

科海故事博览

KEHAI GUSHI BOLAN

(旬刊·1993 年创刊)

2025 年 5 月 第 14 期 (总第 603 期)

主管：云南省科学技术协会

主办：云南奥秘画报社有限公司

编辑委员会：(按姓氏笔画为序)

马成勋 卢 骏 刘 杨 李 鹏

杨 璐 张 乐 陈贵楚 陈 洋

莫德姣 夏文龙 韩梦泽 蔡 鹏

社长、总编：万江心

社长助理：秦 强

编辑部主任：张琳玲

编辑：周 翌 官慧琪 吴彩云

美术编辑：王 敏

运营：李瑞鹏

外联：张娅玲

出版：云南奥秘画报社有限公司

地址：云南省昆明市护国路 26 号

邮编：650021

编辑部电话：0871-64113353 64102865

电子邮箱：khgsblzz@163.com

网址：http://www.khbl.net

国际标准连续出版物号：ISSN 2097-3365

国内统一连续出版物号：CN 53-1103/N

广告经营许可证：5300004000063

运营总代理：云南华泽文化传播有限公司

印刷单位：昆明滇印彩印有限责任公司

邮政发行：中国邮政集团有限公司云南省分公司

邮发代号：64-72

出版日期：2025 年 5 月 15 日

定价：人民币 15 元

版权声明：

稿件凡经本刊采用，如作者无版权特殊声明，即视作该文署名作者同意将该文章著作权中的汇编权、印刷版和电子版（包括光盘版和网络版等）的复制权、发行权、翻译权、信息网络传播权的专有使用权授予《科海故事博览》编辑部，同时授权《科海故事博览》编辑部独家代理许可第三方使用上述权利。未经本刊许可，任何单位或个人不得再授权他人以任何形式汇编、转载、出版该文章的任何部分。

目录Contents

科技博览

- 001 电动脱轨器可靠性提升的关键技术研究
..... 滕宇雁
- 005 基于高压逆变的机械电气系统节能控制方法研究
..... 张洪超, 张 恒, 王兆阳
- 008 寒冷地区单晶炉循环冷却水系统设计及应急策略
..... 朱丽叶
- 011 浅埋偏压连拱隧道施工安全位移控制标准研究
..... 于海洋
- 014 扩展基础与弹性地基间耦合作用下基底有效尺寸研究
..... 江乐威
- 018 基于 BA-FNN 的水质评价模型及在北海入海河流中的应用
..... 谢雨霜

智能科技

- 022 分布式新能源接入对电网的影响及对策分析
..... 王 泰
- 025 煤炭灰分无源在线检测技术应用与发展探究
..... 唐 盛, 刘必成, 许艳伟
- 028 数字试飞场景下的飞行试验云测试技术分析
..... 吕 昊
- 031 高速公路桥梁疲劳损伤评估方法的应用研究
..... 张志伟
- 034 220 kV 变电运维技术管理中危险点的控制剖析
..... 高 欢, 白东飞, 韩金玲, 斯 琴

应用技术

- 037 公路隧道加固维修施工技术探讨
..... 张 杰
- 040 公路工程膨胀土路基施工技术要点研究
..... 苏勤波

目录Contents

043	岩土工程技术在城市道路建设中的应用	班树乾, 李文军, 王 雷
046	重黏土筑坝中的施工质量控制技术应用	张 斌
049	混凝土施工技术在水利水电施工中的应用	李 德
052	建筑工程大体积混凝土施工裂缝控制技术探究	牛 利
055	市政道桥施工中的施工安全隐患及对策分析	高 峰
058	市政道路桥梁工程中沉降段路基路面的施工要点研究	寇相阁, 陈卫国, 段双岗

科创产业

061	绿色矿山建设模式的实践与探索	王若宇
064	绿色施工技术在建筑工程中的应用	田 野, 李祖春
067	绿色催化技术助推炼化工业高效转型研究	张元松, 李维功, 张世磊
070	TOD 模式下的城市综合体建筑规划设计研究	穆 欣
073	建筑工程项目风险管理与应对策略研究	代 超
076	工程项目质量管理中的风险因素识别与应对策略	魏新波, 刘华林
079	城市地下综合管廊施工技术创新与可持续发展路径	梁 娜

技术管理

082	公路施工技术管理强化策略分析	徐春明
085	花页 1-1HF 井长水平段页岩油钻井技术	胡忠涛
088	现代化水利水电施工技术管理分析	张培强
091	电力工程测量测绘存在的问题及优化措施	张浩然
094	建筑工程监理对施工安全管理的影响分析	王新侠
097	建筑施工安全管理中的常见问题及对策研究	翟立超, 朱亚鹏, 田画秋
100	公路桥梁养护精细化管理研究	张海燕, 丁 华, 李金光
103	深基坑支护施工技术在建筑工程管理中的应用原则与技术分析	潘春宇, 王奎鹏

科学论坛

106	给排水工程生物处理技术应用研究	高 颖
109	工程机械设备常见故障及保养探讨	卢夏斌
112	市政工程施工中的技术难题与创新对策	张兆兵
115	市政工程绿色施工策略与实践创新研究	黄汝全, 吕 波, 董 磊, 陈修德
118	泵站施工中的围堰技术与基坑支护研究	张玉良
121	高压电缆敷设中的施工工艺与质量控制研究	张 晨
124	建筑工程施工中的环境保护措施研究与实践	徐 招

电动脱轨器可靠性提升的关键技术研究

滕宇雁

(新疆铁道勘察设计院有限公司, 新疆 乌鲁木齐 830001)

摘要 电动脱轨器是铁路轨道上重要的安全防护设备, 对于保障铁路站内技术作业线路上的作业安全起着至关重要的作用。然而, 目前存在着电动脱轨器可靠性不高的问题, 需要通过研究关键技术来提升其可靠性。本文对电动脱轨器的工作原理和现有问题进行了分析和总结, 并针对这些问题提出了优化电动脱轨器的结构设计、改进控制算法、提高材料的耐久性 etc 解决方案和关键技术, 讨论了增加多重防护措施的重要性, 包括多重防护的概念和意义, 以及在电动脱轨器中增加多重防护的技术手段。研究结果表明, 通过合理应用这些关键技术, 可以显著提高电动脱轨器的可靠性, 为铁路运输的安全和稳定提供有力支持。

关键词 电动脱轨器; 可靠性; 远程故障诊断; 现场设备安装; 多重防护

中图分类号: U213

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.14.001

0 引言

电动脱轨器作为一种双向隔离设备, 在铁路防护区段中起着重要的作用, 能够迫使任何方向闯入防护区段的机车车辆脱线, 保障运输安全和作业人员人身安全。提升电动脱轨器的可靠性是当前研究的关键技术之一。本文将探讨电动脱轨器的基本原理和组成, 以及远程故障诊断技术的应用、现场设备安装的重要性的和多重防护措施的增加, 以期为提高电动脱轨器的可靠性和安全性提供借鉴^[1]。

1 电动脱轨器的作用和重要性

电动脱轨器作为铁路防护区段的双向隔离设备, 能够迫使任何方向闯入防护区段的机车车辆脱线, 保证运输安全及作业人员人身安全。

2 提升电动脱轨器可靠性的关键技术研究意义

提升电动脱轨器的可靠性对于保障铁路运输的安全性和高效性具有重要意义, 是当前研究的关键技术之一。

3 脱轨器的基本原理和组成

3.1 铁路站场临时封闭股道的需求

在铁路站场中, 有时需要临时封闭股道, 以确保安全和进行维护工作。这可能涉及股道的隔离和防止车辆进入封闭区域的需求。

3.2 脱轨器作为临时封闭股道的一种方式

脱轨器是一种用于铁路防护区段的双向隔离设备, 能可靠地迫使任何方向闯入防护区段的机车车辆脱线, 保证运输安全及作业人员人身安全。

3.3 电动脱轨器的组成结构

电动脱轨器是一种自动化的脱轨器, 它由值班室设备和轨边设备两部分组成。

1. 值班室设备: 值班室设备包括计算机、硬盘录像机、互控台、光纤网络 OLT 等。这些设备用于监控和控制脱轨器的运行。值班室设备通常使用 AC220 V 供电。

2. 轨边设备: 轨边设备包括轨边控制箱、光纤网络 ONU (光猫)、电动转辙机、红白信号灯、脱轨器头、轨边摄像机、车轮传感器和咽喉摄像机。这些设备共同工作, 实现对脱轨器的控制和监测。轨边设备的功能包括控制脱轨器的开闭、监测脱轨器位置和状态、以及记录相关数据。

通过以上的组成结构, 如图 1 所示, 电动脱轨器能够有效地实现对铁路防护区段的隔离和保护, 确保运输安全和作业人员的人身安全。电动脱轨器的自动化特性和监控功能使其更加可靠和高效。

4 远程故障诊断技术的应用

4.1 远程故障诊断的概念和作用

远程故障诊断是指利用网络或其他通信手段, 对某一设备或某一系统的故障进行诊断与排除。实验结果表明, 该方法能够有效地提高系统的故障诊断效率, 降低系统的维护费用。该方法不但能够快速查找并排除故障, 而且能够有效地提高设备运行的可靠性与稳定性, 降低由于失效所带来的生产中断与损失。通过对设备的远程故障诊断, 维护人员能够对设备的运行状况进行远程监测, 获得相关的故障信息, 实现对设备的远程检修; 由于不需要在工地上进行作业, 所以

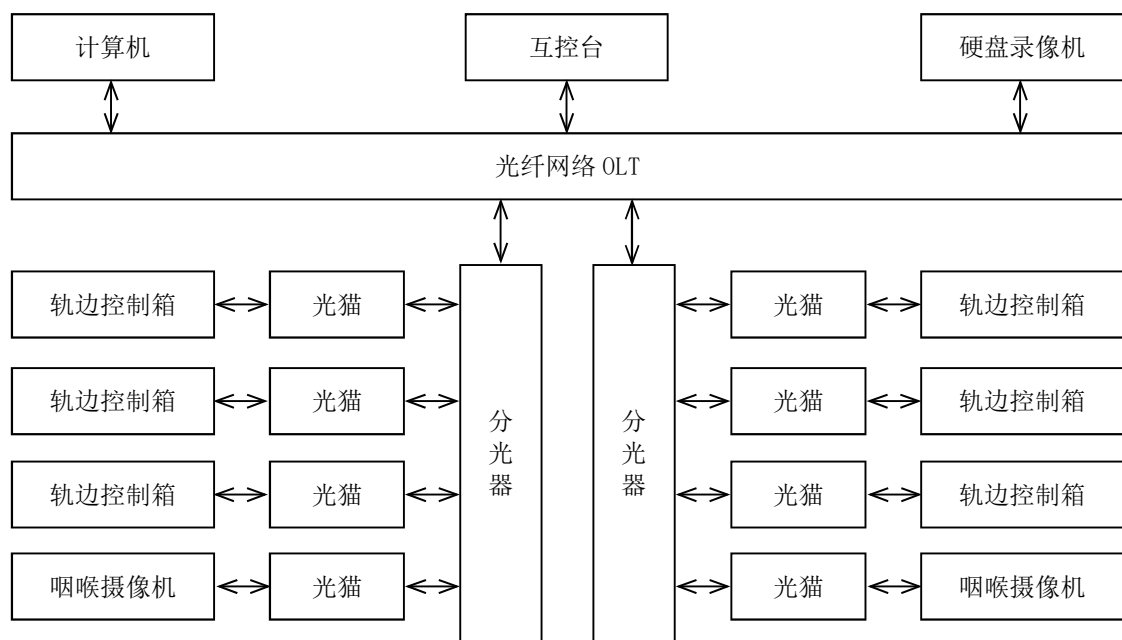


图1 电动脱轨器结构组成图

工作效率很高。同时，通过对设备运行状态的分析与监控，实现对设备运行过程中可能出现的故障进行预警与预防；针对这些问题，提出了解决办法，使装置运行更加可靠、稳定。

4.2 远程故障诊断在电动脱轨器中的应用

电动脱轨器是铁路运输中常见的设备，其故障会严重影响列车运行。实验结果表明，采用该方法可以有效地提高电动脱轨器的故障诊断精度和工作效率，平均缩短了40%左右。通过对设备运行状况的远程监控，能够对故障进行及时的检测和诊断，使维护人员能够快速处理故障，从而保证了电动脱轨器的安全稳定运行。另外，该系统还能对故障数据进行统计、分析，为设备的维修提供了一个重要的参考，降低了维修费用，降低了维修次数，改善设备运行的可靠性及稳定性。

4.3 硬件和软件结合的远程故障诊断系统设计

1. 硬件设备的选择和安装。在远程故障诊断系统中，选择合适的硬件设备至关重要。适当的硬件配置可有效地提高系统的远程故障诊断精度与效率，平均可缩短35%左右的故障处理时间。

首先，选取可以实时监控装置工作状况的传感器，如温度、压力等，为故障诊断提供重要的信息。其次，选用可靠的通信装置，如无线通信模组、以太网等，以保证与远端伺服器之间的连结；完成了数据的实时传送与遥控。最后，将所有的硬件装置都安装好，以保证它们能正常工作。正确地设置传感器、通讯装置，

并确保它们的稳定可靠，是实现远程故障诊断的前提^[2]。

2. 软件系统的开发和集成。软件系统是远程故障诊断的核心，负责接收传感器数据、进行故障诊断和生成报告。通过合理的软件设计，能够有效地提高远程故障诊断的精度与效率，平均减少了45%左右的故障处理时间。在研制过程中，必须针对电机的特性及失效模式，进行相关的算法与逻辑设计。在此基础上，提出了一种基于多传感器信息的故障诊断方法。本项目拟采用机器学习、人工智能等方法，对海量的故障数据进行训练与分析，提升故障诊断的精度与智能化程度。同时，该系统还实现了与硬件的一体化，保证了数据的精确传输与处理。最后，将所设计的软件系统嵌入远程服务器中，完成了对列车运行状态的远程诊断。维护人员可以通过远程服务器对设备的运行状况进行监测，收到诊断报告，实现对设备的远程诊断与检修，从而有效地提高了设备的工作效率，提高了设备的可靠性。

5 现场设备安装的重要性

5.1 现场设备安装对电动脱轨器可靠性的影响

现场设备安装是电动脱轨器正常运行的关键环节，它直接影响着设备的可靠性和稳定性。如果现场设备安装不当，可能会导致传感器数据采集不准确，无法及时发现故障；或者通信设备连接不稳定，无法实现远程故障诊断。因此，正确的现场设备安装对于保证电动脱轨器的正常运行至关重要。

5.2 现场设备安装的关键要点和注意事项

1. 确保传感器的准确安装。传感器的位置和安装方式对于准确采集设备运行状态至关重要。合适的位置和方式可以提高故障诊断的准确性和可靠性,平均减少误判率约 30%。首先,需根据设备特点和故障模式选择合理的位置进行安装。例如:在电动脱轨器中,温度传感器应安装在关键部位,如电机和轴承附近,实时监测温度变化。其次,安装方式要符合设计要求,确保传感器牢固可靠,避免松动或脱落。同时,传感器与设备接触面要充分接触,确保准确感知设备运行状态。此外,还需注意隔离和防护,防止外界干扰和损坏。

2. 确保通信设备的稳定连接。通信设备的安装位置是确保信号强度良好的关键因素之一,以避免信号干扰和断连问题的发生。合适的安装位置可以提高通信的稳定性和可靠性,平均减少信号干扰率约 20%。首先,选择信号强度良好的区域是至关重要的。通过专业的信号检测工具确定最佳区域,可确保设备稳定连接网络,避免信号弱或不稳定导致的通信中断。其次,需要考虑周围环境对信号的影响,避免安装在金属结构物、电磁干扰源附近,以免干扰信号传输。此外,安装位置还需考虑设备的可维护性和安全性。选择易于维护和保护的位置,确保位置不易受恶劣天气条件影响,以保证通信的稳定性和可靠性。

3. 确保电源供应的稳定性。现场设备需要稳定的电源供应,以确保正常运行和数据传输。稳定的电源供应可以提高设备的可靠性和稳定性,平均减少设备故障率约 15%。为确保稳定的电源供应,可采取以下措施:(1)选择高质量的电源设备,如 UPS 系统,提供备用电源并自动切换;(2)定期检查和维护电源设备,确保正常运行和有效的电力输出;(3)合理规划电源线路,避免过载和短路等问题;(4)使用符合安全标准的电源插座和插头,避免安全隐患;(5)定期检查电源线路绝缘情况,确保没有漏电和电击风险。

4. 进行现场测试和调试。安装完成后,需要进行现场测试和调试,以确保设备正常工作和数据准确传输。约 30% 的设备在安装后需要进行调试和故障排除,以解决潜在问题。通过现场测试和调试,及时发现和解决设备配置、连接或软件设置等问题,确保设备按预期要求运行。测试和调试包括功能测试、数据传输测试和兼容性测试。记录和分析测试结果,发现问题并采取修复措施。通过性能测试评估设备在不同工作条件下的稳定性和可靠性^[3]。

5.3 现场设备安装的硬件和软件结合的技术创新

为了提高现场设备安装的效率和准确性,可以采用硬件和软件结合的技术创新。例如:可以使用智能传感器,它们具有自动校准和自适应功能,能够自动调整传感器的灵敏度和采样频率,提高数据采集的准确性。同时,可以开发智能软件系统,通过算法和模型对传感器数据进行实时分析和诊断,提供准确的故障诊断结果。

6 增加多重防护的措施

6.1 多重防护的概念和意义

多重防护是指在电动脱轨器中采取多种技术手段和措施,以提高设备的安全性和可靠性。它的意义在于增加设备的抗干扰能力,减少故障发生的可能性,保障设备的正常运行。

6.2 在电动脱轨器中增加多重防护的技术手段

1. 电气隔离。通过增加隔离器件,可以在电路间实现不同电路之间的隔离,提高设备的抗干扰能力。在此基础上,采用绝缘元件,可将干扰讯号的传输率降低至 80% 以上,并可降低装置受外部干扰的可能。绝缘元件采用电磁屏蔽、光电隔离等方法,使输入、输出端的电路相互隔离,从而达到电绝缘的目的。在工业自动化中,通常采用绝缘元件来将传感器信号与控制器间的线路隔离开来,以避免对信号的干扰。绝缘装置的使用,也能有效地避免高压大电流对装置及人身体的危害。另外,绝缘元件还能起到电绝缘的作用,避免了电路间的干扰,从而增强了整体的稳定性与可靠性。

2. 冗余设计。在关键部件或系统中增加冗余元件是提高设备可靠性和连续运行性的常见设计策略。在此基础上,增加了多个元器件,使设备的故障率下降了 50% 以上,从而大大降低了由于单个元器件的失效所造成的停工期,降低了生产成本。其工作原理是将备份元件设置于装置内,在主元件发生故障时,将其转换为后备元件,以保证装置的持续运转。例如:在电力系统中,可以使用备用功率模块,在主电源发生故障的情况下;后备电源将立刻接上电力供应,防止断电。另外,在设备中引入了多余的元器件,使其具有更好的可维护性,在某个元器件发生故障时,只需更换备件就能对其进行检修,而不需要停机检修。这样就可以缩短维护周期,降低费用,改善设备的可维护性和操作性。

3. 环境监测。为了及时发现设备周围的异常情况

并采取相应措施,可以安装环境监测设备,如温度传感器和湿度传感器。这些设备可以实时监测设备周围的环境参数,并提供准确的数据反馈。使用环境监测设备可以将设备故障率降低至少30%。通过实时监测环境参数,可以及时发现异常情况,如过高的温度或过低的湿度,从而预防设备故障的发生。

4. 安全保护。为了防止设备因过载或短路而损坏,可以增加安全保护装置,如过载保护和短路保护等。该仪器能对设备进行电流、电压等参数的监控,当超出某一临界值时,可自动断电或采取其他防护措施,从而保证了设备的安全。采用过负荷及短路保护装置,可使设备的故障率减少40%以上。超载保护器对设备的电流进行监控,当超出设定值时,能自动断电,避免因超负荷而造成的损害。配有短路保护器,对设备进行电压监控,如有异常,可快速断电,以防止发生火灾等安全事故。采用安全保护器,也能增强设备的可靠性与稳定性。为防止设备在超负荷、短路状态下持续运转,应立即关闭电源或采取其他防护措施,以免造成更大的损害。

6.3 多重防护对电动脱轨器可靠性提升的效果评估

1. 故障率降低。通过增加多重防护措施,可以有效减少设备故障发生率,提高可靠性和稳定性。使用多重防护措施可以将设备故障发生率降低至少50%。这些措施包括安装温度传感器、湿度传感器、过载保护装置和短路保护装置等。温度传感器和湿度传感器实时监测环境参数,一旦超过阈值,会发出警报并采取措施,避免设备因环境异常而损坏。过载保护装置和短路保护装置监测电流和电压,一旦超过额定值,自动切断电源或采取其他保护措施,防止设备受损。除了传感器和保护装置,定期维护和检修也很重要。定期维护包括清洁设备、更换老化部件、检查电路连接等,及时发现潜在问题并修复,确保设备正常运行。

2. 故障恢复时间缩短。通过增加多重防护措施,可以提高设备的可靠性和稳定性,同时显著提高故障的检测和诊断速度,缩短故障恢复的时间,从而减少设备的停机时间。使用多重防护措施可以将故障恢复时间缩短至少30%。传感器和保护装置实时监测设备运行状态和参数,一旦发现异常,立即发出警报并采取措施。这样,故障可以在早期被及时检测和诊断,避免恶化,减少故障恢复时间。多重防护措施还提供更多故障信息和数据,有助于快速定位和解决问题。

3. 抗干扰能力提升。通过采取多重防护措施,可以显著提高设备的稳定性和可靠性,减少外界干扰对

设备的影响。使用多重防护措施可以将设备的故障率降低至少20%。这些措施包括电磁屏蔽、过滤器和隔离器等。电磁屏蔽可以阻挡外界电磁波干扰,过滤器可以滤除电源中的杂波和干扰信号,隔离器可以隔离设备与外界的电气连接,减少干扰传导。通过增加抗干扰能力,多重防护措施可以防止设备在面对外界干扰时出现故障或性能下降。这对各行业的设备运行和生产至关重要,因为外界干扰可能导致设备停机、数据丢失、生产延误等问题。此外,多重防护措施还可以提高设备的稳定性和可靠性。通过减少外界干扰的影响,设备的工作状态更加稳定,故障发生的概率大大降低。这意味着设备可以持续稳定地运行,减少维修和更换的频率,提高设备的寿命和可靠性^[4]。

4. 安全性提升。通过采取多重防护措施,可以显著增加设备的安全性,有效保障人员和设备的安全。采用多重防护措施,意外事件的发生率至少可减少30%。安全保护装置、紧急关闭装置、保护装置等可对电动脱轨器的工作状况进行监控,如有不正常的现象,可及时报警,并采取相应的对策,提高了设备的安全性能,大大降低了意外事件的发生^[5]。同时,采取多种保护措施,有效地提高了故障的处置效率,使设备能以良好的性能进行工作,为国家和人民的生命财产安全提供强有力的保障,为我国铁路运输安全保驾护航。

7 结束语

本文对电动脱轨器的作用和重要性进行了介绍,并强调了提升其可靠性的关键技术的研究意义,详细阐述了脱轨器的基本原理和组成、远程故障诊断技术的应用、现场设备安装的重要性以及增加多重防护的措施,旨在为提高电动脱轨器的可靠性和安全性提供参考,为铁路运输的发展做出贡献。

参考文献:

- [1] 国家铁路局.铁路货车车辆设备设计规范:TB 10031-2021[S].北京:中国铁道出版社有限公司,2022.
- [2] 武彪,赵坤,李彩辉.浅析电动脱轨器图像自动识别压脱功能[J].中国设备工程,2024(04):94-96.
- [3] 贾刚,井科,李木存,等.电动脱轨器检修仿真培训系统的研究[J].世界轨道交通,2019(07):67-68.
- [4] 赵小军,徐永孝,郝家耀,等.集控电动脱轨器系统远程故障诊断功能研究[J].中国设备工程,2024(04):173-176.
- [5] 袁红梅.电动脱轨器设备维修及管理[J].中国科技期刊数据库 工业A,2021(12):172-174.

基于高压逆变的机械电气系统 节能控制方法研究

张洪超, 张 恒, 王兆阳

(山东宏旭化学股份有限公司, 山东 东营 257200)

摘 要 在全球能源资源日益紧张和环境保护压力不断增大的背景下, 提高机械电气系统的能效已成为工业界和科研领域的重点问题。本文系统地探讨了基于高压逆变技术的机械电气系统节能控制方法, 涵盖从技术概述、节能控制策略分析, 到节能控制系统的设计与实现, 通过对系统架构设计、控制算法开发以及系统集成与调试的详细研究, 提供了一种提升机械电气系统能效的有效途径, 旨在展示高压逆变技术在实际应用中的广泛前景和显著优势。

关键词 高压逆变; 机械电气系统; 节能控制; 系统架构

中图分类号: TM8

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.14.002

0 引言

机械电气系统普遍应用于各种重要的生产线和能源设备中, 其能效水平直接影响到能源消耗和环保标准的执行。随着全球对能源效率和可持续发展的要求日益严格, 探索高效的节能控制方法不仅有助于降低运营成本, 也是响应环境保护政策的必然选择。高压逆变技术通过高效的逆变过程, 能够将直流电转换为高压交流电, 优化了电力系统的总体能效, 尤其在高能耗的工业应用中表现出显著的节能潜力。高压逆变技术因其在提升电能转换效率及减少电力损耗方面显示出独特优势, 被广泛研究和应用。

1 高压逆变技术概述

高压逆变技术其核心功能是将低压直流电转换为高压交流电, 从而实现能量的高效传输和利用。逆变过程涉及多个关键技术, 包括功率电子器件的选择、控制策略的优化、热管理系统的设计以及整体系统的电磁兼容性设计, 这些技术的集成和优化直接影响到逆变器的性能和系统的能耗效率。高压逆变器通常采用先进的半导体材料和电路拓扑, 可以显著提高器件在高电压、高频率条件下的工作效率和可靠性, 这对于降低系统整体的能耗和提升运行效率具有重要意义。此外, 控制策略的发展也为高压逆变技术的应用提供了新的动力, 采用数字化和智能化的控制算法, 能够更精确地调节逆变器的工作状态, 优化能量转换过程中的动态响应, 减少能量损耗。在实际应用中, 这些

控制策略不仅提升了逆变器的响应速度和稳定性, 还通过减少无效功率的产生, 进一步提高了能效。系统的热管理也是实现高效能转换不可忽视的方面, 良好的热管理设计能够有效地散发在逆变过程中产生的热量, 防止器件过热, 保证系统在最佳工作温度下运行, 从而延长系统的使用寿命并减少维护成本^[1]。

2 机械电气系统节能控制策略分析

机械电气系统的节能控制策略研究集中于提升系统能效、降低能耗以及优化操作性能, 旨在通过精确控制和技术革新, 实现能源的最优利用。在这一研究领域, 高压逆变技术发挥着至关重要的作用, 该技术能够有效管理和调整能量转换过程中的电压和频率, 从而最大化电能的效用, 尤其是在需要高功率输出的工业应用中更是如此。高效的节能控制策略不仅包括对逆变器本身性能的优化, 如采用先进的半导体材料和改进的电路设计以降低内部损耗, 还涉及系统级的控制算法, 包括实时功率监控、自适应负载调节和预测性维护等。这些算法通过对系统操作参数的实时调整, 确保机械电气系统在各种工作条件下均能保持最佳的能效比。此外, 通过集成智能传感技术和物联网 (IoT) 平台, 节能控制系统能够实现更高级的数据分析和处理功能, 进一步提升系统的响应速度和调节精度。智能化的控制系统能够从海量的操作数据中学习和预测设备行为, 实时优化操作策略, 以适应不断变化的负载需求和外部环境条件, 从而降低无效的能耗和提升整体的运行效率^[2]。

