



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 9

第8卷 总第57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9期(总第57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: 9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: 195 Pearl's Hill Terrace, #02-41,

Singapore 168976

学术主编: 余亮

责任编辑: 金星

学术编委: 丁飞

罗超

杜永纯

古彦华

王超

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

- 生态水利工程设计在水利建设中的应用探索 马彪 1
- 水利工程结构优化设计与耐久性提升技术 马彩霞 4
- 水利工程监理中的合同管理与索赔处理机制研究 张冬生 7
- 高寒地区长大隧洞施工辅助系统布置难点与对策 吴小华 杨井国 10
- 大型轴流泵在水利泵站安装中的高精度找正工艺研究 郑斌 14
- 寺桥水库灌区进水塔模板支撑体系管理控制要点 郑建伟 何军 17
- 水利工程的施工监理技术的创新与发展 李旭航 21
- 智能化技术在水利工程运行管理中的应用研究 洪德钗 24
- 水利工程施工中的安全管理和质量控制研究 袁新峰 27
- 水利工程施工中导流施工技术的应用管理分析 何盛 30
- 数字化技术在水利工程监理中的作用与前景 梁晓伟 33

水文水资源

- 跨流域调水工程线路比选与生态补偿机制设计 祝斌 36
- “7·20 郑州暴雨”水汽输送过程的诊断分析 刘和远 赵苏 袁秀忠 39

防汛抗旱

- 福清市新厝镇沿海小型流域水利工程防洪响应机制研究 陈华辉 45

能源电力工程

- 化学电池在储能系统中应用的研究 田巍 叶扬 50
- 风力发电设备运维存在的问题及改进的探讨 王相承 53
- 凝汽器回弯水室分割增强抗压能力的理论与应用研究 郑雯 56

水电建设

水电站监控系统的容错设计与性能优化.....	王永林 59
水利水电工程施工中现代技术应用探讨.....	王永斌 62

电力工程

新时期火电厂节能减排的问题和对策的研究....	刘 鹏 65
三维设计在架空输电线路中的应用.....	肖雨桐 70
大功率低压电机供电用变压器的选择与探讨....	郁 乐 73
基于电力金具产品供应链回收再制造研究.....	蔡 成 赵佚铭 77
电力工程测量质量风险及预防措施研究.....	郑建军 80
电力系统施工管理中的自动化技术应用研究....	黄雪荣 83

电气工程

水电站电气一次设备智能化技术研究.....	陈如先 86
-----------------------	--------

自动化技术与应用

电力系统运行中自动化技术标准化应用.....	殷佳金 89
智能化技术在电力系统电气工程自动化中的应用分析.....	夏 智 王云鹏 张 滨 92
电气工程自动化技术在电力及系统运行中的应用.....	杨 帅 96

电气工程及其自动化技术的智能化应用探讨..	梁宇龙 100
自动化技术在水利发电中的作用及分析.....	任则世 103

技术解决方案

电厂脱硫废水零排放处理技术的现状与发展趋势探讨.....	梁 宵 106
疏浚工程中泥浆泵运行参数对施工效率的影响分析.....	周兵红 109
水利工程管理中人工智能技术应用研究.....	唐 浪 113

运行维护

基于大数据的电力金具寿命预测与维护策略.....	赵佚铭 蔡 成 116
水力发电设备运行状态中的故障和诊断技术研究.....	韩 超 119

综合研究

航道疏浚对航行安全与生态环境的综合影响研究.....	王 旭 122
农业水价综合改革成效评价体系构建与应用.....	马 菊 126

生态水利工程设计在水利建设中的应用探索

马彪

新疆塔里木河水利勘测设计院, 新疆 喀什 844700

[摘要]生态水利工程的推广与应用已然成为水利建设发展不可逆转的趋向,故此在设计阶段对相关技术问题加以妥善处理显得尤为重要。依据实际的具体情形,科学合理地设计出契合应用需求的生态水利工程,这便是保证工程功能和生态效益能够协调达成的关键点。鉴于此,文中就生态水利工程设计在水利建设当中的应用展开探讨,剖析其存在的一些主要问题,同时归纳其在水利建设里的核心应用方向以及相应的实施举措。

[关键词]生态水利; 工程设计; 水利建设; 应用探索

DOI: 10.33142/hst.v8i9.17707

中图分类号: TV5

文献标识码: A

Exploration on the Application of Ecological Water Conservancy Engineering Design in Water Conservancy Construction

MA Biao

Xinjiang Tarim River Water Resources Survey and Design Institute, Kashgar, Xinjiang, 844700, China

Abstract: The promotion and application of ecological water conservancy engineering has become an irreversible trend in the development of water conservancy construction. Therefore, it is particularly important to properly handle relevant technical issues in the design stage. Based on the actual specific situation, scientifically and reasonably designing ecological water conservancy projects that meet application needs is the key point to ensure the coordinated achievement of engineering functions and ecological benefits. In view of this, the article explores the application of ecological water conservancy engineering design in water conservancy construction, analyzes some of its main problems, and summarizes its core application directions and corresponding implementation measures in water conservancy construction.

Keywords: ecological water conservancy; engineering design; water conservancy construction; application exploration

引言

在当下社会经济迅猛发展的大背景之下,水利建设于保障防洪安全、满足供水灌溉需求以及推动区域经济发展等方面,都发挥着无可取代的重要作用。不过,传统水利工程在着力于功能达成以及经济效益获取的时候,常常会忽略对自然生态系统的干扰情况,进而引发了诸如河道变得直线化、湿地不断萎缩、水生生物栖息地变得破碎不堪以及水质持续下降等一系列生态方面的诸多问题,这些问题也对流域生态系统的稳定性以及可持续利用的能力形成了制约作用。面对这样的状况,生态水利工程设计便应运而生了,它的核心理念是要借助科学的规划手段、生态化的设计理念以及功能方面的优化举措,来达成水利工程和生态环境之间的协调共生状态。生态水利工程不但看重水量的调控事宜、防洪减灾的相关工作以及供水的保障事项,而且还着重强调水质的净化处理、湿地的恢复工作、生物栖息地的建设事宜以及流域生态系统服务功能的提升方面,以此来强化水资源利用的可持续性以及流域生态系统的整体韧性程度。近些年来,生态水利工程在设计理念层面、技术手段运用方面以及应用模式选择上都在不断地进行创新并且逐步趋于完善,然而在实际的推广进程当中,依旧面临着技术标准不够完善、区域适应性较差以及

多个部门之间协调难度颇大的一系列挑战。所以,本文尝试全面且细致地去探讨生态水利工程设计在水利建设当中的具体应用情况,对其基本原则予以剖析,对其具体应用的方式方法展开研究,同时对其存在的各类问题加以归纳总结,并且给出相应的推广对策以及应用方面的相关建议。

1 水利建设中生态水利工程设计的基本原则

水利建设里生态水利工程设计秉持的核心原则,关键点在于既要满足工程防洪、供水、灌溉等方面的功能诉求,又要尽最大努力去维护并改善水域及其周边生态系统所处的健康且稳定的状况。这样的设计得遵循尊重自然规律以及顺应水文变化的相关理念,切忌对河流、湖泊等水体实施过度的干扰操作。要借助科学的选址方式、合理的布局安排还有契合当地实际情况的工程举措,达成工程和生态环境能够彼此协调并共生共存的目标。在开展设计工作的整个过程之中,需要着重关注对原有生境结构予以保留以及加以恢复,进而为动植物营造出多样且连续的栖息空间。并且要通过运用生态护岸、湿地构建以及生态调蓄等多种手段,来促使水体自身的净化能力以及水资源的调节功能得以提升。与此还得全面综合地考量流域的整体格局以及上下游、左右岸、干支流之间水量与水质的平衡关系,既要顾及社会效益,也要兼顾长远生态效益,不能仅仅一味地

追求短期的建设目标,以免对自然环境造成破坏。

2 水利建设中生态水利工程的应用

2.1 为动植物提供生存与繁殖的空间

在水利建设领域当中,生态水利工程能够给动植物给予生存以及繁殖的相关空间,在开展设计工作的初始阶段就需要全面且细致地考量区域的自然水文方面的条件以及生态系统所具有的特征,借助于对自然河道形态予以恢复或者对其进行模拟的方式,同时也要对湿地环境以及岸带植被展开相应操作,进而创造出多样性的、连续性较强的生境结构,确保不同种类的物种在整个全年不同的生命周期各个阶段都能够获取到适宜其栖息的条件^[1]。具体来讲,可以通过留存原有的河岸缓冲带并且对其加以拓展的做法,另外设置浅滩、缓流区域、滩涂以及湿地等,以此来契合鱼类、两栖动物、水鸟还有水生植物在生存以及繁殖方面的需求,与此运用生态护岸的方式,依靠原生物群落以及对岸坡进行缓化处理,以此来降低水流的冲刷力度,从而能够为相关生物提供隐蔽之处以及食物来源渠道;在河道内部按照合理的方式去布设深浅相互交错的水域,进而形成水流速度、水深以及基质都呈现出多样性的微生境,以此来满足产卵、育幼以及越冬等不同环节所提出的各类要求;借助构建廊道、鱼道等一系列连通设施的方式来保障物种迁徙过程的畅通无阻,防止出现栖息地碎片化的情况,并且要与生态调度相结合,在关键的繁殖时期营造出适宜的水位变化状况,以此来引发物种的繁殖行为。

2.2 积极提高水资源自身净化能力

自习近平总书记提出“治水十六字方针”并推行河长制以来,水质有所改善,但治理任务仍然艰巨。水资源作为生态资源发展的必备资源,必须在有限的时间内得到补充,从而确保生态环境的稳定发展。提高水资源自身净化能力不仅是保障生态环境稳定发展的有效途径,同时也是解决我国水资源匮乏的重要举措。因此,在水利工程的设计中,有效地融入了提高水资源自身净化能力的基本理念,水资源的净化需要依靠大量的氧气,而氧气在水中的含量较低,不足以解决庞大的水污染问题,所以要在水利工程中加入加速水流流速的功能,使其在流淌过程中即可产生大量的氧气,从而确保水源氧气的供给充足,进一步提高水资源的自身净化能力。

2.3 起到调节水量的作用

在水利建设方面,生态水利工程借助科学且合理的规划设计,可切实发挥出调节水量的重要作用。其关键之处在于遵循自然水文规律,一方面要确保防洪、供水等相关工程功能得以实现,另一方面还要运用生态化举措来平衡径流在时间、空间上的分布情况,进而减小洪旱灾害所造成的影响。通过打造生态湿地、滞洪区以及多功能调蓄池等设施,在汛期时能够对过量径流予以蓄存,削减洪峰流量,以此减轻下游防洪方面的压力;而在枯水期,则依靠湿地蓄水、地下水回补以及生态调度等方式,逐步将储存

的水量释放出来,维持河道基流,达成保障生态需水与人类用水需求这两重目标的目的。与此生态护岸、河道缓坡以及多级阶地等设计能够使地表径流速度得以延缓,促使雨水下渗量以及土壤蓄水量得以增加,从而在区域层面上让水循环过程保持稳定状态^[2]。

2.4 调整流域尺寸

在水利建设领域当中,生态水利工程借助对流域尺寸加以调整这一举措,能够在确保工程自身功能得以正常发挥的基础之上,进一步对水文过程以及生态格局做出优化处理,进而达成防洪减灾、资源利用以及生态保护等诸多方面的多重目标。调整流域尺寸所涵盖的内容不仅仅涉及到针对河道宽度、深度还有弯曲度展开的科学层面的优化操作,而且还牵涉到对于支流汇入的具体点位、汇流所经过的路径以及滞洪区、分洪区等在空间方面呈现出的格局进行合理的布置安排。通过改变流域的集水面积、汇流所需的时间以及径流所经过的路径等情况,以此来对洪峰流量过大的问题或者是在枯水期出现的断流等这类问题予以改善。就好比说,在那些洪水比较容易发生的区域,可以通过实施开挖或者恢复泛洪平原、支流分流渠以及湿地滞洪系统的相关措施,进而使得洪水调蓄的空间得以扩大,同时让汇流的速度得以延缓,如此一来便能够削减下游所面临的洪峰压力;而在那些干旱且水资源匮乏的地区,那么则可以通过合理地缩小河道断面的大小、增加岸坡缓冲带的设置以及提高水面植被的覆盖率等一系列举措,从而减少因蒸发而产生的水资源损失,并且还能提升水资源自身的蓄存能力。与此在整个调整流域尺寸的这个过程中,务必要兼顾生态廊道所具备的连续性特点以及栖息地呈现出的多样性状况。

2.5 水利工程经济建设

在水利建设领域当中,生态水利工程所涉及的经济建设方面,其体现出来的价值并不仅仅局限在像防洪、供水、灌溉以及航运这些直接功能所带来的经济收益层面,相反,它更为关键的价值在于凭借生态化的相关设计方式,进而达成一种长远意义上的可持续发展的价值取向。生态水利工程在开展规划以及具体实施的这个阶段,会着重关注工程自身具备的功能与生态环境之间要达成协调且统一的状态,以此来尽力削减对自然系统所可能产生的破坏情况,如此一来便能够让后期的维护以及修复方面的成本得以降低。借助于恢复湿地、构建起生态护岸、对水量加以调节并且改善水质等一系列举措,不但使得区域的生产生活条件得到了切实的提升,而且还为渔业养殖、水产资源开发以及生态旅游等相关产业营造出了颇为不错的基础条件,进一步拓展了经济增长所能涉及的空间范围。与此生态水利工程在实际运行的过程之中,是能够有效地提升水资源的利用效率的,可以减少因洪涝以及干旱而引发的经济损失情况出现,促使农业产量以及工业供水保障的水平得以提高,进而推动上下游相关的产业链实现协同的发展态势^[3]。

3 区域水利建设的生态现状与存在问题

区域水利建设的生态现状整体呈现出工程规模持续拓展、基础设施渐渐完备、水资源配置能力大幅提升的趋向。其防洪、供水以及灌溉等功能在特定程度上契合了经济社会发展的需求,然而与此同时,也凸显出诸多方面的生态问题。其一,部分水利工程在规划以及建设进程当中,对自然河道形态以及水文过程的改变颇为显著,致使河道变得较为直线化、岸线趋于硬化,进而削弱了水体与周边生态系统之间原本存在的自然关联,湿地面积有所缩减、生境类型呈现单一化态势,水生生物以及岸带植被的多样性出现下滑情况。其二,受到高强度水资源开发以及不均衡调配所产生的影响,部分河段在枯水期会出现断流状况,生态基流难以得到切实保障,水生生态系统的功能遭受损害,鱼类的洄游、繁殖以及生境维持均受到了阻碍。与此在一些区域,农业灌溉、工业生产以及生活污水排放引发了水质污染方面的问题,水体富营养化以及沉积物污染频繁发生,水环境的自净能力不断下降。部分库区、滞洪区以及渠道在运行期间,还出现了泥沙淤积、岸坡侵蚀等状况,这进一步对水生态安全造成了影响。

4 推广应用的对策与建议

4.1 完善生态水利工程设计标准体系

要想切实有效地推广生态水利工程的应用,那么首要之事便是得进一步去完善生态水利工程设计标准体系,唯有如此,才能保证各类工程在规划、设计、施工以及运营这些各个环节都能够较为科学且规范地把工程功能同生态效益都兼顾到。这个标准体系务必要涵盖像工程选址、河道整治、湿地保护、生态护岸、水量调控以及生物栖息地恢复等诸多关键方面的内容,并且要清晰明确地给出设计指标、技术规范还有评价方法,进而形成一套具有可操作性并且可量化的技术要求。与此还应当依据不同区域所具有的水文、地质、气候以及生态等方面的特征,去制定出带有分区分级特性的适应性标准,如此一来,工程设计才能够既拥有通用性,又能做到因地制宜,而且还能充分地考量到生态系统的承载能力以及自然演变的规律。

4.2 加强多部门协同与公众参与

在生态水利工程推广运用进程当中,强化多部门协同以及公众参与,这乃是保证工程具备可持续性并且能够取得生态效益的关键保障所在。生态水利工程涵盖了水利、生态、农业、环保、城乡规划等诸多领域,单凭某一部门着实很难对流域管理以及生态保护所呈现出的复杂状况予以全面把控,所以务必要构建起跨部门的协调机制,达成信息的共享、规划的统筹以及职责的明晰,进而于工程选址、设计、施工以及运行管理各个环节里,兼顾到防洪安全、水资源利用以及生态保护等方面的目标^[4]。与此还需充分激发公众参与的热情,把地方居民、企业以及社会

组织都吸纳进工程规划与管理的流程之中,借助听证会、意见征集、生态监测志愿活动等多种形式,使得公众能够知晓工程目标、参与到决策环节,并且针对生态保护以及水资源管理给出相关建议以及监督方面的意见。

4.3 推广适应性强的生态水利技术

在推广生态水利工程的应用进程里,去推广那种适应性颇为强大的生态水利技术,这可是提升工程可持续性以及区域生态功能的一条关键途径。这里所说的适应性强的技术,其实就是指那种可以依据不同区域所具有的水文条件、地形地貌状况、气候方面的特征以及生态系统所能承受的能力,来灵活地做出调整并加以应用的工程举措。像生态护岸、湿地构建、河道自然化改造、水量调控以及水质净化技术等,都属于此类技术范畴。这类技术不但可以在不同的流域以及不同规模的工程之下发挥出较为稳定的作用,而且在遇到洪水、干旱或者季节性水位出现波动等自然环境发生变化的时候,还能够保持着较强的适应能力。在对这些技术进行推广的时候,需要结合生态设计的理念,针对技术方案展开优化与组合操作,以此来保证其既能满足防洪、灌溉、供水等基本功能需求,又可兼顾到生物栖息地的恢复、水质的改善以及生态系统服务功能等方面的要求。

5 结语

生态水利工程设计于水利建设当中,一方面能够对防洪、供水等诸多功能予以保障,另一方面还对改善水环境以及保护生态系统颇为有益。借助科学的设计方式以及合理的管理手段,是能够达成工程效益与生态效益相统一这一目标的。然而就当下情况来看,在技术标准以及管理方面依旧存在着一定的不足之处,这就需要在实际的实践过程中不断地去加以完善。对那种适应性较强且具备可持续性的生态水利工程加以推广,对于提升水利建设的质量以及流域生态系统的健康状况都是很有帮助的,同时也可作为水资源的合理利用以及生态环境的保护给予相应的保障。

[参考文献]

- [1]庞奕锋.生态水利工程设计在水利建设中的应用探索[J].水上安全,2024(19):80-82.
- [2]刘派.生态水利工程设计在水利建设中的应用分析[J].南方农机,2019,50(7):221.
- [3]王红霞.浅谈生态水利工程设计在水利建设中的应用[J].中国标准化,2019(22):115-116.
- [4]赵玉梅.浅谈生态水利工程设计在水利建设中的应用[J].河北农机,2020(9):117.

作者简介:马彪(1986.8—),毕业院校:新疆塔里木大学,所学专业:农业水利,当前就职单位名称:新疆塔里木水利勘测设计院,就职单位职务:新疆塔里木水利勘测设计院/规划室副主任,职称级别:现职称中级,拟聘副高。

水利工程结构优化设计与耐久性提升技术

马彩霞

哈密托实水利水电勘测设计有限责任公司, 新疆 哈密 839000

[摘要]随着我国水利基础设施大规模建设与长期服役,其结构安全与长效耐久性已成为关乎国计民生的重大课题。传统设计方法常偏重结构强度而轻忽全生命周期性能与环境耦合作用,导致混凝土开裂、钢筋锈蚀等工程病害频发,年均维修费用高达数十亿元。通过引入高性能材料、基于智能算法的结构优化以及物联网驱动的数字监控手段,可显著提升结构在复杂环境下的服役性能,延长水利工程使用寿命至百年以上,降低约 20%~30%的后期维护成本,对提升工程韧性和促进行业可持续发展具有重要现实意义。

[关键词]水利工程; 优化设计; 耐久性; 全生命周期成本; 高性能材料; 健康监测

DOI: 10.33142/hst.v8i9.17694

中图分类号: TV31

文献标识码: A

Optimization Design and Durability Improvement Technology for Water Conservancy Engineering Structures

MA Caixia

Hami Tuoshi Water Conservancy and Hydropower Survey and Design Co., Ltd., Hami, Xinjiang, 839000, China

Abstract: With the large-scale construction and long-term service of water conservancy infrastructure in China, its structural safety and long-term durability have become major issues related to national economy and people's livelihood. Traditional design methods often focus on structural strength while neglecting the coupling effect between full life cycle performance and environment, resulting in frequent engineering diseases such as concrete cracking and steel corrosion, with an average annual maintenance cost of billions of yuan. By introducing high-performance materials, intelligent algorithm based structural optimization, and Internet of Things driven digital monitoring methods, the service performance of structures in complex environments can be significantly improved, the service life of water conservancy projects can be extended to over a hundred years, and maintenance costs can be reduced by about 20% ~30%. This has important practical significance for enhancing engineering resilience and promoting sustainable development of the industry.

Keywords: water conservancy engineering; optimization design; durability; full life cycle cost; high performance materials; health monitoring

引言

水利工程作为国家关键基础设施,在开展防洪供水以及发电等方面工作时,具有不可替代作用。然而,诸多水工建筑物长期处于复杂且严苛环境中(如水压冻融、冲刷以及化学侵蚀等方面),普遍面临着混凝土开裂钢筋锈蚀等耐久性方面的问题。据统计,我国大约 30% 水库大坝存在老化病害,每年用于除险加固资金超过百亿元,传统设计把短期强度和安全系数当作核心,缺乏对长期性能演化充分考量,从而导致“重建轻维护”困境。因此,将结构优化与耐久性提升技术进行深度融合,从事后补救转向事前预防,是实现水利工程长寿命高可靠性以及低维护运行必然选择,也是当前工程领域重要前沿。

1 基于全生命周期成本(LCC)的结构优化设计

传统的设计方法通常以初始建设成本最低为主要目标,而优化设计则着眼于工程从规划、设计、建造、运营维护到报废处置的全生命周期,追求总成本最低和综合效益最优。

1.1 设计理念转变:从强度设计到性能设计

现代水工结构设计理念经历着深刻转变过程,正逐步

从传统依赖经验“强度设计”模式,转向更为系统化可量化“性能设计”模式。这一转变所涵盖内容,不仅仅是设计方法层面升级,它充分体现了工程安全观以及可持续性目标。性能设计方法核心要点在于,在设计阶段便明确结构,在设计使用年限内需要达成多层次性能目标,这些目标一般包括在常规荷载作用下能够保持正常使用状态、在极端荷载作用下允许出现可修复损坏情况,以及在大灾作用下坚决防止整体倒塌等方面,性能目标为设计工作提供了清晰明确且具有可评估性导向^[1]。

基于明确这些目标,设计师能够在材料选择结构体系构造措施以及后期维护策略等多个方面进行综合优化。这种灵活性使在全生命周期内统筹安全耐久以及经济性成为了可能,最终达成寿命周期成本(LCC)最小化。因此,性能设计不仅是技术层面进步,更是实现水工结构长效安全与经济性统一重要途径。

1.2 智能优化算法应用

结构优化本质上是一类具有复杂性、多变量、多目标且高度非线性工程问题,传统方法往往很难在多个相互冲突目标之间实现有效平衡。而随着计算机算力的极大程度

提升,遗传算法(GA)、模拟退火算法(SA)、粒子群算法(PSO)等智能优化算法逐渐成为解决此类问题关键工具。

这些算法通过模拟自然进化或者物理社会机制,能够在包含结构尺寸、构件形状、材料配比、配筋形式等大量设计变量复杂空间中高效进行全局搜索。它们不但可以处理单一目标优化,更能够获取多目标优化中 Pareto 前沿,在不同性能指标(经济性安全性、轻量化)之间取最佳权衡非劣解集。基于智能算法优化设计,能够在严格满足规范安全和功能要求前提下,实现显著工程效益。研究表明,该类方法可以引导结构混凝土用量降低 5%-15%,促进结构轻量化与资源高效利用,为提升水工结构经济性与环境可持续性提供了有效路径。

1.3 精细化数值模拟支撑

基于有限元法(FEM)和计算流体动力学(CFD)数值模拟技术,已然成为现代水工结构精细化设计与性能评估核心工具。它们能够以高精度模拟结构在静力、动力以及复杂流体荷载耦合作用下响应情况,揭示传统方法难以捕捉到内在机理^[2]。

通过构建高保真数值模型,设计师可以对不同设计方案应力分布、变形特性、流场状态乃至材料损伤的演化过程进行可视化仿真与分析。在坝工设计中,可借助 CFD 分析泄洪流态与空化风险,利用 FEM 进行坝体体型优化,显著减小拉应力区范围,从根源上抑制裂缝产生与发展。这种“模拟驱动优化”策略,使工程师能够在建造前预见并消除潜在的设计缺陷,实现结构形态与材料配置深度协同,达成“优生”设计。它不仅极大程度提升了结构在全寿命周期内的耐久性与可靠性,也为实现安全与经济性的统一提供了关键技术支撑。

2 多维度耐久性提升关键技术

提升耐久性需要从材料、结构本身以及外部防护等多个维度构建综合防护体系。

2.1 材料层面创新与运用

材料是决定工程结构耐久性的根本要素。在当前建筑材料领域内,高性能混凝土(HPC)以及超高性能混凝土(UHPC),由于其卓越的力学性能以及耐久性能,已然成为研究与应用的重要方向。高性能混凝土(HPC)借助掺入优质粉煤灰、矿粉、硅灰等活性矿物掺合料,开展降低水泥用量的工作,进而优化混凝土微观结构。这些掺合料填充了水泥颗粒之间的空隙,使混凝土更加密实,孔隙率以大幅降低。因而,HPC 具备优异抗渗透性能,其氯离子扩散系数相较于普通混凝土能够低一个数量级,碳化速度也明显减缓。同时,其抗冻性能到显著提升,抗冻等级可达 F300 以上,适用于严寒盐蚀等恶劣环境,能够极大程度延长结构服役寿命。

超高性能混凝土(UHPC)则是在 HPC 基础上进一步突破了材料性能极限,其抗压强度能够超过 150MPa,

同时具备较高韧性以及几乎不渗透特性。尽管 UHPC 原材料成本较高,然而由于其卓越的抗冲、抗磨、抗空蚀以及抗化学侵蚀的能力,特别适用于关键易损部位。泄洪消能建筑物、闸门槽、结构接缝以及桥面连接处等,在这些部位选用 UHPC,能够显著减少维修频率,降低长期维护成本,从全生命周期角度来看具有显著经济效益。

2.2 结构设计与构造措施优化

合理结构设计是提高工程耐久性规避潜在隐患关键手段,通过科学设计方法,能够从源头上对损伤的发生与发展进行控制,显著延长结构使用寿命。在裂缝控制方面,设计阶段需要采取系统措施来限制裂缝的产生与扩展,运用预应力技术能够在结构中建立初始压应力,有效抵消外部荷载所引起的拉应力,进而减少裂缝的形成。同时,通过设置诱导缝引导裂缝在预定位置的发生,避免出现有害无序开裂。在配筋设计方面,采用小直径的密间距钢筋分布方式能够更好地约束混凝土,限制裂缝宽度,通常要求将运营期裂缝宽度控制在 0.2mm 以下。如此便能够从根本上切断氯离子、二氧化碳等有害介质侵入路径,保护内部钢筋免于锈蚀。

除此以外,完善防排水系统设计对于维持结构耐久性至关重要。在挡水坝体中设置排水廊道,或者在隧道衬砌背后设置排水盲沟,能够及时排除渗水,显著降低结构内部的渗透压力,避免冻胀破坏发生。同时,良好的排水能力还能够减少水分以及其中所含盐分、酸性物质等在混凝土内部富集,减缓材料劣化的进程。最后,采用“牺牲层”设计理念也是一种有效耐久性策略,在混凝土结构表面额外增设一层指定厚度的保护层,或者铺设高性能的耐磨护面材料,该层材料预先考虑到了环境磨蚀、化学腐蚀所造成损耗,在其使用年限内承担主要损伤,从而确保主体结构在设计使用年限内保持完整与安全。这种设计方法尤其适用于水工建筑港口以及腐蚀性工业环境等苛刻工况。

2.3 附加防护技术与措施

对于已建成工程或者处于极端恶劣环境下结构而言,附加防护技术是进一步提升其耐久性、延长服役寿命的有效补充手段,这些技术针对材料老化、钢筋锈蚀以及裂缝扩展等常见问题,提供了可靠的后期解决方案。表面涂层与浸渍是应用广泛的防护方法之一,通过在混凝土表面涂覆环氧树脂、聚脲等高性能防腐蚀涂料,或者在表面施加硅烷硅、氧烷等浸渍剂,能够有效形成憎水性的保护膜。这道屏障能够显著阻止水分、氯离子以及其他有害介质侵入,从而延缓碳化和钢筋腐蚀进程,该方法施工便捷,尤其适用于海洋环境、除冰盐区域以及化工厂房等强腐蚀环境。

在电化学防护方面,主要技术包括阴极保护和电化学修复技术。阴极保护通过施加外部电流使钢筋成为阴极,从而抑制其电化学的腐蚀过程,普遍适用于长期处于水下钢结构和钢筋混凝土构件;而电化学除氯和再碱化技术,

则可以在不破坏结构前提下,将已侵入氯离子排出,或者恢复混凝土孔隙液碱度,终止钢筋锈蚀发展。这类技术已经成为修复已发生锈损结构的有效工程技术手段。裂缝自修复技术代表了耐久性防护前沿方向,通过在混凝土中预埋含有微生物胶囊或结晶型添加剂,一旦裂缝产生并且有水侵入,这些材料被激活并促使碳酸钙沉淀,从而自动封堵微裂缝。这种“自愈合”能力不仅恢复了结构抗渗性能,也减少了对人工维修的依赖,特别适用于难以频繁检修下的工程隧道和大跨度结构^[3]。

3 智能化运维与健康监测技术

提升耐久性不仅在于良好的设计和建造,更依赖于运营期间的精准管理和维护。

3.1 结构健康监测 (SHM) 系统

借助布设光纤光栅 (FBG) 传感器、渗压计以及腐蚀传感器等物联网智能传感设备,能够构建起一套覆盖范围全面、响应速度迅速、结构健康的监测系统,此系统能够达成对工程结构应力状态的变形趋势、渗流压力、裂缝发展以及内部钢筋锈蚀程度等关键参数,全天候自动化采集以及传输,切实达成从“被动检修”到“主动感知”运维模式转变。

这类监测系统作用机制可以形象的被比作为给工程结构安装了一套实时的“心电图”。传感器网络持续捕捉结构“生命体征”,并且将数据借助无线传输技术发送至中央处理平台,平台依靠大数据分析和人工智能算法,对数据进行实时解析以及预警,精准判断结构是否存在异常损伤是否在发展,乃至预测剩余使用寿命。光纤光栅传感器能够灵敏识别混凝土微应变与裂缝动态;腐蚀传感器能够直接反映内部钢筋电化学状态;渗压计则实时监测渗透压力变化,评估防排水系统有效性。该系统不但极大程度上提升了运维效率,降低突发结构安全事件风险,同时还为基于数据长期性能评估与智能决策提供了坚实支撑,特别适用于大坝、桥梁隧道、高层建筑等重要基础设施,是实现结构全寿命周期的精细化管理手段^[4]。

3.2 数据驱动预测性维护

由于先进监测系统所采集海量多源数据,结合大数据分析 with 人工智能 (AI) 技术,能够构建出高精度、结构性能退化模型与寿命预测模型,实现对工程结构全寿命周期智能化的健康管理。该系统不但能够实时感知结构状态,更能够深入挖掘数据背后的演化规律,标志着设施运维由传统定期检修迈入“预测性维护”新阶段。通过大数据技术,系统对来自光纤光栅传感器、应变计、腐蚀传感器等多类物联网设备监测信息进行清洗、集成以及融合处理,

提取与性能退化密切关联关键特征指标。在此基础上,选用人工智能方法(如机器学习深度学习)建立结构响应与损伤机理之间映射关系,构建能够反映材料老化、裂缝发展、钢筋锈蚀等病害演变的规律数字化模型,这些模型能够实现对未来性能衰退、轨迹动态推演与剩余寿命可靠预测。

该智能诊断系统核心功能在于早期病害识别与预警。AI 算法能够从微弱信号中识别异常模式,智能诊断出结构的初始损伤,精准判断病害的类型位置及严重程度,并预测其发展趋势。系统会在临界时间点马上自动发出分级预警,提示管理人员采取有针对性的维养措施,从而实现更精准、高效和经济的养护决策,这种预测性维护策略,有效避免了以往“定期检修”可能带来过度维护或检修不及时问题。它不但显著降低突发结构破坏风险,提升工程安全水平,同时还能优化资源分配,减少非必要维修带来经济浪费,为重大基础设施长期运营与可持续发展提供关键技术支持^[5]。

4 结语

水利工程结构开展优化设计以及耐久性提升这项工作,是一项系统工程,其覆盖了规划设计施工以及运维全生命周期,其核心在于把设计理念从传统“强度保证”转变为“全寿命性能最优”。综合运用智能算法、高性能材料、精细化构造以及智能监测等技术,构建起“设计-材料-防护-监测”一体化技术体系,推动这些技术进行深度融合以及广泛应用,对于提高我国水利设施安全性以及耐久性具有重大战略意义。在未来,应当加快推进相关技术标准、实用化以及智能化,通过科技创新来驱动水利工程实现高质量发展。

[参考文献]

- [1]张秋生.坝肩边坡桩-锚结构设计优化及造价分析[J].江西建材,2025(6):312-315.
 - [2]于小龙.混凝土坝结构在水利工程中的应用及优化设计[J].城市建设理论研究(电子版),2024(28):214-216.
 - [3]黄学伟.桩墙联合防渗优化设计及其在水利工程中的应用[D].郑州:中原工学院,2024.
 - [4]卢聪,陈芬.水利工程泵站结构设计及流道优化设计分析[J].低碳世界,2024,14(1):55-57.
 - [5]张鹏,栗一粟,徐伟.水利工程中混凝土结构的优化设计思路分析[J].建筑技术开发,2020,47(24):14-15.
- 作者简介:马彩霞(1991.10—),毕业院校:西北农林科技大学,所学专业:水利水电工程专业,哈密托实水利水电勘测设计有限责任公司,当前职称级别:工程师。

水利工程监理中的合同管理与索赔处理机制研究

张冬生

河北天和监理有限公司, 河北 石家庄 050000

[摘要]水利工程属于基础设施建设里极为重要的一部分, 在其施工期间, 施工过程颇为复杂, 而且牵涉到的利益相关方也多, 所以合同管理以及索赔处理在工程监理方面处于十分关键的地位。文中把水利工程施工监理当作研究的对象, 全面且细致地对监理合同的概念、主要内容还有实践要点展开梳理, 同时深入剖析合同在执行进程当中的优化机制, 另外还对索赔处理的各类类型、具体流程以及评估办法展开探讨, 最终给出合同管理与索赔处理协同机制以及信息化给予支持的相关策略。通过研究可以发现, 科学合理的合同管理体系、规范有序的索赔处理机制以及合同和索赔之间有效且良好的协同作用, 对于提高监理单位的管理效能以及工程项目整体的执行水准都是很有帮助的, 能够为水利工程实现高质量的建设给予强有力的支撑。

[关键词]水利工程; 施工监理; 合同管理; 索赔处理

DOI: 10.33142/hst.v8i9.17690

中图分类号: TV5

文献标识码: A

Research on Contract Management and Claim Handling Mechanism in Water Conservancy Engineering Supervision

ZHANG Dongsheng

Hebei Tianhe Supervision Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: Water conservancy engineering is an extremely important part of infrastructure construction. During its construction period, the construction process is quite complex and involves many stakeholders. Therefore, contract management and claim handling play a crucial role in engineering supervision. The article takes water conservancy engineering construction supervision as the research object, comprehensively and meticulously sorts out the concept, main content, and practical points of supervision contracts, and deeply analyzes the optimization mechanism of contracts in the execution process. In addition, it explores various types, specific processes, and evaluation methods of claim processing, and finally provides relevant strategies for contract management, claim processing coordination mechanism, and information technology support. Through research, it can be found that a scientific and reasonable contract management system, a standardized and orderly claim handling mechanism, and effective and good synergy between contracts and claims are very helpful for improving the management efficiency of supervision units and the overall execution level of engineering projects, which can provide strong support for achieving high-quality construction of water conservancy projects.

Keywords: water conservancy engineering; construction supervision; contract management; claim handling

引言

水利工程建设涉及到水资源调配、环境保护以及社会经济发展等诸多目标, 其施工进度往往呈现出周期偏长、投资额颇高且参与方众多等特性。在这样的情况之下, 监理合同身为项目管理极为关键的依据, 一方面划定了监理单位同建设单位彼此间权利义务方面的关联, 另一方面还给工程质量、施工进度以及投资控制给予了制度层面的保障。随着工程项目管理理念持续向前发展, 合同管理以及索赔处理已然逐步变成监理工作当中的核心要点。合同管理借助对签订、履行以及监督等环节加以规范, 以此达成合同目标的高效实现; 而索赔处理则是凭借系统化的流程来处置施工期间由于变更、延误等情况所产生的权益调整方面的问题。本文尝试从合同管理以及索赔处理这两个角度出发, 深入探讨水利工程监理里机制的构建以及优化事宜, 进而为实际的工程管理工作给予一定的参考。

1 监理合同管理机制

1.1 监理合同的概念与特征

理合同是委托方与受委托方签订监理业务的协议, 是由建设单位(项目法人)与取得了监理资质证书的监理公司、监理事务所等监理单位为完成商定的监理业务, 明确双方权利、义务关系的合同。它是进行工程质量控制、工程进度控制和工程投资控制的重要依据。实际上, 它是由监理单位利用经济、技术知识协助项目法人对工程建设项目承包合同进行的管理, 对承包合同实施进行监督、控制、协调、服务以实现承包合同目标的一种新的合同类型, 是经济合同的一种特殊形式。监理合同一方面给项目管理给予了制度层面的保障, 另一方面也给监理单位履行其专业职能提供了可操作的依据, 并且还针对合同执行过程中所涉及的各项活动构建起了一套系统化的管理框架。

1.2 监理合同的主要内容

监理合同涵盖诸多方面, 像监理服务范围、双方权利义

务、合同履行期限、费用结算方式以及违约责任等等。其中，监理服务范围清楚地指出了监理单位在工程项目各个阶段需要完成的具体任务，像在施工准备阶段要开展技术审查工作，在施工阶段得对进度和质量予以监督，而在竣工验收阶段还要负责验收管理工作等。双方权利义务这一部分明确了建设单位有提供资料以及协作配合的责任，同时也规定了监理单位要依法履行技术监督与管理职责的义务。合同履行期限能够保证监理活动在项目的整个周期当中有序且顺利地推进下去，至于费用结算方式，则是体现出监理单位所提供的服务所具有的价值以及经济方面的激励机制。违约责任条款可保障合同的严肃性，能为合同履行的过程给予法律以及制度层面的依据。这些内容综合起来共同形成了监理合同的关键框架，也为合同管理以及索赔处理打下了相应的基础。

1.3 监理合同管理的实践要点

1.3.1 总监理工程师选任与职责

总监理工程师的选任事宜，一方面关乎监理合同能否得以有效施行，另一方面还对工程质量、工程进度以及投资控制产生着直接影响。总监理工程师得拥有丰富的工程技术方面的知识，同时还得具备相应的管理经验，如此才能在合同所划定的框架范围之内，针对施工单位具体的施工行为展开有效的监督工作，做好相关的协调事宜，并给予科学合理的指导。在实际开展工作的过程中，总监理工程师务必要对合同条款进行全面且细致的了解，要保证每一项监理任务都能够明确划分出责任人，并且确立起相应的执行标准。还要借助定期召开的会议、实地开展的检查以及进行技术审核等多种多样的方式来促使合同能够顺利履行。其职责范畴并不仅仅局限于单纯的对技术层面加以监督，而且还涵盖了对工程进度的把控、对资金使用的监管、对施工安全的保障以及对施工变更的审批与记录等方面的工作，从而为合同管理给予全方位的专业性支撑。

1.3.2 合同签订与责任明确

合同签订当属监理工作的开端所在，其规范与否会径直对后续的管理效率产生影响。在签订合同这个过程当中，建设单位跟监理单位得就监理范围、各自的权利义务、履约所持续的时间期限、费用该如何结算以及出现违约情况时该如何处理等一系列内容达成共识，并且最终要形成书面形式的合同文件。所谓责任明确化，就是要求合同条款得具备具体性并且是可操作的，要清晰明确监理单位在质量控制方面、进度监督方面、安全检查方面还有资料归档等方面所应承担的职责，与此同时也要明确建设单位在资料提供方面、现场配合方面以及支付管理费方面所应履行的义务。借助于将条款进一步细化以及把责任明确清楚，各方在合同履行期间就能够更为妥善地去协调彼此的工作，从而减少出现争议的情况以及潜在存在的各类风险。

1.3.3 档案资料与信息化管理

档案资料以及信息化管理，在监理合同管理方面充当着极为关键的支撑手段。就合同管理来讲，在其实施进程中，借助建立起系统化的档案，便能够针对施工日志、监

理记录、变更记录还有索赔资料等展开集中的管理工作。而信息化管理则让数据处理效率得以进一步提升，依靠项目管理软件，可以达成对施工进度、质量检查、合同履行状况以及索赔事项的实时监控目的，如此一来，监理单位就能够及时察觉到潜在存在的各类问题，进而为其后续开展决策以及做出相应调整给予科学的依据。档案资料和信息化管理相互结合起来，这既确保了合同管理具备规范性，同时也给索赔处理筑牢了可靠的数据根基。

2 合同执行与管理优化机制

2.1 合同执行过程的组织与协调

在合同执行进程里，监理单位得科学有序地开展监理相关活动，要把合同条款切实转化成具体明确的工作计划以及合理细致的任务分配安排。借助施工现场的巡查工作、针对质量方面的检查事宜、对进度的跟踪情况以及对各类资料的审核环节，监理单位便可以及时察觉到施工当中出现的偏差状况，并且会通过召开协调会议、给予技术方面的指导以及开展现场的调整操作等多样方式来全力保证合同所设定的目标得以顺利实现。这里的组织与协调，一方面涉及到监理人员的具体安排部署，另一方面还涵盖了施工单位、设计单位以及建设单位彼此之间要展开的有效沟通交流，从而确保各方能够在合同执行整个过程当中始终维持信息的同步状态，进而有效减少施工期间可能出现的各类摩擦问题，最终促使整体的管理效率得以提升。

2.2 合同履约监控与风险管理

合同履约监控对于保障工程顺利推进而言是一项极为重要的手段，它同样是保证监理单位可有效尽职履责的关键环节所在。监理单位得对合同条款里涉及到的质量标准、施工进度、安全规范还有投资控制等方面展开全面的监督工作，务必要让施工活动能够严格按照合同所约定的内容以及设计方面的要求来开展。与此监理单位需要借助科学的风险分析办法去识别出潜在的各种问题，像是施工出现延误情况、材料供应不够及时、存在技术方面的难题以及施工环境发生变动等情况，这些都有可能对工程的进度以及质量产生影响的因素。在把风险识别出来之后，监理单位要针对不同类型的各类问题去采取与之相应的预防举措以及应对办法，比如对施工计划做出调整、对资源配置加以优化、合理地调度施工人员或者给出技术改进方面的建议，从而降低风险给工程进度以及质量所带来的影响。除此之外，监理单位还应当建立起动态的监控机制，定期针对施工现场展开检查并且开展数据分析工作，及时察觉到合同履行进程当中的偏差以及异常状况，并且采取纠正方面的相关措施。凭借全过程且全方位的合同履约监控以及风险管理举措，不但能够让合同履行始终处于可控的范围之内开展，而且还能够切实有效地提升工程整体的执行水准，进而为工程的安全、质量以及投资控制给予强有力的保障，同时也能够为后续类似的工程项目管理积累下经验并提供数据方面的支撑。

2.3 合同管理体系建设与优化

构建完整的合同管理体系，可将合同执行各个环节变

得制度化、流程化,进而形成闭环管理。此体系涵盖合同签订规范、监理职责分工清晰明确、履约监控机制、资料档案管理以及索赔处理规范等诸多模块。借助体系化管理方式,监理单位能够达成对合同执行全过程的跟踪与控制,让工程监理工作更为科学、透明且高效,并且还能处理施工过程中出现的争议和索赔事宜给予制度方面的依据。

3 水利工程索赔处理机制

3.1 索赔类型与构成分析

水利工程索赔,其源头主要在于合同变更、不可抗力因素、施工延期以及施工质量问题这几个方面。合同变更索赔,具体涵盖了设计变更、施工范围做出调整以及技术要求加以修改等种种情况。不可抗力因素索赔,所涉及的是自然灾害、政策出现调整以及那些不可预知的环境因素。施工延期索赔,是由于材料供应出现延迟、设备发生故障或者施工组织出现失误等原因而产生的。质量问题索赔,那就涉及到了因为施工质量标准没有达成,进而致使需要返工或者花费修复费用的情况。通过针对索赔类型与构成展开分析,监理单位便可在合同履行的过程当中建立起具有针对性的管理举措,以此来为索赔处理给予科学方面的依据。

3.2 索赔管理流程与操作方法

索赔管理流程涵盖多个环节,像是索赔的提出、资料的整理、评估审核工作、协商处理事宜以及最后的结案归档等。监理单位得在施工现场留心收集那些与索赔有关的合同条款、施工日志、变更记录还有相关证据,以此来保证索赔申请资料能够完整无缺。在评估审核这个阶段,会借助技术测算以及经济分析这两种手段,针对索赔金额及其合理性做出较为科学的判定。之后,监理单位要出面协调建设单位和施工单位,凭借协商或者调解这样的方式去解决出现的争议,最终形成可供归档的资料,进而为后续的审计工作以及工程总结等相关事宜给予一定的参考。

3.3 索赔评估、计量与文件管理

索赔评估以及计量工作,得把合同条款、施工实际情况还有相关标准综合起来考量。要借助工程量核算的方式,还得开展成本分析,同时进行技术审查等等一系列的方法,如此才能保证索赔金额是准确且合理的^[1]。而文件管理方面,则是通过系统化的归档手段,把索赔申请、评估报告、审批文件以及沟通记录这些全都统一起来去管理,进而达成信息能够追溯、操作过程透明、管理效率提升的效果。科学完善的索赔评估以及文件管理机制,一方面能够维护监理单位和建设单位的合法权益,另一方面也能给未来类似的项目提供相应的经验以及参考依据。

4 合同管理与索赔处理的协同机制

4.1 合同管理与索赔处理的衔接关系

合同管理以及索赔处理在实际开展工作的过程当中

是紧密联系在一起的,索赔相关事项往往是依据合同条款而产生的,合同具体的执行状况会对索赔依据以及处理效率产生直接的影响^[2]。通过构建起有效的衔接机制,监理单位便可以在合同执行期间及时察觉到潜在存在的索赔事项,同时规范索赔申请、审批还有资料归档等一系列流程,进而让合同管理与索赔处理能够形成一个完整的闭环,达成制度化以及流程化的管理模式,以此来确保项目利益以及合同目标得以顺利实现。

4.2 综合机制优化策略与应用展望

综合机制优化方面的策略涵盖了对合同条款加以完善、促使管理流程走向标准化、推进信息化平台的建设以及着力提升监理人员的能力等内容。凭借在制度层面、流程方面、技术领域以及人才维度所开展的综合优化举措,进而达成合同管理以及索赔处理工作的系统化与科学化目标。在未来,伴随信息技术以及工程管理理论的不断向前发展,监理单位能够进一步去运用大数据分析手段、智能管理相关工具以及协同平台等,以此来实现针对合同执行情况以及索赔处理事宜的动态化监控以及智能化决策操作,从而为水利工程实现高质量的建设给予更为完善的管理方面的有力支撑。

5 结语

全面且细致地剖析了水利工程施工监理里的合同管理以及索赔处理机制。从监理合同所涉及的概念层面开始,到其主要内容,再到实践操作当中的要点方面着手展开,对其合同执行方面的优化状况、索赔处理的具体情况以及合同和索赔二者协同机制都进行了深入探讨。相关研究说明,若能构建起较为科学合理的合同管理体系,同时设立规范有序的索赔处理流程,并且搭建起能够给予信息化支撑的平台,那么便能够在很大程度上提高监理工作在管理方面的效率,也能促使工程在执行层面的水平得以提升。在未来的发展过程当中,进一步去完善合同与索赔之间的协同机制,不断强化针对信息化的管理工作,着力于人才培养方面,这将会为水利工程监理赋予更为科学且更为系统的管理手段以及更多的实践经验,从而达成工程建设呈现出高质量、高效率并且能够实现可持续发展的良好态势。

[参考文献]

[1]孟召辉.基于水利工程项目监理合同风险识别与控制措施[J].黑龙江水利科技,2022,50(3):194-197.

[2]李仲茂.水利工程建设施工监理合同的管理刍议[J].珠江水运,2020(21):50-51.

作者简介:张冬生(1985.11—),毕业院校:郑州大学,所学专业:土木工程,当前就职单位:河北天和监理有限公司,职务:项目总监,职称级别:高工。

高寒地区长大隧洞施工辅助系统布置难点与对策

吴小华 杨井国

中国水利水电第十一工程局有限公司, 河南 郑州 450001

[摘要]针对高寒地区长隧洞施工中“气候寒冷”“施工距离长”而产生的施工辅助设施运转困难的技术难题,文中从对施工辅助系统采取保温措施,对施工供电、供水、供风、通风等临建系统采取设计优化措施,从而增加施工效率,减少安全隐患,保证工程质量,希望本论文为相关高寒地区长隧洞间的施工辅助生产系统设计提供参考。

[关键词]高寒地区;长隧洞;施工辅助生产系统设计

DOI: 10.33142/hst.v8i9.17687

中图分类号: U455

文献标识码: A

Difficulties and Countermeasures in the Layout of Auxiliary Systems for the Construction of Long Tunnels in High-altitude Regions

WU Xiaohua, YANG Jingguo

Sinohydro Bureau 11 Co., Ltd., Zhengzhou, He'nan, 450001, China

Abstract: In response to the technical difficulties in the operation of construction auxiliary facilities caused by the "cold climate" and "long construction distance" in the construction of long tunnels in high-altitude areas, this paper proposes to adopt insulation measures for the construction auxiliary system and design optimization measures for temporary construction systems such as power supply, water supply, air supply, ventilation, etc., in order to increase construction efficiency, reduce safety hazards, and ensure project quality. It is hoped that this paper can provide reference for the design of construction auxiliary production systems between long tunnels in relevant high-altitude areas.

Keywords: high cold regions; long tunnel; design of construction auxiliary production system

水利工程大多位于深山峡谷之内,远离城镇区域,因此水利工程施工基本需要在施工区域内自建施工辅助生产系统,水利项目施工辅助生产系统主要有拌合站、砂石加工厂、钢筋加工厂、机械修配厂、施工供风、施工供水、施工排水、施工供电、施工通风、施工照明等。

对于水利工程隧道项目施工,施工辅助设施是保证正常高效施工的必须保障措施,但是对于高寒地区长隧洞施工,主要有两个技术难点。一是寒冷地区冬季气候极低,尤其对于我国的新疆、东北等地区,冬季气温底至零下30℃,施工供水和排水设备及管道容易结冰,空压机等效率降低甚至不能正常启动。二是当隧洞单段施工距离超过1km时,随着距离的增长,施工供风、供水及排水管沿线阻力逐渐增大,施工供电电压逐渐降低,导致各项施工辅助设施效率极大降低。

1 工程概况

新疆某水利输水隧洞工程,地处新疆北部阿勒泰地区,冬季严寒而且漫长,冬季极端最低气温约零下隧洞设计长度7100m,半径8.9m,采用钻孔爆破法施工,因地形起伏较平坦,施工支洞设计过长,因此未设计施工隧洞,隧洞开挖施工分两个工作面,从进口和出口向隧洞中部单端开挖各3550m。

隧洞开挖施工工序主要有钻孔、联网爆破、通风排烟、

出渣、一次支护等,其中钻孔需要用到施工供风、施工供水、施工排水、施工供电等,一次支护喷射混凝土采用湿喷法,采用拌合站集中拌合、混凝土罐车运输、现场湿喷台车喷射的施工工艺。为解决高寒地区长隧洞施工的生产系统运行的技术难题,本文从施工工厂站的保温设计、隧洞的供排水及供电设计优化等方面阐述了相关施工技术措施。

2 施工辅助生产系统设计优化措施

2.1 施工供水

2.1.1 通用方法和缺点

隧洞开挖一般采用手风钻钻孔爆破法施工,为保证降尘和保护手风钻钻头过热损坏,手风钻施工需采用施工用水,本工程隧洞工作面布置12台YT28手风钻,每小时需用5.03m³施工用水,具体计算如下:

$Q=K1 \cdot K2 \cdot q \cdot p=1.15 \times 1.35 \times 6 \times 270=5030 \text{ L/h}$ 。式中Q是生产用水总量,单位是L/h;K1是水量损失系数,一般采用1.1~1.2;K2是用水不均匀系数,一般取1.25~1.50;q是用水机械台班数,主洞开挖同时开动12台YT28风钻;p是机械用水量定额指标,根据经验一般为240~300(L/台时)。

选择供水方法时,需要考虑施工现场的具体情况、水源的可用性、供水量的需求以及安全和环境因素。通用的

施工做法是从最近的河流取水点处布置抽水水泵,水泵先抽水至隧洞洞口顶部的施工供水水池,该水池一般采用钢筋混凝土、砖砌、浆砌石或者钢板水池,再从施工供水水池下游侧连接供水钢管,将水引至隧洞开挖工作面,从水池到工作面可采用自流或者加设增压泵的方式。

2.1.2 本工程采用的技术措施

(1) 设置洞内三级沉淀池供水系统

但涉及到寒冷地区长隧洞施工时,冬季低温底,隧洞外部的水泵、水管、水池内的水容易结冰,因此在本工程采用了一种使用隧洞内的渗水作为施工供水的方式,具体方法随着贫水隧洞开挖,在贫水隧洞一侧底板高程以下开挖排水沟,采用风镐开挖及维护,每间隔 300~500m 采用钻孔爆破方式开挖沉淀池,使用中隔墙将沉淀池依次分隔成一级沉淀池、二级沉淀池和三级沉淀池,中隔墙采用浆砌片石砌筑,中隔墙上设置过水孔,一级沉淀池与排水沟相连处设置进水口;在第三级沉淀池内设置供水系统,通过供水系统将沉淀后的净水抽至工作面的清水箱中,供钻机和喷浆施工使用。

(2) 对洞外排水管道增加保温系统

室外排水管道埋地敷设时,管道埋设深度需低于土壤冰冻线以下 0.15m。在寒冷季节,仅通过增加保温层厚度无法满足管道设备防冻问题,必要时需设置电伴热保温防冻。绝热保温材料选用不燃、难燃类材料,电伴热采用自限温电伴热,其具有一定的自调控功能,在各个区段能随时调整功率,自动跟踪、按需供热,使管温处处时时均匀同步;当用于防冻时,应采用环境型温度传感器,安装在气温变化比较敏感的地方,当气温低于 4℃时,电气开关箱内电源接通,与该电气开关箱连接的所有电热带系统都通电工作;当气温高于 4℃时,电源切断,所有电热带系统断电,停止工作。

2.2 拌合站冬季运行

2.2.1 通用方法和缺点

对于中国北方的新疆、东北、内蒙古及靠近中国北方的外蒙古国等地,冬季寒冷漫长,冬季长达 5~6 个月,极端最低气温-40℃,属于极其寒冷地区。在极其寒冷地区建设综合枢纽水电站项目,受限于温度降低导致的在土石方开挖和混凝土浇筑中发生的机械设备不能运转、机械设备故障率高、需要用水的设备材料发生冻胀、人员发生的冻伤伤害等问题,导致每年的有效施工时间极短。土石方施工每年的有效施工时间只能达到 6~8 个月,集中在每年的 3 月中旬~11 月中旬,混凝土施工的有效时间更短,只有 4~6 个月,只能集中在每年的 4 月中旬~10 月中旬。

对于工期紧或者特殊要求的项目,为加快工程施工进度,或者有抢险救灾性质的紧迫性较强的工程,必须要求在冬季的某些时间段进行施工,因此在这种情况下,需分

析工程项目所处的地理位置和具体气候条件,如何对拌合站采取保温措施,保证土石方和混凝土正常施工。

2.2.2 本工程采用的技术措施和运行效果

(1) 全封闭暖棚

对料仓棚、上料区、拌和楼及斜皮带搭设钢屋架棚进行全封闭。采用钢管搭设立柱,型钢搭设桁架屋架,料仓棚、上料区屋架下沿距地面 8m 以满足自卸车卸料要求。屋顶采用采光保温彩钢板进行封闭,并沿料仓横向方向每 4m 设 1 道宽 1m 透明亮瓦,确保料仓棚内采光。

(2) 配设锅炉暖气系统

在供暖区配套设置 2 台 8t 燃煤锅炉负责拌和站的供暖及拌和水加热。锅炉设在封闭的 24 砖墙锅炉房内,屋盖用型钢搭设钢屋架,屋顶采用阻燃保温彩钢板,地面用 20cm 厚 C20 混凝土硬化。从锅炉房至料仓门前埋设 4 条(2 条备用) PPR ϕ 75mm*6.8mm 主供暖管,埋深 2m。先铺 20cm 厚砂,然后铺管,并包裹保温棉,再填 30cm 厚砂,最后填土压实。从锅炉房安装拌和水加热管道至拌和楼下蓄水池。加热管道采用 80mm*2mm 钢管,外包保温棉,架设在料仓墙上。

(3) 料仓供暖设计

料仓设地暖和墙暖,地暖管道采用 PPR ϕ 2mm*2mm 管按间距 25cm 呈回形布设。管道下铺设地暖反射膜,将热量向上反射。暖气管从埋设在料仓墙旁边的主管接出。为保证供暖效果,有效控制管道长度,每一根管道只铺设一圈。地面采用 25cm 厚 C20 混凝土硬化。在料仓 3m 高隔墙顶上设墙暖暖气片,每侧隔墙顶上按 2m 间距设 6 片长 1.8m、高 0.6m 的钢制暖气片。

2.3 施工供电系统

2.3.1 通用方法和缺点

隧洞洞内施工供电一般采用在洞口设置变压器,并沿隧洞一侧布置 380V 低压架空供电线路至洞内工作面。隧洞洞内用电设备主要有湿喷机、注浆机、排水水泵、电焊机开挖支护施工期用电设备和混凝土输送泵、振捣棒等混凝土浇筑施工期用电设备,其中开挖支护期用电设备数量少、功率小,若采用低压线路供电的方式,需根据开挖和混凝土施工期间不同的用电设备功率,计算低压线路供电距离。

低压线路供电压降及有效供电距离计算公式为 $\Delta U = (P \cdot L) / (A \cdot S)$,其中 P 为线路负荷, L 为线路长度, A 为材质系数, S 为电缆截面。

开挖期间隧洞内的主要用电设备及负荷为:湿喷机 7.5kW,电焊机 10kW,照明 10kW,水泵 8kW,其余零星设备 10kW,合计 45.5kW。按照 0.8 的同时系数,高峰期最大用电负荷为 36.4kW。本工程采用 240mm² 铝芯线,由公式求得 L=2772m,配置的低压电缆无法满足单端开挖 3560m 距离的施工用电需求。

混凝土施工期间的主要用电设备及负荷为：混凝土输送泵 110kW，钢模台车 7kW，电焊机 20kW，混凝土振捣棒 10kW，照明 10kW，水泵 8kW，其余零星设备 10kW，合计 170kW。按照 0.8 的时间系数，高峰期最大用电负荷为 136kW。若仍采用 240mm² 铝芯线，由公式求得 L=740m，配置的低压电缆无法满足混凝土施工期间的用电需求。

2.3.2 本工程采用的技术措施和运行效果

目前解决长隧洞内施工供电的解决方法主要高压进洞方案、无功补偿/稳压方案和升压/降压方案。其中：(1) 高压进洞是采用高压电缆从洞外接引 10kV 电源至洞内合适位置经 10/0.4 级变压器降压后供洞内用电设备使用的一种供电方式，优点是供电质量好、电压波动小，缺点是安装复杂，成本高。(2) 无功补偿/稳压方案是在靠近线路末端增加稳压器，保持线路末端电压稳定的一种供电方式，优点是安装方便、成本低廉，但其线路损耗相对较大。

(3) 升压/降压方案是在洞口端增加升压器，将 400V 低压动力电源升压至 1000V 高压，经原低压架空线路送至洞内，并分别在中间和末端加设降压变压器将 1000V 高压降至 380V 动力电源的一种供电方式，具有安装方便、成本相对低廉的特点，但其线路损耗相对较高且中间施工用电较难满足。

从投入成本、供电质量、安装维护等方面综合考虑，本工程从开挖支护和混凝土衬砌两个主要工作期间区分，采取了不同的施工供电方式。

(1) 隧洞开挖支护期间，在隧洞内 2.5km 处配置无功补偿/稳压器

无功补偿/稳压器与另外两种供电方式相比，具有成本最低的优点。考虑到原配置的低压电缆在开挖支护期间可正常供电至 2.7km 的距离，距离最终工作距离 3.56km 仅剩 0.86km 远的距离，本工程在开挖支护期间的 2.7~3.56km 范围内采用了无功补偿/稳压的供电方式。具体做法是经过计算，在 2.5km 处的错车道位置，布置了 1 台 100KVA 的无功补偿稳压器，最终采用该供电方案完成了 3560m 的单端隧洞开挖施工。

(2) 混凝土施工期间，需要 10kV 高压线路进洞，并在洞内配置 10/0.4kV 箱式变压器。

因混凝土衬砌期间设备多、功率大，采用低压电缆只能供应 740m 的距离，距离单端 3560m 还有 2820m 的距离，无功补偿/稳压、升压/降压方案无法满足要求，最终采用了高压电缆进洞的方案。

2.4 施工通风系统

2.4.1 通用方法和缺点

隧洞开挖工程，应保证工作面在施工过程中有足够的新鲜空气，冲淡并排除爆破烟尘和各种有害气体，使其含量降到国家标准以下，创造良好的施工条件，保证施工人员的人身安全。

本工程 3#隧洞长 7.1km，隧洞开挖施工分两个工作面，从进口和出口向隧洞中部单端开挖各 3550m。通常独头掘进超过 3000m 的隧洞要考虑增加施工支洞以改善隧洞开挖通风难度，但是增加施工支洞需要考虑征地问题、地形条件等，若隧洞沿线整体属于地形较平缓且埋深较深的地形，增加施工支洞长度过长，会极大增加施工成本。本引水隧洞工程为戈壁滩地形，整体埋深在 110~130m 之间，若增加施工支洞，施工支洞长度最低在 1km 左右，不仅施工费时，且会极大的增加建设成本。

2.4.2 本工程采用的技术措施和运行效果

隧洞通风一般分为压入式、抽出式、混合式等方式，其中压入式通风具有通风布设简单、成本少、且施工工期短的特点被广泛采用。因此，本工程仍采用压入式通风的方式。但是在如此长的隧洞施工中仅采用压入式通风，对通风设备是一个极大的考验，因此，在进行长隧洞通风方案设计时应考虑以下因素：

(1) 准确进行通风计算及设备选型

隧洞总长 7120m，隧洞断面 60m²，采用双头开挖的施工方式，单头最大开挖深度 3560m，洞内最多作业人数 70 人，内燃机械设备主要有装载机 (132kW*1 辆)、挖掘机 (119kW*3 辆)、自卸汽车 (152kW*3 辆)，一次爆破炸药量为 206kg。根据《水利水电工程施工组织设计》可计算出洞内允许最小风速，排除炮烟、稀释内燃机作业废气所需供风量，取最大值；再根据流体力学达西公式可计算出沿途的风压损失。通过计算可知，供风量为 1622m³/min，提供不低于 3934.3Pa 的风压补偿。结合上述系数，决定选用 75*4kW 型风机，配合风管直径 1.5m。

(2) 在实际通风过程中，随着单头开挖距离的递增，另外受风管布置平顺度、时久老化、衬砌混凝土同时施工等因素的影响，只依靠洞口布置的压入式通风机很难满足通风要求。因此除以上方法外，可在烟雾聚集区域内间隔 500m 左右布置一台 30kW 的轴流风机。

(3) 爆破后，炮烟往往会聚集在炮烟抛掷距离内，对此，可采用在炮烟抛掷集中范围在布置一台移动式的雾炮机，能够有效降低粉尘含量。

3 结语

我国的东北、新疆等北方寒冷地区，受制于极端气温影响，每年冬季期可长达 6 个月，施工风、水、电等生产辅助系统在冬季效率极低甚至无法运行，导致工程基本处于停工状态。但随着我国近些年基建的高速发展和施工技术水平的不断进步，要求在北方寒冷地区隧洞工程必须施工的项目也越来越多。希望通过本文所阐述的在施工工厂站的保温设计、隧洞的供排水及供电设计优化等方面的技术措施，为我国在北方寒冷地区冬季进行隧洞工程施工提供一定的建议。

[参考文献]

- [1]杜昱辰.小断面长隧洞单头掘进钻爆法施工机械配置及隧洞通风管理研究[J].水利技术监督,2022(7):243-246.
- [2]李秀英,石雨,陈思雄.西藏高寒高海拔地区小断面隧洞开挖施工技术研究[J].四川水利,2020(5):30-34.
- [3]杨金华,马江飞,王黎.高寒高海拔地区软岩长引水隧洞施工降效原因分析及应对措施[J].水利水电快报,2022(11):62-66.
- [4]李光前.高寒地区洞挖施工技术研究[J].黑龙江水利科技,2019(12):176-178.
- [5]张恒.白龙江引水工程六盘山深埋长隧洞通风散烟设计研究[J].水利技术监督,2022(8):252-256.
- [6]李国华,陈恩瑜.超长引水隧洞施工期通风措施研究—以巴基斯坦 N-J 水电工程为例[J].人民长江,2016(1):66-69.

作者简介:吴小华(1981.12—),男,高级工程师,本科,主要从事水利水电工程施工技术管理工作。

大型轴流泵在水利泵站安装中的高精度找正工艺研究

郑斌

浙江江能建设有限公司, 浙江 杭州 310000

[摘要]大型轴流泵是水利泵站的核心设备,其安装精度直接决定了机组的运行效率、稳定性和寿命。文中针对大型轴流泵安装中的关键环节——高精度找正工艺展开深入研究。文章系统分析了影响找正精度的主要因素,包括基础沉降、加工误差及热变形等,并重点阐述了以激光跟踪仪为代表的现代测量技术在找正过程中的应用。通过对比传统工艺,文中提出了一套基于数据驱动的高精度、流程化找正方法。实践应用表明,该工艺能将水泵主轴垂直度误差控制在 0.02 mm/m 以内,电机与水泵轴的对中误差控制在 0.03 mm 以内,显著提升了安装质量,为同类工程提供了重要的技术参考和理论依据。

[关键词]轴流泵; 泵站安装; 高精度找正; 同轴度; 激光测量; 安装工艺

DOI: 10.33142/hst.v8i9.17682

中图分类号: TV5

文献标识码: A

Research on High Precision Alignment Process of Large Axial Flow Pump in Water Conservancy Pumping Station Installation

ZHENG Bin

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

Abstract: Large axial flow pumps are the core equipment of hydraulic pumping stations, and their installation accuracy directly determines the operating efficiency, stability, and service life of the unit. The article conducts in-depth research on the key process — high-precision alignment in the installation of large axial flow pumps. The article systematically analyzes the main factors that affect the accuracy of alignment, including foundation settlement, processing errors, and thermal deformation, and focuses on the application of modern measurement technology represented by laser trackers in the alignment process. By comparing traditional techniques, the article proposes a data-driven high-precision, process oriented alignment method. Practical application has shown that this process can control the verticality error of the water pump main shaft within 0.02 mm/m , and the alignment error between the motor and the water pump shaft within 0.03 mm , significantly improving the installation quality and providing important technical reference and theoretical basis for similar projects.

Keywords: axial flow pump; pump station installation; high precision alignment; coaxiality; laser measurement; installation process

引言

水利泵站是国家水资源配置与防洪排涝的核心设施,其安全稳定运行至关重要。大型轴流泵因流量大、扬程低,广泛用于大流量输水工程,但其结构庞大、部件沉重,安装过程复杂精密。其中,泵体与电机轴系的“找正”尤为关键——精度不足将导致振动加剧、部件磨损、效率下降甚至断轴等严重后果。传统找正方法依赖人工经验与简易工具,精度有限、效率低下,难以满足现代大型泵站对安装质量的高要求。因此,研究并应用一套科学规范的高精度找正工艺,对保障国家重点水利工程的建设质量与长期效益具有重要意义。

1 大型轴流泵找正精度的关键影响因素剖析

要实现高精度找正,关键在于全面识别并领会所有可能引发误差的因素,大型轴流泵,主要影响因素可总结为以下几点:

1.1 结构基础因素

泵站混凝土基础因长期承受设备静载荷与振动载荷,会出现持续且缓慢的下沉变形,这种情况在设备安装与土

建施工同步进行的工程里尤为常见——设备初步安置并完成校准后,基础处于持续下沉且强度逐步增强的进程,造成先前精心调校的水平度、对中度等初始找正数据逐渐偏离许可范围。由于地质条件、荷载分布以及混凝土收缩徐变等因素作用,常出现不均匀沉降,从而引发设备底座附加应力增加、联轴器对中偏差变大等问题,成为影响设备安装精度和长期稳定运行的关键隐患^[1]。

依据实际工程的监测数据,大型泵组基础浇筑完成后的180d内会有明显沉降,总体沉降量一般能达到 $1\sim 3\text{ mm}$ 。尤为关键的是,不同位置测点的沉降发展并非同步开展:荷载集中区域、软弱地基以及基础边缘处的沉降速度较快,其余区域沉降速度较慢。若在安装过程中未对这种差异沉降进行预测和补偿,会让设备找正结果立刻失效,甚至会触发轴系振动、密封磨损等一系列连锁问题。针对重要泵站工程,要借助设置沉降观测点并开展定期测量,实时把握基础的变形走向,进而制定对应的安装调整与控制办法。

1.2 设备制造与加工误差

即便大型旋转设备(例如泵组、压缩机等)在出厂前

都经历了精密机械加工与质量检验,但针对尺寸和重量极大的部件,因材料内应力释放、热处理变形以及机床加工能力受限等因素,依旧不可避免地存在一定加工偏差。典型问题涵盖泵座法兰安装面平面度误差、电机底座局部变形、地脚螺栓孔位偏差等,这类“先天”存在的几何误差,虽一般处于制造标准允许的范围,但要是安装初期没开展系统性检测与补偿,会伴随安装进程持续积累和传递,最终极大影响设备对中精度与运行稳定性。

刚性联接与强制紧固往往掩盖了这些初始误差,实际上损害了设备轴系的理想对中状态。泵与电机之间法兰的平行度超出公差范围,会直接引发角向对中偏差;底座若存在局部不平的情况,会引发附加的变形与应力。安装初期需借助激光跟踪仪、电子水平仪这类高精度测量工具,对关键结合面的平面度、水平度、孔位展开检测与记录,再通过增设垫片、局部研磨或调整安装次序等途径实施主动补偿。只有自源头管控并消除这些制造误差的传导,才可给后续精确对中打下可靠根基,保证设备长期稳定工作^[2]。

1.3 环境与热变形因素

设备安装精度受环境温度变化的影响,尤其是对中测量的稳定性,室外或半开放式厂房中,日照不均衡会造成设备局部受热情况不同。比如泵座朝阳面与背阴面之间能形成明显的温度梯度,从而引发热胀冷缩不均。这种变形将直接在水平度、同轴度等测量结果里呈现,引发数据波动,甚至让调整方向出现偏差。高精度找正操作最好在温度稳定的时间段(例如夜间或阴天)开展,还要对关键测点做温度监测和结果校正。

尤为关键的是,在机组运转时,电机与水泵因功率损失及散热条件的不同,往往会形成显著温差。电机温度常常比水泵高出 10°C及以上,该温差造成两者轴心线在热态情况下产生相对偏移。若冷态对中时没有进行补偿,设备升温到工作状态就会出现对中偏差,进而引发振动、磨损等严重问题。需在冷态找正阶段按照材料热膨胀系数、设计工况温度等参数,提前估算并反向施加这个“热偏移量”,以使设备热态运行时可达成良好的对中状况,热补偿是保障长周期稳定运行的关键技术手段。

2 高精度找正工艺的关键技术及执行步骤

由于上述因素,现代高精度找正工艺突出测量技术的提升和流程的标准设定。

2.1 基准网建立与基础复测

在开展泵房设备安装工程时,要先构建一套高精度的测量控制网,作后续所有安装工作的绝对参照。这一控制网不仅为设备定位构建了统一的空间参照体系,还是保障机组、管道及其附属设施精确就位的根基。控制点应设置在稳固、不易受干扰的地方,可借助强制对中标志等手段降低测量误差,一般要依据厂区首级控制开展引测与加密工作,以此保障整体坐标系统的一致性和精度传递的可靠性。

基于此情况,应借助全站仪、精密水准仪等高精度测量器具,对已完工的基础板(也叫埋件)开展最终复测与验收。复测涉及基础板的顶面标高、预埋中心线位置和表面水平度,这些参数会直接左右泵体、电机等核心设备的安装效果,测量时需依照“多次测量、取中校核”原则,保证数据真实无误。其精度要求极为严格:需将标高误差控制在 $\pm 1\text{mm}$ 以内,中心线的偏差不能超出 $\pm 2\text{mm}$,水平度必须满足设备技术文件的标准,任何超差情况都可能造成设备就位不易、连接应力异常或是运行时振动超出规定,故而需在这一阶段把偏差完全消除,为后续设备安装打造良好环境,从源头保证整个泵房系统长期稳定运转^[3]。

2.2 泵体部件的初步就位与粗调

泵体导叶体、泵座等大型部件吊装并初步就位后,要即刻开展精准的对中与调平工作。该阶段将泵体出口法兰的中心位置作为关键参照,原因是它直接关乎后续进出口管道能否准确连接以及整个流道系统的对中质量。施工人员要通过千斤顶、楔形垫铁、调整螺钉等工具,精准且平稳地调整部件的水平与平面位置,整个过程要求耐心和精细操作相互配合。

为严格把控泵体中心线偏差在 5mm 以内,并且保证其水平度处于每米 0.5mm 的允许误差范围中。该标准是后续开展更精密总装调整的基础,若此环节偏差过大,会直接影响后续主轴安装、电机对中以及机组运行的平稳性。需自始至终借助百分表、激光对中仪、高精度水平仪等监测方式,实时反馈位置与姿态数据,引导调整操作。每开展一次微调工作,需再次测量关键参数,直到中心和水平两方面的要求同时达标。尽管这初始调平只是粗调,是整个安装流程中起衔接作用的关键部分,其质量会直接影响机组最终的安装精度与运行状况。

2.3 基于激光跟踪仪的精调与找正

高精度找正作为水泵与电机安装里的核心技术环节,其质量直接关系到设备运行平稳性、振动噪声状况以及机械密封使用寿命。激光跟踪仪作为核心测量工具,可凭借微米级高精度获取空间点三维坐标,精准实现关键部件位置与姿态的数字化描述,为后续精细调校提供可靠数据支撑。

在开展泵体垂直度找正操作期间,先把测量靶标安装到泵轴导轴承位置,让泵轴匀速转动,借助激光跟踪仪不断采集多组数据点。通过数据可拟合出泵轴实际旋转的中心线,还能精准算出其和理论垂直方向的偏差值,操作人员按照测量结果。通过对泵体底座下方顶丝和楔形垫铁进行微调,逐步调整泵体姿态,最终严格把控泵轴垂直度误差在 0.02mm/m 以内,以此保证转子组件铅垂方向的对中精度。泵体找正工作完成后,还需开展电机与水泵的同轴度找正工作,在电机轴端和水泵轴端各自安装专用卡具及靶标,使两根轴同步转动,借助激光跟踪仪精确测量两轴于 0°、90°、180°、270° 四个典型角度位置的径向与

端面偏差。依据测量所得数据,通过调整电机支座下调整垫片的厚度,精确调节电机高度与水平方位,最终让两轴之间径向位移和端面平行度的误差都小于 0.03mm,实现动力端和执行端高精度对中,为机组无应力连接和高效传动奠定基础^[4]。

2.4 热膨胀量的预估与补偿

完成电机与水泵的冷态机械对中后,还需考量运行状态下温度变化造成的热膨胀效应。按照设计方提供的电机、泵体轴承座以及基础板等部件预期的运行温度,可分别算出这些部件在运行状态下的热膨胀数值与膨胀方向。由于电机和水泵一般由不同材料制成,且运行温度有所不同。二者在轴向和径向产生的热膨胀量常不一致,若在冷态对中时未对这一膨胀差值进行补偿,会造成机组热态运行时对中偏差恶化,继而引发严重后果。

在进行高精度安装期间,需在冷态找正环节特意给电机中心预设一个偏移量。偏移量的数值与方向得经过精确计算,一般体现为电机轴心在垂直方向上比水泵轴心稍高,同时在轴向上向水泵端预先偏移特定距离。此项主动的“错位”设置,是为了弥补机组达到稳定运行温度后由差分膨胀造成的相对位置变动。采用基于热态补偿的预偏移对中策略,可使机组不但在冷态下符合对中精度要求,还能在实际运行的热态环境下自动趋向理想同轴状态,确保轴系始终处于低应力、高效率的传递状态,大幅提高设备运行的可靠性并延长其使用寿命。

3 工艺效益分析与质量控制

3.1 精度与效率提升对比

和传统借助百分表及塞尺来进行找正的方法相比,激光对中技术把测量精度从传统的 0.01mm 级别提高到了 0.001mm, 达成了一个数量级的跃升。采用激光发射与 CCD 传感的非接触测量方式,有效杜绝了人为读数偏差、表架挠曲及轴向窜动等传统误差因素。在大间距、多方向调整情形下优势愈发显著,这致使即便面对苛刻的安装标准,仍能达成极高重复性与可靠性的对中效果^[5]。

激光找正系统额外集成实时数据采集与处理功能,可动态展示当前偏差值和地脚调整的量与方向。操作人员无需多次测量、运算和臆测,直接按照屏幕指引增减垫片或移动设备,让原本凭经验的调整过程实现全面可视化与数据化。此技术变革,使原本需多人协同、多次迭代耗时数天的大型机组找正周期,压缩到数小时内搞定,极大提升安装效率,减少了停机时长,为工程进度把控和综合成本优化提供了核心支持。

3.2 运行质量验证

采用高精度对中工艺安装的旋转机组,在启动与试运行阶段便呈现出优异的综合性能。振动值一般能稳定控制在 1.5mm/s 以内,大幅低于国家标准所规定的 2.8 mm/s 优良阈值;因规避了对中不佳所引发的附加力和力矩,设备运转噪音明显降低,整体运行的平稳程度达到较高水准,这不仅优化了设备初始运行状态,还为后续长期安全稳定运行筑牢根基。从全生命周期成本考量,高精度安装所产生的效益更具长远性,优质的对中状态极大减少了轴承、机械密封、联轴器等关键部件的非正常损耗,让其更换周期大幅增加。大型泵组的轴承维护周期能从 12 个月延长到 24 个月乃至更久,机械密封的寿命同样可增加 30% 以上。这不但直接削减了备件采购与更换的人力成本,又降低了非计划停机造成的生产损失,进而大幅提高泵站的经济效益与运行稳定性。

4 结语

大型轴流泵实现高精度安装是水利泵站得以长期安全高效运行的关键。本研究显示,和传统基于经验的方法相比,运用以激光跟踪测量技术为核心的数据驱动找正工艺,可通过对基础、制造、环境等多源误差开展系统分析并进行标准化精细调校,使同轴度精度稳定维持在 0.03mm 以内。该工艺不但极大提高了安装的质量水平,还为机组状态监测与智能运维提供了精确的数据依据,对推动我国大型水利机电安装技术升级有着重要的推广价值。在未来,伴随传感器与人工智能技术的进步,未来研究重点将聚焦于无人化、自动化的智能找正系统。

[参考文献]

- [1]严平文.泵站机电设备安装方法与检修技术分析[J].工程技术研究,2024,9(24):100-102.
- [2]何耀勤.水利工程中泵站安装与调试施工技术研究[J].水上安全,2024(20):181-183.
- [3]杜晓刚.复杂环境下水利泵站机电设备安装施工的挑战与对策[J].工程与建设,2024,38(4):861-863.
- [4]曹振华.水利工程中泵站机电设备安装和检修技术研究[J].长江技术经济,2022,6(1):65-67.
- [5]杨德成.浅谈水利泵站机电设备的安装与检修技术[J].新型工业化,2021,11(9):226-227.

