故障报警, 整个系统协同起来便得以实现电机的精确调速、节能控制、过载保护等功能。

1.2 功率模块与散热系统分析

变频器里功率模块是关键部件, 通常由 IGBT (绝缘栅双极晶体管) 或者 MOSFET 等功率电子器件组成, 变频器的输出能力和运行稳定性跟功率模块性能直接挂钩, 功率模块在高频通断工作时会产生大量热量, 若散热不及时且没效果器件就容易过热损坏, 变频器内部为保证功率模块工作可靠设计了强制风冷、自然风冷或者水冷系统, 铝制散热片、风扇装置和温度传感器等是常见的散热结构, 温控系统实时监测功率器件温度并将风扇启停和输出限制机制联动起来以使变频器在安全温度范围内运行, 若散热系统优秀则功率器件寿命能显著延长且因过热产生的故障率也会减少。

1.3 变频器在工业现场的典型应用

工业自动化领域广泛应用低压变频器, 在风机、水泵、压缩机、输送机、搅拌器等负载类型里其优势尤其显著, 在泵类系统中, 转速经变频器调节以控制水流量, 达成按需供水与节能控制, 并且输送带上变频器能让启动与停止变得平稳, 减少机械冲击提升生产效率, 在纺织、造纸、冶金等行业, 变频器还能让多台设备同步运行和实现张力控制, 满足连续、高精度生产需求, 而且控制面板或者远程 PLC 可供现场操作人员灵活设置变频器运行参数并监

控其状态,进一步提高系统自动化程度与响应效率,随着智能制造发展,低压变频器逐步朝网络化、智能化和高可靠性演进,成为现代工业控制系统不可或缺的部分。

2 过载故障的形成机理分析

2.1 电流过载的诱发因素

低压变频器运行过程中,电流过载是最为常见的故障类型之一,主要体现为输出电流超额定值持续一定时长后触发保护机制进而停机,其诱发因素不少,其一,负载侧需求超出设计能力,像电机超载、机械传动系统卡顿之类,这会使电流长期处于高水平,其二,变频器输出频率设置不合理,例如频率过低让电动机陷入低速高负载状况,电流就会急剧增加,并且供电电压波动或缺相也会影响整流和逆变效率,间接致使电流不稳定,还有,控制参数设置不对,像加减速时间过短,会使电机启动和制动时电流冲击太大,并且某些型号变频器要是滤波组件老化、电容衰减或者母线电压不正常,同样会引起过流故障。

2.2 负载不平衡与机械卡滞

变频器过载故障的另一个关键成因是负载不平衡与机械卡滞,三相电流或电压幅值偏差过大是三相不平衡的主要表现,常见于电机绕组老化、连接线接触不良或者外部负载分布不均等情况,电动机发热增多、运行效率降低,变频器输出电流跟着上升,这种不平衡状态持续下去,长时间运行后就会引发过载报警或者器件损坏,现场传动机构常出现机械卡滞,像轴承缺油、链条断裂、齿轮磨损或者有异物卡入等问题,这些都会使电机启动和运行时的机械阻力增大,变频器输出电流就迅速升高,有时候,机械系统卡滞虽然没有马上让设备停机,但是一直给功率模块施加压力,若不及时处理,变频器内部器件老化就会加快。

2.3 环境温升对过载的影响

变频器运行状态受工作环境温度影响显著,在高温、高湿或者通风不好的地方过载故障发生概率大幅上升,功率模块里器件的导通能力会因温度升高而降低、导通内阻增大、单位负载下所需电流变大从而更易触发过载保护,而且散热系统要是积尘了、散热风扇坏了或者通风口堵了热交换效率会被直接削弱、内部热量堆积形成“热交换”影响,控制系统在高温环境下也许会误动作如温度传感器漂移、保护点偏移进而故障判断的准确性就会受影响,极端情况下温升能让电容击穿、电路板翘曲甚至让控制单元死机,得科学评估变频器的安装环境,保证通风良好、没有强烈热源干扰,还要定期清理散热系统,最大程度减少环境温升对设备运行的负面影响,把过热引发过载故障的风险降下来。

3 过载故障模式识别技术

3.1 多参数采集与实时监测方法

要高效识别低压变频器过载故障,就得靠全面的参数采集和实时监测技术,现代变频器集多种传感器模块于一体,能实时得到输出电流、电压、频率、母线电压、温度、功率因数、运行时间等关键运行参数,数据采集模块和现