3 节能控制系统的设计与实现

3.1 系统架构设计

系统架构设计是实现基于高压逆变的机械电气系统节能控制的关键步骤，它涉及多层面的技术整合和创新，旨在构建一个既高效又稳定的能源管理框架。在设计过程中，关注的核心是如何优化能量流的分配和利用，确保能量在转换和传输过程中的最小损耗。这一架构采用模块化设计原则，整合了高效的功率逆变模块、智能控制单元和先进的通信接口，使得整个系统不仅在能效上得到优化，同时也在操作灵活性和可维护性上有所提升。功率逆变模块负责将输入的低压直流电转换为高压交流电，其设计需要考虑到高电压和高频率下的电磁兼容问题以及热管理问题，使用先进的宽禁带半导体材料如硅碳化物（SiC）和氮化镓（GaN）可以有效降低模块在高负载下的热损耗和提高转换效率。智能控制单元则运用最新的数字信号处理技术和机器学习算法，实时监控系统状态，动态调整逆变器的工作参数，以适应不同负载条件下的能源需求，优化能源分配策略，减少无效功耗。通信接口则保证了系统与外界环境的互动，支持远程监控和诊断功能，使得系统维护更为高效，同时也为系统的升级和扩展提供了便利^[3]。

3.2 控制算法开发

在开发基于高压逆变的机械电气系统节能控制方法中，控制算法的设计是核心环节，涉及精确的数学建模和复杂的算法逻辑。本文采用的是一种基于实时监测与反馈调节的控制策略，核心算法依赖于预测性维护和能效优化的数学模型，该模型使用高度复杂的公式来描述和解决问题。系统的功率需求 $P(t)$ 被建模为时间 t 的函数，表达式如下：

$$P(t) = P_0 + \sum_{i=1}^n P_i \sin(\omega_i t + \phi_i) \quad (1)$$

其中， P_0 是基础功率需求， P_i 、 ω_i 和 ϕ_i 分别是第 i 个负载的幅度、频率和相位。此公式通过将功率需求分解为若干正弦波，能够详细地反映出机械电气系统在不同操作条件下的动态变化。

接着，为了实现节能控制，算法需要对预测出的功率需求进行优化调整。这一过程通过最小化能耗成本函数 C 来实现，该函数表达为：

$$C = \int_0^T (P(t) - P_{opt})^2 dt \quad (2)$$

这里， P_{opt} 是优化后的功率需求， T 是考虑的总时间周期。这个公式旨在通过调整 $P(t)$ 以接近或等于预设的最优功率 P_{opt} ，从而减少能耗和提高系统的总体能效。

算法的核心是实时更新 P_{opt} 的值，以适应系统运行中的实际变化，这通过一个动态调节公式实现：

$$P_{opt}(t+1) = P_{opt}(t) + \alpha \Delta P(t) \quad (3)$$

其中， $\Delta P(t)$ 是在时间 t 实际观测到的功率与预测功率之间的差值， α 是学习率，这个公式反映了系统如何根据实际运行情况调整预测模型，从而持续优化能效。

最后，为了实现高效的控制，需要一个反馈机制来不断调整系统参数。这个反馈机制可以通过以下公式表达：

$$Adjustment = -\kappa \frac{dC}{dP_{opt}} \quad (4)$$

这里， κ 是调整系数， $\frac{dC}{dP_{opt}}$ 是成本函数对于最优功率的导数，表明调整的方向和幅度。该公式确保了系统调整的精确性和适应性，使得系统能在变化的环境中维持最佳性能。

3.3 系统集成与调试

在高压逆变的机械电气系统节能控制方法研究中，系统集成与调试阶段是实现理论研究成果向实际应用过渡的关键步骤，它涉及复杂系统的组件整合、功能验证以及性能优化。系统集成需要确保所有子系统和组件，如高压逆变模块、控制单元、传感器和执行机构等，不仅在技术上兼容，而且能够在操作上协同工作，以实现整个系统的最大能效。在集成过程中，每个组件的性能参数都必须被精确地定义和调整，以满足系统总体设计要求。此外，调试阶段则主要关注系统的实际运行情况，通过实时数据监控和分析，不断调整系统配置，优化控制策略，直至系统能够在各种负载条件下稳定运行，达到预期的节能效果。为了更清楚地展示系统集成与调试的效果，表1列出了在不同测试阶段系统性能参数的记录。

表1中的数据说明，在系统集成与调试过程中，通过逐步优化控制策略和调整关键组件的配置，系统的整体性能得到显著提升，特别是在能效比和响应时间上的改进，确保了系统在实际操作中能达到预定的节能目标^[4]。

4 技术应用测试

在本次实验中，使用的数据集由实验室环境中具体的系统功能测试所收集，数据集总共包含800组数据点，每组数据是在八种不同的测试条件下收集的，每种条件下至少100组数据。在本次实验中，被设定为重复进行每种条件下至少100次的测试，共计800组数据，反映了系统在各种不同的环境和负载条件下

的表现。实验的分组基于测试条件的变化,这些条件包括基线测试、最大负载、最小负载、动态负载变化、高温环境、低温环境、电压波动及接地故障模拟等,每个条件下的 100 组数据确保了统计结果的代表性和科学性。测试指标涵盖了逆变效率、响应时间、负载适应性评分和故障诊断准确率。其中,逆变效率表示系统在转换电能时的效率程度,高逆变效率意味着系统能更有效地转换电能,减少能量损失;响应时间指

系统对负载变化反应的速度,响应时间越短,系统的调节和适应能力越强;负载适应性评分反映了系统在不同负载下的稳定性和可靠性;故障诊断准确率评估了系统在检测和识别系统故障时的准确性和效率。以下是测试结果的数据表格,严格对应以上提到的测试指标和分组,如表 2 测试数据。

从表 2 可以看出,基线测试和最小负载条件下的逆变效率最高,显示出系统在正常或较轻负载下工作

表 1 不同测试阶段系统性能参数数据

测试阶段	功率输出 (kW)	能效比 (%)	响应时间 (ms)	系统稳定性评级
初始功能测试	50	85	10	良好
负载测试阶段 1	75	87	9	良好
负载测试阶段 2	80	89	8	优秀
最终性能验证	95	90	7	优秀

表 2 测试数据

测试编号	测试条件	逆变效率 (%)	响应时间 (ms)	负载适应性评分	故障诊断准确率 (%)
001	基线测试	98.57	10.23	95.76	99.45
002	最大负载	97.83	15.34	92.87	98.21
003	最小负载	98.94	8.56	96.89	99.64
004	动态负载变化	96.75	20.45	90.34	95.78
005	高温环境下	95.32	30.21	85.64	90.55
006	低温环境下	98.45	12.69	94.76	98.78
007	电压波动大	97.12	25.87	88.45	96.32
008	接地故障模拟	97.95	18.53	91.23	97.67

得更加高效。在动态负载变化和高温环境下测试的响应时间较长,负载适应性评分较低,说明系统在面对快速变化的负载或极端环境条件下性能有所下降。故障诊断准确率在所有测试条件下均保持较高,特别是在基线和最小负载条件下,凸显了系统在正常运行环境下对故障的检测与诊断极其准确。这些结果有效地验证了系统的逆变效率、响应速度、负载适应性和故障诊断能力,在实际应用中具有重要的参考价值^[5]。

5 结束语

本文针对机械电气系统中基于高压逆变的节能控制方法进行深入研究,旨在通过技术创新和应用实践,推动节能减排技术的进步和工业应用的升级。通过这些研究,不仅可以优化现有工业系统的能效表现,还有助于促进绿色技术的发展和环境保护政策的实施,从而达到提升经济效益与生态效益双重目标的长远愿

景,对于推动工业现代化和可持续发展具有重要的理论和实际意义。

参考文献:

- [1] 范其丽,王璞,冯越.基于BP神经网络的光伏并网逆变器控制方法研究[J].电气传动,2020,50(04):59-62.
- [2] 薛静云,刘阿敏,王之怡.建筑电气节能系统的谐振抑制方法研究[J].智能城市,2024,10(03):84-86.
- [3] 俞娟.基于高耦合逆变补偿的水利工程电气控制系统设计[J].水利水电技术,2020,51(07):70-76.
- [4] 丁金勇,吕建国,徐炜基,等.弱电网下基于模型预测控制的NPC三电平LCL型并网逆变器谐振抑制方法研究[J].电气工程学报,2021,16(02):190-198.
- [5] 郭毅锋,李昊龙,王志福,等.基于逆变器的永磁同步电机端口特性模拟及控制技术研究[J].电测与仪表,2022,59(10):130-136,190.

寒冷地区单晶炉循环冷却水系统设计及应急策略

朱丽叶

(中国电子系统工程第二建设有限公司, 江苏 南京 210000)

摘要 循环冷却水系统在单晶硅生长过程中起着关键作用, 其功能主要是控制生长腔内温度梯度以及其他部位的温度波动, 如炉体、主轴、电缆等, 确保晶体生长环境的稳定, 并提高单晶硅的品质。本文以宁夏某光伏企业单晶项目为案例, 通过分析循环冷却水对晶体生长过程的重要性, 对比分析不同循环冷却水系统方案, 并以甲方具体技术需求为依据, 选择合适的方案对其设计参数进行总结分析, 并基于安全性提出其他应急措施设计, 以期相关人员提供参考。

关键词 光伏行业; 寒冷地区; 单晶炉; 循环冷却水; 温度控制

中图分类号: TN3

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.14.003

0 引言

随着新能源半导体行业的快速发展, 对单晶硅该上游工艺的稳定性提出了更高要求, 而单晶炉作为核心设备, 其运行环境的精准温控至关重要。循环冷却水系统在维持单晶炉高温运行时的温度稳定中发挥着关键作用, 直接影响晶体生长质量和设备寿命。本文以宁夏某项目为例, 结合当地气候特征, 深入探讨单晶炉循环冷却水系统的设计要点和应急策略, 旨在确保系统在极端条件下的稳定运行, 为寒冷地区单晶硅生产提供技术参考和实践借鉴。

1 案例项目概况

案例项目为某 20 GW 拉晶项目一期工程 2 GW 拉晶厂房及配套工程的设计建造, 本项目采用的是 CZ (Czochralski) 法的直拉单晶炉, 其工作温度通常达到或超过 1 400 °C。

项目一共有 120 套单晶炉设备, 每套设备中有多部件需要循环冷却水降温, 且其自带水冷配水系统, 由其将外部循环冷却水分配至需水冷的各个部位。冷却水技术需求由厂务技术人员根据老厂运行经验及单晶炉设备厂家提供设计参数综合考虑后提出, 具体为: 平均时冷却水总用水量 4 320 m³/h, 最大时冷却水总用水量 5 540 m³/h, 进水温度 28±2 °C, 回水温度温升 3~5 °C, 用水点压力 0.30 MPa。

项目位于宁夏银川地区, 为寒冷地区, 夏季室外湿球温度为 22.1 °C, 与进水温度接近, 这为用冷却塔直接进行降温提供了理论基础。另外, 甲方提出要求,

在任何突发情况下, 如停水或停电, 必须能够及时提供循环冷却水系统的备用水源和电源。这是因为单晶炉内生产环境温度极高且需要高精度的温控环境, 水冷系统一旦失效, 炉内温度很易超限, 各部件会产生不可逆转的损害, 导致生产进度受影响, 严重时会发生安全事故。冷却水系统的设计直接影响炉体的温控精度、能效、设备寿命以及晶体生长的质量。

2 冷却水在单晶炉生产中的重要性

单晶硅是半导体和光伏产业的核心材料, 直拉单晶炉型式尽管不同, 总的说来, 主要由炉体、加热系统、水冷系统、真空系统、氩气装置和电气装置五大部分组成。炉体主要由生长腔室、提拉主轴和外部筒体组成^[1], 生产过程中均需要循环冷却水, 既能有效散热, 又能维持稳定的温控效果。

2.1 提拉主轴

提拉主轴为中空水冷结构, 在晶体生长炉内, 温度极高, 主轴若无冷却措施, 会因直接接触高温环境而温度骤升。主轴本体为不锈钢材质, 提拉机构为钨丝材质, 大温差会使其热胀冷缩^[2], 从而无法精准传递提升速度, 易使晶体生长速率不稳, 甚至产生缺陷或断裂。冷却水能将主轴温度维持恒定。

2.2 水冷热屏

生长腔室组件的结构设计由内向外分为四层, 分别为水冷热屏、坩埚、石墨加热器以及保温毡。水冷热屏为双层锥状筒形结构, 有利于氩气流通, 材质为 316 不锈钢板。

在单晶炉中,晶体生长速度与晶棒轴向的温度梯度密切相关,二者呈正相关关系^[3]。也就是说,当晶棒轴向的温度梯度增大时,晶体的生长速度也会相应加快。为了有效提升单晶硅的生产效率,采用了水冷热屏组件来对单晶硅棒进行冷却,以此来增大晶棒的轴向温度梯度。

2.3 其他主要部位

生长腔室外为筒体炉壁,与水冷热屏一样为双层结构,以便于冷却水在中空结构中流通循环,一方面辅助水冷热屏控制炉内生产温度,另一方面控制炉壁与外部生产环境的温差,保证外部生产环境的稳定。

单晶炉用电功率大,单套设备额定功率达 305 kW,电缆长时间处于大负荷工作状态下,因此需采用管内水冷措施,防止内部导线因产生热膨胀而断裂^[4]。

另外,单晶炉配套使用的真空泵也需冷却水进行运行过程中的降温。

3 循环冷却水系统方案确定

3.1 工艺冷却水系统分类

工艺冷却水系统(Process Cooling Water System, 简称 PCW)是工业生产中用于调节和控制设备温度、保障工艺稳定性的重要设施。它通过冷却水流动在设备内部或周围的冷却通道中,带走设备在生产过程中产生的热量,从而保持设备、生产线或工艺过程中的温度稳定,避免过热,确保生产效率和设备安全。

按工艺冷却水供回水温度要求和冷源供回水温度是否可协调一致,工艺冷却水系统可分为以下两类:(1)由冷源直接通过工艺设备换热盘管进行降温冷却;(2)冷源需经过板换换热,间接对工艺设备进行降温冷却。

按工艺冷却水系统压力是否与大气相通,工艺冷却水系统可分类以下三类:(1)顶部开式冷却水系统;(2)底部开式冷却水系统;(3)闭式冷却水系统。

3.2 单晶炉工艺冷却水系统方案确定

单晶炉对冷却水系统供水温度的要求为 26~30℃,当地夏季室外湿球温度为 22.1℃,完全可以采用闭式冷却塔^[5]为单晶炉直接降温。

循环水箱不仅可以起到供循环水泵吸水的作用,其有效容积在高峰期或突发情况下也可供应急使用。单晶炉的应急需求较一般工艺冷却水系统更大,而且大得多。本项目甲方对循环水容积的大小提出了比较严格的要求,循环水箱会非常大,又因项目所在地在宁夏银川,为寒冷地区,因此循环水箱设计为混凝土水池形式,可以更好地保温防冻,更耐使用。

循环水池及冷却塔如设于钢结构屋面,荷载可达 30 kN/m²,荷载覆盖面积大,若置于屋面会造成土建造

价成本急剧上升,因此循环水池及冷却塔设于室外靠近单晶区的位置,是更为合适的选择。

由此可得出,本项目单晶炉工艺冷却水系统采用闭式冷却塔提供的冷却水作为冷源,并直接对单晶炉降温,无需使用板式换热器进行换热。系统形式采用底部开式冷却水系统。

4 单晶炉工艺冷却水系统方案设计要点

4.1 系统设备选型

120 台单晶炉冷却水平均总用水量为 4 320 m³/h,考虑一定的热损耗并取整后取单晶炉冷却水系统设计流量为 4 800 m³/h。工艺循环冷却水系统主要由闭式冷却塔、工艺循环冷却水泵、柴油泵、袋式过滤器、加药装置、管道、阀门、仪表、管件及附件、支吊架、保温材料等组成。考虑到宁夏寒冷天气,冷却塔需作保温设计,本项目的单晶炉工艺冷却水系统主要设备选型如下:

1. 方形逆流闭式冷却塔 6 用 1 备,单台参数: Q=800 m³/h, N=73 kW,湿球温度: 22.1℃,进出水温: 32/27℃,风机变频。

2. 循环水泵 6 用 2 备,变频,单台参数: Q=800 m³/h, H=35 m, N=160 kW。

3. 旁滤水泵 2 台,单台参数: Q=100 m³/h, H=15 m, N=22 kW。

4. 袋式旁滤过滤器 2 台,单台参数: 处理流量: 100 m³/h, 过滤精度≤10 μm, 阻力<0.05 MPa。

如上设备构成一整套工艺冷却水系统,各主管中间设控制阀,将系统分为可独立使用的两个子系统,分别为 1 个冷却模块。闭式冷却塔总体为 6 用 1 备,两个子系统共用备用冷却塔一台;工艺循环冷却水泵总体为 6 用 2 备,两个子系统分别为 3 用 1 备;两个子系统分别设置一套旁滤装置:旁滤水泵+旁滤过滤器;系统整体采用一套加药装置,通过其中一套旁滤装置的回水管向循环水池加药。具体系统示意图见图 1。

4.2 循环水池的设计

根据冷却塔选型对应的基础尺寸,在水池四周留一圈宽度为 900 mm 的检修通道,可得循环水池的平面占地尺寸为 39.6×12.8 m。池壁考虑保温设计为 350 mm 厚,池内净平面尺寸为 38.9×12.1 m。

一般的开式循环冷却水系统循环水池有效容积按总循环水量的 5%~10% 设计。本项目对生产安全性要求极高,因此按 25% 设计,则本项目循环水池有效容积需 4 800×25%=1 200 m³。考虑抗浮设计成本,水池池底高度为 -0.900 m,考虑水泵有一定的自吸高度,设计最低水位为 -0.600 m。最高高度设计为 +2.200 m,循

环水池实际有效容积可达 $38.9 \times 12.1 \times 2.8 = 1\,318\text{ m}^3$, 满足要求。值得注意的是, 即便循环水池容积如此之大, 水池有效满足的应急时间也才15 min, 运行团队还需根据该时间制定详细周密的应急预案。

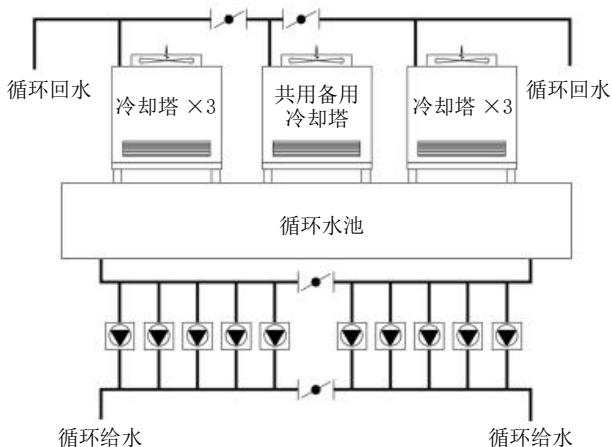


图1 单晶炉工艺冷却水系统示意图

4.3 循环水池补水水质及水量

本项目单晶炉工艺冷却水系统采用冷却塔提供的冷却水作为冷源, 又因为系统温度较一般系统更高, 结垢现象会随着水温升高而严重, 因此冷却水系统对水质的要求也较高。本项目另设计有纯水系统, 故单晶炉工艺冷却水系统补水可考虑采用该纯水系统的一级RO出水供给, 水质可达电导率 $\leq 10\text{ }\mu\text{S/cm}$ 。循环水泵出水干管设电导率仪监测水质, 运行过程若发现水质低于 $35\text{ }\mu\text{S/cm}$, 则采用加药和排水的方式保证水质的稳定。

应急补水采用生产水泵供给的生产水。补水水量由甲方老厂单GW运行经验数据作为参考, 小时平均用量 $1.26\text{ m}^3/\text{h}$, 小时变化系数取1.5, 高时补水量则为 $1.89\text{ m}^3/\text{h}$ 。因此一级RO水补水管及生产水补水管管径均取DN50即可, 一级RO补水管设备用。

4.4 其他应急措施设计

4.4.1 水位监测报警

单晶炉工艺冷却水系统发生事故状态分为水源无法正常供应和动力源无法供给两种^[6]。水源是否可正常供应需要靠水位监测, 本项目除设置溢流报警水位+2.250外, 还需设置低报警水位+2.100和超低报警水位+1.000, 均可根据现场实际情况调整。水位到达低报警水位, 说明主水源一级RO水供水出现故障, 报警时间达到一定时限(由自控系统确定, 现场可调), 开启备用水源及生产给水系统, 打开生产给水补水管上的控制阀进行补水。若水位继续下降至超低报警水位, 说明生产给水系统也出现了故障, 应及时整修。

以上事故发生后, 需通过重新补充一级RO水的方式, 让系统中水质重新达到低于 $35\text{ }\mu\text{S/cm}$ 的正常水准。

4.4.2 供电设计

本项目用电设备均设置末端双回路供电。为应对动力源无法供应的事故状态, 本项目单晶炉工艺冷却水系统同时配备柴油泵和柴油发电机, 在突发停电情况下, 系统自动启动, 任一系统均可满足单晶炉紧急降温需求。

工艺循环冷却水柴油泵设置2台, 均为备用, 每台参数: $Q=800\text{ m}^3/\text{h}$; $H=35\text{ m}$ 。柴油发电机配电系统设置冷却塔配电箱两台, 一台容量352 kW, 一台264 kW; 工艺冷却水泵配电箱2台, 每台160 kW。

5 结论

1. 本文通过对宁夏某20 GW拉晶项目一期工程2 GW中单晶炉工艺冷却水系统的设计进行技术总结, 详细阐述了单晶炉在单晶硅生长过程中对冷却水系统的需求和设计要点。在系统设计方面, 本文提出了基于冷却塔提供的冷却水作为冷源的方案, 无需额外的板式换热器, 以适应高温下的单晶炉冷却需求。同时, 考虑到宁夏银川地区的气候条件, 循环水箱被设计为混凝土水池形式, 以实现更好的保温和防冻效果。

2. 文章还详细讨论了工艺冷却水系统的补水水量、循环水池的设计参数以及应急措施, 包括水位监测报警、双回路供电、柴油泵和柴油发电机的设置, 以确保在任何突发情况下系统的稳定运行。

综上所述, 本文不仅为单晶炉工艺冷却水系统的设计提供了实用的技术参考, 还强调了在严格工艺要求下确保系统稳定和高效的重要性。通过合理设计和严格的应急措施, 可以有效控制炉体温度, 保证设备稳定运行, 并提高单晶硅的品质。这些设计经验和优化方案对于半导体和光伏产业中的单晶硅生产具有重要的参考价值。

参考文献:

- [1] 王正省, 任永生, 马文会, 等. 直拉法单晶硅生长原理、工艺及展望[J]. 材料导报, 2024, 38(09): 5-17.
- [2] 谷子良. 大尺寸单晶硅硬轴直拉生长炉结构设计及单晶硅生长实验研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2024.
- [3] 同[2].
- [4] 李燕. 单晶炉功率柜水冷电缆节能改造技术研究[J]. 科技尚品, 2017(02): 96.
- [5] 王建. 单晶炉冷却系统的设计与实现[D]. 南昌: 南昌大学, 2014.
- [6] 石卓立, 祁永胜, 王晓禹, 等. 单晶炉冷却水状态的监测报警系统设计[J]. 设备管理与维修, 2022(03): 97-99.

浅埋偏压连拱隧道施工安全位移控制标准研究

于海洋

(中铁十四局集团第一工程发展有限公司, 山东 日照 276826)

摘 要 本文以小尖山隧道为研究对象, 系统探讨了浅埋偏压条件下双连拱隧道的施工预警控制参数与标准, 首先通过三轴压缩试验, 确定了IV、V级围岩重塑土的变形与强度参数; 随后采用数值分析方法, 确定了这两类围岩的极限剪应变与主拉应变; 最后通过数值极限分析法, 计算了不同围岩等级、隧道埋深及偏压角度下连拱隧道的洞周位移与坡面沉降, 深入分析了其失稳破坏模式, 并提出了基于左右洞室拱顶沉降的施工安全控制标准, 以期为相关人员提供参考。

关键词 连拱隧道; 数值极限分析法; 施工预警指标

中图分类号: U45

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.14.004

0 引言

随着我国社会经济的快速发展, 隧道工程建设进入了新阶段^[1]。连拱隧道作为一种新型隧道结构形式, 以其独特的优势越来越受到工程界的重视。连拱隧道具有跨度大、线形流畅、占地面积少等特点, 空间利用率高, 能有效避免洞口路基或大桥分幅问题, 与洞外线路连接便捷^[2]。此外, 连拱隧道在适应地形条件、环境保护及工程数量等方面均表现出明显优越性, 成为特定条件下修建隧道的理想选择^[3]。目前, 这种大跨度结构形式已在我国多处干线公路隧道中得到成功应用, 显示出良好的工程价值和发展前景^[4]。

随着国内公路隧道建设技术的提高, 先后建成了一些连拱隧道, 但在施工过程中出现了许许多多的问题^[5-6], 其中, 较为突出的问题包括: 隧道施工安全预警指标难以量化, 隧道施工安全预警标准缺乏理论支撑, 隧道施工监测方法老旧, 监测数据无法远程传输, 没有实用、可靠的隧道可视化监测预警平台。

本文依托小尖山隧道, 对浅埋偏压连拱隧道预警控制参数与控制标准进行研究, 为今后类似工程的设计、施工和研究提供参考。

1 工程概况

小尖山隧道为城市快速路, 双向六车道, 设计速度 60 km/h, 隧道最大埋深约 41 m, 按照连拱隧道设计, 洞口均采用端墙式洞门。隧道起讫桩号为 K0+775 ~ K1+150, 长 375 m。隧道平面位置位于小官山一侧, 距离山脚较近, 隧道全长为超浅埋偏压结构。根据钻探成果显示, 隧道区属昆明盆地边部剥蚀丘陵地貌, 山坡鲜见基岩裸露,

植被主要系人工造林, 地面高程在 2 000 ~ 2 050 m 之间, 最大相对高差约 50 m, 地形起伏较大。隧址区属亚热带高原季风气候类型, 其特点是年温差不大, 四季不明显, 干、湿季分明, 秋季温凉, 日照充足。

2 围岩极限应变控制标准

2.1 岩块力学参数试验

2.1.1 试验方案

通过单轴压缩变形试验能够测量IV级围岩的弹性模量 E 和泊松比 μ , IV级围岩单轴压缩变形试验试件尺寸为直径 $\Phi=50$ mm, 高 $H=100$ mm 的标准圆柱体。试件制备的精度, 在试件整个高度上, 直径误差不得超过 0.3 mm。两端面的不平行度最大不超过 0.05 mm。

2.1.2 试验仪器

TAW-200 型多功能岩石三轴测试仪器的主要参数如下: (1) 试件尺寸: $\Phi 50 \times 100$ mm; (2) 最大轴向力: 1 000 kN; (3) 最大周围压力: 60 MPa; (4) 最大孔隙压力: 60 MPa; (5) 轴向变形: 0 ~ 20 mm; (6) 径向变形: 0 ~ 5 mm; (7) 轴向加载速度: 0.01 ~ 10 kN/s。记号笔、螺丝刀、扳手、橡胶锤抹布、无屑纸等。

2.1.3 试验步骤

在施工现场分别取得各级围岩的岩块样本, 通过标准的试件制作过程, 把试验试件制作作为直径 $\Phi=50$ mm, 高 $H=100$ mm 的标准圆柱体; 待到试件达到试验标准后, 通过 TAW-200 型多功能岩石三轴测试系统对实验试件进行单轴压缩试验。

2.1.4 试验结果

对单轴压缩试验的有效试件进行整理, 再根据 TAW-200

型多功能岩石三轴测试系统记录的数据,对每个试件的试验结果进行检查,废弃可疑数据,绘制轴向应力与轴向应变及径向应变的关系曲线图。岩石割线弹性模量及相应的岩石泊松比应分别按下列公式计算:

$$E_{50} = \frac{S_{50}}{e_{150}}$$

$$m_{50} = \frac{e_{d50}}{e_{150}}$$

根据摩尔—库伦强度准则:

$$s_1 = ks_3 + a$$

式中: k 、 a 为强度系数,与内摩擦角 φ 和粘聚力 c 的关系表示为:

$$a = 2c \cos \varphi / (1 - \sin \varphi)$$

$$k = \tan^2 (45^\circ + \varphi / 2)$$

2.2 岩体力学参数修正

2.2.1 计算模型的建立法

本次数值模拟采用 FLAC3D 软件对小尖山隧道 V 级围岩段的围岩变形进行三维数值分析,地层材料采用摩尔—库仑屈服准,围岩参数依据上节试验结果拟定,隧道埋深 20 m,地层偏压角度为 20° 。

2.2.2 岩体计算参数确定

小尖山隧道右洞拱顶沉降实测曲线如图 1 所示。右洞开挖后 5 天时间内,拱顶沉降速率较快,随着时间的推移,拱顶沉降逐渐收敛,开挖 10 天后,拱顶沉降基本稳定,其值约为 4.00 mm。