作者简介:郑斌(1982.2—),男,汉族,浙江杭州人,重庆大学,工程管理(工程造价管理方向);浙江江能建设有限公司,公司副总经理兼机电工程事业部经理和市场营销部经理,职称级别:高级工程师。

寺桥水库灌区进水塔模板支撑体系管理控制要点

郑建伟¹ 何军²

1.衢州市寺桥水库开发有限公司,浙江 衢州 324000

2.浙江省水利水电建筑监理有限公司,浙江 杭州 310020

[摘要]寺桥水库灌区进水塔在引水工程当中占据着极为关键的地位,属于 III 等工程。塔式分层进水结构类型,由于工期时间紧迫,施工场地受限,塔身作业空间狭窄,塔高,模板大,施工过程中未考虑搭设外脚手架,这无疑是一项超过了一定规模且具有较大危险性的单项工程。要想切实保障施工期间的安全以及工程质量,那就务必要严格依照专项施工方案来进行操作,同时还要进一步强化针对整个过程的管理控制工作。文中结合工程施工所呈现出的特点以及相关规范方面的要求,全面且细致地对进水塔模板支撑体系的管理控制要点加以总结,从而能够为实际的施工实践给予相应的指导。

[关键词]进水塔;模板支撑体系;管理控制要点;监测监控

DOI: 10.33142/hst.v8i9.17680

中图分类号: TV5

文献标识码: A

Key Points for Management and Control of the Formwork Support System of the Intake Tower in the Siqiao Reservoir Irrigation Area

ZHENG Jianwei¹, HE Jun²

1. Quzhou Siqiao Reservoir Development Co., Ltd., Quzhou, Zhejiang, 324000, China

2. Zhejiang Water Resources and Hydropower Construction Supervision Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310020, China

Abstract: The intake tower of Siqiao Reservoir Irrigation Area plays a crucial role in the water diversion project and belongs to Class III engineering. The tower type layered water inlet structure, due to the tight schedule, limited construction site, narrow working space of the tower body, high tower height, large formwork, and the lack of consideration for setting up external scaffolding during the construction process, is undoubtedly a single project that exceeds a certain scale and has significant risks. In order to effectively ensure safety and project quality during the construction period, it is necessary to strictly follow the special construction plan and further strengthen the management and control work for the entire process. The article comprehensively and meticulously summarizes the management and control points of the intake tower formwork support system based on the characteristics presented in engineering construction and the requirements of relevant specifications, in order to provide corresponding guidance for practical construction practice.

Keywords: intake tower; template support system; key points of management control; monitoring and surveillance

进水塔在寺桥水库灌区引水工程里属于关键线路,直接影响寺桥水库蓄水的重要建筑物。其模板支撑体系是超过特定规模且危险性相对较高的分部分项工程,此工程中,进水塔的高度达到 73.2m,支撑架的最大搭设高度能够达到 36.7m,技术方面以及安全方面的风险都比较明显,施工期间要严格按照专项施工方案来执行,同时要严格执行水利水电工程施工安全管理导则 SL 721—2015 的相关规定,水利安全生产风险管控“六项机制”实施工作指南(2024 年版)强化全过程的控制措施。

1 工程基本概况与特点

寺桥水库灌区进水塔为岸塔式分层进水结构,塔顶高程 280.2m,基础尺寸为 24.5m×5m×3m,上部结构尺寸为 24m×5m×70.2m,塔体一期混凝土采用 C25W8F100,二期混凝土采用 C30W8F100,塔体为单孔布置,顺水流方向依次设置拦污栅、分层进水段、事故检修闸门井,分别在高程 210m、223m、243m、263m 处共布置 4 个 2.0m×2.0m 进水口。脚手架最大搭设高度不超过 24m。根据

水利水电工程施工安全管理导则 SL 721—2015,其支撑架为承受施工总荷载 15kN/m² 及以上、集中线荷载 20kN/m 及以上的混凝土模板支撑工程。工程基础地质方面,场区地层主要包括第四系残积层碎石土和侏罗系黄尖组凝灰岩,全风化基岩层厚 1.0m,强风化基岩层厚 1.7m,弱风化基岩层厚 8.0m,进口处弱风化基岩透水性 2.8~7.8Lu,属弱透水层。地质情况欠佳时,依据地勘报告结果,设计考虑布置合理的固结灌浆孔进行有效处理,确保基础抗滑稳定^[1]。

2 支撑体系总体设计及控制要点

2.1 悬臂多卡模板设计

模板的特殊可靠设计至关重要。取水塔采用悬臂多卡模板与普通模板混合设计。悬臂多卡模板主要整体工厂加工定制,主要用于外部整体结构组合,每块模板长 3.0m,高度为 3.10m,模板顶悬挑三角架水平挑出宽 1.1m 设计操作平台,高 1.2m 为安全防护栏杆,模板下部悬挑三角架水平挑出宽 1.5m 设计操作平台,高 1.2m 为安全防护栏

杆。普通模板按照常规进行制作,设计首先要考虑混凝土浇筑过程对模板的支撑抗剪及侧压力的精准计算,预留充足的系数,确保绝对安全。

2.2 进水塔悬臂多卡模板材料要求控制要点

模板材料:模板材料面板采用 5mm 钢板,法兰采用 12 乘 120 的钢带,横肋采用 C12 槽钢,竖向采用 12mm 筋板,背面采用 C16a 槽钢,背带与模板之间采用勾头螺栓连接,模板与模板之间采用 U 型卡扣连接,悬臂多卡模板采用设置三角操作平台,操作平台面板采用 4mm 花纹板,法兰采用 L50 乘 5 的角钢,模板连接采用 U 型卡扣。螺杆,螺母及螺帽采用高强度材料。螺帽采用直径 36mm,强度为 10.9S,简称爬升锥。

2.3 进水塔悬臂多卡模板安装控制要点

悬臂多卡模板是整个取水塔混凝土浇筑过程中能够保证安全的重要支撑。模板的抗剪力和抗侧压力是满足混凝土浇筑的要求,要点是整个取水塔外部无钢管脚手架支撑,第一次混凝土浇筑前,在每块模板上下各埋两个倒锥高强度连接。螺母预埋混凝土,采用胶带分隔,可重复利用节约成本,外部螺帽采用直径 36mm 的 10.9S 高强度螺栓,预埋倒锥高强度螺栓,采用带弯钩的钢筋焊接直接加固与对筋筋确保抗拔力及抗剪力。每块模板槽钢在设计合理距离预留两卡槽,卡槽预留口大于螺杆合适的喇叭口,上小下大的倒挂原理,依靠下部预埋两个高强度螺栓进行受拉内撑的原理,外部采用钢销子进行锁紧加固模板,后续施工每层模板时依靠预埋爬升锥,通过爬升锥固定模板,并通过调节丝杆进行支撑。

2.4 作业脚手架系统设计控制要点

作业脚手架系统采用扣件式脚手架,分层在取水口高程埋设工字钢平台进行分层搭设。平台以上脚手架搭设于工字钢平台上,以下脚手架搭设于进水塔底板。脚手架立杆纵距 140cm、横距 60cm、步距 170cm。钢管类型为 $\Phi 48.3 \times 3.6$,杆件间采用扣件连接,搭设于底板的立杆底部设置底座,工字钢平台以上立杆采用可调拖撑倒扣作为底座。架体内搭设“之”字型爬梯供人员上下通行,作业层四周设置防护栏杆,在每层立杆的 0.6m 和 1.2m 处布置上、中两道水平杆,作业层下部设置 0.2m 挡脚板。采用的钢管类型为 $\Phi 48.3 \times 3.6$,横杆与立杆连接方式为单扣件,顶部防护栏杆高 1.2m,在 0.6m、1.2m 处设置水平栏杆,悬挂密目式安全防护网,顶部操作平台脚手板采用竹笆片。

3 施工实施与过程控制要点

3.1 施工工艺流程与控制要点

施工工艺流程包括施工准备、测量放样、设置底座及立杆、纵横向扫地杆、纵横向水平杆、安装爬梯、搭设斜杆、安装可调托撑、安装主梁及小梁、安装模板等环节。脚手架搭设需保证横平竖直、连接牢固、受荷安全、有安全操作空间、不变形、不摇晃。

3.1.1 钢筋制安控制要点

设计钢筋的水平筋在竖向筋外部,便于施工进度,把水平钢筋改为内侧是否可行,需要设计进行复核计算。钢筋大于 22mm,制安接头连接,不宜采用焊接,亦采用机械套筒连接,能确保质量。钢筋安装完毕之后,还需开展严格的检查工作,确认其能够满足设计方面的要求以及规范所做出的规定,同时要做好隐蔽工程验收的相关记录。

3.1.2 混凝土浇筑控制要点

混凝土浇筑选用商品混凝土,借助 12m³混凝土罐车予以运输,在初期阶段运用混凝土泵车来输送至浇筑仓,待到后期则改用地泵进行输送。混凝土浇筑开始之前,通过联合验收,务必仔细检查模板支撑系统的稳固程度以及密封状况,务必要确认其能够契合设计方面的要求。在整个浇筑进程当中,需严谨把控不同季节的外部温度,浇筑的速度以及分层的厚度,以防给模板支撑系统带来过大的冲击荷载。混凝土应当均匀地开展浇筑作业,切忌出现集中堆载的情况,并且要安排专人处于安全区域之内监测模板和脚手架的实际工作状态。针对不同部位的混凝土,要采用与之相适应的浇筑工艺以及振捣方式,以此来保障混凝土的密实程度以及表面的质量状况。混凝土浇筑工作完成之后,应当及时着手开展掌控时间和冲毛养护事宜,从而确保混凝土施工缝及强度得以正常发展。

3.1.3 拆模控制要点

第一模完成浇筑后,一般混凝土拆模强度不得最低 2.5Mp。根据施工季节,考虑混凝土强度,悬臂多卡模板依赖预埋高强度螺栓受力,必须考虑拆模及时进行安装的安全风险,强度必须要通过计算抗剪及抗侧压力进行模板的拆除和安装时间,不得盲目赶工。混凝土浇筑完成每天回弹测量或预留 3 天试压块试验混凝土的抗压强度,达到验算后强度方可进行模板安装。塔底拆除时的混凝土强度要求按照相关规范要求进行,脱模油建议使用色拉油,能有效保证水工混凝土外观质量及美观优点^[2]。

3.1.4 作业层与安全防护设置控制要点

作业层和安全防护设置要求施工作业层铺设脚手板时必须铺满、铺严、铺稳,不能有探头板、飞跳板、断头路等。竹笆脚手板按其主竹筋垂直于纵向水平杆方向铺设,且对接平铺;作业层下部张挂水平安全网。临时孔洞要采取防护措施,特别是门槽及上人孔爬梯孔必须严密加强铺设。

3.2 质量验收标准与方法控制要点

质量验收务必要依照规范标准以及设计要求来开展。脚手架的构配件质量还有搭设质量均需依据安全技术规范相关规定去进行检查验收,只有在合格之后才可允许投入使用。验收所涵盖的内容涉及立杆间距、步距、剪刀撑设置、连墙件设置、安全防护设施等诸多方面。验收人员包含了项目经理、技术负责人、施工员、质检员、安全员等相关人员。在验收进程当中需要运用专用仪器设备展开

检测,像是水准仪、全站仪等,以此来保证数据能够准确且可靠^[3]。验收合格以后应当形成书面的验收记录,由相关人员签署名字予以确认,对于在验收过程中发现的问题应当及时地进行整改,整改完成之后再度开展验收,从而确保所有问题都能够获得彻底的解决。

3.3 监测监控与变形控制要点

监测监控是保证模板及脚手架安全的重要手段。为保证脚手架使用安全,布置沉降观测点,掌握脚手架受力与变形状况,起到对脚手架的实时监控。安排专业守模人员认真检查特重要。

4 塔吊吊装控制要点

塔吊吊装属于模板支撑体系施工里的关键环节,在进水塔的左侧安置了一台塔式起重机,主要用于模板、钢筋、工字钢等构件的吊运工作。只有经过专业机构验收并顺利通过之后,塔吊才能够正式投入实际使用。塔吊操作及塔吊指挥属于特种作业人员,必须持证上岗。当材料吊运快要接近作业面的时候,由作业人员借助对讲机同指挥人员展开沟通交流,以此辅助材料下放,进而防止出现碰撞脚手架以及模板的情况。塔吊操作人员务必要做到持证上岗,并且要严格遵循相关的操作规程,在吊装开始之前应当仔细检查吊具、索具的完好情况,以此来确保其安全可靠。在吊装的具体操作过程中,要做到平稳地操控,切忌急停急起,避免吊物摆动给脚手架带来冲击,对于那些超长、超大的构件,必须要采取相应的加固措施,从而确保吊装工作的安全性。在塔吊使用的整个期间内,还要定期开展检查以及维护工作,以此保证设备始终处于良好的运行状态。

5 安全管理与应急预案控制要点

5.1 安全管理体系与职责分工控制要点

安全管理体系确立以项目经理作为首要责任人来施行安全生产责任制,清晰界定各个岗位所承担的安全职责。项目经理对项目事务负全责,是工程质量以及安全方面的首要责任人,会切实推进安全设施投入等相关事宜,同时负责资源的调配以及与外界的协商事项;技术负责人着手组织编制专项施工方案,组织针对专项方案的技术方案展开交底工作,并且上报至公司工程管理部去组织论证,以此来解决相关的技术难题,还负责组织模板支架的验收事宜;施工员依照本方案所提出的要求,再结合实际的情况,具体负责实施组织方面的工作;质检员负责开展质量检查、纠正以及复验等一系列工作,严格把控质量环节,给出质量控制以及纠偏的具体措施等等;专职安全员负责项目部日常的的安全管理工作,积极开展项目部的安全宣传活动,推动法律、法规的贯彻学习工作以及安全活动的有序开展;重视项目部的安全教育工作,督促并指导班组切实做好“三级”安全教育以及施工人员进场前的教育相关工作;细致做好施工现场的安全检查、抽查以及巡查等一系列工作;纠正班组人员出现的违章作业情况,督促事故

隐患能够得到及时的整改并且完成相应的验证工作。

5.2 危险源辨识与风险控制要点

危险源辨识与风险控制是安全管理的重要基础。根据水利部办公厅《关于印发水利水电工程施工危险源辨识与风险评价导则(试行)的通知》(办监督函[2018]1693号),对进水塔支模架工程重大危险源进行辨识和管控。重大危险源包括搭设高度 24m 及以上的落地式钢管脚手架工程和承受施工总荷载 15kN/m²及以上、集中线荷载 20kN/m 及以上的混凝土模板支撑工程。针对这些危险源,制定相应的管控措施,严格按专项施工方案搭设和拆除脚手架、设置连墙件和剪刀撑、控制施工荷载、加强监测监控等。同时辨识一般危险源,采用 LEC 法进行风险评价,制定相应的管控措施。

5.3 日常维护与检查制度控制要点

日常维护以及检查工作,这无疑属于保证脚手架能够安全投入使用的关键举措。对于那些已经使用完毕的支模架以及脚手架料和各类构件、零件而言,务必要做到及时予以回收,并且依照相应类别加以整理,之后按照不同类别分别进行存放处理。其堆放的具体地点需要满足场地较为平坦这一条件,同时还要确保排水功能良好,并且在下方设置好支垫。其中,像钢管、角钢、钢桁架以及其他钢构件这类物品,最好能够将其存放在室内环境当中;倘若迫不得已要放置于露天场所,那么就需要使用毡、席等物来进行覆盖遮挡;对于扣件、螺栓以及其他一些小零件,则应当采用木箱来妥善存放;针对出现弯曲情况的钢管杆件,要及时采取措施将其调直;而对于有损坏情况的构件,得尽快予以修复处理;至于损坏的扣件、零件,则必须及时更换新的。在搬运长钢管、长角钢的时候,还需采取相应措施以防出现弯曲的情况。拆架作业时,应将其拆成单片后再进行装运操作,在装卸的过程中严禁随意抛丢,如此方能避免造成损坏^[4]。脚手架在使用过程中,其所配备的扣件、螺栓、螺母、垫板、连接棒、插销等这些小配件,特别容易出现丢失的现象,所以在安装脚手架期间,对于多余的这些小配件要及时回收并妥善存放起来;而在拆卸脚手架的时候,那些散落于地面之上的小配件同样需要及时收拾起来,并且要着力建立健全相关制度,强化管理工作力度,以此来有效减少损耗情况的发生,进而促使效益得以提升。

5.4 应急预案与处置措施控制要点

为了提升防范生产安全事故的能力,尽量降低人员伤亡与财产损失,项目部组建了应急处置领导小组。应急救援小组涵盖抢险救援组、安全保卫组、后勤保障组、医疗救护组以及善后处理组,其成员由项目部各职能部门和各作业班组负责人构成。针对可能发生的触电、高处坠落、物体打击、车辆伤害、坍塌、起重伤害、机械伤害等事故制定了详尽的应急处置办法,准备了必需的应急救援物资设备,像车辆、医药箱、担架、氧气袋、止血带、通讯设

备等。定期开展应急培训与演练,保证应急小组成员清楚各种机械设备的特性以及应急处理方式;能熟练运用各种应急救援器材,维持各小组成员间通讯联络的畅通。建立应急联系方式,包含通用应急联系方式、当地地方应急联系方式以及最近医疗急救机构路线,确保在突发事件发生时可及时有效地展开应急处置。

6 结语

寺桥水库灌区进水塔模板支撑体系施工属于技术层面较为复杂且安全风险颇高的工程项目,务必要严格依照专项施工方案执行,并且要着重强化在全过程当中的管理控制工作。借助于经过精心设计的科学合理支撑体系、严格按照规范开展的施工实施举措、精准且行之有效的监测监控手段以及较为完备系统的安全管理措施,以此来切实保障模板支撑体系在施工期间的安全状况以及最终的工程质量。本文全面且细致地总结了进水塔模板支撑体系管理控制方面的要点内容,能够为同类水利工程在高大模板

施工管理方面给予颇为有益的参考借鉴,对于提升水利工程施工安全管理整体水平而言有着十分积极的意义。

[参考文献]

- [1]季永春.浅谈泄洪洞进水塔异型曲面混凝土施工[J].四川水利,2023,44(1):55-58.
- [2]谭开宏.极寒地区狭小场地单孔式进水塔快速安装技术[C].中国水利水电第十四工程局有限公司,云南省:2023-05-12.
- [3]文鹏清.运用 QC 小组活动降低进水塔混凝土外观缺陷率[J].工程质量,2024,42(2):107-110.
- [4]马晓阳,宋晓建,高建福,等.联合进水塔落地式智能建造在水利水电工程施工中的应用与实践[J].湖南水利水电,2025(3):103-106.

作者简介:郑建伟(1992—),男,汉族,浙江江山人,大学本科,东北农业大学,衢州市寺桥水库开发建设有限公司,研究方向:工程项目质量安全管理。

水利工程的施工监理技术的创新与发展

李旭航

河北天和监理有限公司, 河北 石家庄 050000

[摘要]水利工程属于我国基础设施建设里的重要部分, 在施工之时, 其规模往往颇为庞大, 周期也比较漫长, 所涉及的环节更是繁杂多样。施工监理技术在这一过程中, 起着极为关键的作用, 它能够保障工程质量, 控制施工进度, 还能维护施工安全。近些年来, 伴随着信息化以及智能化技术不断向前发展, 水利工程施工监理也渐渐显现出数字化、智能化以及精细化的特点。在监理人才队伍建设、设计协同以及信息化应用等诸多方面, 相关行业已经累积了相当丰富的经验。与此像智能监测、BIM技术、大数据分析以及智慧工地建设这类创新手段, 也慢慢融入到了监理实践当中, 进而为水利工程的高效推进赋予了全新的动力。文中着重围绕水利工程施工监理的应用实际状况、创新实践活动以及管理优化的途径展开细致探讨, 目的在于归纳总结经验, 剖析发展趋势, 进而给出可持续发展的思路, 希望能够为行业的发展给予一定的参考。

[关键词]水利工程; 监理技术; 技术创新

DOI: 10.33142/hst.v8i9.17688

中图分类号: TV512

文献标识码: A

Innovation and Development of Construction Supervision Technology for Water Conservancy Engineering

LI Xuhang

Hebei Tianhe Supervision Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: Water conservancy engineering is an important part of Chinese infrastructure construction. During construction, its scale is often quite large, the cycle is also relatively long, and the involved links are complex and diverse. Construction supervision technology plays a crucial role in this process, as it can ensure project quality, control construction progress, and maintain construction safety. In recent years, with the continuous development of information technology and intelligent technology, the construction supervision of water conservancy projects has gradually shown the characteristics of digitization, intelligence, and refinement. The relevant industries have accumulated considerable experience in the construction of supervision talent teams, design collaboration, and information technology applications. Innovative methods such as intelligent monitoring, BIM technology, big data analysis, and smart construction sites have gradually been integrated into supervision practice, providing new impetus for the efficient promotion of water conservancy projects. The article focuses on the practical application status, innovative practice activities, and management optimization approaches of water conservancy engineering construction supervision, with the aim of summarizing experience, analyzing development trends, and providing sustainable development ideas. It is hoped that this can provide some reference for the development of the industry.

Keywords: water conservancy engineering; supervision technology; technological innovation

引言

水利工程属于能够为社会经济以及民生安全给予服务的关键工程类别。它的建设质量以及运行效益跟水资源的合理利用、防洪抗灾能力的提高还有区域可持续发展的战略目标都有着直接的关联。施工监理技术是保证水利工程质量和进度的重要环节, 它不光肩负着监督与检查的任务, 而且在工程整个生命周期的管理方面还起到协调以及优化的作用。随着建设任务变得越来越复杂, 同时新技术也在持续不断地出现, 水利工程施工监理已经从单纯的质量监督慢慢转变为集进度、安全、成本以及信息管理于一身的综合性活动了。这样的转变既提高了工程建设的科学性以及精细化程度, 又对监理人员的专业素质和技术手段提出了更高的要求。本文会从应用现状、创新实践以及管

理发展这三个层面, 针对水利工程施工监理技术展开系统的分析, 还会指出未来的发展方向。

1 水利工程施工监理的意义

一方面, 监理技术的应用可以保证水利工程施工质量。水利工程的施工具有一定规模, 施工期间监理工作的开展需要具有计划性、时效性、反复性以及全面性等, 还需要加强对工程管理质量的监管。与此同时, 监理人员还需要对工程设计、施工图纸绘制、相关技术设备应用以及施工材料等质量进行监管, 通过细节提升工程整体施工质量, 并有助于施工质量问题的及时发现与解决, 有助于降低工程施工出现质量问题的概率。另一方面, 监理工作的开展可以保证水利施工按时竣工。水利工程的施工较为复杂, 施工涉及诸多内容, 为保证工程施工顺利推进, 施工过程

中的监理工作具有维护施工秩序的作用,现场施工秩序维护是保障各项施工环节顺利推进的关键,有助于防止出现施工延期问题。

2 水利工程施工监理技术的应用现状与特征

2.1 监理人才队伍建设的进展

近些年来,随着水利建设规模变得越来越大,监理人才队伍的建设开始渐渐受到重视起来。各类监理机构大多都建立了分工十分明确的专业团队,这些团队涉及水工、结构、机电、材料等诸多领域,可对工程建设的不同环节予以有效覆盖。监理人员不但拥有传统的监督检查能力,而且在工程管理、信息化操作以及风险控制等方面也展现出不错的适应性。这样一种多层次且复合型的人才结构,让监理工作能更出色地契合大型复杂水利工程的要求。与此行业内部也慢慢形成了持续培训以及能力提升的机制,使得监理人员可以持续更新自身的专业知识,紧紧跟随技术发展的走向。这样的进展给监理工作的专业化与规范化打下了稳固的基础。

2.2 设计环节与监理工作的融合

水利工程施工监理早已突破了仅仅在施工阶段进行监督的局限,其正逐步向前拓展,延伸至设计环节。监理人员参与到设计图纸的审查工作当中,同时在方案优化以及设计交底等方面也发挥着作用,如此一来,便能够在施工开始之前对潜在的问题加以预判并及时予以纠正。这样一种前置性的参与方式,一方面提高了设计与施工相互之间衔接的效率,另一方面还降低了因设计存在缺陷而致使施工出现返工情况的可能性。在实际的工程开展过程中,监理方面和设计团队维持着极为密切的沟通联系,借助联合审查以及协同展开讨论等形式,可更为妥善地确保设计所取得的成果与施工时的实际条件能够实现良好匹配。这种跨越不同环节的融合发展的趋势,很好地展现了监理工作正从单纯的被动监督朝着主动管理的方向去转变,同时也意味着施工监理技术在整个全生命周期管理领域当中所占据的重要地位正在一天天不断地得到强化。

2.3 信息化与数字化手段的应用

信息化以及数字化技术的引入,使得水利工程施工监理拥有了更高的科学性 with 效率,在日常管理方面,监理人员通常会运用工程管理软件、视频监控系统还有无人机巡检等工具,以此来实现对施工进度以及质量的实时掌握,部分大型工程已经开始借助 BIM 技术构建三维模型,助力监理人员直观地识别问题并且优化施工方案,大数据平台的应用则为监理给予了更为周全且动态的分析支撑,让监理决策变得更加科学且精准,这些数字化手段不但提高了监理工作的透明度与可追溯性,而且还推动了施工现场管理模式的转型升级。

3 水利工程施工监理技术的创新实践

3.1 智能监测与实时预警技术

随着传感器技术、物联网以及智能算法持续取得进展,

智能监测在水利工程施工监理方面的运用变得越来越普遍,渐渐变成了保障工程质量以及安全的重要手段。通过在大坝、渠道、隧洞等关键部位合理布置多种类型的传感器,能够实时收集结构应力、变形、沉降、渗压以及周边环境参数等多方面的数据,依靠无线通信以及云端平台达成高效的传输与处理。这种实时监测与预警机制不但能在出现异常情况的时候快速发出提示,让监理人员能第一时间采取有针对性的措施,进而大幅提升施工安全的程度,而且能够凭借数据可视化与趋势分析为科学决策给予有力的支撑。与此智能监测所形成的动态数据资源能够长期保存并且不断拓展,为后续工程运行、维护以及养护提供可靠的依据,实现了施工期监理与运营期管理之间的有机联系,推动了水利工程从传统管理模式朝着智慧化、精细化以及全生命周期管理的方向深度转变。

3.2 BIM 技术的集成应用

BIM 技术的推广以及应用给水利工程施工监理带来了全新的管理模式,使得施工全过程的可视化程度、可控性以及协同性都得到了极大的提升。通过构建详尽的三维信息模型,监理人员可以全面且细致地掌握设计方案、施工流程以及运维阶段的各种各样的信息,进而达成对工程进度、施工质量、材料消耗还有成本的动态监控以及科学管理的目的。在具体的施工监理实际操作过程中,BIM 模型不但能够直观地呈现出各个施工单元之间的空间关系以及结构布局情况,而且还能有效地识别出潜在的碰撞冲突以及施工干扰,这就让监理人员能够在施工开始之前便提出优化以及调整方案,以此来降低施工风险以及返工的概率。除此之外,BIM 平台所具备的强大协同功能促使设计单位、施工单位以及监理机构之间能够实现信息的共享以及实时的沟通,极大地提高了项目管理的透明度以及效率。在此基础上,BIM 技术还能够与物联网、传感器以及大数据平台相互结合起来,实现工程数据的动态更新以及智能分析,进一步推动水利工程施工监理朝着精细化、智慧化以及全生命周期管理的方向不断发展,从而为工程的高质量、安全性以及可持续运行给予了坚实的技术方面的保障。

3.3 大数据与云计算支持下的监理决策

在水利工程建设进程当中,监理方面需要去处理数量众多的施工记录、检测数据以及进度信息等各类资料。大数据以及云计算技术得以应用之后,便赋予了监理极为强大的数据处理以及分析方面的相关能力。借助于对海量的数据展开实时的分析操作,监理人员是完全有能力去发现那些被隐藏起来的规律以及呈现出的趋势走向的,进而也能够提前对施工风险做出相应的预判。除此之外,凭借基于云平台所构建起来的数据共享机制,监理机构便可以实现跨区域、跨项目地对经验资源加以整合,以此来为决策事宜给予更为广泛的有力支持。这样一种以数据作为核心要素的监理模式,一方面提升了管理工作的科学性程度,

另一方面也强化了监理工作的前瞻性和主动性表现。

3.4 智慧工地与全生命周期监理

智慧工地的建设理念着重于借助信息化以及智能化技术来达成施工现场的全方位管控。在水利工程领域当中,智慧工地平台把视频监控、人员定位、材料管理还有环境监测等诸多功能都集成到了一起,监理人员能够凭借这个平台达成远程监督以及数据追踪的目的。与此智慧工地和全生命周期管理理念相互结合起来,使得监理不再仅仅着眼于施工阶段,还会针对设计环节、运维环节以及改造环节给予持续不断的支撑。这样一种贯穿全流程的监理模式,对于提升工程的整体效益是有帮助的,也有助于推动水利工程朝着更高品质以及更具可持续性的方向去发展。

4 水利工程施工监理的管理优化与发展路径

4.1 全过程质量监管的强化

水利工程施工质量跟工程运行的安全性以及可靠性紧密相关,所以全过程质量监管特别重要。监理人员在施工准备阶段、过程控制阶段以及竣工验收阶段等等各个阶段,都要严格把控质量。借助信息化手段以及现代检测技术,可达成质量管理的实时化与精细化^[1]。并且,质量监管不能仅仅停留在对结果的检查层面,还应当重视过程控制以及预防机制的构建。通过定期检查和数据分析,可以及时发现潜在问题并加以纠正。同时,将监理经验总结应用到后续项目中,也能不断提升质量管理水平。强化全过程质量监管,有益于形成闭环管理体系,从而给工程的安全运行给予稳固的保障。

4.2 专业监理人才培养机制的构建

随着监理工作变得日益复杂且技术含量越来越高,对于专业人才的需求也在持续上升。构建起系统化的人才培养机制,已然成为推动监理行业实现可持续发展极为重要的一环。借助校企展开合作、开展在岗培训以及实施继续教育等方式,监理人员可以不断地去更新自身的知识结构,进而掌握那些新兴的技术。与此建立起科学合理的人才评价以及激励机制,能够对提升监理人员的工作积极性以及专业素养起到助力作用^[2]。高水平的人才队伍得以建设起来,这不但能让监理工作的执行力得到提高,而且还为行业在技术创新方面给予了稳固有力的支撑。

4.3 标准化与精细化监理模式的优化

水利工程施工环节较为复杂,所涉及的工序数量众多,这就很容易在管理方面出现一些盲点。若能建立起统一的监理标准以及相应的规范,那么便能够有效地降低执行过程中存在的差异,进而提升工作的整体一致性以及透明程度。并且,精细化管理着重于对每一个环节展开详尽的分析以及严格的控制,其十分看重对细节的精准把握以及对

整个过程的不断优化^[3]。在实际的操作流程当中,将标准化和精细化二者结合起来,如此一来,监理工作就能够同时兼顾到广度方面的考量以及深度方面的把控,最终达成一种全面且高效的管理成效。

4.4 绿色与可持续发展理念的融入

在“双碳”目标这样的大背景之下,绿色施工还有可持续发展已然成为了水利工程建设极为重要的发展方向^[4]。施工监理在这当中肩负着监督以及引导这两方面的职责。借助于大力推广绿色建材、对施工工艺予以优化以及强化环境保护方面的举措,监理人员是能够切实有效地推动绿色理念在整个施工进程当中得以落实的。与此把可持续发展的相关要求融入到监理管理的体系里面,这不但对于提升工程所具备的环境友好性是有帮助的,而且还能对水利工程施工的长远效益给予相应的保障。这样一种理念的引入,使得监理工作能够在经济效益和生态价值这两个方面达成了有机的统一状态。

5 结语

水利工程施工监理技术近些年持续展现出创新发展的态势,其起到的作用也从原本单纯的工程质量监督延伸到了对整个工程以及全部要素展开的综合性管理范畴。就目前的应用情况来看,监理人才团队正逐步趋于完善,设计协同方面也在不断走向深化,而且信息化手段已经获得了颇为广泛的运用。在开展创新实践期间,像智能监测、BIM、大数据还有智慧工地等一系列新技术给监理工作赋予了全新的活力。从管理优化层面来讲,借助强化质量监管举措、着力人才培养工作、对模式加以优化以及融入绿色理念等途径,监理体系一步步朝着更为成熟的方面发展。往后,伴随数字孪生、人工智能等处于前沿领域的技术得以应用,水利工程施工监理有望达成更加智慧且精细的发展状态,进而为水利事业实现高质量发展以及可持续建设给予更为稳固的技术方面的有力支撑。

[参考文献]

- [1]祝成鹏.水利工程施工监理技术的创新与发展[J].建材发展导向,2024,22(4):83-85.
- [2]赵旭辉.水利工程施工监理技术的创新与发展[J].农家参谋,2022(5):165-167.
- [3]郑邦德.水利工程施工监理技术的创新与发展[J].绿色环保建材,2021(10):173-174.
- [4]张胜标.水利工程建设施工监理技术与管理创新研究[J].科技创新导报,2021,18(12):24-26.

作者简介:李旭航(1999.12—),毕业院校:河北水利电力学院,所学专业:水利水电工程,当前工作单位:河北天和监理有限公司,职称级别:初级助理工程师。

智能化技术在水利工程运行管理中的应用研究

洪德钗

平阳县水利局, 浙江 温州 325400

[摘要]随着信息技术快速向前发展,智能化技术于水利工程运行管理当中的应用,渐渐变成推动该行业迈向现代化转型的关键助力。借助引入物联网、大数据以及人工智能等一系列新兴技术,水利工程成功达成了从传统的人工管理模式朝着智能化、精细化并且是动态化的管理模式的跃进。智能化技术一方面可提高水利工程的运行效率以及安全程度,另一方面也能够对水资源调度加以优化,推动生态保护以及防灾减灾能力得以提升。文章全面且细致地剖析了智能化技术在水利工程运行管理里那些关键的应用领域,深入探讨了智能化运行管理体系该如何构建以及其优化的具体路径,并且还展望了未来智能化技术促使水利管理创新所发展的方向,从而为达成智慧水利建设给予一定的参考与可借鉴之处。

[关键词]智能化技术; 水利工程; 运行管理

DOI: 10.33142/hst.v8i9.17679

中图分类号: TV5

文献标识码: A

Research on the Application of Intelligent Technology in the Operation and Management of Water Conservancy Projects

HONG Dechai

Pinyang County Water Resources Bureau, Wenzhou, Zhejiang, 325400, China

Abstract: With the rapid development of information technology, the application of intelligent technology in the operation and management of water conservancy projects has gradually become a key driving force for the industry to move towards modernization transformation. By introducing a series of emerging technologies such as the Internet of Things, big data, and artificial intelligence, water conservancy engineering has successfully achieved a leap from traditional manual management mode to intelligent, refined, and dynamic management mode. On the one hand, intelligent technology can improve the operational efficiency and safety of water conservancy projects, and on the other hand, it can optimize water resource scheduling, promote ecological protection, and enhance disaster prevention and mitigation capabilities. The article comprehensively and meticulously analyzes the key application areas of intelligent technology in the operation and management of water conservancy projects, deeply explores how to construct an intelligent operation and management system and its specific optimization path, and also looks forward to the future direction of intelligent technology promoting innovation in water conservancy management, providing certain references and inspirations for achieving smart water conservancy construction.

Keywords: intelligent technology; water conservancy engineering; operation management

引言

水利工程属于社会经济发展范畴内的关键基础设施,它的运行管理成效和水平,跟防洪安全、供水保障以及生态平衡有着直接关联。传统的管理模式大多依靠人工经验以及静态监测方式,如此一来便存在着信息更新滞后的状况,数据的利用率也比较低,并且在应急响应方面也存在着不足之处。伴随信息技术不断发展,智能化手段的引入给水利工程管理赋予了全新的活力。把物联网、人工智能等技术融合起来加以应用,使得水利系统达成了从实时感知一直到智能决策的闭环管理状态,由此运行效率以及安全水平都得到了大幅度的提升。智能化管理最为关键之处在于构建起“感知-分析-决策-执行”这样一个动态体系,借助多源数据的融合以及算法的优化,促使水利工程朝着数字化、网络化以及智能化的方向去实现转型。近些年来,智慧水利建设已然成为我国水利现代化进程当中的重要

路径,关于数字孪生流域、智能调度以及综合信息平台的建设工作也在不断地推进并得以深化。着重对智能化技术在水利工程运行管理当中所涉及的关键应用以及体系构建路径展开系统性的探讨,以此为水利工程的智能化升级以及科学管理给予相应的理论依据以及实践方面的参考。

1 智能化技术在水利工程运行管理中的重要性

智能化技术可以通过自动化控制系统、实时数据监测和分析等手段,大幅提升水利工程的运行效率。例如,通过安装传感器和实施物联网技术,可以实时监测水库水位、流量、泵站运行状态等关键参数,从而实现精准调度和管理,减少人为操作错误,提升运行效率。一直以来,水利工程面临着洪水、干旱等多种自然灾害的威胁。智能化技术,尤其是大数据分析和人工智能,能够对历史数据进行深入挖掘,预测未来可能发生的极端天气事件,为防灾减灾提供科学依据。此外,智能化监测系统能够实时监控工

程结构的健康状况,及时发现潜在风险,确保水利工程的安全运行。智能化技术有助于实现水资源的精准管理和优化配置。通过对各种水文、气象数据的实时收集和分析,智能化系统能够精确控制水量的分配和利用,优化水资源配置,提高水资源利用效率,支持可持续发展。智能化技术在水利工程中的应用还有利于水环境保护和生态修复。通过对水质、水量、生态环境等数据的实时监测和分析,可以有效指导污染防治和生态修复工作,保障水生态系统的健康与平衡。智能化技术能够提供基于数据和模型的决策支持,帮助管理者作出更加科学、合理的决策。利用人工智能、机器学习等技术,可以对大量复杂的数据进行分析,为水利工程的规划、建设、运行和维护提供强有力的决策支持。

2 智能化技术在水利工程运行管理中的关键应用

2.1 物联网技术在实时监测与信息传输中的应用

物联网技术的引入,给水利工程的实时监测以及信息管理打下了稳固的技术根基。在水库、闸门、泵站还有河道这些关键部位布置多种类型的传感器,能够达成对水位、流量、雨量、渗压以及设备运行状况等诸多方面数据的自动采集以及传输操作。无线通信网络和远程监控平台相互结合起来,使得监测数据可以高效且稳定地实时上传并且实现共享,进而冲破传统人工巡测所存在的种种限制。物联网系统不光有自动采集以及传输的功能,而且能借助边缘计算来完成数据的初步处理以及异常情况的判断,以此提升响应的速度以及处理的效率。当监测系统察觉到水位出现异常或者设备发生故障的时候,平台能够自动发出预警信号,并且联动相关的设备去执行应急的操作,以此确保水利工程能够安全地运行。凭借物联网技术的应用,水利工程的监测体系渐渐达成了具备全面感知、实时传输以及智能响应特点的闭环管理模式,为后续的数据分析以及智能决策筑牢了坚实的基础。

2.2 大数据分析与水文预报系统建设

大数据技术所具有的核心价值体现在其可对海量且来源多样的数据展开分析以及挖掘操作,进而将水文变化的规律给揭示出来,同时还能为科学决策给予有力支撑。水利工程在运行管理期间,会涉及到像水文、气象、地质以及环境等诸多类型的各类数据,而这些数据不仅在时空分布方面呈现出分布范围颇为广泛的特点,而且彼此之间存在的关联性也十分强大。传统的统计方法往往很难把这些复杂的关系充分地揭示出来,然而大数据分析却能够凭借机器学习以及数据挖掘算法,达成对历史数据和实时监测数据加以深度融合以及开展动态分析的目的。正是基于这样的情况,水文预报系统才得以构建起精度更高的模型,进而针对降雨量、流量还有蓄水变化等方面展开相应的预测工作,以此来为防洪调度以及水资源管理提供具备科学性的依据。通过去构建水文大数据平台这一举措,是能够

实现跨区域的数据共享以及联合分析的,如此一来便能够大幅度提高预报所具有的准确性以及时效性。在出现洪水、干旱这类极端气候条件的时候,大数据分析还能够迅速地识别出存在风险的区域,同时对水势变化的趋势做出预测,从而为应急决策给予实时的支撑,进而使得水利工程在应对各种突发状况时所具备的应变能力以及防控能力都得到显著的提升。

2.3 人工智能在智能调度与风险预警中的应用

人工智能技术于水利工程的调度以及风险管理层面,展现出了颇为强劲的学习与预测方面的实力。那种基于深度学习、神经网络还有优化算法构建起来的智能调度系统,是能够把降雨、径流、蓄水量以及下游需求等诸多维度的因素都综合考量进去的,进而自动地生成出最为优质的调度方案来。跟传统所采用的规则式调度方式相比而言,人工智能调度能够达成动态的优化状态以及自适应的调整情况,如此一来便能够让水资源的利用效率以及系统的安全性都得到较为明显的提升。在防洪预警这个方面, AI 算法凭借着对历史洪水数据以及实时监测信息展开分析的操作,可以提前去识别出潜在的风险,并且还能发出按级别划分的预警,从而让管理部门能够争取到应对风险时极为宝贵的时间。与此人工智能还被运用到了工程结构健康监测当中,借助图像识别以及异常检测算法,针对大坝、闸门等处在关键位置的部位所出现的微小变形情况予以识别与评估,以此来及时地察觉到安全隐患的存在。将 AI 技术引入进来之后,使得水利工程管理从以往的“事后应对”模式逐步朝着“事前预警”以及“主动防控”的方向发生转变,进而推动了管理模式向着更为科学化且智能化的状态去发展。

3 智能化运行管理体系的构建与优化路径

3.1 智能监测与预警系统的架构设计

智能监测与预警系统作为水利工程智能化运行管理体系的关键构成部分,其主要职责在于达成对水文、水质、气象以及工程结构等诸多要素的全面且细致的监测,并且能够做到动态预警。此系统的架构一般涵盖感知层、传输层、数据层还有应用层这四个不同部分。感知层的任务是借助传感器、无人机以及遥感技术等相关设备来完成数据的采集工作;传输层依靠无线通信、卫星链路以及光纤网络来保障信息可以实时地进行传输;数据层肩负着数据清洗、融合以及存储方面的功能,进而给上层分析给予高质量的数据方面的支撑;应用层把大数据分析、人工智能算法以及可视化模块整合到了一起,主要用于实现智能预警以及辅助决策的目的。凭借这样的架构,监测系统可以在最短的时间内察觉到异常情况,像是水位超出限定范围、设备出现故障或者水质受到污染等状况,并且能够借助自动化控制系统去施行应急响应的相关措施。相比于传统的系统而言,智能预警系统的自动化程度以及智能化水平都

有了较为明显的提升,可以把原本的“事后处理”转变为“事前防控”,从而大幅度强化水利工程在运行方面的安全性以及应急反应的能力。

3.2 智能调度与决策支持系统的构建

智能调度以及决策支持系统的构建,乃是达成水资源合理分配以及高效运用的重要环节。此系统把数据驱动以及模型支撑当作根基,借助融合人工智能算法、优化模型还有模拟仿真技术等方式,针对水库群、泵站以及灌区等展开统筹调度工作。该系统在实际运行期间,会实时接入气象预报、流域径流以及用水需求等相关信息,凭借多目标优化算法来生成最为优秀的调度方案,从而兼顾防洪、供水、生态以及发电等多项目标。与此系统所内置的仿真功能能够对不同调度策略的运行结果实施虚拟演算操作,助力决策者对其可行性以及风险等级加以评估。智能调度系统不但能够在常规工况状况下实现水资源的最优分配,而且在出现突发事件的时候,还能够依靠自学习算法迅速更新模型参数,动态地去调整调度策略,以此提升系统的自适应能力以及应急能力。凭借着决策支持系统的构建,水利工程的管理者便可以依据数据和模型做出科学合理的判断,进而达成决策过程的透明化、精准化以及智能化。

3.3 智能管理平台的集成与运维优化

智能管理平台乃是实现水利工程智能化运行的一个综合承载平台,其功能包含了数据管理、监测预警、调度控制、运维管理以及决策支持等诸多模块。该平台借助云计算技术达成系统的统一部署以及集中管理,可以针对各类终端设备和监测点展开远程控制以及状态监测操作。为了提高平台的稳定性与扩展性,可以运用模块化设计理念,把不同功能模块依据业务需求灵活地加以组合与升级处理。在运维优化这块,平台引入了人工智能运维(AIOps)技术,凭借日志分析、故障预测以及自动恢复机制,实现系统的智能运维与持续优化目标^[1]。与此平台还具备用户权限管理、数据加密传输以及访问审计等功能,以此来确保系统运行的安全性与合规性。经过平台的集成与优化之后,水利工程的运行管理达成了信息集中、功能协同以及智能决策的高度统一,为智慧水利体系的建设筑牢了技术根基。

4 智能化技术推动水利工程管理创新的发展趋势

4.1 管理数字化与智能化转型方向

水利工程管理朝着数字化以及智能化转型,这已然成为未来该行业发展不可逆转的趋势所在。数字化无疑构成了转型的基础部分,而智能化则占据着核心地位,这两者之间相互依存、相互推动,共同发挥作用。伴随传感网络得以广泛铺设以及信息基础设施不断得到升级,水利工程管理正逐步从依靠经验来驱动的状态转变为依靠数据来

驱动的状态,其也正从以往的静态监测模式迈向动态感知模式。在未来的管理体系当中,将会凭借云平台以及边缘计算来达成“数据上云、决策下沉”这样一种协同的整体格局^[2]。通过去构建数字孪生流域模型的方式,能够实现对整个水系运行实际状态的可视化呈现,同时也可进行智能模拟操作,如此一来,便能够让调度决策的科学性以及灵活性都得以提升。除此之外,智能化管理会更加着重于对全生命周期展开管控,这涵盖了建设阶段、运行阶段、维护阶段以及更新阶段的全过程数字化记录工作以及相关分析工作,进而促使水利工程管理体系朝着“全面感知、精准控制、智能决策”这样的方向不断发展演进。

4.2 智慧水利体系的建设与推广策略

智慧水利体系的建设并非单纯的技术层面的问题,而是一项复杂的系统工程。若要达成智慧化管理的目标,那就得从顶层设计方面着手,去构建起一个统一规划并且分级来实施的建设框架。应当建立起以国家以及流域作为主体的智慧水利总体规划,清晰明确地确定建设目标、技术标准还有数据规范等方面的内容;要积极推动地方水利部门依靠现有的工程设施展开智能化改造工作,促使管理从单点的应用朝着系统集成的方向发生转变^[3]。在推广实施的过程中,务必要重视因时制宜的情况,充分结合流域自身的特性以及当地的经济条件,去挑选适合的技术路径。与此还需强化科研机构、企业以及政府之间协同开展创新活动,进而形成产学研用一体化的技术体系。借助标准化的建设以及制度化的管理方式,逐步使得智慧水利体系具备可复制以及可推广的特性,以此推动全国水利信息化的整体水平得以提升。

5 结语

智能化技术发展快,给水利工程运行管理添活力,从物联网感知到大数据分析,从人工智能决策到云平台集成,智能化手段在提升效率、强化安全、优化配置、促进生态等方面作用大。构建完善的智能化运行管理体系,是推动水利现代化和可持续发展的关键。未来,技术成熟,制度完善,水利工程管理会进入数字化、网络化、智能化新阶段,通过创新和科学治理,可实现水利工程高效运行和资源最优利用,为构建智慧、绿色、安全的水利体系打基础。

[参考文献]

- [1]孟虹隐.智能化技术在水利工程运行与管理中的应用研究[J].水上安全,2024(14):61-63.
 - [2]王凤波,李洪军.智能化技术在水利工程管理中的应用研究[J].水上安全,2025(5):28-30.
 - [3]刘启俊,侯军,肖文忠.智能化技术在水利工程运行管理中的应用研究[J].水上安全,2025(14):73-75.
- 作者简介:洪德钗(1991.10—),工作单位平阳县水利局。

水利工程施工中的安全管理和质量控制研究

袁新峰

新疆裕强建筑安装有限责任公司，新疆 图木舒克 843900

[摘要]水利工程属于基础设施建设里的重要部分，在施工时，其过程很复杂，而且风险也高，所以对安全管理以及质量控制的要求非常高。文章全面且细致地分析了施工期间的安全管理举措还有质量控制办法，深入探讨了施工现场在安全管理方面的意识状况、管理体系构建情况、第三方监理所起到的作用以及现场安全措施的具体实施方式。与此着重阐述了工程检测的重要意义、质量管理队伍的建设事宜以及关键工序的质量控制具体方法，并且还进一步给出了安全和质量管理的综合应对策略，像协同机制的构建以及风险预防和应急管理等方面都有涉及。通过研究可以发现，科学且完善的安全与质量管理体系，一方面能够有效地将施工风险降下来，另一方面还能提升工程质量，再者对于推动水利工程实现可持续发展而言，有着极为重要的意义。

[关键词]水利工程；施工；安全管理；质量控制

DOI: 10.33142/hst.v8i9.17677

中图分类号: TV5

文献标识码: A

Research on Safety Management and Quality Control in Water Conservancy Engineering Construction

YUAN Xinfeng

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

Abstract: Water conservancy engineering is an important part of infrastructure construction. During construction, the process is complex and the risks are high, so the requirements for safety management and quality control are very high. The article comprehensively and meticulously analyzes the safety management measures and quality control methods during the construction period, and deeply explores the awareness of safety management on the construction site, the construction of management system, the role of third-party supervision, and the specific implementation methods of on-site safety measures. This article emphasizes the importance of engineering testing, the construction of quality management teams, and specific methods for quality control of key processes. It further provides comprehensive response strategies for safety and quality management, including the construction of collaborative mechanisms, risk prevention, and emergency management. Through research, it can be found that a scientific and comprehensive safety and quality management system can effectively reduce construction risks, improve engineering quality, and is of great significance for promoting sustainable development of water conservancy projects.

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

引言

随着社会经济持续快速发展，水资源利用需求也在不断增长，在这样的大背景之下，水利工程建设于保障国家经济发展、改善生态环境以及提高社会生活质量等方面，都发挥着极为重要的作用。不过，水利工程施工自身有着一些特点，比如工程规模通常都比较大，工期也比较长，施工环境还十分复杂，并且专业交叉的情况也比较多，这些特点使得施工过程当中存在着较高的安全风险以及质量隐患。施工过程中涉及到的土石方工程、混凝土浇筑还有水工建筑物施工等关键工序，都要求管理人员要具备很高的专业素养以及较强的综合协调能力。与此施工现场往往还伴随着水位变化、机械操作以及高处作业等诸多风险因素，要是稍有疏忽，就极有可能引发安全事故或者出现质量问题。所以，建立起一套系统且科学的安全管理和质量控制机制，对于保障施工安全以及提升工程质量而言，

有着不容小觑的重要价值。结合施工实践经验，提出了具有一定可操作性的管理措施与策略，以此为水利工程施工安全与质量保障给予一定的参考。

1 水利工程施工管理特点

水利工程施工管理与其他工程项目施工管理存在很大差异，其特点主要体现在：（1）大型水利工程项目推进中会涉及群众安置问题，有部分水利工程项目还会对周围区域民生、环境产生影响。基于此，在水利工程施工管理中，要针对各方面影响因素、问题等进行全面分析与研究，强化水利工程施工管理，并提高施工质量。（2）在水利工程建设施工过程中会涉及很多不同专业，比如水利水电工程、水资源工程专业等，在不同专业中还涉及很多不同学科。基于此，在施工管理过程中，对于管理人员的综合素质有着较高要求，管理人员对相关学科内容要有充分的认识，能及时发现问题，并给出针对性解决措施。

2 水利工程施工中的安全管理措施

2.1 强化安全管理意识

在水利工程施工期间,强化安全管理意识属于保障施工人员生命安全以及推动工程顺利开展的关键环节。施工单位需借助系统性的安全教育以及培训举措,促使所有施工人员深刻领会安全生产的重要意义,并且在日常作业环节自觉遵循各类安全规章制度。安全意识的强化一方面体现在个人行为规范方面,另一方面还需贯穿于施工组织以及管理体系当中,进而构建起从管理层一直到操作层的全员安全文化。在这个过程中,要着重留意安全理念的潜移默化作用,凭借现场安全讲评、事故案例剖析以及安全标识运用等途径,让施工人员在潜在风险面前可以主动去识别风险、及时做好防范并且采取行之有效的措施,以此降低人为操作失误给施工安全带来的影响。与此安全意识的提高还要和激励机制相互融合,依靠奖惩制度来推动安全行为走向规范化,最终达成施工现场“人人关注安全、人人参与管理”的良好循环状态。

2.2 构建安全管理体系

构建起完善的水利工程施工安全管理体系,这可是给施工安全予以保障的根基所在。这个安全管理体系得把组织结构给明确好,职责分工要清晰,工作流程也得梳理清楚,如此一来,各级管理人员以及施工班组在开展安全管理相关事宜的时候,才能够各自坚守在自己的岗位上,责任也能够一目了然。管理体系的搭建,一方面要制定出诸如安全操作规程、安全检查制度以及隐患整改流程这类制度规范,另一方面还得把安全目标的量化考核以及持续改进机制都涵盖进去。借助这样系统化的管理体系,便能够达成对施工全过程的实时监控,从而把安全风险从施工策划阶段开始,一直到资源配置环节、施工实施进程,乃至竣工验收阶段,这些各个不同环节都有效地把控住。而且,安全管理体系务必要和施工进度计划紧密地结合起来,要确保安全措施的执行绝不会因为施工任务较为紧迫就被人给忽视掉,进而切实形成“安全管理融入施工全过程”的这样一种模式。体系构建的科学性以及执行时的力度,这两者直接决定了安全管理所能取得的效果,它们对于防范出现重大安全事故、保障工程得以顺利完工而言,都是极为关键的因素。

2.3 强化第三方监理

在水利工程施工进程当中,第三方监理所起到的作用一天比一天明显起来。它一方面可作为施工单位自我管理方面的有效补充内容,另一方面更是工程安全监督环节里的重要保障要素。当引入具备专业资质的监理机构之后,其能够针对施工现场的安全生产情况、施工工艺运用以及材料使用状况展开独立的审查工作,并且实施实时的监督举措,以此能及时察觉到潜在存在的各类隐患,进而给出相应的整改方面的意见,如此一来便可以防止施工期间因为管理方面存在不到位的情况而引发的各类事故。第三方

监理不只是单单关注单项施工环节的安全事宜,还借助全程跟踪以及定期汇报的方式,去对整个施工项目的安全整体状况展开动态化的评估操作。这样的一种外部监督机制,能够在促使施工单位严格遵循安全法规以及技术标准的也为业主以及相关的监管部门给予客观且可靠的用于安全管理的依据,进而形成施工管理领域的“三方共治”这样的一种格局,提升安全管理在科学性层面以及执行层面度的相关程度。

2.4 施工现场安全措施

施工现场安全措施在落实安全管理体系方面属于极为关键的环节,其主要目的在于把安全风险尽可能地降低。水利工程施工所处的环境颇为复杂,在施工区域内通常存在着像水位出现波动、土方发生坍塌、开展高处作业以及进行机械设备操作等诸多风险因素。所以,在施工现场务必要采取具有综合性的安全措施。具体来讲,这些措施涵盖了对临时设施展开稳固建设并且规范使用,以此来确保施工人员以及设备在作业过程当中的安全;施工机械设备需要定期开展检查与维护工作,操作人员必须要持有相关证书才能上岗,并且要严格依照操作规程行事;对于高处作业以及水域作业而言,应当配备相应安全防护装备,同时还要建立起与之对应的监护以及应急救援机制;施工现场还需设置安全警示标识以及安全通道,从而保证人员能够顺畅地疏散以及在事故发生时可以有秩序地进行应对。凭借这些措施,施工现场的风险能够实现系统化的防控,进而为工程得以顺利推进给予强有力的保障。

3 水利工程施工中的质量控制措施

3.1 加强工程检测

工程检测在水利工程施工当中占据着极为关键地位,它属于保证工程质量的核心环节所在。借助对施工过程以及材料质量展开科学且细致的监测举措,就能够做到及时将其中存在的各类问题给挖掘出来,进而采取行之有效的纠正办法,以此来切实保证工程能够顺利达到预先设计标准以及技术方面的相关要求。施工单位务必要在原材料刚刚进场之时、施工正在开展的过程之中以及竣工之后进行验收的各个不同阶段都去实施极为严格的检测工作,而且检测所涉及的范围应当是十分广泛的,像土石方填筑的密实度情况、混凝土的配比状况以及其强度表现、水工结构的具体尺寸还有施工所达成的精度等等这些关键指标均需涵盖在内。在检测过程当中,所采用的方法必须要具备科学性并且要符合标准化的要求,与此还应当配备有必要的检测设备以及专业的技术人员,唯有如此,才能够充分保证所获取的数据既具有准确性又具备良好的可操作性。工程检测一方面是对施工质量起到有力保障作用的关键所在,另一方面也是施工单位切实履行自身责任的重要具体体现。通过着力构建起较为完善的检测记录以及数据追踪体系,就能够为日后针对质量问题展开分析以及实施整改等工作给予相应的依据支撑,进而促使施工

过程当中的质量能够实现可控的状态、具备可追溯的能力以及达成可持续改进的良好效果。

3.2 创建质量管理工作队伍

创建高素质的质量管理工作队伍,这可是水利工程施工质量得以保障的关键前提。施工单位得着手组建起专业的管理团队,要将各级人员的职责都给明确清楚,务必要保证在施工进程当中质量控制能够做到专人负责,并且各个环节都有具体负责人。这个质量管理团队一方面要对施工技术规范以及工程标准相当熟悉,另一方面还得掌握那些先进的检测方法以及问题分析方面的技巧,如此才能在施工期间及时察觉到质量隐患,并且还能给出相应的改进方案。与此团队成员应当借助系统化的培训以及考核方式,持续提升自身的专业能力以及责任意识,进而让质量管理工作能够形成一种闭环的机制。只有这样才能够达成对关键工序、重要节点以及整体施工质量的全程全方位监控,切实保证每一个环节都能够契合设计的要求以及施工的标准,最终促使工程的整体质量水准得以提升。

3.3 关键工序与节点质量控制

关键工序以及施工节点,在水利工程的施工质量控制方面,属于重点聚焦之处,其质量状况会直接对工程的整体安全性以及耐久性产生影响。就土石方工程施工来讲,需要着重关注填筑密实度的情况、边坡的稳定性状况以及施工机械的操作是否规范等方面,以此来确保土石方结构能够保持稳定且处于安全状态。而在混凝土及结构施工这个环节当中,得严格把控配比情况、浇筑工艺的运用、养护措施的落实以及施工缝的处理等方面,从而保证混凝土结构具备应有的强度并且拥有良好的耐久性^[1]。水工建筑物的施工涉及到像堤坝、闸门还有溢洪道等一些重要的构筑物,在施工的整个过程里,要严加控制尺寸的精度、结构的强度以及防渗的性能,并且还需建立起专门的质量监测以及验收方面的制度。通过针对关键工序和节点展开科学有效的管理以及严格的检测举措,是能够有效地防范质量缺陷不断累积所形成的那种风险的,进而为工程能够实现长期的安全运行给予可靠的保障。

4 安全与质量管理的综合策略

4.1 安全与质量管理的协同机制

安全与质量管理于水利工程施工而言是相互促进的存在,二者协同机制对施工过程整体优化颇为关键。在实际管理环节里,借助统一的目标体系、协调的工作流程以及信息共享机制,把安全管理同质量控制紧密结合起来,让施工单位在保证工程质量之际,能够严格把控施工风险。协同机制着重于各部门间的沟通与协作,经由定期召开协调会议、开展信息通报以及实施联合检查等方式,达成安全隐患的及时发现以及质量问题的及时整改^[2]。唯有将安全与质量管理紧密融合,构建起全员参与、全程覆盖、全过程控制的管理模式,才可做到在提升施工效率之时,有效减少事故发生几率,保障工程得以顺利竣工。

4.2 风险识别、预防及应急机制

风险识别以及预防属于水利工程施工安全和质量管理当中的关键环节,而科学且合理的应急机制能够有效应对各类突发事件,进而给予相应保障。在正式开展施工之前,需要针对有可能存在的安全风险以及质量隐患展开系统的评估工作,依据评估情况制定出相应的风险等级,并且制定与之相匹配的应对策略。在施工具体实施的过程当中,借助定期开展的巡查活动、对监测数据进行分析以及现场的监督举措,达成对风险的动态化管理目标,同时也能够实现早期的风险预警功能。与此应当构建起较为完善的应急预案以及响应机制,其中涵盖事故报告的具体程序、现场应急组织的相关安排、救援设备的配置状况以及演练制度等方面内容,以此来保证在发生突发事件之际可以快速有效地进行处置,从而把事故所造成的影响尽可能地降低到最低程度^[3]。通过将风险识别、预防措施以及应急机制有机地结合起来,便能够实现对施工安全以及质量控制的高效保障效果,进而为工程得以顺利完工奠定可靠的根基。

5 结语

水利工程施工所涉及的范围颇为广泛,工序也相当繁杂,不同专业之间的交叉性很强,所以施工安全以及质量控制的重要性是显而易见的。通过强化安全管理方面的意识,构建起科学合理的管理体系,引入专业的第三方监理,并且完善施工现场的各项安全措施,如此便能够有效地将安全风险降下来。与此借助加强工程检测工作,创建出素质较高的质量管理队伍,对关键工序以及节点的质量加以控制,这便能够保证工程施工能够达到设计时所规定的标准以及技术方面的要求。再进一步来讲,依靠安全与质量管理相互间的协同机制,还有针对风险的预防以及应急管理工作,进而达成施工全过程的风险控制以及质量保障目标。从整体上看,科学且系统的安全管理以及质量控制相关措施,一方面提升了水利工程施工的效率,另一方面也提高了工程的质量,同时也为施工安全以及工程的可持续发展给予了强有力的保障。在往后的日子当中,应当在实际的操作过程中不断地去完善各项管理机制,推动信息化、智能化等手段的应用,从而实现水利工程施工管理的持续优化以及创新发展。

[参考文献]

- [1]王明时.水利工程施工中的质量控制与安全管理研究[J].水上安全,2025(3):83-85.
 - [2]刘寿辉.探析水利工程施工中的安全管理与质量控制[J].水上安全,2023(13):158-160.
 - [3]汪海涛,崔立柱.浅析水利工程施工中的安全管理和质量控制[J].治淮,2022(9):87-88.
- 作者简介:袁新峰(1981.8—)毕业院校:石家庄经济学院,所学专业:工程造价,当前就职单位名称:新疆裕强建筑安装有限责任公司,就职单位职务:经营部部长,职称级别:助理职称。

水利工程施工中导流施工技术的应用管理分析

何 盛

广西贵港市桂平市麻垌镇何村, 广西 贵港 537000

[摘要]导流工程是水利工程建设的重要组成部分,并发挥着至关重要的作用,一方面能够助力水利工程控制水流,另一方面可以营造适宜的水利工程建设环境。导流施工技术类型多样,包括成孔导流、隧洞导流、堤坝导流以及明渠导流等。其中隧洞导流是指在施工基坑上下游修筑围堰挡水,引导河水通过岸边导流隧洞导向下游的施工导流。隧洞导流在复杂地质条件下的应用比较广泛。本篇文章以隧洞导流施工技术为例,分析了复杂特殊地质条件下隧洞导流施工的难点与存在的问题,并分别从隧洞开挖与支护等维度入手,就水利工程施工中导流施工技术的应用管理措施进行探究。

[关键词]水利工程; 导流施工技术; 隧洞导流施工; 支护技术

DOI: 10.33142/hst.v8i9.17674

中图分类号: TV5

文献标识码: A

Application and Management Analysis of Diversion Construction Technology in Water Conservancy Engineering Construction

HE Sheng

Guangxi Guiping City Madong Town Hecun, Guigang, Guangxi, 537000, China

Abstract: Diversion engineering is an important component of hydraulic engineering construction and plays a crucial role. On the one hand, it can help control water flow in hydraulic engineering, and on the other hand, it can create a suitable environment for hydraulic engineering construction. There are various types of diversion construction techniques, including borehole diversion, tunnel diversion, dam diversion, and open channel diversion. Tunnel diversion refers to the construction of cofferdams upstream and downstream of the construction foundation pit to block water and guide river water through the diversion tunnel on the bank to downstream construction diversion. Tunnel diversion is widely used in complex geological conditions. This article takes tunnel diversion construction technology as an example to analyze the difficulties and problems of tunnel diversion construction under complex and special geological conditions, and explores the application and management measures of diversion construction technology in water conservancy engineering construction from the dimensions of tunnel excavation and support.

Keywords: water conservancy engineering; diversion construction technology; tunnel diversion construction; support technology

引言

水利工程是重要的基础工程,对国民经济发展意义重大。导流工程在水利工程建设中发挥着至关重要的作用,可以为水利工程施工创造安全、适宜的环境条件。水利工程施工中需要结合工程要求、环境条件等因素合理选用导流施工技术,助力水利工程有效控制水流,为水利工程高效施工奠定基础。因此对导流施工技术应用管理方面的研究具有重要的现实意义。

1 复杂特殊地质条件下隧洞导流施工难点与问题

隧洞导流即通过围堰挡水的方式将河水沿导流隧洞导向下游,导流隧洞常见断面形式包括马蹄形断面、圆形断面以及城门洞形断面,其中圆形断面适合有压隧洞,马蹄形断面以及城门洞形断面适合无压隧洞。以隧洞断面尺寸为标准,可以将其划分为特大断面、大断面、中断面以及小断面,其划分标准详见表1。

在我国,大型水利工程主要分布在西南与西北地区,大型水利工程所在地地形通常比较复杂,水利工程施工中常见IV-V类围岩。现阶段的很多隧洞工程呈现出较大的

施工难度,其中的重要根源即为隧洞所处的地质环境较为特殊、复杂,并且分布着断层、破碎岩体、严重风化岩层等。由于以上因素的存在,将会明显增加隧洞施工人员面临的风险因素。

表1 导流隧洞断面划分标准

序号	断面类型	断面面积 (m ²)	等效直径 (m)
1	特大断面	断面面积大于 120m ²	等效直径大于 12.0m
2	大断面	断面面积大于 50m ² 小于 等于 120m ²	等效直径大于 7.5m 小于 等于 12.0m
3	中断面	断面面积大于 20m ² 小于 等于 50m ²	等效直径大于 4.5m 小于 等于 7.5m
4	小断面	断面面积小于 20m ²	等效直径

导流隧洞工程施工会受到诸多因素的影响,而地质条件则是其中的重要影响因素之一。需要结合工程地质特征来确定隧洞导流工程施工方案,同时结合具体的围堰类别确定具体的施工技术。基于以上因素的考虑,隧洞施工部门需加强前期勘察,旨在全面把握隧洞所处区域的环境情况,从而制定行之有效的隧洞施工整改方案,明确隧洞围

岩的支护与开挖作业步骤,以确保施工安全。反之,施工人员如果未能准确把握隧洞工程的特殊地质情况,再加之未能及时采取有效的补救措施,容易导致塌方等安全事故。例如在洞顶岩层较薄的情况下容易发生冒顶,在两中岩层交接带容易发生塌方,在软弱岩层段受地下水渗透等因素的影响容易出现局部坍塌等。这些不仅增加了导流隧洞施工的难度,而且还会给导流施工带来巨大的安全风险。为保证施工质量与施工安全,一方面要全面了解工程地质状况,另一方面则要结合工程地质状况合理选用开挖与支护技术,在保障施工安全的同时提升施工质量与施工效率。

2 导流隧洞开挖施工技术

开挖是导流隧洞工程施工的重要环节,同时也是导流隧洞施工中的核心环节。合理选择开挖方法是导流隧洞开挖施工安全、高效的关键,开挖技术会受到诸多因素的限制,如技术水平、设计断面以及地质条件等。具体而言,导流隧洞的开挖作业体现为如下的技术应用要点:

2.1 不良地质地段的处理措施

复杂特殊地质条件下的导流隧洞开挖施工,首先要做好溶洞、断层以及软弱岩层等不良地段的处理。具体的处理措施详见表2。

表2 不良地质地段处理措施

序号	不良地质情况	加固处理措施
1	熔岩发育地段	针对小溶洞采用挂网喷锚、注浆回填的方法处理。针对山体发育有多处岩溶潭、河边有泉点等需要采用洞内洞外处理相结合的方式。设置排水装置,加强排水,开挖揭露后立即用混凝土封堵或进行帷幕灌浆。同时,为了减轻外水压力,须根据溶洞出水流量在回填混凝土的地方设置排水装置;当有死溶洞出露时,将溶洞内水排完后回填满足结构设计要求混凝土即可。
2	软弱岩层带	对挤压密实、强度极低的岩体进行固结灌浆加固;对泥质含量高、遇水易软化的岩体进行固结灌浆和设置悬吊锚杆进行加固。
3	断层带及其影响带	对断层两侧影响带裂隙较发育的岩体进行固结灌浆加固处理;对断层严重地段,除采取固结灌浆外还需设置悬吊锚杆。

结合表2分析,通过对不良地质地段的处理,能够显著提升断层段围岩的整体稳定性,为施工安全提供有力保障,同时也能为导流隧洞的开挖与支护施工创造便利条件。

2.2 断层及破碎围岩段上导流隧洞的开挖

处于破碎围岩或者断层上部的导流隧洞如果要实现安全有序的施工目标,则不能够缺少爆破、钻孔、注浆等多个工序之间的有机协调。在此前提下,加强隧洞施工全过程的质量控制与监督,施工人员需坚持正确的开挖操作流程,并应当遵循因地制宜的思路展开支护作业。隧洞施工人员针对断层较为集中的区域,应尽可能采取超前支护的处置方案,并需要注浆加固其中一部分的强风化破碎岩体。具体在开挖上层的破碎围岩结构时,通常可以将岩柱

预留在隧洞中部,或者采取左右两侧同步开挖的方式;在开挖下层的破碎围岩结构时,关键就是要借助爆破作用力予以实现,该部分主要涉及光爆层开挖、梯段爆破开挖、半断面的爆破开挖等。除了以上的导流隧洞开挖方法之外,施工部门还可结合实际情况,考虑采用周边导坑开挖的方案,或者采取浅孔爆破与开挖相结合的方案。详见表3。

表3 不同导流隧洞开挖方法的特点与优势

序号	开挖方法	开挖特点	技术优势
1	左右半洞开挖法	分左右侧进行先后开挖	这种开挖方法有助于缩小初期开挖顶拱跨度,减少围岩变形,更好地保障顶拱稳定性
2	周边导坑法	拱部弧形导坑先进,然后依次两侧开挖拱脚导坑以及墙脚导坑	这种开挖方法只需对部分周边围岩进行加固,不仅减少了工程量,而且有助于节约施工成本
3	中部预留岩柱法	先开挖左右侧导洞,再开挖中部预留的岩柱	这种开挖方法缩小了一次开挖中的顶拱跨度,减少了开挖初期的应力变形,限制了围岩松弛范围,有利于顶拱的稳定
4	中导洞开挖法	先开挖中部导洞,再开挖两侧	有利于减小对两侧边墙的爆破扰动,适合于地质情况对边墙不利的洞室开挖

在实际施工过程中,需要结合工程地质特点选择适宜的开挖方法。如某大型水电站的主断层部分,平均宽度在8~17m范围内,中端层宽度为30m左右。工程勘察人员经过前期勘测得出,该隧洞断层的围岩破碎程度普遍较高,其中的大部分围岩已经倾向于断裂或破碎,尤其是角砾岩与石英脉集中的区域。基于此,隧洞施工部门拟采取分层开挖的作业方案,分别针对破碎岩体的上层、中层与下层实施集中的开挖支护操作。其中上层开挖主要采用核心留台法施工,中层与下层则借助半幅开挖法施工。除此之外,开挖施工中还将上层划分为七个部分,并按照由上至下、先中间后两侧的顺序施工,支护施工与开挖施工同步,以此来保障施工安全。再以B水电站为例,B水电站导流隧洞进口段涉及区域性断层,溶蚀张开剧烈,导致进口和洞脸边坡的稳定性较差,再加之工作面部分围岩全部加固会涉及较大的工程量,不仅会影响施工进度,而且会增加施工成本。综合考虑各方面因素,最终决定采用周边导坑法进行开挖。具体的开挖施工工序详见图1。

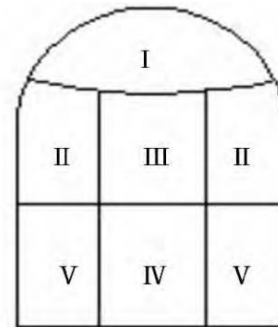


图1 周边导坑法施工工序示意图

2.3 软弱岩层上导流隧洞开挖

软岩主要包括粉砂岩、泥岩以及泥质矿岩等，具有孔隙度大、强度低以及胶结程度差等方面的特点。在实际施工过程中，应结合工程地质特征选择相应的开挖方法。如针对具有遇水易泥软化、失水易干裂、多层间剪切破碎的软弱岩层，应采用分层开挖的方式，通常应分三层进行开挖，并且要严格控制分层厚度。对于软弱岩层上部的导流隧洞在实施集中开挖作业时，隧洞施工部门应加强同工程设计人员、勘察人员之间的沟通协调，旨在全面把握隧洞施工的特殊环境情况，以此为依据展开协同性的开挖支护操作。

2.4 岩溶发育段上导流隧洞开挖

在导流隧洞施工过程中岩溶发育段也比较常见，大断面导流隧洞的施工处理难度普遍较高，对此需要坚持从上至下的施工指导思想，集中针对岩溶发育较为明显的区域进行封堵。如果涉及溶洞空腔施工，一方面要做好底板的清理与加固工作，另一方面要做好底板的回填，同时还要进行随机支护。施工部门还应结合实际情况，借助机械设备予以扩挖隧洞，然后采取弱爆破的工程辅助措施。

3 导流隧洞支护技术

支护是保障导流隧洞施工安全的关键，在复杂特殊地质特大断面导流隧洞施工过程中，应综合考虑隧洞大小、围岩类型、支护材料、开挖形式以及隧洞工况等因素确定合理的支护形式。

3.1 断层及其影响带、卸荷带和节理带上导流隧洞支护

水利工程的隧洞结构如果存在大量的断层、卸荷带、影响带等，则会进一步增加岩体破碎导致的隧洞失稳风险。再加之受构造等因素的影响，导致导流隧洞开挖后容易发生变形，并且变形发展速度快，不仅要及时进行支护，而且还需要借助刚性大的联合支护措施来控制变形发展。通常可以采用格栅钢架锚杆支护、挂网喷锚支护等方式。以格栅钢架锚杆支护为例，该方法适用于IV、V类围岩段的支护，云南土卡河水电站导流隧洞的IV、V类围岩段便采用了格栅钢架锚杆支护的方式。例如在挂网喷锚的水利工程导流作业中，施工部门通常可采取“初步喷锚-挂网作业-二次喷锚-布置锚杆-二次挂网-再次喷锚”的方式；另一种形式为初喷、锚杆、挂网、再喷。相较于第一种形式，第二种形式少了挂第二层网的环节。通常情况下，第一种形式适用于软弱层较厚的主断层带，第二种形式适用于软弱带较窄的断层带及其影响带。除此之外，针对断层及其影响带还可以采用工字钢支撑的方式，这种支护方式耐久性更强，可以承受较大的压力。以小湾导流隧洞为例，小湾导流隧洞的支护体系主要采取了工字钢作为材料，然后采取喷射纤维混凝土的加固保护措施。

3.2 软弱围岩和岩溶地段导流隧洞的支护

软弱围岩和岩溶地段导流隧洞应借助超前支护措施对围岩进行加固，同时还能通过超前支护起到封堵地下水的的作用，进而为接下来的施工创造良好的环境条件。例如近

些年来，大管棚钢管已经普遍应用于水利工程的导流施工，施工人员对此需要严格限定钢管的布置间距、仰角、直径尺寸等。超前小导管锚杆以及小管棚支护参数详见表4。

表4 超前小导管锚杆以及小管棚支护参数

围岩类别	钢管直径 (mm)	钢管长度 (m)	环向间距 (cm)	外插角 (°)	
				超前小导管锚杆	小管棚支护
IV	42	3~5	40~60	10~30	3~5
V	42	3~5	30~50	5~20	3~5

3.3 围岩破碎带、围岩变形强烈段导流隧洞支护

水利工程的导流施工以及围岩支护施工应突出因地制宜的理念，水利施工部门需重视围岩变形比较显著的区域、围岩风化破碎的区域等，针对上述区域采取预应力锚杆或者“中空自进锚杆”的两种常见支护形式。具体而言，“中空自进锚杆”能够很好适应特殊与复杂的导流施工环境，操作人员可以借助中空自进式锚杆替代砂浆锚杆，这样一来便可以解决砂浆锚杆存在的问题与不足，如注浆不饱满、塌孔等。能够充分发挥锚杆的支护作用，保障围岩整体性并强化围岩承载力。如小湾水电站导流隧洞中的断层初露洞段便借助中空自进式锚杆进行支护。再以水泥卷式预应力锚杆为例，此种锚杆支护形式可显著改善岩体结构的坚固度。应用水泥卷式预应力锚杆能够快速对开挖后的围岩施加支护压力，保障围岩受力稳定，保障围岩的整体性和稳定性。

总之，复杂特殊地质特大断面导流隧洞支护方式多样，在实际施工中应结合工程实际情况与具体的支护需求合理选择支护形式，这样才能保证支护效果，才能保障施工安全。

4 结束语

导流工程是水利工程建设中的关键，是水利工程施工安全的重要保障。合理应用导流施工技术能够为水利工程依照安全的施工环境，创造适宜的施工条件，是水利工程安全、高效施工的前提和基础。本文以导流隧洞施工为例，分别从隧洞开挖与支护两个维度入手介绍了导流施工技术应用与管理措施，希望能够为其他类似工程施工提供一定的参考。

[参考文献]

- [1] 靳桂斌. 浅谈水利工程施工设备中导流施工技术的应用[J]. 中华建设, 2025(9): 198-200.
- [2] 马淇霖. 南方某抽水蓄能电站导流洞混凝土衬砌施工技术[J]. 中国高新科技, 2025(12): 137-139.
- [3] 张昭昭. 隧洞新奥法施工技术在白狮水库导流洞的应用效果分析[J]. 水利科技与经济, 2025, 31(6): 136-141.
- [4] 冯寅. 组合式施工导流技术在引江济淮工程中的实践应用[J]. 水上安全, 2025(11): 7-9.
- [5] 张雪梅, 帖少娟. 水利工程施工导流技术的多方案比选及动态调控策略研究[J]. 水上安全, 2025(11): 16-18.