场总线(像 Modbus、Profibus、CANopen)一连接,变频器就能和上位机、PLC、DCS 等系统进行数据通信,从而在线监控运行状态,实时监测不但能追踪各类参数的波动趋势,而且在参数快到临界点前就能预警,降低突发故障的发生概率,在系统里设个报警限值,电流到 90%额定值就给个提示,这能给运维人员争取处理时间,有些高端变频器还有故障记录功能,能把历史数据和故障码保存下来,方便以后分析。

3.2 基于特征数据的判定逻辑

建立科学的判定逻辑是故障识别的关键,要通过对多组运行特征数据的分析判断是否过载及其原因,正常运行时各参数有规律且相互关联,电流、电压和负载成正比,温度上升速度与功率输出正相关,识别时设定各参数阈值范围和关联阈值就能判断数据是否偏离正常区间,电流上升输出频率稳定时可能负载突然增大,电流、电压都不稳定且温度突升可能是功率模块受损或者散热系统故障,而引入滑动平均、趋势判断、离散率分析等数学模型能让判定逻辑更稳健抗干扰,并且不同类型负载(恒转矩、变转矩等)得匹配不同数据权重策略才更有针对性识别效果。

3.3 智能算法在故障识别中的应用

工业故障诊断领域近年来逐步引入人工智能技术,故障识别的自动化与智能化水平因此得以提升,低压变频器过载识别常用智能算法有神经网络、支持向量机(SVM)、决策树、模糊逻辑算法和深度学习等,通过拿历史故障数据训练,算法就能自动提取特征模式并建立非线性映射模型,从而实现未知状态的预测和分类,就说 BP 神经网络构建的模型,输入电流、电压、温度等参数就能输出故障等级或者类型,而模糊逻辑算法适合处理不确定性强的现场环境,靠模糊规则来做容错判断,深度学习模型对大规模数据集更适用,能自动进行特征提取和学习优化,实际应用时,这些智能算法往往集成在运维平台或者边缘计算设备里,与变频器监测系统联动,达成在线判断、自动预警和智能决策。

4 现场过载故障快速处理方法

4.1 故障隔离与分段排查流程

变频器过载故障现场处理时,第一步要快速隔离故障并分段排查系统才能精准定位问题、高效处理,排查通常遵循“由外至内、由简到繁”原则,先切断电源确认系统安全,再查看外围负载设备有无电机卡滞、传动系统阻塞等明显异常情况,接着逐段检测电缆连接是否完好尤其是三相导线接头处有无松动、氧化或烧蚀,进一步判断变频器输出端电压与电流是否均衡以及内部过流通道有无异常,基于此用仪表监测控制端子信号输入状态排查控制误触发致使负载异常运行的可能,如果上面这些都没找到确切原因就可以进到变频器内部查看 IGBT 模块、整流桥、滤波电容等核心元器件有没有过热、烧毁或者虚焊的情况。

4.2 控制参数调整与限流策略

变频器控制参数设置不当常引发过载故障,现场处理的重要环节是合理调整运行参数,先查看当前加速时间、

减速时间以及限流参数,若设置太过激进则延长加减速时间以减缓电流突增的趋势,接着调整载波频率和V/F特性曲线,使电机在低速运行时有足够启动转矩且不过流,矢量控制模式的变频器重新进行电机参数自学习就能确保控制模型准确,功率裕度不足时启用“限流保护”功能,变频器在过流趋势下会自动降频运行从而避免过载停机,部分设备支持“自动复位”“多次重启”策略,非持续性过载时可减少人工干预,调参时要结合负载类型和运行工况,避免保守设置影响生产效率,做到故障防控和系统性能之间的平衡。

4.3 应急维修操作规范与安全控制

故障处理时人员和设备安全得放在首位,维修前必须执行断电、放电等标准化停机操作,严禁带电作业。操作人员要穿戴绝缘手套、防护眼镜、工作服等劳动防护用品且严格按照《电气安全作业规范》操作。拆卸变频器时要用防静电工具防止静电损坏内部元件,手别接触PCB板核心区域。更换功率模块、电解电容等器件后通电前一定要做绝缘检测与控制逻辑确认。设备重新运行前先空载试运转查看电流、电压、温度等参数是否正常,再逐步加载直至恢复正常运行负荷。处理记录得留在现场,故障现象、处理过程、更换的配件以及测试结果都得记录,这是后续技术归档和分析的依据,整个处理流程有安全控制能保障现场人员人身安全和设备持续稳定运行。