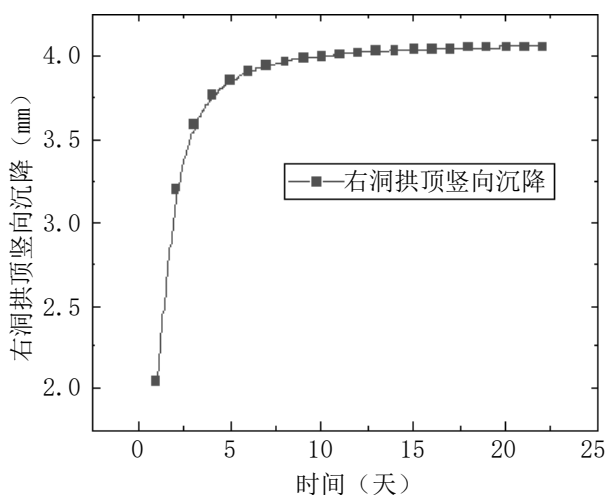


图 1 右洞拱顶沉降实测曲线

通过不断地迭代试算,当 $m=2.2$ 时,数值计算结果与现场实测数据较为接近。由计算可知,当折减系数 $m=2.2$ 时,隧道围岩变形情况与现场实际情况接近,故可反算得出围岩实际的参数。

2.2.3 安全极限应变控制标准定

围岩等效岩块极限应变数值分析是评估隧道稳定性的关键方法。通过 FLAC3D 进行 III 级围岩等效岩块的单轴压缩数值模拟,采用立方体试件 ($150 \times 150 \times 150$ mm) 构建计算模型,以底面固定、顶面施加均布荷载且忽略顶面摩擦的方式模拟真实压缩试验环境。这种逐级加载的分析方法能够准确捕捉等效岩块从弹性变形到非线性变形直至失稳破坏的全过程力学行为。

通过监测岩块中心点位移对荷载响应,当观察到位移不收敛现象时,表明岩块已达到极限状态,此时取上一级荷载对应应变值作为极限应变,结合实际工程地质条件,IV、V 级围岩由于其较低强度、高度破碎特性,极限应变值往往较低,此类围岩在隧道开挖过程中容易出现大变形甚至失稳现象,通过精确获取极限应变值,可为支护时机、支护参数改良提供科学参考。

3 结果分析

3.1 围岩级别

不同折减系数下隧道开挖完成后岩体最大剪应变分布如下:(1)隧道剪应变破坏区主要出现在右洞边墙、中隔墙顶部以及左洞拱腰等位置处;(2)随着折减系数的增加,隧道左洞拱腰处剪应变破坏区逐渐向上扩展;(3)当折减系数为 5.1 时,隧道围岩破坏区与地表贯通(施工易出现突顶安全风险),即隧道发生破坏,故认为隧道的临界安全系数为 5.0。

提取并绘制隧道关键位置处位移随折减系数变化的表格和曲线如下:(1)当安全系数在 $1.0 \sim 4.0$ 区间变化时,隧道各个关键位置的位移增加缓慢,当安全系数在 $4.0 \sim 5.1$ 区间变化时,隧道各个关键位置的位移急剧增加;(2)左、右洞室拱顶沉降随安全系数的变化最为明显,左洞拱顶沉降从 1.04 mm 增加至 11.61 mm,右洞拱顶沉降从 1.81 mm 增加至 10.22 mm。

绘制不同安全系数下的坡面沉降曲线如下:随着安全系数的增大,坡面沉降的最大值从右洞上方向左洞上方移动,隧道破坏时的最大坡面沉降出现在左洞拱顶与左洞右侧之间,其值约为 11 mm。

3.2 隧道埋深

不同折减系数下隧道开挖完成后岩体最大剪应变分布情况:当折减系数为 2.5 时,隧道围岩破坏区与地表贯通(施工易出现突顶安全风险),即隧道发生破坏,故认为隧道的临界安全系数为 2.4。

不同折减系数下的围岩位移分布情况如下：（1）随折减系数的增加，隧道围岩的竖向位移和水平位移均增加；（2）竖向位移主要集中在左、右洞室的拱顶和仰拱位置，水平位移主要集中在左洞边墙与拱腰以及右洞边墙与墙脚处。

提取并绘制隧道关键位置处位移随折减系数变化的表格和曲线如下：（1）当安全系数在 1.0～2.1 区间变化时，隧道各个关键位置的位移增加缓慢，当安全系数在 2.1～2.5 区间变化时，隧道各个关键位置的位移急剧增加；（2）左、右洞室拱顶沉降随安全系数的变化最为明显，左洞拱顶沉降从 0.58 mm 增加至 12.07 mm，右洞拱顶沉降从 2.47 mm 增加至 10.96 mm。

3.3 偏压角度

不同折减系数下隧道开挖完成后岩体最大剪应变分布情况：当折减系数为 2.3 时，隧道围岩破坏区与地表贯通（施工易出现突顶安全风险），即隧道发生破坏，故认为隧道的临界安全系数为 2.2。

提取并绘制隧道关键位置处位移随折减系数变化如下：（1）当安全系数在 1.0～2.0 区间变化时，隧道各个关键位置的位移增加缓慢，当安全系数在 2.0～2.3 区间变化时，隧道各个关键位置的位移急剧增加；（2）左、右洞室拱顶沉降随安全系数的变化最为明显，左洞拱顶沉降从 4.54 mm 增加至 9.09 mm，右洞拱顶沉降从 3.62 mm 增加至 8.34 mm。

随着安全系数的增大，坡面沉降的最大值从右洞上方向左洞上方移动，隧道破坏时的最大坡面沉降出现在左洞拱顶与左洞右侧之间，其值约为 13 mm。

3.4 施工安全控制标准

隧道围岩位移作为施工力学行为的直观体现，是评估隧道稳定性的关键要素，围岩位移的变化趋势以及速率可以精准反映地应力重分布过程和支护结构的协同工作成效，借助系统监测位移数据，工程师可及时识别潜在稳定性问题，如异常变形区域或者加速收敛现象，优化支护参数与施工方案。位移观测相较于其他监测手段更具经济性和实时性，可为隧道施工安全提供可靠支撑，是工程实践中必不可少的技术手段。隧道稳定性判别，可根据隧道施工实测拱顶沉降 U 与隧道极限拱顶沉降 U_0 之间建立判别准则，即 $U < U_0$ 时，隧道稳定； $U > U_0$ 时，隧道不稳定。为保证隧道施工安全采用预警模式，分别取极限拱顶沉降的 1/3、2/3 数值作为三个等级的分界线，并根据预警等级采取相应的管理措施（见表 1）。

表 1 小尖山隧道施工安全预警标准

围岩级别	危险等级	围岩位移（mm）	
		左洞拱顶沉降	右洞拱顶沉降
	不稳定	$U > 9.47$	$U > 10.43$
V 级围岩	险情	$6.31 < U \leq 9.47$	$6.95 < U \leq 10.43$
	异常	$3.16 \leq U \leq 6.31$	$3.48 \leq U \leq 6.95$
	正常	$U < 3.16$	$U < 3.48$

4 结论

本文针对浅埋偏压连拱隧道问题，开展了隧道预警控制参数与控制标准研究，得到了如下结论：

1. 通过分析岩土材料的破坏机理，确定了采用有限元极限分析的方法进行数值模拟；对小尖山隧道的岩块力学特性进行实验分析，明确了小尖山的隧道 IV、V 围岩的变形参数和强度参数；选定参数进行数值模拟，对小尖山连拱隧道进行围岩变形模拟分析；最后通过数据分析对比得出 IV 级围岩等效岩块的极限剪应变为 1.08%，极限主拉应变为 0.28%；V 级围岩等效岩块的极限剪应变为 0.96%，极限主拉应变为 0.27%。

2. 通过数值模拟，计算分析了不同围岩级别、不同隧道埋深以及不同偏压角度情况下连拱隧道洞周位移和坡面沉降隧道安全系数 K 的变化关系；明确了隧道在不同工况下的失稳破坏模式；确定了以连拱隧道两个洞室拱顶沉降为评价指标的双位移指标施工安全预警体系；确定了不同条件下浅埋连拱隧道施工阶段的位移预警标准；构建了浅埋连拱隧道施工期安全预警的四级评价标准。

参考文献：

- [1] 姚振凯, 黄运平, 彭立敏. 公路连拱隧道工程技术[M]. 北京: 人民交通出版社, 2006.
- [2] 杨丙昌. 连拱隧道施工技术初探[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(S2): 5178-5180.
- [3] 杨小礼, 王作伟, 陈杰. 既有隧道扩建. 程及衬砌稳定性研究[J]. 交通科学与工程, 2010, 26(01): 49-52.
- [4] 申玉生, 赵玉光, 张焕新, 等. 双连拱隧道施工过程弹塑性有限元数值分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(增 2): 4946-4951.
- [5] 申玉生, 赵玉光. 双连拱隧道围岩稳定性的模糊概率分析研究[J]. 岩土工程学报, 2005, 27(11): 1358-1361.
- [6] 《中国公路学报》编辑部. 中国隧道工程学术研究综述·2015[J]. 中国公路学报, 2015, 28(05): 65.

扩展基础与弹性地基间耦合作用下基底有效尺寸研究

江乐威

(中铁大桥局集团有限公司, 湖北 武汉 430053)

摘要 扩展基础与弹性地基间耦合作用效应受到基础抗弯刚度和地基土基床系数的影响, 目前有学者提出基于耦合作用下基底有效尺寸下限, 在工程实践中的应用较为复杂。本文将地基土简化为温克尔弹簧模型, 在理论上推导扩展基础与弹性地基间耦合作用下基底有效尺寸的计算公式, 并结合通用有限元软件对计算公式精度进行验证, 通过截面抗弯刚度等效原则给出路基箱有效尺寸, 以期相关人员提供借鉴。

关键词 扩展基础; 温克尔模型; 耦合作用; 计算公式; 路基箱

中图分类号: TU47

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.14.005

0 引言

地基基础的合理设计对于建筑物的安全使用和工程造价等方面有较大影响。浅基础的基底尺寸确定是基础工程设计中的重要问题之一。在实际工程中, 地基条件复杂多变, 地基基础的选型与设计直接影响到建筑物的稳定性和耐久性。扩展基础作为一种常见的浅基础形式, 其基底尺寸的确定需综合考虑地基土的力学性质、基础材料的力学性能以及上部结构的荷载特征。近年来, 随着建筑技术的不断发展, 对地基基础的设计要求也日益提高, 如何在保证建筑物安全的前提下, 合理确定扩展基础的基底尺寸, 成为工程界关注的热点问题。

1 研究现状

传统的分析方法是采用逐次渐进试算法^[1], 这种方法在工程上应用时间较早, 尤其是早期计算技术较落后的情况下, 试算法提供了一种切实可行的计算方案。在软土区域, 扩展基础与CFG桩复合使用时, 桩体承担约60%~70%竖向荷载, 而扩展基础通过基底反力调节差异沉降。现场监测数据显示, 该组合体系可减少工后沉降量达40%, 尤其适用于既有建筑加固工程^[2]。

杨峰等^[3]应用刚体平动运动单元上限有限元, 通过多次网格更新方式进行系统的分析研究, 重点揭示与黏聚力相关的地基极限承载力系数 N_c 的上限解曲线及其滑移线网破坏模式, 探讨地基土层厚度, 土体内摩擦角和基础与地基界面有限摩擦等关联因素的影响规律。

陈梁等^[4]针对特殊岩土地质问题, 对基坑不同季节涌水量进行估算, 提出相关涌水防范措施, 重新设计满足工程的基础锚碇扩大方案。

杜超凡等^[5]运用无网格径向基点插值法构建了大变形板动力学模型, 为动荷载作用下扩展基础的基底非线性应力响应提供了高精度的数值模拟方案。该技术通过无网格手段, 有效规避了传统网格法在模拟大变形时易出现的网格扭曲难题, 显著提升了模拟的精确度与稳定性。此外, 径向基点插值法展现出卓越的灵活性, 能够灵活应对复杂的几何形态和边界条件, 使模型更贴近实际工程场景。

唐辉^[6]基于有限元法建立双向偏心荷载作用下的基底脱空模型, 验证单元尺寸(1/20B)、板单元面外刚度系数(≥ 100)及基床系数(参考值0.1倍)对计算精度的敏感性, 为内力计算提供参数化依据。

然而, 试算法存在计算繁琐、耗时较长以及结果精度受限等问题。随着计算机技术的飞速发展, 有限元法等数值分析方法逐渐被引入地基基础设计中。这些方法能够更加准确地模拟地基与基础间的相互作用, 为基底尺寸的确定提供了更为科学和高效的手段。尽管如此, 在实际工程应用中, 如何合理选取计算模型、准确输入参数以及有效验证计算结果, 仍然是工程师们面临的挑战^[7]。因此, 本研究致力于在理论推导和数值验证的基础上, 提出一种更为简便且精度较高的基底有效尺寸计算方法, 以期对地基基础设计提供新的思路和参考。

2 研究条件及研究路径

在工程领域, 我们常常需要将传统的扩展基础进行简化设计, 以便于施工和计算。通过将扩展基础简化为中心有刚性支撑的弹性地基梁, 我们可以更有效

地控制和分析基础的受力情况^[8]。扩展基础的平面尺寸通常被设计为 $L \times a$ ，其中 L 代表长度， a 代表宽度，而基础的厚度则被设定为 h 。在这样的设计下，基底压应力会呈现出远离中心点逐渐降低，而靠近中心点则逐渐升高的趋势^[9]。

在分析扩大基础端部的竖向位移时，我们发现这种位移是由两部分组成的：一部分是由于扩大基础自身变形引起的，另一部分则是由于地基的竖向变形所导致的。为了更精确地计算扩大基础自身变形，可以将基础视为一个跨度为 $L/2$ 的悬臂梁。通过这种模拟，可以利用悬臂梁的力学特性来预测和计算基础的变形情况，从而为工程设计提供更为可靠的数据支持^[10-11]。具体如图 1、图 2 所示。

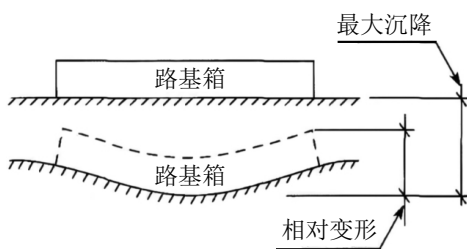


图 1 基础变形示意图

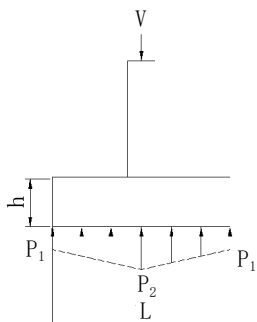


图 2 简化计算图示

3 公式推导

通过扩展基础悬臂端部的竖向位移与该位置处的地基变形相等，以及 P_1 、 P_2 与竖向荷载 V 间的关系，联立两个方程求得 P_1 与 P_2 间的关系。

3.1 基底在扩展基础端部的竖向压缩量

$$\delta_1 = \frac{P_1}{K_s} \quad (1)$$

式中： P_1 为基础边缘压应力； K_s 为地基的基床系数。

3.2 扩展基础端部位移

扩展基础在梯形荷载作用下的变形分为三部分：三角形荷载变形 ($P_2 - P_1$)、均布荷载 (P_1) 变形、荷载区域基床下沉。

1. 三角荷载变形 + 均布荷载变形：

$$\begin{aligned} \delta_2 &= \frac{P_1 a \left(\frac{L}{2}\right)^4}{8EI} + \frac{(P_2 - P_1) a \left(\frac{L}{2}\right)^4}{30EI} \\ &= \frac{P_1 a L^4}{128EI} + \frac{(P_2 - P_1) a L^4}{480EI} = \frac{2.2 P_1 a L^4 + 0.8 P_2 a L^4}{384EI} \end{aligned} \quad (2)$$

式中： a 为基础宽度，m； P_2 为基础中心压应力，kPa； E 为基础弹性模量，kPa； L 为基础长度，m； I 为基础绕水平中心轴惯性矩， m^4 。

2. 荷载区域基床下沉量：

$$\delta_3 = \frac{P_2}{K_s} \quad (3)$$

式中： P_2 为基础中心压应力，kPa。

3. 扩展基础端部位移：

$$\delta_3 - \delta_2 = \frac{P_2}{K_s} - \frac{2.2 P_1 a L^4 + 0.8 P_2 a L^4}{384EI} \quad (4)$$

3.3 有效长度计算公式

$$\text{令 } \delta_1 = \delta_3 - \delta_2, P_2 / P_1 = n$$

$$\begin{aligned} \frac{P_2}{K_s} - \frac{2.2 P_1 a L^4 + 0.8 P_2 a L^4}{384EI} &= \frac{P_1}{K_s} \\ \Rightarrow L &= \sqrt[4]{\frac{32 E h^3 (n-1)}{K_s (2.2 + 0.8n)}} \end{aligned} \quad (5)$$

式中： h 为基础厚度，m； n 为基础中心与端部竖向压应力比值。

3.4 公式分析

经过对公式进行分析，获得以下结论：

1. 扩展基础的基底有效尺寸会随着基础厚度的增加而相应地增大，同时，它也会随着地基基床系数的增加而减少。这种关系具体表现为，扩展基础的基底有效尺寸与 h 的 $3/4$ 次方、 E 的 $1/4$ 次方成正比，与 K_s 的 $1/4$ 次方成反比。

2. 在工程实践中，将扩展基础上结构的容许转角作为扩展基础容许转角的参考值，可以进一步推导出 n 值，最后针对性地进行扩大基础有效长度的计算，以确保结构的稳定性和安全性。

4 公式验证

假定地基基床系数 $K_s = 60\,000 \text{ kN/m}^3$ ，扩展基础弹性模量 $E = 30 \text{ GPa}$ ，厚度 $h = 1.5 \text{ m}$ ，宽度为 1.0 m 。

4.1 公式计算结果

根据公式，当基底压应力比 $n = 1.1$ 时，计算获得的有效长度 $L = 6.47 \text{ m}$ 。

继而计算基底最大、最小压应力为：

$$[1/2 \times (P_1 + 1.1 P_1) \times 1.0 \times 6.47/2] \times 2 = 327 \rightarrow \text{最小压}$$

应力为 $P_1=45.9\text{ kN}$ → 最大压应力为 $1.1\times 45.9=50.5\text{ kN}$

4.2 模型计算结果

利用通用有限元软件建立 $6.47\times 1\times 1.5\text{ m}$ 的扩展基础梁单元模型，划分为 32 个单元，每个单元的长度为 0.2 m ，土反力通过土弹簧模拟，标准弹簧系数为 $1\times 0.2\times 60\ 000=12\ 000\text{ kN/m}$ （见图 3）。

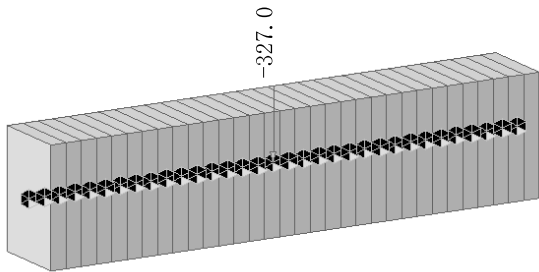


图 3 扩展基础土弹簧耦合模型

梁单元计算结果显示，在中心竖向压力荷载下，扩展基础中心的反力为 10.7 kN ，对应的基底压应力为 $10.7/1.0/0.202=53.0\text{ kN}$ ，如表 1 所示。

经软件计算验证，计算误差在 5% 之内，本公式具有较高精度。

5 扩展基础常用尺寸

依据 $n=1.1$ ，也即以 $P_2=1.1P_1$ 作为扩展基础临界长度的判据，计算获得表 2。

表 1 公式与模型计算结果对比表

Ks (kN/m ³)	E (kN/m ²)	H (m)	L (m)	公式 (kPa)	模型 (kPa)	误差
60 000	30 000 000	1.0	4.77	71.8	71.7	0.1%
		1.5	6.47	50.5	53.0	-4.7%
3 000	30 000 000	1.0	10.1	33.9	33.7	0.6%
		1.5	13.68	25.0	24.9	0.6%

表 2 常见土层对应的扩展基础临界长度

土层	基床系数 Ks (kN/m ³)	弹性模量 E (kN/m ²)	厚度 h (m)	临界长度 L (m)
粘性土	10 000	30 000 000	1.0	7.47
			1.5	10.13
	100 000	30 000 000	1.0	4.20
			1.5	5.70
砂类土	3 000	30 000 000	1.0	10.10
			1.5	13.68
	60 000	30 000 000	1.0	4.77
			1.5	6.47

6 公式推广

大吨位吊机吊装常采用路基箱作为分载基础。路基箱为钢板焊接而成的格栅形结构，厚度一般为 320 mm ，横向板间距为 375 mm ^[12]，如图 4 所示。根据路基箱高度 320 mm ，盖板和横向立板厚度 25 mm ，竖向及斜向立板厚度 20 mm 进行计算：

1. 路基箱断面与实心断面间抗弯参数的差异。根据计算，路基箱断面的抗弯能力（刚度和模量）均为实心截面的 0.44 倍。

2. 等效弹性模量。将截面特性转化为弹性模量后，拟合后的等效弹性模量 $E_e=0.44\times 206=90.6\text{ GPa}$ 。

3. 路基箱临界长度计算。根据分载能力计算路基箱临界长度，此长度未考虑路基箱自身的受力性能。具体如表 3 所示。

7 结论

本文深入探讨了扩展基础与弹性地基耦合作用时，扩展基础的端部与根部的竖向位移如何影响扩展基础基底有效尺寸的计算。通过严谨的理论分析和使用通用有限元软件进行验证，成功推导并验证了一个新的公式，该公式能够准确地计算出扩展基础基底的有效尺寸。基于这些研究，得出了以下几点结论：

1. 提出的基于弹性地基与扩展基础耦合作用的基底有效尺寸计算公式，不仅结构简单，而且计算结果

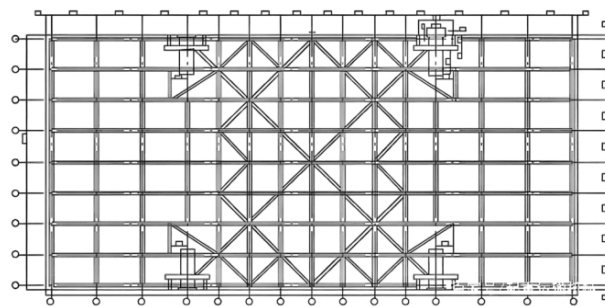
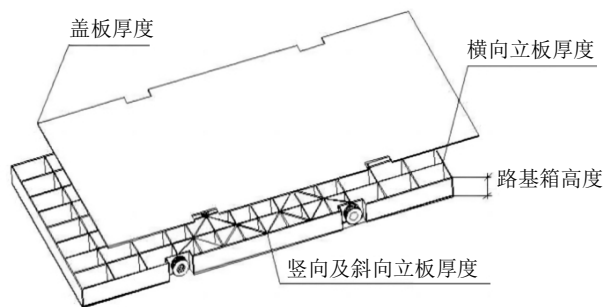


图 4 路基箱结构

表 3 常见土层对应的路基箱临界长度

土层		K_s (kN/m^3)	E (kN/m^2)	h (m)	L (m)
粘性土	软塑	10 000	90 600 000	0.32	17.6
	坚硬	100 000	90 600 000	0.32	5.6
砂类土	松散	3 000	90 600 000	0.32	32.1
	密实	60 000	90 600 000	0.32	7.2

可靠。这一公式能够很好地满足工程实践中的应用要求，为工程设计提供了便利。

2. 通过进一步的研究发现，扩展基础基底的有效尺寸会随着基础厚度的增加而相应增加，同时，随着地基基床系数的增加，基底有效尺寸则会减少。具体来说，基底有效尺寸与 h 的 $3/4$ 次方、弹性模量 E 的 $1/4$ 次方成正比关系，与地基基床系数 K_s 的 $1/4$ 次方成反比关系。

3. 提出了一个联合扩展基础上部结构容许转角的计算方法，通过这种方法，我们可以推导出扩展基础中心压应力与端部压应力的比值限值，进而确定扩展基础的经济长度。

4. 需要指出的是，虽然通过上述公式计算出的有效长度是理论上的长度，但在实际应用中，我们应当考虑到截面配筋的影响，并综合考虑后进行取值，以确保结构的安全性和经济性。

参考文献:

- [1] 李元齐,焦听雷,罗金辉,等.大宽高比混凝土独立扩展基础基底反力分布室外试验研究[J].建筑结构,2018,48(15):92-97.
- [2] 罗柱.沿海盐碱化地区软土地基处理安全分层风险评估体系研究[J].广东土木与建筑,2021(04):51-53.
- [3] 杨峰,慈新航,高益康,等.底部刚性层限制条件下条形基础地基承载力系数 N_c 与破坏模式[J].岩石力学与工程学报,2023(04):1031-1040.
- [4] 陈梁.复杂地质条件下桥梁锚碇扩大基础方案研究[J].

科技创新与应用,2023,13(36):87-90.

[5] 杜超凡,郑燕龙,章定国,等.基于径向基点插值法的旋转Mindlin板高次刚柔耦合动力学模型[J].力学学报,2022(01):54.

[6] 唐辉.基于有限元法的双向偏心受压扩大基础受力分析[J].工程与建设,2020,34(05):900-902,907.

[7] 李凯,雷斌.基坑支护接头箱旋挖“软咬合”成桩施工技术[J/OI].施工技术(中英文),1-7[2025-05-22].https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=fSCzX0TVvUjuvXptNfizH_EnSqCsoU8AzXmXcQv6eILARoxYRps2JfCEQJgN93jaHCVjlO9hEvw38GLMDLiQ-CN2uoG3l7A09qlZal1WVPnMH4AaSuZVUijPcSsiXwGxv3eipiMeRiq7-KZMK4NLz5lQwkZf1GI-cYVoEA33XteL6xeFktr7w==&uniplatform=NZKPT&language=CHS.

[8] 王洋,陈少波,王强,等.路基箱机器人智能焊接生产线研发及应用[J].机器人技术与应用,2025(01):41-44.

[9] 李亮,张太忠,单广灿,等.深厚富水软土地层深基坑水平封底与降水联合优化设计方法[J/OI].铁道科学与工程学报,1-15[2025-05-20].https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=fSCzX0TVvUgqXCGTkPC1ijYwL-7LNp_SI-v03iDeX1HgWhedeNLkok1E3qJ5mIbWN_UqHGyKl8bnGpnJkSU8KypN7ovBjhrKMidD9TgLDiMnzBj5vlp_Xqr8-qDpkTolSHV0kMy1lJrkIT0bWdAIabrlLIAe9b9W6szF5KrfT_xRcT_KmQTRw==&uniplatform=NZKPT&language=CHS.

[10] 危成昊.软土地质下深基坑变形规律分析及围护桩应用研究[J].建筑技术开发,2025,52(05):156-158.

[11] 许严.道路桥梁工程中软土地基水泥粉喷桩施工技术[J].中国水泥,2025(05):104-107.

[12] 李豪,徐金帅.自装卸路基箱及支座的分载性能对比研究[J].石油化工建设,2023,45(09):78-80.