作者简介：何盛（1988.11—），男，毕业院校广西科技大学；所学专业土木工程，当前就职单位山东龙信达咨询监理有限公司，职务监理工程师，工程师。

数字化技术在水利工程监理中的作用与前景

梁晓伟

河北天和监理有限公司, 河北 石家庄 050000

[摘要]随着水利工程规模变得越来越大,技术方面的要求也一天比一天高,在这种情况下,传统的监理方法在面对复杂的工程环境以及多维度的信息管理时,就显得有些力不从心了,存在一定的局限性。而数字化技术广泛地应用起来之后,就给水利工程监理带来了高效的、精准的管理工具,其实在施工规划环节、过程监控环节、验收运维环节以及综合决策环节当中,都能够发挥出极为重要的作用。文中全面且细致地分析了水利工程监理工作所具备的职能以及能力方面的具体要求,深入探讨了数字化技术在各个施工阶段的具体运用情况,还对智能化监理平台未来的发展趋势予以了展望,希望能够为水利工程管理实现数字化转型给予相应的参考以及理论层面的有力支撑。

[关键词]数字化技术; 水利工程; 监理工作

DOI: 10.33142/hst.v8i9.17689

中图分类号: TV51

文献标识码: A

The Role and Prospects of Digital Technology in Water Conservancy Engineering Supervision

LIANG Xiaowei

Hebei Tianhe Supervision Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: With the increasing scale of water conservancy projects, the technical requirements are also getting higher day by day. In this situation, traditional supervision methods are somewhat inadequate and have certain limitations when facing complex engineering environments and multi-dimensional information management. After the widespread application of digital technology, it has brought efficient and accurate management tools to water conservancy engineering supervision. In fact, it can play an extremely important role in construction planning, process monitoring, acceptance and operation, and comprehensive decision-making. The article comprehensively and meticulously analyzes the specific requirements for the functions and capabilities of water conservancy engineering supervision work, deeply explores the specific application of digital technology in various construction stages, and also looks forward to the future development trend of intelligent supervision platforms, hoping to provide corresponding references and strong theoretical support for the digital transformation of water conservancy engineering management.

Keywords: digital technology; water conservancy engineering; supervision work

引言

水利工程属于我国基础设施里的重要部分,在防洪、灌溉、水资源调控以及生态保护等方面都有着多种功能,其施工的过程较为复杂,技术方面的要求也比较高,涉及到多个学科以及诸多环节协同开展工作。随着信息技术以及数字化手段快速向前发展,监理工作的内涵正经历着极为深刻的改变。数字化技术可提升监理工作的效率与精度,还能借助实时数据采集、分析以及可视化管理,给项目决策给予科学依据,强化监理工作的透明性与可控性。本文对水利工程监理工作的职能要求展开系统梳理,分析数字化技术在不同阶段所具有的应用价值,同时探讨其平台化发展状况以及未来的发展趋势,以此为水利工程监理走向现代化、智能化给予理论方面的支撑以及实践层面的参考。

1 水利工程监理工作的职能与能力要求

1.1 多元专业技术知识的整合与应用

监理工作是以专业知识技能与综合管理能力为背景的工作,需要基于自身以及监理团队的水利工程专业知识技能与经验、水利工程设计方案、工程地质特点、建设条

件等,对工程质量、进度、投资、安全、资源、合同、信息等进行管理,涉及项目施工组织建设、安全与质量管理体系建设、技术方案评估、人员技能培训及人机料法环测等多专业内容。因而,监理工程师需要具有水利、土木、环境等专业技术知识,具备系统的工程项目管理技能,能够围绕项目施工方案开展项目施工可行性分析、项目技术指导,掌控项目的质量、进度等内容。监理工程师得能妥善整合多种信息资源,参与到项目决策当中,并且给出科学且合理的管理方面的建议,以此来保障工程运行具备高效性以及安全性。数字化技术以及信息化手段的应用,已然成为提高监理工作精度与效率的关键支撑所在,同时也显著增强了工程师在复杂项目中进行科学决策和综合管理的能力。

1.2 敏锐的现场感知与洞察能力

在水利工程施工期间,现场环境呈现出复杂的一面,施工环节也多种多样,这给监理工程师带来了很高的感知以及洞察方面的要求。监理工程师一方面要对施工现场的各种设备、施工材料还有施工方法给予高度的关注,另一

方面得具备从细微的施工变化里发现潜在问题的能力,并且能够预测可能出现的施工风险。这种敏锐的特性一方面源自丰富的专业经验,另一方面依靠的是对工程整体流程以及施工标准有着较为透彻的理解。数字化技术在这个过程中可给予有力的支撑,借助实时监测、传感器数据采集以及施工信息可视化等方式,能让工程师迅速获取到施工现场最新的动态情况,提升对异常状况做出判断的能力,进而能够在问题出现之前采取有效的应对措施,以此来确保工程的安全以及质量。

1.3 系统化项目管理与决策能力

水利工程监理涵盖诸多方面,其一是对施工质量予以监督,其二是项目进度管理,其三是成本控制,还有技术方案的可行性评估等多项管理任务。监理工程师得有系统化的项目管理能力,能对施工全过程加以统筹,各类资源要能协调好,并且在复杂环境里做出科学决策。这就要求监理人员一方面要掌握水利工程的技术规范,另一方面要熟悉项目管理的方法和工具。有了数字化技术帮忙,工程师可以依据全生命周期的数据来做综合分析,对施工计划、资源调配以及风险控制进行动态调整,如此一来,项目管理就会更加精准且高效,还能保证每一个阶段的施工目标都和整体工程目标高度一致。

1.4 多方利益协调与沟通能力

水利工程项目涵盖建设单位、施工单位、设计单位还有地方管理部门等诸多主体,监理工程师于项目实施进程里充当着沟通桥梁以及协调者的重要角色。具备有效的沟通能力,可促使各方信息得以及时地予以传递,进而保证施工计划、技术方案以及管理要求均能获得准确无误的执行。与此监理工程师还得以在冲突以及分歧情形下维持客观公正的态度,妥善且合理地去平衡各方的利益,以此推动项目可以顺利地向前推进。数字化技术给这一能力给予了强有力的支撑,借助信息共享平台、协同管理工具以及实时数据分析等手段,能够让各方处于统一的信息环境当中展开决策以及协作活动,由此切实提升项目的协调效率以及管理的透明程度。

2 数字化技术在水利工程监理中的应用

2.1 施工准备阶段的数字化应用

在水利工程施工准备阶段,数字化技术的应用主要呈现于工程信息管理、施工方案优化以及风险预评估等方面。把施工图纸、设计方案、工程量清单以及地质数据加以数字化整合之后,监理团队便可迅速获取完整的项目信息,并且构建起统一的数据管理平台,达成工程信息的系统化以及可追溯特性。与此凭借数字模型和仿真技术,监理人员可在施工开始之前针对施工方案展开科学评估,对施工流程以及资源配置予以优化,提前察觉可能存在的施工风险和技术难点。这样的数字化准备工作不但提高了监理工作的效率,还为施工阶段的质量以及安全管理工作打下了

稳固的基础,让项目在开工阶段就能实现高效、可控且科学的管理状况。

2.2 施工过程的数字化监控

在施工进程中,数字化技术有着极为关键的作用。它借助实时数据的采集、监测以及分析,促使监理工作从以往传统的抽检以及现场巡查逐步转变成全程的动态监控模式。施工现场所配备的各类传感器、无人机、视频监控系統还有物联网设备,均能实时去采集像混凝土浇筑、土方施工、设备运行以及环境参数等方面的数据。监理工程师依靠数字化平台来对这些数据展开分析并且进行可视化处理操作,如此一来便可以快速察觉到施工当中出现的异常状况或者潜在存在的问题,进而达成及时发出预警并采取相应干预措施的目的。与之施工进度管理以及质量控制也都获得了数字化方面的有力支持。凭借信息化系统来记录并分析施工任务的具体完成情况,能让进度以及质量相关的数据变得更为透明且处于可控状态,还能为项目的各项决策给予较为精准的依据,以此确保施工整个过程是高效的、安全的并且符合设计方面的要求。

2.3 工程验收与运维阶段的数字化支持

在工程验收以及运维这个阶段,数字化技术依旧有着极为重要的作用。竣工验收的时候运用数字化的手段来对整个进程进行记录以及管理,以此达成施工成果精准归档的目的,并且让信息具备可追溯性,进而提升验收工作的效率以及准确性。与此在运维阶段的数据管理方面,通过对水工结构、设备运行的状态还有环境条件展开监测,去建立起长期的运维数据库,进而给设施维护、检修以及风险评估给予科学方面的依据。凭借智能预警系统以及风险提示机制,监理工程师可以及时察觉到设备出现异常或者存在潜在的安全隐患,从而提前采取预防的相关措施。这样一种数字化的验收与运维的方式,一方面提升了工程管理的科学性以及透明度,另一方面也保障了水利工程能够实现长期的安全运行以及高效的管理。

2.4 数字化技术提升监理效率与质量的机制

数字化技术借助数据驱动、可视化管理、智能分析以及协同管理机制,在根本上提高了水利工程监理的效率与质量。监理工程师运用海量数据展开综合分析并获取决策支持,如此一来,既能迅速对施工进度和质量加以评估,又能凭借虚拟仿真和三维可视化技术预估工程实施效果,进而优化施工方案,降低人为判断出现的误差。与此协同管理平台把监理团队、施工单位以及设计单位的数据信息予以统一整合,使得各方可以共享实时信息,以此保证沟通渠道畅通无阻、决策能够及时作出。除此之外,数字化技术还促进了经验的积累以及知识的管理,形成了能够反复使用的项目管理数据库,为后续工程给予参考并提供改进依据,最终达成监理工作全流程的精细化、智能化以及高效化目标。

3 数字化技术在水利工程监理中的平台化发展与趋势

3.1 智能化监理平台建设

随着数字化技术不断得到应用,智能化监理平台已然成为水利工程监理极为重要的发展趋向。把施工现场、监理机构还有相关管理部门的数据信息加以整合之后,智能化平台可达成对施工进度、质量把控、进度管理以及资源调配的全程在线式监控^[1]。借助这个平台,监理工程师可以清楚知晓项目整体状况,随时把握各个施工环节的动态改变,且能针对异常情况展开快速剖析并予以处置。并且,智能化监理平台经由模块化设计以及功能拓展,促使数据采集、分析、预警、协同管理等各项功能高度融合在一起,这在很大程度上提高了监理工作的效率,也增添了其科学性,进而为实现项目全生命周期的精细化管理给予了技术方面的有力支撑。

3.2 数据集成与信息共享

数据集成以及信息共享构成了智能化监理平台达成高效运作的关键环节。借助统一的数据接口还有标准化的数据格式,像施工单位、监理机构、设计单位以及其他相关的各方,便可在同一个信息环境当中去共享有关施工进度、质量检测、设备状态以及环境监测等方面的数据,进而实现信息的透明化以及具备可追溯的特性。这样的数据集成一方面减少了信息传递所存在的滞后性以及出现的误差情况,另一方面还给项目管理给予了较为完备的数据方面的支撑,让监理工程师可以依据实时的信息来开展科学的决策以及风险评估工作^[2]。凭借云计算、大数据分析以及可视化展示等相关技术,信息共享机制不但提高了监理工作的协同效率,而且还推动了项目管理朝着标准化、规范化以及智能化的方向不断发展。

3.3 虚拟仿真与数字孪生应用

虚拟仿真以及数字孪生技术给水利工程监理带来了全新的管理途径。借助构建施工现场的数字模型这一方式,监理人员便能够在虚拟环境当中对施工过程加以模拟,以此来预估可能会出现的施工风险还有技术难点,进而达成施工方案的优化以及预案的验证目的。而数字孪生技术可做到将工程实体同其数字模型实现实时的同步,这使得监理工程师在施工进程里能够凭借模型直观地知晓项目当下运行的状态、结构所处的安全状况以及设备的实际性能情况,从而能够及时察觉到潜在的问题并且采取相应的干预举措^[3]。如此这般虚拟仿真与数字孪生的应用不但提升了监理工作的科学属性以及预见方面的特性,而且还为复杂水利工程的施工管理给予了较为可靠的技术层面的保

障,促使监理工作慢慢从依靠经验来驱动的状态朝着由数据与模型驱动的方向转变。

3.4 前沿技术融合与未来发展方向

未来的水利工程监理会把人工智能、物联网、区块链还有大数据分析等诸多前沿技术充分融合起来,以此来促使监理模式朝着智能化、数字化以及平台化的方向得到全面且充分的发展。人工智能能够在施工数据分析以及异常预测方面派上用场,物联网技术可以达成对施工现场设备以及环境参数的实时监控目的,而区块链技术则能够确保施工信息具备不可篡改的特性以及透明的属性,大数据分析更是能够为项目全生命周期的科学决策给予有力的支持^[4]。这样一种由多种技术相互融合形成的发展趋向,一方面提升了监理工作的精度以及效率,另一方面也推动了工程管理模式有所创新,进而使得水利工程监理变得更加智能、更加精准并且更加高效,同时也为水利工程实现高质量的建设给予了源源不断的动力。

4 结语

数字化技术在水利工程监理方面的运用已然成为提高工程管理水平的关键途径,它在施工准备阶段、施工进程之中以及验收运维环节均有涉及,大幅提升了监理工作的效率、精确度以及科学性。借助智能化监理平台、数据集成与信息共享手段、虚拟仿真以及数字孪生等技术,监理工程师可以更为完整且实时地知晓工程状况,达成对质量、安全、进度以及资源的细致化管理。以后,伴随人工智能、物联网还有大数据等前沿技术持续融合,水利工程监理会进一步达成智能化、平台化以及系统化的发展态势,给水利工程的高质量建设与运行给予稳固的技术支撑与管理保障。数字化技术不但优化了监理工作的流程,还促使水利工程管理理念走向现代化,为行业可持续发展带来了新的契机与方向。

[参考文献]

- [1]张玉萍.数字化技术在水利工程监理中的作用与前景[J].工程技术研究,2023,8(22):174-176.
 - [2]彭磊.水利工程监理工作中的质量控制方法[J].河南水利与南水北调,2024,53(8):75-76.
 - [3]曹哲平.信息化管理系统在水利工程监理中的应用[J].建设监理,2024(6):94-97.
 - [4]王思远.水利工程建设管理中数字化技术的应用与前景展望[J].黑龙江水利科技,2025,53(2):131-134.
- 作者简介:梁晓伟(1998.12—),毕业院校:石家庄铁道大学,所学专业:风景园林,当前就职单位:河北天和监理有限公司,职务:无,职称级别:无。

跨流域调水工程线路比选与生态补偿机制设计

祝 斌

新疆塔里木河水利勘测设计院, 新疆 喀什 844700

[摘要]跨流域调水工程在缓解水资源不均衡、保障经济社会发展中具有重要作用。然而,线路选择不科学易导致投资浪费和生态破坏,缺乏有效生态补偿机制则可能引发区域利益冲突。文章从线路比选、工程生态影响及补偿机制设计三个方面进行系统研究,提出基于综合评价和多指标优化的线路选择方法及生态补偿方案。研究表明,通过科学比选和合理补偿,可实现水资源高效配置,同时降低生态环境影响,提升工程可持续性和社会接受度。

[关键词]跨流域调水; 线路比选; 生态补偿; 可持续发展; 水资源管理

DOI: 10.33142/hst.v8i9.17706

中图分类号: TV68

文献标识码: A

Comparison and Selection of Inter Basin Water Transfer Project Routes and Design of Ecological Compensation Mechanism

ZHU Bin

Xinjiang Tarim River Water Resources Survey and Design Institute, Kashgar, Xinjiang, 844700, China

Abstract: Cross basin water transfer projects play an important role in alleviating water resource imbalances and ensuring economic and social development. However, unscientific route selection can easily lead to investment waste and ecological damage, and the lack of effective ecological compensation mechanisms may cause regional conflicts of interest. This article conducts a systematic study from three aspects: route comparison, engineering ecological impact, and compensation mechanism design, and proposes a route selection method and ecological compensation plan based on comprehensive evaluation and multi index optimization. The study shows that through scientific comparison and reasonable compensation, efficient allocation of water resources can be achieved, while reducing ecological environmental impact, improving project sustainability and social acceptance.

Keywords: cross basin water transfer; route comparison and selection; ecological compensation; sustainable development; water resources management

引言

随着区域经济不断发展以及人口持续增长,水资源在时间与空间分布上不均衡问题愈发显著。跨流域调水工程能够起到缓解水资源短缺状况保障供水安全作用,尽管如此该工程线路设计极为复杂,涉及形质水资源量以及生态环境等多方面因素,若线路选择不合适,不但会增加工程投资成本,还极有可能对流域生态系统造成长期影响。除此之外,受水区与供水区之间利益差异较为明显,生态补偿机制设计成为了工程能够持续运行重要保障。因此,针对跨流域调水工程线路进行比选以及对生态补偿机制展开研究,对于达成工程经济效益实现生态保护以及维护社会公平而言,具有重要现实意义。

1 跨流域调水工程线路比选方法

1.1 水资源供需与工程经济评价

在水利工程线路比选阶段,要开展针对供水区与受水区水资源供需状况全面分析工作。通过对区域现有水资源量可利用水源以及未来水资源需求展开调研,同时结合人口增长趋势居民生活用水结构以及工业用水需求预测,进而能够准确计算出所需调水量以及供水能力。这一分析工作作为线路设计提供了科学依据,确保所选用线路能够满足

长期供水需求,并且具备一定弹性,以此来应对未来不确定因素^[1]。

在掌握水资源需求基础之上,还需要进行经济性评价工作,通过建立经济评价模型,对不同线路方案投资成本运行维护费用以及工程综合效益进行系统分析,从而可以科学衡量各方案成本效益比。经济评价工作不仅有助于控制建设投资以及后期运行成本,同时还能够指导决策者在多个可行方案中进行优先排序,筛选出既能够满足水资源调配需求,又具有较高经济性和可持续性线路方案。

1.2 理质与环境适应性分析

在水利工程线路设计阶段,对拟选线路进行形质气候以及环境敏感性分析是确保工程可行性和可持续性关键步骤,形分析能够帮助识别山丘陵河谷等复杂形区域,评估线路施工难度以及施工成本;质分析则着重关注土壤类型岩层结构以及稳定性,以预防滑坡塌方等地质灾害风险,气候条件分析包括降雨量温度变化以及极端天气事件影响,为施工组织以及工程防护措施提供参考。

环境敏感性分析对于保护生态环境而言至关重要,线路可能会穿越河流水库以及其他生态敏感区,湿自然保护区和生物多样性丰富区域,在方案设计过程中,应当重点

评估施工对水生态系统水质以及周边生物栖息环境潜在影响,提前制定生态保护措施,避免对环境造成不可逆损害。通过综合分析形质气候以及环境因素,不仅可以科学评估线路施工难度以及潜在风险,还能够优化线路走向以及施工方案,实现工程建设与自然环境协调发展。

1.3 综合多指标优化方法

在水利工程线路方案选择过程中,运用多指标综合评价法能够有效提高决策科学性和合理性,该方法把经济技术社会以及生态等多个因素纳入决策体系,实现对线路方案全面评价,经济指标涵盖投资成本运行费用以及工程效益;技术指标包括施工可行性质条件以及工程复杂度;社会指标关注工程对居民生活土利用以及社会经济发展影响;生态指标则强调水生态环境保护以及生态敏感区域影响评估^[2]。

为了对线路方案进行量化分析以及排序,可以借助层次分析法(AHP)、模糊综合评价或者优化算法等工具,层次分析法通过构建评价层次结构,将复杂问题分解为可比较子指标,从而实现方案科学排序;模糊综合评价则能够处理指标之间不确定性和模糊性,提高评价结果可靠性;优化算法可在多约束条件下寻求综合最优解,兼顾各类指标平衡。通过多指标综合评价与科学排序方法,能够从多个可行方案中筛选出最佳工程线路。

2 跨流域调水工程生态影响分析

2.1 水生态系统影响评估

在水利工程开展调水工作进程中,生态影响分析属于保障水环境能够持续发展关键环节。应当针对调水有可能致使水文特征变化展开研究,水文特征涵盖河流径流量水位变化以及洪水频率等关键指标,调水有极大程度上会造成部分河段径流减少或者季节性变化加剧,进而对水体自净能力以及水资源供给稳定性产生影响。水温变化同样是需要着重考虑因素,水温出现异常波动,极有可能对水生生物生长以及繁殖产生不利作用,特别是对于对温度敏感鱼类以及底栖生物而言。

此外,调水工程有极大可能对水质以及生物多样性产生潜在影响。在调水过程中,水体交换以及流量变化,可能会导致污染物稀释不充分或者水体富营养化加剧,对水质安全构成挑战。鱼类栖息遭到破坏水生植物覆盖率发生变化以及生态系统结构进行调整,也可能致使生物多样性降低,影响生态系统稳定。因此,评估调水对水生生态环境综合影响具备重要意义。为了能够科学预测生态影响,应当基于长期监测数据来开展分析,这涵盖流量水质水温以及生物群落长期监测数据。借助模型模拟调水对生态系统动态影响,为生态补偿措施制定提供依据,能够依据影响程度设计生态流量调控鱼类洄游通道建设以及水质保护措施,达成调水工程与生态环境协调发展,确保水资源利用与生态保护相统一^[3]。

2.2 土与植被生态效应

在水利工程线路建设过程中,生态环境保护是不容忽视重要环节。线路施工可能引发一系列环境问题,比如土占用植被破坏水土流失以及生态系统破碎化,土占用不但会减少可用耕以及自然生态空间,还可能改变原有土地利用格局;植被破坏会致使土壤结构变松散生态服务功能下降;水土流失则可能加剧河流淤积水质恶化以及山体滑坡等地质灾害风险,也因此在线路建设之前开展系统环境影响评估,对于保障施工与生态协调是至关重要。

为了能够科学识别以及防控环境风险,可以选用空间分析和生态脆弱性评估方法。空间分析能够通过地理信息系统(GIS)对线路沿线形土利用植被覆盖以及水文条件进行精细化分析,识别出生态敏感区和高风险区;生态脆弱性评估则结合土壤稳定性生物多样性以及生态功能指标,对可能受到影响区域进行分级管理。通过将两者结合起来,可以明确施工对环境重点影响区域,为科学制定保护和修复措施提供依据。在此基础上,应当针对不同敏感区域采取差异化管理措施,比方说,对于高脆弱区,可以调整线路走向或者采用隧道桥梁等减小占用方式;对于施工影响区,可以进行植被恢复护坡以及水土保持措施;同时,加强施工期生态监测,及时调整施工方案,确保工程建设对生态环境负面影响降低到最低程度。这种系统化具有前瞻性生态保护策略,不但保障了线路施工能够顺利进行,也实现了工程建设与生态环境保护协调发展,体现了可持续发展理念。

2.3 社会经济与生态耦合影响

调水工程不但涉及水资源调配,还与区域居民生活以及产业发展紧密相关。在工程规划和建设过程中,需要全面评估社会经济变化对生态系统可能产生间接影响,受水区和供水区农业灌溉模式工业用水结构以及居民生活用水需求可能会因为调水工程而发生调整,进而影响水资源分配以及生态系统功能。比如,灌溉模式改变可能会导致土壤湿度变化水土保持能力下降,进而影响区域生态平衡。

此外,调水工程可能引发水源使用冲突。尤其是在在水资源相对紧张区,供水区与受水区之间水量调配变化,可能会对当农业工业以及居民生活用水产生压力,从而间接影响河流流量水生生态以及湿功能。社会经济活动变化,人口迁移或者产业转型,也可能加大生态系统压力,比如对水生生物栖息造成干扰或者水质下降。为了能够科学制定生态补偿措施,需要把社会经济因素纳入生态影响评估体系,通过调查居民用水习惯产业发展规划以及迁徙模式,并结合生态系统监测数据,可以为生态补偿提供社会基础以及决策依据。通过调整水量分配优化灌溉策略建设生态湿或者实施水资源调控措施,实现工程建设与社会经济发展生态保护协调统一。这种综合分析方法有助于确保调水工程在提高水资源利用效率同时,实现生态与社会效

益平衡发展^[4]。

3 生态补偿机制设计

3.1 补偿模式与指标体系

在水利调水工程当中,开展科学合理生态补偿模式构建工作,是保障生态系统健康以及实现可持续发展关键举措。应当基于生态影响程度以及受益区域来对补偿对象实施分类,对于生态影响较大或者属于生态敏感区域情况,可以采取重点保护以及高标准补偿措施;而对于影响较小区域,则可选用适度补偿方式,补偿形式呈现出多样化特点,这其中涵盖了现金补偿生态修复以及技术支持等方面,现金补偿能够用于弥补因工程建设所造成经济损失;生态修复借助植被恢复水土保持以及湿建设等措施来改善生态功能;技术支持则包括提供先进生态管理技术培训以及咨询服务,以此来提升当生态治理能力。

在补偿标准制定过程中,需要构建一套综合指标体系,该体系涵盖了水量水质生态保护以及社会经济因素等方面。水量指标能够反映生态流量保障水平,水质指标着重关注污染物浓度与水体健康状况;生态保护指标包含生物多样性栖息保护以及生态功能恢复情况;社会经济指标则用于衡量当居民和产业在生态补偿当中受益程度。同时生态补偿模式应当具备动态调整能力,即能够依据实际生态监测数据以及社会经济变化情况进行优化。通过持续跟踪生态修复效果以及社会反馈,马上调整补偿方式和标准,从而确保补偿措施既能有效修复生态,又能够促进区域经济和社会可持续发展,达成水利调水工程建设与生态保护协同共赢^[5]。

3.2 政策与法律保障机制

完善生态补偿相关政策法规,是保障调水工程生态可持续性重要基础。应当明确生态补偿责任主体资金来源以及管理程序,责任主体包括政府主管部门建设单位以及受益方,各方职责需要在法律和政策框架范围之内进行明确界定。资金来源应当保证稳定持续,涵盖专项资金生态补偿基金以及项目预算等多种渠道;管理程序需要实现规范化,从申报审批实施到监督等各个环节都应当具备清晰流程,以此确保补偿措施能够顺利落实施。

另外,应当借助合同约束以及法律手段来强化生态补偿执行力度,建设单位与受益方签订生态补偿协议,明确补偿内容标准以及实施期限。通过法律监管机制,建立违规处罚以及责任追究制度,提高补偿执行约束力。同时,应当建立信息公开以及监督机制,实现生态补偿全过程可追溯性,便于社会公众以及相关部门进行监督和评估。通过完善政策法规明确责任和资金来源,并辅以合同和法律

保障,不但提高了生态补偿机制可靠性和可操作性,而且还为调水工程生态保护提供了制度方面支撑。

3.3 信息化管理与动态调整

在水利工程生态补偿管理工作中,建立信息化管理平台是提升管理效率以及透明度重要手段。该平台能够达成补偿过程实时监测,将生态补偿实施情况资金使用记录生态修复进展以及相关数据进行系统化记录和管理。依靠信息化平台,管理部门能够随时掌握补偿工作执行状况,及时发现并采取措施,提升生态补偿可控性以及管理效率。

平台还能够对生态补偿绩效进行量化评估。通过对水资源利用变化水质水量以及生态系统健康状况等指标进行动态监测和分析,可以科学评估补偿措施有效性。管理部门可以依据这些数据定期调整补偿方案,优化补偿方式以及资源配置,以应对生态环境和社会经济条件变化,确保补偿措施具有科学性和针对性。通过信息化管理和动态调整,不但能够实现生态补偿科学管理,而且还能够兼顾社会经济利益和生态环境保护目标。

4 结语

跨区域调水工程线路比选与生态补偿机制设计是保障工程可持续运行重要环节,通过科学线路比选多指标综合评价以及完善生态补偿机制,能够在实现水资源高效配置同时,降低生态环境破坏风险,提升社会接受度和可持续发展水平。在未来,应当进一步推进生态智能化监测和动态补偿策略,实现跨区域调水工程经济效益生态效益与社会效益协调统一。

[参考文献]

[1]郭学博,吕晓理,李忻语.调水工程运行期安全生产存在问题及应对措施[J].山东水利,2025(2):15-17.
 [2]孙博,赵晓东,谷峪,等.跨流域调水工程调度运行评价体系的探索及应用[J].水利水电技术(中英文),2024,55(2):127-133.
 [3]孟钰婕.闸泵切换调水工程调度运行优化研究[D].济南:济南大学,2023.
 [4]何震宇,秦丽.跨流域调水工程对小流域输水线路影响分析[J].安徽水利水电职业技术学院学报,2022,22(3):19-22.
 [5]袁福永.大型跨流域调水引大入秦工程总干渠线路比选研究[J].云南水力发电,2020,36(5):120-126.
 作者简介:祝斌(1990.5—)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:新疆塔里木河水利勘测设计院,职称级别:中级职称。

“7·20 郑州暴雨”水汽输送过程的诊断分析

刘和远 赵苏 袁秀忠

黄河水利委员会水文局, 河南 郑州 450004

[摘要]文章采用拉格朗日轨迹追踪模式结合欧拉法, 深入探讨 2021 年 7 月 20 日河南省郑州暴雨的水汽来源及其形成机制。我们研究了此次暴雨期间水汽的输送路径和大气环流情况, 以系统揭示其背后的成因。研究表明, 郑州在 2021 年 7 月 20 日遭遇的强降雨, 其关键水汽主要来自西太平洋和南海区域。此次暴雨的水汽输送主要路径为西太平洋的湿气, 它先在浙江或江苏登陆, 然后穿过安徽进入河南。在 500m 和 1000m 高度上, 这条路径的水汽贡献分别达到了 100% 和 89.8%。根据环流的天气特征, 受台风“烟花”影响, 印度洋和太平洋的湿气汇集为这次暴雨提供了充足的湿度条件; 在河南省, 太行山独特的地势对东南气流产生了强烈的辐合上升, 与强劲的东风急流和持续的低涡切变相结合, 导致了郑州等地出现了长时间的强降雨。

[关键词]郑州暴雨; 水汽源地; 水汽输送; 拉格朗日轨迹模式; 天气形势

DOI: 10.33142/hst.v8i9.17703

中图分类号: P458

文献标识码: A

Diagnostic Analysis of Water Vapor Transport Process of "July 20 Zhengzhou Rainstorm"

LIU Heyuan, ZHAO Su, YUAN Xiuzhong

Hydrological Bureau of Yellow River Conservancy Commission, Zhengzhou, He'nan, 450004, China

Abstract: Using Lagrange trajectory tracking model and Euler method, this paper deeply discusses the water vapor source and formation mechanism of Zhengzhou Rainstorm on July 20, 2021 in He'nan. We studied the water vapor transport path and atmospheric circulation during the rainstorm to systematically reveal the causes behind it. Research has shown that the heavy rainfall that Zhengzhou experienced on July 20, 2021, was mainly caused by water vapor from the western Pacific and South China Sea regions. The main path of water vapor transport of this rainstorm is the moisture in the western Pacific Ocean, which first lands in Zhejiang or Jiangsu, and then enters He'nan through Anhui. At heights of 500m and 1000m, the water vapor contribution of this path reached 100% and 89.8%, respectively. According to the weather characteristics of the circulation, affected by the typhoon "Yanhua", the moisture concentration in the Indian Ocean and the Pacific Ocean provided sufficient humidity conditions for the rainstorm; In He'nan Province, the unique terrain of Taihang Mountains has caused strong convergence and upward movement of the southeast airflow, combined with strong easterly jet streams and sustained low eddies, resulting in prolonged heavy rainfall in Zhengzhou and other areas.

Keywords: rainstorm in Zhengzhou; water vapor source area; water vapor transport; Lagrange trajectory mode; weather situation

引言

2021 年 7 月 20 日, 河南省郑州及邻近地区出现了极端强降水天气, 郑州市当天的降水量刷新了历史记录。极端降水导致的洪灾已对我国经济和社会安全构成重大威胁, 且这种极端天气事件在未来将更为频繁^[1]。

暴雨的形成是多种天气和气流系统互动的结果, 其出现与周围环境息息相关。根据陶诗言等^[2]的研究, 产生暴雨的要求包括: 大气层的位势不稳定性、水汽在低层汇聚、位势不稳定释放机制, 以及低空或高空急流的存在。连续的强降水现象需要特定的大尺度环流条件。在研究大尺度环流时, 陶诗言^[3]着重指出低纬度环流系统的关键作用, 并表示我国的许多暴雨事件与热带环流系统密切相关。热带辐合带显得格外活跃时, 其北方暖湿气流可带来丰富水汽抵达华北地区, 遇到来自北方的冷空气时, 有可能产生不稳定层结, 并持续提供水汽供给。当大尺度环流保持稳定时, 可能导致长时间的暴雨天气。例如 1963 年的“63.8”华北持续性暴雨和 2012 年北京的“7·21”大暴雨^[4]。1998 年, 仇永炎^[5]进行了关于北方夏季台风暴雨的专项研究,

提出一种台风与西风槽相互影响的类型。他指出, 华北等北方地区出现强降雨的条件包括来自热带的持续水汽补给, 或台风向北移动并直接与西风槽互动。

由于强降水本身需要有充足的水汽输送, 越来越多研究开始着眼于与降水相关的水循环过程, 包括水汽源头、水汽输送路径以及降水终点。基于拉格朗日的轨迹追踪方法可以更直观清晰地表示水汽的运动轨迹, 并量化不同水汽源地对目标区降水的贡献^[6], 并得到气块在输送过程中的空间位置和物理属性随时间的变化规律。在这方面, HYSPLIT 模式较其他模式具有更好的性能^[7]。Rapolaki 等研究了非洲 Limpopo 流域 36 年夏季强降水的水汽来源, 副热带南印度洋对强降水贡献更多。Li 等根据环流形势将中国东南暴雨分为副热带高压西伸型、热带风暴型和强冷空气活动型等, 并详细分析了三种类型暴雨的水汽输送轨迹和水汽来源。江志红采用基于拉格朗日方法的轨迹模式 (HYSPLIT) 先后分析了 2007 年淮河流域强降水以及 1998 年长江流域特大洪水期的水汽来源和水汽输送特征, 并提出了水汽贡献率的计算方法。

结合上述研究,本文利用 NCEP 再分析资料,基于拉格朗日轨迹追踪模式,分析研究 2021 年 7 月 20 日河南省郑州暴雨的水汽来源、水汽输送轨迹和主要水汽通道,并在此基础上量化不同水汽源对降水输送的贡献率;同时运用 ERA5 再分析数据,采用欧拉方法探讨这次暴雨的气象环流状况。将上述两种方法所得结果相互对比、验证和补充,从而系统性地找出主导 720 郑州暴雨事件的水汽源及其贡献,深入分析此次暴雨形成的原因,以及台风对此次暴雨的影响,以期台风暴雨预报业务提供参考。

1 资料和方法

1.1 资料

本文采用 2021 年 7 月 19 日~22 日 ERA5 大气环流再分析资料,用于郑州暴雨发生前后水汽通量场、风场和位势高度场等环流形势诊断,其时间分辨率为 6h,水平分辨率为 $0.25^\circ \times 0.25^\circ$;及 2021 年 7 月 NCEP GDAS 全球数据,用于驱动 MeteoInfo TrajStat 拉格朗日轨迹模式,模拟郑州暴雨的水汽输送状况,其时间分辨率为 6h,水平分辨率为 $1^\circ \times 1^\circ$;以及全国基本站逐小时降水资料,分析河南省暴雨的时空分布,河南省地形和测站分布如图 1 所示。

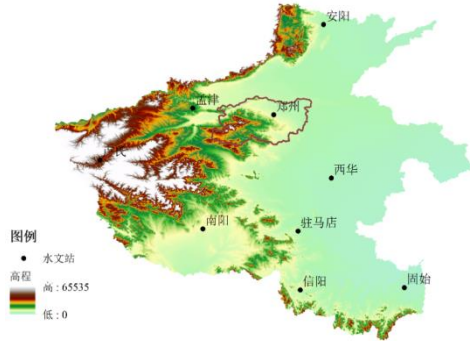


图 1 河南省和郑州地形图

1.2 方法

1.2.1 后向轨迹模式

MeteoInfo TrajStat 软件是基于 GIS 技术,利用 NOAA 开发的拉格朗日混合单粒子轨迹模式 (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory, HYSPLIT) 来计算气块运动轨迹。其中, HYSPLIT 是由美国国家海洋大气局 (NOAA) 等机构联合开发,该模式采用拉格朗日方法计算平流和扩散,模式采用 σ 地形坐标,可变时间步长 (本文取 $\Delta t = 1h$),垂直方向为 28 层,可用于处理输送、扩散、沉降过程的模式系统。

1.2.2 TSV 聚类方法

为了更清晰地展示不同路径,使用聚类分析法将众多轨迹进行分类。此方法的理念是根据轨迹之间的最大相似度,将多条轨迹整合并分类。空间方差指的是每条轨迹与其组内平均轨迹在各个点上的距离平方之和,而总空间方差 (Total Spatial Variance, TSV) 则是所有组空间方差之总和。在最佳聚类的情形下,总空间方差的增长率降到最低。

1.2.3 水汽通道贡献率计算公式

估算不同水汽输送通道对暴雨区的水汽贡献率,式如下:

$$Q_s = \frac{\sum_{i=1}^m q_{last}}{\sum_{i=1}^n q_{last}} \times 100\% \quad (1)$$

式中, Q_s 表示某水汽源地的水汽贡献率, q_{last} 表示通道上最终位置处的比湿, m 是通道包含的轨迹数目, n 是轨迹总数。

1.2.4 水汽收支方程

整层水汽通量公式:

$$Q_u = \frac{1}{g} \int_{P_s}^{P_t} qu dp \quad (2)$$

$$Q_v = \frac{1}{g} \int_{P_s}^{P_t} qv dp \quad (3)$$

水汽收支方程:

$$Q_{EW} = \int_{\lambda_S}^{\lambda_N} Q_u R d\lambda \quad (4)$$

$$Q_{SN} = \int_{\lambda_W}^{\lambda_E} Q_v R \cos\phi d\lambda \quad (5)$$

式中, u 为纬向风, v 为经向风, q 为比湿, λ_S 为南边界纬度, λ_N 为北边界纬度, λ_E 为东边界经度, λ_W 为西边界经度, R 为地球半径, Q_{EW} 和 Q_{SN} 分别表示通过东西和南北边界的水汽通量。

2 郑州暴雨降水特性及水汽收支

台风“烟花”在西太平洋于 7 月 18 日形成,在 7 月 21 日增强为强台风并达到其最高强度。此时,其中心位置处于西太平洋,距离浙江省温岭市东南约 720 公里。到 7 月 23 日,台风“烟花”已减弱为热带风暴。由于台风侵袭,河南省自 7 月 18 日起陆续出现降雨现象。至 7 月 20 日至 21 日,多个地区遭遇暴雨、强降雨以及极端暴雨。根据图 2 显示,7 月 19 日至 22 日期间,河南省降水量的分布表现出明显的特大暴雨带,主要集中在郑州和安阳地区,这些区域的地形梯度较大。降雨最集中的中心位于郑州。7 月 19 日~22 日郑州、安阳和西华累计降水量达 815.2mm、582.4mm 和 267.1mm (图 3 (a)),7 月 20 日 16:00 郑州一小时降水量达 201.9mm (图 3 (b)),为有记录以来最大值。此次郑州市的暴雨事件持续时间长,累计降雨量大,强降雨影响范围广,且在特定时间段内降雨集中。

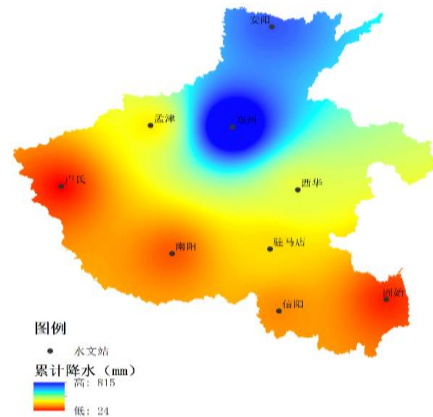
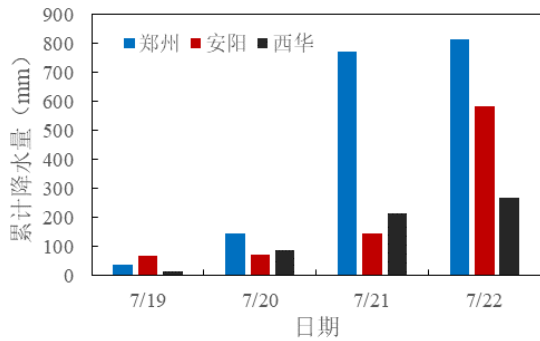
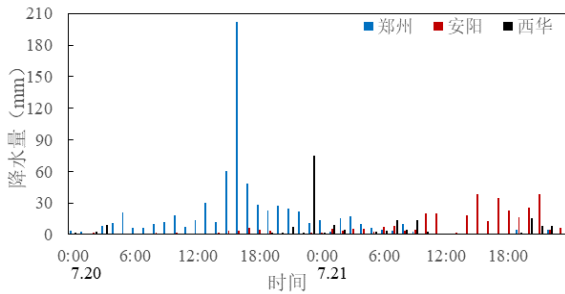


图 2 2021 年 7 月 19 日~22 日河南省累计降水量空间分布



(a) 7月19~22日累计降水



(b) 7月20~21日逐小时降水

图3 郑州、安阳和西华累计降水量和逐小时降水量

请详细使用水汽收支方程来分析郑州地区(112.5°~114.0°E, 34.0°~34.5°N)暴雨发生前后的各边界水汽的收支状况(如图4所示)。鉴于在300hPa以上高空区域存在较少的水汽,本文选择从地表面积分计算到300hPa高度的水汽通量。根据图4的信息,7月19日之前(暴雨发生前),水汽的流动主要是通过北部界限进入,并从南部界限排出。自7月19日起,南部边界的水汽输入迅速增多,并成为主要来源。到7月20日,其流量达到了峰值,为 92.3×10^6 kg/s,同时仍有少量水汽从东部边界进入;北部边界角色迅速转变,从提供水汽到成为主要的水汽输出区域。因此可以推断,这次河南省郑州市的暴雨得到了南部和东部边界丰沛的水汽供给,对降水发挥了显著作用。水汽主要从西部和北部输送。

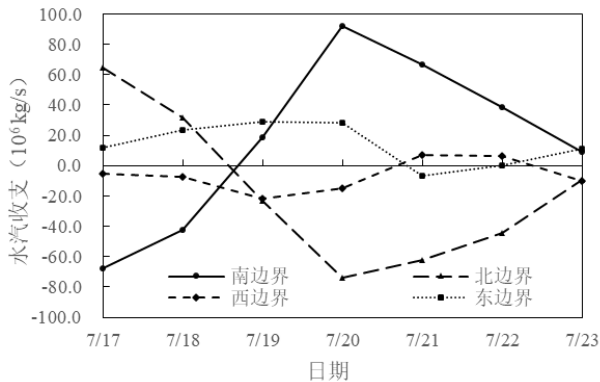


图4 2021年7月17日~23日郑州各边界水汽收支时间序列

上述内容分析了河南省郑州市的暴雨特性以及暴雨

地区的水汽收支情况,显然,外部水汽的输送为这次降水提供了适当的水汽条件。因此,将利用后向轨迹模式来识别进入郑州地区的水汽输送路径,并评估各路径对该区域水汽的贡献程度。

3 郑州暴雨水汽输送路径

3.1 后向轨迹模式模拟方案

选取郑州内区域(34.4°~34.9°N, 113.1°~114.1°E),运用HYSPLIT模式对2021年7月19日~7月22日气块每一小时向后追踪9d(水汽在大气中大约停留9天),得到气块的三维运动轨迹。轨迹起始点的水平精度设定为 $0.25^\circ \times 0.5^\circ$,垂直方向选择500m,1500m和3000m作为初始高度,这在表征水汽输送时效果更佳。总计模拟区域内有36个初始轨迹点。在500m、1500m和3000m这三个高度上,每个高度分别获取了864条轨迹。同时,通过插值法计算这些轨迹在相应位置的气块比湿值。根据Malin的研究,在不出现相变时,气块的比湿不会随周围温度和压力变化。因此,可以使用轨迹中气块的比湿状况来表征水汽传输。通过使用聚类分析技术对各种路径进行分组,有助于更加清晰地观察路径的分布特征。

3.2 水汽输送路径

图5展示了7月19日~22日郑州暴雨的水汽通道,从500m到3000m输送的水汽依次减少,不同高度各水汽通道贡献见表1。其中,500m高度的轨迹聚类后得到5条轨迹簇(图5(a)),均来自西太平洋并从浙江或江苏登陆,经过安徽进入河南,这是此次暴雨500m高度最主要的水汽通道。通道1和4均携带了西太平洋水汽且经过日本后进入中国大陆,其水汽贡献较高,分别为35.7%和22.0%。通道3发源于东海附近,可能受台风气旋的影响气流发生逆时针旋转,到日本后继续深入中国大陆,其水汽贡献率为19.4%。

在1500米的高度进行轨迹聚类分析后,结果显示形成了7个轨迹簇(见图5(b)),与500m高度的轨迹类似,这些路径均源自西太平洋地区。主要水汽通道(除通道1)仍然是从浙江或江苏登陆后经过安徽进入河南,此部分水汽比例约占89.8%。通道1较为特殊,通过台湾在福建登陆,经过江西、湖北进入河南,此部分水汽所占比例较少,约为10.2%。

3000m高度的轨迹聚类后得到3条轨迹簇(图5(c)),通道1和3来源于西太平洋从福建和浙江登陆,经过广西、湖北进入河南,此部分水汽所占比例约为51.5%。通道2由中国南海向北输送的气流聚类而成,从广东登陆,经过湖南、湖北进入河南,此部分水汽约占48.5%。

总的来说,郑州特大暴雨的水汽通道可以分为两类:其一是连接到台风气旋的水汽路径,来源于西太平洋,是这次暴雨的主要水汽来源;一条从南海出发的水汽轨迹与南海的夏季风紧密相连。这项研究清晰地指出,水汽的主要来源可分类为来自南部和东部的两条路径。

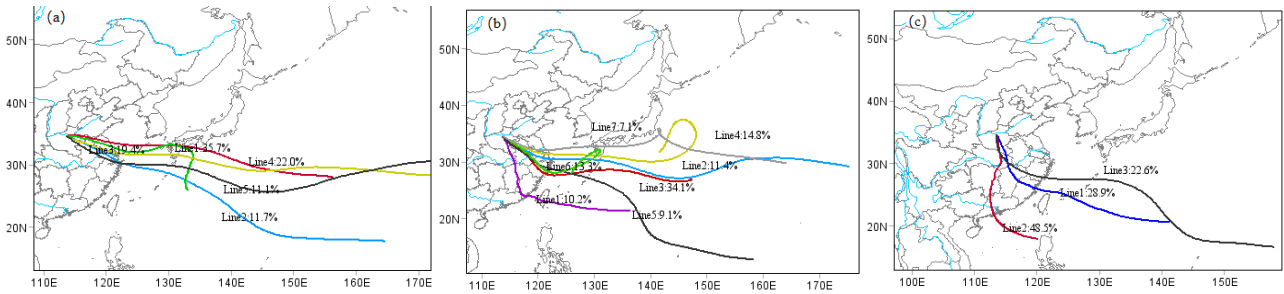


图5 2021年7月19~22日郑州暴雨水汽输送路径(21h)空间分布及水汽贡献(a)500m(b)1500m(c)3000m

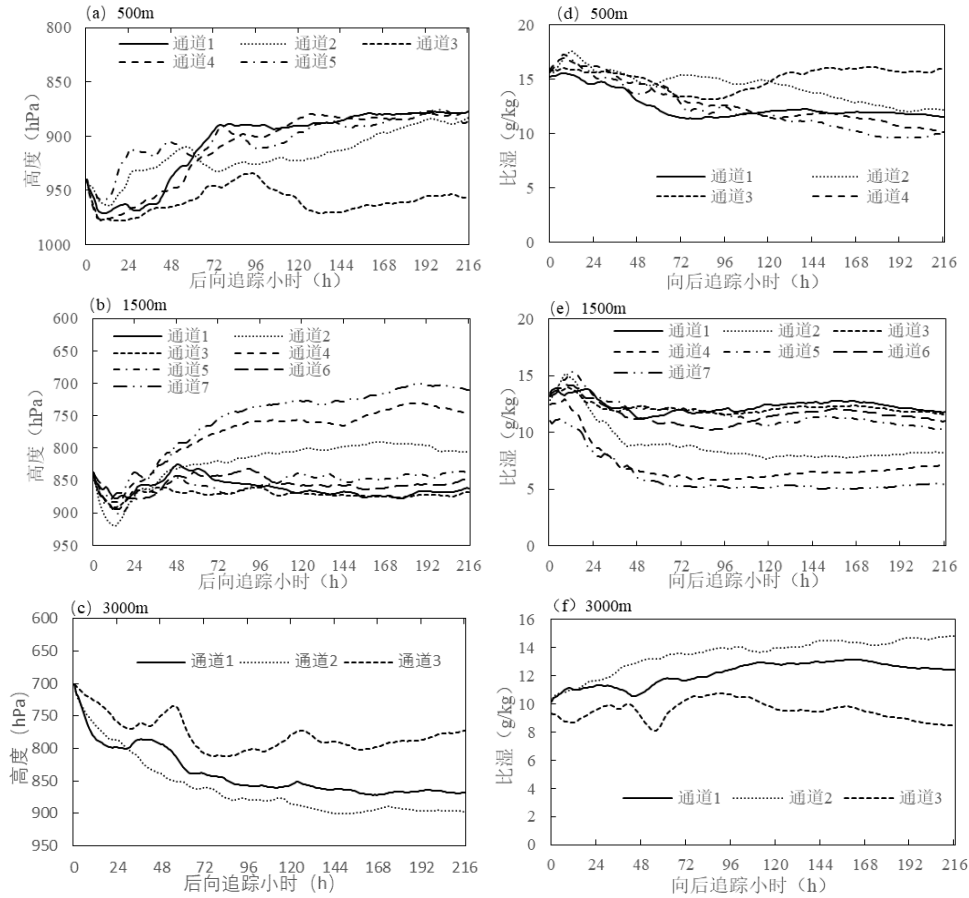


图6 水汽输送过程中通道的高度(a-c)和比湿(d-f)随时间的变化

表1 三个高度层各通道的水汽贡献

高度层	水汽贡献率(%)						
	通道1	通道2	通道3	通道4	通道5	通道6	通道7
500m	35.7%	11.7%	19.4%	22.0%	11.1%	/	/
1500m	10.2%	11.4%	34.1%	14.8%	9.1%	13.3%	7.1%
3000m	28.9%	48.5%	22.6%	/	/	/	/

图6显示了水汽传输过程中,各个通道内气块高度和比湿随时间改变的状况。不同高度层的初始值一般介于700~950hPa之间,且大部分通道初始高度约在900hPa,其初始比湿范围为5~16g/kg。在降水的前一天,位于500m和1500m高空的气块先下沉后再上升,此过程导致比湿值先减少后增加。在海拔3000m时,降水前一天,

空气团上升时其比湿度会减少。

4 环流形势

为了更全面地研究暴雨为何在郑州发生并持续数日,以及探讨与台风“烟花”的联系,我们进一步应用ERA5再分析数据来研究7月19日至22日的气候环流情况。

暴雨发生和持续的条件之一是要有源源不断的水汽输送和水汽辐合,仅靠当地已有的水汽是无法形成暴雨的,因此分析水汽通量及水汽通量散度是非常有必要的。图7展示了7月19日~22日整层水汽输送通量及整层水汽通量辐合(MFC),台风“烟花”增强后,与西南水汽强烈相互作用,南亚季风和东亚季风汇合从低纬吹向高纬,携带了大量的水汽并且辐合上升,为暴雨产生创造了充足的水汽条件。台风“烟花”的涡轮助推,印度洋、太平洋的

水汽合流,源源不断的水汽输送造成了此次特殊的天气形势。7月21日和22日,东南风逐渐转为南风,水汽继续北上,河南省郑州等区域暴雨逐渐减弱。

2021年7月19~22日期间的500hPa位势高度场和850hPa风场的合成图见图8。由该图可以推断出,西太平洋副热带高压显著向北抬升,并稳固地位于日本海。这一状况阻挡了上游系统的移动,使得西风带中的低压系统在华北和黄淮地区持续存在。由于强劲的东风急流和稳定的低涡切变的影响,加上河南的太行山和伏牛山特殊地形(见图1)对东南气流的强烈辐合和上升作用,导致强降雨中心主要稳定在河南西部和西北部沿山区。这些因素造成了郑州等地长时间的降水天气。

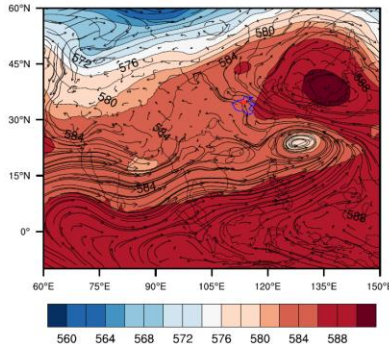


图8 2021年7月19~22日500hPa位势高度场(dagpm)和850hPa风场(m/s)合成

图9展示了2021年7月19~22日郑州上空纬向风和垂直速度合成的气压-纬度垂直剖面图,当东南风携带大量的水汽进入河南省郑州并发生下沉运动,由于受到太行山和伏牛山等地形阻挡,垂直方向上水汽被迫抬升,上升

气团绝热冷却达到露点温度,空气中水汽达到饱和而凝结成云,从而造成了在郑州形成持续多天的暴雨。

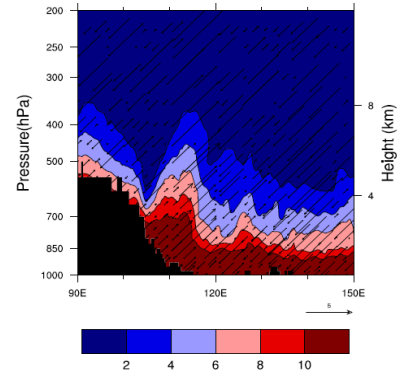


图9 2021年7月19~22日郑州上空纬向风和垂直速度合成的气压-纬度垂直剖面图

5 结论

本文基于拉格朗日法的后向轨迹模式(HYSPLIT),模拟了2021年7月20日河南省郑州暴雨的水汽输送轨迹,明确了水汽源地和水汽贡献,并结合欧拉法分析暴雨发生期间的环流形势,两者相互验证、补充,深刻揭示了河南省郑州暴雨形成的原因。主要结论如下:

(1) 由于台风“烟花”的影响,河南省普遍出现了暴雨和大暴雨现象。2021年7月19日~22日郑州累计降水量达815.2mm,其中在7月20日16时,郑州一小时内的降水量高达201.9mm,突破历史极值。在郑州暴雨期间,主要有大量外部水汽从南部和东部边界渗入,然后通过北部和西部边界排出。

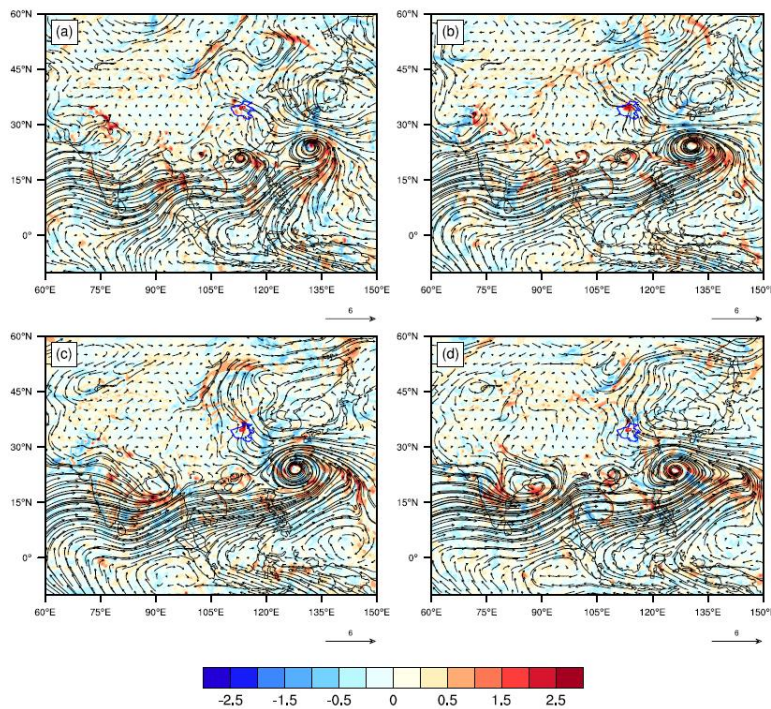


图7 整层水汽输送通量($10^5 \text{ g} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)及水汽通量辐合($\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) (a) 2021年7月19日 (b) 20日 (c) 21日 (d) 22日

(2)2021年7月20日,河南省郑州遭受暴雨袭击,其水汽源地主要包括两个区域:西太平洋和南海。其中500m和1500m高度的水汽主要由西太平洋提供,从浙江或江苏登陆,经过安徽进入河南,水汽贡献分别为100%和89.8%。3000m高度的水汽有两类,一类源于西太平洋从福建和浙江登陆,经过广西、湖北进入河南,水汽贡献约为51.5%;一类由中国南海向北输送的气流聚类而成,从广东登陆,经过湖南、湖北进入河南,水汽贡献约为48.5%。

(3)大部分轨迹初始高度约在900hPa,初始比湿在5~16g/kg。在500m和1500m高度上,降水发生前1日,气块均经历了下沉后又上升,对应比湿值也随之降低和升高;3000m高度上,降水发生前1日,气块上升,比湿降低。

(4)台风“烟花”像涡轮一样助推,汇集印度洋和太平洋的水汽,持续不断地输送水汽,为这次暴雨带来了丰富的水汽供给。由于强劲的东风急流和稳固的低涡切变作用,再加上河南省太行山和伏牛山的特殊地形对东风气流的强烈聚合和抬升作用,为此次暴雨创造了有利的动力环境。西太平洋副热带高压异常向北移动并稳固驻留在日本海,阻挡上游气候系统的移动,结果是西风带低压系统在华北和黄淮地区停留过久,使得强降水中心集中在河南

省西部和西北部沿山区域几乎没有变动。这导致河南郑州经历了一连几天的暴雨。

[参考文献]

- [1]陶诗言.有关暴雨分析预报的一些问题[J].大气科学,1977,1(1):64-72.
 - [2]陶诗言.中国之暴雨[D].北京:科学出版社,1980.
 - [3]柳艳菊,丁一汇,张颖娴,等.季风暖湿输送带与北方冷空气对“7·21”暴雨的作用[J].热带气象学报,2015,31(6):721-732.
 - [4]仇永炎.北方盛夏台风暴雨的一些问题[M].北京:气象出版社,1998.
 - [5]王佳津,王春学,陈朝平等.基于HYSPLIT4的一次四川盆地夏季暴雨水汽路径和源地分析[J].气象,2015,41(11):1315-1327.
 - [6]江志红,梁卓然,刘征宇,等.2007年淮河流域强降水过程的水汽输送特征分析[J].大气科学,2011,35(2):361-372.
 - [7]江志红.1998年长江流域特大洪涝期水汽输送过程的诊断分析[J].大气科学学报,2017,40(3):289-298.
- 作者简介:刘和远(1984.10—),单位名称:黄河水利委员会水文局,毕业学校和专业:河海大学,水利工程。

福清市新厝镇沿海小型流域水利工程防洪响应机制研究

陈华辉

福清市新厝镇人民政府水利工作站, 福建 福州 350311

[摘要]新厝镇为沿海地区,属于亚热带海洋性气候,台风强降水引起的洪灾比较严重,所以本研究主要针对新厝镇水利工程(溪头亭水库、后坑底水库、新厝海堤)开展暴雨洪水下的水利工程协同响应规律的研究,通过对多学科以及不同部门长期的数据采集和汇集分析,得出新厝镇水利工程在暴雨洪水等极端水文条件下协同调度的工程措施与优化方案,并在此基础上提出暴雨应急响应措施。

[关键词]防洪工程;水利工程;协同调控;防洪减灾

DOI: 10.33142/hst.v8i9.17699

中图分类号: TV512

文献标识码: A

Research on Flood Control Response Mechanism of Coastal Small Watershed Water Conservancy Projects in Fuqing City Xincuo Town

CHEN Huahui

Water Conservancy Workstation of Fuqing City Xincuo Town People's Government, Fuzhou, Fujian, 350311, China

Abstract: Xincuo Town is a coastal area with a subtropical marine climate, and the flood caused by typhoon heavy rainfall is relatively serious. Therefore, this study mainly focuses on the research on the cooperative response law of water conservancy projects under rainstorm and flood in Xincuo Town (Xitouting Reservoir, Houkengdi Reservoir, Xincuo Seawall). Through long-term data collection, collection and analysis of multidisciplinary and different departments, the engineering measures and optimization scheme for the coordinated operation of Xincuo Town water conservancy projects under extreme hydrological conditions such as rainstorm and flood are obtained, and on this basis, emergency response measures for rainstorm are proposed.