5 运行优化与故障预防措施

5.1 合理选型与参数配置优化

低压变频器运行初期,合理选型与参数配置对降低过载故障发生率很关键,选型得充分考虑负载特性、电机类型、使用环境和工艺要求,像搅拌机、压缩机这种恒转矩负载,要选过载能力强、散热性能好的变频器型号,风机水泵等变转矩负载,选轻载型变频器性价比高,额定电流选择时,留10%~20%裕度以应对瞬时负载波动,参数配置方面,依据设备启动特性合理设置加减速时间、V/F曲线、转矩提升值、频率上下限这些关键参数,启用过流保护、过载保护、过热保护、欠压停机等保护功能以保障运行安全,合理设置转矩控制模式和反馈方式(开环、闭环矢量)能显著提高运行稳定性,实践表明,前期科学配置不但能有效预防过载,还能提高系统整体效率和响应速度,减少后期维护成本。

5.2 温控系统的可靠性提升

变频器稳定运行靠温控系统保障,过载故障频率和设备寿命与温控系统可靠性直接相关,变频器运行时产生很多热量,高负荷、高频率输出或者在密闭空间工作时若散热不顺畅则很容易发生过载或者器件损毁情况,要优化散热结构和温控控制机制,先选择高效率、大面积的铝制散热片并根据热仿真设计优化气流路径,再配备品质可靠的轴流风扇或者智能变速风机依靠温度反馈实现动态调速降温,有

些高端变频器能配液冷模块从而满足重载场合的散热需求,温度传感器要放在功率模块、滤波电感、电容等发热多的区域才能监测得又准又及时,温控系统一旦检测到温度不正常就得马上启用降频保护、风扇强制启动或者故障停机机制以防止热累积损坏元件,定期清洁风道、防尘网并及时更换老化风机是保障温控系统可靠性的重要维护手段。

5.3 建立日常巡检与智能预警机制

在运行维护阶段,得建立完善的日常巡检制度和智能预警系统以早发现、早预防过载故障,日常巡检要覆盖电缆连接端、电机状态、负载运行平稳与否、控制参数有无异常漂移以及变频器面板报警信息等关键之处,巡检频率最好根据工作强度和环境条件来定,一般一周一次,重点设备可一天一查且要做好巡检记录并进行趋势对比分析,引入智能预警系统是提高运行管理效率的重要方式,变频器的各项运行参数通过接入物联网平台或者SCADA系统就能实时上传分析,再结合云端或者本地的AI算法模型进行趋势预测和异常识别,若发现参数波动有超阈值的趋势就自动给维护人员发报警信息,预警信息不光是故障预报,还包括运行效率降低、温升趋势不正常、电流畸变等状态提示,这使设备运维从“被动抢修”变成“主动干预”且系统安全性和设备可用率也大大提高了。

6 结语

在工业自动化系统里,关键的驱动和调速功能由低压变频器承担,它要是发生过载故障,不但会影响生产效率,还会牵连设备安全和使用寿命。本文系统地阐述了结构原理、故障成因、识别技术、现场处理以及运行优化等方面,并且给出了操作性强又实用的应对措施,加强设备选型、优化控制参数、完善温控系统和智能预警机制能明显降低过载故障发生率,提升系统运行稳定性和维护效率,该研究成果对现场管理和技术改进有积极的指导意义。

【参考文献】

- [1]赵聘.低压电气设备运行故障与维护研究[J].中国设备工程,2024,11(23):72-74.
- [2]丛丽丽,刘志党.论变频器在工业中应用与常见故障处理[J].电气开关,2022,60(6):122-124.
- [3]马桐桐.低压交流固态断路器保护技术研究[D].河北:河北工业大学,2022.
- [4]曲杰.低压控制回路跳跃分析及故障处理[J].电世界,2023,64(2):40-41.
- [5]谢伟,马小昕.从一起变频器故障谈低压电动机相关观念的厘清[J].电世界,2023,64(5):41-43.

作者简介:孙超(1988.12—),毕业院校:华北电力大学科技学院,所学专业:电气工程及其自动化,当前就职单位:大唐宝鸡热电厂,职务:维护部继电保护副班长,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