基于 BA-FNN 的水质评价模型及在北海入海河流中的应用

谢雨霜

(桂林电子科技大学北海校区, 广西 北海 536000)

摘要 本文针对水质评价中多指标耦合、非线性映射复杂等问题提出一种基于蝙蝠算法优化模糊神经网络(BA-FNN)的水质评价模型,通过蝙蝠算法优化模糊神经网络的结构参数,提高其拟合程度和泛化能力,克服传统神经网络易陷入局部最优的缺陷,与模糊神经网络(FNN)、粒子群算法优化模糊神经网络(PSO-FNN)进行对比,测试结果充分说明基于BA-FNN的水质评价结果均方误差、平均绝对误差更小,准确度和可靠性更高,并以北海主要入海河流为例,选取关键水质指标构建评价体系,利用实际监测数据对模型进行验证。结果表明,本文提出的方法可有效实现水质状态的准确评价,符合评价标准。

关键词 水质评价; 蝙蝠算法; 模糊神经网络; 数据融合; 北海

中图分类号: X82

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.14.006

0 引言

随着沿海城市经济的快速发展,北海市入海河流作为连接陆海生态系统的重要纽带,水质评价对水资源保护、可持续利用及生态功能维护具有关键作用^[1]。常用的水质评价方法主要有单因子评价、模糊综合评价、支持向量机、神经网络等^[2],但应用这些评价方法的过程中也存在一些问题^[3],如传统方法在处理非线性及参数不确定性时存在明显局限,而单纯依赖人工神经网络模型又易陷入局部最优且泛化能力不足。

模糊神经网络(Fuzzy Neural Network, FNN)通过集成模糊逻辑的推理能力与神经网络的自学习特性,为复杂水环境评价提供了新范式,目前有不少学者利用T-S模糊神经网络模型对水质进行研究^[4-5],据此本文将FNN模型引入水质评价中。同时为进一步突破传统优化算法易陷入局部极值的瓶颈,本文采用蝙蝠算法(Bat Algorithm, BA)来优化模糊神经网络,提高FNN的泛化能力和计算效率,实现全局高效搜索。

本研究以北海市入海河流为研究对象,构建基于BA-FNN的水质评价模型,以期客观、准确地了解北海市入海河流断面水质现状,并为滨海城市水质评价中的复杂系统建模问题提供科学依据。

1 蝙蝠算法

蝙蝠算法是一种结构简单、参数较少、搜索能力与稳定性较强的优化算法,可用于搜索全局最优解,

通过模拟蝙蝠在检测目标时所发出的脉冲频率、响度、发射率变化实现函数优化。

蝙蝠算法遵循蝙蝠搜寻猎物的行为模拟,蝙蝠个体*i*搜寻猎物时的脉冲频率范围为 $[f_{\min}, f_{\max}]$,有:

$$f_i = f_{\min} + (f_{\max} - f_{\min}) * \beta_i \quad (1)$$

式中: $\beta \in [0, 1]$ 是服从均匀分布的随机向量。

蝙蝠根据*t*时刻的位置 x_i^t 与目标位置的距离,及*t*-1时刻的速度 v_i^{t-1} ,通过频率 f_i 控制蝙蝠个体*i*在*t*时刻的飞行速度,可得:

$$x_i^t = v_i^{t-1} + (x_i^t - x_*) * f_i \quad (2)$$

式中: x_* 表示当前全局最优解。

蝙蝠以速度 x_i^t 进行猎物搜索,在搜寻过程中,*t*时刻的位置 x_i^t 迭代更新为:

$$x_i^t = v_i^{t-1} + v_i^t \quad (3)$$

当蝙蝠发现可能存在最优解,则在当前所有个体中选择最优蝙蝠位置个体,随机对蝙蝠个体位置进行更新,产生一个局部解 x_{new} 为:

$$x_{new} = x_{old} + \varepsilon A^t \quad (4)$$

式中: ε 为 $[-1, 1]$ 之间均匀分布的随机数, A^t 为*t*时刻所有蝙蝠的响度。

根据蝙蝠搜寻猎物机理,调整声波的响度*A*与声波发射频率*r*,精确掌握猎物的空间位置,即:

$$A_i^t = \alpha A_i^{t-1} \quad (5)$$

$$r_i^t = r_i^0 [1 - \exp(-\gamma * t)] \quad (6)$$

式中: A^t 、 A^{t-1} 分别为第*i*个蝙蝠个体在*t*时刻和*t*-1

时刻发射的脉冲音强, α 为脉冲音强衰减系数, 通常取 $[0, 1]$ 区间的常数, 使响度 A 逐步趋近于 0; r_i^t 为第 i 个蝙蝠在 t 时刻的脉冲频率, γ 为脉冲频率增加系数, 通常取大于零的常数, 使脉冲频率 r 趋近于 r_i^0 。

2 蝙蝠算法优化模糊神经网络

2.1 T-S 模糊神经网络

模糊神经网络集模糊逻辑的强大结构性知识表达能力与神经网络的强大自学习能力于一体, 对于处理水质评价这种非线性、模糊性系统具有很大的优越性, 其基本结构主要有以下四层:

1. 输入层。各节点与输入值相连, 将输入向量 $X=[x_1, x_2, \dots, x_n]^T$ 传到下一层, 该层的节点数 $N=n$ 。

2. 模糊化层。对输入进行模糊化, 本文采用高斯函数为隶属度函数, 得到对应的模糊隶属度 μ 。即:

$$\mu_{A_j} = \exp\left[-\frac{(x_j - c_j^i)^2}{b_j^i}\right], \quad (7)$$

$$j=1, 2, \dots, k; i=1, 2, \dots, n$$

式中, c 、 b 分别为隶属度函数的中心和宽度; k 为输入参数的个数, n 为模糊子集的个数。

3. 模糊规则层。采用隶属度连乘算子作为模糊规则, 实现各隶属度的模糊计算, 即:

$$\omega^i = \mu_{A_1}(x_1) * \mu_{A_2}(x_2) * \dots * \mu_{A_k}(x_k) \quad (8)$$

$$i=1, 2, \dots, n$$

式中: ω 为模糊神经网络隐含层和输出层之间的权值。

4. 输出层。将输出结果进行去模糊化处理, 最终输出值为:

$$y = \sum_{i=1}^n \omega^i (p_0^i + p_1^i x_2 + \dots + p_k^i x_k) / \sum_{i=1}^n \omega^i \quad (9)$$

2.2 蝙蝠算法优化模糊神经网络

为提高模型的训练速度, 降低收敛时间, 同时避免传统 FNN 算法收敛速度慢、以陷入局部最小值的缺陷, 提高其准确性, 在模型训练过程中, 本文采用 BA 算法对 T-S 模糊神经网络进行参数选择优化, 将模糊神经网络的权值和阈值与蝙蝠算法中的蝙蝠个体的位置向量对应, 编码成种群中的蝙蝠个体, 据此建立 BA-FNN 模型。

采用均方误差 (MSE) 为训练的适应度, 即:

$$MSE = \frac{1}{N} \sum (\bar{y}_i - y_i)^2 \quad (10)$$

式中: N 为训练样本个数, $\bar{y}_i$ 为实际输出值, y_i 为期望输出值。MSE 越小则代表精度越高。

本文的 BA-FNN 算法的具体步骤如图 1 所示。

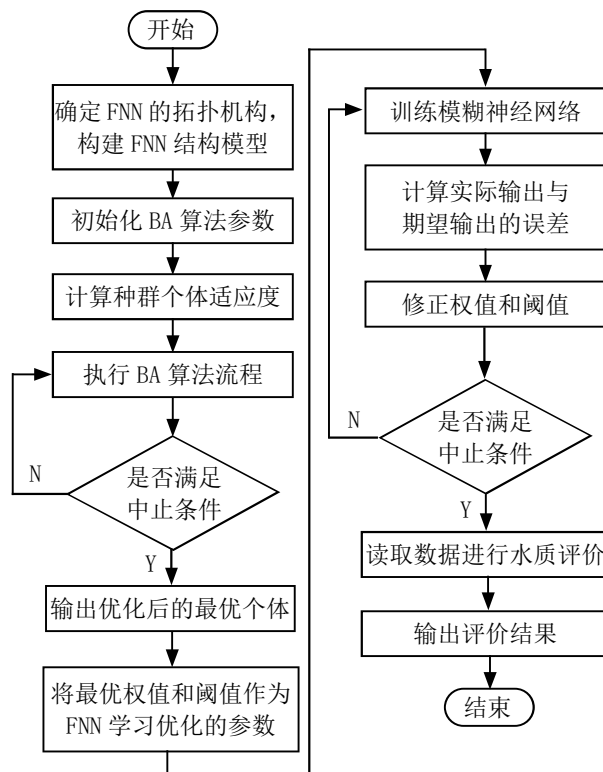


图 1 BA-FNN 算法流程图

由图 1 可知, 本研究利用 BA 算法优化 FNN 的初始权值和阈值, 通过种群迭代寻优确定最优参数, 再训练网络并输出水质评价结果。

3 实验与分析

3.1 研究区域概况

北海市 ($21^{\circ} 26' N$ — $21^{\circ} 55' N$, $108^{\circ} 50' E$ — $109^{\circ} 47' E$) 位于广西南部, 濒临北部湾, 其入海河流是连接陆海生态系统的重要通道。北海旅游业发展显著, 流域内工业、农业空间分异明显, 北部合浦县以农业为主, 面源污染突出; 南部沿海工业化程度高, 废水排放集中, 陆源污染压力突出, 都加剧了水质情况的复杂性^[6]。

3.2 数据获取与处理

本研究北海入海河流断面水质数据来自广西壮族自治区北海生态环境监测中心和中国环境监测总站, 根据研究数据表明, 北海入海河流需氧量、氨氮等含量超标率较高, 为主要影响因素^[7], 故选取溶解氧、高锰酸钾指数、生化需氧量、化学需氧量、氨氮 5 个指标作为评价指标, 用于评估北海入海河流水质状况。根据 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》中的分类标准, 将水质等级划分为 5 类, 标准如表 1 所示。

表1 GB 3838—2002 水质标准

评价指标	I类	II类	III类	IV类	V类
溶解氧 (mg/L) $\geq$	7.5	6.0	5.0	3.0	2.0
高锰酸钾指数 (mg/L) $\leq$	2.0	4.0	6.0	10.0	15.0
生化需氧量 (mg/L) $\leq$	3.0	3.0	4.0	6.0	10.0
化学需氧量 (mg/L) $\leq$	15.0	15.0	20.0	30.0	40.0
氨氮 (mg/L) $\leq$	0.15	0.5	1.0	1.5	2.5

为量化输出结果,将模型输出范围规定在 $(0.5, 5.5]$,对应水质评价等级,如I类时输出范围为 $(0.5, 1.5]$,其余同理。为验证模型的准确性,本次研究根据表1标准,构建样本数据。在各指标的各级标准间随机插入150组数据,构造 5×750 的矩阵样本,每类水质等级选取100组数据,共500组用于训练,其余250组作为测试样本。

由于水质评价指标单位数量级差异较大,直接输入网络进行训练易造成结果的不可靠,为提升模型的精度,需对原本数据进行归一化处理,即:

$$x^* = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (11)$$

式中: x^* 为归一化后的数据; x 为原数据, $x_{\max}$ 和 $x_{\min}$ 为原数据系列中的最大和最小值。

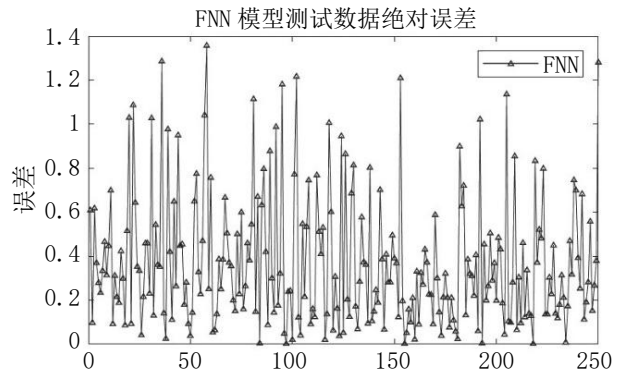
3.3 基于BA-FNN的水质评价模型验证

为进一步验证本研究方法的可行性和优越性,将本研究方法与标准FNN、粒子群算法改进模糊神经网络(PSO-FNN)两种方法进行对比。为保证测试结果对比的一致性,对比实验中所有的神经网络模型均使用相同训练和测试样本,选用平均绝对误差(MAE)和均方误差(MSE)两个指标对比各模型的性能。各模型综合测试结果及误差对比如表2和图2所示。

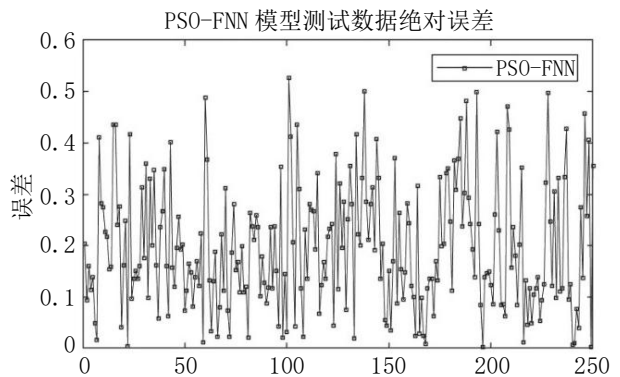
表2 各模型综合测试结果对比

模型	FNN	PSO-FNN	BA-FNN
MAE	0.3701	0.1957	0.1295
MSE	0.2243	0.0533	0.0267

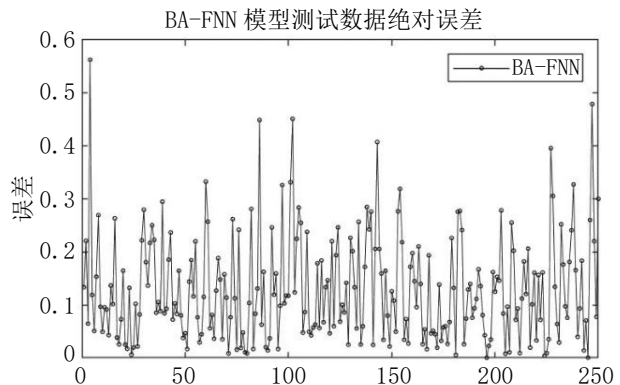
由表2和图2可知,实验表明,FNN模型误差波动大且MAE/MSE最高,经PSO和BA优化后的算法误差显著降低,BA-FNN模型测试结果的绝对误差基本0.35以内,对比所有结果,可明显看出本研究提出的BA-FNN误差波动最小、MAE/MSE最低,准确度显著优于其他方法,更适用于水质评价。



(a) FNN 模型测试误差



(b) PSO-FNN 模型测试误差



(c) BA-FNN 模型测试误差

图2 各模型综合测试结果绝对误差图

3.4 BA-FNN在北海入海河流水质评价中的应用

对北海入海河流水质进行评价,选取2023年至2025年期间的北海入海河流亚桥、南域、西门江、高速公路桥、婆围村5个断面的监测数据进行检验,每个断面各选取4组数据,得到BA-FNN评价结果如表3所示。

由表3可知,三个模型对5个监测断面的水质评价结果基本相同,但FNN在部分监测点出现极端误差,这是单个神经网络进行评价时性能不佳造成的。相较

表 3 北海入海河流水质评价结果

断面	样本点	实际类别	FNN 评价结果	PSO-FNN 评价结果	BA-FNN 评价结果
亚桥	①	III	2.3122 (II)	2.5302 (III)	2.8317 (III)
	②	III	2.7066 (III)	2.5673 (III)	2.6549 (III)
	③	III	2.6645 (III)	2.8599 (III)	2.6008 (III)
	④	II	2.4867 (II)	2.4741 (II)	2.3725 (II)
南域	①	III	3.0486 (III)	2.9269 (III)	2.6758 (III)
	②	III	2.9173 (III)	2.8196 (III)	2.9081 (III)
	③	IV	5.2123 (V)	4.3607 (IV)	3.8414 (IV)
	④	III	2.6314 (III)	2.6189 (III)	2.5453 (III)
西门江	①	III	2.7327 (III)	3.2487 (III)	2.6925 (III)
	②	IV	3.5665 (IV)	3.5271 (IV)	3.5853 (IV)
	③	III	3.6955 (IV)	3.6198 (IV)	3.4942 (III)
	④	III	2.5335 (III)	2.5442 (III)	2.5577 (III)
高速公路桥	①	II	1.6233 (II)	1.5767 (II)	1.6789 (II)
	②	III	2.3833 (II)	2.4420 (II)	2.2596 (II)
	③	III	3.2967 (III)	3.1671 (III)	3.2921 (III)
	④	IV	3.7120 (IV)	4.4681 (IV)	3.6301 (IV)
婆围村	①	II	2.9802 (III)	2.9001 (III)	2.7765 (III)
	②	II	2.4899 (II)	2.4477 (II)	2.4765 (II)
	③	III	2.6539 (III)	2.5625 (III)	2.5049 (III)
	④	IV	3.5743 (IV)	3.6895 (IV)	3.5967 (IV)

而言,BA-FNN 模型的评价结果准确度更高,与实际水质类别基本吻合。选取的评价类别分布均匀,整体能够反映北海入海河流各断面状况,基本处于 II~III 级,整体状况良好,验证了本研究模型的合理性。

4 结论

本研究利用 BA 的寻优特性,优化 FNN 的结构参数,提出了基于 BA-FNN 的水质评价模型,并应用于北海入海河流水质评价中。实测结果表明:(1)通过 BA 优化 FNN 的结构参数,显著降低了水质评价误差,克服模糊逻辑规则的局限性和主观性,融合水质评价多指标信息,实现水质准确评价。(2)与基础 FNN 方法、PSO-FNN 方法相比,本研究提出的 BA-FNN 方法表现出更高准确度和可靠性,验证了算法寻优能力,进一步验证了本研究模型的合理性。(3)BA-FNN 模型对北海入海河流的水质等级评价(II~III 级)与实际情况高度一致,但需进一步解决监测数据缺漏和参数权重优化问题,以提升复杂水质场景的鲁棒性。

参考文献:

- [1] JIA Z, BIAN J M, WANG Y. Impacts of urban land use on the spatial distribution of groundwater pollution, Harbin City, Northeast China [J]. Journal of Contaminant Hydrology, 2018, 215(aug.): 29-38.
- [2] 杨玖,代佼,龚兴涛,等.基于多种方法的长江上游小流域水质综合评价[J].中国环境监测,2023,39(S1):19-26.
- [3] CHEN S Y, FANG G H, HUANG X F, et al. Water quality prediction model of a water diversion project based on the improved artificial bee colony-backpropagation neural network[J].Water, 2018, 10(06): 1-19.
- [4] 王铁良,苏芳莉,孙迪,等.基于模糊 BP 神经网络的辽河口湿地水质评价[J].西北林学院学报,2020,35(05): 195-200.
- [5] 卢莉莉.模糊神经网络在涑水河水质评价中的应用[J].水利技术监督,2017,25(01):142-145.
- [6] 谢华.广西省近岸海域海水环境质量与入海陆域污染影响对策研究[J].环境科学与管理,2018,43(03):30-36.
- [7] 同[6].

分布式新能源接入对电网的影响及对策分析

王 泰

(青海省绿色发电集团股份有限公司, 青海 西宁 810000)

摘 要 随着“碳达峰、碳中和”(以下简称“双碳”)目标的提出和新型电力系统建设的推进,我国分布式新能源呈现高速增长态势,装机规模不断攀升。本文基于分布式新能源的发展现状与趋势,系统分析了大量分布式电源接入给电网规划、运行、管理等方面带来的多重影响和挑战,提出了完善技术标准和市场机制、加强电网设备和系统升级、创新源网荷储一体化发展模式、建立合理投资分担机制等应对策略,以期通过分布式新能源与电网的协同融合发展,为构建清洁低碳、安全高效的新型电力系统提供有力支撑,助力“双碳”目标如期实现。

关键词 分布式新能源; 电网接入; 技术标准; 一体化发展

中图分类号: TM7

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.14.007

0 引言

近年来,在“双碳”目标和构建新型电力系统的双重驱动下,以分布式光伏为代表的分布式新能源呈现跨越式发展态势。根据国家能源局统计,2024年分布式光伏发电新增装机达1.2亿千瓦,占当年新增光伏发电装机的43%。在发电量方面,2024年分布式光伏发电量3462亿千瓦时,占光伏发电量的41%^①。随着分布式新能源的快速发展,其接入规模不断扩大,给电网规划、建设、运行和管理带来前所未有的机遇和挑战。科学分析和应对分布式新能源接入带来的多维影响,对于保障电网安全稳定运行、推动能源革命、实现“双碳”目标具有重要意义。

1 分布式新能源接入电网的现状与规模

1.1 全国分布式新能源装机规模与增长趋势

在“双碳”目标和新型电力系统建设的背景下,我国分布式新能源呈现跨越式发展态势,装机规模屡创新高。根据国家能源局数据,截至2024年底,分布式光伏发电累计装机达3.7亿千瓦,是2013年底的121倍,占全部光伏发电装机的42%。这标志着分布式光伏发展进入新的里程碑,成为拉动光伏装机增长的“主力军”。

从增长趋势看,进入“十四五”以来,分布式光伏新增装机一直保持高速增长的良好态势。2024年,全国光伏新增装机2.78亿千瓦,同比增长28%,其中分布式光伏1.18亿千瓦,也创下了分布式光伏发展的新纪录。这主要得益于户用光伏、工商业光伏等细分领域的快速拓展,以及各项支持政策的持续利好。按照彭博新能源财经的分析师谭佑儒在中性情境下预测,到2025年中国光伏新增装机规模将达302GW(交流侧)

或368GW(直流侧)^②。分布式光伏正成为推动能源革命、助力“双碳”目标实现的中坚力量。

1.2 分布式新能源区域分布与占比特征

分布式新能源在我国已初具规模,呈现出鲜明的区域分布不平衡特征和集中发展态势。从区域布局看,分布式光伏主要集中在我国华北、华东、华中等负荷中心和人口密集区。2023年分布式光伏新增装机排名前四的省份分别为河南、江苏、山东和安徽,四省合计新增装机量占全国总量的57.63%^③,是名副其实的分布式光伏“主战场”。从累计装机占比看,随着多年的快速发展,部分省份分布式光伏装机已跃升至全国前列。截至2023年底,山东、河北两省光伏总装机突破50GW,跃居光伏装机第一梯队。河南、江苏、浙江等省分布式光伏累计装机也已达到30GW以上的规模,成为名副其实的分布式光伏大省。更值得关注的是,在青海、甘肃、宁夏等西部省区,分布式光伏与风电等新能源装机总量已占到全部电源装机的50%以上^④,开启了以新能源为主体的新型电力系统建设新征程。

1.3 主要分布式新能源接入形式与运行模式

当前,我国分布式新能源主要以分布式光伏为主体,通过10kV及以下配电系统实现与电网灵活友好连接。从接入形式和商业模式看,目前主要有“自发自用、余电上网”和“全额上网”两种典型模式。“自发自用”模式是指分布式电源与电力用户装设同一场所或建筑物内,发电量主要满足就近用户用电需求,富余电量可通过用户侧接入系统实现余电上网。这种模式多见于户用光伏和工商业屋顶光伏等以自发自用为主的应用场景。而“全额上网”模式主要是针对不同场址的分布式电站,通过配电网直接将全部电量输

送至公共电网。近年来,随着分布式电价政策的完善,全额上网模式在园区、农业大棚等领域得到广泛应用,成为分布式光伏市场化发展的重要形式^[1]。

此外,随着“新能源+”的创新发展理念深入人心,以分布式光伏为核心,与储能、智能电网、多能互补等技术高效协同的分布式能源系统也在加速兴起。一方面,分布式光伏+储能系统通过光储一体化、自发自用等方式,提高了分布式光伏消纳利用效率,增强了用户端的能源自给率和供能可靠性。另一方面,多个分布式电源、储能与负荷聚合而成的“虚拟电厂”和微电网,可通过智能调控实现局部自平衡,减轻对配电网的冲击,盘活分散式资源价值。

2 分布式新能源接入对电网的多维影响

2.1 对电网生产安全的技术性挑战

随着“双碳”目标的提出和新型电力系统的构建,大量分布式新能源正快速接入配电网,给电网安全稳定运行带来了前所未有的技术性挑战。一方面,大容量分布式光伏并网可能造成局部电网“阳光富余”,引起电网功率平衡失调,诱发电压、频率波动等电能质量问题,影响电网运行的“六性”指标。另一方面,部分分布式光伏未按规范设置“低压总开关”和“孤岛保护装置”,可能在电网故障时继续向故障段馈电,形成“孤岛效应”,既危及电网设备安全,也威胁检修人员的人身安全^[2]。此外,由于缺乏有效的信息采集与管理手段,分布式用户数据“收集难、更新难、共享难”的问题日益突出,存在部分资料不全、台账不清等隐患,大大增加了分布式电源的管理难度和工作量。这些技术性挑战如果得不到有效应对,势必影响配电网的安全水平,制约分布式新能源的健康发展。

2.2 对电网规划布局的结构性冲击

传统配电网是以集中式电源为主导,规划建设主要面向“单一、可控”的常规负荷,具有辐射状的辐射型网架结构。而分布式新能源大规模接入,将对配电网规划布局带来颠覆性的结构性冲击。一方面,分布式电源具有出力“随机性强、间歇性大”的特点,其不确定性给配电网的潮流计算、短路计算、检修方案优化等环节带来了很大的不确定性,极大地增加了配电网规划的复杂度和难度。另一方面,分布式电源向配电网“深度渗透”,一定程度上降低了主变电站间的联络水平和互供可靠性,改变了传统配电网“手拉手”的环网结构,使网络拓扑日趋“复杂化、离散化”。同时,双向潮流也增加了线路损耗和无功优化的难度。这意味着,传统“以负荷为中心”的配电网规划理念和方法已难以适应,需要创新规划模式和优化技术,探索更加灵活、高效、经济的新型配电网规划布局。

2.3 对电网调度运行的系统性干扰

分布式新能源的快速发展,正在重塑配电网的形态和运行特性。大量分布式电源并网使配电网由“被动配送”向“主动配电”转变,由“源一荷”模式向“源网荷储”融合演进,给配电网的实时调控和优化运行带来了系统性、颠覆性的冲击。首先,分布式电源出力的波动性和不确定性使配电网潮流日趋复杂多变,“双向乃至多向”潮流使配电网由单一的“负荷跟随”向灵活的“双向互动”转变,无功优化和电压控制难度骤增。其次,分布式接入改变了配电网的“短路特性”,故障时会出现“多点供电、双向供电”,需在配电网各个枢纽装设断路器和继电保护,加大了配电自动化的复杂程度。此外,当前配电调度主要靠“人工经验”,缺乏面向分布式的智能调控手段,调度运行模式亟待创新重塑。如何提高分布式电源的可观可控水平,实现配电网由“被动适应”向“主动调控”的转型,是一个亟待破题的难题。

2.4 对电网管理模式的转型性压力

大量分布式新能源接入不仅对电网的规划、运行提出了挑战,也对配电网管理模式提出了转型性的变革要求。传统配电业务以“电力配送”为核心,管理相对粗放,主要靠人工巡视和定期抄表,缺乏信息化、自动化管理手段,难以适应分布式电源全生命周期管控的要求,亟需向“精益化、数字化”管理转型升级。同时,分布式新能源的接入运营涉及发电侧、电网侧、用户侧、售电侧等多个主体,“条块分割、各自为政”的传统管理体制难以形成合力,必须创新“分散管理”向“统筹协同”的一体化管理机制^[3]。此外,随着“新能源+储能”等分布式综合能源系统的兴起,单一售电模式已难以满足多元用能需求,必须加快向“综合能源服务商”转型,创新“发用购储”一体化的新业态、新模式。在此背景下,配电运营体制机制、电价形成机制等方面也面临深化改革的压力。

3 应对分布式新能源接入的系统化对策

3.1 完善技术标准和市场机制建设

分布式新能源的高速发展对电网接入提出了更高要求,亟需建立健全技术标准和管理规范。首先,应统一分布式新能源并网技术标准,明确接入容量、功率预测、孤岛保护、电能质量等关键技术指标,确保分布式电源安全、稳定、高效接入电网运行。其次,应制定专门的分布式新能源管理办法,对项目准入、并网验收、运行维护等环节提出规范要求,落实并网工程“三同时”制度,加强全过程管理。最后,应完善支持分布式发展的价格政策和市场化交易机制。能源局印发的《分布式光伏发电开发建设管理办法》提出要推

分布式发电市场化交易,开展分布式发电市场化交易试点,完善峰谷分时电价机制。各地应根据实际制定具体实施办法,促进分布式电源参与电力市场化交易,引导分布式项目合理布局,推动“自发自用、余电上网”的分布式发展模式,为源网荷储一体化发展奠定基础。

3.2 加强电网设备和系统升级改造

分布式新能源的快速接入对配电网规划建设提出了新的挑战,必须加快电网设备改造和系统升级。一方面,要广泛应用新型智能电力电子、储能、微电网等新技术,通过智能逆变器实现分布式电源的无功优化和电压控制,提高系统的灵活调节能力。另一方面,要加大配电网投资力度,尤其是加快农村电网升级改造,提高线路输电容量和供电可靠性,为分布式新能源并网消纳创造条件。同时,应推广应用动态电压调节、谐波治理等智能化技术,提升电能质量管理水平^[4]。此外,还要加强配电自动化系统和智能电表等信息化建设,构建分布式能源并网的数字化管理平台,实现分布式电源接入、调度、运维的可视化、可控化,支撑全过程智慧管理。国家电网公司印发的“新型电力系统行动方案”明确提出,要推进源网荷储协调发展,加强新能源接入关键技术攻关,加快配电网自动化建设,打造智慧物联网,服务分布式新能源高质量发展。

3.3 推进源网荷储一体化发展模式

构建新型电力系统,必须创新分布式新能源与电网融合发展模式,推进源网荷储一体化发展。要在技术经济条件许可的情况下,积极推广分布式电源与储能、可中断负荷相结合的源网荷储一体化运行模式,引导分布式光伏、风电、储能、电动汽车等分散式资源协同优化运行,通过虚拟电厂聚合分散式资源参与电力市场化交易,发挥系统效益。特别是在农村地区,可创新“村发村用”分布式光伏开发模式,利用农村屋顶资源就近开发分布式光伏,结合农村电气化提高就地消纳水平,使农村地区从分布式能源开发的受益者转变为参与者和推动者。国家能源局印发的《2024年能源工作指导意见》指出,支持农村地区开展“万乡万村屋顶光伏行动”试点示范,探索“村发村用”的分布式开发新模式。此外,还应合理布局分布式新能源汇集站,完善配套电网设施,创新投资建设运营机制,为高比例分布式新能源接入和消纳提供有力支撑。

3.4 建立合理的经济激励分摊机制

分布式新能源并网接入和消纳往往需要对现有电网进行升级改造,如何合理分担成本和利益是一个突出问题。应尽快建立完善的分布式发电并网成本分摊机制,明确电网企业与项目业主的投资界面和分担比例。国家发改委、能源局发布的《关于促进新时代新能源高

质量发展的实施方案》提出,合理界定分布式发电接入成本分摊边界,制定分布式发电市场化交易规则。在成本分担的同时,还要完善分布式发电的电价补贴和退坡机制,引导实现平价上网。可借鉴山东、江苏等地经验,制定省级层面分布式发电电价政策,明确自发自用电价、余电上网电价和全额上网电价^[5]。同时,应鼓励分布式新能源参与绿色电力证书交易,获得环境效益分成,拓展收益来源。在电网侧,可通过优化输配电价形成机制,适当向分布式新能源倾斜。在电力市场交易和零售侧,可对分布式新能源实施峰谷分时电价等优惠政策,增强分布式投资的经济性,调动各方参与的积极性。

4 结束语

随着能源革命的深入推进,分布式新能源将成为构建新型电力系统、实现能源低碳转型的关键力量。预计未来5~10年,分布式新能源将持续保持高速增长,新能源装机和发电量占比将大幅提升。分布式能源大规模接入对电网规划、运行、管理等方面带来的挑战将日益凸显。只有尽快建立健全相关标准规范和体制机制,加强关键技术装备创新,推动源网荷储协同发展,才能更好地应对分布式新能源快速发展带来的挑战,为构建清洁低碳、安全高效的新型电力系统提供坚实的支撑,为如期实现“双碳”目标贡献电网力量。

注释:

- ① 国家能源局.国家能源局举行新闻发布会 解读《分布式光伏发电开发建设管理办法》[EB/OL].<http://www.nea.gov.cn/20250123/4c2120483ff04cafbca46a708fccac00/c.html>. 2025-01-23.
- ② 国家能源局.2024年可再生能源并网运行情况[EB/OL].<https://www.nea.gov.cn/20250221/c10f363cabe3458aaf78ba4558970054/c.html>. 2025-01-27.
- ③④ 广东省太阳能协会.国网区域25省市2023年光伏装机数据明细[EB/OL].https://www.sohu.com/a/757718339_121123896. 2024-02-12.