Keywords: flood control engineering; water conservancy engineering; collaborative regulation; flood prevention and disaster reduction

引言

随着全球气候变化以及极端气候事件频发,防洪压力日益增大,基层单位作为防洪体系的基础环节,承担着关键的防洪任务^[1]。小型流域因集水面积小、河道短、坡度大等特征,暴雨时产流迅速,汇流迅猛,且潮汐顶托作用加剧,容易导致内涝和山洪等灾害。福建省地处亚热带海洋性季风气候区,受西太平洋副热带高压控制和西风带东亚大槽、西南低涡(低压)倒槽、锋面低槽等天气系统控制和影响,为我国东南部主要暴雨区和台风区,沿着武夷山脉和戴云山脉东侧形成多个雨季暴雨和台风暴雨中心。4~6月为福建雨季,雨日多,雨强大;7~9月为福建台风季,每年影响或登陆的台风有6~8个^[2]。

1 新厝镇水利工程现状

1.1 水库工程

新厝镇辖区内有两个水库,分别为溪头亭水库与后坑底水库,主要负责整个新厝镇区防洪及灌溉。溪头亭水库为小(1)型水库,建于1986年建成并投入运行,在蒜岭村位置建设了水库。溪头亭水库集雨面积约6.8km²,总库容为289万m³,汛限水位51.09m对应的库容为280万m³,以农业灌溉为主用,肩负着为东楼、棉亭等四个村子共2560亩农田提供灌溉水源的重任,在蓄洪防涝方面也起到了重要作用。新厝镇根据不同的洪水规模采用分级

响应办法:正常情况下保持常规运行方式;当库水位超汛限水位后,通过溢洪道进行排洪;当水库库水位达到校核水位以上,启动保坝措施。在2025年防洪调度方案中提出:汛期(4月1日~10月15日)要严格执行汛限水位,根据不同水位分级别调度,确保水库安全,充分发挥水库作用。

后坑底水库属小(2)型水库,建于1957年,并于2023年完成除险加固工程。位于江兜村境内,总库容为14.07万m³,汛限水位43.95m,对应库容7.51万m³。承担了江兜村266亩耕地灌溉功能,对农业生产影响较大。该水库汛期按照溪头亭水库相同的运行方式,即严格按照汛限水位泄洪,在遭遇超标洪水时应立即启动应急预案,做好泄洪工作,减小洪水风险,避免下游人员生命财产及农田等重要基础设施受损。

1.2 海堤工程

新厝海堤是保卫新厝镇沿海地区的一道重要堤防,为三级海堤,全长8.69km,早期建成的部分堤段建于上世纪60年代。由于建设年代久远,受日久天长的冲刷和抵御台风、风暴潮侵袭的影响,加之对海堤防洪潮位的提升要求及不断对其的高度、宽度提升改造,以致其结构强度和防护功能均已不同程度减弱。

从堤身结构来看,堤身多采用土石混合结构,堤顶宽度较窄,部分堤段仅能满足小型车辆通行需求,难以适应

紧急抢险时大型设备的通行要求。堤身填筑材料在长期海水浸泡、冲刷作用下,出现了土体流失、堤身裂缝等问题,降低了堤身的整体稳定性。堤身护坡多为干砌石或浆砌石结构,部分护坡石块松动、脱落,在强潮和波浪冲击下,堤身土体直接暴露,加剧了堤身的损毁风险。

新厝海堤配套有 15 座共 17 孔排洪闸,其中有部分是上世纪建造的,受当时技术水平限制,排洪闸闸体结构开始老化,闸墩、闸墙出现了不同程度开裂、剥落等问题,比如离桥尾小学不远处有一处水闸,该水闸处的闸墩裂缝宽度达到 1cm,裂缝长度近 5m,导致闸墩承载力减弱;闸门及启闭设备年久失修,严重锈蚀、变形,闸门漏水严重,启闭困难,导致部分水闸的启闭时间远远超过了标准工况,在暴雨强度非常大的情况下不能在短时间内把水位降低到正常工况下水平。

从防潮能力上看,新厝海堤原有设计防潮标准为 10 年一遇,但由于全球气候变化导致极端天气事件频发、海平面上升加快,现时的海堤防潮能力已经不能满足区域的发展需求。有相关资料测算显示:未来 20~30 年,兴化湾将升高 10~20cm,这会进一步加大风暴潮对海堤的冲击力度。历史上台风袭击时,如 2018 年台风“山竹”的外围影响过程中,有一段时间海堤局部堤段曾发生堤身漫溢情况,致使堤后农田淹没,水深达到 0.5~1m,受灾面积 200 亩左右,反映出海堤防潮标准偏低的问题。

尽管新厝海堤目前在一定程度上抵御着风暴潮、保障着沿岸居民生命财产安全和农业生产,但堤身结构、排涝设施、防潮标准及防护设施等方面存在的问题,使其在面对日益频发的极端天气时,防洪防潮能力脆弱,亟待通过提级加固、设施更新改造等措施提升其整体防护水平。

2 新厝镇水利工程暴雨分析

2.1 溪头亭水库与后坑底水库暴雨水文分析

2.1.1 溪头亭水库暴雨水文分析

溪头亭水库位于福清市新厝镇蒜岭村,集水面积 6.8km²,总库容 289 万 m³;新厝镇属典型的亚热带海洋性季风气候,雨量充沛,阳光充足,年平均降雨量 1400~1700mm,年平均日照 1500~1700 小时,年平均气温 19~20℃。^[3]其中汛期(4 月 1 日~10 月 15 日)降雨量占全年降水量的 70%~80%。在遭遇高强度降水事件时,溪头亭水库的入库流量会出现很大的幅度增长。以该水库集水面积的大小为例,短时间内产生的约 1mm 降雨量所对应的径流量达到 6.8 万 m³左右,而以 90mm 降雨计算则产生大约 612 万 m³的径流流量;但是考虑到水库周围由于各种原因可能带来的影响因素,具体入库径流量将会存在一定的差异,此次设计参数下的入库径流量预估为 367.2~428.4 万 m³;结合近似历史洪水相关径流情况统计结果可知,如出现大小约为 100mm 左右的降水强度时,则附近某小型流域的洪水可能会在 1~2d 之内达到洪峰水位。溪头亭水库由于本次暴雨发生,预计 6~12h 后水库将出现入库流量快速上涨的情况;

预计 12~24h 后可能发生入库洪峰,在此期间内水库的水位也随之迅速上涨。该水库的汛限水位是 51.12m(库容为 280 万 m³),若汛前库水位距汛限水位较近,且有 90mm 量级左右降雨,可以导致库水位上涨 1~2m,这样很容易达到甚至超过校核洪水位,应及时通过溢洪道进行泄洪。

溪头亭水库工程于 1978 年 1 月动工兴建,1986 年 2 月竣工,水库运行至今已有多多年,由于该水库携带泥沙量不大,水库内未形成大范围淤积,所以 2018 年安全评价时水库~库容曲线复核采用原实测资料。本次计算予以沿用,水位~库容关系见下表及下图。

表 1 水位~库容关系表

水位 (m)		库容 (万 m ³)	水位 (m)		库容 (万 m ³)
黄海高程	85 高程		黄海高程	85 高程	
19.30	19.27	0.00	50.12	50.09	259.00
28.62	28.59	7.00	50.62	50.59	269.00
47.62	47.59	205.00	51.12	51.09	280.00
48.12	48.09	216.00	51.62	51.59	290.00
48.62	48.59	225.00	52.12	52.09	303.00
49.12	49.09	236.00	52.62	52.59	315.00
49.62	49.59	247.00	53.63	53.60	341.00

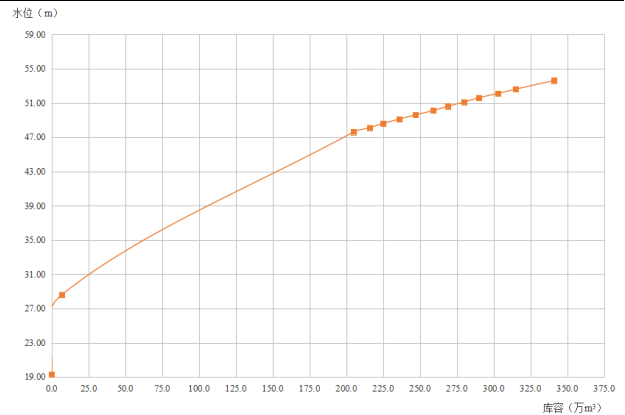


图 1 水位~库容关系图

溢洪道位于大坝的左端,为实用堰,堰顶高程 47.62m(47.59m),闸身总宽度 17m,分 3 孔,每孔净宽 5m,两个中墩各厚 1m,采用宽×高为 5.4×3.5m 的钢筋砼平板闸门,安装 3 台启门力各为 10 吨的手、电两用螺杆启闭机。经计算,溢洪道水位与下泄流量关系如下表及下图所示。

表 2 溢洪道水位与泄洪流量关系表

水位 (m)		下泄流量 (m ³ /s)	水位 (m)		下泄流量 (m ³ /s)
黄海高程	85 高程		黄海高程	85 高程	
48.12	48.09	0.00	50.62	50.59	104.37
48.62	48.59	9.76	51.12	51.09	135.65
49.12	49.09	27.30	51.62	51.59	168.99
49.62	49.59	49.60	52.12	52.09	204.09
50.12	50.09	75.52	52.62	52.59	240.69

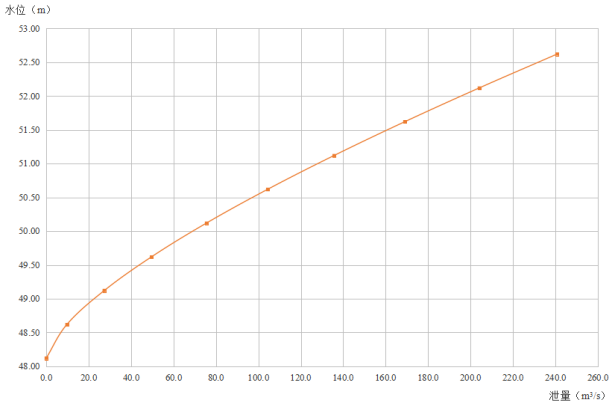


图2 溢洪道水位与泄流量关系曲线图

输水涵洞位于大坝左岸，断面为直墙半圆拱型，宽、高均为2m，拱径2m，长175m。经计算，输水涵洞水位与下泄流量关系如下表及下图所示。

表3 输水涵洞水位与下泄流量关系曲线表

水位 (m)		放水流量 (m³/s)	水位 (m)		放水流量 (m³/s)
黄海高程	85 高程		黄海高程	85 高程	
28.62	28.59	0.000	44.00	43.97	1.687
30.00	29.97	0.505	46.00	45.97	1.794
32.00	31.97	0.791	48.00	47.97	1.894
34.00	33.97	0.998	50.00	49.97	1.989
36.00	35.97	1.169	51.00	50.97	2.035
38.00	37.97	1.318	51.12	51.09	2.041
40.00	39.97	1.451	51.50	51.47	2.058
42.00	41.97	1.574	52.00	51.97	2.080

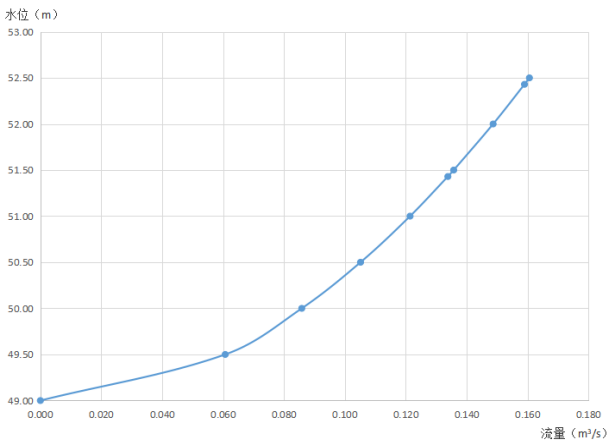


图3 输水涵洞水位与下泄流量关系曲线图

2.1.2 后坑底水库暴雨水文分析

后坑底水库坐落于江兜村，总体库容量达 14.07 万 m³，而集水面积仅有 0.73km²。因为缺乏水库泄洪时的相关数据，所以无法具体掌握其情况，但是从该水库集水面积上来看，在较短的时间内产生每毫米降雨能产生约 0.73 万 m³ 径流；如果经历 50mm 降雨的话，则有 0.73×0.73=36.5 (m³) 的径流，考虑下垫面因素，这个水量大概只有 18.3~25.6 万

m³ 左右，因水库库容较小，调蓄洪水的能力也较为弱化，于是遇到暴雨之后很快就会出现入库量快速增大现象，大概 3~6h 之内就会上涨到高水位线附近，然后是 6~12h 就能达到最高水位。正常水位下的时候遇到一次 50mm 左右的降雨就能让库水位上涨 1~2m，因此就会很轻易地接近、超过 43.95m 的汛限水位，导致自身易漫顶。

后坑底水库工程于 1956 年 1 月动工，1957 年 12 月竣工蓄水，水库控制上游流域面积 0.733km²，水库建成后至今，未重新进行过库容勘测，考虑到上游植被较好，2019 年除险加固初设时的水位~库容关系仍按原设计资料，本次计算予以沿用，水位~库容关系见下表及下图。

表4 水位~库容关系表

水位 (m)	库容 (万 m ³)	水位 (m)	库容 (万 m ³)
39.00	1.50	45.00	10.01
40.00	1.90	46.00	12.75
41.00	2.70	47.00	15.81
42.00	4.00	48.00	19.21
43.00	5.58	49.00	23.01
44.00	7.61	50.00	27.27

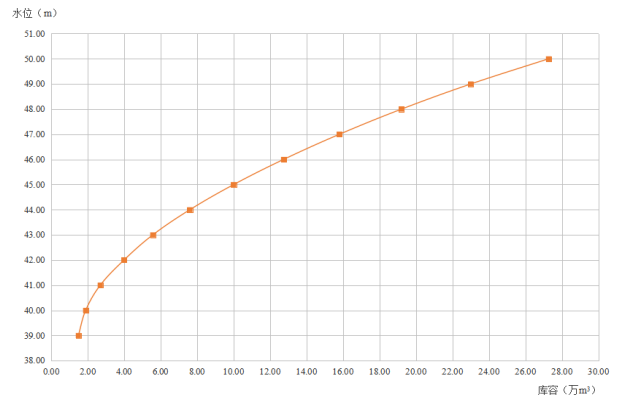


图4 水位~库容关系图

溢洪道位于大坝右侧，堰顶高程为 43.95m，净宽 6.00m。溢洪道底板及两侧采用浆砌石护砌，控制段长度 42.50m，宽 6.00m，末端与砌石桥涵相接，桥涵底宽 2.00m，涵底高程 43.80~43.95m，桥涵顶为钢筋砼桥面，厚 0.40m，长 7.50m，宽 5.00m，顶高程为 49.50m；桥涵后与泄槽段相接，长 83.90m，底宽 4.00~5.10m，末端底高程为 36.54m。经计算，溢洪道水位与下泄流量关系如下表及下图所示。

表5 溢洪道水位与泄洪流量关系表

水位 (m)	放水流量 (m³/s)	水位 (m)	放水流量 (m³/s)
43.95	0.00	45.66	15.77
44.17	1.33	45.92	19.06
44.52	3.67	46.15	22.38
44.84	6.43	46.38	25.75
45.13	9.42	46.60	29.13
45.40	12.55	47.28	40.55

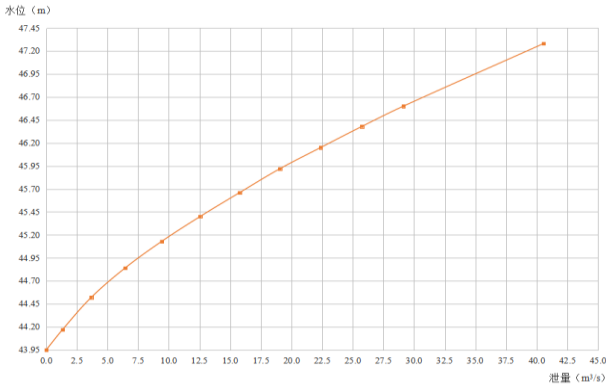


图5 溢洪道水位与泄流量关系曲线图

放水高涵管位于大坝左侧靠近坝肩位置，为直径 $\phi 300\text{mm}$ 的钢管，进口底高程42.00m，出口底高程为40.40m，涵管进口处采用斜拉闸门控制，进水口直径为 $\phi 300\text{mm}$ 。放水低涵管位于大坝左侧靠近中间位置，为直径 $\phi 300\text{mm}$ 的钢管，进口底高程39.00m，出口底高程为36.40m，出口引入东方红渠道，进水口直径为 $\phi 300\text{mm}$ 。经计算，输水涵洞水位与下泄流量关系如下表及下图所示。

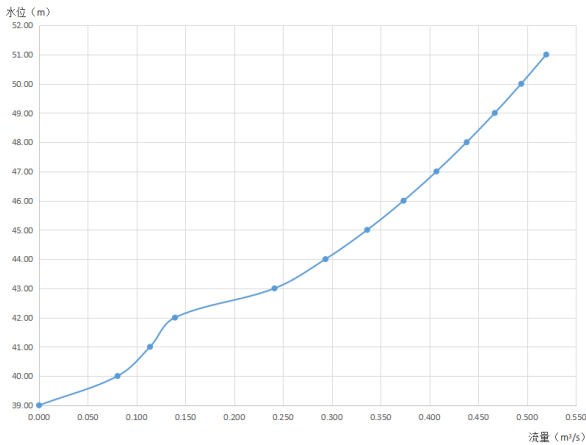


图6 输水涵洞水位与下泄流量关系曲线图

表6 输水涵洞水位与下泄流量关系曲线表

水位 (m)	放水流量 (m³/s)	水位 (m)	放水流量 (m³/s)
39.00	0.000	46.00	0.373
40.00	0.080	47.00	0.407
41.00	0.114	48.00	0.438
42.00	0.139	49.00	0.467
43.00	0.241	50.00	0.494
44.00	0.293	51.00	0.520
45.00	0.336		

2.2 新厝镇海堤暴雨水文分析

由多年来的防汛抗台经验可以看出，新厝海堤重点部位是在新厝海堤桥尾至峰头之间。海堤位于萩芦河流域，萩芦溪为莆田市第二大河流，发源于仙游县游洋镇兴山村馨角山的西北坡。萩芦河流域面积 628km^2 ，主河道长

60km，河道平均坡降4.6‰。流域上游为山区，中下游丘陵起伏，多年平均降雨量1500mm，从西北部山区向东南沿海逐渐递减。地表水质较好，有害物质含量没有超过地面水卫生标准，适宜工农业用水，稍经处理可作饮用水。该流域地处沿海台风暴雨袭击区，每年6~9月常有台风暴雨出现^[4]。海堤下游位于萩芦溪入海口左岸，堤线长4公里，目前主要承担桥尾村和峰头村两村的防洪保安任务，保护面积2.8万人和耕地580亩，周边有国道228、沈海高速公路两条重要基础设施。涵江平均海拔高度只有13米左右，存在发生城市内涝的风险。尤其是今年夏天台风“杜苏芮”时新县雨量站24h降雨量达到756mm，已打破福建历史记录，极大可能形成洪潮顶托情况发生，使内涝更加严重。如果在10年一遇短历时暴雨（即24h降雨量约为259mm，按白沙雨量站频率计算）来临时，此时海堤内海堤保护范围的地表径流系数大约在0.65~0.7，海堤保护范围内大约有12万 m^3/h 的径流产生。由于排涝设施能力所限，仅有60%径流量可经涵闸排除，有4.8万 m^3 水留在堤后形成渍水，导致部分农田渍水深度达0.3~0.5m，积涝面积160亩；村落低洼地区最大渍水深度0.2~0.4m，消退时间在24~36h；堤后50亩农田因为涵管排水不足，造成0.2~0.3m的浅层积水，影响农作物生长。现状防浪墙高程为1.2~1.5m，低于20年一遇暴雨+风暴潮组合下设计值，易出现越浪问题，台风“正面袭击”，越浪水量将大于堤后排水能力；现有3座主要水闸均为80年代建设，其中峰头水闸主梁裂缝并可见钢筋外露、闸门漏水率15%，暴雨下排涝能力降低30%；桥尾小学水闸和桥尾公园水闸均为条石结构水闸，启闭机为手动，不能及时做出反应，防汛难以及时展开；海堤沿途无设专用水文站，仅靠临近的福清气象站，在暴雨时水位、流量观测存在滞后性，预警响应时间小于2h，无法提前及时进行预泄、砂包加筑等工作。

3 新厝镇水利工程暴雨响应机制与优化措施

3.1 溪头亭水库暴雨响应措施

3.1.1 暴雨即时响应策略

在汛期(4月1日-10月15日)，依据气象预警机制，当暴雨预报降雨量 $\geq 50\text{mm}$ 时，提前48h开启输水涵洞进行预泄，将库水位降至47.59m，腾空75万 m^3 防洪库容。预泄后可使50mm暴雨下的库水位涨幅从1.2m压缩至0.8m，避免快速超汛限。

当入库流量小于汛限水位下出水涵洞的最大泄量时，控制闸阀开度，使入库流量等于出库流量，保持水库汛限水位不变，当水库入库流量大于出水涵洞的泄流能力时，泄水建筑物的运行方式为堰流，水库开始调蓄蓄水。直至水库的库水位达到汛限水位为止，关闸，完成本次洪水调节。^[5]

若暴雨导致库水位快速上涨或出现堤身裂缝、溢洪道闸门卡阻等险情，立即启动保坝预案：关闭输水涵洞减少

出库流量,组织抢险队伍对裂缝段采用沙袋堆筑防渗,对闸门故障段启用备用手动启闭装置;若遭遇超标准暴雨,优先保障坝体安全,通过广播、微信群组通知下游村庄转移至高地。

3.1.2 长期优化建设方向

针对水库运行超 30 年的现状,对溢洪道闸门进行除锈与自动化改造,更换老化密封件,确保暴雨时闸门启闭响应时间 $\leq 5\text{min}$;对输水涵洞进口段进行清淤,恢复设计过流能力,避免暴雨时因涵洞堵塞导致库水位异常上涨。

3.2 后坑底水库暴雨响应措施

3.2.1 暴雨即时响应策略

后坑底水库集水面积仅 0.73km^2 、总库容 14.07万 m^3 ,调蓄能力有限,主要服务江兜村 266 亩农田灌溉,因水库集水面积小、暴雨水位显著上升,需与江兜村建立应急响应机制:假设发生洪水时,三种不同的调度方式:(1)输水洞开启 0.3m , (2)输水洞开启高度 0.5m , (3)输水洞开 0.7m ^[6],分别对应库水位每小时上涨 0.2m 、 0.3m 、 0.5m 。

3.2.2 长期优化建设方向

后坑底水库汇流范围与江兜村坡面汇流重叠,长期需将其纳入东方红水库的联动调度体系,通过修建 1.2km 连接渠,暴雨时可将部分洪水引入东方红水库左干渠新厝段调蓄,缓解自身调蓄压力,同时避免江兜村农田内涝。

3.3 新厝海堤暴雨响应措施

3.3.1 暴雨即时响应策略

暴雨期间按“内涝优先排出”原则调度 15 座 17 孔排洪闸:当堤后区域 1 小时降雨量 $\geq 30\text{mm}$ 时,观察潮水位,当堤外水位低于内涝水位时,全开水闸全力排涝;当堤外水位高于内涝水位时,关闭水闸,仅通过内陆侧涵管排涝,防止海水倒灌。

3.3.2 长期优化建设方向

按 20 年一遇防潮标准提级:堤路结合海堤,按允许部分越浪设计时,在保证海堤自身安全及对堤后越浪水量

排泄畅通的前提下,不计防浪墙的土堤顶高程应高出设计高潮(水)位 0.5m ^[7]对桥尾至峰头段堤身采用差异化改造,桥尾小学段建复合式挡墙、江滨公园段建重力式挡墙、峰头段建生态护坡,增强暴雨冲刷抵抗力;同时改造 3 座老化水闸,更换为 C30 砼预制闸门与电动启闭机,将闸门启闭时间缩短至 5min 。

4 结论

针对新厝镇溪头亭水库、后坑底水库、海堤等流域防洪减灾的重要硬件设施,其承担的功能定位、工程规模不同,因此可构建“即时应急调度-长期工程补强”的暴雨响应机制,确保三个防汛减灾设施协调联动,以应对流域降水高峰,最大程度保证流域内人的生命安全和农作物生产。

[参考文献]

- [1]成淑娟,卫正巍.第十四届防汛抗旱信息化论坛论文集[C].福建:中国防汛抗旱,2024.
- [2]郑小平.福建省基层防汛防台风工作策略[J].水利科技,2023(3):69-71.
- [3]李新妹,关辉,陈昉等.基于 GIS 的福州市金钻凤梨气候适宜性精细区划[J].海峡科学,2022(12):23-57.
- [4]林志健.浅析荻芦溪水资源监测管理系统设计[J].水利科技,2013(1):68-70.
- [5]于梅艳,朱菲.山区小型水库输水洞调洪算法与调度方案研究[J].吉林水利,2019(11):60-62.
- [6]王甜甜,闫长城,夏峻.山区小型水库洪水调度分析研究[J].内蒙古水利,2020(6):49-50.
- [7]陈平.南沙区某堤防工程设计方案分析[J].水利技术监督,2024(9):292-295.

作者简介:陈华辉(2000.12—),毕业院校:黑龙江大学水利电力学院,所学专业:水文与水资源工程,当前就业单位:福清市新厝镇人民政府,职务:新厝镇水利站负责人,职称级别:水利助理工程师(专技十二)。

化学电池在储能系统中应用的研究

田巍 叶扬

北京电力工程有限公司, 北京 100071

[摘要]全球能源结构正加速向低碳化转型,风能、太阳能等可再生能源的大规模并网成为趋势。然而,这类能源固有的间歇性、波动性特点,与电网对供电稳定性、持续性的要求之间存在突出矛盾,储能系统作为解决这一矛盾的核心技术,其重要性日益凸显。然而,储能电池的选择争议较大,本论文通过对比了各类电池的优缺点,进一步分析化学电池在储能系统中的应用,提出了锂离子电池的适用性,为储能系统大规模开发与电池的选择提供方向。

[关键词]化学电池; 储能系统; 研究

DOI: 10.33142/hst.v8i9.17686

中图分类号: TM743

文献标识码: A

Research on the Application of Chemical Batteries in Energy Storage Systems

TIAN Wei, YE Yang

Beijing Electric Power Engineering Co., Ltd., Beijing, 100071, China

Abstract: The global energy structure is accelerating its transition towards low-carbon, and the large-scale integration of renewable energy sources such as wind and solar power into the grid has become a trend. However, there is a prominent contradiction between the inherent intermittency and volatility characteristics of such energy sources and the requirements of the power grid for power supply stability and continuity. As the core technology to solve this contradiction, the importance of energy storage systems is becoming increasingly prominent. However, the selection of energy storage batteries is highly controversial. This paper compares the advantages and disadvantages of various types of batteries, further analyzes the application of chemical batteries in energy storage systems, and proposes the applicability of lithium-ion batteries, providing direction for the large-scale development of energy storage systems and battery selection.

Keywords: chemical battery; energy storage system; research

引言

在新能源大规模开发利用过程中,储能系统是解决其并网不稳定问题的方式之一。尽管化学电池在储能领域的应用已取得显著进展,但在实际应用中仍面临诸多挑战。本文将围绕化学电池在储能系统中的应用展开研究,首先概述了储能技术应用的基本原理,随后介绍了电池在储能系统中的应用,重点分析各类电池在储能系统应用中的优缺点,最后提出未来的研究重点与发展趋势,以期为相关领域的研究与工程实践提供参考。

1 储能技术应用的基本原理

储能系统主要由三部分组成:由储能元件构成的储能装置、利用电力电子器件组成功率变换系统、对储能系统的控制部分。储能装置用于电能的储存与释放,功率变换器是电能与其他形式能转化的重要元件,是储能系统并网的必需,储能系统的控制部分用来调节储能装置的充放电、平衡电网需求等。接下来将磷酸铁锂电池作为储能系统直流侧储能装置,来分析储能技术在电力系统中应用的基本原理。

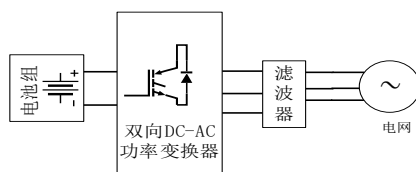


图1 储能系统结构图

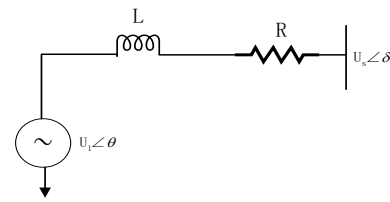


图2 储能系统工作原理图

如图1~2 储能系统工作原理图所示,假设储能装置为理想电源。电源电压为 U_1 , 相角为 θ , 注入电网电压为 U_s , 相角为 δ 。因为有功功率由高相位流向低相位,当需要储能系统向电网补充有功功率时, $\theta > \delta$, 当储能系统充电时, $\theta < \delta$ 。又因为无功功率从高电压点流向低电压点,当控制环节给储能系统发出向电网注入无功功率的命令时,图中 $U_1 > U_s$, 反之亦是如此。这一过程均可以通过储能功率变换器 PCS 来控制,且对于电压与相角的控制彼此独立,不受各自影响。由此可见,通过控制储能功率变换器 PCS 就可以实现储能系统的并网。

2 电池储能系统在电力系统中的应用

随着工业发展和时代进步的需要,电能的负荷迅猛增长,结构也越来越复杂,同样,电力系统也在适应着时代进步的需要。目前,我国在电力行业的投资与建设迅猛发

展,但同时电力系统也暴露出了发电侧与负荷不平衡、有功、无功储备不足等问题。再加上高精度生产制造业和以通信为代表的新兴产业的发展需要,电力系统中的负荷要求更高的供电质量。这些现状为电池储能系统的发展带来了新的活力和生命力。将电池储能系统应用于电力系统中不但可以使系统的运行更加稳定、电能质量更高,还可以达到削峰填谷的目的。而随着电池技术的不断成熟,大功率储能变流器的应用不断发展,电池储能技术的应用领域会进一步扩大,前景十分可观。

除此之外,储能技术还应用于支持电压或频率的稳定、跟踪负荷、帮助电动汽车并网等领域,对于电力系统以及新兴产业的发展是至关重要的。虽然在研发和使用初期的成本比较高,但是一旦有了技术的突破,形成规范化和模式化的规定,再加上政策的支持,电池储能技术在电力系统中的大规模使用一定会大大降低成本,推动更多行业的发展,也会获得更高的收益!

3 电化学电池储能技术的应用模式

储能技术应用在电力系统有着多种多样的形式,例如电化学储能、机械储能、热力储能和电磁储能。就目前来看,我国发展比较成熟的是利用抽水蓄能方式的机械储能。其中,电化学储能主要包括锂离子电池、钠硫电池、镍氢电池等,不同的电池工作性能不同,使用方法与适用领域也不同。本小节主要分析电化学电池储能技术在电力系统中的应用模式。

电化学电池储能技术是通过化学中的氧化与还原反应实现充放电,是电能与化学能的一种能量转换,从而实现能量的释放与存储。相对而言,电化学电池储能技术可控性强、模块集成度高,整体上容量大、比能量高、电能存储和释放快、环境适应性强、建设成本低、组装便捷,对于提高电能质量作用明显,可提高电力系统运行的稳定性、保证良好的电能质量、调节电网与负荷的平衡、支撑电网电压和频率、保证分布式发电的稳定并网和灵活接入

等。常见电化学储能电池工作情况及基本性能如表 1.1 所示。其中因铅酸电池成本低、技术难度较低,曾长时间应用于电气工程领域,也是最早开发使用的电池。但铅酸电池比能量低、使用周期短、循环次数少、不利于环境保护,正逐渐失去了它的主导地位。相比较铅酸电池,钠硫电池的性能指标更好,市场竞争力更强,是一种较新的大容量高效蓄电。液流电池因化学电极极化小、循环使用周期长、容量大、使用灵活便捷等优势,也发展到了一定的程度,但钠硫电池又有着能量密度低、造价成本高等劣势,使其不适用于大规模储能系统。锂离子电池具有体积小、重量轻、能量密度大、效率高,循环寿命长、绿色环保等优点,是目前看来最具有发展前景、最适合应用于大规模储能系统的电池。

因为电化学电池种类不同,反应过程以及性能指标也不同,所以电化学电池在储能技术中应用的领域也不同。当我们需要电化学电池调节电网频率、亦或是需要其进行削峰填谷时,这就需要电化学电池具有足够大的容量;当我们需要电化学电池支撑电网电压/频率,维持电网稳定时,这就要电化学电池的反应足够快。经过这样大致的分类,我们可以将电化学电池适用情况进行总结。其中铅酸电池适合调节电网频率、保证电能质量;液流电池适合用于新能源发电并网、维持电网稳定;而锂离子电池适用于调节电网频率、削峰填谷、维持电网稳定等各种情况,因为其容量足够大、响应足够快。

4 锂离子电池的应用现状

在锂离子电池研发使用的漫长历史中,大致可以分为三个阶段。最开始发明的锂离子电池由于负电极的金属锂在充放电的化学反应过程中,电池正负极之间容易发生短路限制了锂电池的发展。直到 1980 年,有科学家提出将锂嵌入材料中作为负电极从而避免发生短路,也就是至今仍在使用的锂离子电池的负电极形式,这一发明将锂离子电池推向了新的发展阶段。至今,锂电池已应用于便携式电子产品、电动汽车等与人们生活息息相关的领域。

表 1 各种电化学电池数据指标

电池类型	化学反应过程	比容量 (Wh/kg)	比功率 (W/kg)	效率 (%)	充放电次数 (次)
铅酸电池	$Pb + PbO_2 + 2H_2SO_4 \xrightleftharpoons[放电]{充电} 2PbSO_4 + 2H_2O$	35~50	150~350	0~80	500~1500
钠硫电池	$2Na + xS \xrightleftharpoons[放电]{充电} 2Na^+ + xS^{2-}$	150~240	90~230	0~90	2500
镍氢电池	$2Ni(OH)_2 + M \xrightleftharpoons[放电]{充电} 2NiOOH + MH$	80~90	500~1000	0~70	400~500
镍镉电池	$2Ni(OH)_2 + Cd(OH)_2 \xrightleftharpoons[放电]{充电} 2NiOOH + Cd + 2H_2O$	45~80	150~500	0~70	500~1000
液流电池	$VO^{2+} + H_2O + V^{3+} \xrightleftharpoons[放电]{充电} VO_2^+ + V^{2+} + 2H^+$	80~130	50~140	0~80	13000
锂离子电池	$LiFePO_4 + 6xC \xrightleftharpoons[放电]{充电} Li_{(1-x)}FePO_4 + xLiC_6$	110~160	1000~1200	0~95	1000~10000

当然,锂离子电池也不是毫无缺点,现在磷酸铁锂电池在大规模储能系统建设中所面临的问题主要有:电池能量密度低、充放电倍率和电池生产过程中统一性的问题。就电池能量密度问题而言,我们国家已经制订了相应的发展目标,到2020年达到30Wh/kg,这一目标已经达到,要相信随着政策的支持和科技的发展,磷酸铁锂电池的能量密度会进一步提高。当提高磷酸铁锂电池的充放电倍率时,会影响电池容量和安全状况,所以有关锂离子电池充放电倍率的技术突破也是推动锂电池发展的一大原因。还有就是电池在生产过程中型号性能等统一的问题,这需要国家进一步发挥在电池市场的引导作用,制定相关规定与政策,加快锂电池的发展。

储能技术的发展与需要为锂电池应用提供了更加广阔的舞台,同时也带来了新的挑战。磷酸铁锂电池是目前锂离子电池中最适用于大规模储能、微电网建设应用的电池。从全球近几年储能建设来看,锂电池应用得最多。目前我国正大力发展风能、太阳能等清洁能源发电,但由于这些一次能源不稳定,对于发电并网造成了实质上的困难。储能技术的提升与发展对于分布式发电并网是至关重要的。从政策上讲,储能技术的投资与建设是“十三五”规划的百大项目工程之一,国家在张北建设的63MW磷酸铁锂电池储能系统项目是我国的风光储示范项目,是我国大规模储能系统投资建设的一个开始。2020年3月,中国移动5G基站建设对于磷酸铁锂电池的需求为锂离子电池的发展带来了新的契机,

再一次扩大了磷酸铁锂电池的市场占有。

5 结束语

由上述内容可知,锂离子电池是目前最具发展前景、最适合大规模应用于储能系统的电池,储能系统也是国民生产生活的需要,是电力系统进步发展的大势所趋,然而目前而言国内外虽都有所发展,但还没有大规模开发储能系统,对于储能系统的开发建设没有规范统一的标准,也没有普遍适用的电池模型。而锂离子电池具有诸多优点,是目前看来最具有发展前景、最适合应用于大规模储能系统的电池,基于锂离子电池进一步开发储能系统,一定能取得良好的效果。

[参考文献]

- [1]程世杰,文劲宇,孙海顺.储能技术及其在电力系统中的应用[J].电气应用,2005,24(4):18-19.
 - [2]赵健,杨维芝,赵佳明.锂离子电池的应用开发[J].电池工业,2000,005(1):31-36.
 - [3]唐偲,鲁丽娟.磷酸铁锂电池在电力系统中的应用研究[J].南方能源建设,2016,3(1):39-42.
 - [4]电池储能电站发展扶持政策研究课题组.电池储能——城市电力储能的最佳选择[J].上海节能,2013(5):21-24.
- 作者简介:田巍(1998.1—),男,毕业院校:北京信息科技大学,所学专业:电气工程及其自动化,当前就职单位:北京电力工程有限公司,职务:项目总工,职称级别:助理工程师。

风力发电设备运维存在的问题及改进的探讨

王相承

国能（济南）新能源有限公司河口分公司，山东 济南 250000

[摘要]随着“双碳”目标以及绿色可持续发展战略不断推进，风力发电作为一种极为重要的可再生能源，正呈现出快速发展的态势。在此情形之下，科学且高效地开展风力发电设备的运行以及维护相关工作，对于确保风电能够持续、稳定并且安全地供电而言，有着不容忽视的重要意义。不过就目前来看，我国风力发电设备的运维工作中依旧存在着不少亟待解决的难题。面对这样的现状，文中给出了具备针对性的改进办法，希望能够为提高风电运维水准、保证设备安全运转以及优化经济效益等方面给予一定的参考。

[关键词]风力发电设备；设备运维；运维问题；改进措施

DOI: 10.33142/hst.v8i9.17681

中图分类号: TM614

文献标识码: A

Discussion on the Problems and Improvements in the Operation and Maintenance of Wind Power Generation Equipment

WANG Xiangcheng

Hekou Branch of Guoneng (Ji'nan) New Energy Co., Ltd., Ji'nan, Shandong, 250000, China

Abstract: With the continuous promotion of the "dual carbon" goal and the green sustainable development strategy, wind power generation, as an extremely important renewable energy source, is showing a rapid development trend. In this situation, it is of great significance to carry out the operation and maintenance of wind power equipment in a scientific and efficient manner to ensure the continuous, stable, and safe supply of wind power. However, at present, there are still many urgent problems to be solved in the operation and maintenance of wind power generation equipment in China. In the face of such a situation, the article provides targeted improvement methods, hoping to provide some reference for improving the level of wind power operation and maintenance, ensuring the safe operation of equipment, and optimizing economic benefits.

Keywords: wind power generation equipment; equipment operation and maintenance; operation and maintenance problems; improvement measures

引言

随着全球能源结构发生转变以及可再生能源发展速度加快，风力发电作为一种清洁、高效且可再生的能源形式，正逐步变成各国能源布局里的重要组成部分。我国风电装机容量一直在增长，风力发电在能源供应、环境保护还有碳减排等诸多方面所发挥的作用一天比一天重要。不过，伴随风电规模变得越来越大，机组技术也在持续升级，风力发电设备在运行与维护方面所面临的挑战愈发凸显出来。风力机组构造较为复杂，分布范围很广，通常会被安装在高海拔区域、沿海地带或者偏远的地方，其运行环境复杂且多变，很容易受到风速出现波动、温度发生变化、湿度以及盐雾腐蚀等不同因素的影响，进而致使设备故障频繁发生、停机时间有所增加并且发电效率出现下降的情况。与此传统运维模式依靠人工巡检以及凭借经验来做出判断，在实际操作当中普遍存在运维人员数量不足、管理体系不够完善以及技术手段较为落后等一系列问题，这使得风力发电设备的安全性、可靠性以及经济效益都受到了一定程度的限制。在此情形下，怎样科学且系统地剖析风力发电设备运维过程里面存在的各类问题，并且给出行之

有效的改进办法，已然成为提升风电场整体运行水准、降低运维成本、保证设备能够长期稳定地运行以及推动风电行业实现可持续发展的极为关键的研究课题。本文在归纳国内外风电运维现状以及相关经验的基础之上，着重对风力发电设备运维当中存在的主要问题及其诱发原因展开探讨，并且提出从全寿命周期管理、智能化技术的应用以及运维人员能力提升等多个方面入手的改进策略，目的是为风电企业在优化运维管理、提高经济效益以及安全水平等方面给予理论方面的参考以及实践层面的指导。

1 风力发电设备运维的重要性

风力发电设备运维极为重要，其重要性体现在可保障设备安全运行、提升发电效率、降低运行成本以及延长使用寿命等方面。风力发电机组一般安装于环境条件颇为复杂的区域，像高海拔地区、沿海地带或者风力强劲的荒漠地带，在长期运行期间，极易受到风速波动、温度变化、湿度以及盐雾腐蚀等多种因素的影响，致使叶片、齿轮箱、发电机还有控制系统等关键部件产生磨损、疲劳或者出现故障。要是发生设备故障，不但会造成发电中断以及经济损失，而且有可能引发安全事故，甚至对电网稳定运行造

成影响。所以,系统化且科学化的运维管理对于及时发现潜在问题、实施预防性以及预测性维护、减少突发故障而言有着十分重要的作用。与之随着风电机组朝着大型化、智能化方向发展,运维技术以及管理的难度也在持续增加,需要借助全寿命周期管理、智能监测以及数据分析等手段,对机组运行状态展开实时监控并进行精准诊断,以此来优化维修计划和资源配置,提升整体运维效率以及经济效益^[1]。高水平的运维一方面能够确保设备稳定可靠地运行,另一方面能够降低运营风险,提高风电项目的投资回报率,进而为风电行业的可持续发展以及清洁能源利用给予有力支撑。

2 风力发电设备运维中存在的常见问题以及主要诱因

2.1 投入的运维资金不足

我国风电平价上网时代的到来,使得企业更加追求优质设备和低成本投入。风力发电项目全生命周期主要是项目投资开发、风场工程建设和设备安装、生产运维三个阶段。在项目投资预算确定的前提下,项目竣工投产后,生产运维的管理水平和工作效率直接决定了项目的效益。然而,由于前期风资源开发、风电场建设以及设备采购的资金投入巨大,以及生产运行阶段不确定因素的出现,都会造成运维资金不足的问题,从而影响运维工作不能顺利实施,结果带来风机故障率高,停机成本增加,运行效率低,发电量少,企业效益下降。

2.2 配备的运维人员短缺

在风力发电设备开展运维工作的过程当中,运维人员出现短缺这一情况是普遍存在的,并且其产生的影响颇为显著。随着风电行业不断向前发展,风电机组规模也在持续扩大,在这样的形势下,对于运维人员的需求量呈现出了急剧增长的态势。高素质且专业化的风电运维人才在供应方面却相对滞后,这就致使人员配置出现了不足的问题。运维工作不仅仅要掌握电气、机械、液压等诸多领域内的专业知识,而且还得具备针对风力发电机组监控系统进行相关操作的能力,同时还要能够对数据加以分析以及具备故障诊断方面的技能。并且往往还需去适应现场环境较为复杂、作业条件十分艰苦的那种状况,比如像高空作业这样的情形,又或者是面临恶劣天气以及处于偏远场地等情况。这种对于人才有着极高要求的现状和有限的人才供给之间存在着突出的矛盾,进而使得很多风电场在设备巡检、故障排查以及日常维护这些方面都存在着人手不够充足、响应速度不够及时的状况,这无疑增加了设备出现故障的风险以及运维工作的压力。与此因为缺少经验较为丰富的运维人员,新进人员在培训以及上手操作方面所需要花费的时间比较长,也容易出现操作失误或者维护工作不规范的情况,从而对机组的运行稳定性以及发电效率产生进一步的影响。

2.3 管理与技术方面的落后

在风力发电设备开展运维工作的进程里,管理以及技术层面的落后情况已然成为制约设备实现高效运行以及保持长期可靠性的重要因素之一。诸多风电场依旧采用传统的运维模式,缺少系统化且标准化管理流程,同时科学的运维计划也有所欠缺,如此一来,便致使设备在巡检环节、故障记录方面以及维修安排上都存在着随意性以及不规范的状况。与此部分风电企业在技术投入这一方面有所不足,其运维手段大多是以人工巡检作为主要方式,像智能监测、远程诊断以及预测性维护这类先进技术的应用范围极为有限,这就使得设备运行状态的相关信息出现滞后的现象,潜在的故障也很难被及时地察觉到,进而增加了发生突发停机以及重大事故的风险。在管理体系当中还存在着职责划分不够清晰、信息沟通不够顺畅以及决策过度依赖经验而不是依据数据分析等一系列问题,这些问题同样使得运维工作的效率变得低下,资源的利用也不够合理。从技术层面来讲,部分风电场缺乏专业的监测工具以及数据分析平台,没办法针对机组的运行状态展开精细化的管理以及做出科学的决策,这无疑使得设备性能的优化以及故障的预防受到了限制。

3 解决运维问题的举措和方法

3.1 运用全寿命周期管理理念,构建合理的运维模式体系

运用全寿命周期管理理念来构建风力发电设备运维模式体系,这可是让设备实现长期稳定运行的关键策略,能提升发电效率,还能优化运维成本。全寿命周期管理注重把设备从设计开始,经过制造、安装,再到运行、维护,一直到退役的整个过程都放进统一的管理框架里,借助系统化、数据化且有前瞻性的办法对设备状态展开全面监控与细致分析^[2]。在这样的理念引导下,运维不再是单纯地被动修复故障,而是依靠预防性维护、预测性维护以及依据状态制定的维护策略,达成对关键部件寿命的科学预测以及风险把控,如此一来便能有效降低突发性停机和重大故障给发电能力带来的影响。并且,凭借全寿命周期的数据收集与分析,能够搭建起标准化的运维流程以及信息管理平台,实现运维决策的科学化、精细化以及可追溯化,保证运维资源像人力、物料还有技术手段都能获得最优配置并实现高效利用。该管理模式还着重于对环境因素、运行负荷以及设备性能展开动态评估,可以根据不同机组的实际运行状况去调整维护策略,让风电设备在整个生命周期当中都维持着高效、安全且可靠的运行状态。

3.2 运用新技术提高运维工作效率和有效监管

运用新技术来提升风力发电设备运维工作的效率以及监管能力,这乃是提高风电场整体运行水准并且降低运营风险的重要手段。风电机组正朝着大型化、智能化的方向不断发展,传统的那种依靠人工巡检以及凭借经验做出

判断的运维方式,已经没办法契合高效且精确管理方面的需求了,所以引入先进的技术手段便成了不得不做的决定。借助状态监测系统、传感器网络、物联网技术还有大数据分析平台,能够达成对机组关键部件像是叶片、齿轮箱、发电机以及控制系统展开实时监控的目的,针对振动、温度、转速、电流、电压等运行参数实施连续采集并加以分析,进而精准地对设备的健康状态以及潜在故障风险予以评估。人工智能以及机器学习技术的应用,让海量数据可以被迅速处理并进行建模,实现对设备故障做到早期预测以及智能诊断,提升故障处理的响应速度以及决策的科学性。与此开展远程监控以及数字化管理平台的建设工作,能让运维人员在控制中心实时知晓风电场的运行状况,对于出现的异常状况能够及时发出预警并加以干预,降低了现场巡检的频次以及风险,节省了人力以及时间成本。

3.3 全面提高运维人员的技能水平

全面提高风力发电设备运维人员的技能水平,对于保障机组安全稳定运行以及提升运维效率而言,属于极为关键的环节。随着风力发电技术持续快速发展,机组规模也在不断拓展扩大,设备结构以及控制系统变得日益复杂起来,这就使得运维工作对人员的专业能力提出了更高的要求,不但要掌握电气、机械、液压以及控制系统等诸多学科方面的知识,而且还要具备对监测数据分析、故障诊断以及预测性维护加以理解并实际应用的能力。与此风电场大多分布在高空、沿海或者偏远地区,其作业环境颇为复杂,所以运维人员必须要具备高空作业的安全意识,有应对极端气候条件的能力,并且还拥有紧急故障处理的相关经验。技能水平得以提升,既关乎单次维护任务完成的效率,又会对机组运行的整体稳定性以及发电效益产生直接的影响^[3]。借助系统化的培训、岗位轮岗的实践以及技术考核等方式,能让运维人员熟练地掌握设备操作规程、维护流程以及安全规范,进而提高他们在面对突发故障时的反应速度以及处理的准确性。并且,高水平的运维团队能够更为有效地利用先进的监测技术以及智能运维系统,把数据分析所得到的结果转变成科学的维护决策,以此来优化检修计划和资源的配置情况,从而减少误操作以及设备的损耗状况。

3.4 降低运维成本的措施

降低风力发电设备的运维成本对于提升风电场的经济效益、优化资源配置以及达成可持续运营而言,是一项十分重要的举措。运维成本当中,既包含了人工巡检、维修以及备件更换所产生的那些直接支出,同时也包含了因设备停机而引发的发电损失、能耗还有管理投入等一系列隐性成本。伴随风电机组规模变得越来越大,技术复杂程

度也在不断提高,在这样的情况下,传统那种单纯依靠定期巡检以及凭借经验来做出判断的运维模式,已经很难在效率与成本控制这两方面都兼顾到位了。所以,借助科学化、智能化的相关手段来开展精细化管理,就成为了必须要做出的选择。借助状态监测系统、传感器网络以及大数据分析这些工具,本文能够实时且准确地掌握机组的运行状态,还能提前把潜在故障给找出来,进而实施预测性维护,如此一来,便能减少突发停机的情况出现,也能降低大修方面的支出。与此信息化管理平台可对巡检路线以及运维人员的调度加以优化,合理安排好检修计划,这样就能降低重复劳动所耗费的时间以及现场作业的成本。通过对备件库存以及使用寿命展开科学预测,能够减少库存出现积压的现象,也能避免不必要的更换频次,进而降低物料成本^[4]。除此之外,通过对机组历史运行数据以及运维模式加以分析,能够针对关键部件开展具有针对性的维护工作,并且对它们的寿命进行优化,以此实现设备使用周期得以延长的目的,从而进一步将长期运维开支控制住。

4 结语

风力发电设备的运维对于保障机组安全稳定运行、提高发电效率以及降低运营成本有着十分重要的作用,然而当前的运维工作依旧存在一些问题,比如资金投入不足、人员短缺以及管理和技术手段较为落后等。通过引入全生命周期管理理念、运用智能化运维技术、提升运维人员技能水平以及优化资源配置等一系列改进措施,能够有效提高运维效率和设备可靠性,降低故障风险和运营成本。在未来,随着技术不断进步以及管理水平持续提升,风电运维将会朝着更加智能化、系统化和精细化的方向发展,从而为风力发电的高效、安全运行以及绿色可持续能源发展给予有力保障。

[参考文献]

- [1]曹占有.风力发电设备运维存在的问题及改进探讨[J].中国设备工程,2025(1):70-72.
- [2]庄甦.浅析风力发电设备运维存在的问题与改进措施[J].中国设备工程,2021(3):38-40.
- [3]朱洪喜.风力发电设备运维中存在的问题与优化措施[J].光源与照明,2024(2):180-182.
- [4]胡祥兴.风力发电设备技术现状与关键问题探析[J].中国设备工程,2023(21):215-217.

作者简介:王相承(1998.5—),毕业院校:青岛科技大学,所学专业:机械工程,当前就职单位:国能(济南)新能源有限公司河口分公司,职务:副主检修员,职称级别:助理工程师。

凝汽器回弯水室分割增强抗压能力的理论与应用研究

郑雯

东方电气集团东方汽轮机有限公司, 四川 德阳 618000

[摘要]在电厂实际运行过程中,热网回水的高压力对凝汽器水室的抗压性能提出了非常严苛的挑战。针对传统凝汽器回弯水室因尺寸过大而导致抗压能力不足的问题,本研究提出了一种通过分割回弯水室以增强其抗压能力的技术方法。本论文系统地阐述了该方法在双流程、多流程凝汽器中的具体实施方式,深入分析了其增强水室抗压能力的理论依据,并探讨了该技术的实际应用价值。研究表明,回弯水室分割技术可显著缩减水室尺寸,提升抗压性能,同时降低材料与施工成本,为凝汽器的安全稳定运行提供有力技术支持。

[关键词]凝汽器;回弯水室;分割技术;抗压能力;实际应用

DOI: 10.33142/hst.v8i9.17676

中图分类号: TK264

文献标识码: A

Theoretical and Application Research on Segmenting and Enhancing Compressive Capacity of Condenser Bend Water Chamber

ZHENG Wen

Dongfang Electric Group Dongfang Steam Turbine Co., Ltd., Deyang, Sichuan, 618000, China

Abstract: In the actual operation of power plants, the high pressure of the return water from the heating network poses a very severe challenge to the compressive performance of the condenser water chamber. This study proposes a technical method to enhance the compressive strength of the traditional condenser's return water chamber by dividing it into sections, in response to the problem of insufficient compressive strength caused by its large size. This paper systematically elaborates on the specific implementation of this method in dual process and multi process condensers, analyzes in depth the theoretical basis for enhancing the pressure resistance of the water chamber, and explores the practical application value of this technology. The research results indicate that the technology of dividing the curved water chamber can significantly reduce the size of the water chamber, improve the compressive performance, and reduce material and construction costs, providing strong technical support for the safe and stable operation of the condenser.

Keywords: condenser; return bend water chamber; segmentation technology; stress resistance ability; practical application

引言

2022年8月,国家发改委、能源局调整“十四五”火电规划,提出“三个八千万”目标,煤电行业出现了爆发式的发展,随之出现的是电厂对能源利用效率及设备运行安全性的要求日趋严苛。凝汽器作为电厂辅机系统的关键设备,其运行状态直接影响电厂整体热效率的利用。为实现余热回收与经济效益提升,部分电厂采用了在凝汽器水侧通入热网循环水的运行模式^[1]。然而,由于热网回水通常压力较高,但传统凝汽器的回弯水室因尺寸较大,抗压能力相对薄弱,在高压作用下易出现结构损坏等安全隐患,成为严重威胁电厂稳定运行的安全隐患。

针对凝汽器水室抗压能力不足的问题,已有相关研究提出诸如增加水室壁厚度、采用高强度材料等解决方案,此类方法虽能解决强度问题,但也会导致成本大幅攀升。因此,探寻一种经济高效的凝汽器水室抗压能力增强技术方案具有重要的现实意义。本研究提出回弯水室分割的方法,旨在通过优化水室结构,在控制成本的前提下,有效提升水室抗压能力,为解决上述问题提供新思路。

1 凝汽器回弯水室分割技术的理论基础

1.1 水室结构与抗压能力的关联

依据力学原理,容器的抗压能力与其尺寸存在密切关联。在材料与压力条件相同的情况下,尺寸较小的容器通常具有更强的抗压性能。对于凝汽器的回弯水室而言,其作为容纳流体的容器,在承受内部流体压力时,水室壁所受应力与水室容积存在一定关联。一般而言,水室直径越大,在相同压力作用下,水室壁所受应力也就越大,相应的水室抗压能力也就越小^[2]。

1.2 回弯水室分割的力学解析

回弯水室分割技术的核心在于将较大的回弯水室分割为 n 个较小的水室,减小单个水室的尺寸,从而降低水室壁所受应力,增强其抗压能力。假设回弯水室原始直径为 D , 内部压力为 P , 水室壁厚度为 δ , 材料的许用应力为 $[\sigma]$ 。根据薄壁圆筒强度计算公式,水室壁所受环向应力 $\sigma = PD/(2\delta)$ 。当将回弯水室分割为 n 个尺寸相同的小水室后,每个小水室的直径变为 $d = D/\sqrt{n}$ (假设体积均匀分配), 此时每个小水室壁所受环向应力 $\sigma' = Pd/(2\delta) = PD/(2\delta\sqrt{n})$ 。显然, $\sigma' < \sigma$, 即分割后的水室壁

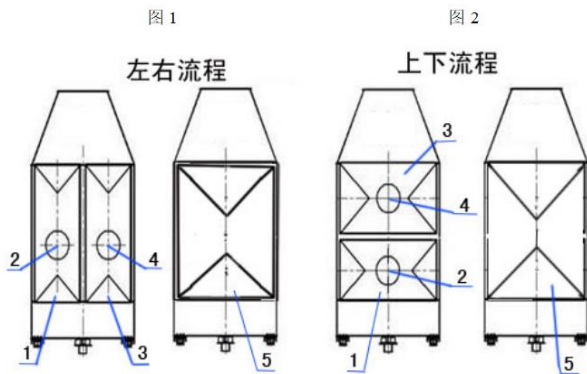
所受应力减小，抗压能力得以增强。

2 凝汽器回弯水室分割技术的具体应用

2.1 双流程凝汽器回弯水室两分割

双流程凝汽器是电厂实际运用中较为常见的类型，在其传统水室组合方式中，回弯水室（后水室）的尺寸约为进出水室（前水室）的两倍（如图1~2所示，图1为左右流程，图2为上下流程）。这种大尺寸的回弯水室在高压作用下，受力状况欠佳，抗压能力表现不好。

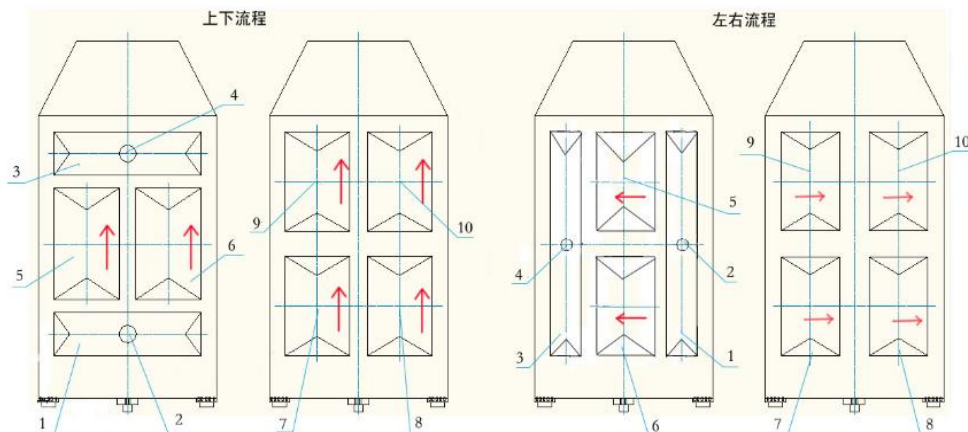
采用回弯水室分割的方法后，将回弯水室沿流体回弯流动方向进行分割，使其形成两个独立水室，且分割位置线与进出水室间隙所在直线垂直（见图3~4，图3为左右流程，图4为上下流程）。分割后，每个回弯水室所容纳的流体流量大致为总流量的一半，水室直径显著减小。依据前文的力学分析，水室壁所受应力随之降低，从而大幅增强回弯水室的抗压能力。



件1:进水水室, 件2:进水口, 件3:出水水室, 件4:出水口, 件5:回弯水室

图1 传统水室组合方式

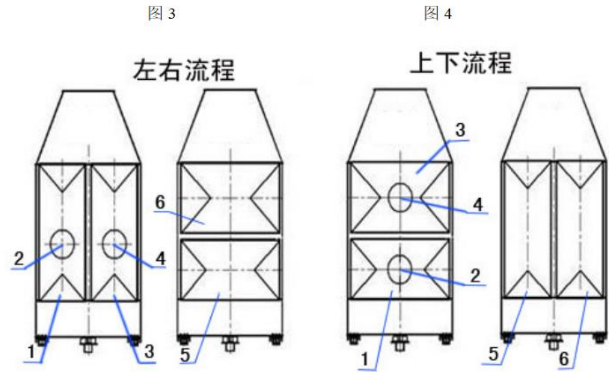
图5



(箭头方向为水流方向)

件1:进水水室, 件2:进水口, 件3:出水水室, 件4:出水口, 件5:前回弯水室 I, 件6:前回弯水室 II
件7: 后回弯水室 I, 件8: 后回弯水室 II, 件9::后回弯水室 III, 件10:后回弯水室 IV

图3 四流程凝汽器回弯水室分割



件1:进水水室, 件2:进水口, 件3:出水水室, 件4:出水口, 件5:回弯水室 I, 件6:回弯水室 II

图2 双流程凝汽器回弯水室分割

2.2 多流程凝汽器回弯水室两分割

对于多流程凝汽器，如四流程凝汽器，同样可采用回弯水室分割技术。按照双流程凝汽器回弯水室分割原理，将回弯水室沿流体回弯流动方向进行分割(分割后的示例见图5~6，图5为左右四流程，图6为上下四流程)。通过合理分割，每个小回弯水室的尺寸减小，使其在承受热网回水高压时，能够保持良好的结构稳定性，有效提升多流程凝汽器整体的抗压性能。

2.3 回弯水室的多分割应用

除了将回弯水室分割为两个水室外，根据实际电厂运行需求与凝汽器运行条件，还可将回弯水室分割为多个（2~n个）水室。当回弯水室被分割为n个水室时，每个水室容纳的流体流量约为总流量的1/n，水室直径进一步减小。这种多分割方式能够更好地适应不同压力工况与流量需求，提高凝汽器实际应用的灵活性与适用性。

图6

在双流程与多流程凝汽器回弯水室分割的实际操作中,还需注重分割后水室与原有换热管组的适配性。由于回弯水室是凝汽器内流体转向的关键区域,分割后的小水室需精准对应换热管的排布间距,避免因水室分割导致流体在管内分配不均,影响换热效率。例如,在兴能一期古交项目的双流程凝汽器改造中,技术团队通过三维建模模拟流体流动轨迹,将分割后的水室进水口与换热管入口的对位偏差控制在 2mm 以内,确保每个小水室对应的换热管组都能获得均匀的水流分配,最终在提升抗压能力的同时,维持了凝汽器原有的换热效率,甚至因水流扰动减少,使热交换系数提升了 3%~5%。

对于多分割应用场景,还需结合凝汽器的整体结构强度进行优化。当回弯水室分割数量超过 3h,需在水室分隔板与壳体的连接部位增设加强肋板。以蒙能锡林浩特电厂的四流程凝汽器改造为例,其回弯水室采用了三分割设计,技术团队在分隔板与壳体焊接处加设了厚度为 8mm 的环形加强肋,通过有限元分析验证,该结构可使分隔板与壳体连接部位的应力集中现象降低 40%,进一步提升了水室整体的结构稳定性,有效避免了长期高压运行下分隔板与壳体连接处出现裂纹的风险。

3 技术优势与应用价值分析

3.1 技术优势

由于分割后的水室尺寸减小,流体在水室内的流动路径缩短,流动阻力降低。根据某电厂的运行数据统计,采用回弯水室分割技术后,凝汽器循环水泵的运行电流平均降低 6%~8%,按电厂年运行 7000h、工业用电单价 0.5 元/度计算,单台凝汽器每年可节约电费约 12~15 万元,为电厂带来了可观的节能收益。同时,流动阻力的降低还减少了流体对水室壁面的冲刷磨损,延长了水室的使用寿命,经测算,采用该技术的凝汽器水室维护周期可从原来的 3 年延长至 5 年,进一步降低了电厂的运维成本。

(1) 无需增设循环水连通管:与传统改进措施相比,本技术在提升水室抗压能力过程中,无需在回弯水室增设循环水连通管。此特点简化了凝汽器整体结构,避免了因增加管道可能产生的泄漏风险,同时降低了设备制造成本与后期维护风险点。

(2) 显著增强抗压能力:通过分割回弯水室,有效减小水室尺寸,依据流体力学原理,水室抗压能力得到显著提升。在相同压力条件下,分割后的水室能够更稳定地运行,降低了凝汽器水室结构损坏的风险性。

(3) 降低综合成本:由于水室尺寸减小,水室壁所受应力降低,因此可适当减薄水室壁厚度,减少材料用量,降低材料成本。同时,简化的结构使施工过程更简便,缩短制造和安装周期,进一步降低制造和安装成本。

3.2 应用价值

目前该技术已应用于兴能一期古交项目、包头铝业项

目、蒙能锡林浩特热电厂、兴能二期马兰 3#机等由我司供货的凝汽器设备,各电厂均反馈从投运至今,安全稳定,运行良好。

此外,该回弯水室分割技术不仅适用于凝汽器,对于其他类似凝汽器结构的换热器,在面临换热腔室抗压能力不足问题时,也具有重要借鉴意义与应用价值。其推广应用能够提高相关设备的运行安全性与经济性,为能源行业的可持续发展贡献力量。

4 具体实施要点

在实际应用回弯水室分割技术时,无论是双流程还是多流程凝汽器,均需遵循以下要点:

(1) 精准确定分割位置:严格按照流体回弯流动方向进行分割,确保分割位置线与进出水室间隙所在直线垂直(双流程情况下),以保障流体流动的流畅性及水室受力的均匀性。

(2) 保障分割后水室的密封性:分割过程中,需采用适宜的密封技术(科研用传统蜜蜂技术),确保各小水室之间及水室与其他部件之间的密封性能良好,防止流体泄漏。

(3) 严格遵循设计要求施工:安装过程中,需严格依照设计图纸确保水室位置准确及尺寸精度符合要求,以保障凝汽器运行的整体性能。

5 结论与展望

5.1 结论

本研究提出的凝汽器回弯水室分割技术,通过将回弯水室沿流体回弯流动方向分割为多个小水室,有效减小水室尺寸,降低水室壁所受应力,显著增强水室抗压能力。该技术无需增设循环水连通管,简化了结构,降低了成本,在双流程和多流程凝汽器设备中均具有良好应用效果。

5.2 展望

未来,可进一步深入研究回弯水室分割的最优数量与分割方式,结合数值模拟等技术手段,优化水室结构设计,以实现更优的抗压效果与流体流动性。同时,可以与电厂联动,加强该技术在实际工程中的应用验证,积累更多运行数据,为其大规模推广应用提供更坚实的基础。此外,探索该技术与其他增强抗压能力技术的结合应用,有望进一步提升凝汽器的综合性能。

[参考文献]

- [1]于丙洋.凝汽器内部流体运动状态分析[Z].[2024年北京电机工程学会年度论文集],[2024-07]
- [2]轩福贞,官建国.基于损伤模式的压力容器设计原理[M].北京:科学出版社,2020.

作者简介:郑雯(1989.1—),女,所学专业:工业设计,当前就职单位:东方电气集团东方汽轮机有限公司,职称级别:工程师。

水电站监控系统的容错设计与性能优化

王永林

大唐甘肃发电有限公司碧口水力发电厂, 甘肃 陇南 746412

[摘要]随着水电站规模变得越来越大,其自动化水平也在不断提高,在这样的情况之下,监控系统于电站运行当中发挥着极为关键的作用。当下,水电站监控系统已然达成了对机组运行状况、设备所处状态以及安全指标的实时监控目的,然而依旧存在着诸如系统可靠性有所欠缺、故障恢复能力较为有限以及数据处理以及通信效率不高等一系列的问题。在出现极端工况或者发生突发事件的时候,该系统极容易出现延迟或者中断的现象,进而对电站的安全稳定运行产生了影响。所以,提高监控系统的容错能力以及运行性能便成为了当下的重要研究方向。

[关键词]水电站监控系统;容错设计;性能优化

DOI: 10.33142/hst.v8i9.17691

中图分类号: TP302

文献标识码: A

Fault Tolerant Design and Performance Optimization of Hydropower Station Monitoring System

WANG Yonglin

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

Abstract: With the increasing scale of hydropower stations and the continuous improvement of their automation level, the monitoring system plays a crucial role in the operation of the power station. At present, the monitoring system of hydropower stations has achieved the goal of real-time monitoring of unit operation status, equipment status, and safety indicators. However, there are still a series of problems such as insufficient system reliability, limited fault recovery capabilities, and low data processing and communication efficiency. When extreme working conditions or emergencies occur, the system is prone to delays or interruptions, which can have an impact on the safe and stable operation of the power station. Therefore, improving the fault tolerance and operational performance of monitoring systems has become an important research direction at present.

Keywords: hydroelectric power station monitoring system; fault-tolerant design; performance optimization

引言

随着我国水电资源开发和利用程度的不断提升,水电站在能源结构当中所占据的地位变得日益重要起来,其能够安全、稳定且高效地运行,这对于保障电力的正常供应、推动区域经济向前发展以及开展生态环境保护等工作都有着极为重要的意义。水电站监控系统属于电站运行管理方面的重要核心信息平台,它肩负着像机组运行监测、设备状态管理、数据采集与分析、故障报警以及远程控制等一系列关键任务,而它的运行可靠性以及性能状况会直接对电站的整体安全与效率产生影响。不过,水电站所处的运行环境是比较复杂的,其中设备分布得较为广泛,数据量也很大,而且对于实时性的要求还非常高,与此它还可能面临着诸如硬件故障、软件异常、通信中断以及外部干扰等多种不同类型的潜在风险,这就导致监控系统在长时间的运行过程当中是比较容易出现故障情况甚至是发生瘫痪状况的,进而对电站的安全构成了威胁。所以,针对水电站监控系统开展容错设计以及性能优化方面的相关工作,便成为了确保该系统能够具备高可靠性以及高效性的重要举措。本文将围绕水电站监控系统的容错设计方法来展开探讨,这其中就包含了硬件冗余、软件冗余、数据传输与通信容错机制还有系统状态监测与自愈机制等

方面的内容,与此同时还会去分析系统性能优化的相关策略,像是对响应速度加以优化、提升数据处理与存储的效率、优化网络通信以及对系统资源调度与负载均衡展开相关操作等等,并且还会去探讨容错设计给系统性能所带来的影响。

1 水电站常规化的电力监控系统

水电站是关乎国计民生的行业,国家在其信息化方面的投入是持续性,现如今电力信息化已成效显著,渗透到了电力生产的每个环节。当前,水电站较为普及的电力监控系统主要有:电能计量系统、计算机监控系统、自动抄表系统、设备状态监测系统、故障录波系统、消防报警系统、图像监控系统等。在近些年水电站的筹建与改造升级中,这些系统基本上都是其标准配置,做到了设备运行、过程控制、信息处理、信息管理、决策建议五大方面的全覆盖,实现了水电站自动化与可靠而安全运行水准的全面提升。但现实情况是,电力信息化建设一直处于飞速发展阶段,水电站现有的电力监控系统信息化技术也不能故步自封,需要不断更新升级。

2 水电站监控系统容错设计方法

2.1 硬件冗余设计

硬件冗余设计在水电站监控系统容错设计里属于重

要环节,借助增添关键硬件设备的备份或者冗余单元,达成系统在部分设备出现故障之际仍然可正常运作的目标,进而提升系统的可靠性与稳定性,在水电站监控系统当中,像核心控制单元、数据采集模块、通信接口还有关键传感器这类硬件设备要是发生故障,那么就有可能致使监控数据丢失、系统响应中断,甚至对水电站的安全运行产生影响,所以运用硬件冗余设计能够有效规避单点故障所引发的风险,其具体实现的方式包含主备冗余、双机热备、N+1 备份等多种模式,凭借实时切换或者自动切换机制来保障当主设备失效的时候备用设备可以即刻接管系统功能,以此确保监控系统的连续性以及可靠性,并且硬件冗余设计还得要和系统状态监测以及报警机制相结合,针对设备的运行状况展开实时检测,要是察觉到异常就马上触发切换或者报警,防止故障进一步扩大化。

2.2 软件冗余与故障检测技术

软件冗余以及故障检测技术在水电站监控系统的容错设计里属于极为关键的部分。其借助在软件层面引入备份程序、冗余算法还有多重校验机制,达成在软件出现故障或者存在异常状况下,系统仍能够持续运转并且可快速恢复的目标。在水电站监控系统当中,控制逻辑、数据处理以及报警管理等诸多核心功能对软件的稳定性有着极高的依赖程度。要是软件出现了错误或者是异常情况,那么就有可能致使数据出现异常、操作产生延迟甚至是系统陷入瘫痪的状态。所以运用软件冗余技术,像是多版本编程、任务冗余又或者是运行时检查等方式,能够有效地防止因单一软件故障而引发系统失效的情况发生^[1]。与此与故障检测技术相互结合,依靠实时监控程序的状态、数据的完整性以及逻辑执行的具体情况,及时察觉到潜在的错误,并且触发纠正机制或者切换至冗余模块,进而确保系统的可靠性以及安全性。

2.3 数据传输与通信容错机制

数据传输以及通信容错机制在水电站监控系统的容错设计方面占据着极为关键的地位。其最为重要的目标在于,于复杂多变的运行环境当中,切实保障监控数据能够实现可靠且有效的传输,同时也促使系统指令可以做到及时的响应。水电站监控系统往往要依靠远程数据采集环节、控制命令下发环节还有设备状态反馈环节等一系列的通信环节。要是这些通信链路出现诸如故障、数据丢失或者延迟之类的情况,那么将会对系统的实时性以及可靠性产生直接的影响。所以在开展设计工作的过程当中,得运用多种多样的容错技术,以此来确保数据传输具备连续性以及准确性。具体而言,这些技术包含冗余通信线路方面的设计、双网或者多网并行传输的方式、针对数据包所实施的校验与重传机制,还有关键节点所具备的自动切换功能等等。与此借助对通信协议加以优化以及开展实时监测等相关举措,便能够对数据丢包、信号受到干扰以及链路出

现异常等问题进行及时的检测与妥善的处理,进而保证系统即便处在异常状况之下,依旧能够维持稳定的运行状态。

2.4 系统状态监测与自愈机制

系统状态监测以及自愈机制,在水电站监控系统的容错设计里,属于极为关键的部分。它的主要目标在于借助实时对系统运行状态加以监控的方式,做到及时将潜在故障给找出来,并且能够自动去采取相应的纠正举措,以此来确保系统的连续性以及可靠性都能够得到保障。在水电站监控系统当中,控制设备、数据采集模块、通信链路还有软件程序等诸多环节,都有可能出现各种各样的异常情况。要是没能及时察觉到这些异常并妥善处理好,那么就极有可能会造成监控数据出现丢失的现象、控制产生延迟的情况,甚至是致使整个系统陷入瘫痪的严重后果。系统状态监测会通过运用传感器、日志记录、性能指标监控以及异常检测算法等多种手段,针对各类硬件以及软件的状态展开全方位的跟踪,如此一来便可以及时把设备故障、通信异常或者软件错误等情况给识别出来^[2]。而自愈机制则是依据监测所得到的结果,自动去执行诸如冗余切换、任务重启、参数恢复亦或是故障隔离等一系列的操作,进而促使系统在处于异常状态之时,能够快速恢复到正常的运行状态,由此便能够有效减少人为的干预以及系统的停机时间。

3 水电站监控系统性能优化策略

3.1 系统响应速度优化

系统响应速度的优化属于提升水电站监控系统整体性能以及运行效率极为关键的一个环节,其最为关键的目标在于要将从数据采集一直到指令执行期间所存在的时间延迟予以缩短,进而保证系统能够在最短的时间范围内针对电站运行状态的变化给出准确的响应。在水电站监控系统里面,像数据采集、信号传输、数据处理还有控制指令下发等诸多环节都有可能对系统的响应速度产生影响,而任何一个环节出现延迟的情况都会使得系统对于异常情况的处理能力有所降低,最终对电站的安全状况以及运行效率都造成影响。为了实现响应速度的优化,就需要从硬件、软件以及通信等多个层面去采取一系列综合性的措施,具体而言,像是采用性能更为出色的数

3.2 数据处理与存储效率优化

数据处理与存储效率的优化属于提升水电站监控系统整体性能以及可靠性的关键环节,其核心目的在于保证大量监控数据可以实现高效且精准的处理与存储,进而支撑系统的实时监控以及科学决策。在水电站监控系统里,传感器以及监控设备会生成海量的运行数据,像流量、水位、机组状态、设备报警信息等等,这些数据得经过快速采集、处理与存储,方便实时分析与历史追踪。要优化数据处理效率,就要采用高性能的数据处理单元、并行计算以及流式数据处理技术,加快数据的解析与运算速度,并

且借助优化数据库结构、采用分布式存储、数据压缩与索引技术,提升数据存储的访问效率与检索速度。在此基础上,还得构建数据缓存机制与动态负载调度策略,确保在高峰数据流量的时候系统仍可维持稳定运行,防止因处理延迟致使监控滞后或者信息丢失。

3.3 网络通信性能优化

网络通信性能的优化在提升水电站监控系统整体效率与可靠性方面属于极为重要的一环,其关键目标在于要保证监控数据以及控制指令可在系统各个模块之间实现快速、稳定且准确的传输,以此来确保系统的实时性与可靠性。水电站监控系统一般会涉及到数量众多的分布式设备,像传感器、控制终端、数据采集模块还有远程监控中心等,这些设备彼此间依靠网络来完成数据交换以及指令传输的任务。要是网络通信出现延迟、丢包或者带宽不够等情况,那么就会对系统的响应速度以及运行安全产生直接影响^[3]。为了让网络通信性能得以优化,就需要运用高效的通信协议、合理的网络拓扑结构以及优先级调度机制,以此来保障关键数据传输具备优先性以及实时性;与此借助冗余链路的设计以及自动切换机制,可提升通信的可靠性以及抗干扰的能力;除此之外,还需结合数据压缩技术以及流量控制策略,降低网络负载,缩减延迟时间,提高传输效率。

3.4 系统资源调度与负载均衡策略

系统资源调度及负载均衡策略乃是水电站监控系统性能得以优化的关键手段,其最为关键的目标在于借助对计算、存储以及网络等一系列系统资源予以合理的分配,以此来保障系统能够在处于高负荷或者出现突发状况的情形下依旧能够稳定且高效地开展运行。在水电站监控系统当中,像数据采集、实时计算、指令下发还有历史数据存储等诸多任务往往是同时并行开展的,倘若资源调度不够合理,那么便很容易引发处理出现延迟、数据产生拥堵乃至系统出现瘫痪等一系列情况,进而对监控所具备的实时性以及可靠性均会造成影响。要对资源利用加以优化,就需要采用动态任务调度策略,依据任务所具有的优先级、资源方面的需求以及运行的具体状态,去合理地对 CPU、内存、网络带宽等这些关键资源进行分配;与此借助负载均衡技术,把计算以及存储任务分散到不同的服务器或者节点之上,防止出现单点过载的情况,以此提升系统整体的处理能力;除此之外,还可以联合虚拟化技术以及云端资源进行扩展,达成弹性资源调配的效果,从而更好地应对因监控数据量大幅增加或者突发事件而带来的高负荷压力状况。

3.5 容错设计对系统性能的影响分析

容错设计对于水电站监控系统性能所产生的影响,属于系统整体优化进程里务必要着重剖析的内容。其关键点就在于要对系统可靠性跟运行效率二者间的关系予以平

衡。容错设计借助引入硬件冗余、软件冗余、通信冗余还有自愈机制等手段,当系统部分组件发生故障之际,能够维持持续运转的状态,这可大幅提升系统的可靠性以及稳定性^[4]。不过,冗余设计往往会让系统资源的占用有所增加,像计算处理能力、存储空间以及网络带宽等方面都可能出现这种情况,并且还可能会引入额外的数据同步以及切换延迟,进而给系统响应速度以及数据处理效率带来一定程度的影响。所以,在开展容错设计相关工作的时候,得全面考量系统的实时性方面的需求、数据处理所面临的负荷情况以及硬件资源存在的限制等因素,选用合理的冗余级别并且采取有效的优化策略,从而在确保达到高可靠性这个前提之下,把对性能造成的负面影响尽可能地减到最小程度。举例来讲,可以通过设置智能切换机制以及实施动态冗余调整的方式,达成故障保护和性能优化两者间的平衡;与此借助优化算法、压缩数据传输以及任务优先级调度等举措,能够降低冗余所引入的延迟,提升系统响应速度以及处理效率。

4 结语

水电站监控系统对于电站安全且高效地运行而言,称得上是极为重要的一项保障,所以其容错设计以及性能优化便显得意义非凡。借助合理的硬件以及软件方面的冗余设置、通信容错的相关机制,再加上系统的自愈功能,能够在很大程度上提升该系统的可靠性与稳定性。与此通过对响应速度加以优化、提升数据处理与存储的效率、改善网络通信状况以及合理调度资源,可促使系统在处于高负荷状态以及面对复杂工况时依旧能够实现高效运行。科学合理的容错设计以及针对系统性能所开展的优化举措,一方面能够确保水电站监控系统在出现异常情况的时候仍可持续运行下去,另一方面也为电站的安全管理以及高效调度给予了强有力的支撑,进而为未来水电站监控系统朝着智能化、可靠化的方向发展打下了相应的基础。

[参考文献]

- [1]王甫志,贺玉彬,陶春华,等.水电站入侵监控视频数据扩容存储系统设计[J].电子设计工程,2024,32(14):143-148.
 - [2]邓年发.水电站闸门自动监控系统集成与容错技术研究[J].河南科技,2013(4):100-119.
 - [3]钟伟.水电站闸门自动监控系统集成与容错技术研究[J].河北水利,2007(10):25-26.
 - [4]唐杰阳,唐凡,杨东,等.水电站计算机监控系统综合智能告警研究[J].中国水利水电科学研究院学报(中英文),2022,20(4):377-385.
- 作者简介:王永林(1991.10—),男,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:技术员,职称级别:助理工程师。

水利水电工程施工中现代技术应用探讨

王永斌

定西市和源市政工程有限公司, 甘肃 定西 743000

[摘要]随着水利水电工程建设规模变得越来越大,其施工所处的环境以及自身结构的复杂程度也在一天天增加,在这样的情况下,现代技术在工程施工当中的运用就显得格外重要了。把现代技术引入到工程施工当中,一方面可以让施工的精度得到提升,施工的效率也能有所提高,另一方面在施工的安全管理、工程质量的控制以及工程的优化等方面也都发挥出了十分重要的作用。这篇文章着重围绕着水利水电工程的施工展开,全面且细致地探讨了多种多样的现代技术是如何应用的,经过对这些技术展开详尽的研究,希望能够给工程施工的管理者以及技术人员给予一定的参考价值,进而促使水利水电工程施工的现代化水平能够再上一个新的台阶。

[关键词]水利水电; 工程施工; 现代技术; 技术应用

DOI: 10.33142/hst.v8i9.17683

中图分类号: TV5

文献标识码: A

Exploration on Modern Technology Application in Water Conservancy and Hydropower Engineering Construction

WANG Yongbin

Dingxi Heyuan Municipal Engineering Co., Ltd., Dingxi, Gansu, 743000, China

Abstract: With the increasing scale of water conservancy and hydropower engineering construction, the complexity of the construction environment and its own structure is also increasing day by day. In this situation, the application of modern technology in engineering construction becomes particularly important. Introducing modern technology into engineering construction can not only improve the accuracy and efficiency of construction, but also play a very important role in safety management, quality control, and optimization of the project. This article focuses on the construction of water conservancy and hydropower projects, comprehensively and meticulously exploring how various modern technologies are applied. Through detailed research on these technologies, it is hoped that it can provide some reference value for construction managers and technicians, and further promote the modernization level of water conservancy and hydropower project construction to a new level.