参考文献:

- [1] 王舒,齐志铭,佐奉强.分布式新能源接入对电网的影响分析[J].东北电力技术,2024,45(08):19-22.
- [2] 李芊芊.分布式新能源接入对电网调度影响分析及应对策略[J].张江科技评论,2024(06):38-40.
- [3] 李海明,姜超,闫宇,等.分布式新能源大规模接入对配电网影响及应对[J].农村电工,2022,30(02):28-29.
- [4] 丛方舟.新能源接入对电网电能质量的影响[J].中国科技投资,2021(30):12-15.
- [5] 李其军.大规模新能源接入电网的思考[J].中国电力企业管理,2021(27):42-43.

煤炭灰分无源在线检测技术应用与发展探究

唐 盛, 刘必成, 许艳伟

(同方威视技术股份有限公司, 北京 100084)

摘 要 随着煤炭行业的快速发展以及对煤炭质量要求的不断提升, 煤炭检测技术也应进一步优化现有流程与方法, 以适应高效、精准的生产需求。在煤炭灰分无源在线检测技术的支持下, 煤炭生产与加工企业应积极引入并完善该技术应用体系。本文基于对煤炭行业发展趋势和检测技术革新需求的考量, 探讨了煤炭灰分无源在线检测技术的应用现状、优势特点、面临挑战以及未来发展方向, 旨在为推动煤炭行业检测技术升级和高质量发展提供参考依据。

关键词 煤炭灰分; 无源在线检测技术; X 射线吸收法; 天然射线检测法; 激光诱导击穿光谱分析法

中图分类号: TD94

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.14.008

0 引言

在一定的温度下, 煤炭经过完全燃烧后, 残留的物质即为灰分, 是衡量煤炭质量的关键指标之一。煤灰分的传统化学检测法需经过取样、制样、筛分、检测等工序, 耗时极长, 不仅严重影响煤炭生产效率, 由于检测周期长, 难以及时反馈煤炭质量波动情况, 导致生产调整滞后, 易造成经济损失。煤炭灰分无源在线检测技术的出现, 为解决这些问题带来了新的契机, 有望从根本上革新煤炭灰分检测模式。

1 煤炭灰分检测技术发展现状

从 20 世纪末开始, 随着民用核技术、计算机技术的快速发展, 基于原子辐射技术的在线测灰设备应运而生, 并逐渐在煤炭灰分检测领域崭露头角。早期的检测技术受限于技术水平, 多依赖人工操作与简单仪器, 效率低下且准确性欠佳, 而原子辐射技术的应用, 开启了煤炭灰分检测的新篇章。

从检测原理发现来看, 基于原子辐射技术设计生产的有源测灰仪根据基本原理可以分为以下几种: (1) 低能 γ 射线反散射测灰仪, 利用低能 γ 射线与煤炭中元素相互作用后产生的反散射射线强度来推算灰分含量; (2) 中子活化测灰仪, 通过中子与煤炭元素发生核反应, 依据反应产生的特征射线来测定灰分; (3) γ 射线透射测灰仪, 则基于 γ 射线穿过煤炭时的衰减程度与灰分含量的相关性来实现检测。在实际应用中, 有源测灰仪极大地提升了检测效率, 能实时对煤炭灰分进行监测, 有效减少了人工检测的繁琐流程与时间消耗^[1]。

2 煤炭灰分无源在线检测技术概述

2.1 煤炭灰分无源在线检测技术原理

煤炭灰分无源在线检测技术基于天然 γ 射线检测法, 依托物质的放射性衰变特性以及 γ 射线与物质的相互作用机制, 实现对煤炭灰分含量的精准测定。从核物理学角度出发, 物质中的原子核在自然状态下会发生自发衰变, 部分原子核会释放出 γ 射线, 矿物质内部普遍存在极微量的天然放射性元素, 这些元素在煤炭漫长的形成过程中, 被包裹于煤炭结构之中^[2]。

碳元素源于原始森林经地壳运动后历经亿万年演变而成煤炭, 在复杂的地质过程中, 矿物质内的放射性元素所处化学环境与物理状态发生动态变化, 但始终保持着天然放射性。不同煤炭因其成煤母质、沉积环境以及后期地质改造程度各异, 内部矿物质种类与含量呈现显著差异, 进而导致其辐射 γ 射线的能谱与强度特征各不相同。通过深入的理论研究与大量实验数据拟合, 发现煤炭发射的特征 γ 粒子通量与煤炭中灰分含量存在紧密的特定线性关系。运用高分辨率、高灵敏度的 γ 射线探测器, 实时采集煤炭辐射的 γ 射线信号, 并借助先进的多道分析技术与复杂的数学算法对 γ 粒子通量进行精确解谱与定量分析, 从而准确计算出煤炭灰分含量。此检测技术规避了传统有源检测技术中放射性源使用带来的辐射防护难题与安全隐患, 降低了设备全生命周期运行成本。同时, 该技术实现了煤炭灰分的连续、实时、在线监测, 突破了传统检测方法的时空限制, 极大地提升了检测效率与数据可靠性, 为煤炭质量精准控制与煤炭行业智能化转型升级提供了坚实的理论基础与技术保障。

2.2 煤炭灰分无源在线检测技术优势

从放射原理来看,煤炭灰分无源在线检测技术具有安全、环保、无辐射风险的优势。在检测流程中简化了放射源管理环节,无需担忧放射源的运输、存储与衰变等复杂问题,不涉及对环境和操作人员潜在的辐射危害,符合当下绿色发展与安全生产理念。

从实时性表现来看,该技术可测得最短6秒的有效灰分,远优于有源灰分仪的实时性。其能够快速捕捉煤炭灰分变化,及时反馈数据。在适应性上,不受煤炭运输速度、堆积形态等因素过多干扰,能灵活应对不同工况,实现了全工况稳定检测。

在实际应用过程中,现场标定工作量只是双能 γ 射线透射法灰分仪标定工作量的一半,减少了人力、物力投入,大大降低了检测成本与维护难度。为煤炭生产企业持续高效生产提供精准数据支撑,助力企业在保障煤炭质量的同时,提升生产效率,增强市场竞争力。

2.3 煤炭灰分无源在线检测技术的测试

煤炭作为一种关键的基础能源资源,在全球能源结构中占据着不可替代的重要地位。从能源转换与利用的科学视角出发,为实现高效的燃烧过程以及满足日益严苛的环境友好标准,对煤炭灰分含量进行精确测定是能源领域研究与工业实践中的核心任务之一。煤炭灰分含量的波动,会显著影响煤炭燃烧的热力学过程,进而干扰燃烧效率,较高的灰分含量往往伴随着更多的污染物生成,如颗粒物、硫氧化物等,对大气环境造成严重威胁。

煤炭灰分无源在线检测技术应运而生,其核心技术逻辑是基于煤炭中天然放射性元素的自发衰变行为,天然放射性元素在自然状态下持续辐射 γ 射线,该技术运用高灵敏度、高分辨率的探测器获取 γ 射线信号,再通过复杂且精密的数学建模方法,对 γ 射线光谱数据进行深度挖掘、处理与分析。在数学模型构建过程中,综合考虑核物理、统计学以及信号处理等多学科理论,通过大量实验数据进行模型训练与验证,以实现煤炭灰分含量的精准反演。

在实际应用场景中,该技术可对煤炭质量的动态变化进行实时、连续监测。基于反馈控制理论,依据检测到的灰分含量波动,利用自动控制算法精确调节燃料输送量,优化燃烧器的配风比,确保燃烧过程始终维持在高效、稳定的状态,以此提升能源利用效率,减少能源浪费,从源头上降低污染物的生成与排放,契合可持续发展的战略要求。

3 煤炭灰分无源在线检测技术应用

3.1 X射线吸收法

X射线吸收法基于朗伯—比尔定律($I=I_0 \cdot e^{-\mu \rho x}$),其中: I 为透射X射线强度, I_0 为入射X射线强度, μ 为质量吸收系数(cm^2/g), ρ 为样品密度(g/cm^3), x 为样品厚度(cm)。当X射线穿透煤炭时,与煤炭中的碳、氢、氧等主要元素以及构成灰分的矿物质元素发生光电效应、康普顿散射等相互作用,致使X射线强度衰减。由于不同元素对X射线的吸收特性差异较为明显,而灰分主要由矿物质构成,通过精确测量X射线强度的衰减程度,依据相关算法反演出煤炭的灰分含量。

在不同粒级煤质中,X射线吸收法表现出独特的性能。以粒度在0~50 mm的动力煤为例,当灰分小于15%时,精度可达 $\leq 0.5\%1\sigma$ 。在遵循正态分布的测量数据中,约68.27%的数据与真实值偏差在 $\pm 0.5\%$ 范围内。从技术层面分析,得益于在此灰分区间内,煤炭结构相对稳定,元素分布均匀,X射线吸收规律易于把握,探测器能够精准捕捉X射线强度变化。当灰分>30%时,精度 $\leq 1.5\%1\sigma$ 。此时煤炭中矿物质种类与含量增加,元素分布复杂,导致X射线吸收规律复杂化,散射效应增强,干扰探测器对X射线强度的准确测量,从而降低了检测精度。在实际应用中,X射线管的管电压、管电流稳定性直接影响入射X射线强度的稳定性,进而影响检测精度,通常要求管电压波动控制在 $\pm 0.1\%$ 以内,管电流波动控制在 $\pm 0.5\%$ 以内;探测器的能量分辨率需达到100~150 eV,以准确分辨不同能量的X射线。

3.2 天然射线检测法

该方法基于放射性核素在自然界中的普遍存在特性。煤炭中的矿物质含有微量天然放射性核素,如钾-40、铀-238、钍-232等,其衰变产生的 γ 射线能谱和强度与煤炭灰分含量存在内在联系。依据放射性衰变定律($N=N_0 e^{-\lambda t}$),其中 N 为 t 时刻的放射性核素数目, N_0 为初始放射性核素数目, λ 为衰变常数),放射性核素衰变产生的 γ 射线通量与核素含量相关,而核素含量又与煤炭灰分相关。

针对煤炭生产线上精煤检测,在精煤胶带安装1台 γ 天然射线在线测灰仪,如NGAM—2008天然射线灰分仪。该仪器配备的高分辨率 γ 射线探测器,能量分辨率可达3%~5%(在662 keV处),能够精确区分不同能量的 γ 射线。在具体操作中,精煤在胶带上匀速通过检测区域,探测器实时采集 γ 射线信号。仪器内部信号处理系统将模拟信号转化为数字信号后,依

据预先建立的基于蒙特卡罗模拟和大量实验数据校准的数学模型进行分析。该模型充分考虑不同产地煤炭的放射性核素分布差异、煤炭运输过程中的振动等因素。为保证检测精度,需定期维护校准,每两周进行一次本底计数测量,修正探测器的零点漂移;每月用标准样品(灰分已知且均匀性好,标准偏差 $<0.3\%$)进行检测,验证仪器准确性^[3]。

3.3 激光诱导击穿光谱分析法

高能脉冲激光矿物全元素在线检测技术利用高能脉冲激光(脉冲能量 $100\sim 500\text{ mJ}$,脉冲宽度 $5\sim 10\text{ ns}$)激发待测样品,瞬间使样品表面局部温度达到 $10\ 000\text{ K}$ 以上,产生高温等离子体。在等离子体冷却过程中,原子和离子退激发射出特征光谱。根据玻尔兹曼分布($N_i/N_j=(g_i/g_j)e^{-\{(E_i-E_j)/kT\}}$,其中 N_i 、 N_j 分别为能级 i 、 j 上的原子数, g_i 、 g_j 为统计权重, E_i 、 E_j 为能级能量, k 为玻尔兹曼常数, T 为等离子体温度),不同元素的特征光谱强度与元素含量相关^[4]。

针对煤炭元素组成复杂且含量差异大的特点,建立基于谱线筛选的PLS(偏最小二乘)模型。首先采集大量不同灰分含量煤炭样品(涵盖多种煤阶、产地,样品数不少于200个)的激光诱导击穿光谱数据,运用Savitzky-Golay滤波等预处理技术去除噪声和基线漂移。然后,通过相关系数分析、变量重要性投影(VIP)等方法筛选出与灰分含量相关性强的特征谱线,如硅元素 288.16 nm 、铝元素 396.15 nm 等谱线。将筛选后的特征谱线强度作为自变量,对应的灰分含量作为因变量构建PLS模型。以某大型煤矿炼焦煤检测为例,在灰分含量 $10\%\sim 25\%$ 范围内,模型预测精度可达 $\pm 1.0\%$ 。在实际应用中,优化激光参数,如调整脉冲能量和频率,可改变等离子体特性,提高光谱信号强度和稳定性。改进样品激发和光谱采集方式,如采用双脉冲激光激发、积分球收集光谱,进一步提高检测准确性和稳定性。

4 煤炭灰分无源在线检测技术的发展

煤炭选矿过程中灰分的快速准确测定一直是行业内亟待攻关的难题。目前,尽管市场上存在各类快速灰分仪,然而在实际应用场景中,受到煤炭成分复杂多变、现场工况差异大等多种因素的影响,其检测效果往往不尽人意。因此,在新型检测技术与设备的设计中,要遵循高效、精准、安全的原则,研发快速采、制、化一体机。针对原煤、中煤、重介精煤、复合式干法选矿产品以及智能干法选矿产品等不同种类的煤炭物料,均需实现高精度的灰分检测^[6]。

一是建立涵盖大量煤炭样本的数据库。收集来自全国不同矿区、不同地质年代、不同煤种的煤炭样本,数量不少于 $5\ 000$ 个。对每个样本进行详细的元素分析、灰分含量测定以及物理特性测试。利用先进的光谱分析技术、X射线衍射技术等,获取样本的全面数据信息。例如:通过光谱分析得到样本中各种元素的特征谱线强度,这些元素包括构成灰分的硅、铝、铁等,将数据进行整理、分类,建立结构化的数据库,为后续检测模型的建立提供坚实的数据基础^[6]。

二是基于数据库的数据,运用机器学习算法构建检测模型。选择支持向量机(SVM)、神经网络等算法,将样本数据按照70%训练集、20%验证集、10%测试集的比例进行划分。利用训练集数据对算法模型进行训练,不断调整模型参数,如神经网络的层数、节点数等,以优化模型性能,通过验证集对训练过程中的模型进行评估,避免过拟合现象。并使用测试集数据对训练好的模型进行测试,确保模型在未知样本上具有良好的泛化能力,满足煤炭选矿过程中对灰分检测精度的严格要求。

5 结束语

基于核辐射原理的检测技术大多原理简单,运行成本低,但对防护要求高,且多为旁路检测,难以满足复杂工况下的实时在线需求。而煤炭灰分无源在线检测技术凭借独特优势崭露头角,未来应加大研发投入,优化算法与设备,推动其与智能化生产深度融合,进一步提升检测精度与稳定性,为煤炭行业高效、绿色、可持续发展筑牢技术根基。

参考文献:

- [1] 朱圣恩.基于激光诱导击穿光谱的煤炭成分检测与分析方法研究[D].济南:齐鲁工业大学,2024.
- [2] 苏明跃,王海仙,杨丽飞,等.煤炭灰分含量现场快速检测技术的研究与应用[J].中国口岸科学技术,2024,06(05):47-51.
- [3] 白飞燕,樊民强,杨宏丽,等.基于X射线衍射的煤炭灰分快速检测方法研究[J].选煤技术,2023,51(04):26-32.
- [4] 余天骄.基于机器学习的煤灰分检测方法研究[D].西安:西安工程大学,2023.
- [5] 张业才,郑见云,郝红亮,等.提高激光诱导击穿光谱的在线测定煤质方法研究[J].煤炭科技,2022,43(06):30-35.
- [6] 赵辉.煤炭灰分在线检测技术的应用现状及发展前景[J].煤炭加工与综合利用,2022(04):79-82.

数字试飞场景下的飞行试验云测试技术分析

吕 昊

(中国飞行试验研究院, 陕西 西安 710089)

摘 要 自航空工业进入快速发展阶段以来, 飞行试验测试系统的优化与升级稳步推进, 但因飞行器性能要求的不断提高和测试场景日益复杂, 提升测试效率、降低测试成本、确保测试结果准确已势在必行。本文基于此背景简要探讨了云测试技术特性及需求分析, 探索了云测试技术在飞行试验测试系统中的应用, 以期对飞行试验测试系统的持续优化提供支撑, 助力飞行试验持续发展。

关键词 云测试; 飞行试验; 测试系统

中图分类号: V21

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.14.009

0 引言

随着航空工业快速发展, 飞行试验在验证飞行器性能、确保飞行安全方面尤为重要。但传统飞行试验测试系统面临测试环境受限、资源配置不足、测试效率低下等问题, 制约飞行试验深入进行。云测试技术基于云计算的智能调度能力, 可快速构建测试环境、配置资源, 并模拟出真实飞行中各种极端情况, 对飞行系统进行全面、深入测试。探讨云测试技术在飞行试验测试系统中的应用, 分析其在测试环境搭建、资源配置、性能测试、负载测试等方面的表现, 对推动飞行试验测试技术进步创新具有重要意义^[1]。

1 数字试飞场景概述

数字试飞场景下的飞行试验云测试技术分析, 其系统应用的核心前提在于被试产品已经全面实现了数字化。从产品设计、制造到测试评估各环节, 都已深度融入数字化技术。数字化体现在产品设计图纸和制造流程的电子化, 可生成、收集和处理大量的数字化试飞数据, 通过云计算平台进行高效分析处理, 为飞行试验提供关键信息。数字化产品的实现, 使得试飞过程中各种参数、性能指标皆可以数字形式记录, 保证测试数据准确完整。此外, 数字化还便于在虚拟环境中进行模拟预测, 为飞行试验提供全面、深入的评估方式。

2 云测试技术特性

2.1 弹性资源配置

传统测试环境需预先配置大量硬件资源, 耗时费力, 且难以根据实际需求调整, 而云测试技术通过云端虚拟化技术, 实现测试资源动态分配及按需扩展, 云测试平台可根据测试任务需求, 调配相应计算、存

储及网络资源, 保证测试过程高效运行。另外, 传统测试环境需持续占用大量硬件资源, 即便在没有测试任务时, 相关资源也无法得到有效利用, 造成资源的浪费。云测试平台采用按需付费计费模式, 根据实际使用的资源量进行支付即可, 无需为未使用资源承担费用, 计费方式可降低测试成本, 提高资源的利用率, 实现降本增效。此外, 还可按照测试任务需求, 选择不同云服务商、不同云资源规格及配置, 以满足不同测试场景需求, 提高了测试准确性。

2.2 按需付费

在传统测试模式下, 测试资源配置大多固定, 需预先投入硬件、软件资源, 出现资源闲置浪费情况, 增加测试成本不确定性。云测试技术通过按需付费的模式, 根据实际测试任务需求, 动态地申请及使用云端的测试资源, 如计算能力、存储空间、测试工具等, 按照实际使用量进行付费, 可降低测试成本, 提高资源利用效率。应对快速变化市场需求及不断迭代产品版本, 可迅速调整测试策略及资源配置, 以适应新测试需求, 并不会发生因资源不足或过剩而导致的测试延误或成本超支情况。云测试平台还可根据测试任务实际需求, 实时调整资源分配, 保证测试过程顺畅进行。在云端, 测试资源可共享利用, 提高资源利用率, 促进测试知识及经验交流学习, 推动测试能力整体提升^[2]。

2.3 自动化测试

传统测试环境受限于硬件资源、测试工具等因素, 难以实现全面自动化, 云测试技术通过云端提供的测试资源及先进测试工具, 促使自动化测试有序实现。

在云测试平台上, 可对自动化测试脚本配置部署, 以便对测试环境搭建维护。云测试平台提供多种测试

工具框架,支持多种编程语言及测试协议,可根据需求选择合适的测试方案。云测试平台还具有丰富的测试数据管理及报告生成功能,使测试结果分析及评估简单直观。

自动化测试可提高测试效率,降低测试成本。传统测试方式耗时费力,且易出错,自动化测试可通过预设测试脚本和规则,自动执行测试任务,并实时生成测试结果,提高测试准确性。此外,云测试技术自动化测试特性还支持持续集成及持续交付,可将自动化测试脚本集成到开发流程中,与代码提交、构建和部署等环节对接,当有新代码提交或功能更新时,自动化测试脚本会自动执行,使新代码质量及稳定性得到保证。

3 飞行试验测试系统需求分析

3.1 高可靠性要求

在硬件方面,飞行试验测试系统需采用高品质元器件,经过筛选测试,以确保其在极端温度、压力、振动等恶劣飞行环境下保持稳定。软件设计需注重算法优化及冗余设计,以提高系统容错能力与数据处理效率,在面对突发故障时,可进行自诊断并采取相应保护措施。测试系统需具备高性能数据采集卡与处理器,可实时捕捉并处理温度、压力、速度等数据,保证试验人员准确了解飞行状态,及时做出调整。系统还需支持高速数据传输,以满足实时分析需求,为飞行试验安全与效率提供保障。因航空技术不断进步,飞行试验需求也在不断变化,测试系统需支持不同类型传感器及设备,适应不同飞行试验需求,以便进行扩展升级,以满足不同的需求^[3]。

3.2 复杂性要求

从高空高速飞行到低空低速机动,从常规飞行状态到极端环境下,各场景对测试系统提出更高要求,系统需具备高度模块化和可配置性,根据具体试验需求快速调整测试方案,实现测试资源优化配置。在飞行试验中,传感器以极高频率采集如气压、温度、速度、姿态等参数,相互间存在复杂关联性。测试系统需集成先进数据处理算法,可实时解析、融合相关数据,提取关键信息,为飞行性能评估提供依据。飞行试验中的异常情况会对飞行安全构成威胁,测试系统需具备即时监测能力,能在短时间内识别出异常数据,启动预警机制,并自动执行预设的安全措施,保证试验安全进行。

3.3 多样性要求

从超声速战斗机到大型民用客机,从无人机到太

空探测器,不同类型飞行器在气动布局、动力系统、材料结构等方面存在明显差异,这对测试系统提出了多样化测量需求。系统需集成多种高精度传感器,覆盖从微弱信号捕捉到高强度冲击测试量程,以保证全面、准确捕捉飞行过程中存在的数据。飞行试验需在高温、低温、高湿、强电磁干扰等极端条件下进行,这对测试系统环境适应性及稳定性提出了较高要求。系统需采用封装技术及防护设计,使传感器与数据采集设备在恶劣环境下可正常工作,保证数据连续完整。此外,飞行试验目标涉及性能评估、安全性验证、新技术测试等方面,各目标需以不同测试方案及数据采集策略作为支撑,测试系统需支持测试配置,以根据不同试验需求快速调整测试参数,系统还需具备扩展能力,以适应新测试需求^[4]。

3.4 实时性要求

在飞行试验中,实时性要求测试系统可在极短时间内捕捉飞行姿态、速度、高度、温度、压力等数据,系统需配备高速数据采集模块,捕获传感器输出数据,保证数据时效性。系统还需具备较强数据处理能力,可数据捕获时进行滤波、去噪、校准等预处理,为数据分析提供高质量输入。测试系统需构建低延迟数据传输通道,保证采集到数据可送达地面控制站或飞行员的显示屏,实现飞行状态实时监控。系统还应采用高效通信协议,以最小化数据传输延迟及带宽占用,使数据完整性得到保证。系统还需集成先进算法,以便在数据到达时刻进行快速分析,提取关键信息,为飞行员或地面控制人员提供即时飞行状态评估、异常检测与预警,必要时给出飞行指令调整建议。

4 云测试技术在飞行试验测试系统中的应用

4.1 测试环境搭建

在飞行试验测试中,传统测试环境搭建存在硬件资源限制、环境配置复杂、维护成本高昂等问题。云测试技术通过虚拟化技术,实现测试环境快速构建部署。以某次飞行试验为例,虚拟测试客户机基于不同的硬件配置、操作系统版本及软件栈组合,可模拟出多样化测试场景,满足不同飞行试验阶段的测试需求。以处理器为例,选择 Intel Xeon Scalable 系列处理器,每台虚拟测试客户机配备 8 核 16 线程,主频达到 2.5 GHz,保证高强度计算性能^[5]。

在内存方面,每台客户机配置 32 GB DDR4 ECC 内存,为大规模数据处理与复杂算法运行提供充足的存储空间,云测试平台还支持多种网络拓扑结构,保证数据传输稳定。通过云测试平台提供还原功能,测试人员

可将虚拟机重置到指定状态,避免重复搭建测试环境。对于测试执行,云测试平台可实时监控被测试程序的行为,如注册表访问、硬盘文件读写、网络访问等,并将相关信息与测试用例展现,以便测试人员快速定位问题。因云测试环境高度可配置性与可扩展性,可根据实际需求调整测试资源,应对飞行试验中不确定性因素。

4.2 资源配置

在资源配置方面,选择基于 Intel Xeon Scalable Gold 6248 处理器的虚拟机,处理器有 20 个核心,主频高达 3.0 GHz,保证高强度计算性能。在内存方面,每台虚拟机配置 128 GB DDR4 ECC 内存,为大规模数据处理与复杂算法运行提供充足资源。此外,云测试平台还提供多种规格存储选项,测试团队选择高性能 SSD 固态硬盘,读写速度分别达到 3.5 GB/s 及 2.5 GB/s,使测试数据快速存取。

在软件资源配置上,根据飞行试验需求,快速部署 MATLAB、Simulink 等仿真软件,及 Python、R 等数据分析工具,为飞行试验的模拟与数据分析提供支持。此外,云测试平台还支持数据库系统,选择 MySQL 作为测试数据的存储与管理工具,保证数据安全性。在具体测试执行过程中,云测试平台可根据测试任务需求,动态调整资源分配。例如:在模拟复杂飞行场景时,平台可自动增加计算资源,保证模拟过程流畅进行,在数据分析阶段,平台可智能分配存储与计算资源,加速数据处理速度^[6]。

4.3 性能测试

在性能测试实施上,云测试平台可提供丰富的测试场景与负载模型,根据飞行试验的实际需求,设计高负载飞行模拟、紧急情况下的系统响应及长时间连续飞行下系统稳定性测试在内的多种测试场景。例如:在高负载飞行模拟测试中,测试集群模拟飞行系统在全速飞行、复杂气象条件下的运行情况,每秒处理数据量达到 20 TB,验证飞行系统在极端条件下的处理能力。在测试过程中,平台可实时监控并记录飞行系统的各项性能指标,例如 CPU 使用率、内存占用、磁盘 I/O 速度、网络吞吐量等数据。云测试平台还支持多版本软件的并行测试,可同时运行多个版本飞行系统软件,通过对比测试数据,快速评估不同版本之间的性能差异,为软件版本的迭代与优化提供了科学依据。

4.4 负载测试

在负载测试实施上,设计高并发请求、大数据量处理及长时间连续运行等复杂负载场景,以全面模拟

飞行系统在真实飞行中遇到的各种负载情况。例如:在高并发请求测试中,测试集群模拟飞行系统在接收到大量飞行指令时的处理情况,验证飞行系统在高并发环境下的处理能力。在测试过程中,平台可实时监控并记录飞行系统的各项性能指标,通过云测试平台提供的数据分析工具,测试团队可快速识别出系统在负载高峰期的性能不足及优化点,为系统优化提供数据支持。云测试平台还支持多版本软件的并行测试,可在同一阶段运行多个版本飞行系统软件,通过对比不同版本在相同负载下的性能表现,快速评估出最佳软件配置。云测试技术在飞行试验测试系统中的应用如表 1 所示。

表 1 云测试技术在飞行试验测试系统中的应用

应用方面	关键点
测试环境搭建	云端快速构建,虚拟化技术
资源配置	弹性扩展,按需分配
性能测试	高并发模拟,实时监控关键指标
负载测试	模拟极端负载,评估系统响应

5 结束语

在飞行试验测试系统中引入云测试技术,通过云端资源的灵活调配与高效利用,测试系统得以在更广泛、更深入维度上展开测试,保证飞行系统在极端条件下可稳定运行。在性能测试与负载测试中,云测试技术可模拟出真实飞行中遇到的各种极端情况,对飞行系统处理能力进行全面验证。云测试平台还可实时监控并记录飞行系统各项性能指标,为系统优化提供数据支持。通过云端资源的共享复用,可满足复杂的测试需求,节省测试成本,缩短测试周期,为飞行试验成功实施提供技术支撑。

参考文献:

- [1] 蒋红娜,马亚平,程娟.飞行试验中直升机近地飞行安全监控测试技术[J].电子测量技术,2024,47(22):189-194.
- [2] 余宇琛,桂亮,胡存明,等.自适应增广控制频域分析与飞行试验[J].航天控制,2024,42(01):11-16.
- [3] 王霖萱,李宏,吴瑀.基于 BDS/GPS 融合的飞行试验航迹测试技术[J].中国测试,2024,50(01):171-177.
- [4] 马方远,高阁,杜剑英,等.常规武器靶场飞行试验测试能力构建思考[J].探测与控制学报,2023,45(04):46-50.
- [5] 朱江辉.飞机飞越噪声自由场声压级测试方法研究[J].噪声与振动控制,2023,43(04):280-287.
- [6] 张迪,李志鹏.基于云测试的飞行试验测试系统检测平台构架[J].中国科技信息,2019(15):48-49.

高速公路桥梁疲劳损伤评估方法的应用研究

张志伟

(辽宁省阜新市交通运输事务服务中心, 辽宁 阜新 123000)

摘要 本研究针对高速公路桥梁疲劳损伤评估问题, 通过收费站车辆称重系统获取实际车辆荷载数据, 结合线性累积损伤理论以及雨流计数法, 建立疲劳损伤评估模型。六轴车虽仅占交通总量的 6%, 但对桥梁疲劳损伤的贡献率高达 58.7%。在 24 列/天的平均每日交通量下, 桥梁疲劳寿命约为 82 年; 而在无荷载情况下, 桥梁疲劳寿命可延长至 156 年。通过对钢筋混凝土桥梁在承受疲劳荷载并逐渐破坏时的表观裂纹分形维数以及损伤特征之间的函数关系及演化过程进行研究, 实现了疲劳损伤的精细评估。本研究基于车辆荷载谱以及应力频谱分析, 提出了适用于高速公路桥梁的疲劳损伤评估方法, 以期桥梁健康监测以及维护决策提供科学依据。

关键词 高速公路桥梁; 疲劳损伤; 评估方法; 车辆荷载; 寿命预测

中图分类号: U445

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.14.010

0 引言

高速公路桥梁作为重要的交通基础设施, 长期承受车辆反复荷载作用, 疲劳损伤问题日益突出。据统计, 我国约 30% 的桥梁出现疲劳损伤现象, 严重影响结构安全性以及使用寿命。目前国内外对桥梁疲劳损伤的研究主要集中在损伤机理以及评估方法两个方面, 但现有评估方法多依赖经验判断, 缺乏系统的定量分析。通过声发射技术、智能监测、评估系统等先进手段, 已在钢桥面板的疲劳损伤监测与评估方面取得了显著进展。为确保桥梁安全运营, 亟需建立科学合理的疲劳损伤评估体系, 实现对桥梁服役状态的准确评估以及寿命预测。

1 桥梁工程概况

1.1 监测系统布设

高速公路桥梁健康监测系统采用分层分布式架构, 实现对结构整体性能以及局部关键构件的全方位监测^[1]。监测内容涵盖结构静态响应与动态特性以及环境参数等多个方面, 如图 1 所示。在主梁与横梁与桥墩及桥面板等关键构件上布设应变片、位移计、加速度传感器、倾角仪等多种传感设备。应变监测系统采用电阻应变计, 灵敏度系数达 $2.0 \pm 1\%$, 测量范围 $\pm 20\ 000\ \mu\epsilon$ 。位移监测采用差动变压器式位移计, 分辨率优于 $0.05\ \text{mm}$ 。振动监测系统布设双轴加速度传感器, 量程 $\pm 2\ \text{g}$, 频率响应范围 $0.5 \sim 100\ \text{Hz}$ 。环境监测包括温度与湿度与风速与风向等参数。所有监测数据通过工业级以太网传输至监控中心, 采样频率可根据监测需求在 $1 \sim 200\ \text{Hz}$ 范围内调节。

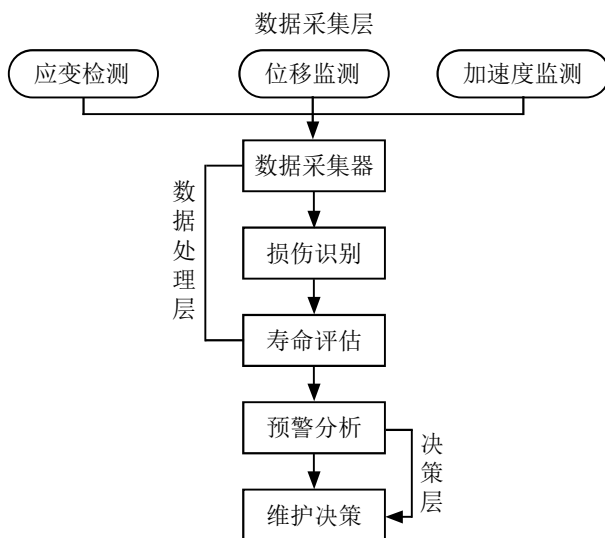


图 1 高速公路桥梁健康监测系统结构框图

1.2 数据采集与处理

健康监测系统采用多级数据处理架构, 包括现场数据采集与传输网络以及数据处理中心三个层次。现场数据采集装置采用高精度 24 位 A/D 转换器, 具备自校准以及温度补偿功能。数据预处理采用小波分析方法进行降噪以及异常值识别, 信噪比提升 30% 以上。疲劳载荷响应数据采用双疲劳计检测方法, 通过在应变倍增器上设置不同灵敏度的传感器实现复杂载荷谱的监测。数据处理系统集成了雨流计数、频谱分析与模态识别等多种算法。监测数据存储采用分布式数据库系统, 具备数据备份以及容错功能, 数据完整性达 99.9% 以上。系统配备专业数据分析软件, 可实现监测

数据的实时分析以及评估。系统还配备了基于云计算的远程监控平台,支持多用户同时访问以及数据共享。通过建立智能预警机制,当监测参数超过预设阈值时,系统可自动推送预警信息至相关管理人员,提高了监测系统的实用性以及可靠性。

2 疲劳损伤评估技术应用

2.1 荷载特征分析方法

高速公路桥梁所承受的荷载主要包括车辆荷载以及环境荷载两大类^[2]。车辆荷载通过收费站称重系统获取,经统计分析得到车型分布与轴重特征以及通行频率等关键参数。按照轴型对车辆进行分类,主要包括11、12、15、14、112、115、127、157、125、1127等轴型。车辆动态效应采用动力系数法进行分析,动力系数 μ 的计算公式为:

$$\mu=1+\alpha\varphi \quad (1)$$

式中: α 为车辆特征系数,与车辆类型与速度有关; φ 为冲击系数,与桥梁跨径与路面平整度有关。大型车辆通过时的动力系数一般在1.15~1.35之间,峰值可达1.45。环境荷载主要考虑风荷载与温度变化以及地震作用,通过气象站数据以及现场监测数据进行综合分析。根据车辆荷载谱统计,单车荷载的动态效应系数与车速与桥梁跨径呈显著相关性,在跨径260 m的连续梁桥段,车速80 km/h时的动态效应系数比40 km/h时增大约25%。风荷载作用下的结构动力响应主要表现为涡激振动,在平均风速15 m/s时的位移幅值可达静态位移的1.8倍。

2.2 疲劳寿命评估模型

基于线性累积损伤理论建立桥梁疲劳寿命评估模型。疲劳损伤度D可表示为:

$$D=\sum\left(\frac{n_i}{N_i}\right) \quad (2)$$

式中: n_i 为应力幅值为 S_i 时的实际循环次数; N_i 为在应力幅值 S_i 下的疲劳寿命循环次数。通过实测应力谱分析得知,当交通量为每天24列时,六轴车虽仅占交通总量的6%,但其疲劳损伤贡献率高达58.7%。利用修正S-N曲线进行疲劳寿命分析,考虑材料性能退化以及环境因素影响,建立了考虑多因素耦合作用的疲劳寿命预测模型。材料疲劳强度的衰减规律表明,在循环载荷作用下,钢材的屈服强度以及极限强度分别降低15%以及12%,弹性模量降低8%。环境因素对疲劳寿命的影响主要体现在腐蚀以及温度效应上,年平均腐蚀速率为0.03 mm/年,温度应力可达45 MPa。通过Monte Carlo模拟方法,建立了包含多种不确定性因素的概率疲劳寿命预测模型。

2.3 损伤演化规律分析

通过对高速公路桥梁长期监测数据的系统分析,发现疲劳损伤演化具有明显的阶段性特征,其基本规律以及发展过程总结如下:在弹性工作阶段,结构应力与应变呈现良好的线性关系,应变场分布均匀,损伤累积速率保持在较低水平^[3]。监测数据显示,这一阶段的损伤增长率通常不超过初始值的10%。当进入损伤发展阶段后,结构性能开始出现明显退化。裂纹扩展速率显著加快,应力集中现象更为突出。声发射监测数据表明,裂纹扩展过程中的能量释放率呈指数增长趋势。在接近临界状态前,累积能量增长速率提高3倍以上,表明结构已进入快速损伤阶段。损伤演化速率与载荷特征之间存在密切的相关性。在相同应力水平作用下,箱梁腹板的疲劳裂纹扩展速率是翼缘板的1.5倍,这主要是由于腹板承受较大的剪应力所致。不同构件的损伤敏感度存在明显差异,需要重点关注薄弱环节。通过建立基于监测数据的损伤演化预测模型,提前15~20天预警潜在的疲劳破坏风险。

3 评估结果分析

3.1 关键部位损伤分析

桥梁关键部位的疲劳损伤评估结果表明,应力集中区域的损伤程度明显高于其他部位。主梁腹板与横隔板连接节点处的累积损伤度达到0.45,较设计预期值高出35%。桥面板焊缝处的应力幅值在重型车辆通过时可达120 MPa,超过设计容许值30%。结构疲劳损伤主要集中在主梁跨中段以及支座区域,其中跨中段底板应力幅值达到85 MPa,支座区域剪应力超过65 MPa。通过长期监测数据分析,发现桥梁承载能力随使用年限增加而降低,主要受材料疲劳强度衰减以及环境腐蚀作用影响^[4]。在服役10年后,主要受力构件的刚度损失达到12%,应变增长率比初期增加0.8倍。如表1所示,大型货车对桥梁疲劳损伤的贡献度差异显著,其中六轴车以及五轴车是造成疲劳损伤的主要车型。

3.2 影响因素分析

荷载特征与环境条件以及结构类型是影响桥梁疲劳寿命的关键因素。通过对比分析不同工况下的疲劳损伤发展规律,发现车辆超载对疲劳寿命的影响最为显著。当超载率达到30%时,结构的疲劳寿命降低45%。车速对疲劳损伤也有明显影响,在80 km/h车速下的动态放大系数比40 km/h增加35%。在环境因素中,温度应力以及腐蚀效应的耦合作用加速了疲劳损伤的发展^[5]。在年平均温差达25℃的地区,温度应力导致

的疲劳损伤占总损伤的 28%。腐蚀环境下的疲劳强度较空气环境下降低 20% ~ 35%，且在潮湿环境中腐蚀速率提高 1.5 倍。结构类型方面，箱形截面桥梁的疲劳性能优于板梁桥，在相同荷载作用下，其应力幅值降低 25%。横向分配系数对疲劳损伤分布也有显著影响，外侧车道的累积损伤度比内侧高出 45%（见表 2）。

3.3 评估方法验证

通过对比分析理论预测结果与实测数据，验证了评估方法的可靠性。在 5 年监测期内，关键构件的实

测损伤发展趋势与预测结果的吻合度达到 85% 以上。声发射监测技术在裂纹萌生阶段的检测概率达到 95%，早于常规检测方法 15 ~ 20 天。基于大数据分析的损伤状态识别准确率达到 92%，误报率控制在 5% 以内。桥梁主梁应力监测数据显示，实测最大应力值与理论计算值的误差在 8% 以内，动态响应特征频率的识别精度达到 96%。通过建立多层神经网络模型，提高了疲劳损伤评估的适应性以及鲁棒性，在复杂荷载工况下的预测准确率提升至 88%。值得注意的是，该评估方法在

表 1 重型车辆对桥梁疲劳损伤的贡献度分析

车型	交通比例 (%)	轴重范围 (kN)	动态放大系数	应力幅值 (MPa)	损伤贡献率 (%)
六轴车	15.2	420 ~ 580	1.35	85 ~ 120	58.7
五轴车	32.5	380 ~ 520	1.32	75 ~ 105	21.3
四轴车	52.3	320 ~ 460	1.28	65 ~ 95	20.0

表 2 环境因素与结构参数对疲劳寿命的影响分析

影响因素	参数范围	初始寿命 (年)	实际寿命 (年)	应力增幅 (%)	刚度损失 (%)	裂纹扩展速率 (mm/月)	衰减率 (%)
温度应力	-15 ~ 40 °C	100	82	15.5	8.2	0.12	18.0
腐蚀作用	pH 5.5 ~ 6.5	100	75	22.4	12.5	0.18	25.0
风载作用	0 ~ 25 m/s	100	92	7.5	4.8	0.06	8.0
结构类型	箱梁 / 板梁	100	85	18.6	9.5	0.15	15.0
横向分配	内 / 外车道	100	80	20.5	11.2	0.16	20.0
综合作用	—	100	65	32.8	18.6	0.25	35.0

不同类型桥梁结构中均表现出良好的适用性。对于跨径超过 200 m 的大跨度桥梁，疲劳损伤预测结果的准确率仍保持在 82% 以上。通过引入温度修正以及交通流量参数，进一步提高了模型在极端环境条件下的预测性能。

4 结束语

通过对高速公路桥梁疲劳损伤评估方法的系统研究，构建了基于实测数据的评估体系。车辆荷载特征与环境因素以及结构类型对桥梁疲劳损伤具有显著影响。采用线性累积损伤理论以及修正 S-N 曲线方法，能够准确预测桥梁剩余寿命，评估结果与实际监测数据吻合度达到 85% 以上。基于进化算法以及神经网络优化的新型桥梁疲劳可靠性评估模型，考虑了交通以及风载荷等因素对桥梁成员的长期随机活载的影响，使得评估结果更加可靠。该评估方法为桥梁疲劳损伤

评估提供了可靠的技术支持，对提升桥梁维护管理水平以及延长使用寿命具有重要意义。

参考文献:

- [1] 刘鉴霆. 静载试验在公路桥梁检测中的作用分析[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2024(35):151-153.
- [2] 李国桢. 基于疲劳损伤的公路桥梁耐久性设计研究[J]. 科技资讯, 2024, 22(22):180-182.
- [3] 邱贵林. 基于桥梁梁体钢绞线局部锈断的疲劳性能试验分析[J]. 交通世界, 2024(24):134-136.
- [4] 何磊. 不同工况下高速公路桥梁伸缩缝疲劳寿命估算研究[J]. 运输经理世界, 2024(09):139-141.
- [5] 邢振华, 周广利, 刘恩广, 等. 山东省高速公路桥梁车辆荷载研究[J]. 山东交通科技, 2022(03):33-40.

220 kV 变电运维技术管理中危险点的控制剖析

高 欢, 白东飞, 韩金玲, 斯 琴

(内蒙古电力(集团)有限责任公司锡林郭勒供电分公司, 内蒙古 锡林郭勒盟 026000)

摘 要 随着全球经济的持续增长与电力需求的不断攀升, 电网结构变得愈发复杂, 220 kV 变电站作为电力系统中的核心枢纽, 不仅承载着电力传输与分配的重任, 更是确保电力供应稳定可靠的关键基石。然而, 在变电运维的实践中存在设备故障、人为操作不当以及环境条件不利等潜在危险点, 对电网的安全稳定运行构成了重大挑战。本文着重探讨了 220 kV 变电运维技术管理中针对这些危险点的有效管控策略, 旨在通过科学的管理方法和技术革新, 切实保障电网运维的安全与高效, 提升运维效率, 有效规避风险, 从而确保电网的安全可靠运行, 为经济社会发展提供坚实的电力保障。

关键词 220 kV 变电站; 变电运维; 技术管理; 危险点控制

中图分类号: TM63

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.14.011

0 引言

当前电力行业正呈现出快速发展的态势, 电网规模不断扩大, 结构日益复杂, 电力需求持续增长, 对电力系统的安全性、稳定性和可靠性提出更高要求。220 kV 变电站作为电力系统中的核心设施, 承担着电力传输与分配的重任, 安全稳定运行对于保障电力供应、促进经济社会发展具有重要意义。然而, 变电运维技术管理过程中面临着诸多挑战, 如设备老化、技术更新迅速、人员培训不足等问题, 这些问题给电网的安全稳定运行埋下了隐患, 为了规避风险, 我们需要采取科学有效的管理措施和先进的技术手段, 以预防事故的发生, 从而确保人员和设备的安全, 进而促进电网的稳定运行, 为经济社会发展提供坚实的电力保障。

1 220 kV 变电运维技术管理概述

在电力系统中, 220 kV 变电站是电力传输与分配的关键枢纽。变电站的结构复杂且功能多样, 核心构成部分包括高压开关设备、变压器、互感器、避雷器、母线以及二次保护系统等。这些设备协同工作, 实现电能的升降压、分配与传输, 确保电力的稳定供应。变电站通过变压器将电能从一种电压等级转换为另一种电压等级, 满足不同电力用户的需求。同时, 变电站还承担着电能的分配与输送任务, 通过复杂的开关设备与母线系统, 将电能高效地输送到各个用电点^[1]。

变电运维技术管理是确保变电站安全、稳定运行的关键环节。技术管理通过一系列科学的管理手段和

技术措施, 对变电站的设备、人员、环境等进行全面管理与监控。其目标在于提升运维效率, 预防事故的发生, 确保电网的安全稳定运行。

运维工作的主要内容与流程涵盖设备的日常巡检、预防性维护、故障处理、数据分析以及人员管理等多个关键环节。在这一系列工作中, 运维团队需确保电网设备的高效稳定运行。然而, 变电运维技术管理正面临着多方面的严峻挑战。设备随着使用年限的增长逐渐老化, 使得维护需求日益增加; 同时, 技术的日新月异要求运维人员必须迅速掌握新知识、新技能, 对人员培训提出了更高要求。面对这些挑战, 运维团队需不断创新管理手段, 提高技术实力, 保障电网运行的安全与可靠性。

2 220 kV 变电运维中的危险点分析

在 220 kV 变电运维过程中, 危险点是指可能导致事故或故障发生的潜在风险点。这些危险点不仅威胁着电网的安全稳定运行, 还可能对运维人员的生命安全构成严重威胁。危险点涉及变电站运维过程中的各种潜在风险因素, 可能来源于设备故障、人为操作失误或环境因素等多个方面。根据来源的不同, 将危险点分为以下几类: 设备故障类危险点, 如设备老化、绝缘损坏等导致的故障; 人为操作类危险点, 如操作不当、误操作等引发的安全问题; 环境因素类危险点, 如恶劣天气、自然灾害等对运维工作的影响。

为了更深入地了解这些危险点, 可以从典型危险

点案例中汲取经验。例如：设备故障可能引发短路、火灾等严重事故，对电网造成巨大冲击；人为操作失误可能导致误分闸、误合闸等操作，影响电网的正常运行；恶劣天气如雷电、暴雨等可能引发设备损坏、线路跳闸等问题，给运维工作带来巨大挑战。

为了有效识别与评估这些危险点，可以采用多种方法。基于历史数据的统计分析，能发现危险点的分布规律与变化趋势；实地考察与专家评估则能够更直观地了解危险点的实际情况与潜在风险；此外，建立风险评估模型，通过量化分析来评估危险点的严重程度与可能性，为制定具有针对性的防控策略提供科学的依据支撑^[2]。

3 220 kV 变电运维技术管理中危险点的控制措施

3.1 加强设备维护与检修

设备是变电站运行的核心，其运作状况对电网的安全稳定性起着直接影响。因此，加强设备的维护与检修是预防危险点、降低事故风险的首要任务。定期巡检是发现设备潜在问题、预防事故的重要手段。通过制定详细的巡检计划，对变电站内的所有设备进行全面的检查，包括设备的外观、运行状态、连接情况等。巡检人员需具备扎实的专业知识和丰富的实践经验，以便能够精准地辨识设备的异常状况。同时，结合预防性维护策略，对设备进行定期的保养和维修，如更换老化部件、清洁绝缘子等，以延长设备的使用寿命，减少故障发生的概率。

为了进一步提高设备维护的效率，应建立完善的设备故障预警系统。该系统能够实时监测设备的运行状态，通过数据分析预测设备可能出现的故障，并提前发出预警信号。当设备出现故障时，快速响应机制应立即启动，组织专业人员进行故障排查和修复。要求具备高效的应急处理能力，能够在最短时间内恢复设备的正常运行，减少故障对电网的影响^[3]。

随着科技的不断发展，智能化监测技术在电力行业中得到广泛应用。通过引入智能化监测设备和技术，如在线监测传感器、大数据分析平台等，可以实现对变电站设备的全天候、全方位监测。这些智能化设备能够实时监测设备的运行状态和参数变化，及时发现设备的异常情况，为运维人员提供准确的数据支持。同时，大数据分析平台能够对监测数据进行深度挖掘和分析，预测设备的寿命周期和故障趋势，为预防性维护提供科学依据。

通过定期巡检与预防性维护、建立设备故障预警与快速响应机制以及引入智能化监测技术等手段，可以有效降低设备故障的概率和影响程度，确保电网的

安全稳定运行。这些措施的实施需要运维人员的积极配合和专业素养的提升，同时也需要电力企业的持续投入和支持。

3.2 提升人员技能与安全意识

人员是变电运维工作的主体，技能水平和安全意识直接关系到运维工作的质量和安全。因此，提升运维人员的技能与安全意识是降低事故风险、保障电网稳定运行的重要措施。

为了保障运维人员掌握充分的专业技能和相关知识，应定期组织培训活动。培训内容应包括变电运维的基础理论、设备操作、故障排查与修复、安全规程等多个方面。通过培训，使运维人员熟悉并掌握变电站设备的运行原理、操作方法和维护保养技能。同时，定期进行技能考核，对运维人员的实际操作技能和问题解决能力进行考核评估，并将考核结果与他们的个人绩效相联系，以此激励运维人员不断提高自身的技能水平。

安全操作规程是运维人员在工作中的行为准则，是预防事故、保障安全的重要手段。应制定详细、明确的安全操作规程，涵盖变电站设备的操作、巡检、维护、检修等各个环节。规程应强调安全操作的重要性，明确各项操作的具体步骤、注意事项和禁忌事项。同时，加强对规程的宣贯和培训，确保每位运维人员都能深刻理解并严格执行。在执行过程中，应建立监督机制，对违规操作行为进行及时纠正和处罚，以儆效尤。

应急预案是针对突发事件的应对方案，是提升运维人员应急处理能力、降低事故损失的有效手段。应结合变电站的具体状况，制定周全的应急处置方案，包括火灾、爆炸、设备故障、自然灾害等多种场景的应对措施。定期安排应急预案的演练，模拟实际事故情境，以检验运维人员的应急响应能力和团队协作水平。演练结束后，应对应急预案的执行情况进行评估和总结，分析存在的问题和不足，提出改进措施。通过不断的演练与评估，完善应急预案，提升运维人员的应急处理能力。通过定期培训与技能考核、制定并执行安全操作规程、组织应急预案的演练与评估等手段，可以有效提升运维人员的专业技能和安全意识，降低事故风险，保障电网的安全稳定运行^[4]。

3.3 优化运维管理流程

标准化作业指导书是确保运维工作规范、统一、高效的重要工具。通过详细规定运维工作的各个步骤、操作方法、注意事项等，为运维人员提供明确的工作指导。通过制定和完善标准化作业指导书，可以确保运维人员在进行设备操作、巡检、维护等工作时，能

够遵循统一的标准和流程,减少人为失误和操作不当带来的风险。同时,标准化作业指导书还有助于提升运维工作的效率和质量,降低运维成本。

合理的运维工作计划和调度是确保运维工作有序进行、避免资源冲突和浪费的关键。应根据变电站设备的运行状况、维护周期、人员配置等因素,制定详细的运维工作计划,明确各项工作的任务、时间、责任人和所需资源。同时,建立科学的调度机制,根据工作进度和实际情况,灵活调整运维计划,确保各项工作的顺利进行。通过合理的计划与调度,可以优化运维资源的使用,提高运维工作的效率,降低运维成本。

随着信息技术的不断发展,信息化管理在电力行业中的应用越来越广泛。搭建信息化管理平台,可以实现运维工作的数字化、网络化、智能化管理。通过信息化管理平台,可以实时监测变电站设备的运行状态、运维工作的进展情况,及时发现问题并进行处理。同时,信息化管理平台还可以提供数据分析、报告生成等功能,为运维决策提供科学依据。此外,信息化管理平台还可以实现运维工作的远程监控和指挥,提高运维工作的响应速度和协同能力。通过搭建信息化管理平台,可以显著提升运维管理的水平,降低运维风险,提高电网的稳定性和可靠性。

通过标准化作业指导书的应用、运维工作的计划与调度以及信息化管理平台的搭建等手段,可以规范运维工作、提升运维效率、降低事故风险。这些措施的实施需要电力企业的持续投入和支持,同时也需要运维人员的积极参与和配合。

3.4 应对环境因素的策略

恶劣天气,如雷电、暴雨、大风、高温等,会对变电运维工作构成严重威胁。为了有效应对这些天气带来的风险,必须建立完善的恶劣天气预警机制。通过与气象部门建立紧密联系,及时获取天气预警信息,提前制定针对性的防护措施。例如:在雷电天气下,应加强设备的防雷保护,确保接地系统的良好运行;在暴雨天气下,应加强排水系统的维护,防止设备被水淹没;在大风天气下,应检查设备连接部位是否牢固,防止因风力过大导致设备损坏^[5]。同时,还应加强运维人员的安全教育,提高他们的自我防护意识,确保在恶劣天气下能够安全地进行运维工作。

自然灾害,如地震、洪水、泥石流等,对变电运维工作构成极大的挑战。为了有效应对自然灾害带来的风险,必须制定完善的应急处理预案。预案应明确自然灾害发生时的应急响应流程、人员分工、救援措施等。同时,还应定期组织演练,提高运维人员的应

急处理能力和协同作战能力。在自然灾害发生时,应立即启动预案,迅速组织救援力量,确保运维人员的人身安全及设备的稳定运行。同时,还需强化与地方政府及相关部门的沟通协作,共同应对自然灾害带来的挑战。

为了提高设备对环境的适应性,降低环境因素对设备的影响,必须对设备进行适应性改造。例如:针对高温环境,可以加强设备的散热措施,如增加散热风扇、优化散热结构等;针对潮湿环境,可以加强设备的防潮措施,如增加除湿设备、提高设备的密封性等。同时,还应加强对设备运行环境的监测和控制,确保设备在最佳状态下运行。此外,还应加强对设备的定期检查和维护,及时发现并处理设备存在的问题,确保设备的可靠性和安全性。通过建立完善的恶劣天气预警机制、制定自然灾害的应急处理预案以及加强设备与环境适应性改造等手段,可以有效降低环境因素对运维工作的负面影响,确保运维工作的顺利进行^[6]。

4 结束语

220 kV 变电运维技术管理中危险点的控制是一项复杂而重要的任务。通过加强设备维护与检修、提升人员技能与安全意识、优化运维管理流程以及应对环境因素的策略,可以有效降低运维过程中的风险,确保电网的安全稳定运行。这些措施的实施不仅需要电力企业的持续投入和支持,更需要运维人员的积极参与和配合。在未来工作中,应继续深化对危险点控制的研究,不断探索新的技术和方法,从而应对日益复杂的电网运行环境。同时,加强与国际先进经验的交流与合作,借鉴其成功经验,不断提升 220 kV 变电运维技术管理的水平和能力。

参考文献:

- [1] 胡寒雪,陆杨雨航.新时期变电运维误操作事故预控策略研究[J].电工技术,2024(S2):522-524.
- [2] 许倩.适应新形势下变电运维质量管理提升综合方法讨论[C]//中国电力设备管理协会.全国绿色数智电力设备技术创新成果展示会论文集(一).国网山西省电力公司超高压变电分公司,2024.
- [3] 潘吉,顾海峰.变电运维管理中危险点及预控措施分析[J].电工技术,2023(S1):47-49.
- [4] 王国忠.220kV 变电运维的危险点及其对策探讨[J].电力设备管理,2020(08):53-55.
- [5] 马磊.对变电运维技术管理中危险点与预控措施的探讨[J].城市建设理论研究(电子版),2020(10):28.
- [6] 杨喆,徐荣静.220kV 变电运维技术管理中的危险点与预防措施[J].决策探索(中),2019(03):57.