Keywords: water conservancy and hydropower; engineering construction; modern technology; technology application

引言

水利水电工程是国家基础设施建设里极为重要的一部分,它跟防洪减灾、水资源调控以及能源供应有着紧密关联,还对区域经济发展以及生态环境保护产生着直接影响。随着工程规模变得越来越大、地形地质条件变得越来越复杂以及施工任务变得越来越繁重,传统施工技术和管理模式在精度方面、效率方面、安全方面以及信息化水平方面慢慢凸显出局限性,已经很难满足现代水利水电工程高质量建设的要求了。现代技术不断发展,这给水利水电工程施工带来了新的机会,借助高精度测量技术、远程感测以及无人机监测、智能化施工设备还有 BIM 信息化管理手段等等,能够达成对施工全过程的精准把控、实时监控以及科学管理,施工效率、施工质量以及安全水平都能得到明显提升。与此这些技术的应用不但能助力施工方案优化以及成本控制,而且还能为环境保护以及可持续发展给予技术方面的有力支撑。所以,全面深入地去探讨现代技术在水利水电工程施工中的运用情况,其意义不仅仅在于实践层面,对于推动工程建设朝着数字化、智能化以及

高质量发展的方向迈进,也有着十分深远的价值。

1 水利水电工程施工中现代技术应用的优势

在水利水电工程施工环节,现代技术的应用所呈现出的优势,重点在于提升工程精度、优化施工效率、降低安全风险以及推动绿色施工等方面。当引入高精度测量技术的时候,便能够达成对复杂地形、地质状况以及施工环境展开精确勘测并且实施实时监控的目的,进而为设计以及施工给予科学方面的依据,切实有效地防止因出现误差而引发的质量方面的问题。凭借智能化施工设备以及信息化管理平台,可以实现机械化、自动化以及数字化施工,大幅度提升施工效率以及资源利用率,并且还能减少人工操作所带来的不确定性以及安全隐患。远程感测、无人机监测以及 BIM 技术等的应用,使得施工全过程的可视化以及动态化管理变成可能,这既提升了工程调度以及管理的科学性,也为安全风险预警以及环境保护给予了强有力的支撑。现代技术的引入对于节能减排是有帮助的,可推动水利水电工程朝着绿色、可持续发展的方向迈进。所以说,现代技术不但是解决传统施工当中瓶颈问题的有效手段,而且还为水利水电

工程高质量建设以及未来的发展赋予了强大的动力。

2 水利水电工程施工中存在的主要问题

2.1 自然环境和地质条件的挑战

在水利水电工程施工期间,自然环境以及地质条件往往会构成颇为棘手的挑战,其主要呈现于施工环境复杂且多变、地质状况存在很强的不确定性以及自然灾害风险偏高等诸多方面。水利水电工程大多处于山区、峡谷或者河流交汇之处,这些区域地形极为险峻,施工通道也较为狭窄,这无疑给施工机械以及材料运输带来了极大的阻碍^[1]。与此地质条件时常会出现断层、溶洞、软弱土层亦或是岩层结构分布不均等情况,如此一来便很容易致使在施工过程中出现塌方、滑坡或者渗漏等诸多问题,进而使得工程质量与安全风险有所增加。除此之外,自然环境当中气候条件所具有的不稳定性,像暴雨、洪水、冰冻以及高温等等,同样会对施工进度以及施工安全产生直接的影响。

2.2 施工安全和环境保护的难题

以我国云南省的溪洛渡水电站为例,该工程是世界上最大的拱坝之一,位于金沙江中游。在溪洛渡水电站的建设过程中,由于工程规模巨大,施工现场的安全管理极具挑战。此外,由于该工程位于地质复杂的山区,工程施工还面临着地质灾害的威胁,如山体滑坡和泥石流。另一个例子是三峡大坝工程。三峡大坝是世界上最大的水利水电工程之一,其施工过程中不仅面临着复杂的技术和管理挑战,还要应对严峻的环境保护问题。在大坝建设期间,大量的开挖和建设活动对周边生态环境造成了影响,包括水质变化、生态系统破坏等。

2.3 项目成本和工期控制的挑战

在水利水电工程施工期间,项目成本以及工期控制一直属于影响工程顺利开展的关键要素,此类工程往往投资规模颇为可观、施工周期相对较长,并且所涉及的环节众多,技术方面的要求也比较高,其中任何一个环节出现失误,都有可能致使成本超出预算以及工期出现延误情况。在施工进程当中,材料价格存在波动情况、设备使用与维护费用有所增加,还有劳动力成本不断上升等状况,这些都会直接促使整体投资额度升高;与此复杂的地质条件、难以预料的自然环境变化,再加上设计变更以及协调工作不够顺畅等情况,也极易引发工期出现拖延状况,进而使得间接费用以及管理成本增加。并且,水利水电工程一般与地方经济、社会发展有着极为紧密的关联,如果工期出现延误,那么不但会造成经济损失,而且还可能给社会以及环境方面带来诸多压力。

2.4 传统施工技术的局限性

在水利水电工程开展施工之际,传统施工技术所呈现出的局限性重点体现在多个方面,像施工效率不太高、精度有所欠缺、信息化水平处于偏低状态,还有对环境的适应性也比较差等。传统技术一般依靠人工经验,并且使用的机械化程度比较低的设备,这没办法满足当下大型且复杂的水利水电工程对于高效率、高精度以及高安全性方面

的要求。在进行测量、监测以及施工控制相关工作的时候,传统方法在数据采集以及处理方面的速度是比较缓慢的,很难实时地反映出施工现场实际的状况,进而对决策的科学性产生了影响。与此传统施工技术在信息化以及数字化手段的应用上存在不足之处,这就导致工程管理当中依旧存在着信息传递不顺畅、协同效率较低等问题^[2]。当面临复杂地质条件以及恶劣自然环境的情况时,传统施工技术的适应能力是有限的,通常很难确保施工的质量以及施工进度能够得到保障。

3 现代技术在水利水电工程施工中的应用

3.1 高精度测量技术(如GPS和GIS)在水利水电工程中的应用

高精度测量技术在水利水电工程施工里有着极为关键的作用,它既有着基础性作用,又是起到支撑作用的关键所在。它的应用范围可不单单是传统的测量定位这么简单,而是贯穿了整个施工过程,从工程规划开始,一直到施工控制、质量监测,乃至后期的运行维护,都有它的身影。借助高精度卫星定位技术,在那种地形复杂的环境当中,能够实现厘米级甚至是毫米级的空间定位,给坝体轴线怎么布设、溢洪道高程怎么控制、引水隧洞走向确定、溢流坝段施工标高等这些关键环节都提供极为精确的数据,尽可能地把因测量误差而产生的施工偏差以及工程风险降到最低。在此情况之下,地理信息系统能把测量成果和地质条件、水文数据、施工进度还有环境监测信息整合到一起,并且能进行动态更新,进而形成一个统一的空间数据库,达成施工过程的可视化、数字化以及智能化管理。再加上无人机航测、三维激光扫描、水下测深以及地面激光测量等先进技术,高精度测量能够迅速生成高分辨率的数字地形模型、断面资料以及三维点云数据,这些数据能用于土石方计算、边坡稳定性分析、坝体沉降以及结构变形监测等方面,以此来提高工程质量控制以及安全管理的水平。与此依靠连续时序测量所开展的动态监控,能够揭示出结构位移、变形以及沉降的演变规律,给施工调整、风险预警以及科学决策给予可靠的依据。

3.2 远程感测和无人机监测技术在水利水电工程中的应用

远程感测以及无人机监测技术,在水利水电工程施工领域有着广泛的应用,并且具备十分重要的价值。其关键之处就在于达成施工区域高效的获取数据、动态的实施监控以及智能化的开展管理。远程感测技术借助卫星影像、多光谱还有高分辨率传感器,可针对工程区域的地形地貌、植被覆盖状况、水文变化情况以及地质灾害风险展开全面且连续的观测活动。所获取到的数据,一方面能够助力施工设计工作、规划选址事宜以及环境评价事项,另一方面还能给施工过程中土石方量的计算、边坡稳定性的分析、河道淤积的评估等方面给予科学方面的依据。而无人机监测技术,可以冲破传统人工勘测在复杂地形以及偏远区域

所存在的种种限制。通过搭载高清摄像头、激光雷达、红外热像仪以及多光谱传感器,对施工现场展开低空且高密度的数据采集操作,进而达成实时且精准的三维建模、断面分析以及动态监测目标^[3]。把高精度测量技术以及地理信息系统综合起来,无人机监测所获取的数据能够迅速生成数字地形模型以及施工进度可视化图表,如此一来便于施工管理人员开展实时调度工作以及施工质量把控事宜。

3.3 智能化施工设备的应用在水利水电工程中的作用

智能化施工设备于水利水电工程施工环节中起着极为重要的作用,其最为关键之处就在于借助自动化、信息化以及智能化的相关手段来促使施工效率得以提升,保障施工精度,并且强化施工过程中的安全管理事宜。现代的水利水电工程大多处于地形状况颇为复杂、施工环境极其恶劣的区域范围之内,在这样的情况下,传统的机械设备以及人工操作往往是很难去满足那种高精度、高效率以及高安全性方面的施工要求的,然而智能化施工设备的应用恰好就很好地解决了这一方面的瓶颈问题。像智能化挖掘机、装载机、混凝土泵送设备以及坝体浇筑设备等,它们凭借着自身所内置的传感器、定位系统以及自动控制系统,就能够达成对施工动作进行精确控制以及实现自动化操作的目的,如此一来便能够在很大程度上减少人工操作所产生的误差,与此同时还能提高施工的速度以及机械的利用率。在大型的土石方工程项目当中,智能化施工设备要是配合上实时监测系统的话,那么就能够依据施工的具体数据来自动地对作业参数做出相应的调整,进而实现针对边坡开挖、运输以及堆放等方面的精细化管理,以此来确保土方量以及结构尺寸能够符合精度方面的要求。智能化设备还能够和施工信息管理平台、BIM 模型以及测量监控系统相互联动起来,把施工的进度情况、设备的状态状况、作业的数据信息以及环境方面的信息实时地上传至相关平台,进而实现对整个施工流程的全流程数字化管理,这无疑能够让工程管理人员更加便捷地开展科学调度以及风险评估等相关工作^[4]。除此之外,智能化施工设备在安全管理这个方面同样有着十分突出的优势,通过其所配备的传感器以及报警系统,是可以实时对设备的运行状态、操作人员所在的位置以及危险区域等情况加以监测的,一旦发现问题,便能够及时发出警示并且自动对操作做出相应调整,如此便可降低施工事故的发生概率。与此智能设备在节能减排、材料的精确控制以及施工质量的监控等方面也都展现出了较为明显的优越性,进而为绿色施工以及可持续发展提供了有力的技术支撑。

3.4 BIM 技术在水利水电工程施工中的应用

BIM 技术于水利水电工程施工当中的应用,已然成为推动工程朝着数字化、信息化以及智能化管理方向迈进的关键手段。它的核心价值就在于借助三维建模、数据集

成以及信息协同等方式,达成施工全过程的精细化管理目标。凭借 BIM 技术,可以把设计、施工、监测以及运维等诸多阶段的数据予以高度集成,进而形成能够可视化的三维模型,以此直观地呈现出工程结构、施工流程、施工节点以及材料布置等情况,给施工方案的优化、施工进度的把控以及资源调度等方面都提供了科学且合理的依据。在施工阶段, BIM 模型能够和高精度测量、无人机航测以及智能化施工设备相互联动起来,实现像土石方计算、坝体浇筑、隧洞开挖还有边坡支护等这些关键工序的虚拟仿真以及动态管理。通过开展碰撞检测、施工模拟以及工序优化等相关工作,能够在一定程度上减少施工过程中出现的冲突以及设计变更情况,从而提升施工的精度与效率。与此 BIM 技术还能够实时地对施工进度、质量监测以及安全监控等方面的数据加以集成,为管理人员给予可视化的决策方面的支持,能够及时察觉到潜在的风险以及施工偏差,进而实现对施工风险的预防性控制。在工程运维阶段, BIM 模型甚至还能进一步延伸成为运维数据库,用来记录设施的结构参数、维护记录以及监测数据等内容,从而为后续的运行管理、检修计划以及安全评估等工作提供完整的信息链条。

4 结语

现代技术于水利水电工程施工的应用已然成为提高工程质量、施工效率以及安全管理水准的关键途径。高精度测量技术、地理信息系统、远程感测与无人机监测、智能化施工设备以及 BIM 技术的引入,既突破了传统施工方法在精度、效率及信息化层面的限制,又达成了施工全程的数字化、可视化与智能化管理。这些技术的应用不但优化了施工方案、提升了工程管理水平,而且在保证施工安全、控制成本以及推动绿色施工等方面都起到了颇为重要的作用。未来,伴随技术的持续发展以及集成应用的不断深化,现代技术将在水利水电工程施工中发挥出更加关键的作用,为达成高质量且可持续的水利水电建设给予稳固的支撑。

[参考文献]

- [1]邱海涛.水利水电工程施工中现代技术应用探讨[J].城市建设,2025(9):71-73.
- [2]刘恩资.水利水电工程施工中现代技术应用分析[J].工程与建设,2024,38(1):148-174.
- [3]梁荣,王华明,袁婷.混凝土施工技术在水利水电工程施工中的应用[J].工程建设与设计,2021(20):152-156.
- [4]张旭,李晓波.水利水电工程施工中 BIM 技术的应用[J].居舍,2021(18):51-52.

作者简介:王永斌(1988.9—),毕业院校:大连理工大学,所学专业:水利水电工程,当前就职单位:定西市和源市政工程有限公司,职称级别:中级。

新时期火电厂节能减排的问题和对策的研究

刘 鹏

华能山东发电有限公司白杨河发电厂, 山东 淄博 255200

[摘要]中国燃煤发电行业历经四阶段深刻变革,从早期排放量持续攀升,逐步转向污染缓和,最终迈入政策严控与超低排放改造新时期。截至2022年,全国实现超低排放的煤电机组容量突破10.5亿千瓦,占比高达94%,标志着污染治理取得阶段性成果。然而伴随环保标准不断提升,火电厂面临能耗持续上升的严峻挑战,脱硫系统电耗已占据机组发电量的1%至1.5%,成为制约行业绿色转型的关键瓶颈。在双碳目标约束下,探索兼顾排放控制与经济可行的节能减排路径,不仅关乎企业生存发展,更对构建清洁低碳能源体系具有战略意义。本文将基于脱硫技术演进与典型案例,系统剖析新时期火电厂节能减排的核心矛盾与破解之道。

[关键词]火电厂; 脱硫系统; 节能优化; 超低排放; 运行管理

DOI: 10.33142/hst.v8i9.17711

中图分类号: TK018

文献标识码: A

Research on the Problems and Countermeasures of Energy-saving and Emission Reduction in Thermal Power Plants in the New Era

LIU Peng

Baiyanghe Power Plant, Huaneng Shandong Power Generation Co., Ltd., Zibo, Shandong, 255200, China

Abstract: Chinese coal-fired power generation industry has gone through four stages of profound transformation, from continuous increase in early emissions, gradually shifting towards pollution alleviation, and finally entering a new era of strict policy control and ultra-low emission transformation. As of 2022, the capacity of coal-fired power units with ultra-low emissions in China has exceeded 1.05 billion kilowatts, accounting for as much as 94%, marking a phased achievement in pollution control. However, with the continuous improvement of environmental standards, thermal power plants are facing severe challenges of continuously increasing energy consumption. The electricity consumption of desulfurization systems has accounted for 1% to 1.5% of the unit's power generation, becoming a key bottleneck restricting the industry's green transformation. Under the constraint of the dual carbon target, exploring energy-saving and emission reduction paths that balance emission control and economic feasibility is not only related to the survival and development of enterprises, but also has strategic significance for building a clean and low-carbon energy system. This article will systematically analyze the core contradictions and solutions for energy-saving and emission reduction in thermal power plants in the new era based on the evolution of desulfurization technology and typical cases.

Keywords: thermal power plants; desulfurization system; energy-saving optimization; ultra-low emission; operation management

燃煤电厂污染物排放控制历经三次标准升级,形成倒逼技术革进的强制性驱动力。1996年实施的GB13223标准中SO₂排放限值高达1200mg/m³,至2014年超低排放政策将限值压缩至35mg/m³,降幅达97%。这一进程推动治理技术实现五阶段跃迁,从单纯的烟尘控制阶段起步,经烟气脱硫以新带老阶段、主动治理与上大压小阶段,最终进入以多污染物协同治理为标志的超低排放阶段,2020年后更延伸至涵盖汞、重金属及CO₂控制的后超低排放阶段。技术路线上,石灰石-石膏湿法脱硫凭借初始效率97%的优势成为主流,而通过旋汇耦合技术增强气液传质、单塔双pH值分区技术优化反应环境等创新,效率极限提升至99.7%。值得注意的是,2000至2023年间污染物排放呈现先增后降的倒U型曲线,PM_{2.5}、SO₂和NO_x排放拐点分别出现于2004年、2006年及2011年,印证了技术演进对环境治理的决定性作用。

1 火电厂节能减排技术发展现状

1.1 污染物排放控制技术发展

中国燃煤电厂污染物排放控制历经显著演变,其排放标准通过三次重大升级实现跨越式发展。早期GB13223—1996标准中SO₂限值高达1200mg/m³,至2014年发改委能源2093号文要求超低排放SO₂浓度需≤35mg/m³,跨度达97%的严苛化进程。这一进程由环保需求强力驱动,如图1所示环保需求推动的治理技术五阶段演进模式清晰展现:2003年前为单一烟尘控制阶段,2003—2008年进入烟气脱硫以新带老阶段,2008—2014年转向主动治理与上大压小阶段,2014年后全面进入超低排放阶段,2020年起更迈入涵盖汞、重金属及CO₂控制的后超低排放阶段。技术路线上,石灰石-石膏湿法脱硫凭借基础效率97%以上成为绝对主流,而通过旋汇耦合装置增强气液紊流、单塔双pH值分区技术优化反应环境等创新,

脱硫效率进一步提升至 99.7%，HJ 2301—2017 火电厂污染防治可行技术指南明确当入口 SO₂ 浓度 ≤ 10000mg/m³ 时，空塔双 pH 值组合工艺可实现 99.7% 的极限效率。值得注意的是 2000—2020 年间，中国燃煤电厂污染物排放呈现先增后降的倒 U 型曲线，PM_{2.5}、SO₂ 和 NO_x 排放拐点分别出现于 2004—2005 年、2005—2006 年及 2011 年前后，标志着治理技术从被动应对转向主动防控的根本性转变。



图 1 环保需求推动的治理技术五阶段演进

1.2 主流脱硫技术对比分析

当前主流脱硫技术呈现差异化应用格局，其选择需综合权衡入口烟气条件、空间限制与经济性三重维度。单/双塔双循环技术采用两极塔串联吸收模式，物理隔离的循环系统使其脱硫率高达 99.6% 以上，流场均匀性与操作稳定性突出，尤其适用于入口 SO₂ 浓度 ≥ 6000mg/m³ 的高硫煤改造项目，然而双塔配置导致投资成本增加 30% 以上且占地面积扩大 40%。旋汇耦合技术通过在吸收塔内增设旋流装置强化气液传质，在入口浓度 ≤ 3000mg/m³ 场景下可实现 99% 效率，但系统阻力增加至 2500Pa 以上，致使引风机电耗上升 15%~20%，低负荷工况下传质效率更衰减达 30%^[1]。单塔多区技术利用多孔分布器划分反应区域，相当于虚拟增加喷淋层，在空间受限改造项目中具有显著优势，但托盘结构的阻力损失使运行费用提高 10%~15%。如表 1 所示技术经济性对比揭示核心矛盾：高效技术往往伴随高投资或高运行成本，例如为实现入口 SO₂ 浓度 10000mg/m³ 的超低排放，空塔双 pH 值技术需将液气比提升至 25L/m³，直接导致浆液循环泵电耗占脱硫系统总能耗的 50% 以上。因此技术选型必须精准匹配入口参数，当浓度 ≤ 6000mg/m³ 时优选单塔双 pH 值技术平衡效率与经济性，而极端高硫场景则需承受双塔双循环的高成本换取 99.6% 的可靠效率。

表 1 脱硫技术经济性对比

技术类型	脱硫效率	系统阻力	投资成本	适用场景
单塔双循环	≥99.6%	低	高	高硫煤改造
旋汇耦合	98.5%	>2500Pa	中	中低浓度烟气
单托盘	98.5%	高	低	空间受限项目

2 新时期火电厂节能减排的核心问题

2.1 运行能耗问题

脱硫系统能耗集中于浆液循环泵、氧化风机及制浆球磨机三大核心设备，其电耗占比达机组发电量的 1%~1.5%，其中液气比控制粗放构成主要能效瓶颈。传统工频驱动浆液循环泵无法响应负荷波动，低硫时段仍维持 12~25L/m³ 的高液气比运行，造成 30% 以上的无效电耗。浆液参数失优进一步加剧能耗，当密度超过 1120kg/m³ 临界值时，浆液黏度上升导致循环泵电流显著增加，如图 2 所示密度与电流的正相关曲线表明密度每提升 10kg/m³ 电流上升 1.2A，而 pH 值波动超出 4.8~5.5 区间将降低石灰石溶解速率，迫使增加循环泵投运数量补偿效率损失。辅助系统设计冗余亦不可忽视，典型案例如真空皮带机独立密封水系统，其工艺水泵持续运行年耗电超 10 万千瓦时，而氧化风机在亚硫酸盐浓度不足时仍满负荷运转，无效电耗占比达 25%。更严峻的是系统阻力分布失衡，除雾器堵塞或托盘结垢可使局部阻力增加 500Pa 以上，引风机电耗相应提升 3%~5%。

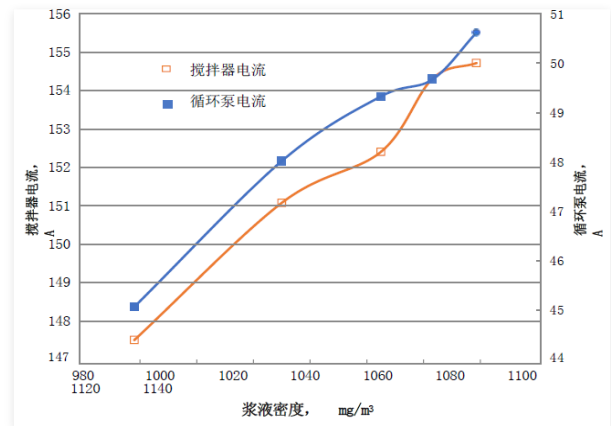


图 2 浆液密度对循环泵电流的影响趋势

2.2 技术应用瓶颈

高效脱硫技术推广面临物理空间与材料耐受性双重制约。在改造空间维度，双塔双循环技术需新增直径 12~15m 的吸收塔，但老旧电厂预留场地不足导致 30% 的技改方案被迫降级为单塔提效技术，牺牲脱硫效率 2~3 个百分点。材料耐受性矛盾在脱硫剂替代领域尤为尖锐，电石渣作为廉价替代品虽降低原料成本 40%，但其浆液中含 SiO₂ 等硬质颗粒浓度达 1g/kg，造成浆液泵叶轮磨损速率加快 5 倍，同时电石渣中 Cl⁻ 含量高达 1g/kg 诱发脱水困难，石膏含水率从 10% 升至 15% 以上^[2]。此外技术创新面临工程化障碍，如磁悬浮风机需空气绝对含尘量 < 1mg/m³，但电厂环境普遍超标 3~5 倍，限制其在 50% 以上项目的适用性。

2.3 经济性与环保协同问题

超低排放要求催生运行经济性与环保合规性深层冲

突。为满足排放红线，330MW 机组需将出口 SO₂ 浓度控制在 15.6mg/m³ 的苛刻水平，迫使浆液循环泵频繁启停调节液气比，设备故障率由此增加 40%。反之若放宽至 25.6mg/m³ 的管控阈值，循环泵启停频次可减少 50% 但面临环保考核风险。脱硫剂成本控制同样陷入两难，石灰石纯度需 >90% 方能保障脱硫效率，但其价格达电石渣的 8 倍，而廉价电石渣中 Cl⁻ 引发的腐蚀问题使设备寿命缩短 30%，维修成本反增 25%。更突出的矛盾在于资源循环利用技术推广受阻，宿州电厂原水污泥回用虽年省石灰石 3065t，但污泥含 Fe²⁺/Mg²⁺ 超过 1.5% 即引发吸收塔浆液起泡溢流，被迫增加消泡剂使用量导致综合成本上升 10%。

3 火电厂节能减排优化对策

3.1 运行优化策略

烟气系统通过配煤掺烧严格控制入炉煤硫分稳定性，确保其处于脱硫系统设计硫分范围内，同时为增压风机或引风机加装调速装置，辅以系统漏风治理、除雾器及托盘定期清洗、烟道流场优化等综合措施，显著降低系统阻力。吸收塔系统则聚焦三项核心改进：首先实施循环泵与 pH 值的耦合控制策略，采用变频调速技术动态调节浆液循环量，并优化单泵运行时的备用泵联动逻辑与事故喷淋系统可靠性；其次依据亚硫酸盐浓度对氧化风机进行间歇启停控制，同步对 AFT 塔或二级塔上层搅拌机采取长期停运结合定期试运的模式；最后将吸收塔

液位精准维持于低于溢流口 1.5~2m 区间，浆液密度稳定控制在 1080~1120kg/m³ 范围内，避免密度接近 1120kg/m³ 上限导致循环泵电流骤升。尤为突出的是浆液循环泵运行电流与吸收塔液位和浆液密度的强关联性，保持高液位低密度运行可显著降低电耗。水平衡优化方面，如表 2 所示，通过石膏旋流器溢流液回用于石灰石制浆、除雾器与滤布冲洗，将湿除冲洗水、泵机封水回收利用，同时把脱硫废水引入冲渣水系统处理，实现工艺水消耗量减少 30%，有效解决低温换热装置导致的水平衡失调问题。

3.2 高效节能技术应用

永磁调速与变频改造技术通过调节浆液循环泵转速实现液气比精细控制，某 330MW 机组应用后循环泵电流下降 25%，如图 3 所示，配合 pH-转速耦合模型可将出口 SO₂ 浓度波动范围缩窄至 5mg/m³ 内，既避免设备频繁启停损耗，又达成压红线运行的节能目标。悬浮风机替代方面，福州电厂 2×660MW 机组将氧化风机从罗茨式更换为空气悬浮式，运行功率由 325kW 降至 150kW，电流从 28~30A 降至 220-230A，节能率达 50% 以上；而磁悬浮风机凭借主动磁轴承与高速永磁电机直驱技术，进一步实现无油零摩擦运行，但其高昂轴承成本制约规模化应用。需注意的是，空气悬浮与磁悬浮技术虽大幅降低振动噪音和维护成本，却对空气质量要求严苛，启停阶段需防范被启动悬浮轴承的瞬时摩擦风险。

表 2 天津脱硫系统水平衡优化方案

项目	单位	BMCR		50%BMCR		
		改造前	浆液冷凝	改造前	浆液冷凝	
系统进水	脱硫入口烟气温度	°C	140	140	135	135
	脱硫出口烟气温度	°C	55	55	54.4	54.4
	烟囱入口烟气温度	°C	55	44.9	54.4	44.9
	烟气冷凝液水量	t/h		64.7		32.35
系统出水	原烟气含水	t/h	84.74	84.74	42.37	42.37
	制浆水	t/h	12	12	7	7
	真空泵、滤布水溢流	t/h	6	6	3	3
	滤布冲洗水及密封水	t/h	1.5	1.5	0.5	0.5
	除雾器冲洗水	t/h	25	25	25	25
	管道冲洗水	t/h	1.5	1.5	1.5	1.5
	湿除冲洗冷凝水	t/h	3t	3t	3t	3t
	总计	t/h	130.74	130.74	79.37	79.37
系统出水	净烟气带水	t/h	164.11	99.39	82.05	49.70
	石膏结晶水	t/h	1.5	1.5	1.5	1.5
	脱硫废水排放	t/h	10	10	10	10
	总计	t/h	175.61	110.89	93.55	61.2
补水量	t/h	41.87	-19.85	14.18	-18.17	
不平衡量	t/h		-19.85		-18.17	

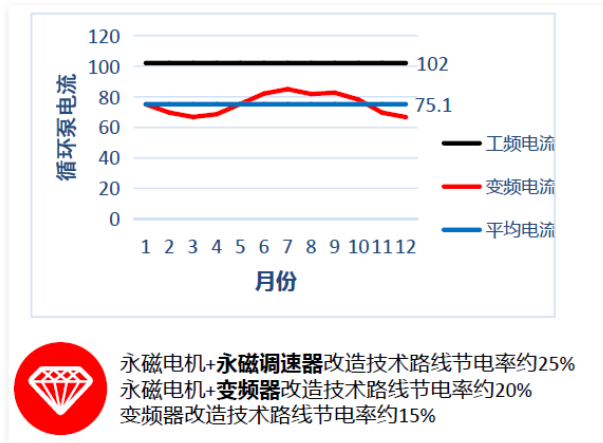


图3 浆液循环泵变频改造前后电流对比

3.3 脱硫剂替代与资源循环利用

电石渣作为氯碱工业副产品，以 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 为主要成分，其高溶解性与强活性可提升脱硫反应速率，宁夏某厂应用表明吨脱硫成本降低 40 元，每吨二氧化硫减排伴随 0.69t CO_2 减排效益。然而电石渣浆液中砂石、碳粒等硬质颗粒物加速管道磨损，且 Cl^- 含量达 1g/kg、COD 值偏高导致脱水困难与石膏孔道堵塞，需增设砂石过滤装置并强化防爆管理^[3]。造纸白泥则富含 80%~90%的 CaCO_3 ，细度满足 325 目占比 91%的标准，其化学活性优于石灰石，苛化工艺产生的白泥可直接用于脱硫，实现造纸与电力污染双向治理。宿州电厂创新性回用原水净化污泥，年减少石灰石消耗 3065t，日均节约 8.37t，石膏纯度稳定于 92%，但污泥中 $\text{Fe}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ 及有机物易诱发浆液起泡溢流，要求含量严格控制在 1.5%以下以确保系统稳定。

3.4 智能化升级路径

构建一体化运维管控智能环保平台，基于过程工业大

数据实现四维功能突破。智能压线运行模块通过机组负荷与硫分预测模型，动态调节浆液循环泵转速，使净烟气 SO_2 浓度稳定压近 35mg/m³ 红线；预知性维护模块依托搅拌机器电流、循环泵振动等参数异常诊断，提前识别设备亚健康状态；氧化风量自控模块则建立烟气流量、进出口 SO_2 浓度及浆液 pH 值等多变量与导叶开度的动态关系模型，实现全负荷工况自动调节^[4]。该平台深度融合标准化管理流程与精细化调整策略，推动环保设施向无人操作少人值守模式转型，例如智能定期切换功能可自动启停 AFT 塔搅拌机，而水平衡智能分析系统实时优化废水回用路径，最终形成监测预警-优化控制-决策反馈的闭环运维体系。

4 典型案例分析与管理建议

4.1 龙源环保节能减排实践

对标管理成效方面，龙源环保通过精细化运行与技术革新实现显著节能降耗。2021 年中电联燃煤电厂环境污染第三方治理脱硫脱硝生产指标绩效对标数据显示，其脱硫耗电率仅为 0.89%，较行业均值 1.38%降低 36%；还原剂耗率 0.33kg/kg，较行业均值 0.38kg/kg 下降 13.16%，如图 4 所示。肇庆电厂创新性实施磨机筒体衬板再利用工程，将磨损较轻的第一二级提升条调换方向使用，单次节约成本约 35 万元，充分体现资源循环利用的经济价值。

宿州电厂原水污泥回用项目通过将中水处理系统产生的含 CaCO_3 污泥（成分占比 80%~90%）掺入石灰石浆液，实现脱硫效率稳定维持在 99.2%，石膏纯度达 92%。该项目年减少石灰石消耗量 3065t，日均节约 8.37t，有效降低原料成本与固废处置压力。然而污泥中 $\text{Fe}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ 及有机物含量需严格控制在 1.5%以下，否则易引发吸收塔浆液起泡溢流现象，此为该技术规模化应用的核心制约因素。



图4 龙源环保 2021 年脱硫对标指标优势分析

4.2 标准化管理体系建设

运行标准化体系以“两票三制”为核心框架,通过制定标准操作票、标准巡检卡及规范化台账模板,实现操作流程刚性约束。例如浆液 pH 值控制范围精确设定为单循环 4.8~5.5、双循环 4.5~6.5,密度波动区间压缩至 1080~1120kg/m³;同步推行小指标竞赛机制,将 pH 值偏差、浆液密度合格率等参数纳入考核,驱动运行人员主动优化操作。

全生命周期节能管理覆盖设计、运行至报废阶段:设计端优先采用复合塔技术降低液气比;运行阶段通过氧化风机母管制改造、AFT 塔浆液自流返回吸收塔等优化措施减少能耗;报废环节如肇庆电厂对磨机衬板实施定向再利用,形成“监测参数异常→优化运行策略→实施技术改造→回收废旧材料”的闭环管理链条,系统性提升资源利用效率。

5 结语

火电厂节能减排已进入深度攻坚期,需从技术应用、运行管理及资源循环三维度构建系统性解决方案。研究表明,精细化运行策略可使脱硫电耗降低 20%以上,永磁调速与变频技术对浆液循环泵的改造实现 15%~25%节电率,悬浮风机替换传统罗茨风机更可削减氧化风机电耗 50%。资源循环利用展现显著经济与环境双重效益,宿州电厂原

水污泥回用技术年减少石灰石消耗 3065t,电石渣脱硫工艺每吨减排二氧化碳 0.69t。标准化管理体系的建立尤为关键,龙源环保通过两票三制与小指标竞赛,使脱硫耗电率较行业均值低 36%,还原剂耗率下降 13.16%。未来突破方向在于深化智能化技术应用,构建基于负荷预测的压线运行模型,推动脱硫副产物高值化利用,最终形成节能降耗、污染减排、碳足迹控制三位一体的新型火电运营范式。

[参考文献]

- [1]陈文智.火电厂热动系统的节能优化与减排策略[J].大众用电,2025,40(2):33-34.
- [2]张文贤.火电厂脱硝设备管理与节能减排的协同研究[J].电力设备管理,2025(8):269-271.
- [3]吴悦,门敏刚,何龙龙.基于系统动力学的煤炭供应链节能减排路径分析[J].煤炭工程,2025,57(4):202-209.
- [4]杨小宁.火电厂热动力工程中的节能技术研析[J].电力设备管理,2025(8):260-262.

作者简介:刘鹏(1991.11—),男,毕业于哈尔滨工业大学,本科学历,专业:计算机科学与技术,就职于华能山东发电有限公司白杨河发电厂,职务:值长,年限1年,目前职称工程师。

三维设计在架空输电线路中的应用

肖雨桐

沈阳电力勘测设计院有限责任公司, 辽宁 沈阳 110025

[摘要]在电力系统正经历从以往以集中发电为主的模式转向含有大量新能源的复杂体系这样一种转变的大背景之下,输电线路特别是那些长距离跨区域的架空输电线路,担负起了能源空间重构的关键任务。面对着复杂的地形状况、复杂的施工场景,再加上对于建设周期以及运维成本这两方面的严格约束条件,传统的二维设计方法在信息的表达能力以及跨专业的协同配合方面,都明显地呈现出诸多不足之处。而三维设计凭借其能够完整地表达空间信息以及跨专业的协同配合能力,还有能够将工程细节以可视化的形式予以还原的优势,受到了人们的广泛关注。文中结合工程实践情况以及对相关文献进行细致梳理之后,围绕原理、软件、应用场景以及综合效益等方面展开系统阐述,希望能够为工程设计单位以及研究机构给出一个较为完整的参考框架,从而有助于推动架空输电线路设计朝着数字化转型的方向迈进。

[关键词]三维设计; 架空输电线路; 三维建模; 数字化运维

DOI: 10.33142/hst.v8i9.17705

中图分类号: TM75

文献标识码: A

Application of 3D Design in Overhead Transmission Lines

XIAO Yutong

Shenyang Electric Power Survey & Design Institute Co., Ltd., Shenyang, Liaoning, 110025, China

Abstract: Against the backdrop of the power system undergoing a transformation from the traditional centralized power generation mode to a complex system containing a large amount of new energy, transmission lines, especially those long-distance and cross regional overhead transmission lines, have taken on the key task of energy space reconstruction. Faced with complex terrain conditions and construction scenarios, coupled with strict constraints on construction period and operation and maintenance costs, traditional two-dimensional design methods have obvious shortcomings in terms of information expression ability and cross disciplinary collaboration. 3D design has attracted widespread attention due to its ability to fully express spatial information and the advantage of visualizing engineering details. After combining engineering practice and carefully reviewing relevant literature, the article systematically elaborates on principles, software, application scenarios, and comprehensive benefits, hoping to provide a relatively complete reference framework for engineering design units and research institutions, which helping to promote the digital transformation of overhead transmission line design.

Keywords: 3D design; overhead transmission lines; 3D modeling; digital operation and maintenance

架空输电线路是电力系统的重要组成部分,在输电线路的设计上来讲,相较于传统的输电线路而言,三维设计在输电线路的应用大大提高了生产力,其设计理念将环保理念、可持续发展理念以及和谐发展理念有机的融合起来,提高了设计质量,同时具有可视化与数字化的特点。不仅推动了设计技术的进步,还实现了构建数字化电网、对施工过程中进行三维仿真,从而提高施工效率的重要作用。

1 三维设计技术概述

1.1 三维设计的基本原理

三维设计最为关键之处在于其以空间几何作为根基,把地形、地质、杆塔还有导线等诸多构件一同融入到一个三维坐标系当中,借此达成在空间受到约束情况之下的相互检验以及在多种工况下展开仿真的目的。该体系着重于数据链的完整无缺,具体涵盖了地形数据的获取工作、利用点云或者激光雷达来开展三维采集操作、依据悬链线原理对导线进行重建处理以及对杆塔结构采用构件化的

表述方式等方面^[1]。当把工程实体予以数字化处理,并且按照工程所具有的语义赋予相应的属性之后,设计者便可以在虚拟构建起来的环境里提前将施工以及运维的实际场景还原再现出来,从而能够察觉到潜在存在的各类风险,进而对设计的各项参数做出相应调整。需要明确指出的是,三维设计绝不仅仅是单纯地让图形呈现出三维的效果,实际上它是一种由数据推动的流程重新塑造的方式,同时也是使设计质量的管控得以向整个生命周期的方向去延伸的一种途径。

1.2 主流三维设计软件及其功能

当前在输电线路三维设计当中常用到的软件大致可分成三类。其一是以点云以及地形处理作为主要功能的测绘与三维重建工具,其二是以结构计算还有有限元分析当作核心内容的工程仿真平台,其三是面向工程协同以及BIM整合的综合设计环境。测绘与三维重建工具在处理无人机激光点云以及航空影像方面较为擅长,能够生成高

精度的地形表面,并且还支持数据配准。工程仿真平台能够开展杆塔受力分析、风振响应方面的分析,还能进行导线弧垂与温度效应的仿真操作。而 BIM 化的协同环境会提供属性管理、构件模型族、版本控制以及多专业接口等相关功能,以此来支撑设计变更以及数据下发等工作。常常会把多种类别的软件借助数据中间格式来进行耦合,进而达成设计闭环的目的。应用时常见的一种工作模式是,先是进行高精度地形建模的操作,接着在这一基础之上开展杆塔布设以及导线悬链线重建的工作,之后再展开结构与电气校核方面的相关事宜,最终完成施工图的生成以及移交模型的相关工作。

2 三维设计在架空输电线路中的具体应用

2.1 地形与地质建模

地形精度在很大程度上决定了导线以及杆塔布置的最初边界范围。三维设计会借助激光点云处理、航空影像解析还有地面测量数据融合等方式来构建出较为精细的数字地形。对于那些地形复杂的山地以及峡谷区域而言,三维模型能够极为真实地还原出坡度、断层带以及跨越河谷的立体关系,进而对多方案的杆塔定位以及跨越策略给予有力支持^[2]。在具体的操作方法方面,通常会采用点云滤波、TIN 三角网重建以及地表坡度分区等一系列技术步骤,并且针对关键截面还会采用细致的地质剖面叠加方式,如此一来便能够针对桩基类型以及基础处理给出具有一定工程性的相关建议。这里值得一提的是,那种基于悬链线的穿地校核方法能够在很大程度上有效地发现三维模型当中存在的导线穿地错误情况,这种方法是依靠导线等间距取点以及地面高程对比这样的算法来直接降低模型与现场出现不一致状况所引发的返工风险的。而该方法所具有的工程价值已经在相关的专利以及实际应用当中得到了很好的体现。

在地形数据的来源以及时效性方面,设计单位应当优先选用近几年所采集的数据,并且要明确标注出采集的时间以及精度情况。原因在于,地形自身以及人为改造所产生的变更情况,会对长期开展的工程的可靠性产生影响。从实际操作的角度来讲,在项目的各个关键阶段,可以采用无人机点云的方式进行复测,以此来确保设计模型和现场状况能够保持高度的一致性。将无人机巡检技术同点云自动识别技术相互结合起来,能够让三维模型的更新工作变得更加便捷而且更具经济性,同时还能在施工阶段以及运维阶段持续地对风险识别起到有力的支持作用。

2.2 杆塔结构优化设计

杆塔属于输电线路的主要承载构件,在对其进行结构优化时,一方面需要满足承载以及稳定性的相关要求,另一方面还要顾及材料消耗情况以及施工的便捷程度。借助三维设计方式,可将杆塔构件以参数化模型的形式予以存储,如此一来,便能凭借由参数驱动所形成的族库,在不

同场地条件之下迅速生成多种不同的替代方案,并且可以通过开展有限元分析来对杆塔在遭遇风荷载、冰荷载以及组合工况时的应力与位移分布状况加以评估。参数化设计有着这样的一个优点,即能够把结构优化这一问题转化成在参数空间当中展开搜索的问题,进而结合遗传算法或者梯度法来实现快速求解,最终在确保满足安全系数要求的基础之上达成材料的最优配置效果。

在实际的工程项目当中,运用三维参数化族以及模块化预制构件这样的设计思路,能够在很大程度上缩减施工所花费的时间周期,并且能够有效地降低现场组装环节的难度。特别是在那些地处偏远且环境复杂的地段,预制化所能够带来的物流方面的便利以及安全方面的益处是十分突出的^[3]。对于存在跨越河谷情况并且高差比较明显的区段而言,三维软件能够在真实的地形之上直接对塔位的布设情况以及牵张施工的路径进行模拟操作,如此一来便可以削减设计阶段与施工阶段之间相互摩擦所产生的成本。近些年来,随着基建投资额度的增长,杆塔类设备的招标金额出现了较为显著的上升态势,整个行业在杆塔设计以及供应链这两个方面都呈现出一种规模化的趋势走向。

2.3 导线力学仿真与弧垂计算

导线属于柔性构件,其静力学方面所呈现出来的行为从根本上来讲是依据悬链线理论来加以描述的。温度、张力、风荷载还有冰荷载等诸多因素掺杂在一起,最终共同确定了导线弧垂以及张力的变化情况。三维设计系统把悬链线计算融入到三维场景当中,进而达成导线在真实地形以及杆塔发生位移这种情形下所进行的三维重建操作,同时针对不同工况展开在线仿真的工作。如此一来,在设计阶段就能够较为直观地去判断导线是否能够符合安全间隙的要求,而且在施工牵张的过程里还能够给出实时的张力控制策略,借此来削减因吊装与牵张误差所产生的安全隐患。在仿真期间,一般而言是需要将材料温度系数、导线自重系数以及跨中风振引发的动态放大效应等这些因素都考虑进去的,凭借对这些因素展开的多工况仿真,能够使得设计的鲁棒性获得大幅度的提升。多工况仿真在穿越公路以及铁路这类关键通道的时候显得格外重要。毕竟这类通道的安全间隙余量是比较小的,要是设计过程中对弧垂有所低估或者没把风振影响放在眼里,那极有可能会引发严重的后果。借助三维仿真,同时结合自动化碰撞检测算法,便能够在模型构建阶段就提前察觉到潜在的风险,进而降低施工现场出现调整的情况,让工程整体的可控性得以提升。相关的多工况仿真方法,在实用专利领域以及行业研究当中都已经获得了较为广泛的推广与应用。

2.4 电气间隙校验与碰撞检测

三维模型有着这样的核心价值,那就是能把电气间隙校验以及空间碰撞检测实现自动化。以往,这类校验得依靠二维剖面并且借助人工来计算,如此一来便存在着检出

率比较低、人工成本颇高的种种缺陷。可有了三维模型之后，在真实地形以及杆塔变形所产生的影响之下，就能够直接把各类绝缘间距还有电晕影响区给量化出来，并且还能开展碰撞检测工作。特别是在那些有多回路或者和其他地上物相互交叉的复杂通道当中，三维检测所给出的风险判定要比二维更加直观，同时也更为精确。自动碰撞检测模块一般是以构件包围盒又或者是精细网格当作基础，借助布尔运算或者空间索引的方式，可以迅速地去识别出潜在的冲突点，并且会把冲突信息跟属性数据联合起来呈现出来，这样就方便设计人员针对具体情况来调整杆塔的高度、相距或者是导线的高度了。三维校核于提升审图效率所做出的贡献同样颇为显著。其消减了因人工翻阅诸多图纸而可能出现的信息流失的风险，而且还能够凭借图形化的呈现方式，有效地向施工单位以及审批机构阐述工程设计方面的意图，进而促使沟通效率得以提升，同时让设计可视化的可信程度也有所增益。

3 三维设计的综合效益分析

3.1 提升设计精度与效率

三维设计能够完整且清晰地呈现空间信息，并且借助自动化校核的方式，让设计精度得以大幅度提高，有效消减了因信息转换以及人工绘图而产生的各类误差来源。参数化建模以及族库的应用，对于重复性工作有着极为明显的效率提升效果，这使得相同类型构件在开展多方案比较时，从时间成本方面来看更具优势。在实际操作过程中发现，于复杂地形的区段当中，运用三维建模和无人机点云复测的方法，可让设计阶段的返工率大幅降低。这样的效率提升一方面体现在设计周期有所缩短，另一方面则体现在后期审图以及施工沟通成本出现下降的情况。

3.2 降低工程全周期成本

从整个生命周期的角度来讲，三维设计所具有的价值并非仅仅体现在前期设计阶段能够节省时间这一点上，它更为关键的价值在于能为施工组织、材料配置以及运维计划给予具有前瞻性的有力支撑。在项目建设进入到高峰期的时候，由于电网投资规模不断得以扩大，所以工程效率以及成本控制便成了行业重点关注的对象。就国家层面的相关数据来看，在近些年当中，电网投资一直处于持续增长的态势，而且国网以及南网在多个年度里都增加了在设备以及线路方面的投入力度，这也促使工程设计朝着更加高效且更加容易把控的方向去发展，以此来与投资节奏相匹配。三维设计能够凭借减少现场出现变更的情况、缩短施工所用的周期以及降低检修方面的投入等优势，在较长一段时间内达成较为显著的成本回收效果。

3.3 增强多专业协同能力

输电工程属于一项多专业紧密耦合的系统工程，在设计阶段，土建、结构、线路、电气以及通信等各个专业之间需频繁地交换信息。三维模型能够充当共享数据平台的

角色，其可承载各专业的属性信息，并且支持版本控制以及权限管理相关事宜，如此一来便可在一定程度上减少跨专业沟通过程中出现的失真情况。在实际操作当中，运用三维协同平台之后，图纸变更的传递速度得以加快，工程冲突的识别也更为精准了，而且在移交阶段还能够把三维运维模型当作数字底册直接移交给运维单位，进而提升资产管理方面的连续性。从发展趋势来看，未来的诸多工具会更侧重于数据互操作性以及开放标准的兼容性方面，以此来进一步提高生态系统内各类软件的协同工作效率。

3.4 支持数字化移交与运维

在运维这个阶段，三维模型可同巡检数据、缺陷数据库还有物联网所采集的数据加以融合，进而达成基于位置来对缺陷予以追踪以及给维修决策给予支持的目的。无人机巡检所生成的影像以及点云能够径直和已有的三维模型完成配准，进而形成一种“基准模型加上增量观测”的运维模式，以此提升故障定位以及判断的速率。在未来要构建的智能运维框架当中，三维数字模型一方面充当着资产的数字孪生体，另一方面也是实现预防性维护以及状态评估的关键基础。此路径和行业里已经存在的诸多研究以及应用试点是相互能够印证的，展现出了颇为不错的工程推广方面的价值。

4 结束语

本文全面且细致地整理并分析了三维设计于架空输电线路设计及运维方面的实际应用情况，同时参照专利领域、行业相关研究以及行业投资方面的最新动态，着重指出了三维设计在地形建模环节、杆塔优化环节、导线仿真环节以及电气校核环节等一些关键环节所具备的工程价值。从学术层面来讲，作者秉持的观点是应当始终坚守工程数据能够追溯到源头的特性以及工程伦理原则，也就是说，在大力推广数字化工具的时候，务必要同步强化针对数据采集方面的规范性要求以及质量把控措施，以此来切实保证由模型驱动所做出决策的可靠性。具体而言，相关的建议内容涵盖了构建起统一的三维族库标准体系、推行实施定期开展的模型复测工作机制，还有在工程合同当中清晰明确三维模型所涉及的法律责任以及移交操作规范等方面。

[参考文献]

- [1]童圣凯,杨俊武,童小寒,等.架空输电线路三维立体影像巡检技术的应用研究[J].山西电力,2025(1):31-35.
 - [2]潘健,袁成胜,陆丽娟,等.基于三维激光扫描技术的架空输电线路点云数据提取[J].光源与照明,2025(5):206-208.
 - [3]吕严兵,方毛林.无人机航测数据在架空输电线路三维设计中的应用[J].电力勘测设计,2021(10):62-66.
- 作者简介：肖雨桐（1991.9—），毕业院校：沈阳建筑大学城市建设学院，所学专业：土木工程，当前工作单位：沈阳电力勘测设计院，职务：设计师，职称级别：工程师。

大功率低压电机供电用变压器的选择与探讨

郁乐

许继变压器有限公司, 河南 许昌 461000

[摘要] 大功率低压电机供电所使用的变压器,其科学合理的选型对于电力系统的安全稳定运行以及能效经济性有着极为重要的影响。文中全面且细致地探讨了诸如变压器容量匹配情况、电压等级的选择事宜、短路阻抗的具体确定等方面关键参数的分析办法,同时对能效标准、经济运行所处的区间、冷却采用的方式以及全生命周期成本评估等关乎运行经济性的诸多因素展开深入剖析,并且详尽阐述了安装所处的环境状况、保护方面的配置情况以及状态监测等相关运行维护方面的要点,以此为大功率低压电机供电用变压器的合理选择以及优化运行给予相应的理论依据与实践方面的指导。

[关键词] 大功率低压电机; 供电变压器; 容量选择; 能效分析; 经济运行

DOI: 10.33142/hst.v8i9.17701

中图分类号: TM412

文献标识码: A

Selection and Exploration on Transformers for High-power Low-voltage Motor Power Supply

YU Le

Xuji Transformer Co., Ltd., Xuchang, He'nan, 461000, China

Abstract: The scientific and reasonable selection of transformers used for high-power low-voltage motor power supply has a significant impact on the safe and stable operation of the power system, as well as energy efficiency and economy. The article comprehensively and meticulously explores the analysis methods of key parameters such as transformer capacity matching, voltage level selection, and specific determination of short-circuit impedance. At the same time, it deeply analyzes many factors related to operational economy, such as energy efficiency standards, the range of economic operation, the cooling method used, and the assessment of the full life cycle cost. It also elaborates on the environmental conditions of installation, the configuration of protection, and the key points of operation and maintenance related to status monitoring. This provides theoretical basis and practical guidance for the rational selection and optimized operation of transformers for high-power low-voltage motor power supply.

Keywords: high-power low-voltage motor; power supply transformer; capacity selection; energy efficiency analysis; economic operation

工业电力系统里面,变压器属于电能转换的关键设备,其选型是否科学合理,会对整个系统的稳定且高效的运行产生直接的影响,在大功率低压电机供电的场景下,变压器选型得综合考量负载特性、能效经济性、安装环境以及运行维护等诸多方面的因素,随着节能变压器产品不断地进行开发,S11、S13、S15等新型节能变压器接连出现,其中S13型变压器凭借出色的性能效率以及安全稳定性,已经获得了广泛的应用。科学选型实际上是一个追求全生命周期成本最优解的决策流程,精准匹配的变压器系统能够节省运行成本,而且还能生产线的扩张预留出动能空间。

1 变压器选型的基本要求

变压器选型需综合考量诸多方面,若忽视了其中的任意单一因素,那么就极有可能出现运行方面的各类问题以及潜在隐患。负荷的精准测算构成了选型工作所要遵循的基础,这就要求把所有设备的额定功率都统计起来,并且要区分清楚连续运行和间歇负载这两种不同的特性,与此通常情况下使用的系数会取0.6~0.8这样的范围,对于负载率而言,一般建议将其控制在85%以下。就好比当实际负荷达到2000kVA的时候,那么选择2500kVA的变压器是比较适宜的做法。就某机械厂而言,其选用的是

3150kVA的变压器,然而经过实测发现,其实际负荷仅仅只有1800kVA,如此一来,该厂每年就会多支付高达7万元的空载损耗费用。这个案例能够十分有力地说明科学合理地进行选型工作的重要意义所在。

负载特性对变压器适配方案有着决定性的影响。整流设备要想抵抗谐波干扰,就需要选用高阻抗变压器;大功率电机群在面临启动冲击的时候,其变压器容量得放大15%才行;精密仪器车间为了稳定电压,就得配置有载调压装置^[1]。把能效等级优先这一原则当作基本遵循是很有必要的。就拿新国标来说,一级能效的SCB18型变压器和三级能效的SCB13型相比,其空载损耗要低40%。以2500kVA的变压器来估算的话,一级能效每年能节省的电费可是超过10万元的。

物理空间适配性常常会被忽视,然而它的重要性却不言而喻,在选型的时候要提前对尺寸重量参数加以规划,要去测量变压器室门的尺寸,要核查厂区的转弯半径,要确认配电室楼板的荷载每平方米不低于10t。在认证方面,需要有ISO9001认证、国家能效标识以及CQC认证,其中关键测试报告尤其是突发短路承受能力试验和温升试验必须要严格审查,户外安装则要求防护等级达到IP54

以上。

2 关键参数分析与选择

2.1 容量匹配与负载特性

容量匹配在变压器选择方面属于极为关键的环节,它和运行效率以及经济性有着紧密的关联。依照电力工程设计手册所给出的内容来看,在为平稳负荷供电的时候,单台变压器的负荷率往往会被设定在 85%左右这样一个程度。其容量具体能够通过将用电设备的总容量与同时率相乘之后,再把所得结果除以功率因数和效率二者乘积的方式来加以计算得出。大功率电机在启动之时所出现的电流冲击情况属于极为关键的因素。通常来讲,电动机的启动电流能够达到其额定电流的 4~7 倍之多。就直接启动这一方式而言,电动机的最大容量最好不要超出变压器容量的 30%。对于 355kW 的电机来讲,适宜选用 630kVA 的变压器与之搭配。该变压器的额定输出电流为 907.2A,倘若再考虑到效率大致处于 0.8~0.9 这样的范围,那么其实际输出电流就会是 816.48A,如此一来便可以充分满足 355kW 电机在工作期间的各项需求了。

2.2 电压等级与调压方式

电压等级的匹配属于基础方面的要求,要依据电网所处的电压状况以及用户的实际需求来确定初级电压与次级电压的具体数值。低压三相四线制系统能够同时满足电力供应以及照明用电的需求,具备一定的经济性与实用性。当存在特殊电压转换方面的需求,比如要把 156V 的低压电源转换成 400V、415V 或者 380V 这样的更高电压时,那就得去选用专用的升压变压器了^[2]。电压波动范围可作为调压方式选择的依据,GB12325-90 规定 10kV 及以下三相供电电压允许偏差为额定电压的 $\pm 7\%$,分接开关一般采用 $\pm 5\%$ 或 $\pm 10\%$ 的调压范围来适应电压波动,新能源系统如光伏发电、储能系统输出低压直流电需升压至 400V 以上时,高频开关电源方案具备体积小、效率超过 98%、支持 100V-200V 宽输入电压等优势。

2.3 短路阻抗与动稳定能力

短路阻抗 U_k 的百分比能够对变压器的抗短路能力起到衡量作用,它会对系统的短路电流水平以及设备的动稳定能力产生直接影响,如表 1 所示在相关标准中,6%~10%这一标准值是针对 35kV 以下的变压器来适用的,而 12%~15%的标准值则是适用于 110kV 及以上的变压器的。当短路阻抗比较高的时候,这有利于对短路电流加以限制,然而却会使电压调整率变得较差;反之,当短路阻抗较低时,虽然能够提高运行效率,但是会致使短路电流有所增大,此时就需要去校验断路器的分断能力了。动稳定能力是对变压器承受突发短路时的机械强度以及热稳定性进行的一种考验,必须要依靠突发短路承受能力试验来加以验证。绕组连接组别的选择和短路阻抗还有动稳定能力是相关的,Dyn11 连接组别所具备的抗谐波能力是比较强的,因此它适用于商业以及数据中心这样的场合;而

Yyn0 连接组别的成本相对较低,所以它适用于工业普通的负荷情况。

表 1 关键参数选择方案

参数类型	选择方案	技术要求	适用场景
容量匹配	负荷率 85% 标准	同时率 0.7, 功率因数 0.8~0.9	平稳负荷供电
电压等级	三相四线制	分接开关 $\pm 5\%$ 至 $\pm 10\%$ 调压	电力和照明混合
短路阻抗	6%~10%	根据系统短路电流匹配	35kV 以下变压器
绕组连接	Dyn11 或 Yyn0	Dyn11 抗谐波强, Yyn0 成本低	商业或工业负荷

3 能效与运行经济性分析

3.1 损耗特性与能效标准

变压器的能效等级在很大程度上决定了其运行过程中的损耗情况以及长期的经济性表现。就新国标而言,一级能效的 SCB18 型变压器和三级能效的 SCB13 型相比,其空载损耗要低 40%。优质的变压器,其效率率达到 95% 以上才行,在那种需要长期运行的场景下,还得配置散热片、风扇或者强制风冷这样的结构,以此来确保温度上升能够处于可控的状态。电力变压器在负荷特别大的时候,能耗有可能会超过 30%,所以说,要想办法选择合适的变压器,进而减少电力的消耗,这一点显得格外重要。能效标准遵循 IEC 60076 或 GB 20052 要求,高效变压器虽价格较高,但长期运行电费更低,需按总拥有成本 TOC 法评估。变压器空载损耗占全年电费 15%~30%,必须重视空载损耗问题。高效变压器的高可靠性改善了内部部件,延长了使用寿命,减少了占地面积。

3.2 负载率与经济运行区间

负载率影响运行经济性。测量负荷低于 50% 时应更换低功率变换器,负荷超过额定功率必须立即更换大型电力转换器。用电负荷应为额定功率 75%~90%。建议负载率控制在 85% 以下,实际负荷 2000kVA 时选择 2500kVA 变压器。按 2500kVA 变压器估算,一级能效年省电费超 10 万元。选择容量时需考虑后期扩容需求,预留 10%~15% 余量。

3.3 冷却方式与温升控制

冷却方式选择取决于变压器容量和工作环境,250kVA 变压器可选自然风冷或强制风冷方式,空间有限且环境温度高时宜选带风扇干式变压器。长期运行场景需配置散热片、风扇或强制风冷结构确保温升可控。干式变压器全密封设计具有免维护和寿命超 30 年优点;油浸式变压器价格低但维护成本高,需定期油检和滤油。温升控制关系绝缘寿命和运行可靠性,绝缘等级至少 H 级,耐高温 155°C。户外安装需 IP54 以上防护等级^[3]。环境温度超 40°C 时应选耐高温绝缘材料如 H 级干式变压器。沿海地区需选防腐涂层或不锈钢外壳抵抗盐雾腐蚀。高海拔地区超 1000m 时需降容使用,每升高 100m,

容量降低 1%。

3.4 全生命周期成本评估

全生命周期成本评估属于较为科学的方法,它在考量方面并非仅仅着眼于初始购置成本,而是将运行能耗、维护费用以及处置成本等都纳入其中。如表 2 所示,就油浸式变压器而言,其价格相对较低,然而维护成本却颇高;与之相比,干式变压器的价格要高出 30%~50%,不过其无需维护,并且使用寿命能够超过 30 年。以 2500kVA 的变压器为例来加以估算,一级能效相较于三级能效每年能够节省的电费额度超过 10 万元,这无疑充分彰显出了高效变压器所具备的经济方面的优势。初始成本和运行成本务必要达成平衡状态。高效变压器尽管其价格处于相对较高的水平,然而从长远的运行情况来看,其产生的电费却是更低的。所以对于这种情况,是需要依据 TOC 法来展开相应的评估工作的。在科学地开展选型工作时,所秉持的目标是要追求在整个生命周期当中成本能够达到最优的解决方案。只有那种经过精准匹配之后的变压器系统,一方面可以实现节省电费的良好效果,另一方面还能够为后续产线的扩张事宜留出一定的空间。在选择变压器容量的时候,同样还需要充分考虑到后期可能会存在的扩容方面的需求情况。如果在相关操作过程中没有预先留出大约 10%~15%的余量的话,那么这将会对产线的扩展起到一定的制约作用。

表 2 全生命周期成本分析

成本类型	油浸式变压器	干式变压器
初始购置成本	较低	高 30%~50%
运行能耗成本	较高	较低
维护保养成本	较高	低
故障维修成本	中等	中等
处置回收成本	较高	较低

4 安装与运行维护要点

4.1 安装环境与散热条件

安装环境以及散热条件这两方面的情况,会对运行寿命以及可靠性产生直接的影响。变压器自身的体积是比较大的,所以一般情况下是需要借助大型起重机来完成吊装工作的。在布置的时候,变压器横向距离墙体要保持在 700~800mm 这样的范围之内,而门的距离则要控制在 800~1000mm 之间,以此来确保后续操作维护有足够的空间。在安装的过程中,两电线杆之间的距离应当设定为 2.5m,台架和地面之间的距离要达到 2.7m,并且平面的坡度不能够超过 1%。城乡存在差异,所以选择台区位置要慎重考虑,在城市当中,电路的极限电压能够达到 4%,并且不会超过 150m,在市区甚至可以达到 250m,在农村地区选型的时候,应当依据低容量、点密度以及短半径的原则来进行,在户外进行安装的时候,需要达到 IP54 以上的防护等级,当处于高海拔地区,

高度超过 1000m 的时候,每上升 100m,容量就会降低 1%,如果环境温度超过 40°C,那么就on应该选择 H 级干式变压器。

4.2 保护配置与故障防御

保护配置可以说是安全运行的第一道防线,在高低压侧需要安装熔断器来保障电路的安全,熔断器之间的距离要大于 50cm,并且机柜需要在 0.1s 之内给出安全方面的保障,避雷器是用来防御雷电过电压的,其中无间隙绝缘避雷器能够起到稳定保护的作用,而且具有良好的耐电性,在安装避雷器的时候,其与变压器端盖的距离不能超过 50 厘米。避雷器的安装能够有效减少雷电所带来的影响,进而避免线路以及变压器出现损坏情况,安装低压避雷器可以起到防止侧雷电波与反变换波渗透的作用。接地装置必须满足相关要求,接地电阻要依据接地容量来加以选择。变压器壳体不可以被固定死或者进行焊接处理,而是应当采用螺栓接地的方式,如此一来便于后续的维修操作^[4]。接地设备的地下部分,其水平垂直材料规格均需符合相应的要求。

4.3 状态监测与预防性维护

状态监测以及预防性维护能够提升设备的运行可靠性,同时还能延长其使用寿命。低压 JP 机柜在 10kV 区域有着广泛的运用,其中 JP 的容量务必要和低压变压器的容量相互匹配,在安装的时候要保证牢固,其倾斜的程度不能超过支架长度的 1%。在安装的过程中一定要确保引线连接是完整的,绝缘子要保持清洁,低压电缆的绝缘必须要可靠,并且要将 JP 门关好,以此来防止出现泄漏或者短路的情况。定期开展负载测试属于预防性维护当中极为重要的一个环节,在采购相关设备之前,应当要求供应商给出负载测试方面的报告,以此来对输出电压的精度以及温升的数据加以验证。要挑选那些能够给予技术调试支持,并且在保修期限内可提供免费维护服务的品牌,通过这样的方式能够降低运维方面所存在的风险。电动机在启动的时候,其电流往往会达到额定电流的 4~7 倍,所以在进行选型操作之时,务必要充分考虑到这一冲击情况。对于采用直接启动方式的电动机而言,它的最大容量通常不宜超出变压器容量的 30%。而状态监测以及预防性维护工作,则需要建立起较为完善的有关技术档案以及相应的管理制度。

5 结束语

大功率低压电机供电变压器的选型需综合考量容量匹配、电压等级和短路阻抗等关键技术参数,同时兼顾能效经济性、运行可靠性与全生命周期成本。建议将负荷率控制在 75%至 90%的经济运行区间。选型时应重点考虑大功率电机启动电流冲击问题,推荐采用软启动或变频启动的方式以降低冲击的影响。高效变压器虽初始投资较高,但长期运行更具经济性。安装维护方面要

确保良好的散热条件、完善的保护配置和有效的状态监测。未来发展趋势是开发集成状态监测、故障诊断与能效管理功能的智能化变压器系统，为电力系统高效运行提供技术支持。

[参考文献]

- [1]李海龙,杜江.基于混合特征选择和 IBSLO-KELM 的变压器故障诊断方法[J].广东电力,2025,38(6):68-78.
- [2]李禹彤.高效节能型变压器设计与性能分析[J].电力设备管理,2025(13):251-253.
- [3]妮鹿菲尔·毛吾田.水电站电气设备运行维护与故障检修研究[J].光源与照明,2023(1):156-158.
- [4]范兴财.基于仿真分析高海拔机械联动断路器相间传动的设计探讨[J].技术与市场,2024,31(10):9-15.

作者简介：郁乐（1988.7—），毕业院校：郑州大学，所学专业：通信工程，当前就职单位：许继变压器有限公司，职务：员工，职称级别：助理工程师。

基于电力金具产品供应链回收再制造研究

蔡成 赵佚铭

中国电建集团河南电力器材有限公司, 河南 漯河 462000

[摘要]文章以电力金具产品的回收再制造为研究对象,分析了回收体系、再制造技术及关键零部件的质量控制与性能评价,并探讨了各参与方的角色与协同机制,同时对供应链运行的成本与效益进行了分析。研究表明,回收成本和加工成本对制造商和总承包商是否选择回收再制造策略具有重要影响,为电力金具产品的资源循环利用和绿色发展提供了理论参考。

[关键词]电力金具; 供应链回收; 再制造

DOI: 10.33142/hst.v8i9.17698

中图分类号: TM4

文献标识码: A

Research on Recycling and Remanufacturing of Power Hardware Products Supply Chain

CAI Cheng, ZHAO Yiming

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

Abstract: This article takes the recycling and remanufacturing of power fittings products as the research object, analyzes the quality control and performance evaluation of the recycling system, remanufacturing technology, and key components, and explores the roles and collaborative mechanisms of each participant. At the same time, the cost and benefits of supply chain operation are analyzed. Research has shown that recycling and processing costs have a significant impact on whether manufacturers and general contractors choose recycling and remanufacturing strategies, providing theoretical references for the resource recycling and green development of power fittings products.

Keywords: power fittings; supply chain recycling; remanufacturing

引言

在全球资源供应紧张且环境保护方面所面临的压力不断增大的这样一种大背景之下,循环经济的理念慢慢开始成为各个行业在发展过程当中极为重要的一种导向。电力金具属于电力系统里边绝对不可以缺少的一种基础设施,在其生产以及使用的整个过程之中,会涉及到数量颇为可观的金属材料以及能源方面的消耗,并且还会伴随着废旧金具的出现。要是对于废旧电力金具没有建立起系统的回收以及再制造方面的管理机制,那么不但会导致资源出现严重的浪费情况,而且还极有可能引发环境污染以及造成一定的经济损失。所以说,去构建起一套高效并且能够实现可持续发展的电力金具产品回收再制造供应链,这对于提高资源的利用效率、缓解环境所承受的压力以及促使电力行业朝着绿色的方向发展都有着不容忽视的重要意义。当下,不管是国内还是国外,针对电力设备的回收以及再制造展开的相关研究呈现出逐渐增多的趋势,然而即便如此,依旧存在着体系不够完善、技术标准并非统一、供应链协同的效率比较低下一系列的问题,这些问题的存在使得再制造产品在经济性以及可靠性这两个层面上都很难得以充分地发挥出来。在这种情形之下,从供应链这个角度出发对电力金具产品的回收以及再制造模式展开系统性的研究,一方面可以对各个环节当中那些关键的影响因素予以剖析,进而对运作机制加以优化,另一方面也能够为再制造技术的应用、成本效益的评估以及相关

政策的制定给予相应的理论支撑以及实践方面的参考。这篇文章着重通过对电力金具产品的生命周期、回收体系、再制造技术以及供应链协同机制等多方面的深入剖析,去构建起一个较为科学合理的回收再制造模式,从而为电力金具产业实现绿色转型以及达成循环发展这一目标给出具备可行性的方案以及明确的发展路径。

1 电力金具简介

一般情况下,电力输电线路由铁塔、绝缘子、导线以及电力金具等各种产品构成。在电力输电线路中,电力金具对电力系统各种装置起到连接与组合作用,并对电器负荷、机械负荷起到一定的传递作用。具体而言,电力金具能够用来固定铁塔,对导线进行张拉与悬挂,并防止导线出现震动或断线的现象,同时还能减轻输电线路的放电,降低线路噪声等。

2 电力金具产品回收体系研究

2.1 回收网络结构与运行机制

电力金具产品回收体系里的回收网络结构以及运行机制,在达成资源循环利用以及推动绿色供应链建设方面,属于极为关键的环节,其重点在于借助科学且合理的网络布局以及高效能的运作模式,来达成废旧电力金具的有条不紊回收以及再度利用。在这个进程当中,回收网络不但涵盖生产企业、供电企业、第三方回收机构等主体的介入,而且还牵涉到信息流、资金流和物流的协同运作事宜。通过构建起多层次且覆盖面较为广泛的回收网络,能够提升

废旧金具的回收比例,降低资源方面的浪费情况,并且形成闭环供应链^[1]。与此运行机制在设计之时需要把效率以及可持续性都考虑进去,也就是说在保证回收渠道保持畅通无阻的基础之上,实现回收环节的规范化、标准化以及信息化管理操作,进而为后续的再制造环节给予稳定可靠的原料保障。

2.2 回收环节中的关键影响因素

电力金具产品在回收环节里,存在着诸多关键的影响因素,这些因素综合起来对回收体系的运行效率以及再制造原料的稳定供应有着决定性的作用。其一,政策与法规方面的完善情况极为关键,完善的法律制度加上合理的激励举措,能够切实规范回收行为,还能提高企业以及用户参与到其中的积极性。其二,经济效益在回收环节当中占据着决定性的位置,倘若回收以及再制造的成本过高的同时收益又不足,那么这将会对整个体系的可持续发展产生直接的影响。回收渠道的建设状况以及其覆盖的范围同样不容小觑,渠道是不是畅通无阻,网络布局是否安排得当,都会对废旧电力金具的回收率起到影响作用。并且,信息化以及智能化的水平也在不断地提高,借助大数据、物联网等相关的技术手段来达成对产品全生命周期的跟踪与管理,这对于提高回收的精准程度以及透明程度是有帮助的。用户的环保意识以及企业所秉持的社会责任感也不能被忽视掉,它们能够给回收环节持续注入动力。

2.3 回收过程中的信息化与智能化管理

在电力金具产品的回收体系当中,信息化以及智能化管理有着极为关键的作用。它一方面提高了回收流程的效率,另一方面也增加了回收流程的透明度,并且还能再制造环节给予精准的数据方面的支撑。借助构建起基于物联网、大数据还有区块链等相关技术的管理平台,便能够达成对废旧电力金具的整个生命周期加以追踪的目的,也就是针对从产品开始投入使用一直到报废回收的这个完整过程来实施实时的监控以及信息的共享。这样的智能化管理模式可对回收资源的配置予以优化,降低信息出现不对称的情况,进而提升回收环节在响应速度方面以及调度能力方面的表现^[2]。与此运用人工智能算法来对回收数据展开分析,是能够预估回收需求以及物料流动的趋势的,如此一来便能提升供应链整体的协同程度。

3 电力金具产品再制造技术与流程分析

3.1 再制造工艺流程及技术特征

电力金具产品所涉及的再制造工艺流程,一般涵盖回收、拆解、清洗、检测、修复、再加工、组装以及最终检测等诸多环节。其最为关键的核心特点就在于借助系统化且成体系的工艺方式,去恢复并提升那些废旧产品原本的使用性能,进而让其能够达成甚至超越新品所具备的质量标准。在开展拆解以及清洗相关工作的过程当中,会依靠专业化的设备来清除掉残留物以及出现老化的部件,如此

一来便为后续的各项工序奠定了良好的条件基础。而在检测这个环节当中,会运用无损检测、性能测试等一系列的技术手段针对零部件展开细致的筛选工作,以此来切实保障唯有那些拥有再制造价值的部件才能够进入到后续的各个处理环节之中。至于修复与再加工阶段,将会采用诸如先进的焊接技术、喷涂技术、电镀技术以及表面强化技术等等,竭尽全力地去恢复零件原有的结构状态以及各项功能。最后的组装环节以及整机检测操作,则是充分保证了再制造产品在整体上所具备的可靠性以及安全性方面的要求得以实现。

3.2 关键零部件的再制造方法与质量控制

在电力金具产品开展再制造工作期间,关键零部件的再制造方式以及质量把控属于决定整体性能以及使用寿命的重要环节。针对不同类型的零部件,一般会运用多种多样的再制造技术途径。比如说,对于出现损伤的金属部件,会采取焊接修复的办法,或者采用热喷涂的方式,又或者是实施表面强化处理,以此来让其力学性能以及耐磨性得以恢复。而对于那些结构磨损程度相对轻微的零件,往往是借助机械加工手段,或者是尺寸恢复工艺来进行再利用操作,进而实现减少原材料消耗的目的。在整个这个过程当中,质量把控是全程贯穿其中的,从零部件完成回收之后所开展的初步检测环节开始,一直到再制造进程当中的工序检验阶段,再到成品在出厂之前所进行的性能测试环节,最终形成了一整套系统完备的质量保障体系。特别是凭借无损检测、金相分析以及疲劳试验等一系列手段,能够全方位地去评估再制造零件的强度状况、韧性情况以及可靠性水平,以此保证其能够满足国家以及行业所规定的相关标准要求。

3.3 再制造产品的性能评价与标准化要求

电力金具产品要再制造,得恢复它原本的功能,还得靠科学性能评估和严格标准化要求,保障它在电力系统能长期稳定运转。再制造产品性能评估涉及力学性能、电气性能、耐腐蚀性、疲劳寿命等方面,得靠拉伸、冲击、疲劳等物理实验验证其结构是否可靠,也要靠电气绝缘性和导电性测试,确保它符合电力运行安全要求^[3]。标准化要求贯穿再制造全程,包含零部件检测标准、工艺流程规范、质量检验标准、最终产品认证标准,达成从回收、加工到出厂的全链条质量把控。

4 基于供应链视角的回收再制造模式研究

4.1 电力金具回收再制造供应链结构分析

电力金具回收再制造供应链有着多层次且闭环化的结构特点,其关键之处在于借助上下游各个环节的密切配合,达成资源的高效流转以及价值的再度创造。该供应链一般由原始制造商、电力企业、回收商、再制造企业以及最终用户等主体组成,并且依靠信息流、物流与资金流之间的相互连通,构建起完整的闭环系统。在这个结构当中,

电力企业身为金具产品的主要使用方,属于废旧产品回收的起点;回收商负责废旧金具的收集、分类以及初步处理等工作;再制造企业运用专业化的工艺针对关键零部件展开修复与再加工操作,使其满足标准化要求之后重新进入市场;而原始制造商和最终用户则在需求端以及使用端发挥着推动作用。供应链的运行一方面要依靠物理层面的回收与加工,另一方面还需以信息化平台作为依托,以此来实现对产品生命周期的追踪与管理,进而提高回收效率以及再制造产品质量的可控程度。

4.2 各参与方角色与协同机制

在电力金具回收再制造这一供应链当中,各个参与方各自所处的角色定位以及彼此间的协同机制,实则是保障该供应链得以高效运转的关键核心要素所在。就制造商而言,其主要肩负着新产品设计方面的工作职责,同时也需要为再制造工艺给予相应的支持,进而能够为再制造企业提供有关的技术规范以及质量标准方面的内容。电力企业身为金具产品的核心使用者,自然而然地便成为了废旧产品最为主要的回收来源渠道,所以在整个回收体系里占据着极为关键的地位。回收商主要负责对废旧金具展开收集工作,还要负责其后续的运输事宜,并且要完成初步的分类操作,以此来保证物流环节能够保持畅通无阻的状态,同时促使资源能够及时地回流到相应渠道当中。再制造企业依靠先进的工艺手段,针对关键部件实施修复以及再加工的操作流程,最终使得这些经过处理后的部件性能能够达到甚至超越新品所具备的标准水平。而监管机构以及行业协会,则是通过去制定相关政策、规范内容以及评价体系等一系列举措,以此来引导整个供应链朝着规范化的发展方向不断迈进^[4]。若想达成高效的协同效果,那么信息共享以及资源整合的相关机制便是不可或缺的。借助物联网、大数据以及区块链等诸多信息化的手段,就能够实现对回收数量、质量状态以及再制造进度等方面的实时监控目的,如此一来便能够有效降低因信息不对称而产生的各类风险情况。与此通过建立起利益分配以及风险共担的机制,从而确保各个参与方能够在经济收益与社会责任这两者之间达成一种平衡的状态,进而进一步增强合作所具备的稳定性以及长期延续的可能性。

4.3 供应链运行中的成本与效益分析

在电力金具回收再制造供应链的运行进程里,成本与效益分析属于评估该供应链整体效率以及可持续性的极为关键的环节。其成本涵盖诸多方面,像回收环节所涉及

的物流运输方面的费用、再制造环节里的工艺加工成本、检测以及质量控制方面的相关费用,还有信息化管理以及协调运作所需要的投入。这些成本会对供应链的经济性以及运作稳定性产生直接影响,所以在设计与管理工作开展过程中,务必要充分考量各个不同环节的资源配置情况以及优化事宜。与此效益的体现并不仅仅局限于经济收益这一层面,就好比说可以通过再制造产品的销售来达成资金回流的目的,进而降低原材料采购的成本,它还包含着环境效益与社会效益,举例来讲,能够减少废旧金具给环境所带来的压力,促使资源利用率得以提升,推动绿色低碳的发展趋势,另外还能让企业的社会责任形象得到进一步的增强。

5 结语

本文聚焦于电力金具产品回收再制造这一主题,从供应链方面针对回收体系、再制造技术以及供应链协同机制展开了较为系统的剖析。相关研究显示,借助构建合理科学的回收网络、运用先进的再制造工艺、强化关键零部件的质量把控,并且切实发挥制造商、回收商、再制造企业以及总承包商的协同效能,能够有效地提高电力金具产品的资源利用效率以及整体的经济效益。与此成本方面的因素以及加工努力的程度对于回收再制造策略的选择有着颇为显著的影响,进而为供应链决策给予了理论层面的依据。此项研究一方面充实了电力金具回收再制造的理论体系,另一方面也给实际工程应用带来了参考价值,还为推动电力行业走向绿色发展以及循环经济建设筑牢了根基,更为未来在更大范围且更高复杂程度的供应链系统里推广回收再制造模式给予了实践方面的指导。

[参考文献]

- [1]张志雄,易伟.基于电力金具产品供应链回收再制造研究[J].物流技术,2019,38(1):111-113.
- [2]易成,易坚,谢洪海.电力金具智能识别算法研究与应用[J].信息与电脑,2025,37(13):46-48.
- [3]杨丁丁,电力系统大型电力金具握力试验机的研制[Z].山东省,淄博千恒自动化工程有限公司,2023-04-09.
- [4]陈扬.X 电力金具公司营销策略研究[D].四川:四川师范大学,2020.

作者简介:蔡成(1998.10—),男,毕业院校:河南工业大学,所学专业:机械设计制造及其自动化,当前就职单位:中国电建集团河南电力器材有限公司,职务:技术员,职称级别:助理工程师。

电力工程测量质量风险及预防措施研究

郑建军

沈阳电力勘测设计院有限责任公司, 辽宁 沈阳 110000

[摘要]近些年来,我国经济始终处于持续快速发展的态势当中,各行各业对于电力的需求也在不断地增长,这便给国家供电系统提出了更高的要求。伴随着大量电力工程在全国范围内相继建设起来,施工过程中测量工作所具有的重要性也就日益凸显出来了。准确的测量一方面可以精准地确定高压线路的架空位置以及高架塔的布置位置,另一方面还能够确保施工布局是科学合理的,进而对工程质量予以保障,提升电力系统运行时的稳定性和可靠性。鉴于此,文中针对电力工程测量当中的质量风险展开了系统的分析,并且对与之相应的预防措施也进行了探讨,希望能够为工程建设给予可靠的技术方面的支持以及管理方面的参考。

[关键词]电力工程;测量质量;风险及措施

DOI: 10.33142/hst.v8i9.17695

中图分类号: TM71

文献标识码: A

Research on Quality Risks and Preventive Measures in Power Engineering Surveying

ZHENG Jianjun

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

Abstract: In recent years, Chinese economy has been in a sustained and rapid development trend, and the demand for electricity in various industries is also constantly increasing, which puts higher requirements on the national power supply system. With the construction of a large number of power projects nationwide, the importance of measurement work during the construction process has become increasingly prominent. Accurate measurement can not only accurately determine the overhead position of high-voltage lines and the layout of elevated towers, but also ensure that the construction layout is scientific and reasonable, thereby ensuring the quality of the project and improving the stability and reliability of the power system during operation. In view of this, the article systematically analyzes the quality risks in power engineering measurement and explores corresponding preventive measures, hoping to provide reliable technical support and management references for engineering construction.