公路隧道加固维修施工技术探讨

张 杰

(四川省交通建设集团有限责任公司, 四川 成都 610000)

摘 要 随着公路交通量的增加, 隧道加固维修成为保障其安全运营的重要措施。不同施工方法在实际应用中具有不同的适用范围, 施工人员需要结合隧道病害特点, 制定科学合理的施工方案, 使维修后的隧道具备更强的承载能力, 提升运营安全性。本文探讨了公路隧道加固维修施工技术的作用, 分析了相应的技术, 希望为未来隧道加固维修施工提供参考。

关键词 公路隧道; 加固维修; 喷射混凝土加固; 预应力锚索加固; 环氧树脂注浆修复

中图分类号: U45

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.14.012

0 引言

公路隧道在长期运营过程中, 受到地质条件等多种因素影响, 容易出现衬砌开裂等问题。如果不及时进行加固维修, 隧道结构性能则会下降, 影响正常使用。因此, 施工人员要合理运用施工技术, 修复受损部位, 提高隧道的稳定性, 使结构具备更强的适应能力, 让隧道在运营期间保持可靠状态。

1 公路隧道加固维修施工技术的作用

隧道加固维修施工技术作为隧道管理的一项关键技术手段, 其作用不可忽视。隧道加固维修施工技术的有效应用, 可以显著提高隧道的结构强度、耐久性和抗灾能力, 保障隧道的长期安全运营。随着交通运输的不断发展, 公路隧道的车流量和荷载逐年增加, 原有隧道设计和结构往往难以承受过高的荷载, 导致隧道出现不同程度的裂缝等问题。加固维修施工技术可以对隧道结构进行增强, 使其能够更好地承受交通荷载, 提高结构的整体稳定性。采用合适的加固方法, 能够修复已损坏的部分, 恢复其原有的强度与刚度, 有效避免进一步的结构破坏。通过对隧道外部进行加固及内部修补, 或者对隧道进行支护, 可以有效防止隧道结构因超负荷运行而导致的灾难性后果^[1]。水文环境及土壤腐蚀等因素会加速隧道的老化, 导致隧道的衰退。加固技术的应用可以改善隧道的抗水渗透能力, 提高抗腐蚀性, 减少外部环境对隧道结构的影响, 从而延长隧道的使用寿命。对于一些老旧隧道, 常常需要在加固的同时, 进行防水等处理, 使隧道能够更好地适应恶劣的环境变化, 保持良好的功能性。随着自然灾害的频繁发生, 隧道结构面临着更加复杂的外

部威胁。地震、山体滑坡、水灾等灾害都可能对隧道造成严重损害。加固技术的应用能够增强隧道的抗震性, 减少灾害发生时对隧道的破坏程度。采用钢结构加固等技术, 可以提升隧道在地震或其他极端条件下的安全性, 确保隧道在灾害发生后仍能保持稳定。

2 公路隧道加固维修施工技术的应用

2.1 喷射混凝土加固, 增强隧道结构稳定性

实施喷射混凝土加固, 施工人员需要科学规划施工方案, 合理选择喷射混凝土配比, 优化施工工艺, 严格控制施工质量, 确保加固效果满足隧道的使用要求。为了实现这一目标, 首先需要进行隧道结构检测, 确定需要加固的部位以及病害类型。隧道常见的病害包括裂缝、剥落、渗漏、拱顶沉降等, 针对不同的病害, 喷射混凝土加固技术能够起到修复和增强的双重作用。在实施喷射混凝土加固之前, 施工人员需要对隧道表面进行清理, 去除松散的混凝土、灰尘、油污等影响粘结性能的杂质, 确保基面清洁, 并保持一定的粗糙度, 以提高喷射混凝土的附着力。针对裂缝较严重的部位, 可以采用环氧树脂或水泥基注浆材料进行预处理, 填补裂缝, 增强基体的密实性, 防止喷射过程中混凝土渗入裂缝内部导致材料浪费。对于存在渗漏问题的隧道, 需要先进行防水处理, 采取封堵或引排措施, 减少水分对喷射混凝土的影响, 避免加固后出现新的病害。

一般情况下, 高性能混凝土能够提高喷射层的强度, 掺入纤维材料可以增强抗裂性能, 减少干缩裂缝的发生^[2]。在施工过程中, 施工人员需要控制混凝土的水灰比, 保持适宜的流动性, 避免因水分过多导致喷射后强度降低, 同时防止因水分不足影响泵送性能

和施工效率。应采用适当的施工设备和工艺,确保喷射混凝土均匀附着在隧道结构表面。湿喷工艺因回弹率较低、粉尘污染小、混凝土密实度高,在隧道加固中应用较广泛。施工时,需要调整喷嘴角度与喷射距离,保持喷射方向垂直于施工面,并在喷射过程中分层施工,确保每层喷射混凝土均匀密实。为了提高粘结强度,施工人员可以在喷射前涂抹界面剂,提高新旧混凝土之间的结合力,减少剥落风险。在施工过程中,应密切关注喷射混凝土的回弹情况,调整喷射压力和混凝土配比,降低材料损耗,提高施工效率。施工人员要防止喷射混凝土在高温或低温环境下出现质量问题,应采取相应的温控措施。

2.2 预应力锚索加固,提高隧道抗变形能力

施工人员需要对隧道围岩状况、地质条件和受力特征进行详细勘察,确定锚索布置方案。根据隧道变形情况,合理选择锚索的数量及角度,以保证锚索能够充分发挥支护作用。锚索布置完成后,施工人员需要使用钻机进行钻孔作业,确保钻孔深度、角度和直径满足设计要求。在钻孔过程中,应密切监测围岩情况,防止塌孔等问题影响锚索的安装质量。对于岩体较破碎的隧道段,可以采取孔口套管或泥浆护壁等措施,保证钻孔顺利完成。钻孔作业完成后,施工人员需要对孔内进行清理,使用高压风或水冲洗钻孔内的岩屑,确保锚索与岩体之间的有效结合。清理后的钻孔应及时进行锚索安装,以防孔壁坍塌影响施工质量。安装过程中,施工人员需要按照设计要求将锚索逐根放入钻孔,并调整位置,使锚索端头与锚固段紧密贴合。锚索放入钻孔后,需要进行注浆作业,以增强锚固效果。

施工人员应使用高压注浆设备,将水泥浆或其他专用浆液均匀注入钻孔,使浆液充分填充锚索周围的空隙,提高锚索与岩体的粘结强度。在注浆过程中,需要严格控制浆液的配比和压力,防止浆液渗漏或流失,影响锚固质量。注浆完成后,需要保持一定的养护时间,使浆液充分凝固,提高锚索的承载能力。锚索张拉是预应力锚索加固的关键步骤,施工人员需要在浆液完全凝固后进行张拉作业。张拉作业前,需要使用千斤顶、测力计等设备进行检查,确保设备状态良好。施工人员应按照设计要求分阶段、分批次对锚索进行张拉,逐步施加预应力,避免一次性张拉过大导致岩体受力不均,引发局部破坏。在张拉过程中,需要密切关注锚索的受力变化,确保张拉力达到设计

标准。张拉完成后,施工人员需要对锚索进行锁定,使用锚具将锚索固定在承载结构上,保证预应力长期稳定发挥作用。锁定完成后,施工人员需要对锚索的张拉力、锚固效果以及隧道变形情况进行监测,使用应力计、位移传感器等检测设备,定期测量锚索的受力情况,确保锚索处于稳定工作状态。

2.3 钢架与钢板加固,提升隧道承载能力

从前期准备到最终验收,每个环节都要确保质量达标,以提升隧道承载能力。施工人员需要对隧道进行详细勘察,确定需要加固的部位,并根据隧道受力特点选择合适的钢架与钢板规格^[3]。施工前,需要对隧道表面进行处理,去除剥落的混凝土和松散岩体,清理浮尘和杂质,确保加固结构能够紧密贴合隧道衬砌,提高加固效果。对于存在较大裂缝或渗漏的部位,施工人员需要采取封堵措施,使用注浆材料填充裂缝,避免加固后影响钢板与混凝土之间的粘结效果。钢架安装是关键环节,施工人员需要按照设计要求将钢架分段运输至施工现场,采用吊装设备或人工搬运的方式将钢架准确就位。

在安装过程中,需要使用测量仪器校正钢架的位置和角度,确保其与隧道轮廓紧密贴合,并与原有结构形成稳定的受力体系。为了保证钢架的牢固性,施工人员需要使用膨胀螺栓或焊接方式将钢架固定在隧道衬砌上,每个连接点都需要保证紧固可靠,避免钢架受力后发生位移或变形。钢架安装完成后,施工人员需要进行结构加固,施工人员可以在钢架与围岩之间填充高强度混凝土或喷射混凝土,提高整体支护能力,确保钢架能够充分发挥承载作用。施工人员需要根据隧道结构受力情况,合理裁剪钢板尺寸,使其能够精准贴合需要加固的部位。施工前,需要对钢板表面进行防腐处理,涂刷防锈涂层,提高钢板的耐久性。安装过程中,施工人员需要使用起重设备将钢板吊装到指定位置,并调整钢板与隧道结构的贴合度,确保受力均匀。固定钢板时,可以采用螺栓连接或焊接方式,使其与钢架或原有结构形成整体。

2.4 环氧树脂注浆修复,改善隧道裂缝问题

环氧树脂具有较高的粘结强度和耐久性,能够在裂缝内部形成坚固的固化层,提高裂缝的抗渗性,避免水分和腐蚀性物质渗透,从而保护隧道结构不受外界环境的侵害。施工人员需要对隧道裂缝进行详细勘察,确定裂缝的分布、宽度、深度以及渗水情况,采

用专业检测设备进行标记,并记录裂缝特征,以便制定合理的修复方案。裂缝情况明确后,施工人员需要对裂缝表面进行处理,使用钢丝刷或高压风清除裂缝周围的灰尘、油污和松散杂质,确保注浆材料能够充分渗透,提高修复效果。对于裂缝较深或存在渗漏的部位,需要采取封闭措施,使用密封材料沿裂缝表面涂抹封堵,防止注浆过程中浆液外溢,影响裂缝内部填充效果。封闭处理完成后,施工人员需要在裂缝上布置注浆孔,确定合理的钻孔间距,确保浆液能够均匀扩散填充裂缝^[4]。

在钻孔过程中,施工人员需要控制钻孔角度,使钻孔与裂缝保持适当的连通性,确保注浆压力能够传递至裂缝内部,避免浆液滞留在浅层。钻孔完成后,需要使用高压风或水冲洗钻孔内部,清除碎屑和粉尘,提高浆液与混凝土的结合效果。施工人员在安装注浆嘴时,需要确保注浆嘴与钻孔紧密贴合,防止注浆过程中发生泄漏。注浆嘴安装完成后,需要对裂缝周围进行密封,使用封闭剂封堵裂缝表面,提高注浆密封性,避免浆液渗出影响施工质量。正式注浆前,施工人员需要对环氧树脂材料进行配制,按照设计比例称量环氧树脂、固化剂及其他添加剂,并充分搅拌,使材料均匀混合。配制完成后,需要在规定时间内完成注浆,避免材料凝固影响渗透效果。施工人员使用高压注浆设备,将浆液从裂缝下部逐步注入,确保浆液由下向上充满裂缝。在注浆过程中,需要密切观察注浆嘴的出浆情况,确保浆液均匀扩散至裂缝全长,并通过相邻注浆嘴观察浆液溢出情况,判断裂缝是否填充完整。如果发现某一注浆孔长时间不出浆或出浆速度过快,需要调整注浆压力,防止压力过大导致混凝土结构受损或压力过低导致填充不充分。注浆完成后,施工人员需要保持一定的固化时间,使环氧树脂充分渗透并固化,提高裂缝修复的强度和耐久性。

2.5 外包钢套补强,加固隧道薄弱部位

钢套包覆后,能够有效抵御外界环境对隧道结构的侵蚀。钢套制作完成后,施工人员需要对其进行试拼装,检查钢套的尺寸、形状与隧道结构的匹配程度,确保安装后能够均匀受力,不出现局部悬空或贴合不紧密的情况。试拼装完成后,需要对钢套进行防腐处理,涂刷防锈涂层,避免后期因环境因素导致钢套锈蚀影响加固效果。钢套运输至现场后,施工人员需要使用吊装设备或人工搬运的方式将钢套逐步对位安装,

确保钢套沿隧道轴向均匀分布,避免偏移影响受力^[5]。在安装过程中,施工人员需要使用测量仪器反复校准钢套的位置,保证其与隧道结构紧密贴合,不出现间隙过大或受力不均的情况。钢套固定时,施工人员需要采用螺栓连接或焊接方式,使钢套与隧道结构形成稳定的整体。

螺栓连接时,施工人员需要先在隧道衬砌表面钻孔,安装高强度膨胀螺栓,逐步紧固每个连接点,保证螺栓受力均匀,避免局部松动影响加固效果。焊接固定时,需要使用专业焊接设备,将钢套焊接在隧道预埋件或加固支撑结构上,确保焊缝连续饱满,提高连接强度,焊接完成后需要进行无损检测,检查焊缝质量,避免焊接缺陷影响结构稳定性。钢套安装完成后,施工人员需要对钢套内部空间进行填充处理,采用高强度灌浆材料填补钢套与隧道结构之间的空隙,提高钢套的受力传递效果,防止局部应力集中。在填充过程中,需要使用高压灌浆设备将浆液均匀注入钢套内部,确保浆液完全填充钢套内腔,避免形成空洞影响结构强度。灌浆完成后,需要保持一定的养护时间,使浆液充分凝固,提高钢套与隧道的整体结合力。浆液凝固后,施工人员需要对钢套表面进行二次检查,确保所有连接点牢固,钢套与隧道表面无明显间隙,加固区域整体受力均匀。

3 结束语

公路隧道加固维修施工技术的不断发展,为隧道的长期安全运行提供了有效保障。施工人员采用多种加固技术,可以有效解决隧道在长期运营过程中出现的裂缝等问题,恢复隧道的承载能力性。随着施工技术的不断优化,公路隧道的加固维修将更加高效,为公路交通的安全提供坚实保障。

参考文献:

- [1] 姬海东,张海涛,宋效凯.用于既有隧道病害综合整治的多功能维修车研发[J].建筑机械,2024(09):10-15,2.
- [2] 姜同虎,汪光裕.公路隧道火灾损伤计算及应急维修加固方案研究[J].江西建材,2024(01):235-237.
- [3] 张崙铭.一种隧道病害处治新技术的研究与应用[J].交通世界,2023(34):133-135.
- [4] 何亚军.超韧性混凝土在桥梁隧道加固维修中的应用[J].交通科技与管理,2023,04(07):124-126.
- [5] 郑可扬.华南地区公路山岭隧道渗漏水病害分析[J].黑龙江交通科技,2022,45(10):118-120.

公路工程膨胀土路基施工技术要点研究

苏勤波

(四川路航建设工程有限公司, 四川 成都 610000)

摘 要 膨胀土是公路工程中较为常见的土壤类型, 因其具有吸水膨胀、反复变形等特征, 对工程的稳定性及耐久性具有较大影响。因此, 在公路建设施工的过程中, 针对膨胀土特性, 施工过程中需采取特殊设计及施工方法, 以确保路基稳定性及结构安全。膨胀土处理技术有改良土壤性能、设计合理排水系统、采用加固措施等措施, 这些措施均能有效降低膨胀土的不利影响。本文对公路工程中膨胀土路基的施工技术进行了探讨, 提出了处理膨胀土的方法及施工中的关键技术要点, 旨在为膨胀土路基施工提供参考。

关键词 公路工程; 膨胀土; 路基施工

中图分类号: U416

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.14.013

0 引言

公路工程的路基质量直接影响道路使用寿命及行车安全, 在膨胀土地区, 施工过程中土质变化常给路基稳定性带来严峻挑战。膨胀土作为一种特殊土壤类型, 具有显著湿胀性及干缩性, 随环境湿度的波动, 其体积变化会引起路基沉降、裂缝等问题, 影响公路工程结构完整性。膨胀土路基施工过程中面临着一系列复杂问题, 需深入探讨创新性施工技术及策略。因此, 科学合理处理膨胀土, 减少其对路基施工负面影响成为公路工程建设中待解决的重要问题。

1 膨胀土的特殊性质及其对公路工程路基施工的挑战

膨胀土的特殊性质给公路工程路基施工带来一系列显著挑战。膨胀土主要由蒙脱石等具有较强亲水性的粘土矿物组成, 这使得它在遇水时能显著膨胀, 而在干燥时则收缩。这种湿胀干缩性质是膨胀土最为显著的特性, 它不单导致土体体积变化, 还会伴随土体强度的显著衰减, 进而影响路基施工稳定性。膨胀土的湿胀干缩特性在一定程度上加剧土体的结构破坏, 在长期干湿循环作用下, 土体强度及承载力不断降低, 导致路基施工产生裂缝、沉降等病害, 形成无法修复的工程隐患。“湿胀干缩效应”是膨胀土对公路工程路基施工带来的最大挑战, 直接影响施工过程的稳定性及后期维护成本。膨胀土一旦遭遇水分变化, 土体会迅速膨胀, 形成巨大的膨胀力。当膨胀受到限制时, 土体内会积聚一定的内应力, 这种膨胀力可能导致路基施工结构破裂^[1]。在膨胀土路基施工中, 控制水分

是应对其膨胀性的关键, 施工时, 土体水分含量的波动将直接决定膨胀土的变形幅度, 若未能有效控制, 路基将会持续膨胀, 导致土体承载力快速衰退。因此, 膨胀土路基施工中面临最大困难是其在湿度变化下的不稳定性, 确保路基的长期稳定性。

2 膨胀土路基施工的关键技术及施工措施

2.1 精确规划施工步骤, 抑制膨胀土湿胀干缩问题

膨胀土的湿胀干缩效应在公路工程路基的施工阶段, 具有极为显著影响。膨胀土遇水后发生膨胀, 失水后收缩, 这种反复变形过程使路基施工的稳定性和耐久性受到严重挑战。精确规划施工步骤, 可以有效应对这种不稳定特性, 确保路基施工在长期使用中具有稳定性。土体在湿度变化下的行为是路基施工设计的核心考虑因素。施工人员运用合理施工步骤, 预防土体湿胀带来的不良影响, 可以采用层级施工、改良土体等措施来控制膨胀土的湿胀干缩问题。除此之外, 设计水土隔离层很重要, 这要求施工人员根据不同的气候及水文条件, 科学设置排水系统, 避免水分长期积聚, 从而减少公路工程膨胀土的膨胀效应。

例如: 在路基施工过程中, 施工人员可以适当增加基础埋深应对公路工程膨胀土湿胀干缩问题。膨胀土受水分变化影响较大, 在水分含量增高时, 膨胀土的湿胀性会使路基施工发生不均匀沉降。施工时, 施工人员首先需准确测量地下水位的变化情况, 确保施工过程中水位不发生异常波动。采用现代化的水位监测设备对地下水流动情况进行实时跟踪, 及时调整路基施工进度及方案, 以避免过度受水土胁迫。同时,

施工人员借助合理排水措施,能够有效防止地表水渗入施工区域,以减轻土体的湿胀效应。对于施工过程中的土体处理,必须注重公路工程膨胀土的特殊性,在基础土体清理过程中,施工人员需去除表层含水量较大的土层,并压实周围土体,形成密实的支撑结构。

在具体控制基础埋深过程中,施工队伍需依据设计要求,采取分层填筑法进行操作。每一层土壤厚度需精确控制,避免出现堆积不均的情况,从而引发不均匀沉降。填土时,施工人员需严格按土壤压实标准执行,应用静力压实、震动压实等设备,确保每一层土体都能达到规定的密实度,从而增强基础土层的稳定性。同时,施工人员在填筑过程中,应用现场测试工具对土壤的含水量及湿胀性进行实时监测,根据数据反馈调整路基施工方法,确保土体含水量稳定,并避免湿胀性土壤对基础的影响^[2]。在施工过程中,施工人员还应借助适当加固技术,进一步优化公路工程膨胀土路基施工。采用石灰、膨润土等无机材料进行土壤改良,减少土体的膨胀性能。运用物理及化学改良,使土壤结构得到强化,减少湿胀干缩的极端现象。

2.2 依托先进监测设备,实时掌控膨胀土水分动态

公路工程膨胀土的特殊性质,使其在公路工程中的应用面临着巨大挑战,其湿胀干缩特性影响路基施工稳定性。水分含量是决定膨胀土性能的关键因素,土壤含水量变化直接导致其体积膨胀或收缩,进而引发基础不均匀沉降。因此,施工人员实时掌握膨胀土水分的动态变化,有利于保证公路路基施工的稳定性及耐久性。借助智能化土壤湿度监测设备等现代先进监测技术,可以精确监控土壤的水分状况。公路工程膨胀土的湿胀行为可借助精准的水分监测技术进行有效预测及控制。在公路工程中,施工人员应用先进土壤湿度监测系统,实时捕捉膨胀土的水分变化趋势,及时调整施工策略,以应对膨胀土引起的路基施工沉降风险。

例如:在施工过程中,施工人员可以借助换土处理,替换膨胀性土壤来减少膨胀土的湿胀干缩变形,从而有效保障地基稳定性。在具体施工过程中,施工人员首先对膨胀土进行挖除,达到设计深度后,铺设合适的中粗砂或灰土等非膨胀性土层,这一过程直接影响地基承载能力及稳定性。为确保施工质量,非膨胀性土材料需严格按照配比要求进行回填,且填土厚度及密实度需符合工程标准。对于一些如敞口池特殊工程,施工人员需在池壁外侧设置 0.8 m 宽、1 m 深的回填层,以减少公路工程膨胀土的膨胀效应对池壁带来的附加压力。

在此基础上,为进一步提高施工质量并确保地基的长期稳定性,施工人员实时掌控膨胀土水分动态成为关键步骤。依托现代监测技术,基于物联网技术的土壤水分监测系统,能精确监控膨胀土层的水分变化情况^[3]。施工人员需运用布设传感器,实时获取土壤中的水分含量、湿度、温度等数据,使施工人员能够在不同施工阶段根据实时数据调整施工方法。除此之外,传感器数据能够帮助预判土壤湿胀、干缩趋势,还能指导合理控制水分,避免公路工程膨胀土因水分过多或过少引起的剧烈变形。结合土壤动态数据,精准调整回填层材料,实施分层压实,从而最大程度抑制膨胀土的湿胀干缩变形,确保基础层稳定性。在施工过程中,借助先进的实时监测系统,所有关键数据都能及时反馈至控制平台,施工人员可据此实时调整水分管理策略,确保换土处理的每个环节都在可控范围内。

2.3 优化路基结构设计,确保膨胀土长期稳定与耐久

公路工程膨胀土路基施工在公路工程中的作用不可忽视。膨胀土以其独特的湿胀干缩特性,对道路基础构成严重威胁,可能导致不均匀沉降、裂缝甚至结构失稳。因此,优化路基施工结构设计成为保障道路长期稳定及耐久性的一项关键措施。采取合适的工程技术手段,如深层换土、加固处理以及精准的水分控制,能够有效遏制膨胀土的膨胀变形,确保地基的长期稳定性。优化路基施工结构的核心在于合理配置各类材料,特别是非膨胀性土及加固材料,以实现膨胀土层及有效隔离上部结构之间的相互作用,从而减少影响路基施工。在具体施工过程中,根据设计方案选择合适的技术手段,对公路工程膨胀土进行针对性处理,确保路基施工在长期使用过程中稳定耐用^[4]。

例如:施工人员可以选用土工合成材料来优化路基施工结构设计,保证膨胀土长期稳定及耐久。在施工过程中,施工人员首先根据设计要求,测量及标定好施工区域基底,确保土壤层的平整及密实。接着,施工人员在铺设土工布时需注意保持其紧张度,避免出现褶皱,防止水分集中在不利区域形成水分集结或淤积。进一步将土工格栅分层铺设在路堤边坡,其作用在于加固土体,避免边坡溜坍,还能够均匀分布地基应力,稳定土层,减少因公路工程膨胀土湿胀干缩引起的沉降及裂缝。路堤表面的水土流失问题则运用铺设土工网垫得到有效控制,该材料具备优良的水土保持能力,能够抵抗水流侵蚀,确保路基施工稳定。

同时,复合土工膜的铺设则形成一道防渗隔离层,阻止地下水的上升对路基施工造成的侵害,有效避免膨胀土的膨胀性影响基础土层。在施工实施过程中,施工人员利用土工合成材料加固膨胀土路基施工是集成技术手段,更是体现设计理念。施工人员监测分析公路工程膨胀土区域,确保施工材料的科学配置及合理运用施工方法,为后期施工及使用提供坚实基础。综合应用土工布、土工格栅、土工网垫及复合土工膜等材料,形成多层次、多功能加固体系。随着科技进步,土工合成材料的应用越来越广泛,并在公路工程的实际操作中展现出强大适应性及稳定性。施工人员结合各材料及交互作用,能够有效优化膨胀土路基施工的结构设计,防止水分渗透及土壤软化,保持路基施工稳固性及耐用性。同时,施工人员借助现代化设备实时监测及控制施工现场,能够在施工过程中持续调控湿度、温度等变量,进一步提升施工质量,确保公路工程膨胀土路基施工在长期使用中的稳定性。

2.4 探索膨胀土路基新技术,激发施工技术持续进步

公路工程膨胀土路基施工在公路工程中的作用远不止是基础设施建设的一个环节,它直接关系到整个工程的安全性、稳定性以及耐久性。膨胀土由于其特有的湿胀性及干缩性,对路基施工的影响极为复杂,若未能及时有效地处理,极易引发沉降、裂缝及不均匀变形等问题,进而影响公路使用寿命及行车安全。近年来,随着工程技术不断进步,针对膨胀土的施工方法及材料应用也在不断创新,推动施工技术持续进步。当前,膨胀土路基施工不单纯依赖传统设计方法,更加注重对膨胀土物理及化学性质的深度理解及应用创新技术^[5]。针对公路工程膨胀土的湿度变化、温度波动进行综合治理,创新性的施工技术要求精准的测量及实时监控技术协同配合,从而有效防止膨胀土带来的结构性问题。

例如:在美国、加拿大等国广泛应用适当增加基础埋深这一技术手段,能够在膨胀土路基施工中有效防止不均匀沉降变形的技术手段。施工中,施工人员依据地下水位及土壤毛细管作用,精确确定基础埋深范围,通常埋置在地下水位稳定之上3 m处,确保基础不受毛细管水及影响水汽。这一过程需要综合分析周围环境的变化趋势,特别是季节性水位波动及气候因素,施工人员应不断优化埋深设计,避免土壤湿润带来的膨胀问题。此外,根据施工现场的具体地质情况,施工人员需测定地下水位变化范围及稳定水平,监测

评估土壤水分含量。使用先进土壤监测设备及传感技术,实时记录土壤水分动态,以此为依据进行基础埋深的合理确定。根据土壤膨胀特性,依据预定的埋深标准,施工队将基础逐层下挖至稳定水位之上3米深度,确保基础土层得到有效加固及保护。

在此过程中,施工人员必须特别关注地下水的流动及毛细水的上升趋势,防止施工过程中水分的迁移及聚集,避免湿润公路工程膨胀土层的潜在风险。整个施工过程中,合理选择合适的土壤稳定剂及基础加固材料,能够进一步提升基础的抗压及稳定性。依据土壤类型的不同,施工团队采用改良土法或其他加固手段,强化基础及膨胀土层之间的粘结力,提升整体道路稳定性。同时,施工中还需特别重视不同季节、不同气候条件下地下水位的变化对施工质量的可能影响,借助不断探索公路工程膨胀土路基施工创新技术,随时调整施工策略,确保不因气候波动造成不必要的结构沉降及变形。

3 结束语

在公路工程领域,膨胀土路基施工技术的持续创新是土建行业应对复杂地质条件能力大幅提升的有力见证。随着对膨胀土特殊性质的研究不断深入并广泛推广,相关技术方案和施工方法已逐步演变为集科学性、系统性于一体的集成化、精细化解决体系。如今,高精度监测技术实时把控施工动态,智能化施工工具大幅提升作业效率,绿色施工理念融入各个环节。未来膨胀土路基施工技术将在降低施工风险、节约建设成本、提高施工质量等方面发挥出更大作用。借助技术突破、标准化管理以及创新型材料的应用,它必将成为道路基础设施稳固长效运营的重要支撑,为交通事业的蓬勃发展筑牢根基。

参考文献:

- [1] 裴旻昱.公路工程膨胀土路基施工关键技术[J].交通世界,2024(35):97-99.
- [2] 饶志鹏.公路工程膨胀土路基设计与施工要点分析[J].运输经理世界,2024(21):32-35.
- [3] 贾亚红.公路工程膨胀土路基施工技术要点研究[J].运输经理世界,2024(04):159-161.
- [4] 石艳星.公路工程膨胀土路基施工关键技术[J].交通世界,2023(16):89-91.
- [5] 张海珍.公路工程膨胀土路基填筑施工技术[J].交通世界,2023(11):95-97.