Keywords: power engineering; measurement quality; risks and measures

引言

在现代电力工程展开建设之际,测量工作属于工程实施环节当中的基础部分,其精准性以及可靠性会对工程的设计是否合理、施工质量状况以及运行时的安全情况产生直接影响。不过,伴随电力工程规模变得越来越大、线路的复杂程度有所提高以及施工环境呈现出多样化的态势,测量工作所面临的风险也在一天天增多,这些风险涉及技术、人员、设备、环境等诸多方面的因素。这些风险不但有可能致使测量数据出现偏差,而且会在设计进行变更、施工存在误差以及工程开展验收等各个环节引发连锁般的不良影响,最终使得工程成本有所增加并且安全隐患也跟着增大。所以,针对电力工程测量质量风险展开系统的分析,并且提出具备实际操作性的预防举措,有着极为重要的理论层面的价值以及实践方面的意义。本文在对电力工程测量现状展开充分调研并加以总结之后,围绕着测量过程里可能会出现的技术风险、人员设备风险以及环境方面不可控的因素,结合工程实践方面的经验,去探讨怎样凭借提升人员的素质、强化设备的管理、完善复检以及应急机制、构建科学的质量风险管理体并且规范流程检查等相关措施,以此来降低测量风险、

提高测量质量,从而为电力工程建设给予可靠的数据方面的支撑以及质量方面的保障,同时也给相关的管理部门以及施工单位提供能够实际操作的参考依据。

1 电力工程测量的质量风险分析

1.1 测量技术风险

电力工程测量是一项复杂的专业测量工作,相对于一般的工程测量它又有它的特殊性,在测量中需要结合电力知识进行综合考虑,例如电网与周围建筑物的安全距离,线路之间的距离,这些都是在测量中要综合考虑的。在实际的电力工程测量施工中,缺乏对测量人员的培训和教育,也不重视先进测量技术的引用,很容易出现测量技术跟不上发展的电力施工水平,从而导致测量工作出现质量问题。

1.2 人员设备风险

在电力工程开展测量工作的过程当中,人员以及设备均属于对测量质量产生影响的重要因素其中的一个方面。要是从事测量工作的人员欠缺相当程度的专业知识,并且实践经验也比较匮乏,又或者在实际工作期间存在着诸如操作不够妥当、责任心有所欠缺等等这类情况,那么通常来讲就会致使所获取到的测量数据出现误差的情况,如此

一来便会对工程的整体精度以及可靠性都产生影响。与此测量设备在具体的使用进程当中,有可能会因为维护工作做得不到位、校准操作不够及时亦或是出现了老化损坏等状况,进而使得其精度有所降低,而这些种种问题统统都会致使测量质量面临更多的风险^[1]。除此之外,倘若设备的数量不够充足,或者其性能与实际的工程需求无法实现良好的匹配,那么就很容易引发测量效率以及质量双双出现下滑的情形,最终给电力工程的建设工作带去诸多不利的影响。

1.3 环境及不可控风险

在电力工程测量环节当中,环境方面以及那些不可控的因素,其实都是会对测量质量起到影响作用的重要风险来源所在。施工现场常常处于那种地形状况较为复杂、气候情况多变的环境里,像强风、暴雨、大雾、严寒或者高温这类极端天气条件,全都有可能对测量仪器的稳定性以及数据的准确性产生干扰作用。再者说,地质条件存在差异这种情况同样会对测量造成影响,比如说地面出现沉降现象、土质比较松软或者岩石结构颇为复杂,那么就有可能致使测量基准点发生偏移或者是数据出现波动情况。另外从另一方面来讲,外部环境当中的电磁干扰、施工机械所产生的震动,还有那些不可预知的自然灾害亦或是突发事件,也是极有可能在很短的时间内致使测量结果出现失真的状况。这些不可控的因素往往很难在事前就完全予以规避掉,可是它们却实实在在地给电力工程测量的准确性以及可靠性带来了潜在的威胁隐患。

2 电力工程测量质量风险预防措施

2.1 切实提升测量人员的综合素质水平

在电力工程测量的质量风险防控体系当中,切实提高测量人员的综合素质,这不但是提升数据精度方面的一种技术保障,而且还是构建长期专业化队伍的一项核心举措。高素质的测量人员得具备较为扎实的理论基础以及熟练的现场操作能力,同时要掌握现代测量仪器与信息化工具(比如 GNSS/RTK、全站仪、激光扫描、地理信息系统与 BIM 等)的使用方法以及相关原理,还能够开展数据质量评估以及统计分析工作,并且对于电力工程的工艺流程、施工要求以及安全规范要有较为深入的理解。除此之外,良好的职业素养、较强的责任意识、不错的沟通协调能力以及在复杂环境之下所具备的判断能力与应急处置能力同样是不可或缺的。为了达到这些要求,应当通过构建清晰明确的岗位胜任力模型以及能力等级体系,施行将岗位培训(包含岗前培训、在岗轮训以及专题强化训练)、导师带教以及现场实操演练相互结合起来的培养路径,并且要配套严格缜密的考核与再认证机制,以此来确保知识和技能能够持续不断地得到更新。与此要鼓励跨学科学习以及技术交流,把典型案例总结出来当作反思与警示的材料,建立起技术档案以及培训效果反馈环节,从组织文化的层面上强化质量意识以及安全责任,进而形成能够识别风险、

预警隐患并且主动修正问题的专业测量团队,从而为电力工程测量质量给予长期且稳定的人员保障。

2.2 切实做好测量设备管理

在电力工程测量领域当中,测量设备的管理水平和测量结果的准确性以及工程质量的可靠性存在着直接关联,所以切实有效地做好测量设备管理工作,这无疑是风险防控其中的一个极为重要的环节所在。测量设备在长时间的使用进程里,是比较容易因为出现磨损、老化等情况,又或者受到环境方面的影响,进而致使精度有所下降的^[2]。要是缺少科学且合理的管理和维护举措,那么就极有可能引发数据出现偏差的情况,从而进一步地诱发较为严重的质量方面的隐患问题。所以说,需要在整个设备全生命周期的范畴之内去开展系统化的管理相关工作,具体来讲,要严格依照设备的采购标准以及验收制度来执行,以此确保所使用的设备都能够符合国家层面以及行业所规定的技术规范要求;在设备实际使用的过程当中,要建立起定期开展检测、校准以及保养等一系列机制,要详尽地将设备的使用具体情况、检修相关情况以及性能指标等方面都记录下来,进而形成一套完整的设备档案资料;与此针对不同的设备,应当设立专人负责的制度,把责任分工明确清楚,防止因为管理不到位而出现仪器闲置不用、遭到损坏或者被误用等状况发生。除此之外,还应当结合工程的具体情况,合理地对设备的数量以及类型加以配置,从而保证在不同的工况条件以及复杂的环境情形之下,都能够与所需具备的测量精度以及效率相匹配得当。

2.3 切实做好复检工作

在电力工程展开测量工作的过程当中,复检工作无疑属于极为重要的一环,它对于确保所获取数据具备准确性以及可靠性而言有着不容忽视的意义。其重要意义一方面体现在能够发现并纠正初测环节当中可能出现的各类偏差或者错误情况,另一方面还在于借助多次开展比对验证的操作,进而促使整体测量成果的可信度得以提升。要知道,电力工程通常会涉及到相当大的范围、众多的工点,而且所处的地形条件往往也比较复杂,在这样的情况下,单凭一次测量所得到的结果是很难彻底避免出现人为误差、设备误差亦或是受到环境干扰等问题的。所以,构建起一套较为完善的复检制度就显得格外重

2.4 切实编制好应急处理预案

在电力工程展开测量工作期间,因施工环境复杂且多变,测量对象分布范围又广,再加上施工周期比较长,各类突发事件以及诸多不可控因素,其对于测量精度以及工程进度所产生的影响是绝对不容小觑的。所以,切实去编制一套科学且系统的应急处理预案,这件事情就显得格外重要了。应急预案在制定之时,应当是在对潜在风险进行全面且细致识别的基础之上开展工作的。要针对有可能会出现的设备出现故障、测量仪器失去准确性、极端气候发

生改变、地质条件出现异常、遭受施工干扰以及数据出现异常等诸多情况，展开深入的风险分析以及评估活动^[3]。要对事件发生的概率大小、可能引发的影响程度以及潜在的连锁效应情况，做出量化的判断，进而形成风险等级划分以及优先处理的相关策略。在此基础之上，应急预案需要清晰明确各类突发事件的响应流程，这里面包含了预警机制的设立、信息报告的流程、资源调配的方式、应急人员职责分工的具体安排以及处置步骤的详细规定等，以此来保证在事件发生之际，能够快速、科学并且统一有序地去组织实施相关应对措施。除此之外，预案的有效性还要依靠定期开展的模拟演练、现场推演以及应急培训等一系列活动，不断地去加以验证并进行优化调整，使得测量团队可以对应急程序较为熟悉，提升他们应对突发事件时的反应速度以及处置能力。与此应急预案务必要和数据复核机制、风险反馈机制以及经验总结机制紧密结合起来，把事件处理的结果及时地归档保存起来，形成一个经验数据库，为后续遇到类似风险的情况提供相应的参考依据。

2.5 切实做好质量风险管理机制

在电力工程测量方面，构建并切实执行质量风险管理机制，乃是系统性把控制量风险、保证工程成果精准与可靠的重要环节。质量风险管理机制的关键之处在于借助制度化的途径，把风险识别、风险评估、风险预警、风险处置以及反馈改进紧密融合起来，进而形成一个完整的闭环管理架构。要在工程刚开始的阶段便着手建立完备的质量风险清单，清楚明确那些可能对测量精度产生影响的各类因素以及它们潜在的后果；接着，得依靠量化指标与分级标准来对风险加以评估，并且搭建起动态监测与预警体系，当察觉到异常数据或者出现不利状况的时候，能够做到及时作出反应并予以纠正；应当设立专门的质量监督与审查岗位，施行多层次责任制以及相互监督的机制，以此确保风险控制举措能够切实落实到位。与之还必须建立起风险信息档案以及经验库，针对典型的问题和处理的经验进行积累并且实现共享，让测量人员可以在后续的工程当中进行参考与优化。

2.6 规范流程，做好检查

在电力工程测量领域当中，把规范流程给落实到位以及切实做好各项检查工作，这可是保证测量质量能够保持稳定并且处于可控状态的基础性工作内容。规范流程方面，得在测量作业所涉及的每一个环节都制定出清晰明确的操作标准，像测量开始之前的准备工作环节、控制点具体该如何去布设、数据怎样去采集、成果又该怎样去计算、完成之后的复核工作以及最后的归档事宜等等，务必要做到每一步都有相应的标准可以依据，而且能够实现可追溯的状态，如此一来便能有效防止因为操作过于随意或者流程不够清晰而引发的误差情况以及可能出现的质量风险^[4]。与此检查工作应当贯穿于整个测量过程始终，这里面既涵盖

日常的自检工作、不同人员之间的交叉检验以及阶段性开展的复核工作，还包含竣工成果展开的系统性审查工作，借助多层次且多角度的检查方式，能够及时将潜在的问题给找出来并且做好相应的记录分析工作。检查机制一方面要关注数据所具有的精度以及一致性状况，另一方面还得着重重视测量所采用的方法、所使用的仪器其实际状态、操作是否符合规范以及周边环境条件等诸多因素的符合程度，进而达成全方位的风险控制目标。除此之外，还需要建立起针对检查结果的反馈以及改进方面的机制，让所发现的问题能够得以快速地去调整并且对流程加以优化，持续提升测量作业所具备的科学性以及规范化方面的水平。

3 结语

电力工程测量属于工程建设其中的一个极为重要的环节，其质量的好坏直接影响到工程施工的精度、运行的安全状况以及供电系统的稳定程度。在实际开展测量工作的过程当中，存在着技术方面不够完善的情况，人员的素质呈现出参差不齐的状态，设备管理也存在不到位的现象，并且还环境方面的诸多不可控因素，这些情况都有可能给测量结果带来不利的影响，进而产生一定的质量风险。对于这些风险，本文从多个角度出发来提出相应的预防措施，具体而言，一是着力提升测量人员的综合素质，二是进一步强化设备的管理工作，三是严格地开展复检工作，四是编制应急预案以应对突发情况，五是建立一套科学的质量风险管理机制，六是规范各项流程以及相关检查工作。这些所提出的预防措施能够在很大程度上降低测量出现偏差的可能性以及潜在的风险，保证测量工作的科学性以及可靠性，从而为电力工程能够顺利地实施给予坚实的保障。与此通过构建起长效的管理机制并且持续不断地对操作流程加以优化，这不仅能够为未来电力工程测量实现标准化以及规范化管理提供很有价值的参考借鉴，而且对于提升我国电力工程建设的整体水平以及保障供电系统能够安全平稳地运行而言，同样有着十分重要的实践方面的价值。

[参考文献]

- [1]徐孝奎,张朋.电力工程测量质量风险及预防措施研究[J].新城建科技,2023,32(23):40-42.
- [2]陈绍阳.电力工程测量质量风险分析及预防措施[J].居业,2017(12):110-111.
- [3]李海涛.电力工程测量质量风险分析及预防措施[J].建材与装饰,2019(25):242-243.
- [4]郑斌.电力工程测量质量风险分析及预防措施[J].建材与装饰,2018(40):239-240.

作者简介：郑建军（1984.6—），毕业院校：吉林大学，所学专业：测绘工程专业，当前就职单位：沈阳电力勘测设计院有限责任公司，职务：测量员，职称级别：高级工程师。

电力系统施工管理中的自动化技术应用研究

黄雪荣

广西方能电力工程有限公司, 广西 南宁 530000

[摘要]伴随电力系统规模持续拓展, 施工环境也变得愈发复杂, 在此情形下, 传统施工管理模式很难契合高效、精确且安全的施工需求。而自动化技术的发展给电力施工管理开拓了全新的途径, 借助智能设备、信息化监测以及优化算法, 能够达成施工全过程的精准把控与高效运转。文中全面剖析了电力系统施工管理当下的状况与特性, 详细阐明了施工管理里关键自动化技术的理论根基与实践运用情况, 着重对施工计划与设计环节、施工执行阶段、质量安全管理方面以及资源成本管理层面自动化技术的应用途径展开探究, 同时结合实际情况来剖析其应用成效。文中针对电力系统施工管理自动化技术的发展走向予以展望, 从而为未来智能化施工管理给予理论方面的参考以及实践层面的指引。

[关键词]电力系统; 施工管理; 自动化技术

DOI: 10.33142/hst.v8i9.17675

中图分类号: TM76

文献标识码: A

Research on the Application of Automation Technology in Power System Construction Management

HUANG Xuerong

Guangxi Fangneng Electric Power Engineering Co., Ltd., Nanning, Guangxi, 530000, China

Abstract: With the continuous expansion of the power system, the construction environment has become increasingly complex. In this situation, traditional construction management models are difficult to meet the requirements of efficient, precise, and safe construction. The development of automation technology has opened up new avenues for power construction management. With the help of intelligent devices, information monitoring, and optimization algorithms, precise control and efficient operation of the entire construction process can be achieved. The article comprehensively analyzes the current situation and characteristics of power system construction management, elaborates on the theoretical basis and practical application of key automation technologies in construction management, and focuses on exploring the application pathways of automation technologies in construction planning and design, construction execution, quality and safety management, and resource cost management. At the same time, it analyzes their application effectiveness based on actual situations. The article provides a prospect for the development trend of automation technology in power system construction management, providing theoretical references and practical guidance for future intelligent construction management.

Keywords: power system; construction management; automation technology

引言

电力系统建设属于我国基础设施里的重要部分, 其施工管理的复杂程度会随着电网规模的不断增大而逐步提高。传统的施工模式依靠的是人工经验以及分散的信息, 这就存在着效率比较低、资源利用不够充分以及安全质量风险较高的情况。伴随着信息技术以及智能设备的发展进程, 自动化技术在施工管理当中的运用变得越来越普遍了, 像智能施工设备、BIM 信息化管理、传感器监测、自动化控制算法还有资源优化等方面都涵盖了, 它能够为施工的整个过程给予精准的数据支撑以及智能的决策能力, 促使施工管理朝着现代化、数字化以及智能化的方向去转变。本文着重对电力施工管理里面自动化技术的应用状况、关键技术以及发展趋势展开系统分析, 通过针对施工计划、执行、质量安全以及资源成本管理方面展开研究, 进而总结出实践方面的经验以及应用的价值, 以此来给电力施工管理智能化发展给予理论层面以及实践层面的参考依据。

1 电力系统施工管理概述

电力系统施工管理是在电力工程建设期间, 针对施工现场各项活动展开的一连串管理举措, 目的在于确保工程质量与安全的推动施工进度高效推进并达成资源的合理运用。电力施工管理包含输变电路、变电站、配电网等设施的施工流程, 也涉及施工计划制定、施工方案设计、施工现场组织、施工进度把控、质量与安全管理以及资源调配等诸多环节。传统施工管理模式主要依靠人工管理, 凭借施工人员经验来安排进度和分配资源, 信息传递与反馈所花时间较长, 很难做到对施工全程的实时监控与精准把控, 致使施工效率不高、资源浪费严重、施工安全隐患较为突出。并且, 复杂地质状况、气候环境以及施工工艺差异加大了管理难度, 让施工过程易出现计划偏差、材料浪费以及施工质量不达标等问题。伴随电力系统建设规模持续扩大、施工任务日渐繁重, 传统管理模式的弊端越发凸显, 迫切需要引入先进的自动化技术, 达成施工管理的智能化、信息化与精细化, 进而提升电力系统施工管理的

整体效能与水准。

2 电力施工管理自动化技术基础

2.1 自动化技术的概念与分类

自动化技术是指利用先进的控制理论、信息技术和智能设备,对电力系统进行实时监控、分析、决策和优化的一种技术手段。通过自动化技术可以实现对电网运行状态的全面感知和精准控制,从而提高电网的运行效率和安全性。自动化技术可以按照不同的维度进行分类。从控制理论的角度来看,自动化技术包括了经典控制理论、现代控制理论和智能控制理论等多个层面,这些理论为电力系统的自动化控制提供了坚实的理论基础。从信息技术的应用来看,自动化技术涵盖了物联网、大数据、云计算等多种前沿技术,这些技术为电力系统的数据收集、处理和分析提供了强大的支持。同时,智能设备与系统也是自动化技术的重要组成部分,包括传感器、执行器、智能电表等,这些设备与系统为电力系统的自动化控制提供了必要的硬件基础。

2.2 电力施工管理中的关键自动化技术

在电力施工管理领域当中,关键的自动化技术主要涵盖了智能施工设备、信息化监测技术以及将自动化控制与优化算法加以综合应用等方面。智能施工设备借助施工机器人、无人机、自动化起重机械等一系列工具,达成施工操作具备高精度以及高效率的特点,可切实有效地降低人工操作所可能出现的误差情况,同时也能够让安全风险得以减少,在复杂的环境状况下依旧能够维持施工进度以及施工进度的稳定状态。信息化与监测技术凭借 BIM 系统、传感器网络以及物联网技术,完成施工现场数据的实时采集工作,进而开展数据分析,并且实现可视化的管理方式,如此一来,管理人员便能够对施工进度、资源使用情况以及潜在存在的风险有一个较为全面且清晰的掌握,从而为施工决策给予科学层面的依据。自动化控制与优化算法针对施工数据、资源分配以及进度计划展开智能分析,以此实现施工过程中的动态调节以及优化效果,能够在一定程度上提前识别出施工过程中存在的各类风险,对资源调度予以优化处理,最终提升施工的效率水平。这些关键技术经过协同应用之后,一方面使得施工管理的科学性以及精确性都得到了提升,另一方面也给电力施工整个过程的智能化以及数字化打下了较为坚实的技术方面的基础,进而让施工管理能够在确保安全以及质量的前提之下,达成高效且精细化的运行效果。

3 电力系统施工管理中的自动化技术应用

3.1 施工计划与设计阶段的自动化应用

在施工计划与设计这个阶段,自动化技术的应用主要呈现于施工方案的优化、施工计划的生成以及设计和施工的协同管理等方面。以往的传统施工计划制定往往依靠人工经验以及手工计算,如此一来,就很难去应对复杂工序所出现的动态调整情况。然而借助自动化技术,便可以根

据施工任务所具有的特性、资源配置状况以及工期方面的要求,迅速生成既科学又合理的施工计划。BIM 技术在此阶段充当着核心工具的角色,它凭借数字化建模的方式达成设计信息、施工任务以及现场环境的统一管理目标,进而让各类施工数据能够在虚拟环境里获得模拟与验证的机会,以此来降低设计变更以及施工冲突发生的可能性。施工计划生成系统能够把施工任务优先级、资源分布情况以及现场约束条件相互结合起来,自动对工序安排以及施工路径加以优化,以此提升施工的效率^[1]。与此信息化平台可实现施工设计与计划的动态更新功能,要是现场条件发生了变化或者施工进度偏离了原定计划,那么该系统就能够实时地对施工方案做出调整,以此确保施工计划具备科学性以及可执行性。借助数据可视化的方式,施工管理人员能够较为直观地掌握施工进度、资源使用情况以及潜在的风险点,从而为相关决策提供较为可靠的依据,进一步提高施工管理的科学性以及精细化的程度。

3.2 施工执行阶段的自动化应用

在施工执行阶段,自动化技术借助智能施工设备、现场信息采集以及数据驱动的施工控制来提升施工效率与施工精度^[2]。智能施工设备像施工机器人、无人机还有自动化起重机械,凭借自动化控制系统可完成高精度且高重复性操作任务,降低人工劳动强度,还能提高施工质量。无人机巡检技术能对高空或者远距离施工区域开展实时监测,获取图像与数据,快速识别潜在隐患,为施工安全予以支持。现场信息化监测系统依靠物联网传感器针对施工环境、设备运行状态以及施工进度实施实时采集,把数据上传至管理平台,达成施工过程的可视化以及可追踪管理。数据驱动的施工进度控制系统可分析实时数据,并与施工计划进行比对,一旦发现偏差,会自动触发调整方案,涉及资源再分配、工序优化以及设备调度,以此确保施工依照计划高效推进。这种全程信息化且自动化的执行模式不但提高了施工速度与质量,而且大幅降低了施工现场事故发生率,实现了施工管理的智能化升级。

3.3 施工质量与安全管理的智能化

施工质量与安全管理的智能化在电力施工管理里属于极为关键的环节,自动化技术的引入让这个环节达成了科学化以及智能化的状态,在质量管理这块,借助安装传感器还有监测设备的方式,施工现场的混凝土强度、焊接质量、电缆敷设精度等关键指标可以实时地采集以及分析,出现异常数据的时候能够立刻引发预警,给质量管理给予精准的依据。BIM 系统可以把施工设计标准、施工方案以及质量要求加以数字化的整合,凭借可视化的模型来对施工质量展开虚拟的验证,进而降低施工偏差以及返工的情况。在安全管理方面,传感器网络、智能摄像头以及环境监测系统可以实时地检测施工人员的位置、施工设备的状态以及现场环境的状况,像高温、高压或者有害气体浓度等等

情况,要是检测到潜在的风险,系统会自动发出警报并且触发安全控制措施,比如停机、隔离危险区域等操作。与此依靠大数据分析的风险评估系统能够对历史施工数据以及现场监测数据展开综合的分析,预测可能出现的安全隐患,并且给出可行的防控措施,以此达成施工质量和安全的双重保障^[3]。智能化的质量与安全不但提升了施工标准化的程度,还为施工的全过程提供了科学的、可控的、可追溯的管理模式。

3.4 施工资源与成本管理的智能化

施工资源以及成本管理在电力施工项目当中属于极为关键的环节,其对于保障项目高效运行起着重要作用。自动化技术的应用,使得资源调度以及成本控制能够更为科学且精细地开展起来。就资源管理来讲,智能调度系统可对材料、设备还有人力资源的使用状况予以实时追踪,依照施工的实际进度以及现场的具体需求来动态地去调整资源配置情况,如此一来便能防止出现材料积压、设备闲置以及人员浪费等不良状况。与此借助和施工计划以及进度数据之间的联动作用,资源调度系统还能够对未来的资源需求做出预测,进而达成供应链和施工现场之间紧密无间的协同状态。在成本管理这个层面,自动化监控系统能够针对各类施工成本展开实时的采集以及分析工作,这里所涉及的成本种类包含材料采购成本、设备使用成本以及人力成本等。通过将成本数据和预算以及计划相互对比,便能够及时察觉到成本方面的偏差情况,并且还能给出相应的优化方案。利用大数据分析技术,可对施工过程中各类成本数据进行细致深入的挖掘操作,从中识别出那些会对成本产生影响的关键因素,从而给管理者提供具有一定科学性的决策依据,最终实现对施工成本的动态把控以及优化处理。凭借施工资源与成本管理的智能化手段,不但提升了资源的利用率以及施工的效率,而且也项目的经济性以及可持续性筑牢了坚实的保障基础。

4 电力系统施工管理自动化技术发展趋势

随着电力系统建设规模变得越来越大,施工环境也变得越来越复杂,在这样的情况下,施工管理自动化技术呈现出智能化、信息化以及多种技术相融合的发展趋势。像人工智能、大数据、云计算还有物联网等这些新兴技术在实际中的应用,使得施工计划、现场监测、资源调度以及安全管理都能够达成高度的自动化与智能化状态。就好比施工进度预测以及风险评估系统,它能够一定程度上动

态地对决策进行优化,进而降低出现延误以及发生事故的风险^[4]。而 BIM 技术、智能施工设备以及自动化控制算法协同起来进行应用,能够实现从设计到计划再到执行、监控以及资源管理的整个闭环,以此来提升施工的效率以及质量。与此云平台以及大数据分析还增强了施工数据的整合以及共享的能力,推动管理朝着数字化的方向去转型。不过技术标准存在不统一的情况、设备兼容性较差以及数据安全方面的问题仍旧需要去加以解决。整体而言,未来的施工管理自动化会更加着重于智能协同、依靠数据来驱动决策、系统的集成以及标准化的建设,从而为提升施工效率以及电力系统的可持续发展给予强有力的支撑。

5 结语

本文全面且细致地剖析了电力系统施工管理领域中自动化技术的应用状况。其内容涉及施工管理的概要介绍、自动化技术的基本情况、关键的技术要点、实际应用的具体情形以及未来的发展走向等方面。在施工推进的过程中,智能施工设备、信息化监测技术以及自动化控制算法给施工计划的优化、执行效率的提高、质量安全的管理以及资源成本的控制给予了强有力的支撑作用。自动化技术一方面提升了施工的效率与质量,另一方面降低了安全方面的风险以及资源方面的浪费,并且还还为施工管理朝着现代化和智能化的方向进行转型给予了可靠的途径。在未来,施工管理自动化技术会朝着智能化、由数据驱动、系统集成以及标准化这样的方向去发展。虽说会面临着技术融合以及数据安全等诸多方面的挑战,然而它的潜在价值是相当巨大的,对于推动电力系统的建设实现数字化、智能化以及可持续发展的目标有着不容忽视的重要意义。

[参考文献]

- [1]卢超.自动化技术在电力系统运行管理中的应用[J].集成电路应用,2024,41(6):90-92.
- [2]丁富春.电力系统自动化技术在电网运行管理中的应用研究[J].电气应用,2025,44(9):64-68.
- [3]刘振宇.电力系统自动化技术在电网运行管理中的应用研究[J].科技与创新,2025(10):198-200.
- [4]朱向伟.电力系统自动化技术在配电网运行管理中的应用[J].电力设备管理,2024(15):192-194.

作者简介:黄雪荣(1994.6—),毕业院校:广西大学,所学专业:土木工程,当前就职单位:广西方能电力工程有限公司,职称级别:助理工程师。

水电站电气一次设备智能化技术研究

陈如先

大唐甘肃发电有限公司碧口水力发电厂, 甘肃 陇南 746412

[摘要]在能源转型以及电力系统不断优化这样的大背景之下,水电站凭借着自身所具备的清洁能源属性以及较为稳定的调峰能力,在整个电网当中发挥着极为关键的作用。其中,电气一次设备属于核心环节所在,它的智能化程度高低,直接会对电站的运行效率以及供电质量产生影响。随着智能化技术逐步得到应用,一次设备和二次设备、自动化系统之间的融合程度也在持续不断地深化,由此推动了运行监测、状态感知以及管理优化等方面实现整体性的提升。本论文从电气一次设备智能化所具有的技术特点着手,详细阐述二次设备信息化以及自动化管理系统所具备的功能,深入分析智能系统的结构层次情况,并且结合当前的发展趋势,提出有关优化设计、科学选型、智能运维以及大数据与人工智能相融合等方面的策略,希望能够为水电站电气一次设备的智能化发展给予一定的参考。

[关键词]水电站;智能化技术;电气一次设备

DOI: 10.33142/hst.v8i9.17702

中图分类号: TM5

文献标识码: A

Research on Intelligent Technology of Electrical Primary Equipment in Hydropower Station

CHEN Ruxian

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

Abstract: Against the backdrop of energy transformation and continuous optimization of the power system, hydropower stations play a crucial role in the entire power grid due to their clean energy attributes and relatively stable peak shaving capabilities. Among them, electrical primary equipment is the core link, and its level of intelligence directly affects the operational efficiency and power supply quality of the power station. With the gradual application of intelligent technology, the degree of integration between primary and secondary devices, as well as automation systems, is continuously deepening, thereby promoting the overall improvement of operation monitoring, status perception, and management optimization. This paper starts with the technical characteristics of intelligentization of electrical primary equipment, elaborates on the functions of informationization of secondary equipment and automation management system, deeply analyzes the structural hierarchy of intelligent systems, and proposes strategies related to optimization design, scientific selection, intelligent operation and maintenance, and integration of big data and artificial intelligence in combination with current development trends. It is hoped that these strategies can provide some reference for the intelligentization development of electrical primary equipment in hydropower stations.

Keywords: hydroelectric power station; intelligent technology; electrical primary equipment

引言

水电站于现代能源体系里肩负着提供清洁能源以及调节电网的关键使命,其电气一次设备的性能状况会直接影响到发电的效率以及供电的质量。伴随智能化技术不断向前发展,水电站正在一步步地构建起一种以智能监测、自动控制还有信息互联当作核心要素的全新运行模式,通过这样的方式达成了设备能够实现在线监测、可进行实时控制并且具备自主诊断功能的目标,由此使得运行的可靠性以及管理的水平都得到了较为显著的提升。本文将围绕电气一次设备的智能化这一主题来开展相关的工作,深入去探讨它的技术方面所具有的特点,仔细分析智能系统具体的结构情况,并且还会提出有关提升智能化水平的相关策略以及未来的发展趋势方面的内容。

1 水电站电气一次设备智能化的技术特点

1.1 电气一次设备的智能化趋势

在整个水电站系统中,电气一次设备发挥着自身重要

的作用,有着重要的地位。应用一次设备智能化能够提升水电站监控设备的准确率和效率,能够在一定程度上降低工作人员的工作难度,同时能够对监控的质量进行有效的提升。在具体水电站运行的过程中,水电站智能系统与一次设备的信号和驱动回路进行兼容,从而促进一次设备进行有效的检测和控制。应用电气一次设备还能够促进断路器、互感器以及变压器之间的系统化和一体化,从而对一次设备的工作质量和效率进行有效的提升,同时也能够在一定程度上对二次设备的具体需求进行满足,增加了水电站电力生产总量。

1.2 信息化的二次设备支持

二次设备于水电站里,主要肩负着保护、控制、测量以及信号传输等一系列任务,这无疑是一次设备达成智能化的关键支撑环节所在。伴随信息化持续发展演进,二次设备已然从传统的模拟式逐步朝着数字化、网络化的方向去转变,如此一来便能够针对一次设备的运行状态展开更

为精确且高效的监控操作。借助部署那些性能颇为出色的采集与处理模块,二次设备一方面能够达成对电压、电流、频率等运行参数的实时采集目的,另一方面还能凭借通信网络把相关信息迅速传送到上级控制系统那边,进而为运行调度事宜给予实时的依据参考。与此二次设备经过信息化设计之后,便能够和一次设备紧密地结合起来,进而形成一种协同工作的机制模式。就好比在继电保护装置当中,一旦检测到异常信号出现的时候,其便能够即时发出相关的指令来控制一次设备做出相应动作,以此来切实保障电力系统的稳定状况。而且更为重要的是,二次设备所具备的高度信息化特性,使得水电站的运行数据能够形成一套完整的记录以及分析体系,进而为后续开展的运行优化、状态评估还有预测性维护等相关工作给予极为坚实的数据方面的有力支持,最终促使一次设备智能化运行的整体成效得以有效提升。

1.3 自动化管理系统的功能

自动化管理系统在水电站智能化运行里充当着“中枢大脑”的角色,它的功能涉及到监测、控制、调度以及信息处理等诸多环节,是达成一次设备和二次设备协同运行的核心要素。现代的自动化管理系统借助先进的监控以及数据分析平台,能够针对一次设备运行参数展开实时采集并且以可视化的形式呈现出来,让管理人员可以完整地知晓设备的运行状况。在控制方面,系统可依据预设的逻辑以及实时数据自行发出控制指令,达成设备的快速反应以及精准调节,以此维持电站运行的稳定性和经济性。与此自动化管理系统还能够对历史运行数据加以存储并进行分析,从中提炼出有价值的相关规律与特性,给优化运行策略给予决策方面的依据。伴随智能化程度的提高,自动化管理系统不再仅仅限定于单一电站的管理范畴,而是逐步朝着区域级、网络化的综合管理方向去发展,可以在更大的范围里实现资源调配以及运行优化,进而进一步提升水电站电气一次设备的智能化水准以及整体的管理能力。

2 智能系统在水电站中的结构分析

2.1 感知与检测层

感知与检测层属于智能系统的根基所在,其核心作用在于针对水电站的一次设备实际运行状态展开实时感知以及精准检测相关工作。借助于布置各类传感器、测量装置以及在线监测系统等手段,此层可对电压、电流、温度、振动、压力等诸多维度的运行数据予以采集,并且能够以较高的精度以及较快的速度来达成信号采集任务以及初步处理事宜。这些所采集到的数据一方面给设备的正常运行给予了直接的依据参考,另一方面也为上层系统开展智能分析以及决策工作筑牢了基础。在感知层的具体设计环节里,信息具备的全面特性以及实时特性显得极为关键,毕竟唯有在数据能够充分覆盖并且更新时刻保持及时的状态之下,才能够保证上层系统可以做出较为科学的判断

并实施合理的控制举措。伴随传感技术以及物联网不断发展进步,感知与检测层已然能够实现对一次设备达成全方位的覆盖以及全天候的监测工作,进而为电气设备迈向智能化运行赋予了稳固的技术方面的有力支撑。

2.2 通信与信息传输层

通信与信息传输层负责把感知层所采集的数据高效且稳妥地传送到上层控制系统,这是智能系统达成互联互通的关键环节,在这一层当中,通信网络技术起到颇为重要的作用,借助光纤通信、无线传输以及专用网络等多种途径,可确保大规模数据实现高速传输并且安全共享。通信与传输层不但需要具备高带宽以及低延时的特点,而且得有较强的抗干扰能力以及安全防护能力,以此来保障数据在传输期间的完整性与准确性。与此该层还支撑着双向通信机制,能让控制指令快速下发至一次设备,进而实现实时调控。伴随网络技术不断发展,通信与传输层逐步融入了分布式通信以及边缘计算的理念,如此一来,部分数据处理便可在本地完成,降低了对中心服务器的依赖程度,提升了系统运行的灵活性与可靠性。

2.3 控制与执行层

控制与执行层乃是智能系统达成“感知-分析-行动”这一闭环进程当中的极为关键的一个环节,它的主要职责在于依据感知与传输层所给予的数据,再联合预先设定好的控制策略以及实时计算所得出的结果,去发出与之相对应的控制指令,并且驱动一次设备去完成相应操作。在这层当中,控制逻辑常常是以自动化程序或者智能算法这样的形式来存在的,它能够针对一次设备的开关操作、负荷调节还有运行切换等方面实施精准的控制操作。就好比说,当监测到电压或者电流出现波动情况的时候,控制系统便能够自动地去调节变压器分接头又或者是切换断路器,进而维持电网运行处于稳定的状态。控制与执行层所具备的智能化程度实际上决定了整个系统在反应速度方面以及调控能力方面的状况,其发展走向是朝着更为自适应并且自主化的方向去演进的,能够在复杂的运行环境之下达成多目标的最优控制效果,以此来确保水电站电气设备运行能够实现高效且安全的状态。

2.4 运维与管理层

运维与管理层属于智能系统的最高层级部分,其主要职责在于针对整个水电站智能化系统展开综合调度工作,同时负责运行管理工作以及给予决策方面的支持。此层会将感知数据以及控制结果加以汇总并进行分析,由此形成较为完整的运行评估情况以及优化方面的建议,以此来为设备能够实现长期且稳定的运行给予相应的指导。运维与管理层所具有的核心价值体现在它的战略性以及全局性这两个方面。它不但可以达成对单一设备进行健康管理的目的,而且还可以对整个电站的运行状态实施全方位的监控以及协调操作,从而促使资源配置效率得以提升,并且

让运行经济性也得到提高。除此之外,该层还拥有故障诊断功能以及预测性维护功能。通过分析历史数据以及运行模式,其可以在潜在的风险尚未发生之际便给出预警信息,助力运维人员提前采取相关措施,防止出现意外停机的情况以及由此产生的损失。伴随人工智能以及大数据技术的应用,运维与管理层已然能够实现对数据开展深度挖掘以及做出智能决策,这为水电站达成智慧化管理奠定了稳固的技术方面的支撑。

3 提升电气一次设备智能化水平的策略与发展趋势

3.1 优化设备设计与运行环节

设备设计乃是智能化水平得以提升的初始环节,妥当的设计既和一次设备的运行效率紧密相关,又会径直对其与智能系统的适配程度产生影响,在优化设计这块,需要充分顾及设备的智能化需求,让其拥有不错的数据接口以及通信能力,如此一来便能够与二次设备还有自动化系统达成无缝连接^[1]。在运行环节当中,优化设计还表现在对设备运行参数的合理设定与调节上面,保证其在不同工况之下都能够维持高效且稳定的运行状态。借助在设计阶段引入智能化理念的方式,可以让一次设备在运行进程里展现出更高的适应性与可控性,同时也能为后续的智能运维筑牢根基。优化设计和运行环节相结合,能够让水电站电气设备从整体层面实现效率与安全性的双提升。

3.2 加强设备选型与安全防护

设备选型与安全防护极为关键。恰当的设备选型既要契合水电站运行的技术指标,又要顾及其在智能化系统里的兼容性以及扩展性。采用具备先进通信接口和自诊断功能的一次设备,能大幅提升整个系统的智能化程度。就安全防护来讲,伴随信息化程度的提高,电气设备对运行环境的稳定性以及数据安全性有了更高的要求^[2]。强化设备的安全防护举措,既包含传统的电气绝缘、防雷及接地设计,也涉及信息安全防护与运行数据保护,以此保障设备在智能化运行当中的可靠性与安全性。

3.3 推进智能运维与全生命周期管理

智能运维属于设备智能化发展的一个重要趋向,它的关键点在于借助先进的信息化以及智能化方式,达成设备全生命周期的科学化管理。从设备的安装调试阶段开始,一直到日常的运行过程,接着是检修环节,直至设备退役为止,每一个环节均需凭借智能化手段来予以优化^[3]。引入状态监测、远程诊断以及预测性维护等技术之后,能够大幅提升运维工作的效率,有效降低不必要的停机与检修情况出现,进而延长设备的使用寿命。与此全生命周期管理着重于从设计环节、制造环节、运行环节直至报废环节的全过程把控,以此确保设备在整个寿命周期当中都可维

持在最佳性能的状态。这样的管理模式一方面提高了水电站的运行经济效益,另一方面强化了设备运行的可持续性,还为未来智能化的发展筑牢了坚实的基础。

3.4 融合大数据与人工智能,迈向智慧能源

大数据以及人工智能的应用,给水电站电气一次设备的智能化赋予了全新的发展动能。借助对大量运行数据展开采集并加以分析的方式,便能够挖掘出潜藏于数据之中的运行规律以及优化路径,从而为设备运行给予科学方面的依据。人工智能技术在故障诊断、状态预测还有运行优化等诸多方面,均能起到颇为重要的作用,进而达成从依靠经验驱动转变为凭借数据驱动以及智能决策的局面。在大数据和人工智能的助力之下,水电站一方面能够提高一次设备的运行智能化程度,另一方面还可在更为广阔的范围里达成能源的优化调配与智能管理,最终朝着智慧能源的发展目标迈进。这种趋势说明,未来水电站的智能化不会仅仅局限在单一设备层面,而是会拓展至系统与网络层面的全方位智慧化,以此实现能源系统的协同优化以及可持续发展。

4 结语

水电站电气一次设备走向智能化,这可是推动电力系统迈向现代化的一个极为重要的方向。其在不断发展之中,一方面使得设备在运行时的安全性以及可靠性都得到了提升,另一方面也给水电站整体效率的提高以及能源利用的优化给予了强有力的支撑。去剖析水电站电气一次设备智能化所具有的技术特点,同时阐述二次设备信息化还有自动化管理系统所起到的作用,再结合智能系统的结构层次状况,进而提出提升智能化水平的具体策略以及未来的发展趋势,如此一来便能够清晰地看出,电气一次设备的智能化已然成为水电站达成智慧化发展这一目标的关键途径。在未来,随着信息技术、人工智能以及能源管理三者之间不断走向深度融合,水电站必定会在智能化这条道路上实现更高层次的发展,从而为构建起绿色、智能且可持续发展的能源体系做出应有的贡献。

[参考文献]

- [1]刘志欣.水电站电气一次设备智能化技术研究[J].数码世界,2020(2):261.
- [2]董德辉.水电站电气设备运行维护及故障检修处理研究[J].中国设备工程,2025(6):70-72.
- [3]陈丽娜.潭岭水电站电气一次系统设计分析研究[J].黑龙江水利科技,2021,49(11):49-51.

作者简介:陈如先(1998.8—),男,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。

电力系统中自动化技术标准化应用

殷佳金

德宏师范学院, 云南 德宏州 678499

[摘要]电力系统规模不断扩大且运行复杂度日益提高,自动化技术在保障其安全稳定高效运行方面起到极为关键的作用,自动化技术标准化应用能提升系统运行的一致性和互操作性并有效削减管理与运维成本,统一通信协议、设备接口和数据采集格式,调度自动化、保护自动化以及监控系统就能协同运行,推动标准化进程对加快智能电网建设有益且能给电力系统运行效率和可靠性提供坚实技术支持。

[关键词]电力系统运行; 自动化技术; 标准化; 智能电网; 调度控制

DOI: 10.33142/hst.v8i9.17710

中图分类号: TH137

文献标识码: A

Standardization Application of Automation Technology in Power System Operation

YIN Jiabin

Dehong Normal University, Dehong, Yunnan, 678499, China

Abstract: As the scale of the power system continues to expand and the complexity of its operation increases, automation technology plays a crucial role in ensuring its safe, stable, and efficient operation. Standardized application of automation technology can improve the consistency and interoperability of system operation, effectively reduce management and operation costs, unify communication protocols, equipment interfaces, and data collection formats, and enable coordinated operation of dispatch automation, protection automation, and monitoring systems. Promoting standardization is beneficial for accelerating the construction of smart grids and can provide solid technical support for the efficiency and reliability of power system operation.

Keywords: power system operation; automation technology; standardization; smart grid; dispatch control

引言

国家能源命脉的电力系统在现代社会里运行安全和效率相当重要,电网结构复杂、负荷增长、新能源接入,面对这些挑战传统人工管理方式满足不了高效调度和精细运维的需求,自动化技术广泛应用是提升系统智能化水平的重要手段,要实现规模推广和协同运行标准化应用是关键路径,探索自动化技术标准化的系统应用既符合行业发展趋势又能给构建高质量智能电网提供坚实支撑。

1 电力系统运行面临的挑战与自动化需求

电力系统日益复杂使运行安全与高效性面临严峻考验,引入自动化技术是应对挑战、提升管理水平的关键途径,很有必要深入探讨其必要性与实施方向。

1.1 电网结构复杂化带来的运行压力

城市化进程加快使得社会用电需求不断上升,电力系统网架结构不断扩展且电源结构日益多元化,分布式发电、大规模新能源接入等新型负荷不断涌现,传统电网因结构复杂调控能力受限制,系统运行的稳定性和协调性面临更高要求,不同类型发电源接入特性差异大导致电能质量管理难度增大,区域间功率频繁波动使调度系统响应速度和精度需更高要求,靠人工管理难以把控系统全局、实时、精细,得靠自动化技术介入,这是缓解运行压力提升整体性能的必要手段。

1.2 运行数据激增对调度提出新需求

海量数据被现代电力系统用于状态评估、负荷预测和运行决策,数据采集种类从电压、电流拓展到频率、相角、气象参数、设备状态等多维度,而传统调度方式由于数据规模的爆炸式增长,在处理速度、数据整合与分析能力方面严重滞后,调度决策很难精准匹配当下系统状态且存在信息孤岛问题,自动化调度系统融合高级测量技术、边缘计算和人工智能分析模型,不仅能高效处理数据,还能自动识别系统异常、预测潜在风险,大大提升调度科学性和响应效率,数据驱动的调度智能化成了电力系统安全运行的核心需求之一,迫切需要全面部署自动化技术。

1.3 智能电网发展倒逼自动化升级

智能电网概念全面推广,传统电网朝着高度信息化、互动化、分布式方向演进从而全面提升电力系统自动化程度,智能电网各环节要实时感知、智能分析、自适应控制就需广泛部署通信、监控与控制等自动化系统且统一协同以实现这些目标,没有高度自动化支撑就难以达成智能电网资源最优配置和用户响应,并且智能终端和用户侧参与进来时系统要有开放性和快速响应能力才能使电网自动化系统朝着标准化、模块化、高度集成方向发展得更快,智能电网推进是电力系统自动化升级的重要外部驱动力。

2 自动化技术在电力系统中的核心应用领域

电力系统各环节广泛应用自动化技术,这对提升系统

安全性、可靠性与智能化水平很关键，且凭借精准控制和高效响应深深融入系统核心运行机制。

2.1 调度自动化提升运行效率

电力系统的中枢神经是调度控制，它承担全网功率平衡、资源协调和紧急响应等关键任务。传统调度靠人工操作，响应滞后且易出差错，难以适应现代电网运行对实时性和精准性的高要求。调度自动化系统集成远程数据采集、状态监测、实时决策和自动指令下发等功能，能全面掌控电网运行状态并智能调配，在突发故障和负荷波动时能在毫秒级时间内判断、处置，显著提升电网的稳定性和安全性，其数据可视化和辅助决策功能也让调度人员压力大幅减轻，是现代电力系统不可或缺的重要组成部分。调度自动化还与新能源消纳、分布式电源接入和虚拟电厂调控等新业务紧密相连，可动态调整负荷分布，实现灵活响应和最优功率流配置，在融入人工智能和大数据算法后，调度系统智能化水平不断提高，为构建弹性强、适应性高的未来电网提供了坚实保障。

2.2 保护自动化增强系统安全

在电力系统运行时，电流突变、短路故障、设备损坏之类的突发性风险常出现，而传统保护装置反应慢、覆盖范围小且大多要靠人，有错误动作或者拒绝动作的风险，自动化技术一引进保护系统就从被动变成主动了，现代保护自动化装置以数字化继电保护和高速通信网络为基础，能快速准确地识别故障类型、位置和波及范围并及时切断故障元件以避免事故扩大，不同保护装置还能联动协调让系统各级防护策略科学有效，自动化保护系统推广后电力系统面对复杂运行环境时的安全防线明显增强了，这是保障电网稳定运行的关键，广域保护系统（WAPS）推广应用后保护系统能在多个电网区域协同防御，提高系统级应急响应和恢复能力且抗扰动能力和运行韧性也更强了，以后融合 AI 识别技术和云边协同架构的保护系统判断会更准、响应更自主，朝着“自诊断、自修复、自进化”的方向发展。

2.3 监控自动化支撑智能运维

电力系统运行和维护时要掌握设备状态、发现异常隐患、实施故障诊断就得先做好实时监控，大量智能传感器和数据采集装置被监控自动化系统部署后就能对输电线路、变电站设备、配电环节等关键部位全天候监视，后台分析平台与可视化技术配合可实现电压、电流、温度、绝缘状况等关键指标的动态跟踪和趋势预警，智能告警系统能主动提示潜在故障从而大大提高运维效率和精准性。在无人值守站所越来越多、远程运维需求不断增长的背景下，自动化监控系统可降低人工巡检强度、让检修决策更科学且响应更及时，为智能化电网运维体系构建打下坚实基础，而且物联网和云计算的监控平台能对多站点集中管理以提升系统可视化程度和联动处置效率，引入数字孪生技术后电力企业可在虚拟环境里提前预演设备运行状态和故

障场景以辅助精准检修和运维决策，促使运维进一步从“被动响应”朝“主动预防”转变从而开启智能化电力运维新阶段。

3 标准化对电力自动化系统运行效率的影响

电力自动化系统高效协同与规模化应用的关键保障是标准化，其能提升系统兼容性、运维效率和技术可持续发展能力以对现代电网建设起到重要支撑作用。

3.1 统一接口规范提升兼容性

电力自动化系统里，各类设备和子系统往往由不同厂商设计制造，若没有统一的接口标准，很容易出现数据不通、信号不兼容的情况，甚至系统间有效协作都会很难；建立起统一的通信协议、数据格式和接口规范后，不同厂商的设备就能即插即用、无缝连接，系统集成效率和可扩展性会大幅提高，且能避免重复开发和接口适配造成的成本浪费，缩短工程实施周期，提升工程质量；在大规模调度自动化和分布式能源接入的背景下，推动接口标准化意义特别突出，为构建开放互联的电网自动化生态系统筑牢根基。

3.2 规范运维流程提升管理效能

电力系统运行时巡检、维护、故障处理以及调度操作众多，要是没标准化流程指引就容易出现执行偏差、信息混乱和管理盲区。统一建立自动化运维标准，如设备状态判别标准、数据采集频率、报警阈值设置规范等，就能有效规范人员行为，提升操作的一致性与可控性。并且标准化运维流程容易形成可复制、可追溯的管理闭环，使运维工作变得更透明、精细、高效。智能系统进行自动识别与分析时若有标准化流程配合，就能推进故障处理自动化、数据诊断智能化，全面提升电力系统运营效率和响应能力。标准化流程可促进运维数据的沉淀与分析，为后续系统优化提供科学依据，促使智慧运维体系不断进化。

3.3 保障系统协同提升运行稳定

各层级自动化系统间的协调运行是电力系统高度依赖的，建立统一的运行规则与系统行为规范时标准化能起到助力作用进而让保护、调度、监控等子系统的协同运行变得更高效率稳定，电力调度时数据一致性和系统同步性对运行决策精准性影响特别大而信息在不同系统间传输准确、响应及时可由标准化予以保障且能降低系统间不一致导致的误动作风险，故障响应策略、预警机制和恢复流程有了统一标准能提高系统面对突发事件的应急协同能力，标准化不但使系统整体运行效率提升而且能增强电网面对复杂运行环境时的安全韧性与自恢复能力。

4 自动化技术标准体系的构建与发展现状

完善的自动化技术标准体系的构建是推动电力系统迈向现代化与智能化的根本保障，当前相关标准体系发展正在加速但结构不全、实施不统一等现实挑战依然存在。

4.1 标准体系框架逐步成型

国家能源战略和智能电网建设近年来不断推进,电力自动化技术标准体系的框架结构逐步建立起来,这一框架结构涵盖通信协议、数据接口、功能分类、运维流程等多个维度,国家电网公司、南方电网公司、国家能源局以及不少科研院所都是标准制定机构,国家标准(GB)、行业标准(DL)、企业标准以及像 IEC 这样的国际标准是其主体,调度自动化、继电保护、远程监控等重点领域标准规范体系已经比较成熟,给设备制造、工程实施和系统运行提供了重要支撑,但不同标准之间交叉和重复的情况仍然存在,整体框架的系统性和协同性还需要进一步加强。

4.2 关键标准内容持续完善

多项关键技术内容被当前已落地实施的核心标准涵盖,拿通信来说,变电站自动化系统已广泛应用 IEC61850 标准系列,实现多设备间的实时数据交互与统一控制,调度自动化领域基于 CIM(公共信息模型)标准的调度平台建设不断推进,实现信息结构与运行规则高度统一,设备互操作性、电能质量监测、保护动作标准等也一直在细化、迭代更新,要注意,边缘计算、人工智能等新兴技术引入后,标准制定朝着智能化、融合化发展,以此满足新场景、新业务的技术需求。

4.3 标准实施仍存落地难题

标准体系虽然越来越完善,但实际工程应用时,执行不到位、设备不兼容、人员理解有偏差等落地难题依旧存在,基层单位和中小企业里存在对最新标准缺乏足够认知、技术实施和标准脱节的情况,部分标准条款适应性差、更新滞后,很难覆盖新型电力业务快速发展的需求,并且不同区域或者系统在标准执行层级、接口实现方面存在较大差异,影响电力系统整体的互通性和统一性,要解决这些问题,得加强标准宣贯培训,建设统一测试认证平台,推动标准和技术协同发展,从源头确保自动化系统建设规范化、高效性。

5 推动电力系统自动化标准化应用的实施路径与对策

构建现代智能电网时,推动电力系统自动化标准化应用成为关键任务,若科学路径和系统对策协同推进就能让系统协同、高效运行并持续升级。

5.1 强化顶层设计推动标准统一

系统性的顶层设计和统筹规划是有效推进标准化工作所必须依赖的,国家能源主管部门要牵头联合电网企业、科研机构以及设备厂商建立起统一的电力自动化标准框架和实施路线图以保证各类标准相互衔接、协调统一,设计时得明确技术演进方向和适用边界并按照不同地区电网规模、发展水平和实际需求进行分级分类指导,且要加强跟国际标准的对接以推动像 IEC 这样的国际规范在本土转化融合从而提高我国电力自动化标准体系在全球的适应力和引领能力,完善的顶层制度设计能给标准化应用提供制度保障和行动指引。

5.2 推动标准落地强化试点示范

标准制定仅仅是个开端,核心在于落地实施,要打通从标准制定到工程应用的“一公里”就得在重点区域、关键环节进行标准化示范工程建设,典型场景试点,像变电站自动化升级、智能配电网建设、分布式能源接入等,能检验标准的可行性与适配度,为标准优化迭代积攒实践经验,试点时要同步配套标准化建设指南、测试评估机制以及绩效考核制度以提高标准执行力与系统兼容性,要让龙头企业充分发挥引领作用,促使设备厂家依据统一标准研发、测试和生产,构建标准先行、技术支持、成果推广的闭环机制,给大范围推广打基础。

5.3 加强人才建设与协同机制

标准化应用的推动,光靠制度和技术不行,还必须要有专业人才和协作机制的保障。要在高校课程体系和职业培训中加入标准化相关内容,多培养电力系统自动化、标准化实施、设备集成等多学科复合型人才以提高从业人员理解和应用标准的能力,并且要构建多层次协同推进机制,建立标准制定单位、电网企业、设备供应商和科研机构之间的联动平台,定期开展标准共建、技术研讨和成果评估,通过跨部门协作、知识共享,让标准更符合工程实际且更快适应电力技术发展需求,从而形成上下贯通、内外协同的标准化实施体系。

6 结语

自动化技术的深度应用对电力系统安全高效运行不可或缺,而要实现系统协同、提升运行质量,标准化是根本保障,当下电网结构越来越复杂且智能化进程在加快,构建和落地自动化技术标准体系已成为行业发展的必然趋势,统一接口规范、完善运行流程、强化顶层设计和试点示范,电力系统就能逐步达成高效、安全、智能的运行目标,要加强人才培养、多方协同以构建标准化长期发展机制,只有不断推进标准化应用,才能够支撑智能电网建设,全面提高我国电力系统现代化管理水平和综合竞争力。

[参考文献]

- [1]李树科.电力系统运行中电气自动化的应用探讨[J].低碳世界,2017(19):91-92.
- [2]陈汉锐.电力系统自动化技术安全管理研究[J].科技创新与应用,2017(32):134-136.
- [3]黄卓.电力系统中电气自动化技术的应用及发展方向探讨[J].科学技术创新,2019(35):165-166.
- [4]赵文东.电力系统领域自动化的实施分析[J].中国高科技,2021(3):48-50.
- [5]石洪岩.电力系统运行中自动化技术标准化应用[J].大众标准化,2025(8):131-133.

作者简介:殷佳金(1987.9—),单位名称:德宏师范学院,毕业学校和专业:内蒙古工业大学;电气工程。

智能化技术在电力系统电气工程自动化中的应用分析

夏智 王云鹏 张滨

沈阳电力勘测设计院有限责任公司, 辽宁 沈阳 110000

[摘要]伴随电力系统规模持续拓展以及电气工程设备种类变得愈发多样,传统的人工操作和半自动化管理模式已很难契合现代电力系统高效、安全且可靠运行的要求。智能化技术乃是信息技术、自动控制技术以及人工智能的融合运用,在电力系统电气工程自动化方面起到了极为关键的作用。把智能化技术运用到电力系统的设计、运维、监控以及控制等环节当中,能够大幅提升系统的运行效率与安全性,达成对设备状态的实时监测以及故障的快速诊断,与此同时还能优化系统设计与控制策略,进而给现代电力系统的稳定运行给予可靠保障。文中在全面梳理智能化技术基本概念的前提之下,着重剖析了其在电力系统电气工程自动化中的应用策略以及具体实现途径,还对其在投资成本、运行效益以及社会经济价值等方面所起到的作用展开了细致分析,意在全方位呈现智能化技术所具备的技术优势以及经济方面的意义,目的在于为电力系统自动化建设与智能化化管理给予参考。

[关键词]智能化技术; 电力系统; 电力工程; 自动化

DOI: 10.33142/hst.v8i9.17704

中图分类号: TM76

文献标识码: A

Application Analysis of Intelligent Technology in Electrical Engineering Automation of Power System

XIA Zhi, WANG Yunpeng, ZHANG Bin

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

Abstract: With the continuous expansion of the power system scale and the increasing diversity of electrical engineering equipment types, traditional manual operation and semi-automatic management modes are no longer suitable for the requirements of efficient, safe, and reliable operation of modern power systems. Intelligent technology is the integration and application of information technology, automatic control technology, and artificial intelligence, which plays a crucial role in the automation of electrical engineering in power systems. Applying intelligent technology to the design, operation, monitoring, and control of power systems can significantly improve the system's operational efficiency and safety, achieve real-time monitoring of equipment status and rapid diagnosis of faults, while also optimizing system design and control strategies, providing reliable guarantees for the stable operation of modern power systems. On the premise of comprehensively sorting out the basic concepts of intelligent technology, this article focuses on analyzing its application strategies and specific implementation approaches in the automation of electrical engineering in power systems. It also conducts a detailed analysis of its role in investment costs, operational benefits, and socio-economic value, aiming to comprehensively present the technical advantages and economic significance of intelligent technology, and provide reference for the construction and management of power system automation.

Keywords: intelligent technology; power system; electric power engineering; automation

引言

随着社会经济不断发展以及城市化进程不断加快,电力系统的规模变得越来越大,电气工程设备的数量以及类型呈现出高度多样化的态势,其运行环境也越来越复杂。这样的发展趋势给电力系统的运行管理提出了更高的要求,传统依靠人工操作或者简单的自动化控制的模式已经很难应对大规模且复杂度高的系统运行需求了。在这样的大背景之下,智能化技术的应用成为了电力系统电气工程自动化发展的一个必然趋势。智能化技术综合运用人工智能、大数据分析、物联网以及自动控制技术,不但可以实现对电力设备的实时监控以及自动化管理,而且还能借助科学算法来优化运行策略,提高系统运行的效率,同时有

效地保障系统的安全稳定。与之同进,智能化技术于降低运行成本、提升投资回报率以及强化电力系统社会效益等方面,同样彰显出颇为显著的优势,进而为推动电力行业实现可持续发展给予了强有力的支撑。本文将围绕智能化技术在电力系统电气工程当中的概述、应用策略以及在监控、控制与诊断自动化方面具体应用展开系统的分析,希望能够为相关领域的工程实践以及研究给予理论方面的支持以及实践方面的参考。

1 智能化技术概述

智能化技术乃是信息技术、自动控制技术还有人工智能等诸多学科相互交叉融合之后所产生的产物,它的核心要旨在于借助对人类智能决策流程予以模拟的方式,达成

系统针对所处环境能够自主地去感知、去分析、去决策以及去执行这样的目的。就电力系统电气工程这一领域来讲,其中所涉及的智能化技术主要涵盖了自动监控系统、智能控制系统、数据分析平台以及依据算法构建而成的故障诊断与预测模型等等方面。这些技术会凭借感知设备的实际状态、采集其运行期间的数据,并且与预先设定好的控制逻辑或者人工智能算法相结合,进而对系统的运行状况展开自主的优化操作以及智能层面的调整举措,如此一来便能够削减人为的干预情况,促使电力系统的运行可靠性以及效率得以提升。与此智能化技术本身还拥有自学习以及自适应的能力,它可以在持续发生变化的运行环境当中对自己的策略加以优化,达成对复杂电气系统工程实施精确控制并且实现高效管理的效果,切实推动电力系统从传统的依靠人工操作的模式朝着高度自动化以及智能化的模式转变。

2 电力系统电气工程应用智能化技术的重要价值

2.1 提升系统运行质量

在电力系统具体运行时,智能化技术可以提前设置运行程序,系统运行决策通常不会有较大的事故出现,有效突破以往系统操作过程中过于依赖个人经验和技術水平的局限性,提高电力系统的运行质量。

2.2 提升系统运行效率

在电力系统具体运行时,将智能化技术融入控制终端,可以全面采集和集中处理海量数据。在现代科技的不断发展中,电力系统具有更大的建设规模,专业技术设备的种类和数量具有较高的多样化。在该种状况下,科学应用智能化技术有利于对电力设备进行合理优化,提高电力系统的运行效率。

2.3 保障系统运行安全

将智能化技术的科学应用于电力设备运维管理中,可以动态监测设备的运行状态。通过对其运行参数进行深入分析,可以及时找出安全隐患,并及时反馈给设备管理人员,进行集中处理。在电气工程具体运行时科学应用智能化技术,可以更加高效地处理设备故障,确保电力系统运行安全。

3 电力系统电气工程智能化技术的应用策略

3.1 优化产品设计与系统配置

在电力系统的电气工程领域当中,产品设计以及系统配置的优化乃是智能化技术得以应用的一个基础环节,借助科学合理的规划方式以及智能化的设计手段,能够促使设备与系统的运行达成高度的匹配状态。智能化技术在这个环节里主要呈现出这样的情况,即凭借计算机辅助设计、仿真分析以及算法优化等方式,针对电力设备的性能参数、布局方案还有运行模式展开合理的规划工作。运用数据建模以及运行仿真的手段,便可以预先对系统在不同负荷条件之下的运行状态加以预测,进而对设备的选型以及参数

配置予以优化,确保系统在保障安全性的前提之下,能够提升自身的经济性以及效率。经过优化设计之后,电力系统一方面能够适应那种复杂且多变的运行环境,另一方面还能够在智能化控制的作用下实现负荷的合理分配、功率的优化以及运行稳定性方面的提升,如此一来也就为后续开展的自动化监控以及智能化运维打下了颇为坚实的根基。

3.2 定期维护与设备管理

智能化技术于定期维护以及设备管理方面所起的作用是无可取代的,其借助实时监测设备的实际运行状态以及相关环境参数的方式,达成对设备寿命还有运行健康状况的全方位把控。以往的传统人工巡检,往往会受到人力方面的限制以及不同经验所带来的影响,然而智能化设备管理系统则可凭借安装传感器以及数据采集终端,实时抓取电气设备的温度、电流、电压还有振动等一系列运行数据,并且结合智能算法展开分析,进而提前察觉到潜在的故障并且生成相应的维护建议。此项技术可实现的是预防性维护而非事后的修复工作,如此一来能够降低突发停机事件的发生概率,减少维修成本,与此同时还能优化维护计划,合理规划设备检修周期,以此来保障电力系统能够长期稳定地运行。

3.3 故障诊断与设备病因分析

在电力系统运行期间,设备出现故障是难以避免的情况,而智能化技术给故障诊断以及病因分析带来了高效的且科学的方式。通过全面分析历史运行数据、实时监测数据还有环境参数,智能诊断系统可以迅速确定故障发生的地点,并且细致剖析可能存在的原因,与此它会结合设备的运行特性以及系统的拓扑结构,达成针对复杂故障模式的精准推理与判定。依靠人工智能算法以及专家系统,该系统不但能把多维度的数据转变成具有操作性的维护方案,而且能够实现对设备异常的早期介入以及预测性维护,进而大幅提升故障诊断的精确度与响应的速度,降低人为误判出现的可能性,与此同时强化电力系统在突发故障或者异常状况下应对变化的能力,保证系统能够长期稳定、安全且高效地运转。

3.4 系统设计优化与智能控制

智能化技术于系统设计优化以及控制层面而言,借助智能算法达成对电力系统运行状态的实时调整与优化决策。该系统能够依据负荷方面的变化情况、设备所处的状态以及外部环境的具体条件,自动对电流、电压还有功率分配加以调节,进而实现负荷的平衡以及能效的优化。与此智能控制系统可针对多节点、多设备的运行展开集中调度,对开关控制以及保护策略予以优化,如此一来便能够降低能量的损耗并且减缓设备的磨损程度。当应用智能控制技术之后,电力系统在维持安全稳定这一前提之下,能够实现更高的运行效率,而且还拥有对突发事件做出快速响应的能力,使得电气工程的整体运行变得更加科学、高

效且可靠。

3.5 PLC 及其他控制技术应用

可编程逻辑控制器 (PLC) 属于智能化技术的关键部分, 在电力系统自动化领域占据着极为重要的地位, 其起到的作用是核心且关键的。PLC 可针对电气设备的运行状况做到实时采集、分析以及处理相关数据, 并且还能够凭借预先编写好的逻辑指令来精准地控制执行元件, 进而达成对系统运行进行自动调节以及优化的目的^[1]。和传统的继电器控制相比较而言, PLC 具备更高的灵活性、可靠性以及可扩展性, 能够契合复杂电力系统于自动化控制方面所呈现出的多样化需求, 并且还能够支持多任务并行处理以及故障自诊断等功能。在实际的应用过程中, PLC 往往与 SCADA 系统、DCS 系统还有智能控制平台紧密地结合在一起, 能够实现对整个电气工程系统展开集中化的监控、远程的管理以及智能化的操作, 让数据采集、分析、控制以及报警机制得以高度地集成起来, 如此一来便能够大幅度提升系统的自动化程度以及运行的效率, 与此同时还能有效地保障设备能够安全地运行以及电力系统的稳定状态, 从而为现代电气工程的高效运维给予稳固的技术支撑。

4 智能化技术在监控、控制与诊断自动化中的应用

4.1 监控自动化应用

在电力系统电气工程领域当中, 监控自动化属于保障系统可以安全且稳定运行的关键环节, 其重要程度和整个电力系统的可靠性以及运行效率紧密相关。随着智能化技术得到广泛运用, 传统的监控模式已经从仅仅依靠数据采集以及人工监控的状态逐步转变成具备实时性、自动化特点以及智能化特性的全过程管理模式。借助部署高精度的传感器网络、智能采集终端以及远程监控设备, 该系统可针对电流、电压、功率、温度等其他关键运行参数展开实时监测, 随后把大量的数据上传至集中控制平台来实现统一管理。平台凭借内置的算法、人工智能模型以及大数据分析技术, 对这些数据加以深度处理并且开展趋势预测, 如此一来便能及时察觉到异常信号, 对潜在的风险做出准确判断并生成自动预警, 进而大幅提升系统对于突发事件的响应速度以及处理能力。与传统的人工监控相比较而言, 智能化监控一方面提升了数据采集的精度以及分析的科学性, 另一方面也有效地减少了人为出现的误差以及操作方面的风险, 从而确保电力系统能够在复杂的运行环境之下持续不断地高效且安全地运转起来, 与此同时还能为自动化控制、故障诊断以及维护优化给予较为坚实的关于数据方面的支撑以及决策方面的依据。

4.2 控制自动化应用

智能化技术于电力系统的控制环节有着极为关键的作用, 其借助把控制算法同实时数据紧密结合起来的方式,

达成系统针对负荷调节、电压控制以及功率分配等关键参数的自动化调节这一目的。智能控制系统能够依据电力负荷所发生的变动以及设备的实际状态, 自行去计算出最优的控制策略, 并且通过 PLC 或者分布式控制系统来下达相应的指令, 以此精确地去调节各类电气设备的运行状况。在实际的应用过程当中, 这样的自动化控制可切实有效地对系统负荷加以平衡, 同时还能减少能量的损耗, 降低设备出现磨损的情况, 并且在出现突发故障或者是负荷产生波动的时候, 能够迅速地调整运行策略, 确保系统整体呈现出良好的稳定性与安全性^[2]。除此之外, 智能化控制还拥有学习以及自适应的能力, 能够凭借历史运行数据以及环境的变化不断地去优化控制策略, 使得电力系统即便处于复杂且多变的运行条件之下, 依旧能够维持高效的运转状态并保持稳定, 进而为电气工程自动化给予稳固有力的支撑。

4.3 诊断自动化应用

诊断自动化属于智能化技术在电力系统当中的重要构成部分, 其借助对设备状态以及运行数据展开实时分析的方式, 达成故障的快速识别、定位以及处理等目的^[3]。智能化诊断系统把人工智能算法同专家系统结合起来, 可针对历史数据以及实时监测数据展开深度挖掘以及模式识别的操作, 进而精准地判断故障类型及其潜在的原因。如此一来, 既大大缩减了故障处理所花费的时间, 又提升了诊断的精准程度, 防止出现因人为判断失误而引发的设备受损或者系统事故等情况。与此诊断自动化系统还能够生成维护方面的建议以及优化的方案, 以此给设备管理以及维修工作给予科学层面的依据, 降低运维的成本, 提高电力系统的可靠性以及安全性。凭借实时诊断和预防性维护的相互融合, 智能化技术促使电力系统从原本的被动维护朝着主动且智能化的运维模式去转变, 有力地强化了整个电气工程系统的稳定性以及运行的效率。

5 智能化技术应用的经济与效益分析

5.1 投资与建设成本分析

在电力系统电气工程开展建设工作的过程当中, 智能化技术的引入的确会产生一定程度的前期资金方面的压力, 像智能设备的采购、传感器的布设、通信网络的搭建以及软件平台的开发等等, 这些所涉及的成本相比于传统系统而言是更高的。不过, 从整个生命周期的角度来考量的话, 智能化技术能够大幅度地降低运行维护方面的费用。借助于减少人工巡检的次数、缩短设备停机的时间、降低因突发事故而产生的维修成本, 智能化系统通常可以在数年的时间内实现投资的回收, 并且在后续阶段还能够持续不断地创造出经济效益。所以说, 虽然初始投入的金额比较庞大, 但是其长期所能够带来的经济回报以及运行效益使得它的应用有着必要性与合理性。

5.2 提升效率与节能降耗效益

智能化技术在提升运行效率以及实现节能降耗这两

方面有着十分突出的优势。借助智能监测手段以及大数据分析方式,该系统可实时且全面地知晓设备的实际状态以及负荷方面的各种变化情况,并且能够自动对调度策略加以优化,如此一来便可以防止因为运行方式不合理而出现的能源浪费现象。智能控制终端还能够依据负荷的具体特性展开细致入微的调控操作,以此提高电力资源的利用效率,减少线路方面的损耗以及无功功率的消耗,进而有效地使整体能耗得以降低。对于电力企业来讲,这样的节能效益一方面代表着直接的经济效益,另一方面在长期的运营过程当中还能够逐渐形成规模效应。与此在“双碳”战略所处的这样一种大背景之下,智能化技术所具备的节能优势还拥有着极为重要的环保层面的意义,能够为绿色电力以及清洁能源的发展给予相应的技术方面的有力支撑。

5.3 系统安全性增强与社会经济效益

电力系统的安全状况乃是社会经济得以稳定运行的先决条件。智能化技术借助实时监测以及预警方面的机制,能够在故障尚未发生之时便捕捉到异常信号,并且提前采取干预措施,如此一来便能够降低事故发生的概率以及停电的风险。它既减少了因设备损坏以及电力中断所引发的直接经济损失,又避免了次生灾害给社会生产以及生活带来的冲击。对于企业来讲,系统安全性得到提升,这就意味着维护成本会有所下降,同时供电的可靠性也会得到增强;而对于社会来讲,则能够保障经济活动可以顺利地运行,也能让居民的生活质量得到保证。智能化技术所赋予的安全与稳定方面的好处,最终会转化成为企业的经济收益以及社会的整体福祉,这两者相互之间起到辅助的作用,推动电力产业达成可持续发展的目标。

6 结语

现代电力系统规模不断拓展,电气工程设备也日益多样化,在这样的情况下,传统的依靠人工操作以及半自动化的管理模式已经没办法满足系统高效且安全运行方面

的诸多要求了。此篇文章全面且细致地分析了智能化技术在电力系统电气工程自动化当中的实际应用情况,这其中涵盖了智能化技术在产品设计环节、设备维护方面、故障诊断工作、系统优化层面以及 PLC 控制等相关领域的具体策略,并且还详尽地阐述了它在监控、控制以及诊断自动化方面的具体应用实例。智能化技术借助于对设备状态展开实时监测、对故障进行快速诊断以及对运行策略予以智能优化等方式,一方面极大地提升了系统运行的质量与效率,另一方面也切实有效地保障了电力系统的安全性以及可靠性。在未来,伴随着人工智能、物联网以及大数据等各类技术的持续发展,电力系统的自动化程度将会得到进一步的提升,智能化技术在电气工程领域当中将会发挥出更为关键的作用,进而为电力系统能够实现安全、高效并且可持续的运行给予更加稳固有力的技术支撑。从经济层面来讲,智能化技术在投资以及建设成本的优化环节,呈现出颇为显著的优势,并且它在提高能效、减少能耗以及强化社会效益等方面,同样有着不容小觑的重要意义,如此一来,它的应用价值便不仅仅局限于技术层面的进步,而是更多地体现在对电力行业整体效益的推动以及促使其实现可持续发展的方面。

[参考文献]

- [1]刘奇中.智能化技术在电力系统电气工程自动化中的应用分析[J].现代工业经济和信息化,2023,13(4):124-126.
- [2]茹翰.智能化技术在电力系统电气工程自动化的应用研究[J].中外企业文化,2022(3):114-115.
- [3]覃川.智能化技术在电力系统电气工程自动化中的应用[J].大众用电,2021,36(9):47-48.

作者简介:夏智(1984.5—),工程师,沈阳农业大学农业电气化与自动化专业毕业,就职于沈阳电力勘测设计院有限责任公司,项目经理,长期从事 10kV 及以下配电网电气设计和管理等相关工作。

电气工程自动化技术在电力及系统运行中的应用

杨 帅

北京朝阳电力实业开发有限公司, 北京 100025

[摘要]我国社会经济快速发展的当下, 电力行业已然成为经济运行的关键支撑力量, 其是否能稳定运行, 会直接影响到社会的发展水平以及居民的生活质量。为了能够满足不断增加的能源需求, 我国电力系统持续开展技术方面的升级工作以及改革创新举措。作为电力行业的关键技术支撑, 电气工程自动化技术在保证电力系统可以安全、高效且稳定地运行这起着极为重要的作用。文章针对电气工程自动化技术在电力系统当中的具体应用情况及其所具备的优势展开分析与研讨, 希望能给相关从业人员给予一定的参考, 推动电力系统技术水平得以提升, 并朝着智能化方向不断发展。

[关键词]电气工程自动化技术; 电力系统; 运行; 技术应用

DOI: 10.33142/hst.v8i9.17700

中图分类号: TM76

文献标识码: A

Application of Electrical Engineering Automation Technology in Power and System Operation

YANG Shuai

Beijing Chaoyang Electric Power Industry Development Co., Ltd., Beijing, 100025, China

Abstract: With the rapid development of Chinese social economy, the power industry has become a key supporting force for economic operation. Its stable operation will directly affect the level of social development and the quality of life of residents. In order to meet the increasing energy demand, Chinese power system continues to carry out technological upgrades and innovative reform measures. As a key technical support for the power industry, electrical engineering automation technology plays an extremely important role in ensuring the safe, efficient, and stable operation of the power system. The article analyzes and discusses the specific application of electrical engineering automation technology in the power system and its advantages, hoping to provide some reference for relevant practitioners, promote the improvement of power system technology level, and continuously develop towards intelligence.

Keywords: electrical engineering automation technology; power system; operation; technology application

引言

随着电力系统规模变得越来越大, 电网结构也变得越来越复杂, 在这种情况下, 传统依靠人工来进行管理以及控制的方式已经很难满足现代电力系统对于高效、可靠并且智能化运行方面的需求了。电气工程自动化技术是现代电力系统极为重要的一种支撑手段, 它把传感器、控制器、通信网络还有智能算法加以集成, 以此来达成对发电环节、输电环节、配电环节以及用电环节整个过程的实时监测、分析以及调控操作, 进而促使电力系统的运行效率、可靠性以及安全性都得以提升。伴随人工智能、PLC 控制、变压器自动化检测以及设备故障诊断等相关技术不断发展起来, 电力系统便能够对海量的运行数据展开高效的处理工作, 还能做到对故障进行智能预测, 另外也能实现对负荷开展科学的调度安排, 这无疑为智能电网的建设给予了技术层面的有力保障。与此电气工程自动化技术一方面对传统电网的管理模式进行了优化改进, 另一方面还推动了新能源的接入事宜、能源的优化配置工作以及可持续发展相关事项的进展。在这样的大背景之下, 针对电气工程自动化技术在电力系统运行当中的具体应用展开深入细致的研究, 这既有着十分重要的理论方面的价值, 能够助

力推动电力系统朝着智能化的方向不断发展, 同时也具备相当的现实方面的意义, 可为电力企业的管理举措、运行优化状况以及智慧电网的建设进程给予科学合理的依据以及相应的技术方面的有力支撑。

1 电气工程自动化技术的特点及应用价值

电气工程自动化技术具备高效、精准以及智能化等特性, 在现代电力系统当中有着颇为重要的应用价值。它的核心特点就在于可以达成电力系统的自动监测、控制以及优化运行, 减少人为的干预, 进而提升系统的可靠性与安全性。与此该技术借助传感器、执行器、控制器还有通信网络的集成方式, 能够实现针对发电、输电、配电以及用电整个过程的数据采集与实时分析, 促使电力设备可以在最佳的状态下运行, 以此来降低能耗以及运行成本。电气工程自动化技术还拥有很高的可扩展性以及智能化特性, 可以和人工智能、PLC 控制系统、智能传感器以及大数据分析等一系列先进技术相互结合, 进而实现故障预警、设备诊断、负荷调控以及能源优化配置等功能, 由此提升整个电力系统的运行效率以及服务质量。在实际的应用情况当中, 该技术不但能够确保电网的稳定运行, 防止出现停电事故以及设备损坏的情况, 而且

还可以支持智能电网以及新能源并网的发展进程,给电力系统的可持续发展奠定稳固的技术根基。所以说,电气工程自动化技术在提升电力系统运行效率、保障能源安全、推动智能电网建设以及优化能源结构等方面都有着不容忽视的重要价值。

2 电气自动化技术在电力系统运行中的应用

2.1 人工智能技术

在电力系统运转期间,人工智能技术的应用正切实提高系统的智能化、自动化以及可靠性水平。借助机器学习、深度学习还有专家系统等手段,人工智能可针对电力系统海量运行数据展开实时剖析与建模操作,达成对负荷波动情况、设备运行状况以及电能质量的精确预测效果。举例来讲,依据历史负荷数据以及实时监测数据,人工智能能够预测短期及中长期的负荷变动情况,给调度部门给予科学的决策参考依据,对发电计划以及电网运行策略加以优化。与此人工智能技术在故障诊断以及风险评估方面能够起到关键作用,凭借模式识别以及异常检测手段迅速识别出潜在设备故障或者异常运行状态,缩减停电风险并且降低维护方面的成本^[1]。除此之外,人工智能还能够和智能传感器、SCADA 系统以及物联网技术相互融合,实现电网自适应控制、优化调度以及新能源并网管理,提升系统的稳定性以及能源利用的效率。

2.2 PLC 技术

在电力系统运转进程当中,PLC 也就是可编程逻辑控制器这项技术身为极为关键的自动化控制途径,广泛地在发电、输电、配电还有用电各个环节都得以应用。它所具备的高可靠性、灵活性以及可编程性,切实为电力系统的安全且稳定的运转给予了稳固有力的保障。PLC 可以针对各类电力设备展开实时的监测以及控制操作,借助对开关、继电器、电动机、变压器等这类设备实施逻辑控制的方式,达成自动化的启停、保护以及调节相关操作,切实有效地减少人为操作出现失误的情况以及设备发生故障的风险。与此 PLC 系统还能够和传感器、测量仪表以及 SCADA 系统紧密地结合起来,达成对电网电压、电流、功率因数以及负荷变化情况的实时采集以及反馈控制,进而促使电网运行效率得以优化提升。在现代智能电网的建设过程当中,PLC 还能够凭借模块化的设计方式以及网络通信手段,实现远程的监控、数据的采集以及集中的控制操作,以此来支撑自动化调度以及故障诊断等相关事宜,进而为电力系统的高效运转给予技术层面的保障。除此之外,将大数据分析以及人工智能算法相互结合起来,PLC 系统还能够进一步去实现自适应控制以及预测性维护方面的功能,以此提升设备的利用率,延长设备的使用寿命,并且进一步强化电力系统在复杂环境以及突发事件情形之下所具备的应对能力。

2.3 变压器自动化检测

在电力系统处于运行状态的时候,变压器属于电能传输以及分配方面的核心设备,它的运行状况同电网的安全性还有稳定性是紧密关联的。变压器自动化检测技术凭借智能传感器、数据采集系统以及自动化分析平台这几大要素,达成对变压器展开实时监测、故障诊断以及性能评估的目的。此项技术可以针对变压器的温度、油位、油质、电流、电压还有局部放电等诸多关键参数展开连续不断的监测活动,并且会把所采集到的数据借助通信网络传送到监控中心,依靠数据分析以及智能算法,对潜在的故障以及异常的运行趋势做出预测,进而达成预防性维护以及及时检修的效果,防止出现重大停电事故。与此变压器自动化检测技术还能够针对不同种类以及不同容量的变压器实施适配以及管理操作,通过构建历史运行数据库,实现状态评估以及寿命预测,以此来优化设备运行的策略以及资源的配置情况^[2]。在智能电网以及新能源并网这样的背景之下,该技术还能够和调度系统以及保护控制系统相互联动起来,达成远程控制、自动告警以及故障隔离等相关效果,提高电网整体所具有的稳定性以及可靠性程度。

2.4 设备故障诊断

在电力系统的实际运行进程当中,设备故障诊断无疑属于一个极为重要的环节,其对于保障电网能够安全、稳定且高效地运行有着不容忽视的作用。电气自动化技术则给这一环节给予了颇为有力的技术支撑。借助于对诸如变压器、断路器、电动机、母线还有配电设备等一系列关键设备展开实时的监测操作,自动化系统便能够去采集像电流、电压、温度、振动以及局部放电等诸多不同维度方面的运行数据,并且会凭借智能算法以及大数据分析手段来针对设备的状态加以评估,同时也开展异常检测相关工作。要是设备呈现出早期故障的迹象或者出现性能有所下降的情况,那么自动化诊断系统便能够及时地发出相应的预警信息,进而助力运维人员采取具有针对性的举措,以此防止故障进一步扩大化或者引发电网方面的事故。与此再结合人工智能以及机器学习技术,系统还能够针对历史运行数据实施模式识别以及趋势预测的操作,进而达成故障类型识别、位置定位以及原因分析的目的,如此一来便能够提升故障诊断所具备的准确性以及响应的速度。在现代电力系统之中,设备故障诊断甚至还可以和智能调度、远程控制以及维护管理平台相互联动起来,进而实现自动对故障区域予以隔离、优化负荷的分配情况以及安排检修的具体计划,通过这样的方式来降低出现停电的风险以及维护方面所需的成本。

3 电气自动化技术在电力系统运行中的应用策略

3.1 加强电气自动化技术的集成应用

在电力系统开展运行活动之时,强化对电气自动化技

术加以集成方面的应用,这无疑是一项能促使系统运行效率以及可靠性得以提升的关键策略。把人工智能、PLC控制、变压器自动化检测、设备故障诊断还有传感器监测等诸多自动化技术相互间有机地融合起来,如此一来便能够达成对电力系统从发电环节、输电环节一直到配电环节乃至用电环节整个过程的统一且有效的管理,同时也可实现智能化的控制。这种集成应用一方面能够提升设备彼此之间的协调程度,另一方面也能让数据共享的效率得以提高,除此之外,它还能够实现对系统的实时监测、快速做出响应以及精准进行调度,进而有效减少人为操作出现失误的情况以及运行期间存在的各类风险^[3]。与此集成平台具备对各类设备的状态以及运行数据进行统一采集的能力,还能对其进行相应的分析,并且能够将这些数据以可视化的形式呈现出来,从而给调度决策以及维护管理工作给予科学层面的依据。处在智能电网以及新能源并网这样的一种背景之下,电气自动化技术的集成应用还能够对负荷优化、能源管理以及故障预警等方面予以有力的支持,进而促使电力系统能够实现高效、稳定并且可持续的运行状态。

3.2 推广智能电网建设

智能电网的建设是实现电力系统现代化的关键路径之一,此项技术借助信息通信技术(ICT),成功建立起供电公司与用户之间的双向通信,实时数据的传输极大提升了电力系统的响应速度与灵活性。高级计量基础设施(AMI)的应用确保了对电力生产、传输、分配及消费环节的全面监控,使供电企业能够时刻把握用户用电情况,从而合理配置资源,避免浪费。智能电网的动态需求响应和负荷调度机制有效提高了供电的可靠性,尤其在需求高峰期,基于用户用电情况智能调度发电机组,实现电力供给的稳定。与此同时,智能电网加强了对可再生能源的接入管理,提高了清洁能源利用的效率,促进用户实时监控用电情况和碳排放,从而增强绿色用电意识,积极参与绿色电力市场。

3.3 优化设备故障诊断与预警机制

在电力系统的运行进程当中,对设备故障诊断以及预警机制加以优化,这无疑是一项极为重要的策略,其能够切实保障电网达成安全、稳定且高效的运行状态。借助电气自动化技术,该系统能够针对像变压器、断路器、电动机还有配电设备这类关键设备展开实时的监测工作,从中采集到包括电流、电压、温度、振动以及局部放电等诸多维度的数据信息。而后凭借智能分析手段以及机器学习算法来对设备的实际状态予以评估,并且精准地识别出其中存在的异常情况。一旦监测所获取的数据呈现出异常状况或者存在潜在故障的相关迹象,那么预警机制就会立刻发出警报信号,进而为运维方面的人员给予相应的决策参考

依据,促使他们能够提前着手采取诸如检修或者调整之类的各项措施,如此便能够有效防止故障进一步蔓延扩展,避免出现停电事故这类严重情形。除此之外,再结合以往的历史运行数据以及过往发生的故障案例来看,该系统还能够达成对故障类型的准确识别、故障位置的精确定位以及故障原因的深入分析,这样一来,既能够大幅提升诊断工作的准确性程度,又能够在很大程度上对维护策略以及资源分配起到优化的作用。处在现代智能电网这样的一种环境之下,经过优化之后的故障诊断与预警机制还能够同调度系统、远程控制平台以及自动化保护系统相互之间实现联动,从而达成对故障区域的快速隔离操作以及负荷的优化调度安排,进而在整体层面提高电力系统运行的可靠性水平以及工作效率。

3.4 提升数据处理与分析能力

在电力系统运行进程当中,要让电气自动化技术所具备的价值得以充分彰显,那么提升数据处理以及分析方面的能力便称得上是一项极为重要的策略举措。随着电力系统所涉及的设备种类逐渐变得越来越多,其运行时所产生的数据量也是大幅增加,在这样的情况之下,再加上新能源不断接入以及智能电网建设持续推进所带来的影响,电力系统所面临的数据处理相关需求就变得一天比一天更为复杂,并且数量也愈发庞大起来。借助引入高性能的计算平台、大数据方面的分析技术以及人工智能领域的算法等方式,系统就能够针对海量的、来源多样且结构各异的电力数据展开实时的采集工作,同时还能完成这些数据的存储、清洗以及分析等一系列操作,进而达成对电压、电流、功率、负荷还有设备运行状态等各项内容的精准把控以及有效预测。高效的数据处理能力一方面能够让设备故障诊断的准确性得以提升,另一方面还能够加快故障诊断的响应速度,除此之外,它还能够为负荷调控、能耗优化以及电网调度等相关事宜提供具有一定科学性的依据。与此凭借可视化分析以及智能决策支持系统,管理人员便能够较为直观地掌握电网的运行态势,而且能够在第一时间发现潜在的风险所在,并且及时做出相应的优化调整,以此来实现对电力系统的动态化管理以及智能化控制。

4 结语

电气工程自动化技术于电力系统运行方面有着无可取代的重要作用。凭借人工智能、PLC控制、变压器自动化检测以及设备故障诊断等一系列技术的应用,电力系统得以达成对发电环节、输电环节、配电环节乃至用电环节整个过程的智能化监控,并且能够实现优化调度,由此使得系统的运行效率以及可靠性都得到了颇为显著的提升。与此强化技术集成方面的应用,积极推广智能电网的建设工作,进一步优化故障诊断以及预警机制,

不断提升数据处理与分析的能力，这些举措都切实为电力系统的安全且稳定的运行给予了强有力的保障。在未来，伴随自动化技术持续不断地发展与创新，电力系统将会变得更加智能、更加高效并且更具可持续性，进而能够为能源管理、智能调度以及社会经济的发展给予稳固扎实的技术支撑。

[参考文献]

[1]刘煜.电气工程自动化技术在电力系统运行中的应用[J].中国新通信,2022,24(21):74-76.

[2]涂冬林,郭金胜.电气工程自动化技术在电力系统运行中的应用[J].中国科技投资,2021(3):124-125.

[3]黄志华,朱菁文.电气工程自动化技术在电力系统运行中的应用探讨[J].现代交通与冶金材料,2023,3(1):158-160.

作者简介：杨帅（1988.4—），男，民族：汉，籍贯，河北省衡水市景县人，现职称：电力工程技术，工程师，2009年6月20日毕业于河北能源职业技术学院，应用电子技术专业，2022年6月19日毕业于华北电力大学，电气工程及其自动化专业，最高学历：本科。

电气工程及其自动化技术的智能化应用探讨

梁宇龙

大唐甘肃发电有限公司碧口水力发电厂, 甘肃 陇南 746400

[摘要]在信息时代, 各类智能化技术发展迅速, 人们的生产与生活方式有了很大改变。电气工程及其自动化技术是工业发展的基础, 在国家建设里起着推动作用。不过, 传统电气工程及其自动化系统在运行速度、稳定性以及适应复杂工况方面有不足, 不能满足现代工业对高效、智能、绿色运行的要求, 也难以支撑节能减排和社会可持续发展的目标。所以深入研究智能化技术在电气工程及其自动化中的应用很有意义, 可为理论研究提供依据, 还能为实际工程实践给出科学指导, 推动电气工程朝着高效、可靠、智能化的方向发展。

[关键词]电气工程; 自动化技术; 智能化应用

DOI: 10.33142/hst.v8i9.17692

中图分类号: TP39

文献标识码: A

Exploration on Intelligent Application of Electrical Engineering and Its Automation Technology

LIANG Yulong

Bikou Hydropower Plant of Datang Gansu Power Generation Co., Ltd., Longnan, Gansu, 746400, China

Abstract: In the information age, various intelligent technologies are developing rapidly, and people's production and lifestyle have undergone significant changes. Electrical engineering and its automation technology are the foundation of industrial development and play a driving role in national construction. However, traditional electrical engineering and automation systems have shortcomings in terms of operating speed, stability, and adaptability to complex working conditions, and cannot meet the requirements of modern industry for efficient, intelligent, and green operation, nor can they support the goals of energy conservation, emission reduction, and sustainable social development. Therefore, it is meaningful to conduct in-depth research on the application of intelligent technology in electrical engineering and automation, which can provide a basis for theoretical research and scientific guidance for practical engineering practice, promoting the development of electrical engineering towards high efficiency, reliability and intelligence.

Keywords: electrical engineering; automation technology; intelligent application

引言

在现代社会当中, 电力系统对于可靠性方面的要求持续提高, 同时对于效率以及可持续发展同样有着越来越高的需求, 在这样的情况之下, 电气工程及其自动化技术的智能化应用已然成为了行业发展的极为重要的一大方向。就传统而言, 电气工程自动化往往较多地依靠固定控制策略, 还有人工操作以及经验判断等方式, 然而面对那复杂程度颇高的电网结构, 各式各样的负荷波动状况, 再加上新能源接入所存在的不确定性, 就出现了响应速度较为缓慢的情况, 故障诊断也会出现滞后的状况, 管理效率更是处于比较低下的水平, 这些问题使得其很难去满足现代电力系统需要高效、安全且智能化运行的诸多需求。智能化技术借助人工智能、机器学习、物联网、大数据分析以及数字孪生等一系列手段, 能够达成对电气设备以及系统运行状态的实时感知, 还能做到精准分析以及自主优化, 如此一来, 像故障诊断、日常管控、控制策略优化、电网调度以及自动化设计等诸多环节便能够变得更加高效、更为可靠并且更加智能了。这篇文章主要是系统地探讨智能化技术在电气工程以及自动化领域当中的应用优势, 了解其具体的应用场景, 并且还要探索其未来的发展趋势,

通过分析它在提升模型控制精度、规范数据处理、优化运行管理以及增强决策能力等方面所起到的作用, 较为完整地阐述智能化技术给现代电气工程的运行效率、安全保障以及可持续发展所带来的推动作用, 进而为电气工程智能化管理的实践给予理论层面的支持以及技术方面的参考。

1 智能化技术在电气工程自动化中应用的优势

1.1 提升了模型控制的精确性

在电气工程自动化领域当中, 引入智能化技术之后, 模型控制所具有的精确性实现了颇为显著的提升。之所以会这样, 是因为该技术可借助人工智能、机器学习还有大数据分析等一系列手段, 针对电气系统处在不同运行状态之下的海量数据展开实时的采集活动, 并且加以深入挖掘, 进而构建起能够更为贴近实际工况的动态模型。相较于传统的那种依靠固定算法以及经验公式来开展控制的方式而言, 智能化控制能够依据外部环境出现的变化情况、负荷产生波动的情形以及设备的运行状态等方面的情况, 持续不断地去优化并且调整控制参数, 使得模型在预测以及执行这两个层面都拥有着更强的适应性以及更高的灵活性^[1]。就好比在电力系统的负荷预测环节、发电机组的调节环节亦或是电网调度环节等等这些方面, 智能化技术不

但能够有效地将误差降下来,提高模型对于复杂非线性关系的拟合能力,而且还在面临不确定条件的情况下,能够维持系统运行的稳定性以及可靠性。

1.2 处理数据统一规范

在电气工程自动化领域当中,智能化技术的应用切实有效地解决了诸如数据呈现分散状况、格式存在差异以及管理陷入混乱等一系列问题,进而达成了数据处理方面的统一性与规范性目标。借助引入物联网、大数据以及云计算等相关手段,能够针对从不同设备以及不同环节所采集而来的运行数据展开标准化的处理操作,并且实施集中的管理举措,以此确保其在采集的方式、传输的格式以及精度的要求等方面均能维持一致的状态,如此便能够有效地防止信息孤岛这一现象的出现。统一且规范化的数据,一方面有益于各个系统之间开展信息的共享活动以及实现互联互通的状况,另一方面也能够为后续的数据分析工作、运行优化事宜以及智能决策事项给予稳固可靠的支撑保障,由此使得电气工程自动化系统的整体运行效率以及管理水平都得到了大幅度的提升。

1.3 提升电气自动化工作便捷性

在电气工程自动化领域当中,智能化技术的应用切实提高了工作的便捷程度。凭借先进的传感器、智能控制平台以及远程监控系统,管理人员可实时获取设备的运行状态以及各类参数数据,并且能够凭借可视化界面来开展直观的操作与分析,如此一来便降低了人工巡检以及现场操作的频次。与此智能化系统还能够达成自动报警、远程控制以及智能调度等功能,进而使得管理人员可以在较短的时间内完成复杂的调控任务,有效地降低劳动强度以及人为失误的发生概率。

2 电气工程及其自动化的智能化技术应用

2.1 故障诊断方面的应用

在电气工程及其自动化的系统当中,智能化技术于故障诊断方面的运用,切实提高了系统运行所具备的可靠性、效率以及安全性。其关键之处就在于借助多源数据采集、实时监测还有智能分析技术,来达成对设备状态的全方位感知以及精准评估。具体来讲,通过在变压器、开关设备、输电线路以及配电系统里布置电流、电压、温度、振动、局放以及红外热像等多种维度的传感器,可实现对运行参数展开高频且连续的采集。接着依靠物联网以及云计算平台,针对采集到的数据实施集中存储、标准化处理以及实时分析,并且凭借机器学习、深度学习或者专家系统模型去识别异常模式,进而迅速定位故障点、判定故障类型并且预测故障的发展趋势。与传统那种依靠人工巡检或者经验判断的方式相比较而言,智能化故障诊断能够在复杂的非线性系统里面有效地减少误判以及漏判出现的概率,达成精准且快速的诊断效果,同时也能够支持预测性维护以及风险预防,促使运维从被动的响应转变为主动

的管理^[2]。除此之外,结合数字孪生技术,故障诊断不但可以复现设备的运行状态,模拟不一样的故障场景,而且还能优化运维决策以及调度方案,进一步提升电气工程自动化系统所具有的安全性以及可持续运行的能力。

2.2 日常管控方面的应用

在电气工程以及其自动化领域当中,智能化技术于日常管控层面的应用,使得系统运行的效率、可靠性以及管理水准都得到了大幅度的提升。把物联网技术、传感器网络同实时监测平台相互融合起来之后,管理者便能够针对电力设备以及系统运行的状态展开全天候且全方位的监控活动,进而达成对电流、电压、功率、负荷还有温度等一系列关键参数的实时采集目的,同时也可实现对其动态跟踪的情况。与此凭借着大数据分析以及智能算法,系统是能够自动去检测出现的异常状态,对设备的健康程度加以评估,并且还会生成可视化的报表以及预警方面的信息,如此一来,运维人员就能够较为迅速地知晓设备运行的实际状况,并且据此作出更为科学合理的决策。这样的一种智能化管控方式,不但能够在很大程度上优化日常运维的具体流程,提高资源在配置环节的效率,减少因人为操作而产生的各类错误,而且还能够实现远程控制以及自动化的调度功能,以此来切实保障电网运行所具备的稳定性与安全性。在大型电力系统之中,智能化的日常管控还能够针对设备负荷展开优化分配的相关工作,预测能耗呈现出的趋势走向,并且要结合维护计划来实施智能调度的操作,通过这些举措,最终能够降低运行期间的成本耗费以及能耗情况,与此还能够让设备的使用寿命得以进一步的延长。

2.3 控制技术方面的应用

在电气工程及其所涉及的自动化系统当中,智能化技术于控制技术层面的应用,着实让系统的精度、响应速度以及运行可靠性均得到了明显的提升。以往的传统控制办法,往往依靠的是固定不变的控制算法以及人工手动去调节,如此一来,就很难契合电力系统那种复杂多变的非线性特性、不断出现波动的负荷情况,还有外部环境所发生的种种变化。智能化控制技术则不同,它把人工智能、机器学习、模糊逻辑控制以及自适应控制等诸多方法综合起来运用,进而能够针对电气设备以及整个系统展开动态的建模操作,并且做到实时的优化处理,最终达成控制参数能够自动地进行调整,同时控制策略也得以优化的目的。具体来讲,智能化控制具备这样的能力,那就是能够对发电机组、变压器、输电线路以及配电网展开全局性的协调调度工作。通过对实时运行数据加以分析,能够预测出系统负荷方面将会发生的变化,然后据此提前对控制策略做出相应的调整,借此方式来维持电网的稳定性以及实现高效的运行状态^[3]。除此之外,智能控制系统还能够实现闭环的监测功能以及自主的反馈机制。在出现故障或者有异常情况发生的时刻,其能够快速做出响应,自动地去

调整运行模式,以此来防止设备遭到损坏或者系统出现不稳定的状况。与此借助数据挖掘以及对历史运行情况进行分析的方式,还能够进一步优化控制策略,从而降低能耗并且提高系统的经济性。

2.4 自动化设计方面的应用

在电气工程的自动化系统建设期间,电力企业需要对设施设备进行优化设计,以全面提高电气设备的整体高效性和稳定性。然而由于电气设计与多个领域内容存在一定的关联,覆盖了许多复杂的设计理念,导致设计工作难度进一步加大。传统电气优化设计过程中的问题相对较多,而且大多是按照技术人员原有经验来完成的,这在一定程度上对工程方案优化水平产生直接影响。智能化系统以及技术应用可以为电气设备优化提供坚实的技术保障,电气企业可以借助 CAD 对设备展开优化工作,在一定程度上缩短优化和设计的时间,同时还能够使产品质量得到保障,减少成本。

2.5 电网调度方面的应用

在电气工程及其自动化的相关系统当中,智能化技术于电网调度层面的应用,对于提高电网运行的效率、可靠性以及灵活性而言,有着十分重要的作用。以往的传统电网调度,大多依靠人工经验以及静态调度方案来开展工作,然而这种方式很难去应对现代电力系统里所存在的诸如负荷出现波动、分布式能源接入以及新能源呈现出不稳定性等一系列挑战。与之不同的是,智能化调度技术通过引入大数据分析手段、人工智能算法、预测模型以及实时监测系统,能够针对电力系统的负荷需求情况、发电能力状况、输电状态以及设备运行的具体情形,达成全面且细致的感知以及动态化的分析。依据这些所获取的数据,智能调度系统便能够实时地对发电机组的启停顺序加以优化,对功率分配做出调整,同时对电压控制予以把控。并且还能够结合储能系统以及分布式能源,进而实现负荷的平衡以及峰谷的调节,对于可能出现的故障以及异常情况也能进行预测与应急调度操作,以此来确保电网能够安全且稳定地运行下去。除此之外,智能化电网调度还能够凭借自适应优化算法以及数字孪生技术来展开多场景的模拟以及策略的评估工作,使得调度方案一方面能够满足经济性方面的要求,另一方面也能够面对复杂运行条件时所出现的波动与不确定性的情况下予以妥善应对。

3 电气工程中智能化技术的发展趋势

在电气工程领域当中,智能化技术的发展呈现出一种多层面、多方向的综合演进态势。这体现出技术手段在持续不断地升级,也反映出管理理念以及系统架构正在发生着深刻的变革。其一,随着人工智能、机器学习、深度学

习还有边缘计算等相关技术逐渐走向成熟,电气工程系统将会具备更高水准的自主感知以及智能决策的能力,并且能够在复杂的非线性以及存在诸多不确定性的运行条件之下开展实时的优化操作以及自适应控制。其二,物联网、云计算以及大数据分析彼此间深度融合之后,便能够让海量的分布式数据达成高效的采集、统一的管理以及智能的分析,进而为设备健康状况的评估、预测性的维护以及能效的优化给予强有力的支撑,与此还推动着电网调度、故障诊断以及能量管理等诸多功能朝着数字化、智能化的方向去转变^[4]。其三,数字孪生技术得到广泛的应用,那么电气系统便可以在虚拟的环境里面开展多场景的模拟、风险的评估以及策略的优化,如此一来,便能够在真实运行的过程中降低风险以及成本,提升系统的可靠性以及安全性。除此之外,智能化技术的发展还呈现出跨系统协同以及分布式智能这样的趋势,借助于联合多个站点、多个层级的协同控制与学习,进而实现区域电网乃至跨区域电力系统的整体优化调度。随着对于数据安全、系统可解释性以及标准化方面的需求不断提升,未来的智能化电气工程会更加着重于可靠性、可扩展性以及可监管性,要在技术创新以及工程实践当中实现高效、安全且可持续的发展。

4 结语

智能化技术在电气工程及其自动化方面加以运用,可大幅提升系统的运行效率、管理水平以及安全性,达成故障诊断、日常管控、控制优化以及电网调度等诸多环节的智能化目标。伴随人工智能、物联网、大数据还有数字孪生等技术持续向前发展,电气工程会一步步实现更为高效、更加可靠且更具可持续性的运行状态,给现代电力系统的智能化建设给予稳固的技术支撑,同时推动整个行业朝着高效、绿色以及智能化的发展方向迈进。

[参考文献]

- [1]王国栋.电气工程及其自动化智能化技术应用分析[J].自动化应用,2025,66(1):208-210.
- [2]莫亚欣.电气工程及其自动化的智能化技术应用探讨[J].中国设备工程,2024(24):185-187.
- [3]孙芷璇.电气工程及其自动化的智能化技术应用研究[J].电气技术与经济,2024(1):70-71.
- [4]王福宁.智能化技术在电气工程及其自动化控制中的应用分析[J].流体测量与控制,2024,5(6):15-17.

作者简介:梁宇龙(1996.6—),男,毕业院校:兰州理工大学技术工程学院,所学专业:电气工程及其自动化,当前工作单位:大唐甘肃发电有限公司碧口水力发电厂,职务:运行值班员,职称级别:中级。

自动化技术在水利发电中的作用及分析

任则世

大唐甘肃发电有限公司碧口水力发电厂, 甘肃 陇南 746412

[摘要]随着能源结构逐渐得以优化,技术水平也在持续提升,在这样的背景下,自动化技术于水利发电领域当中的应用变得日益普遍起来。水利发电属于清洁能源的关键构成部分,其运行效率、所产生的经济效益以及资源利用的程度,会对能源供应的稳定状况产生直接影响。本论文着重围绕自动化技术在水利发电方面所起到的作用以及具体的应用路径来展开相关分析,深入探讨它对于运行效率的提升情况、在人力资源优化方面的成效、对电能质量的影响以及给综合经济效益带来的改善效果。与此还结合计算机监控系统、水文信息的自动监测、实时运行信息的智能调度以及设备状态监测等诸多具体应用展开探讨。最后针对自动化技术所具有的综合价值以及未来的发展趋势展开分析并做出相应展望,希望能够为水利发电朝着智能化方向发展给予一定的参考依据。

[关键词]自动化技术;水利发电;作用

DOI: 10.33142/hst.v8i9.17684

中图分类号: TV736

文献标识码: A

The Role and Analysis of Automation Technology in Hydropower Generation

REN Zeshi

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

Abstract: With the gradual optimization of energy structure and the continuous improvement of technological level, the application of automation technology in the field of hydropower has become increasingly common. Hydroelectric power generation is a key component of clean energy, and its operational efficiency, economic benefits, and degree of resource utilization directly affect the stability of energy supply. This paper focuses on the role and specific application paths of automation technology in hydropower generation, and explores in depth its impact on improving operational efficiency, optimizing human resources, improving power quality, and enhancing overall economic benefits. In combination with this, various specific applications such as computer monitoring systems, automatic monitoring of hydrological information, intelligent scheduling of real-time operational information, and equipment status monitoring are discussed. Finally, an analysis will be conducted on the comprehensive value and future development trends of automation technology, and corresponding prospects will be made. It is hoped that this can provide some reference for the intelligent development of water conservancy and power generation.

Keywords: automation technology; hydroelectric power generation; role

引言

水利发电属于可再生能源的一种重要表现形式,其借助水流本身的自然落差以及水资源所蕴含的潜能,把水的机械能转变成电能,以此达成对能源的高效利用效果。伴随社会经济不断向前发展,再加上能源结构存在优化的需求,在这样的背景之下,水利发电系统对于自身运行效率、发电稳定性以及经济性等方面的要求也变得越来越高。

1 水利发电技术的基本内涵

水利发电的研究内容为怎样将水资源能量进行转化,成为人们能够使用的电能源。其中,应用了水向低处流的性质,借助水源产生的高低落差产生相应的能量进行发电。水利发电的本质便是将隐藏在水体当中的位能进行调动,所以,为了使用水能进行发电,需要建立水利发电站。水利发电站可将水能进行转换,使其成为电能的一项工程设施,有很多的发电设备以及建筑物共同构成。其中,建筑物产生的作用为将天然水源产生出来的落差进行集中,利

用水库对自然界中的水流流量进行汇聚和调节,其中使用的最基本设备便是水轮发电机组。通过流经水轮发电机组当中的水流,使其进行转动,这样便实现了机械能进行转化的过程,最后产生电能。水利发电技术可应用水资源进行发电,可对我国的煤炭资源进行节约,有益于节约型社会以及循环经济的构建,就起到改善环境的功能。

2 自动化技术在水利发电中的作用

2.1 提升运行效率

自动化技术在水利发电当中有着极为关键的作用,其最为突出的一点便是能够大幅度提升机组以及整个系统的运行效率。传统的水利发电站其运行过程往往依靠人工操作以及凭借经验来做出判断,如此一来就存在着诸多问题,比如调度响应的速度较为缓慢,机组协同的效率也并不是很高。而自动化系统则不同,它能够实时且精准地监测水位、水流量、机组转速以及负荷状况等各项指标,进而达成对发电机组进行动态调节以及优化控制的目的,使

得水能可以处于最佳的状态下转化成为电能。在这个过程中，自动化控制系统还能够依据电网的实际需求以及水资源的具体条件来自动调节机组的运行方式，以此实现负荷分配的最优匹配状态，如此便能够降低能量的损耗，提高发电的效率。与此自动化系统还能够针对运行参数展开精细化的控制操作，有效避免因为人为操作出现不当情况所导致的效率波动现象，进而实现水能的高效利用，让水利发电在可控性以及稳定性这两个方面都得以提升，从而为能源供应的可靠性给予强有力的保障。

2.2 优化人力资源配置

自动化技术的应用给水利发电站的人力资源配置带来了极为深远的影响。借助引入智能控制以及监测系统，那些原本要耗费大量人工去参与的巡检、调度、监控等一系列操作都能够自动完成了，如此一来，人员便能从繁杂且具有重复性的劳动当中解放出来，进而能够把精力集中在系统优化、设备维护还有技术改进等有较高价值的工作上面。如此既降低了人力成本，又提升了工作人员的专业水准以及管理能力。在自动化系统的助力之下，发电站可以达成 24h 不间断的监控与运行，即便是在极端的工况之下，也能够确保机组安全地运行，不需要依靠大规模的人工值守，由此便形成了高效、精简并且稳定的人力资源配置结构，使得整个水利发电系统在人员管理以及运维效率方面都达到了一种优化的状态。

2.3 提高电能质量与稳定性

自动化技术于水利发电领域而言，对于电能质量以及系统稳定性有着不容小觑的作用。机组的运行状态以及电网负荷始终处于动态变化之中，而自动化系统凭借实时监控手段以及对数据展开分析的方式，可针对电压、频率还有功率因数等这些关键指标予以调节操作，进而达成电能输出呈现出平稳且高质量的良好态势。当碰上水流出现波动或者电网发生突发状况之际，自动化控制系统能够迅速做出响应，通过对机组出力加以调节亦或是启动备用机组来调控，以此确保电网供电具备连续性以及稳定性。与此借助智能调度方式以及优化算法，自动化技术能够实现负荷的均衡化分配，降低频繁启停给设备带来的冲击影响，延长机组的使用寿命，提升整个系统的可靠性程度，进而为电能供应的稳定性筑牢坚实有力的支撑。

2.4 增强经济效益

自动化技术于水利发电方面的应用，径直推动了经济效益的上扬。其高效的运行管理模式，大幅削减了能源方面的无端耗费；经过优化后的人力资源配置情况，亦使得人工成本得以压低；并且，高品质的电能输出状况，切实保障了发电量和电网需求之间的匹配程度，进而促使发电收益有所提高。除此之外，自动化系统的运用，还能让设备避免因人为操作而出现的损耗以及故障率方面的问题，如此一来，维修成本以及停机损失均得以降低，最终促使

机组的长期经济效益得以提升。借助智能化调度以及运行优化的操作手段，水利发电站可在确保发电安全无虞的基础之上，达成资源的最大限度利用目的，进而使得经济效益和能源效率相互促进、相得益彰，从而给水利发电的可持续发展给予稳固可靠的保障。

3 自动化技术在水利发电中的应用路径

3.1 计算机自动监控系统

计算机自动监控系统属于水利发电自动化技术的重要应用范畴，其重要性体现在多个方面，一方面能够对机组运行予以实时监测，另一方面还能达成数据采集、处理以及控制的一体化管理目标。借助安装于发电站各关键位置的传感器，该系统可实时抓取机组转速、水轮机叶片角度、水库水位、闸门开度还有发电机输出功率等相关数据，并且把这些数据传送到监控中心加以集中处理。计算机自动监控系统依照预先设定的控制逻辑与算法，能够自动对机组负荷做出调节，同时调整闸门开度，以此实现水能的最优化利用。并且，此系统拥有远程操作的能力以及智能报警的功能，要是察觉到运行出现异常或者参数超出设定范围，系统会即刻发出警示信息或者采取保护举措，进而确保设备的安全以及发电的连续性。凭借计算机自动监控系统的运用，水利发电站完成了从传统的人工控制模式朝着智能化管理模式的转变，使得调度效率得以大幅提升，人为操作误差也得到了降低，让发电站的运行变得更为科学、更为精细且更为高效。

3.2 水文信息自动监测与处理

水文信息的自动监测与处理对于水利发电系统的科学调度以及优化运行而言，有着极为重要的支撑作用。水文信息囊括了水库水位、入库流量、降雨量以及流域径流等一系列关键数据，而这些数据的准确性以及及时性会直接对发电调度以及机组运行效率产生影响。借助自动化监测系统，水利发电站可实时采集各类水文数据，并且运用数据分析以及预测模型来对这些数据加以处理并做出判断，进而为机组出力、闸门调节以及下游水量管理给予科学方面的依据。自动化处理一方面加快了信息传递以及决策的速度，另一方面也提升了数据的精度与可靠性，这为水利发电站达成智能化运行打下了坚实的基础。凭借这一技术的应用，水利发电便能够在不同水文条件之下展开合理的调度，使得水资源能够获得最优的配置，与此同时还能电网提供稳定且可靠的能源支持，充分彰显出了自动化技术在资源管理以及系统优化当中的关键作用。

3.3 实时运行信息监控与智能调度

实时运行信息监控以及智能调度属于水利发电自动化应用的关键部分，其借助对机组、泵站、电网等关联设施运行状况展开持续追踪的方式，达成发电运行的动态优化效果。该系统能够依照实时数据与预测信息开展智能调度操作，让各机组在负荷需求出现变化或者水库流量产生

波动的情形下,自动完成出力调整工作,以此保证发电效率达到最大值并且电能供应维持稳定状态。智能调度不但提升了机组的响应速度以及负荷适应能力,而且在多机组、多水库这样的复杂系统里能够实现协同优化,进而防止能量出现浪费情况以及运行发生冲突问题。与此系统能够生成运行报表与分析报告,给管理者给予决策依据,助力长期规划以及运行策略优化事宜。凭借实时监控与智能调度相互融合的方式,水利发电站得以实现对整个发电系统的高精度管理以及优化控制,使得发电过程变得更为科学、智能且高效。

3.4 设备状态监测与故障诊断

设备状态监测以及故障诊断这一环节,在保障水利发电能够安全且高效地运行方面,称得上是极为关键的。自动化系统会借助安装于发电机、泵站、水轮机还有各类辅助设备之上的传感器,去实时对振动、温度、压力、电流等一系列运行参数予以采集。再凭借数据分析以及智能算法来判定设备的实际健康状况。一旦系统察觉到存在参数出现异常或者有潜在故障的情况,便可以即刻发出预警信号,甚至还能够自动施行相应的保护举措,比如调节负荷、安排停机检修又或者是切换至备用机组等,如此一来,就能够防止设备遭受损坏以及发电出现中断的情形发生^[1]。设备状态监测与故障诊断不但让突发性事故发生的概率有所降低,而且还使得设备的使用寿命得以延长,维护成本也相应减少,进而促使发电站的整体经济效益得到了提升。凭借着这项技术的应用,水利发电站达成了从原本的被动维护朝着主动预防的转变,系统的可靠性也因此得到了提升,同时也为自动化技术在水利发电领域内的全面推广筑牢了坚实的技术根基。

4 综合分析与发展展望

4.1 自动化技术对水利发电的综合价值

自动化技术在水利发电方面的运用,其价值是多方面的。它可提升单机效率以及电能质量,并且在整体系统管理、经济效益以及资源优化等方面都呈现出综合性的价值体现。借助自动化手段,水利发电站可以达成全方位且连续化的监控与调度,让机组运行维持在最优的状态下,同时也可降低人为操作给系统稳定性带来的影响。从经济层面来讲,自动化技术能够降低人工成本,减少设备损耗以及维护开支,提高发电量与收益的匹配程度,进而促使能源利用效率和经济效益一同得到提升^[2]。在资源方面,自动化技术能够让水库调度以及水能利用变得更为科学合理,保证水资源在发电、生态维护以及防洪调控之间获得均衡的分配,以此实现水资源的可持续利用。除此之外,自动化系统还为智慧能源体系的建设奠定了技术方面的基础,依靠数据采集、分析以及智能控制,实现水利发电与电网运行的高度协同,为现代能源管理模式给予有力的

支持,进一步彰显了自动化技术在水利发电中的战略价值。

4.2 智能化与信息化发展趋势

随着信息技术、人工智能以及大数据技术不断向前发展,水利发电自动化正逐步迈向更为智能化且信息化的阶段。在未来的水利发电站当中,其会更多地依靠高度集成的智能控制系统。通过针对历史数据以及实时数据展开分析的方式,能够达成对机组运行进行预测性调度以及优化管理的目的。信息化平台会让发电站的数据采集、处理、存储以及分析实现一体化,进而提升决策的科学性与响应的速度^[3]。与此人工智能算法以及机器学习技术的应用,使得系统能够在复杂的水文条件之下自主识别出潜在的问题并对其进行优化处理,达成对机组、设备以及调度进行自适应管理的效果。智能化与信息化的发展,一方面提升了运行的效率以及电能的质量,另一方面也为水利发电站的安全性及可靠性给予了保障,还为可再生能源在能源结构当中所占比例的提升创造了条件,推动水利发电朝着智慧能源体系以及绿色低碳发展的方向稳步地向前迈进。

5 结语

自动化技术于水利发电方面所发挥的作用是多方面的,它涵盖了运行效率得以提升、人力资源实现优化、电能质量获得保证以及经济效益有所增强等诸多层面。其具体的应用路径涉及到多个环节,像是计算机自动监控环节、水文信息监测环节、实时运行智能调度环节,还有设备状态监测以及故障诊断环节等。借助系统化的应用方式,自动化技术一方面提升了水利发电的整体运行水平,另一方面也给水资源的科学利用、能源系统的稳定运行以及绿色发展给予了强有力的支撑。往后的日子,随着智能化、信息化以及大数据技术不断向前发展,水利发电自动化将会达成更为精准、更为科学且更为高效的运行状态,进而为构建智慧能源体系以及达成可持续发展的目标给予重要的保障。自动化技术在水利发电领域展开的全面应用,既彰显了技术创新所具有的价值,同时也为能源行业的发展带来了全新的思路与方向。

[参考文献]

- [1]吕靖.基于水利水电工程自动化应用分析[J].电力设备管理,2021(7):124-126.
- [2]何强.水利水电工程中电气自动化的应用[J].中国设备工程,2022(5):154-155.
- [3]蒋明.浅析水利发电自动化技术[J].低碳世界,2020,10(6):87-88.

作者简介:任则世(1996.10—),男,毕业院校:太原理工大学现代科技学院,所学专业:水文与水资源工程,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:运行,职称级别:助理工程师。

电厂脱硫废水零排放处理技术的现状与发展趋势探讨

梁 宵

华电水务工程有限公司, 北京 100070

[摘要]随着环保法规日益严格,电厂脱硫废水零排放技术成为实现绿色发展的关键途径。文中系统分析了当前常用的化学沉淀、膜分离与热法浓缩等处理技术,探讨了零排放技术在实施过程中面临的成分复杂性、技术匹配与能效等关键问题。在此基础上,重点阐述了膜分离创新、化学物理联合处理和热法浓缩优化的最新发展方向。进一步从经济性、可持续性 & 政策驱动角度,综合评估了技术应用现状与前景,提出未来突破路径与挑战。

[关键词]电厂; 脱硫废水; 零排放技术; 环保; 技术创新

DOI: 10.33142/hst.v8i9.17709

中图分类号: X703

文献标识码: A

Discussion on the Current Status and Development Trend of Zero Discharge Treatment Technology for Power Plant Desulfurization Wastewater

LIANG Xiao

Huadian Water Engineering Co., Ltd., Beijing, 100070, China

Abstract: With increasingly strict environmental regulations, zero discharge technology for desulfurization wastewater in power plants has become a key way to achieve green development. The article systematically analyzes the commonly used treatment technologies such as chemical precipitation, membrane separation, and thermal concentration, and explores the key issues faced by zero emission technology in the implementation process, such as component complexity, technical matching, and energy efficiency. On this basis, the latest development directions of membrane separation innovation, chemical and physical combined treatment, and thermal concentration optimization were emphasized. Further evaluated the current status and prospects of technological applications from the perspectives of economy, sustainability, and policy drivers, and proposed future breakthrough paths and challenges.

Keywords: power plant; desulfurization wastewater; zero emission technology; environment protection; technological innovation

引言

随着环保要求的提升,脱硫废水的处理成为电厂不可忽视的环保任务。零排放处理技术作为解决废水排放问题的有效途径,能够有效减少废水排放并实现资源回收。该技术不仅有助于满足日益严格的环保法规,还能推动电厂绿色可持续发展,具有重要的研究与应用价值。

1 电厂脱硫废水零排放处理技术的现状

1.1 目前常用的脱硫废水处理技术

目前电厂脱硫废水的零排放处理通常分为三个阶段:第一步是采用化学沉淀法,主要通过投加沉淀剂去除废水中的石膏、泥沙等悬浮固体,降低水中杂质含量,为后续浓缩处理创造条件;该方法工艺成熟、操作简便,但对溶解性强的污染物去除效果有限。第二步是浓缩处理,主要包括烟气余热浓缩、多效蒸发等方式,在当前实际工程应用中尤以多效蒸发处理能力、出水水质稳定。膜分离技术如反渗透也可用于部分预处理或浓缩环节,具备高效去除有机物和无机盐的能力,但受限于膜污染、运行成本等因素,目前尚未成为主流。第三步是结晶固化或回收资源,实现最终零排放目标,当前主要采用旁路烟道蒸发工艺,其中又分双流体雾化工艺和旋转雾化工艺。整体而言,当前脱硫废水零排放处理正朝着高效、集成与资源化方向发展。

1.2 零排放技术的实施现状

零排放技术的核心在于通过各种处理工艺实现废水的不向外排放,废水经处理后,所有水分要么被回收利用,要么转化为固体废物。其实现方式通常包括化学处理及浓缩蒸发等多种技术的组合应用。

目前,国内外许多电厂已逐步开始采用零排放技术。例如,美国部分电厂已实现脱硫废水的零排放,通过采用先进的反渗透膜系统与浓缩蒸发技术相结合,使废水处理后的水质达到可回收利用标准。在浓缩蒸发环节,常应用多效闪蒸(MED)、双流体旁路烟道(主烟道)蒸发系统、旋转雾化旁路烟道(主烟道)蒸发技术等,以实现能量的高效利用和废水的深度浓缩。

中国部分电厂也在积极试点并推进脱硫废水零排放技术,特别是在浓缩蒸发技术方面取得了显著进展。其中,多效闪蒸技术因能有效降低蒸发能耗而被广泛应用,双流体旁路烟道蒸发和旋转雾化旁路烟道蒸发技术则通过利用烟气余热直接蒸发废水,提高了整体系统的能效比和经济性。

然而,零排放技术的大规模推广仍面临诸多挑战,如技术投资成本高、工艺系统复杂、运行维护要求高等问题,亟需进一步的技术优化与成本控制措施来推动其更广泛应用。

1.3 技术的优势与局限

目前常用的脱硫废水处理技术各有优劣。化学沉淀法工艺简单、投资较低,适用于初步去除悬浮固体和部分重金属离子,但对溶解性污染物的去除效果有限。热法浓缩类技术,如多效蒸发(MED)和烟气余热浓缩,是目前零排放系统中的关键环节。多效蒸发能有效降低蒸发能耗,但是采用低温省煤气出水作为热源稳定性不如直接采用辅助蒸汽作为直接热源。烟气旁路直喷(如双流体雾化、旋转雾化)则充分利用锅炉烟气余热,具有煤耗低、系统集成度高等优势,越来越受到关注,但对烟气工况波动较敏感,运行调控复杂。膜分离技术如反渗透可在预处理和浓缩前段作为辅助手段使用,具有去除污染物效率高的特点,但膜污染与维护成本高问题仍未根本解决。总体来看,零排放技术的显著优势在于实现废水资源化利用,杜绝排放对生态的影响;然而,其高投资、高能耗、运行复杂和稳定性控制难等问题仍制约着其在电厂的大规模推广。尤其是电厂普遍关注的系统总能耗及单位水处理的煤耗差异,是决定技术选型与运行经济性的关键因素。

2 脱硫废水零排放技术的关键问题

2.1 废水成分的复杂性与处理难度

脱硫废水的成分复杂,主要包含氯化物、硫酸盐、重金属离子、有机物等。高浊度、高盐量是脱硫废水的主要水质特征,对环境和水质的危害较大。有机物若未经有效去除,不断地富集会导水质恶化,高浓度的氯离子则会对处理设备的腐蚀问题带来较大的挑战,而硫酸钙则容易在设备表面结构,堵塞设备。处理这些成分的技术要求高,特别是对于高浓度溶解性盐类的去除,常规技术难以稳定地高效处理。此外,废水中的重金属离子如铅、汞等也会影响处理系统的稳定性和安全性,增加了处理难度。因此,脱硫废水处理技术需要具有较强的去除复杂污染物的能力,且要保证处理过程中的稳定性和高效性。

2.2 处理技术的选择与匹配

针对脱硫废水复杂的污染特性,合理选择和匹配处理技术尤为重要。反渗透技术适合对废水中大部分可溶性盐和有机物进行高效分离,但对进水水质要求较高,需配套高效的预处理系统;浓缩蒸发工艺如多效闪蒸、双流体旁路烟道蒸发、旋转雾化旁路烟道蒸发等技术,可有效实现废水的终端减量。不同处理技术的有机组合不仅关系到系统的能耗、投资成本,还直接影响到零排放目标的实现程度与经济性。因此,需根据废水水质特点、项目规模与回用水质标准,综合评估选定最优处理工艺路径。

2.3 零排放技术的能效与资源回收

零排放技术除了能适应机组负荷变化时仍能稳定运行外的一个关键问题是能效。零排放技术通常需要较高的能量消耗,尤其是在膜分离和浓缩蒸发等技术中,能效问题尤为突出。高能耗不仅增加了电厂的运营成本,还可能带来更大的环境负担。因此,提高零排放技术的能效,减少能耗,是当前技术发展的重要方向。与此同时,废水资源化处理的可

能性也成为零排放技术发展的重要课题。废水中的水分、热能、盐类物质以及在处理过程中设计加入能量回收等工艺可以提高整体资源的回用率。现阶段,一些技术如膜浓缩、蒸发结晶等已在部分电厂中得到应用,但在资源回收的效率和可行性方面仍面临许多挑战。未来,如何进一步提高资源回收效率,降低处理成本,将是零排放技术进一步发展的关键。

3 脱硫废水零排放技术的创新与发展方向

3.1 膜分离技术创新助力脱硫废水高效处理

随着脱硫废水处理需求的不断增加,新型膜分离技术已经成为零排放技术中最重要的创新方向之一。高效反渗透膜的研究与应用是当前膜分离技术中的热点。新型反渗透膜材料具有更高的通量和更好的抗污染能力,能够有效提升脱硫废水中溶解性盐、重金属离子的去除效率,并提高水的回用率。同时,超滤、纳滤膜技术的创新发展为脱硫废水的处理提供了更多选择,类似陶瓷膜、管式膜等在膜的材质与形式上一步步的发展使得有希望在未来看到膜处理成为脱硫废水浓缩的主力方式。通过膜技术的不断创新,电厂脱硫废水处理系统的效率和经济性得到了显著提升。

3.2 化学与物理联合处理技术

化学与物理联合处理技术的应用已经成为解决脱硫废水零排放问题的关键路径之一。化学与物理联合处理技术的应用,能够充分发挥两种技术的互补优势。在这一过程中,化学沉淀法可用于去除废水中的大部分无机污染物,减少膜系统的负荷,而膜分离技术则可进一步精细化处理,提高水质的回用率。这种联合处理方式不仅提高了废水处理的效率,还降低了操作成本。此外,创新型催化剂与吸附材料的研发也为脱硫废水的处理提供了新的思路。催化剂可以加速有害物质的降解过程,吸附材料则能够有效去除水中的溶解性污染物,为废水的深度处理提供了新的技术手段。

3.3 热法浓缩技术优化推动资源化利用转型

热法浓缩技术在当前的脱硫废水零排放系统中越发变的不可替代,尤其是在高盐、高硬度废水的深度浓缩处理中表现突出。多效蒸发(MED)、机械蒸汽再压缩(MVR)等技术通过能量回收与多级效应设计,有效降低蒸发过程中的能源消耗,提升系统运行效率。近年来,随着烟气余热回收利用技术的成熟,双流体雾化旁路干燥、旋转雾化旁路干燥等方式实现了与锅炉系统的深度耦合,进一步优化了系统能耗结构。

此外,热法浓缩技术正向资源化利用方向拓展。通过结晶析出技术,可从高浓度母液中分离回收硫酸钙、氯化钠等副产物,既减少了废物排放量,也提升了系统的经济价值。结合自动化控制与智能调节系统,有助于提升运行稳定性,降低人工干预,实现热法浓缩系统的高效、安全、绿色运行。

4 脱硫废水零排放技术的经济性与可持续性分析

4.1 技术实施成本与运营维护成本

脱硫废水零排放技术的实施成本和运营维护成本是评估其经济性的关键因素。技术实施成本主要包括设备购置、安装调试、系统建设等初期投入。随着技术进步,尤

其是膜分离技术的普及，初期投资逐渐降低，但高效膜材料和设备的选择仍是成本的主要组成部分。运营维护成本则涉及系统运行中能源消耗、膜清洗、设备维修和更换等费用。尽管零排放技术能减少废水排放，提升水的回用率，但其能耗较高，尤其在膜分离和浓缩蒸发技术中，能源消耗问题尤为突出。经济性的评估标准不仅要考虑上述成本，还需要分析通过技术实施带来的水资源回收效益、污染物减排效益以及符合环保标准带来的政策支持。

4.2 技术的可持续性

零排放技术的可持续性分析涉及其对环境的长期影响和资源利用效率。长期来看，零排放技术能够有效减少污染物的外排，减少对生态环境的负面影响，符合绿色环保的发展理念。通过资源回收利用，零排放技术不仅能提高水的回用率，还能够回收废水中的热能和盐类物质，实现废水资源的最大化利用。然而，零排放技术的可持续性也面临一些挑战，例如其高能耗和复杂的运行管理问题，如何提高资源利用效率，降低能源消耗，是推动零排放技术可持续发展的关键。此外，零排放技术与可持续发展目标的契合也体现在其帮助电厂实现环保目标、推动绿色发展和节能减排方面。

4.3 政策与市场驱动

国家政策对零排放技术的支持是推动其应用和发展的重要因素。随着环保法规的日益严格，政府对废水处理技术的支持力度不断加大，通过政策补贴、技术研发支持和法律法规的约束，为电厂采用零排放技术提供了良好的外部环境。同时，国家对环保产业的鼓励政策推动了绿色技术的创新和应用，使得零排放技术逐步成为电厂可持续发展的必然选择。市场需求也推动了零排放技术的发展。随着全球环保意识的提高，电力行业对于环保技术的需求日益增长，推动了市场对零排放技术的投资和研发。同时，随着环保设施投资的增加，技术不断发展，零排放技术在市场中的应用范围也不断扩大，为未来的普及和应用奠定了基础。

5 未来展望与挑战

5.1 技术突破的需求

未来脱硫废水零排放技术的发展依赖于多个技术领域的突破。首先，膜分离技术需要进一步提高膜材料的抗污染能力和通量，以解决膜污染和处理效率问题。当前，高效膜材料的研发尚存在一些技术瓶颈，例如膜材料的耐久性和高成本问题，需要在材料科学和制造工艺方面取得突破。此外，膜分离技术的能耗较高，如何降低能耗并提高系统的能效是零排放技术面临的重要挑战。为了突破这些技术壁垒，可以探索新型多级膜处理系统或者采用更加高效的废水预处理技术来减少膜污染并提高处理效率。

5.2 跨领域合作与技术整合

电力、环保、化学等领域的合作将推动脱硫废水零排

放技术的创新与进步。跨领域合作有助于不同专业领域的技术优势互补，从而解决单一技术难以应对的复杂问题。例如，电力行业可以与环保领域合作，借助先进的水处理技术、监测技术和控制系统，提高废水处理的整体效率和可靠性。同时，化学工程领域的创新催化剂和吸附材料也能够与膜分离技术结合，实现更高效的污染物去除。技术整合与多元化应用的发展趋势将使零排放技术更加高效、低成本。未来，通过跨领域合作和技术整合，可以加速技术进步，提高脱硫废水零排放技术的应用效果。

5.3 政策与法规的完善

政策和法律法规对脱硫废水零排放技术的实施具有至关重要的引导作用。随着全球环保意识的提高，各国政府逐步加大了对环保技术的支持力度，出台了多项政策来鼓励电力行业采用更先进的废水处理技术。未来，政策的制定应进一步细化环保要求，明确零排放技术的技术标准和实施细则，以确保技术的有效应用。同时，政策和法规应对电力行业实施零排放技术提供财政补贴、税收优惠等支持，降低企业的经济负担。法规的完善将为零排放技术的广泛应用创造良好的市场环境。此外，未来政策的引导作用也在于激励企业加大研发投入，推动技术创新，从而实现废水处理的更高效、更环保目标。

6 结语

电厂脱硫废水零排放技术在环保要求日益严格的背景下，已成为电力行业实现可持续发展的关键技术。当前，膜分离、化学沉淀与浓缩蒸发技术处理等技术已广泛应用，但仍面临高能耗、成本和技术稳定性等挑战。未来，技术创新、跨领域合作和政策支持将推动零排放技术的发展，提升其经济性与可持续性。在全球环保压力下，推动零排放技术的应用，不仅符合环保要求，还助力电力行业实现绿色低碳转型，具有重要的社会和经济意义。

[参考文献]

- [1]吕武学,于燕飞,曲保忠,等.燃煤电厂脱硫废水零排放技术现状与发展[J].洁净煤技术,2020,26(4):11-20.
- [2]牛耀岚,胡伟,朱辉,等.燃煤电厂脱硫废水处理方法及零排放技术进展[J].长江大学学报(自然科学版),2019,16(10):72-78.
- [3]张建华,池毓菲,邹宜金,等.燃煤电厂脱硫废水处理技术工程应用现状与展望[J].工业水处理,2020,40(10):14-19.
- [4]胡大龙,余耀宏,于胜利,等.燃煤电厂脱硫废水处理技术现状与发展[J].工业水处理,2023,43(2):43-52.
- [5]郑观文,周永强,曹顺安.脱硫废水处理技术的现状与进展[J].广东化工,2023,50(6):93-96.

作者简介：梁宵（1991.5—），男，汉族，毕业学校：河北科技大学，现工作单位：华电水务工程有限公司。

疏浚工程中泥浆泵运行参数对施工效率的影响分析

周兵红

上海长升工程管理有限公司, 上海 200120

[摘要]在港口航道建设与维护里,疏浚工程起着关键作用,而泥浆泵是核心动力设备,泥沙输送效率和船舶整体能耗与它的运行参数直接相关。从船舶机电和轮机工程的角度出发,文中对泥浆泵转速、流量、扬程和功率等运行参数影响施工效率的机理加以分析并且结合典型工况,探讨泵效优化和能耗控制的耦合关系。对比不同运行模式下施工效率和设备磨损状况后,文中提出船舶动力系统协同调控、机电一体化监测和智能控制策略,给疏浚装备运行参数优化提供参考,从而让工程作业的经济性和可靠性得到提升。

[关键词]疏浚工程; 泥浆泵; 运行参数; 施工效率; 船舶轮机工程

DOI: 10.33142/hst.v8i9.17708

中图分类号: TV851

文献标识码: A

Analysis of the Influence of Mud Pump Operating Parameters on Construction Efficiency in Dredging Projects

ZHOU Binghong

Shanghai Changsheng Engineering Management Co., Ltd., Shanghai, 200120, China

Abstract: In the construction and maintenance of port waterways, dredging projects play a key role, and mud pumps are the core power equipment. The efficiency of sediment transport and the overall energy consumption of ships are directly related to their operating parameters. From the perspective of ship electromechanical and engine engineering, this article analyzes the mechanism of the influence of operating parameters such as mud pump speed, flow rate, head, and power on construction efficiency, and combines typical working conditions to explore the coupling relationship between pump efficiency optimization and energy consumption control. After comparing the construction efficiency and equipment wear under different operating modes, the article proposes a strategy for coordinated regulation of ship power systems, integrated monitoring of electromechanical systems, and intelligent control, providing reference for optimizing the operating parameters of dredging equipment, which improving the economy and reliability of engineering operations.

Keywords: dredging project; mud pump; operating parameters; construction efficiency; marine engine engineering

引言

港口规模不断扩大且航道淤积问题也在加剧,这使得疏浚工程对施工装备有了更高要求,疏浚船舶的关键机电设备泥浆泵的运行状态对单次泥沙输送能力有影响且与船舶整体能效和施工周期也有关系,在船舶轮机工程领域中,怎样调控运行参数从而让泥浆泵高效、安全又节能地运行成为了研究热点,本文系统分析泥浆泵运行参数和施工效率的耦合关系并揭示参数优化在提高疏浚工程效能方面的重要意义。

1 泥浆泵在疏浚船舶中的作用与结构特点

1.1 泥浆泵在疏浚作业中的功能定位

疏浚船舶的整体施工系统里,泥沙输送靠的核心机电设备是泥浆泵,它主要把舱外或舱内吸进来的泥水混合物经管路送到指定抛泥区或者吹填场,普通泵类设备不用像泥浆泵这样,泥浆泵得克服长距离输送造成的能量衰减,还要应对泥沙颗粒冲刷、泥水混合比重变化和复杂水动力环境等情况,且单位时间疏浚量和施工周期长短跟它运行性能直接相关,泥浆泵是疏浚效率的关键,就像心脏一样。

船舶作业的生产能力受泥浆泵工作效率影响且整体

能耗和维护成本也与之相关,在大型疏浚工程里,泵效稍微提升一点作业周期就能明显缩短且燃油消耗和人工费用也会降低,在船舶机电与轮机工程实践中,通过调控运行参数让泥浆泵高效、安全、稳定运行是提升疏浚船舶综合效能的重要研究方向。

1.2 泥浆泵主要类型及其适用工况

疏浚船舶常用的泥浆泵按结构形式和运行特点主要有离心泵、潜水泵和液压驱动泵这三大类。如图1所示。

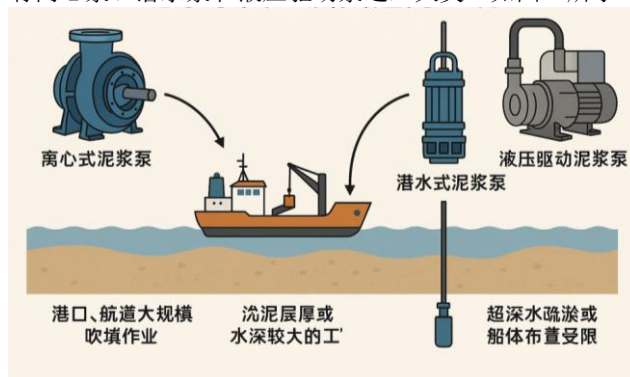


图1 泥浆泵类型及其适用工况

离心式泥浆泵最为常见,叶轮高速旋转产生离心力靠此将泥水混合物输送出去,这类泵流量大且能长距离输送,适用于港口、航道大规模吹填作业,不过在高浓度泥沙条件下容易出现效率降低和叶轮磨损问题。

潜水式泥浆泵一般被安装在吸泥管的末端,能直接从河床或者海床抽取泥沙并提升从而避免长吸程带来的气蚀与效率损失,这种泵在淤泥层厚或者水深较大的工况下更适用,但是其密封与冷却系统要求高、检修难度比较大。

液压驱动泥浆泵应用于超深水疏浚或船体布置空间受限等特殊作业场景,由液压系统提供动力,适应性和灵活性较强但效率与能量利用率较低,船舶机电系统里不同类型泥浆泵的选型和组合直接决定工程施工的适应性及经济性。

1.3 船舶机电系统中泥浆泵的动力匹配关系

泥浆泵是高功率、大负荷设备,船舶动力系统合理配置是其稳定运行的依赖,一般疏浚船舶把柴油机当作主动力,经齿轮箱和联轴器把能量传给泥浆泵,部分大型绞吸式挖泥船还配备专门辅机组,给泥浆泵和其他辅助设备独立供能以保障系统冗余与运行可靠。

在动力匹配过程中,泥浆泵的运行参数需与主机的功率曲线保持协调。当泵负荷过高时,柴油机将长期处于超负荷状态,不仅能耗增加,还会加速机械故障的发生;反之,若泵负荷过低,则难以充分发挥主机的高效工作区间,造成能源浪费。通常情况下,轮机工程技术人员通过调节泵速、管路阀门开度及泥沙浓度等方式,使泥浆泵工作点与主机的最佳工况相匹配,从而实现能效与作业效率的平衡。

现代疏浚船舶越来越多地引入电力推进与变频调速技术以实现泥浆泵运行参数的柔性调节,通过电机驱动和自动化控制系统能依据泥沙粒径、浓度以及输送距离的变化实时对转速与功率输出作出调整,防止不必要的能耗与机械损伤,这种机电一体化的动力匹配模式提升了施工效率,还大大延长设备寿命、减少维护成本。

2 泥浆泵运行参数对施工效率的影响机理

2.1 转速与流量对输送能力与能耗的影响

泥浆泵的转速与流量存在显著的耦合关系,对输送能力及单位时间的疏浚量具有直接影响。通常,大型绞吸式挖泥船的主泥浆泵转速多处于 400~750 r/min 的范围,并与管径 600~1000mm 的管路系统相匹配,每小时可实现约 4000~8000m³ 的泥水输送。当转速提高时,泵的流量与扬程均显著增加,从而提升泥沙输送能力。然而,随之而来的水力损失、叶轮磨损以及能耗也会相应加剧。

在能耗方面,泥浆泵的轴功率与转速呈立方关系,即 $P \propto n^3$ 。例如,当转速由 500r/min 提高至 600r/min 时,功率消耗约增加 1.73 倍。若为提高流量而单纯提升转速,则会导致能耗大幅上升而效率提升有限。特别是在泥沙浓度较高(固体体积分数超过 15%)的工况下,即便提高转速,有效输送量的增加仍十分有限,且可能引发气蚀并

导致泵效下降。因而,在运行调控中应合理选择转速,使其稳定在高效区间(一般为额定转速的 0.85~0.95 倍),以在保证输送能力的同时有效降低能耗。

2.2 扬程与泵效对施工距离与泥沙浓度的适应性

泥浆泵输送距离以及对不同泥沙工况的适应能力取决于其扬程,大中型疏浚船舶比较典型,单台泥浆泵额定扬程通常处于 60~120m 之间,若施工吹填距离不到 2000m,单泵就能满足需求,而施工吹填距离超 4000m 的话,常得设置中继泵站或者采用串联布置。

扬程过低时泥浆就没法有效输送到目标区域且管路容易堵塞,扬程过高时泵体就会长期大功率输出从而效率降低且磨损加剧。通常,泥浆泵最佳效率点(BEP)在额定扬程 90%~105% 的范围里,此时泵效能达到 70%~85%,要是偏离这个范围,不但施工效率下降,而且泵体振动和噪声还可能增加。

扬程与泵效受泥沙浓度的显著影响,低浓度条件下(固体含量小于 10%)扬程与泵效接近理论值,高浓度时扬程会衰减 15%~30%且泵效下降幅度约 10%~20%,合理调控扬程使其和泥沙浓度、施工距离匹配对确保高效输送很关键。

2.3 功率与效率匹配对设备稳定性与寿命的作用

泥浆泵的施工效率以及设备运行的稳定性与寿命取决于功率与效率的合理匹配。泥浆泵的设计功率通常处于 1500~4000 kW 范围内,在实际运行过程中,若功率维持在额定值的 70%~90% 区间,能够较好地兼顾泵效与使用寿命的平衡。然而,若设备长期处于超负荷状态(超过额定功率的 95%),则不仅会导致柴油机燃油消耗显著增加,还可能引发联轴器过热、轴承损坏等故障,进而影响系统的安全与经济运行。

泥浆泵的效率由水力效率、容积效率和机械效率共同构成,其综合效率通常维持在 60%~80% 之间。当泵效降至 50% 以下时,往往表明运行参数设置不合理或泵体存在磨损,此时需及时进行检修或调整。当叶轮与泵壳之间的间隙增大时,容积效率会显著下降,有效输送量通常减少约 10%~15%。

轮机工程人员为延长设备寿命,常把功率曲线和效率曲线联合起来监控以实时分析泥浆泵的运行工况,检测到泵效低于 65% 且功率接近上限时,需降低转速或者调整管路系统才能避免设备处于危险状态,功率和效率合理匹配既能让施工过程稳定又能让关键部件(像轴承、密封件)的寿命延长 20%。

3 船舶轮机系统对泥浆泵运行的支撑与优化

3.1 主机与辅机动力输出的协调机制

疏浚船舶里,泥浆泵运行的稳定性和效率直接由主机与辅机的动力分配决定,一般而言,大功率输出由主机(柴油机或者柴油-电力联合驱动系统)承担从而给泥浆泵提

供了主要动力,而船舶推进、发电和辅助设备所需能量则由辅机补充,大型绞吸式挖泥船中,主机功率往往在6000~12000kW,单台功率1500~4000kW的泥浆泵靠减速齿轮和联轴器接收主机传递的能量。

当泥浆泵负荷在动力协调过程中出现较大波动时,主机必须及时调整输出功率,否则将导致设备过载或低效运行。例如,当泥沙浓度骤然升高或管路阻力增加时,若主机调节滞后,泵速可能下降,进而造成输送效率降低。为避免此类问题,辅机系统常常提供额外功率支持,通过能量管理系统实现主、辅机的协调输出,使泥浆泵运行稳定在额定功率的80%~90%区间,从而有效防止气蚀和振动,保证设备的安全与高效运行。

现代疏浚船舶逐渐引入动力定位(DP)与综合能源管理系统(PMS),通过实时分配主机与辅机负荷,双重优化燃油经济性与设备安全性,这一机制提升了动力利用率并可减少5%~10%的燃油消耗。

3.2 电气控制系统对泥浆泵运行状态的监控

船舶自动化水平不断提升,在泥浆泵运行监控里电气控制系统的作用愈发重要,由于传统人工巡检难以满足复杂工况下的实时调控需求,多数现代疏浚船舶配备PLC(可编程逻辑控制器)+变频调速系统来动态监控与调整泵的转速、功率、压力和流量。

部分先进的疏浚船舶已引入智能监测平台,利用传感器和大数据分析技术预测泥浆泵运行趋势,监控泵效变化曲线,当泵效下降超10%时系统能提前预警,提示轮机人员检查叶轮磨损或者管路堵塞情况,智能化控制既降低了突发故障发生率,又提高了施工连续性。

3.3 润滑冷却系统对泵效与设备寿命的保障

泥浆泵长时间在高负荷条件下运行容易产生大量热量且出现摩擦损伤,其性能和寿命的润滑与冷却系统非常关键,一般来说,泥浆泵的轴承和密封部位会用循环润滑油系统,油压要保持在0.15~0.25MPa且油温得控制在40~55°C,这样才能确保摩擦副表面有稳定油膜形成,减少磨损和能量损失。

轴承和密封腔的降温主要靠冷却系统通过淡水或海水换热器来实现,高浓度泥沙输送时泵体摩擦与冲刷会加剧,若冷却不足轴承温度就会超80°C,这会使润滑油劣化且部件也会早期失效,现代泥浆泵经常用双回路冷却,主冷却回路给轴承降温,辅冷却回路用于机械密封和电机以全面散热。

研究表明,在润滑与冷却系统得到有效维护的情况下,泥浆泵关键部件的使用寿命可延长20%~30%。当润滑油清洁度保持在NAS 7级以下时,轴承的平均寿命可延长2000h以上。若进一步结合在线油液监测技术,对油液的颗粒度、水分含量及黏度变化进行实时检测,还能够实现预测性维护,从而有效防止非计划停机。

4 泥浆泵运行参数优化与智能控制策略

4.1 工况自适应调节与参数实时优化

疏浚工程施工环境复杂多变,泥沙浓度、颗粒粒径、输送距离及潮流条件等多种因素会影响泥浆泵运行工况,传统固定参数运行方式常难以兼顾效率与能耗,而工况自适应调节可通过实时监测工况变化,对泵的转速、流量和功率输出进行动态调整,泥沙浓度从10%提升到18%时,系统自动将转速降低大概8%~12%,把管路阀门开度增大,防止泵体过载和气蚀现象出现。

变频调速(VFD)与自动控制算法常被用于参数实时优化,当输送距离从2000m增加到3500m时,控制系统能依据管路阻力曲线对扬程加以调整,使其维持在最佳效率点(BEP)附近,从而让泵效稳定于72%~80%区间,这种自适应调节机制提升了施工连续性且能使单位方量能耗降低5%~8%。

4.2 基于传感与数据分析的智能监测方法

现代疏浚船舶想要精细化管理泥浆泵运行,普遍用传感和数据分析相融合的智能监测方法,在泵体和管路系统安装压力传感器、流量计、振动传感器、温度传感器以实时采集运行数据,系统经SCADA平台集中处理数据后再和泵效模型对比分析。

流量传感器监测值比理论计算值低15%时,系统能判定管路有淤积风险且清管提示自动发出,振动传感器检测到轴承振动幅值超4mm/s时轮机人员会被提示检查润滑或者轴承磨损情况,并且监测平台借助大数据和机器学习算法还能预测故障趋势,判断叶轮磨损速度并提前200~300h给出检修建议。

数据驱动的这种智能监测方法对减少非计划停机有帮助且能提升设备可利用率,实践显示疏浚船舶应用智能监控技术后泥浆泵平均无故障运行时间(MTBF)能提高15%~20%。

4.3 船舶机电一体化下的综合节能与效率提升

在船舶机电一体化理念下,泥浆泵不再作为孤立设备运行,而是与主机、辅机、电力系统及自动化平台形成耦合整体。通过对动力系统、电气系统与监测系统的综合优化,可实现能效与施工效率的双重提升。

在能量管理系统(PMS)的调度下,泥浆泵运行过程中能够根据负荷需求自动分配主机与辅机的功率。当泵负荷维持在60%~70%区间时,系统会自动停运部分辅机,以减少燃油消耗;而在满负荷运行条件下,则启用全部动力单元,并保持在最佳比油耗区间(约185~200g/kWh)。此外,将船舶电力推进系统与变频控制技术相结合,可在泥浆泵转速与主机输出之间构建柔性耦合,实现无级调节,从而有效避免能量浪费。

5 结束语

疏浚船舶的核心动力设备泥浆泵,其输送效率、能耗

水平与设备寿命直接由运行参数决定,本文系统分析了结构特点、运行参数机理、轮机系统支撑以及优化策略等方面,研究显示合理控制转速、流量和扬程能有效提升输送能力并降低能耗,动力协调、电气监控和冷却润滑系统是保障泵效与稳定性的关键,工况自适应调节、智能监测与机电一体化优化可使参数动态优化进而提升能效。

[参考文献]

- [1] 李晓威,吕鹏,彭万里.湖泊环保疏浚工程中泥浆絮凝效率的优化研究[J].人民黄河,2016,38(9):64-67.
[2] 张颖新,王艳丽.泥浆泵运行及检维修风险综合治理方

- 案研究[J].设备管理与维修,2020(14):90-91.
[3] 张颖新,王艳丽.泥浆泵运行及检维修风险综合治理方案研究[J].设备管理与维修,2020(14):90-91.
[4] 吴铭华.探究地质钻探中泥浆泵的维护及保养[J].质量与市场,2020(11):125-127.
[5] 李韬,张增年.F2200HL 和 F1600HL 泥浆泵现场使用情况分析[J].设备管理与维修,2020(1):33-34.
作者简介:周兵红(1976.10—),男,江苏省南通人,现就职上海长升工程管理有限公司,轮机长,长期从事疏浚船舶轮机管理工作。

水利工程管理中人工智能技术应用研究

唐浪

米易县河道堤防建设事务所, 四川 攀枝花 617000

[摘要]随着水利工程规模变得越来越大,管理任务也一天比一天复杂起来,传统管理方法在效率、精准性以及安全性等方面碰到了不少挑战。人工智能技术有着十分强大的数据处理能力、智能分析能力还有预测能力,给水利工程管理带来了全新的技术手段。依据人工智能技术的核心原理来仔细分析它在水利工程管理里的应用意义,同时从规划设计阶段、施工管理阶段以及运行维护阶段这三个阶段去探讨具体的应用要点,希望能够给水利工程管理朝着智能化、科学化方向发展提供一定的参考与指导。

[关键词]水利工程;人工智能;管理;应用

DOI: 10.33142/hst.v8i9.17678

中图分类号: TV698

文献标识码: A

Research on the Application of Artificial Intelligence Technology in Water Conservancy Engineering Management

TANG Lang

Miyi County River Embankment Construction Office, Panzhihua, Sichuan, 617000, China

Abstract: With the increasing scale of water conservancy projects, management tasks are becoming more and more complex day by day. Traditional management methods have encountered many challenges in terms of efficiency, accuracy, and safety. Artificial intelligence technology has powerful data processing, intelligent analysis, and prediction capabilities, bringing new technological means to water conservancy project management. Based on the core principles of artificial intelligence technology, carefully analyze its application significance in water conservancy project management, and explore specific application points from the planning and design stage, construction management stage, and operation and maintenance stage. It is hoped that this can provide some reference and guidance for the development of water conservancy project management towards intelligence and scientificity.

Keywords: water conservancy engineering; artificial intelligence; management; application

引言

水利工程属于我国基础设施当中的重要构成部分,其管理水平同防洪安全、水资源合理配置以及生态环境保护有着紧密关联。在传统管理模式之下,水利工程存在信息分散、数据处理能力受到限制以及决策依靠经验等状况,这些问题在相应程度上对工程效率以及可靠性的提升形成了制约。近些年来,人工智能技术发展速度很快,在数据挖掘、预测分析、智能决策等方面呈现出独特的长处,给水利工程管理带来了全新的解决办法。人工智能技术能够提高管理效率以及决策精准度,还能够借助智能化方式达成施工监测、设施巡检以及运行维护方面的优化,以此推动水利工程管理朝着智能化、科学化的方向去发展。所以,针对人工智能技术在水利工程管理中的应用展开深入研究,具备重要的理论价值以及实际意义。本文把人工智能技术当作核心,依据水利工程管理的实际需要,对其应用的意义以及要点展开系统剖析,为工程管理实践给予指导参考。

1 人工智能的概念

所谓人工智能技术,是指在当代科技发展中充分利用先进的互联网技术和模拟计算技术。通过机器操作,模拟

人的意识进行固定思维,成为一种动作技术。目前人工智能的应用非常广泛,无论是制造企业、制造企业、互联网企业等,都开始应用人工智能技术。人工智能技术的核心是数据的支撑和大功率传输技术的支撑。它可以模拟在处理问题的过程中的某些思考和决策。通过大量的数据计算,人工智能的主要特点是精确、高效和严谨。因此,各国都在积极研发人工智能技术,尤其是以美国为代表的微软、谷歌等大型互联网公司正在积极研究人工智能技术,与装备制造业进行有效合作。

2 人工智能在水利工程管理中的应用意义分析

2.1 提升水利工程管理效率与准确性

人工智能技术于水利工程管理而言,其一大优势便是可大幅提升管理效率以及决策的准确度。在传统的管理模式当中,水利工程的数据采集、分析以及决策往往依靠人工操作来完成,如此一来,耗时便会比较长,并且还容易受到经验水平以及主观判断方面的影响,进而致使管理效率不高,决策也易出现失误。在引入人工智能技术之后,借助先进的数据采集以及处理方式,便能迅速获取数量众多且实时更新的数据,像水文信息、设备状态、施工进度等等均包含在内,而后凭借机器学习算法以及深度学习模

型展开高效的分析,达成对水利工程各个不同环节的精准监控。人工智能能够自动去识别潜在的风险、预测可能出现的异常情况,并给出科学合理的决策建议,如此便可大幅缩减信息处理所需的时间,提升管理的精度以及响应的速度。特别是在大型水利工程以及跨区域水资源调度方面,人工智能所具备的高效计算以及智能分析的能力,能够让管理人员在条件复杂的状况下快速地做出最为优质的决策,以此有效地提升整个工程管理的水平。

2.2 实现智能调度及优化决策

在水利工程运行管理期间,合理的资源调度以及科学决策极为关键。人工智能技术凭借对历史数据与实时数据展开的深度学习,可构建精准的预测模型,进而达成智能调度与优化决策。与传统依靠人工经验的调度方式相比,人工智能可针对不同水文情形、施工条件以及资源限制展开全面剖析,自动形成最优调度方案,兼顾效率、安全性以及经济性。比如,在水库蓄水和防洪调度方面,AI系统能综合考量降雨预测、水库蓄水量、下游需求以及环境保护要求,给出科学合理的调度方案,最大程度降低风险并提高资源利用效率。而且,人工智能可在运行进程中动态调节决策策略,依据实时变动的数据加以优化,实现自适应管理,确保水利工程在复杂环境下具备可控性与灵活性。智能调度不但提升了工程运行效率,还强化了决策的科学性与前瞻性,给现代水利工程管理给予了重要支持。

2.3 提高工程可靠性与安全性,促进水利建设可持续发展

水利工程的可靠性和安全性对于防洪减灾、水资源管理以及生态环境保护有着极为重要的影响,而人工智能技术在提升工程可靠性与安全性方面具备独特的优势。借助对水利设施展开的实时监测以及智能分析,人工智能能够及时察觉到潜在的故障或者异常的运行状态,并且发出预警信息,以此来防止事故的发生。而且,人工智能还能够针对复杂的水文条件以及施工环境开展仿真分析,预估可能存在的风险,进而为工程设计和施工管理给予科学的依据,使得事故率和损失得以大幅度降低。就水利建设的可持续发展而言,人工智能凭借优化资源调度、降低能源消耗以及达成精准管理等手段,促使工程在经济、社会以及环境各个维度上实现协调的发展。比如,依靠智能水资源调控系统,能够达成水的合理分配以及节约利用的目的,兼顾生态环境保护的需求以及经济发展的要求,推动绿色智能水利建设向前推进。

3 人工智能在水利工程管理中的应用要点

3.1 规划与设计阶段

3.1.1 水资源调度优化

在水利工程开展规划以及设计工作之时,水资源调度优化已然成为其中极为关键的核心环节之一。传统的调度办法往往依靠经验积累以及较为简单的模型来实施,然而

这种方式很难去应对那些复杂且多变的水文方面的情况。与之不同的是,人工智能技术借助大数据展开分析操作,同时运用机器学习以及优化算法,进而达成了水资源调度工作的科学化以及智能化目标。人工智能能够将历史降雨量、水库蓄水量、流域所具有的特性还有社会对于用水的需求等诸多维度的数据加以整合起来,进而构建出具备高精度特性的调度模型,以此来针对不同的水文情景展开相应的模拟以及预测活动,最终生成最为优质的调度方案。这样的做法一方面提高了调度工作的效率,另一方面还能够依据实际情况动态地对方案做出调整,从而更好地去适应像突发洪涝或者干旱这类事件的发生,切实有效地保障水资源得以合理利用,同时也确保了工程运行时的安全性。凭借人工智能的应用,在水利工程处于规划阶段的时候便能够达成科学的决策效果,这无疑为后续的施工以及运行工作奠定了颇为坚实的根基。

3.1.2 工程风险预测与决策支持

在规划设计这个阶段当中,工程风险预测以及决策支持的情况,对于确保水利工程能够具备安全性和可靠性而言,是极为关键的所在。人工智能技术可凭借对地质、气象、水文还有工程设计等方面数据展开综合性的分析操作,进而提前将潜在的风险点给识别出来,同时还能模拟工程处在不同条件之下有可能会出现的各种问题,以此来为决策事宜给予科学层面的依据。借助建立起基于机器学习方式的风险预测模型,管理者便能够针对洪水、滑坡、土壤沉降这类风险展开量化的评估工作,并且依据预测所得到的结果去对设计方案予以优化处理或者对施工计划做出相应的调整。除此之外,人工智能还能够为多个方案之间的比较情况提供决策方面的支持,让工程设计拥有更强的前瞻性以及更好的适应性,进而在最大程度上降低风险并且提升工程的可持续性。

3.2 施工管理阶段

3.2.1 施工进度与资源优化

在施工管理期间,人工智能技术对于施工进度以及资源优化有着极为重要的作用。AI系统综合分析施工计划、材料供应、机械设备以及劳动力方面的数据,达成施工流程的智能化调度以及资源优化配置的目的。凭借深度学习以及预测算法,管理者可提前察觉潜在的延误情况,合理安排作业的顺序,并且依据现场的实际状况实时对施工计划做出调整,以此确保工期能够按时完成。与此资源优化的功能能够提升施工机械以及人力资源的利用率,减少浪费以及降低成本,让施工管理变得更加高效且科学。

3.2.2 施工监测与安全预警

人工智能技术在施工现场监测以及安全管理层面起到颇为关键的作用。借助部署各类设备,像传感器、无人机还有视频监控等等,AI可以实时去采集施工现场的环境方面的数据、人员开展作业时的状态以及设备的运行状

况,而后对其进行智能层面的分析,以便能及时察觉到潜在存在的安全隐患。比如说,要是监测到土方开挖存在不稳定的情况或者施工设备出现异常状况时,系统能够马上发出预警信息,给管理人员给予决策方面的参考,进而使得事故发生的可能性得以降低。除此之外,人工智能还能够依据历史事故相关的数据以及现场所获取的数据来构建安全预测模型,针对那些高风险的作业区域展开重点式的监控,以此进一步确保施工人员的生命安全并且让工程可以顺利地推进下去。

3.2.3 施工质量控制

施工质量控制对于保障水利工程能够长期可靠地运行而言,属于极为关键的一个环节。人工智能技术能够借助对施工工序、材料质量、环境条件以及检测数据展开的智能分析,达成对施工质量进行实时监控以及评估的目的。AI系统可自动识别出那些不符合设计标准的施工行为或者出现材料异常的情况,并且会及时生成质量报告,从而给施工管理给予科学方面的依据。和传统的人工检测相比,人工智能具备分析速度较快、准确度较高以及可以连续进行监控等优势,其既降低了返工率,又提升了工程的整体质量水准,进而为水利工程的安全运行打下了牢固的基础。

3.3 运行与维护阶段

3.3.1 设施运行监测与预测

在水利工程运行期间,设施运行监测以及预测属于保证工程平稳运行的关键任务。人工智能技术凭借对传感器数据、历史运行记录以及环境监测数据加以整合的方式,可针对水利设施状态展开实时分析,同时依据预测模型来对有可能出现的异常情况发出预警^[1]。就好比水闸、泵站还有水库设备的运行数据能够借助AI系统开展趋势分析,从而提前察觉到潜在故障或者运行异常状况,助力管理人员去制定维护方面的策略。这样一种智能化的运行监测办法,一方面提升了设施管理的效率,另一方面也大幅降低了突发事故出现的风险,进而保障了水利工程的可靠性。

3.3.2 故障诊断与预防性维护

人工智能技术于故障诊断以及预防性维护方面有着极为重要的作用。借助对设备运行时的数据、以往的故障历史记录还有各类环境因素展开深度学习的方式,人工智能能够精准地识别出故障的具体模式,还能预估设备有可能会出现的各种问题,并且会生成相应的维护计划,进而达成预防性维护的目的^[2]。和传统的定期维护相比,这样一种智能化的操作办法可依据设备的实际状态来动态地对维护的频次以及内容做出调整,如此一来便能提升设备的使用年限,减少维修方面的花费,从而保证工程能够在长周期内保持安全且可靠的运行状态。与此人工智能还能够凭借模拟不一样的维护策略所产生的效果这一方式,给运维管理工作给予科学且合理的决策依据,使得水利工程

的运维能够变得更加高效并且更为精细。

3.3.3 水质监测与环境管理

水质监测以及环境管理工作在水利工程处于运行的这个阶段当中,属于极为重要的任务之一,其对于生态环境的保护情况以及水资源利用的效率高低有着直接的影响作用。人工智能技术凭借自身优势,针对水质监测所获取的数据、相关的气象信息还有流域水文方面的数据展开实时的分析操作,如此一来便能够较为及时地察觉到水质出现异常或者存在污染源的情况,进而能够为从事管理工作的相关人员给出具备科学依据的调控方面的建议内容^[3]。与此人工智能还能够构建起水质预测的模型,以此来对未来的水环境变化呈现出的趋势加以模拟,进而达成对水质实施预防性管理的目的。借助智能化的数据分析方式以及管理方面的手段,人工智能一方面提升了水利工程在环境管理方面所具有的精度以及效率水平,另一方面也对实现生态方面的保护目标以及可持续发展的目标起到了助力的作用,从而为水利工程能够长期保持安全的状态、可靠的运行状况以及绿色的运行模式给予了相应的技术层面的支撑。

4 结语

综合各方面来看,人工智能技术于水利工程管理领域已然呈现出颇为广泛的运用价值以及不容小觑的发展潜能。借助于提升管理工作的效率以及决策方面的精度,进而达成智能调度这一目标,并且实现优化决策的效果,同时强化工程所具有的可靠性与安全性,人工智能正有力地推动着水利工程管理朝着智能化、科学化还有可持续化的趋向去发展。在规划设计环节、施工管理阶段以及运行维护时期等各个不同阶段当中,人工智能技术均发挥出了极为关键的作用,给水利工程管理带来了全新的技术途径以及管理思路。在未来,伴随人工智能技术不断地走向成熟,再加上数据资源得以持续积累,它在水利工程管理当中的运用将会变得更加深入并且更为广泛,从而为现代水利建设事业能够高效地运行以及实现可持续发展给予十分重要的支撑。

【参考文献】

- [1]吴婷婷.水利工程中人工智能技术的应用与前景展望[J].中国战略新兴产业,2024(11):51-53.
- [2]张问仪.水利工程管理中人工智能技术应用研究[J].水上安全,2025(15):66-68.
- [3]丁万峰.人工智能在水利工程管理中的应用[J].新农业,2022(24):97.

作者简介:唐浪(1991.3—),毕业院校:成都理工大学,所学专业:勘查技术与工程,当前就职单位:米易县河道堤防建设事务所,职务:米易县水利局河长办负责人,职称级别:水利工程管理中工程师。

基于大数据的电力金具寿命预测与维护策略

赵佚铭 蔡成

中国电建集团河南电力器材有限公司, 河南 漯河 462000

[摘要]随着电力系统持续发展,电力金具作为输电线路里极为关键的支撑以及连接部件,它的运行状况会直接对电网的安全性与稳定性产生影响。运用基于大数据的寿命预测办法,可以充分借助设备在运行进程里所累积起来的多源数据,针对金具的健康情况展开量化剖析,进而给科学制定维护策略给予依据。全面且细致地分析电力金具运行数据的采集以及处理方式,搭建起由大数据推动的寿命预测模型,并且给出了依据预测结果而形成的状态评估体系与维护策略优化方案。研究得出的结果显示,凭借数据驱动所做的预测以及智能化开展的维护工作,能够提高电力金具的运行可靠性以及运维效率,为电网安全稳定运行给予技术方面的有力支撑。

[关键词]电力金具; 寿命预测; 大数据分析; 维护策略

DOI: 10.33142/hst.v8i9.17697

中图分类号: TM7

文献标识码: A

Life Prediction and Maintenance Strategy of Power Fittings Based on Big data

ZHAO Yiming, CAI Cheng

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

Abstract: With the continuous development of the power system, power fittings, as crucial support and connecting components in transmission lines, have a direct impact on the safety and stability of the power grid due to their operational status. The use of big data based life prediction methods can fully leverage the multi-source data accumulated by equipment during operation to quantitatively analyze the health status of metal fittings, and provide a basis for scientifically formulating maintenance strategies. Comprehensively and meticulously analyze the collection and processing methods of operational data for power fittings, establish a life prediction model driven by big data, and provide a state evaluation system and maintenance strategy optimization plan based on the prediction results. The research results show that data-driven prediction and intelligent maintenance work can improve the operational reliability and efficiency of power fittings, providing strong technical support for the safe and stable operation of the power grid.

Keywords: power fittings; life prediction; big data analysis; maintenance strategy

引言

电力金具属于输电线路以及变电设施的关键构成部分,其对于保障线路的机械稳定性以及电气连续性而言,有着无可取代的重要作用。伴随电网规模持续拓展以及运行环境变得日益复杂,传统的那种凭借定期检修或者依靠经验来做出判断的维护模式,已经很难契合电力金具高效开展运维工作的实际需求了。大数据技术在不断发展,这就给电力金具寿命预测开拓出了全新的路径。通过去采集设备的运行参数、所处的环境条件还有以往的历史故障信息,并且把这些采集到的信息与先进的算法模型相互结合起来,便能够达成对金具寿命加以量化预测以及对其状态予以评估的目标,进而能够为更加科学且精准的运维决策给予有力的支持。本文着重针对基于大数据的电力金具寿命预测方法以及维护策略展开系统的探讨,借助理论层面的分析与方法论方面的内容相结合的方式,为电力设备管理工作提供一定的参考依据。

1 电力金具寿命预测与数据基础

1.1 电力金具在电网运行中的作用

电力金具在电网运行期间有着支撑、固定以及导电连

接等多种功能,其性能和输电线路的安全、稳定紧密相关。金具得承受机械载荷,像导线的重量、风荷载还有冰雪荷载,并且要确保长期电气性能稳定,以达成电流输送的可靠性标准。在运行时,电力金具会受环境因素影响,比如温度变化、湿度、腐蚀性气体以及振动等,这些因素会让金具慢慢老化、性能下降。所以,对电力金具展开科学管理以及寿命预测,能提前发现潜在风险,降低故障发生率,还能通过合理规划维护和更换计划,实现资源的优化配置,保障电网长期稳定运行。

1.2 大数据在设备运维中的应用价值

大数据技术在设备运维方面的应用已然成为现代电网管理的关键支撑所在。借助对海量运行数据展开采集、存储、处理以及分析等一系列操作,能够达成对设备健康状况较为全面的评估目的。就电力金具管理而言,大数据一方面可捕捉到实时的状态信息,另一方面还能够联合历史运行数据,进而挖掘出潜在的退化趋向以及异常模式。凭借基于大数据的分析手段,其能突破传统经验判断所存在的局限性,达成量化评估以及预测的效果,由此为维护策略给予科学层面的依据。并且,数据驱动的方法可以助

力模型实现持续的优化与更新,促使运维管理从原本的被动响应逐步转变为更为积极的主动预测,以此提升运维的效率以及经济方面的特性。借助大数据的应用,电力金具的运行状态、故障风险还有寿命周期均能够获得精确的量化处理,为智能化运维以及决策支持筑牢基础。

1.3 数据采集与特征提取方法

电力金具寿命预测要靠高质量的运行数据,数据采集涉及金具自身机械电气参数,还有温度、湿度、风速、振动、电流负荷等环境信息,用传感器网络、智能巡检设备和历史运行记录结合采集,保证数据全面且连续,采集完要提取特征,把原始数据变成能用于模型分析的指标,这个过程有信号滤波、异常值处理、归一化操作,消除噪声和量纲差异,经过特征工程能提取出像应力变化率、电阻变化趋势、环境影响因子等反映金具退化状态的关键指标,给寿命预测模型提供高质量输入,保障预测结果准确可靠。

2 大数据驱动的使用寿命预测模型

2.1 预测模型的理论基础

电力金具寿命预测的关键在于构建能体现其退化规律以及故障风险的理论模型。预测模型依据设备寿命理论、可靠性工程还有统计学原理来搭建,把金具性能衰退的过程当作是随机或者半随机的过程,借助建立数学函数或者概率分布的方式来描述其状态随着时间推移的演变规律。在实际的应用场景当中,常常会采用寿命分布模型、回归分析以及状态空间模型等这些方法,把环境影响、机械应力、电流负荷等诸多因素纳入到模型里面,进而形成一个综合考量多种因素的评价体系。理论基础是否稳固,这既决定了预测模型的准确程度,也为后续的算法挑选以及模型训练给予了科学层面的依据。通过对金具性能退化的影响因素以及它们的作用机制予以明确,模型便能在大数据的有力支撑之下达成寿命预测的量化目标以及具备可解释的特性,使得设备管理者可以依据科学的预测结果来做运维方面的决策。

2.2 算法选择与模型构建

在明确了理论基础之后,挑选那些适合在大数据环境下运用的预测算法,进而构建起与之相应的模型。在诸多常用算法当中,像支持向量机、随机森林还有神经网络这类机器学习方法都可纳入考量范围,还可以把长短期记忆网络(LSTM)这样的深度学习方法结合起来,以此来针对时序数据展开建模工作。在选择算法的时候,其原则就是要能够充分地将金具运行数据所呈现出的非线性特征以及复杂的关联关系给捕捉到,并且还得具备不错的泛化能力以及稳定性。而在构建模型的过程中,得把采集所得的金具运行数据进行一番特征选择以及工程方面的处理操作,把其中的关键指标当作输入项,进而建立起映射的关系,达成对输入与寿命预测输出之间函数拟合的目的。与此在整个模型构建的过程里,务必要充分地把数据的规

模以及算法的复杂程度这些因素都考虑进去,借助交叉验证以及参数调优等一系列手段,来保证模型既能够在训练数据上完成拟合,又能够在面对未知数据的时候依旧能够维持预测的准确性,从而为后续开展的状态评估给予一个较为可靠的数值方面的基础支撑。

2.3 模型训练与优化

将采集到的电力金具运行数据进行预处理,包括数据清洗、归一化等操作,以提高数据质量和模型训练效率。然后,将数据划分为训练集、验证集和测试集。利用训练集对选定的模型进行训练,通过不断调整模型参数,如神经网络的权重和阈值,使模型在训练集上达到较好的预测性能。验证集用于评估模型的泛化能力,防止模型过拟合。在模型训练过程中,还需进行优化。通过采用随机梯度下降等优化算法,调整模型参数更新步长,可以有效加快模型的收敛速度。同时,通过正则化方法如L1、L2正则化,约束模型复杂度,可进一步提高模型的泛化能力和预测准确性,确保模型能准确预测电力金具的寿命。还要确保模型在实际应用当中是可靠的,这就需要对测试集独立去做验证工作,同时结合性能指标来对模型效果展开全面且细致的评估,进而为后续的电力金具维护策略给予科学方面的依据。

3 基于预测结果的状态评估体系

3.1 状态评估指标与标准设定

依据寿命预测所得到的结果来着手建立起电力金具的状态评估体系,这无疑是达成科学维护目标的一个极为关键的环节所在。该状态评估指标体系务必要将金具涉及的机械方面的特性、环境方面的特性以及电气方面的特性都涵盖进去,具体而言,像应力出现的变化情况、电阻发生的变动状况、腐蚀达到的程度以及振动呈现的情形等诸多维度的指标均需包含其中,并且要综合考量其运行环境以及历史故障数据等方面的情况来给这些指标赋予相应的权重。在标准设定这件事上,应当把寿命预测模型所输出的内容当作基础,进而把金具的状态划分成健康、警示以及临近失效这几个不同的等级,借助明确具体的数值或者是以百分比形式呈现出来的区间来界定处在不同状态下的阈值。这样的一套指标体系,一方面能够对金具的健康状况予以量化处理,另一方面也为制定维护策略给出了科学层面的依据,它可以在日常开展运维工作的过程当中实现对设备状态的实时监测以及风险评估,如此一来便能够让电网运行的可靠性与安全性得以提升。

3.2 状态等级划分与评估方法

状态等级划分这一环节,在将预测结果转变为具有可操作性的运维决策方面,称得上是极为关键的一步。通过针对各个评估指标展开详尽且细致的综合分析,便能够把电力金具的实际运行状态划分成若干个不同的等级,分别是优良等级、一般等级、警示等级以及危险等级,进而达

成量化管理的目的。在开展实际评估工作的过程中,可以选用诸如加权评分这样的方式,还有模糊综合评价的方法,亦或是多指标决策的相关手段,以此来对不同类型的数据加以统一的处理操作,最终获取到金具综合健康指数。与此把状态等级和健康指数借助可视化技术展示出来,呈现给从事运维工作的相关人员,如此一来便有利于他们更为直观地去判断设备所存在的风险情况。科学合理的状态评估方法,一方面能够在第一时间精准识别出潜在的各种问题,另一方面还能够为维护计划以及检修策略提供有效的指导,从而促使维护工作从以往的被动维护模式逐步转变为更加主动的预测性维护模式。

4 电力金具维护策略制定与实施

4.1 场景化维护策略设计

不同运行场景制定维护策略,这是提升电力金具管理效率的关键办法,也是保证电力系统稳定运行的重要保障。依照预测模型以及状态评估得出的结果,可以针对常规运行、极端环境还有故障初期等不一样的场景去制定差异化的策略,以此来保证维护措施和实际运行需求能高度契合。在常规运行场景当中,维护策略可以着重于定期巡检、在线状态监测以及数据分析,要确保设备始终处在健康的状态,能及时察觉到早期出现的退化迹象^[1]。在极端环境或者高负荷条件之下,得增加重点监测、预防性维护以及紧急检修的频次,与此同时还要结合环境参数以及运行负荷去预估可能出现风险的区域,采取具有针对性的措施来及时处理潜在的问题。对于故障初期的场景,能够凭借实时监测和预测报警系统快速识别出异常情况,提前调度维护资源展开干预,降低故障扩散的程度以及造成的损失。借助这种场景化的设计,维护措施能够更为科学地对人力、物资和技术资源进行配置,达成资源的优化分配,而且能大幅度降低非计划停机以及意外故障发生的概率,进而为电力系统给予持续的安全保障以及高效的运行支持。并且这种方法也为维护计划的动态调整提供了数据方面的支撑,让运维管理能够在不同的运行条件下灵活做出响应,强化整体运维体系的适应性以及可靠性。

4.2 预测性维护与风险防控

基于寿命预测的维护策略,其关键之处在于预测性维护^[2]。具体来讲,就是凭借提前对金具退化走向以及潜在风险加以识别,进而制定出与之相应的检修及更换方案。风险防控方面,涉及针对高风险设备给予优先维护,对关键指标展开持续监测,并且制定故障应急处理预案。预测性维护可降低突发故障所造成的损失,同时也能让运维资源配置得到优化,达成经济与安全效益两方面的提升。把预测得出的结果同维护管理系统相结合,便能形成闭环管理,实现从数据采集、状态评估一直到维护决策这一整套

流程的把控,从而为电力金具实现长期可靠运行给予科学方面的依据。

4.3 策略实施效果与持续优化

维护策略在实施之时,要依据实际运行状况来不断加以优化。借助对维护所取得的结果展开分析,像设备故障率、巡检时发现的问题比率以及维修的响应时间这类指标,能够对策略的效果予以评估,从中找出潜在存在的不足之处^[3]。在优化进程里,可以综合新采集到的数据以及模型更新后的结果,对维护计划以及巡检的频次做出动态的调整,达成策略的迭代升级。持续不断地优化,一方面有益于提升电力金具的运行可靠性,另一方面也能让维护效率以及经济性得以提高,促使整个运维管理体系维持在最佳的状态之中。构建起数据反馈的机制并且搭建智能化的分析平台之后,维护策略便能形成自我完善的循环,保证预测能够和实际应用紧密地结合起来。

5 结语

本文全面且细致地探讨了依托大数据所开展的电力金具寿命预测及维护策略相关事宜。其内容涉及数据采集以及特征提取方面的工作、寿命预测模型的具体构建过程、状态评估体系的建立情况,还有维护策略的制定以及实施的整个流程。借助对金具运行数据展开的深入剖析以及针对模型所做的优化举措,便能够达成对设备寿命较为精准的预测效果,进而给科学维护以及资源合理配置给予较为可靠的参考依据。依照预测结果来构建的状态评估体系以及具有场景化特点的维护策略,能够在很大程度上提高电力金具在运行期间的可靠性程度,使得故障出现的比率得以降低,并促使运维管理从原本的被动响应模式逐步转变为更具前瞻性的主动预测模式。在未来,随着大数据以及人工智能技术不断地向前发展,电力金具寿命预测模型将会变得愈加智能化且更为精细化,这无疑会给电力系统的安全且稳定运行持续不断地提供技术层面的有力支撑,与此同时也会推动电力设备运维朝着智能化以及科学化的方向不断发展进步。

[参考文献]

- [1]蒋秋亮,胡根,吴高群.基于大数据的电力金具寿命预测与维护策略[J].信息与电脑,2025,37(5):38-40.
- [2]钱乐建,陈彬,陈煦,等.电力金具应力分析与寿命预测的计算机仿真方法[J].信息与电脑,2025,37(14):151-153.
- [3]吴秀琴,易成,易坚.电力金具腐蚀行为的数值模拟与防护策略[J].信息与电脑,2025,37(14):154-156.

作者简介:赵佚铭(1997.12—),男,毕业院校:广州大学华软软件学院,所学专业:电子信息工程,当前就职单位:中国电建集团河南电力器材有限公司,职务:技术员,职称级别:助理工程师。

水力发电设备运行状态中的故障和诊断技术研究

韩超

大唐甘肃发电有限公司碧口水力发电厂, 甘肃 陇南 746412

[摘要]水力发电设备属于电力系统的要害部分,其运行时的稳定性以及可靠性会对电网的安全状况以及经济特性产生直接的影响。在长时间的运行进程当中,机械系统、电气系统有可能会出现多种不同类型的故障,这不会影响到发电的效率,还会带来潜在存在的安全方面的风险。本论文对设备运行状态所呈现出的各类特征以及典型的故障类型展开了相应的分析,较为详尽地阐述了振动监测技术、温度监测技术、油液监测技术以及电气参数监测技术。把监测系统的具体设计情况、数据处理的相关事宜以及设备寿命的预测等方面相互结合起来,进而提出了一套较为完备的综合诊断策略,以此为提升设备的可靠性、延长设备的使用寿命以及达成智能运维的目标给予技术层面的支持。

[关键词]水利发电设备; 运行故障; 诊断技术

DOI: 10.33142/hst.v8i9.17685

中图分类号: TM612

文献标识码: A

Research on Faults and Diagnostic Techniques in the Operation Status of Hydroelectric Power Equipment

HAN Chao

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

Abstract: Hydroelectric power generation equipment is a critical part of the power system, and its stability and reliability during operation will have a direct impact on the safety and economic characteristics of the power grid. During long-term operation, various types of faults may occur in mechanical and electrical systems, which not only affect the efficiency of power generation but also pose potential safety risks. This paper conducts corresponding analysis on various characteristics and typical fault types of equipment operation status, and elaborates in detail on vibration monitoring technology, temperature monitoring technology, oil monitoring technology, and electrical parameter monitoring technology. By combining the specific design of the monitoring system, data processing related matters, and equipment life prediction, a relatively complete comprehensive diagnostic strategy is proposed to provide technical support for improving equipment reliability, extending equipment service life, and achieving intelligent operation and maintenance goals.

Keywords: hydroelectric power generation equipment; operational malfunction; diagnostic technology

引言

水力发电在我国电力供应体系当中占据着极为重要的位置,其设备的安全状况以及能否实现高效运行,一方面关系到电网的稳定性,另一方面还会影响到能源利用的效率。像水轮机、发电机、电气控制系统等这些设备,它们的结构都比较复杂,并且运行环境也是多变的,在长期运行的过程中,很容易就会出现机械方面的故障以及电气方面的故障。传统的那种计划性检修,主要是凭借经验来开展工作,同时还要按照固定的周期来进行,虽说这种方式能够在一定程度上保障设备的正常运行,可是却忽视了设备实际状态之间存在的差异。随着现代监测技术、信号处理以及智能分析方法不断地发展,状态监测与故障诊断逐渐成为了保障设备能够高效且安全地运行的关键手段。本文在对设备的运行特性以及故障类型展开细致分析的基础之上,深入探讨了多种故障诊断的方法以及系统设计的策略,以此来为设备的优化运行以及智能化管理给予相应的技术参考。

1 水利发电设备运行状态检修的意义

长期以来,我国水利发电设备检修沿用以防为主的计划检修模式,在电力系统缺电情况下,尽量避免发电设备被迫停机,减少拉闸限次数,起到了一定的积极作用。但传统的检修方式时间间隔等基本建立在传统经验基础上。较少考虑设备的实际运行状况,存在检修周期长,费用高等问题。随着设备健康水平的提高,如沿用计划检修模式,可能在机组状况良好情况下盲目拆换,浪费大量人力财力,某些情况下可能损害机组的健康水平。传统的计划检修模式显然不能满足现代设备的维护管理要求。随着电网装机容量增大,备用容量增加。电网出现用电紧张状况,使得水利发电设备检修在选择时机上可以更为灵活,为状态检修提供了更为宽松的外部环境。随着计算机技术,信号检测技术的发展应用,许多水电厂投运的计算机监控系统,为设备状态监测提供了坚实的技术基础。水电设备在设计,运行管理等方面长期经验积累,不断完善的管理制度,为设备检修提供了明确的分析,决策依据。

2 水力发电设备故障类型与特征分析

2.1 机械系统故障及特征

水力发电设备的机械系统主要包含水轮机转子、轴承、联轴器以及传动装置，其构造复杂，并且要持续承受不断变化的水力负荷。在长时间的运行进程中，机械系统很容易受到振动、磨损还有冲击载荷等方面的影响，进而出现轴承磨损、叶片裂纹、转子偏心之类的故障。这类故障常常会伴随着振动幅值有所增加、运行噪声出现异常以及温度上升等特性，特别是在负荷发生突变或者长期处于满负荷运行状态的时候，更是容易引发结构性损伤。轴承故障一般呈现出振动频率出现异常以及温度升高的情况，其发展的整个过程能够借助振动监测来及时地捕捉到。水轮机叶片出现裂纹或者遭受腐蚀，可能会致使水力能量转化的效率降低，情况严重时还会引发水轮不平衡振动以及结构共振，进而对机组的安全形成威胁。除此之外，联轴器出现磨损以及螺栓发生松动，会让传动系统产生异响并且振动幅值出现异常，最终影响整机运行的平稳性。机械故障的早期诊断，关键之处就在于高精度的振动采集以及分析手段，通过针对频谱特征、包络信号以及时域特征展开分析，能够达成对故障类型与程度的精准判断，以此为后续的检修和维护工作给出依据。

2.2 电气系统故障及特征

电气系统属于水力发电设备达成能量转换以及控制调节的关键部分，其中涵盖发电机定子绕组、转子励磁系统、电压调节器还有保护装置等等。在长时间的运行进程里，电气系统极有可能会出现诸如绕组绝缘老化、励磁方面出现异常状况、电压产生波动以及存在接触不良等一系列故障情况。而这些故障往往是以电流、电压波形出现异常、局部出现过热以及存在局部放电等现象来呈现出来的，要是不对这些故障加以及时且有效的处理，那么就有可能致使机组停止运转，甚至还可能造成设备遭到损坏。当定子绕组出现局部过热或者绝缘受损的情况时，这将会使得发电效率有所下降，并且还会伴随着局部电流出现波动以及电气噪声增多的现象。转子励磁系统一旦发生故障，那么就可能会引发输出电压处于不稳定的状态，进而对电网的质量产生影响。现代针对电气故障所采用的诊断方法主要是依靠对电参数展开实时的监测操作，通过对电流、电压的幅值、相位以及频谱特征进行细致的分析，就能够较为精准地去识别出故障的具体来源并且对其发展趋势做出相应的判断，如此一来便可以在不会对正常发电造成干扰的前提之下开展具有针对性的维护以及修复工作。

3 故障诊断技术方法

3.1 振动、温度与油液状态监测技术

水力发电设备故障诊断所依赖的振动、温度以及油液状态监测，乃是其基础的诊断手段。这一手段借助实时对设备物理参数加以采集的方式，以此来呈现机械系统的实际运行状况以及潜在存在的各种异常情况。就振动监测技

术而言，它主要是把转子、轴承还有叶轮系统作为重点监测对象。通过运用加速度传感器、速度传感器以及位移传感器来采集振动信号，并且将时域分析法、频域分析法以及时频域分析法相互结合起来，如此一来便能够识别出像不平衡、轴承损伤、出现松动以及结构共振这类故障所具有的特征。在开展振动分析相关工作的过程中，包络分析法、频谱分析法以及小波变换法这些方法被广泛地应用到早期故障检测当中，而且能够在设备还未呈现出明显的异常情况之前，对潜在的问题给予预警提示。至于温度监测，其做法是在轴承、绕组以及一些关键部件处安装热电偶或者红外测温设备，进而持续不断地采集温度方面的数据，以此来对设备局部发热的具体情况予以评估。而温度出现异常的情况，往往就是机械摩擦有所增加、润滑不够充分亦或是电气绕组绝缘程度下降的早期表现标志，所以能够用于辅助去判断振动分析所得到的结果，进而促使诊断的精度得以提升。油液状态监测是通过采集润滑油的压力、油温、油品的黏度以及杂质含量等方面的信息，以此来反映液压系统以及轴承润滑的实际状况。当油液当中颗粒物的含量有所升高或者酸值出现了增加的情况时，这通常意味着部件存在磨损现象或者受到了污染，再结合振动以及温度方面的数据，便能够达成对机械系统以及液压系统故障的综合性评估目的。振动、温度以及油液状态监测所形成起来的多维信息，不但能够为即时开展的诊断工作给出相应的依据，而且还能够为设备健康管理以及预防性的维护工作提供数据层面的支持。

3.2 电气参数监测与诊断方法

电气参数监测在水力发电设备能量转化以及控制安全方面有着重要作用。就发电机和励磁系统的运行来讲，其运行过程中电流、电压、功率因数、局部放电以及绝缘电阻等各项参数都存在变化，而这些变化极有可能反映出潜在的故障情况。借助于对这些电气参数展开连续不断的测量，并且深入分析其历史数据，便能够对绕组的绝缘状态、励磁系统的性能状况以及电气连接的具体情形做出相应判断。对电流和电压的波形加以分析，能够帮助识别出不平衡负荷、局部短路亦或是绕组出现损伤等问题。尤其是凭借频谱分析以及谐波特征提取这两种方式，可精准定位到局部放电源，同时还能了解故障的发展趋势，进而提前采取相应的维护举措。绝缘电阻以及泄漏电流的监测，能够给出绕组绝缘老化程度的量化指标，从而为计划性的检修以及更换工作提供科学且合理的依据。除此之外，电气参数监测一般会与机械状态监测联合起来使用，通过同步对振动、温度以及电气信号进行分析，可以有效地把机械性振动出现的异常情况与电气干扰区分开来，以此提高诊断的准确程度。现代的电气监测系统运用高速的数据采集技术、智能的信号处理手段以及可视化的平台，使得操作人员能够实时地掌握机组的实际状态，达成早期故障的识别以及精确的定位效果。

4 故障诊断系统设计与运行优化

4.1 监测与诊断系统架构

要达成水力发电设备高效运行以及早期故障预警这一目标,监测与诊断系统在设计之时,务必要把数据采集、处理、分析以及可视化展示等诸多功能都考虑周全。该系统一般是由传感器层、数据采集与传输层、数据处理与分析层还有用户界面层构成的^[1]。传感器层主要负责对机械振动、温度、电气参数以及液压状态信息展开实时采集工作,以此来确保所采集数据具备完整性与可靠性。数据采集与传输层会运用高速数据采集模块以及工业以太网技术,把传感器所发出的信号传送到中心处理系统当中,并且还会开展必要的预处理操作,像是滤波、去噪以及异常值检测等。数据处理与分析层可以说是整个系统的重中之重,其借助多参数融合、智能算法以及机器学习模型,针对设备状态进行全面且细致的评估,同时开展故障诊断工作,进而达成异常报警以及趋势预测的目的。用户界面层能够为运行管理人员给予一个可视化的平台,清晰地呈现出设备的实时状态、历史趋势以及故障预警信息,方便相关人员及时采取相应的维护举措。整个系统的架构不但能够满足实时监测以及故障诊断方面的需求,而且凭借模块化设计的方式,还能实现系统的扩展以及功能的升级,从而契合不同种类以及不同规模的水力发电机组在运行管理方面的各类需求。

4.2 数据采集、处理与实时监控

数据采集以及处理这一环节乃是设备状态监测跟故障诊断当中极为关键的基础环节,其对系统分析结果的准确性以及实时性有着决定性的影响。振动、温度、油液还有电气参数等各项指标是通过合理布置的传感器网络来连续进行采集的,而采集的频率以及精度得依据设备的具体特性以及故障的相关特征来进行相应的优化处理。所采集到的数据会先经过一番预处理的操作,这里面包含了去噪处理、归一化处理以及对异常值进行过滤等一系列步骤,如此便能够确保后续展开分析时具备足够的可靠性^[2]。在实时监控这个环节当中,系统借助数据流处理技术来达成对设备状态的动态追踪目的,对于振动出现的峰值情况、温度产生的波动状况以及电气方面出现的异常情形都能够做到即时发出警报提示。结合起可视化的操作界面以及针对历史数据所做的趋势分析来看,操作人员就能够较为迅速地对故障的具体类型以及可能出现的原因做出准确的判断,进而实现对故障的早期干预。在数据处理的过程当中还可以引入自适应阈值算法,凭借该算法能够根据不同运行工况的情况来动态地对报警阈值加以调整,以此提升故障识别所具备的灵敏度以及准确性程度。实时监控一方面能够保障机组得以安全地运行,另一方面也能够为设备寿命的预测以及维护策略的优化给予连续且稳定的数据支撑,使得设备管理工作能够变得更加科学且更加智能。

4.3 设备寿命预测与预防性维护

设备寿命预测以及预防性维护属于实现水力发电设备能够可靠运行的关键环节所在。凭借监测数据还有历史运行信息这两方面情况,系统能够借助统计分析手段、通过构建状态指数模型以及运用机器学习相关方法来对关键部件的剩余寿命加以评估。寿命预测一方面会着眼于当前的健康状态,另一方面还会联合负荷方面的变化情况、所处环境的因素以及过往的运行历史展开综合性的分析,进而给出量化的维护方面的建议内容^[3]。预防性维护策略是依据预测得出的结果来进行制定的,其中涵盖了对润滑、更换或者检修计划做出优化安排等事宜。把寿命预测和实时监控、智能诊断系统相互结合起来,操作人员便可以在设备还处于健康的状态之时提前采取相应的措施。预防性维护策略是能够进行动态调整的,会依据设备当下的运行状态以及诊断所得到的结果去对检修周期以及资源配置予以优化,以此达成维护行为在管理上的最优化以及精细化程度。这样的闭环管理模式切实提高了设备运行的可靠性以及发电的效率,并且也为电力系统的稳定供应给予了强有力的保障支撑。

5 结语

本文全面且细致地对水力发电设备在运行状态期间所呈现出的各类故障类型以及相应的诊断技术展开了研究,着重凸显出状态监测、智能诊断还有数据驱动分析在设备运维环节当中的实际应用价值。通过仔细分析机械系统以及电气系统的故障特征,清晰明确地指出了典型故障的具体表现形式以及诊断时所依据的相关内容,并且深入探讨了像振动监测、温度监测、油液监测以及电气参数监测等技术的应用情况,进而为设备的健康管理给出了较为科学合理的手段。把系统设计和运行优化相互结合起来考量,还进一步提出了有关监测系统的架构设计思路、数据处理的操作流程以及设备寿命预测的方法,从而达成了从故障检测一直到维护决策这样一个完整的闭环管理模式。在未来的发展进程中,随着传感技术以及人工智能领域不断地取得新的进展,水力发电设备的故障诊断将会变得更为智能化,其精准度也会不断提升,最终能为电力系统的安全且高效地运行给予强有力的支撑保障。

[参考文献]

- [1]吕科.发电设备运行状态中的故障和诊断技术的研究[J].中国设备工程,2024(16):178-180.
- [2]闫子修.水力发电设备的运行状态故障及检修技术[J].中国战略新兴产业,2024(24):100-103.
- [3]鲜恒超.水力发电设备的运行状态监测及故障检修[J].低碳世界,2024,14(7):31-33.

作者简介:韩超(1995.2—),男,毕业院校:陇东学院,所学专业:工程管理,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:集控中心主值班员,职称级别:助理工程师。

航道疏浚对航行安全与生态环境的综合影响研究

王旭

长江南京航道工程局, 江苏 南京 210000

[摘要]水运基础设施建设里航道疏浚占据重要位置,其对生态环境和航行安全都有着深远影响,疏浚从一方面来讲能够对通航条件予以改善,让航道的通行能力得以提升,把船舶搁浅以及碰撞的风险降低,进而对运输效率和安全起到保障作用。大规模疏浚在另一方面或会致使水动力格局产生改变,底栖生物栖息地遭到破坏还会引发水体浑浊这对生态系统稳定性造成了威胁。在工程实施里兼顾安全与生态,推动航运跟环境协调发展离不开对航道疏浚双重效应的综合分析。

[关键词]航道疏浚;航行安全;生态环境;水动力影响;协调发展

DOI: 10.33142/hst.v8i9.17696

中图分类号: U617

文献标识码: A

Research on the Comprehensive Impact of Channel Dredging on Navigation Safety and Ecological Environment

WANG Xu

Changjiang Nanjing Waterway Engineering Bureau, Nanjing, Jiangsu, 210000, China

Abstract: Channel dredging plays an important role in the construction of water transportation infrastructure, which has a profound impact on the ecological environment and navigation safety. On the one hand, dredging can improve navigation conditions, enhance the capacity of waterways, reduce the risk of ship grounding and collision, and thus ensure transportation efficiency and safety. On the other hand, large-scale dredging may cause changes in the hydrodynamic pattern, and the destruction of benthic habitats can also lead to water turbidity, posing a threat to ecosystem stability. Balancing safety and ecology in engineering implementation and promoting coordinated development between shipping and the environment cannot be achieved without a comprehensive analysis of the dual effects of channel dredging.

Keywords: channel dredging; navigation safety; ecological environment; hydrodynamic influence; coordinated development

引言

航道疏浚在全球航运规模持续扩大的背景下,已然成为保障水运畅通以及推动经济发展的关键举措,通航环境安全高效不仅直接影响区域经济活力,也关系到航运效率。然而疏浚活动往往在改善航行条件之际,伴随对水域生态的干扰与风险,这引发了学界与工程界的广泛关注,在保护生态环境与提升航道功能间怎样去寻求平衡已然成为水运可持续发展里的重要课题,迫切需要进行综合评估与系统性探讨。

1 航道疏浚的必要性与现实意义

水运发展的基础工程——航道疏浚不但肩负着保障航运安全的重任,而且在区域经济和环境保护方面发挥着复杂且深远的影响。

1.1 提升航运效率与保障通行安全

水上运输的命脉是航道,其通畅程度对航运效率与安全水平有着直接的决定作用,原有航道常因泥沙淤积,水深不足或航宽受限难以满足实际需求,随着船舶大型化与运输量的快速增长。船舶搁浅碰撞等事故风险因疏浚工程得以减少,该工程凭借清除淤积物,以及对航道进行拓宽加深操作切实为航运给予稳定通行条件,有效提升了通行能力。船舶等待与绕行时间可因航道条件的改善而缩短,

燃油消耗和运营成本也会降低,运输效率与经济效益因而能得到显著提升。在确保通航安全以及提升水运效率这些方面,航道疏浚的重要性由此可见是不可替代的。

1.2 促进区域经济发展与产业联动

区域经济的发展能够被航道条件的改善直接推动,航运是连接国内市场和国际贸易的重要纽带,大型船舶进出条件因疏浚而得以创造,这不仅提升港口接纳能力与吞吐水平,更增强了港口竞争力以及区域物流枢纽地位。制造业航运物流港口加工以及旅游业等沿线产业,皆因航道保持畅通从而获取了发展的契机,进而构建起良性循环,相关工程建设、设备制造以及劳动力市场需求会被疏浚工程带动起来,进而对地方经济增长起到进一步的拉动作用。对内来说,航道的畅通让国内资源以及商品的流通条件得到了改善,国际贸易的可达性与便利性因对外提升的航运能力而得以增强。在区域经济一体化与全球化进程里,航道疏浚因而具备战略性意义。

1.3 推动水运现代化与环境管理升级

在当代可持续发展理念的引导下,航道疏浚所具备的意义并非仅仅局限于为通航提供保障,其还凸显于对水运现代化以及生态管理这两方面的推动作用上。先进的装备与技术正逐步被现代疏浚工程所采用,达成了更环保且效

率更高的施工模式,泥沙资源的再利用和处置技术逐步成熟,且精细化测绘与智能化施工管理减少了工程对水体的扰动范围,这有助于减轻环境负担。疏浚过程常伴随着水动力格局的调整,这为水域治理、洪涝防控,以及生态修复提供了契机,在推动水运体系朝着现代化绿色化方向不断迈进的进程中,航道疏浚可凭借科学规划以及综合管理将航运发展与生态保护目标予以兼顾。不仅航道疏浚是现实需求,更是提升治理能力以及发展质量的重要举措由此可见。

2 航道疏浚对航行安全的积极作用

在航运发展进程中核心保障无疑是航行安全,航道疏浚这一关键举措,借助对水域条件的改善以及通航环境的优化,于减少事故风险提升运输效率等方面展现出了不可忽视的重要作用。

2.1 改善航道条件降低搁浅风险

船舶航行的安全性直接与航道的深度和宽度相关联,船舶要在设计吃水范围内安全通行需有良好航行条件,疏浚工程通过清除淤积物,拓宽水域加深航道可有效实现这一点。许多航道长期受泥沙淤积河床变化以及人类活动影响,出现了水下障碍物增多或水深不足的状况使得船舶搁浅的概率有所增加。船舶要在设计吃水范围内安全通行需有良好航行条件,疏浚工程通过清除淤积物拓宽水域加深航道可有效实现这一点,急弯和浅滩的存在因航道形态的优化而减少,船舶操纵难度得以降低。在大型船舶以及高密度交通水域当中,航道疏浚可从根本上保障运输安全与通航稳定,极大程度降低搁浅事故出现的风险,不仅减少了因水域受限而造成的滞航与延误,航道改善还提升了船舶调度灵活性,对提升运输效率与经济效益具有直接推动作用。在紧急情况下畅通的航道对于救援与避险意义重大,为多维度保障航行安全创造了条件。

2.2 优化通航秩序减少碰撞事故

船舶密度因航道资源使用紧张而增加,随着航运规模持续扩大,航行碰撞事故风险也跟着上升,通过增设避让空间改善水动力条件,以及拓宽航道断面,航道疏浚给多船通行营造了更具安全性的环境。船舶在这一基础上能够更有效地维持航向以及航速,降低由于水流干扰或者空间受限所引发的失控和碰撞情况,航标布设以及导航系统优化因疏浚而获得条件,让航行管理更科学高效。在显著降低船舶碰撞事故发生率,增强整体航行安全水平的航道疏浚,借助合理的工程设计与通航组织提升了航道容量,船舶之间的互相干扰因规范化的通航秩序而减少,让航运运行更趋稳定为复杂水域交通管控筑牢了坚实基础。

2.3 提升通航效率保障应急能力

不仅应急处置的能力涉及到航行安全事故的预防,也对其有着决定性作用,船舶长时间滞留会带来风险,而航道疏浚提升了航速水平与水域的通行能力,能让船舶在更

短时间完成航程。在诸如恶劣天气、机械故障或水上突发事件等突发状况里,疏浚后的航道给予了更为充裕的避让及救援条件,让应急船舶能够快速调度,也使救援行动具备了实现的可能。整体运输效率因畅通的航道减少了交通瓶颈而得以提升,还避免了因拥堵或延误造成的次生安全隐患,不仅在关键时刻保障了应急反应的及时性与有效性,由此可见常态下的航行条件更因航道疏浚得到了改善。水上突发事件综合处置能力因航道条件的优化而得到提升,实现应急资源更高效的跨区域调配为航运体系的安全与韧性给予有力支撑。

3 航道疏浚对生态环境的潜在影响

在改善通航条件时航道疏浚无可避免地冲击生态系统,对水质生物栖息地以及生态平衡产生影响,其潜在影响亟需深入剖析。

3.1 水体浑浊加剧影响水质稳定

在作业进程里疏浚工程会对底泥形成搅动,致使大量悬浮物进入到水体当中,最终使得水体的浑浊度出现显著的升高,这一变化不仅对水生植物的光合作用造成抑制,削弱了其生态功能还降低了水体透明度影响了光照在水中的穿透深度。疏浚底泥时其中可能富集的重金属氮磷等污染物会被重新释放到水体中,这加剧了水质恶化,以及富营养化的风险,鱼类鳃部会被增加的悬浮颗粒堵塞,进而影响它们的呼吸与生存。从长远视角而言,水体理化指标发生改变原有水域生态稳定性或许会遭到破坏,系统自净能力被拉低水环境恢复周期进而变长。可见此由疏浚对生态环境影响的首要表现乃水质问题。

3.2 栖息地破坏导致生物多样性下降

不仅水底形态因航道疏浚而改变,底栖生物的栖息地也被直接破坏,底泥的清除以及河床的改造常会让生物用以生存的基质不复存在,致使底栖动物的数量急剧减少甚至出现局部物种灭绝的情况。渔业资源或许会因鱼类产卵场以及幼体成场所因疏浚而遭受破坏,进而面临衰退的情况,疏浚对湿地系统与岸带植被造成的冲击不容小觑,鸟类、两栖动物以及多种水生生物的重要栖息地,往往就在这些区域。一旦引发生物链条的连锁反应遭到破坏,会导致生态系统功能削弱,生境发生改变情况变得更为复杂,这或许会给外来物种入侵制造契机,本土物种的生存空间因此被进一步挤压。在生物多样性保护层面航道疏浚由此面临显著挑战,这需要科学规划与后期修复举措相互配合。

3.3 水动力格局改变引发生态失衡

原有水动力格局与沉积平衡因航道疏浚加深和拓宽水道而改变,进而引发了一系列生态效应,局部冲刷或淤积因水流速度变化而可能加剧。部分区域水体交换能力增强,可另一部分区域出现水体滞留,新的生态脆弱点就此形成,不仅此类水动力变化改变了水生生物的栖息条件,营养盐与有机质的分布格局也受到影响,进而打破了原有

生态系统的物质平衡与能量循环。在河口与湿地这类敏感区域，水动力格局一旦调整盐度分布或许就会出现异常，这种异常很可能危及适应性欠佳的物种的生存。长期的水动力失衡更进一步或许还会让生态环境承受更大压力，加速岸线侵蚀与地貌变迁，因此航道疏浚所造成的水动力影响并非仅仅局限于物理层面，其更是生态系统结构，以及功能得以重塑的关键诱因。

4 航行安全与生态环境效应的综合权衡

航道疏浚既提升航行安全，又带来生态风险，实现水运可持续发展的核心问题在于怎样达成通航保障和环境保护之间的平衡。

4.1 航行安全优先的战略必要性

国际贸易和区域经济发展的重要支撑之一是航运，它的安全性对国家经济运行以及社会稳定有着紧密关联，船舶运行时若航道条件匮乏极易出现碰撞搁浅或延误状况，这不但会对生命财产安全构成威胁，还可能导致重大经济损失以及次生环境污染问题。在保障船舶正常通航提升运输效率，以及增强港口竞争力这些方面疏浚发挥着不可替代的作用，在政策以及工程实践当中疏浚常被赋予优先地位。然而在工程设计里安全至上的战略取向并非意味着能够对生态问题予以忽视，而是要求合理规划疏浚的尺度以及频率，从而让航行安全和生态保护构建起协调的关系。航行安全的优先性换个说法为疏浚赋予了正当性，然而其实施过程必须将环境代价纳入考量。

4.2 生态环境保护的刚性约束力

航道疏浚对环境存在的不利影响，伴随社会给予生态文明建设的重视程度提升，正逐步演变成政策制定以及公众关注聚焦的要点。可能造成不可逆转生态损失的问题包括水体浑浊生境破坏以及水动力失衡等问题，甚至会对区域水域系统的长期稳定性产生影响。在疏浚工程里环境保护并非仅仅作为辅助考量因素，而实实在在是必须严格遵守的刚性约束条件，各类国际公约标准与法规针对疏浚作业提出严格要求，规定在施工前需开展环境影响评价在工程进程中要采取生态修复以及抑制污染的措施。工程方在这种制度化的约束力下，于追求航行安全之际不得不把生态保护纳入决策框架当中，航行安全与生态保护并非对立，恰恰相反它们之间存在必然的平衡制约关系，这种关系推动工程从单一目标迈向多元协调。

4.3 综合权衡下的协调发展路径

实现航行安全和生态保护这双重目标，需构建科学权衡机制以及综合管理路径，从规划角度出发需借助精细化测绘以及模拟预测手段对疏浚范围与强度展开合理设计防止生态系统受到过度干扰。在技术层面要推广泥沙资源再利用低扰动施工装备，以及生态修复技术以此来降低环境代价，在管理层面再次建立跨部门协作机制，达成航运管理部门跟环境保护部门的协调配合。工程责任感与透明

度的提升，还需强化公众参与以及社会监督，范围与强度展开合理设计防止生态系统受到过度干扰，在技术层面要推广泥沙资源再利用低扰动施工装备，以及生态修复技术以此来降低环境代价。在管理层面再次建立跨部门协作机制，达成航运管理部门跟环境保护部门的协调配合，工程责任感与透明度的提升还需强化公众参与以及社会监督。在满足航运安全需求的通过上述举措，能够降低对生态的负面影响构建起安全与环境相互促进，共同赢取良好局面的格局，推动水运行业达成绿色可持续发展的必由之路，不仅是一种管理理念更是综合权衡。

5 航道疏浚的优化路径与协调发展对策

水运行业的绿色转型关联重大，航道疏浚作为航运发展的基础工程其协调对策与优化路径直接决定着通航安全和生态保护能否达成统一。

5.1 科学规划设计引领工程实施方向

首要环节在于合理设计与科学规划，来优化航道疏浚，通过多源数据收集以及水动力模拟预测疏浚对水质沉积和生境的潜在影响，在规划阶段要充分将水域特点、航运需求与生态敏感性纳入考虑范畴。在设计进程里“需求导向与生态约束并重”这一原则应当被确立起来，防止过度地进行疏浚或者频繁且重复地开展施工活动，以此来降低对水域环境产生的长期干扰。需兼顾上下游与流域整体格局进行规划，避免因局部优化致使整体失衡，工程方案应引入动态调整机制，依据生态监测结果以及航运流量变化适时修订以此达成规划的灵活性与前瞻性。航道疏浚只有在规划层面奠定科学基础，才能够在确保通航安全之际将生态代价降至最低限度进而发挥长远效益。

5.2 推进技术创新提升绿色施工水平

实现疏浚工程优化与协调发展的核心动力在于技术进步。现代技术的引入为绿色施工带来了可能，而传统疏浚方式却常伴随着高能耗与高扰动。智能化挖泥装备与精确定位可有效缩减无效作业范围，降低对水体的扰动强度；新型环保疏浚船设计为低噪音低排放，在确保施工效率的情形下，减轻对水生生物的干扰；建筑材料资源、填海造地材料或者生态修复用料可通过泥沙资源再利用技术，由疏浚物转化而来达成“废物变资源”的目标。实时监测系统加以应用能够动态把握施工对底栖生物水质以及浑浊度产生的影响，给过程控制提供科学依据。在推动航运基础设施建设朝着高质量与低碳化方向发展进程中，上述技术经推广后疏浚作业不但可提升效率还能够减轻环境压力。

5.3 完善政策机制强化协调管理能力

政策与管理对策于优化路径里具备统筹以及保障作用，要把法律法规体系予以健全，将航道疏浚的操作规范以及生态保护红线明确出来，把环境保护要求纳入到工程全生命周期管理当中。交通运输、生态环境、水利等部门的协同合作需要通过强化跨部门协调机制来达成，进而形

成合力推进的治理格局,应健全建立社会监督与公众参与渠道,提升工程的责任性与透明度,强化社会认同感。国际经验显示环境影响评价与后评估制度走向制度化能够有效规避“一次性治理”模式,达成长期动态管理目标而非简单的“一次性”处理。推动企业和科研机构参与绿色疏浚技术的研发与推广,还应加大政策引导及资金支持力度以此形成政策驱动与市场活力的双重作用力。航道疏浚要真正实现协调发展,把经济效益社会效益与生态效益统一起来,需借助制度创新以及管理优化才行。

6 结束语

水运发展的重要工程航道疏浚,不仅是影响生态环境与区域平衡的关键要素,而且是保障航行安全提升运输效率的有效举措。航道疏浚并非单纯技术行为,经对其必要性安全效应生态风险综合权衡及优化对策展开系统探讨可知,它是涉及经济发展环境保护与社会责任的复杂工程。未来要把科学规划跟绿色施工放在同等重要位置,在航道建设方面强化政策制度的推动,公众积极参与,促使其朝

着安全高效和生态友好相统一的目标迈进。航道疏浚要想真正发挥促进可持续发展的战略价值,为水运现代化以及区域经济繁荣给予坚实支撑,唯有在安全和环境之间达成良性平衡才行。

【参考文献】

- [1]项丞,徐旭东.航道维护疏浚工程通航安全研究[J].科技资讯,2018,16(9):83.
- [2]文光辉,闻昌志,童超,等.航道疏浚施工的常见问题及治理措施[J].珠江水运,2023(17):99-101.
- [3]王文渊,赵亮.内河航道建设及治理的解决措施[J].珠江水运,2023(17):90-92.
- [4]黄雪林.沱江自贡至泸州段航道管理存在的问题及对策研究[D].重庆:西南大学,2024.
- [5]吴健.港口航道疏浚工程中的绿色施工技术[J].中国科技信息,2025(15):114-116.

作者简介:王旭(1983.12—),男,江苏人,现就职于长江南京航道工程局,船长,从事航道疏浚船舶管理工作。

农业水价综合改革成效评价体系构建与应用

马菊

吉木萨尔县水利管理站, 新疆 昌吉 831700

[摘要]农业水价综合改革乃是提升水资源利用效率、推动农业可持续发展以及促进生态文明建设的关键举措,其成效评价既涉及政策实施效果的检验,又是未来制度优化与政策推广的理论依据与实践指导。文章着眼于水资源稀缺性与农业发展需求之间的矛盾,全面构建起农业水价综合改革成效的评价指标体系,包含了水资源利用效率、农业经济效益、农户承受能力、生态环境效益以及政策与管理效能这五个维度,还进一步给出了数据获取与处理的途径。从方法论来讲,综合运用了层次分析法、熵值法以及模糊综合评价等工具,形成了科学合理的成效评价模型,确定了实施步骤和结果分析框架,并且在此基础上探讨了模型的适用性与可扩展性。研究说明,农业水价综合改革的成效评价不但能客观呈现出改革效果,而且能为政策决策给予有价值的反馈与调整依据,进而于推动节水型社会建设、提升农业生产效率以及达成绿色发展等方面起到关键作用。

[关键词]农业水价综合改革;成效;评价体系

DOI: 10.33142/hst.v8i9.17693

中图分类号: F4

文献标识码: A

Construction and Application of Evaluation System for Comprehensive Reform of Agricultural Water Price

MA Ju

Jimusaer Water Management Station, Changji, Xinjiang, 831700, China

Abstract: The comprehensive reform of agricultural water prices is a key measure to improve the efficiency of water resource utilization, promote sustainable agricultural development, and promote ecological civilization construction. Its effectiveness evaluation involves both the verification of policy implementation effects and the theoretical basis and practical guidance for future institutional optimization and policy promotion. The article focuses on the contradiction between water scarcity and agricultural development needs, and comprehensively constructs an evaluation index system for the comprehensive reform of agricultural water prices, including five dimensions: water resource utilization efficiency, agricultural economic benefits, farmers' affordability, ecological environment benefits, and policy and management efficiency. It also provides ways to obtain and process data. From a methodological perspective, a scientific and reasonable effectiveness evaluation model has been formed by comprehensively using tools such as Analytic Hierarchy Process, Entropy Method, and Fuzzy Comprehensive Evaluation. The implementation steps and result analysis framework have been determined, and the applicability and scalability of the model have been explored on this basis. Research has shown that the evaluation of the effectiveness of the comprehensive reform of agricultural water prices not only objectively presents the reform results, but also provides valuable feedback and adjustment basis for policy decisions, which playing a key role in promoting the construction of a water-saving society, improving agricultural production efficiency, and achieving green development.

Keywords: comprehensive reform of agricultural water prices; results; evaluation system

引言

在全球水资源变得越来越紧张这样的大背景之下,农业属于用水量很大的领域,所以其用水方式的转变以及用水效率的提升已经变成了各国达成水资源可持续利用这一战略目标时的重点所在。我国一直以来农业用水所占的比例都处在比较高的状态,并且在水资源空间分布极不均匀,同时农业生产模式又比较粗放这两种情况共同存在的前提下,农业水价相对偏低、用水效率也比较低的问题显得格外突出。为了能够破解这样的困境,农业水价综合改革便顺势产生了,它的关键点就在于借助价格杠杆较为合理地发挥作用,以此来促使农户节约用水,提高农业生产方面的效率,从而达成经济、社会以及生态三方面的协调发展。不过农业水价综合改革的实施效果并不是一下就能

实现的,因为它涉及到复杂的经济行为、政策调节以及社会反馈等方面,所以迫切需要构建起一套科学合理的成效评价体系。这套体系既是用来检验改革政策有没有达成预期目标的一种工具,同时也是推动农业实现绿色转型以及制度创新的重要依据。本文将从理论与实践相结合的角度出发,针对农业水价综合改革成效评价体系展开系统的相关研究,努力为未来相关政策的优化以及推广给予科学方面的依据。

1 农业水价综合改革成效评价体系构建原则

1.1 系统性

应将评价的各项指标作为一个整体看待,增强农业水价综合改革评价指标体系的系统性,要求评估的各项指标能够充分反映农业水价综合改革有关政策的制定和实施特色特征,指标之间的逻辑清晰严密,具有明显的层次感。

1.2 可操作性

评价应当依据农业水价综合改革发展的内在规律,结合数据可得性,选取关键因子,设定合适的评价标准。一要充分考虑到指标数据资料的可获得性;二要合理控制指标体系规模;三要兼顾指标的可量化性。

1.3 动态性

要求农业水价综合改革评价指标具有一定程度的可拓展性,使得对不同的对象、根据不同的评估要求、在不同评估阶段能够对指标体系进行灵活地动态调整。

2 农业水价综合改革成效评价指标体系构建

2.1 指标体系设计思路

构建农业水价综合改革成效评价指标体系时,需遵循科学性、系统性以及可操作性等原则,以此来全方位呈现改革在各个层面所引发的影响。在理论层面要立足于水资源经济学、生态学、环境管理学还有政策科学等诸多学科交叉的视角之上,务必要让指标在理论方面具备严谨性,并且在实践环节可以切实反映出水资源配置、农业生产以及生态环境保护彼此间的关系。接着,在结构方面要达成多维度的覆盖效果,既要去考察农业生产效率以及经济效益,又要顾及农户的承受能力、生态环境保护、社会公平性以及政策管理效能等方面,进而形成相互之间有支撑作用且层层推进的指标结构,使得各个维度能够在整体评价进程中相互印证并起到补充的作用。在实践层面要着重强调可获得性以及可量化性,一方面要保证指标数据来源是可靠的并且具有可追溯性,另一方面要确保其计算方法拥有可比性、可操作性以及动态调整的能力,能够契合不同地区、不同农业类型以及改革阶段各式各样的需求。依照这样的思路,把农业水价综合改革成效划分成了五大维度,构建起了完整的指标体系,该体系不但彰显出了改革的经济逻辑,还兼顾了社会与生态效益的整体性,由此为后续开展的综合评价以及政策分析筑牢了坚实的基础。

2.2 指标层次结构

2.2.1 水资源利用效率指标

水资源利用效率作为衡量农业水价综合改革成效的关键维度,其指标设计侧重于体现水资源配置是否更为合理以及利用是否更加集约。具体来讲,借助灌溉水利用系数、单位农产品耗水量以及节水灌溉技术覆盖率等相关指标,能够客观且详尽地评估水资源在改革实施前后的利用效率所发生的各种变化情况。这些指标一方面可直观呈现节水的实际效果,另一方面又能将农业生产对水资源依赖程度所产生的变化清晰地揭示出来,进而反映出价格机制在推动节水举措落实以及优化资源配置方面所发挥出的真实作用。

2.2.2 农业经济效益指标

农业水价综合改革,其终极目标之一在于提高农业的整体经济效益,所以相应指标得去衡量改革给农户收入、农业产出还有市场竞争力所带来的影响。借助单位水耗产值、农作物产量与收益变化率以及农产品市场占有率等指标,可全方位地揭示水价改革在推动资源高效利用以及提

升农业经济效益方面所起到的作用。这个维度一方面反映出改革给农户直接经济利益产生的影响,另一方面也体现出农业产业发展的可持续性以及市场适应性。

2.2.3 农户承受能力指标

在农业水价综合改革推进过程当中,农户属于直接牵涉到利益的相关方面,所以农户的承受能力便成为了改革能否顺利向前推进的一个极为关键的重要变量。与之相关的各项指标,主要涵盖有水费支出在农户总收入当中所占的比重情况、农户对于水价调整所呈现出的接受程度状况以及农户针对节水措施的采纳实施情况等方面。凭借这些指标,能够对水价改革做出评判,看其是否在经济层面具备可行性、在心理层面能够获得可接受度,并且还能为后续的政策优化给予相应的依据。将这一维度纳入进来,一方面充分体现了政策在制定时对于公平性的考量因素,另一方面也对建立起政府和农户之间相互信任的关系起到了一定的促进作用。

2.2.4 生态环境效益指标

农业水价综合改革和经济发展有关,对生态环境保护也有深远影响。生态效益指标有地下水位变化率、农田退化面积减少率、水质改善程度以及生态系统稳定性等,能体现水价机制在水资源保护、土壤质量改善和生态环境修复方面的作用,说明改革能否实现经济效益与环境效益的协同。从生态环境维度考察,可确保农业水价综合改革符合可持续发展要求。

2.2.5 政策与管理效能指标

农业水价综合改革是一项复杂的系统工程,在这个过程中,政策支持以及管理创新是不可或缺的。政策与管理效能指标包含多个方面,像制度执行力、价格调整机制的灵活性、精准补贴与节水奖励政策的落实状况以及信息化管理水平等。对这些指标加以评价,能够判定政策体系是不是健全、管理机制是不是高效,进而对改革的制度基础以及保障能力展开全面评估。将这一维度纳入考量,有益于发现政策执行环节中存在的不足之处,给后续的改进工作提供具有针对性的思路。

2.3 数据来源与处理方法

农业水价综合改革成效评价指标的数据来源呈现多样性特点,其涵盖的范围既涉及官方所统计的数据,也有农业部门开展监测所获取的数据,还有水利部门记录的水文数据。与此借助农户问卷调查、实地展开访谈以及向专家进行咨询等途径所得到的第一手资料同样包含其中。要保证数据具备科学性并且具有可比性,那就得运用多渠道交叉验证的方式,以此来对数据加以筛选并实施校正操作。在对数据进行处理的时候,能够把定量方法和定性方法相互结合起来运用。从一个方面来讲,借助标准化处理手段、对缺失值予以填补的操作以及将异常值剔除的技术等这些技术层面的手段,进而提升数据所具有的准确性以及一致性程度;从另一个方面来讲,通过运用专家打分法、德尔菲法等这类方式,以此来对定量指标存在的不足之处给予相应的弥补。除此之外,鉴于不同指标之间存在量纲方面的差异情况,就需

要采用无量纲化处理的方法,让各类指标能够在统一的尺度之下展开比较活动,并且开展综合性的评价工作,如此一来便能够确保最终评价结果具备客观性以及科学性特点。

3 农业水价综合改革成效综合评价模型与应用

3.1 指标权重确定方法

在综合评价的过程中,各个不同指标对于整体评价结果所起到的贡献程度是存在差异的,并且这种差异还比较大,所以说权重的确定在整个模型构建当中属于一个极为关键的环节^[1]。在实际操作当中,常用到的方法主要有层次分析法(也就是AHP),还有熵值法以及组合赋权法等。层次分析法这种方法可以通过专家的判断来体现出主观经验所起到的作用,而熵值法则是依靠数据本身所具有的差异性来反映出客观信息的重要程度。如果想要把主观性跟客观性都兼顾到,那么本文就主张采用组合赋权的方法,把专家的经验跟客观的数据相互结合起来,如此一来,一方面可以确保权重的分配是符合实际情况的,另一方面也能够避免单纯使用某一种方法可能会出现偏差的情况。这样的做法能够使得指标权重的分配变得更加合理、更加科学,进而为后续的综合评价打下较为坚实的基础。

3.2 综合评价方法选择与构建

选择综合评价方法时,得把指标体系的复杂程度以及数据类型呈现出的多样性都考虑进去。在本文进行方法构建的时候,引入了模糊综合评价法,如此一来便能够对那种定性与定量相互结合起来的指标数据加以处理,而且还能有效地去面对所存在的不确定性以及模糊性情况^[2]。与此再把灰色关联分析和TOPSIS方法结合到一起,进而打造出一个由多种方法集成起来的综合评价模型。这个模型能够在有多维度指标体系的情形之下,达成对改革成效予以全面描绘的目的,一方面确保了结果具备客观性,另一方面也强化了分析所具有的解释能力以及指导作用。借助于构建起多元化的评价框架,能够更为妥善地将改革在不同维度方面所呈现出的成效差异给揭示出来,从而能够为决策者给予从多个角度出发的参考依据。

3.3 综合评价实施流程与结果分析框架

在实施综合评价的过程中,通常会遵循这样一个基本流程,即“指标体系构建—数据收集与处理—权重确定—模型计算—结果分析与反馈”。一开始,依照已定的指标体系去收集相关的数据,并且针对这些数据展开标准化以及无量纲化的处理工作,以此来保证各个指标能够在同一个统一的平台上展开比较。接着,运用组合赋权的方法来计算指标的权重,从而清晰明确各个维度在整个评价过程当中的重要程度^[3]。然后,把所确定的权重以及相应的指标值输入到评价模型当中,由此得出综合得分以及各个维度的得分,进而能够对改革成效的总体水平以及分布特点加以分析。把所得的结果和实际的情况结合起来,对改

革成效做出诊断,从中识别出优势所在以及存在的不足之处,进而为后续政策的优化给予科学方面的依据。这个流程经过规范以及系统的梳理之后,为成效评价的可操作性以及可推广性奠定了良好的保障基础。

3.4 模型适用性与可扩展性分析

综合评价模型的科学性一方面体现在对现有改革案例的适用性上,另一方面还应该体现出其可扩展性,以此来契合不同地区以及不同阶段的改革需求。就适用性而言,该模型能够灵活地去应对不同区域水资源禀赋、农业结构与政策环境存在的种种差异,具备较强的普适性。从可扩展性来讲,随着数据获取手段变得日益多样化并且信息技术也在不断取得进展,模型便可以持续吸纳新的指标以及新的方法,比如说利用大数据与遥感技术来获取更为精细的水资源利用信息,又或者结合人工智能来优化权重分配与结果预测。这种动态调整与扩展的能力,让该模型不但适用于当下对农业水价综合改革成效的评价,而且还能为未来政策模拟与效果预测给予有力的支持,进而体现出较高的实践价值与发展潜力。

4 结语

农业水价综合改革乃是推动农业达成高质量发展以及生态文明得以建设的一项颇为重要的战略举措,其成效的评价当属检验政策是否合理且有效的关键环节所在。本文在理论方面的有力支撑以及实践层面的实际需求这双重因素的强力驱动之下,较为系统地构建起了一套评价指标体系,此体系包含了水资源利用效率、农业经济效益、农户承受能力、生态环境效益还有政策与管理效能等多个方面,并且在此基础之上还提出了科学合理的综合评价模型以及相应的实施框架。经研究得出的结果显示,这一体系不但能够客观地将改革所取得的实际成效充分反映出来,而且还能为政策的优化、制度的完善以及改革的推广给予强有力的依据支持。未来的相关研究应当进一步把信息技术和智能化方法结合起来,以此来提升数据获取以及模型计算的精准程度与动态特性,进而达成对农业水价综合改革成效的持续跟踪以及具有前瞻性的预测,最终更好地服务于农业现代化以及水资源可持续利用的战略目标。

【参考文献】

- [1]韩超伦.农业水价改革成效评价体系构建与应用[J].江西水利科技,2022,48(2):151-156.
- [2]商清.灌区农业水价综合改革后的实践与思考[J].江西农业,2025(8):83-85.
- [3]陈茂山.农业水价综合改革的探索实践与方向重点[J].中国水利,2024(19):1-6.

作者简介:马菊(1993.1—),毕业院校:福建农林大学,所学专业:农艺与种业,当前就职单位名称:吉木萨尔县水利管理站,就职单位职务:吉木萨尔县水利管理站一般干部,职称级别:中级。

征 稿

《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

195 Pearl's Hill Terrace, #02-41, Singapore 168976

官方网站

www.viserdata.com

ISSN 2717-5383