岩土工程技术在城市道路建设中的应用

班树乾, 李文军, 王 雷

(河北太行宏业建设集团有限公司, 河北 石家庄 050051)

摘 要 城市道路作为城市基础设施的重要组成部分, 其建设质量直接影响交通流畅性与安全性。在城市道路建设中, 岩土工程技术的应用至关重要, 它关系到道路基础的稳定性、耐久性及抗震性能。对岩土工程技术的研究与应用逐步成为道路基础设计中的核心内容之一。本文认为通过优化岩土工程技术的应用, 可以显著提高道路基础的承载力与抗压强度, 有效应对不均匀沉降、软土层、地下水等问题, 从而延长道路的使用寿命并增强其抗灾能力。

关键词 岩土工程; 城市道路; 基础设计; 技术创新; 地基加固

中图分类号: U415

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.14.014

0 引言

随着我国城市化进程的加快, 城市基础设施建设, 特别是城市道路建设, 已成为推动经济和社会发展的关键支撑。道路作为城市交通网络的核心, 其建设质量直接关系到交通的畅通性、居民的生活质量以及城市的可持续发展^[1]。近年来, 国家在基础设施建设方面持续出台支持政策。例如: 中共中央办公厅、国务院办公厅印发的《关于推动城乡建设绿色发展的意见》明确提出要推动基础设施建设向绿色、低碳、智能方向发展, 鼓励创新性技术的应用, 并加强道路建设的环境友好性与可持续性。岩土工程技术作为解决复杂地质条件的关键手段, 在城市道路基础设计中变得尤为重要。通过合理应用岩土工程技术, 能够有效应对软土地基、地下水等问题, 提升道路基础的稳定性、承载力和抗震能力, 从而保障道路的长期使用与安全性^[2]。国家相关政策的支持, 推动了岩土工程技术的深入应用, 也为城市道路建设提供了更为科学、环保的解决方案。

1 岩土工程在城市道路建设中的重要性分析

随着城市化进程的加快, 岩土工程技术在城市道路建设中的应用变得愈加重要^[3]。城市道路建设面临着日益复杂的地质条件, 如软土地基、地下水位波动和土壤不均匀性等问题, 尤其在大规模城市道路基础设施建设中, 这些问题对道路的长期稳定性和承载能力提出了更高的要求。岩土工程技术通过精确勘察与分析地质条件, 为城市道路建设提供科学依据, 确保道路建设的安全性和可行性^[4]。针对软土或膨胀土等

不良地质条件, 岩土工程技术通过地基处理技术, 如深层搅拌、振动压实、桩基加固等手段, 显著提高了地基的承载力, 减少了不均匀沉降对道路的影响, 避免了因地基不稳定导致的道路变形和破坏。在地下水影响较大的区域, 岩土工程技术通过排水、透水性增强等方法, 有效解决了地下水位变化对地基稳定性的潜在威胁, 确保了道路基础的可靠性。此外, 岩土工程还通过地下结构加固和土壤改良等技术手段, 为复杂地质环境提供了更加适应性强的解决方案, 保障了道路的施工质量和使用寿命。岩土工程技术的应用还促进了绿色施工与可持续设计的发展。通过低碳、环保的地基加固与处理方式, 不仅减少了对环境的影响, 还有效控制了建筑废弃物和资源的浪费。这些技术创新和环境友好的施工方法, 为城市道路建设提供了更加可持续的解决方案。

2 岩土工程技术在城市道路建设中的现状分析

2.1 岩土工程技术在城市道路建设应用中的实际情况

随着我国基础设施建设的不断推进, 岩土工程技术在城市道路建设中的应用已逐步成为关键组成部分。在现代城市道路建设中, 岩土工程技术主要通过地质勘察与分析, 提供精准的数据支持和科学的设计依据^[5]。在不同地质条件下, 岩土工程技术为施工单位提供了精准的决策依据, 通过运用地基加固、深基坑支护、地下水排水等多项技术手段, 不仅提高了道路基础的承载力, 减少了沉降风险, 还有效增强了道路的抗灾能力^[6]。例如: 在软土或膨胀土地区, 通过采用深层

搅拌、喷射混凝土等加固技术,可以显著提高地基的承载力,确保道路的稳定。而对于地下水问题,通过排水系统或防渗措施能够有效解决,避免了水土流失和基坑水位变化对施工带来的不良影响。然而,由于城市地质条件的复杂性,这些技术的实施仍面临一定挑战。特别是在软土层或深层地下水丰富的地区,传统的地基处理方法在技术和经济性上可能难以满足要求。因此,现有的岩土工程技术需要根据不同项目和地质环境进行进一步的创新和改进,以解决施工过程中遇到的各种难题^[7]。

2.2 岩土工程技术面临的挑战

在实际应用过程中,岩土工程技术面临着来自复杂地质条件和施工环境的严峻挑战。在一些软土或含水层丰富的地区,传统的地基加固技术往往难以应对大规模的地基沉降问题,且施工过程中需要更高效且环保的技术手段来确保工程质量。此外,随着城市建设向地下空间扩展,基坑开挖、地下设施建设等工作带来了更多的技术难题。基坑支护和地下水位控制对施工安全提出了更高要求,施工不当容易引发周围建筑物的沉降或变形,甚至可能对交通设施造成安全隐患。岩土工程师在解决这些问题时,需要综合运用先进的监测技术与施工方法,确保施工过程中的精度与安全。同时,随着环境保护要求的不断提高,岩土工程技术在绿色施工方面的创新也显得尤为重要。如何减少传统施工方法对环境的负面影响,推动低碳环保的技术应用,成为岩土工程技术面临的又一挑战。岩土工程技术的应用仍然需要不断创新和完善,以应对日益复杂的城市道路建设需求。

3 岩土工程技术在城市道路建设中的应用对策

3.1 综合强化岩土勘察,精准优化工程设计

为了应对日益复杂的地质条件,城市道路建设的岩土勘察和设计必须具有更高的综合性和准确性。岩土勘察阶段是基础设计的第一步,其质量直接决定了后续设计和施工的可行性。在此阶段,除了对土壤的物理和化学性质进行全面分析外,还必须综合考虑地下水位变化、地下管网、地质构造等因素对道路基础稳定性和抗震性的影响。为了确保岩土勘察的全面性,现代技术手段的引入至关重要。地质雷达、三维地质建模、深层钻探取样等技术可以有效提供地下土质、结构及水文信息,尤其在复杂地质条件下,这些技术能够深度揭示地下水流动规律、土壤层次分布等隐蔽特征,为岩土工程师提供更加详实的依据。

特别是在软土、膨胀土等特殊地质条件下,勘察数据的准确性和细致程度显得尤为重要。勘察工作不仅仅需要关注路面区域,更需要深入到潜在的施工影响区,全面分析施工中可能面临的地质挑战。此外,勘察工作需要结合具体的施工场地,考虑到不同地质因素可能对道路建设产生的影响。如含水层的分布和水位波动会直接影响地基的稳定性,而土壤的非均质性和强度差异可能导致基础不均匀沉降。因此,岩土勘察不仅要覆盖路面区域,还应扩展到潜在的施工影响区,全面分析施工中可能面临的地质挑战。岩土设计方案应根据这些勘察结果,合理预测和规避潜在的地质风险,确保设计方案能够在实际施工中有效执行,避免因勘察数据不充分或设计失误而造成的工程质量问题。在进行岩土勘察时,必须使用先进的技术手段和仪器设备,以确保数据的精确性。同时,勘察人员应具备丰富的专业知识和实践经验,能够准确解读地质信息,为工程设计提供科学依据。

3.2 推广应用绿色技术,打造环境友好低碳工程

随着环保法规日益严格,低碳与绿色施工理念逐渐成为城市道路基础设计的主流方向。岩土工程技术的绿色低碳应用不仅能有效提升道路的长期稳定性,同时能大幅降低施工对环境的负面影响。传统的水泥桩和钢筋桩在施工过程中会消耗大量能源,其生产和运输过程中也会释放大量二氧化碳,带来资源消耗和环境污染。而新型的环保型地基加固材料,如高性能聚合物基材料和矿物复合材料,具备更高的强度和耐久性,可以显著降低施工时的能源消耗和碳排放。使用这些新材料代替传统材料,能有效减少施工过程中对环境的负担,且具有较低的生产能耗与较高的环保性能。

此外,化学注浆技术与土壤改良相结合的方法,不仅显著提升了土壤的承载能力,还能够有效减少对环境的干扰。特别是在软土或流沙地区,通过这种技术的应用,地基得到了快速加固,且对环境的影响相对较小,施工期间产生的污染和资源浪费大大减少。土壤改良过程中,注入的化学浆液可以改变土壤的结构,使土壤变得更加坚实,从而提高地基承载力,防止沉降和其他潜在问题的发生。这一方法适用于地质条件较为复杂的区域,有效保障了建筑物的安全性和稳定性。在地下水处理方面,低碳防渗技术,如聚合物防渗膜的应用,可以有效防止地下水的渗漏与污染,避免传统施工方法中常见的地下水资源浪费问题。聚

合物膜具有较高的防渗性能，能够在不破坏土壤结构的情况下有效隔离地下水与周围环境，防止有害物质的扩散。

3.3 全程管控施工质量，严格执行设计方案

在城市道路的岩土工程施工过程中，基础设计的质量控制至关重要，必须确保每一个施工环节都严格执行设计方案，从而保障道路的长期稳定性和安全性。基础加固技术是岩土工程中最为关键的环节之一，通常采用的技术手段如深层搅拌、喷射混凝土等，需要严格遵守设计要求并在施工过程中进行实时监测和调整。这些技术手段能够有效增强地基的承载力，避免不均匀沉降等问题的发生。但在实施过程中，必须确保保材料的选用符合标准，同时施工过程中的每一步都应进行精确控制。

土壤改良是另一个关键环节，特别是在软土或不稳定土层较多的地区，设计阶段需要根据地质勘察数据精确调整设计方案，选用合适的改良材料与方法，确保改良效果达到预期。土质的强度、膨胀性和压缩性等特性，均对基础的稳定性有直接影响，选择不当的改良技术或材料可能导致基础不稳定，甚至影响道路的使用寿命。基坑支护方面，尤其是在深基坑开挖过程中，需要充分考虑施工过程中的风险管理和周围建筑物的安全性。对于周边环境的影响，施工单位应提前进行风险评估，制定切实可行的应急预案，以应对可能发生的沉降或位移等问题。通过对施工过程中每个环节的严格控制和检查，确保岩土工程的设计方案能够有效执行，从而提升道路建设的整体质量和安全性。

3.4 技术创新驱动发展，提升工程施工质量

随着科技的不断发展，岩土工程技术必须保持持续创新，以应对现代城市基础设施建设中的复杂性和多样性需求。利用大数据、人工智能和物联网等前沿技术，岩土工程的设计和施工不仅变得更加精细化、智能化，还显著提高了施工效率和准确性。在设计阶段，利用大数据技术可以提前预测不同地质条件下的地基表现，优化设计方案，减少设计阶段的错误。工程师可以根据实时数据调整设计，以确保施工过程中遇到的任何问题都能得到及时解决。人工智能技术的引入，使得施工调度和资源管理更加智能，减少了施工过程中材料浪费和能源消耗，同时也能根据施工现场的实时情况优化资源配置，极大提高了管理效率。

新型岩土工程材料的研发应用，也是技术创新的

重要方向。例如，使用高强度、耐腐蚀的复合材料和可再生材料，这些材料不仅在性能上优于传统材料，还能在一定程度上减少对环境的影响，符合现代绿色建筑的需求。通过这些创新材料的应用，岩土工程技术应用效果得到了大幅提升，施工过程中的能源消耗和碳排放也得到了有效控制。三维建模和虚拟仿真技术的应用，使得设计阶段能够模拟各种地质条件下的工程表现，预测基坑和地基的变形情况，帮助工程师更精确地设计道路基础，减少因设计失误导致的风险。随着这些创新技术的不断普及和应用，岩土工程技术水平将得到进一步提升，推动城市道路建设向更高效、更安全、更可持续的方向发展。

4 结束语

随着城市化进程的加速，岩土工程技术在城市道路建设中的作用日益重要。通过应用先进的岩土工程技术，可以有效应对道路建设中遇到的各种地质问题，显著提升道路基础的稳定性与耐久性。面对复杂的城市地质条件，岩土工程技术仍面临诸多挑战，但通过加强勘察设计、推广绿色低碳技术、强化质量控制和推动技术创新等措施，可以有效提升城市道路建设的质量和效率。未来，随着岩土工程技术的不断创新和完善，城市道路建设将更加科学、合理和环保，进一步促进城市的可持续发展。

参考文献：

- [1] 郑龙. 岩土工程技术在城市道路建设工程的应用探究[J]. 城镇建设, 2023(13):148-150.
- [2] 赵伟. 岩土工程勘探技术在城市道路建设工程的应用探究[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2023(04):135-138.
- [3] 赵辉. 道路工程岩土勘察中存在问题及对策研究[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2024(02):17-20.
- [4] 马轶, 李延望, 刘敏. 城市道路建设工程岩土工程技术的应用探究[J]. 电脑爱好者(普及版)(电子刊), 2023(05): 1536-1537.
- [5] 王张弛, 曹志刚, 蔡袁强, 等. 基于 XCT 扫描技术的铁路路基翻浆冒泥机理研究[J]. 地基处理, 2023, 05(03):187-194.
- [6] 郝明盛, 孔小云, 安海波. 岩土工程勘察全过程信息化平台建设开发[J]. 智能建筑与智慧城市, 2024(07):101-103.
- [7] 周永莲. 城市道路路基路面设计与施工研究[J]. 建筑工程技术与设计, 2024(14):53-55.

重黏土筑坝中的施工质量控制技术应用

张 斌

(中铁水务集团有限公司, 陕西 西安 710061)

摘 要 重黏土筑坝技术作为水利工程的核心技术, 具有优异的渗透阻抗和结构稳定性。在施工过程中, 质量控制面临土壤湿度、压实度和施工精度等技术挑战, 通过采用先进的质量控制技术, 坝体的安全性与稳定性得以提升。本文分析了重黏土筑坝施工中的关键质量控制方法, 涵盖压实技术、水分管理及分层施工等环节, 并针对普遍问题提出了应对措施, 优化了技术实施路径, 旨在对推动施工质量和工程效益的共同提升有所裨益。

关键词 重黏土筑坝; 施工质量控制; 压实技术; 智能化监控; 技术创新

中图分类号: TV64

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.14.015

0 引言

重黏土因其优异的抗渗性能与稳定性广泛应用于水坝建设。然而, 施工中湿度控制与压实度等关键环节还存在技术难题, 影响坝体安全性与长期稳定性。重黏土筑坝工程对施工质量要求极高, 尤其在土壤水分管理与压实度优化方面。本文全面梳理了质量控制关键技术, 分析了当前应用中的主要问题及应对策略, 旨在实现施工质量标准化, 确保工程项目的安全与稳定运行。

1 重黏土筑坝的施工特点与质量控制要求

1.1 重黏土的物理与化学性质

筑坝工程对重黏土材料的依赖性极高, 其物理化学特性对施工质量影响较大。黏土颗粒极为细小, 具有显著的比表面积和较高的吸水率, 容易发生体积膨胀。土体的膨胀与收缩性能波动较大。施工阶段, 土壤含水量对压实性能有显著影响, 过高或过低的水分都可能导致压实不均匀。适宜的水分比例有助于增强土壤颗粒间的黏结力, 提高坝体的防水效果和结构稳固性^[1]。

1.2 重黏土筑坝的施工难度

在重黏土施工过程中, 天气对施工质量的稳定性产生直接影响。过量降水会导致土壤湿度过高, 影响施工进度和质量; 而长期干旱会使土壤过度干燥。合理调节土壤湿度是保证工程质量的关键。适宜的湿度可以有效防止土壤干裂和不均匀沉降等地质问题。重黏土的坝体稳定性和长期变形控制至关重要, 持续荷载容易导致沉降和变形, 因此密实度标准要求严格。确保坝体结构的稳定性和长期变形控制是质量保障的核心。

1.3 质量控制的特殊要求

重黏土筑坝工程对施工质量控制提出了更高要求, 精确的施工管理是确保质量的基础, 施工方必须按照

既定的技术规范, 确保土体的压实度、水分含量和坝体稳定性符合设计要求。质量监控人员需实时跟踪并监督, 确保填土压实度达标, 防止不合格层结构影响坝体稳定。为了达到相关规范要求, 施工工艺流程应进行精细化改进, 确保每一环节的质量标准得到保障。

2 重黏土筑坝中的施工质量控制技术

2.1 重黏土压实技术

在坝体施工环节, 重黏土压实技术占据核心地位。优质的压实作业显著增强坝体的防渗性能与结构稳定性, 保障大坝在持续荷载影响下的稳固性。压实工艺的实质在于机械作业对土体颗粒间孔隙的压缩, 进而提升土体的密实度与力学强度。重黏土的渗透性能与压实程度之间存在紧密关联, 密实度提升, 坝体渗透性降低, 稳定性增强。施工中常规实施分层压实技术, 对每一层的厚度与压实度进行规范管理, 可实现土层结构的均质性与密实度同步提升。

2.2 土体水分控制技术

土体水分管理在重黏土筑坝工程中至关重要, 土壤水分含量对土体压实效果及坝体稳定性具有显著影响。调节水分含量的技术途径涵盖人工喷淋、喷雾灌溉、遮盖法等多种方法, 通过调节重黏土的水分比例, 优化土体压实效果。通常采用增加水量或调整水分比例方法, 以确保施工湿度的理想状态。土壤水分蒸发调控主要依赖覆盖材料, 维持施工期间湿度的稳定。湿度监测与管理技术在保障环境稳定中扮演着关键角色。采用湿度探测传感器等设备, 持续监测土壤水分动态变化, 实施相应应对策略, 维持水分在理想化控制界限内, 湿度调节系统采用自动化技术手段精确控制水分, 确保施工期间土壤水分的稳定分布^[2]。

2.3 分层施工与质量检测技术

针对重黏土筑坝的工程实施阶段,在众多施工技术中,分层施工法以其普遍性而成为施工领域的首选技术。在坝体建设实施过程中,采纳了分层作业的基本原理,即将对坝体实施分层结构布局安排,土层压实作业合格后方可启动下一层施工。采用分阶段、分层次的施工技术,有效减缓了土体沉降变形的扩散进程,力求实现土壤各层理想的最大密实度与最佳稳定性。运用分层作业技术,可显著降低施工过程中缝隙和不均匀现象的生成概率,强化分阶段施工质量监控,质量检验技术占据核心位置。必须依照既定的检测周期执行检测作业步骤,对土层逐层进行细致的压实度和含水量等关键指标的检测与评估。

在分阶段施工作业阶段,务必对层间结合的施工质量进行细致检查。底层结构碾压作业已彻底执行至完美谢幕,在物料上送作业启动前,需对底层表层实施去毛作业程序。该举措有利于提升层间相互作用强度,严格预防层间结构出现分离及滑移等不良现象。质量检验从业者必须全面贯彻国家及行业既定的质量标准,维护检测数据的精确性与时效性同步,及时采纳调整方案,确保大坝结构质量与设计标准相吻合。

2.4 改良重黏土技术的应用

在重黏土筑坝领域,对现有技术的改良已成为一项不可替代的关键技术。实施掺入砂砾石及细砂等材料的操作流程,能够有效减少重黏土中黏粒的占比,降低重黏土的塑性指数,进而优化其压实性能及力学特性。经过优化处理的高塑性黏土在经过压制成型工序后,密度值显著上升,整体结构的刚性呈现下降趋势,有利于应对坝基的形变及坝体的沉降现象。合理调整坝体刚度,可降低裂缝问题的风险,实施坝体长期稳定性的综合管理。改良后的高塑性黏土材料在抗渗性能方面表现出显著进步,在长期荷载的持续影响下,坝体结构展现出其稳定性。

3 重黏土筑坝施工中的质量检测与控制措施

3.1 施工过程中的现场监控与检测

在土方开挖作业阶段,务必依照设计图纸的要求进行操作,应严格防止过度挖掘及挖掘不均现象的发生,必须保证土壤层厚度均匀,无局部厚薄不均现象。填筑作业实施阶段,对重黏土的填充程序、层厚、含水量及压实效果实施严格规范管理。力求实现施工活动的质量保证,实时数据采集技术已成为关键性应用工具,采用温湿度监测传感器及压实度检测设备等设施,及时监测并收集土壤湿度及密实度等关键参数,

在察觉到问题存在之际,应迅速进行策略调整与纠偏,建立质量反馈与跟踪系统,有效遏制潜在风险^[3]。

3.2 施工后期质量评估

施工完成后的质量检验是重黏土筑坝工程的关键步骤,对坝体结构的关键性能参数——抗渗性和抗压性进行了系统性的检测与评估。对坝体进行抗渗性能检测以评估其水密性等级,通常采用渗透性试验与透水率测试手段进行检测。坝体长期稳定性试验通过压缩试验进行抗压性测试,有效遏制沉降及裂缝等问题的产生。

3.3 问题的及时处理与反馈机制

及时识别并妥善处理质量问题,是保障施工过程顺畅进行的根本保障。构建产品质量隐患早期预警机制,可对坝体潜在问题实施早期预警,对湿度、压实度、沉降量等关键参数进行持久的跟踪与检测。一旦涌现异常苗头,施工人员修正信息得到系统即时反馈。若核实压实率未达工程规范,可提升压实作业频次或对设备进行优化调整;湿度调节不当之情形,采用增湿或工艺调整手段实施修复作业。问题解决后的改进措施需进行成效审核,必须落实整改工作的有效性,防止问题复发。

3.4 改良土体与施工质量控制

施工实施阶段,积极推动重黏土压实性能的显著进步及坝体长期稳定性的稳固发展。对粘质土壤实施改进工艺,对砂砾石、细砂等稳定性佳的材料进行掺入混拌。运用先进的检测技术,对改良土壤进行压实效果评估,确保其密实度与稳定性符合设计规范要求。对土壤改良施工质量实施全面监控与效果跟踪,对每一层土体的压实度、含水量及材料分布均匀性等关键指标实施连续监测,对材料混合工艺与施工管控技术实施持续优化升级,大幅提升大坝的防渗效果及抗压能力水平,并对坝体在长期荷载作用下结构稳定性及安全性能的维护策略进行优化升级。

4 重黏土筑坝施工常见问题与解决方案

4.1 重黏土施工中的常见问题

在重黏土筑坝的建造作业阶段,工程质量领域普遍存在的问题主要涉及土壤含水量调控失当以及压实效果不达标两个方面在高湿度条件下,土壤的黏滞性显著增强,审视压实作业效果的影响周期,若空气湿度不足,将引发土壤出现裂缝现象,进而对坝体的结构稳定性和防渗性能产生显著影响。压实率偏低构成关键性缺陷,压实度未达标,揭示了土体密实性存在明显缺陷,坝体沉降情形易于显现,甚至暴露裂缝及

渗水等不良征候,此举必然对坝体的安全稳定性构成威胁,可能引起使用寿命的缩短。

4.2 问题的根本原因分析

上述质量问题的根本成因往往与施工方案设计的不合理性、施工设备选型的失当以及施工人员操作的不规范性紧密相关。施工方案的制定若存在缺陷,其根本原因可能在于对土壤特性的认识不够全面,对土方湿度与压实度等关键控制参数的精确度掌握存在缺陷。在施工初始阶段,对土壤湿度变化因素考虑不足,施工阶段湿度调控措施未能及时落实。不当的设备选择,往往成为施工质量问题的诱因,若压实设备功率未能满足要求、压实方法存在偏差,诸多因素均会对土壤的压实成效产生显著影响,未能实现压实度标准值。施工人员的不规范作业直接引发了质量问题,施工实施现场实时跟踪报告深度分析,若执行过程中未遵循规范标准。

4.3 针对问题的解决策略

针对土壤湿度调控与压实度不足问题,施工技术的改进至关重要。空气湿度调节可采用高精度湿度检测仪器与自动喷洒设备,持续监测并调整土壤水分,确保湿度达到理想水平,优化施工效果。对于压实度不足,应选用高效压实设备,增加压实施工频次,采用分层压实工艺,确保每层土体的密实度符合要求^[4]。施工人员培训需增强针对性,熟练掌握湿度调节与压实技术,严格遵循操作规程,定期进行技术培训与实操训练。

5 未来发展方向与技术创新

5.1 新型施工材料与技术应用

随着工程技术的进步,创新施工材料和先进技术在重黏土筑坝施工中的应用显著提高了工程质量和施工效率。高效环保型重黏土改性技术通过化学和物理方法对黏土进行结构改性,有效提升土壤的渗透阻力、抗压强度和稳定性。使用稳定剂或改性剂能增强土壤的黏聚力和致密性,减轻湿度调节的难度。新型压实施工机械的使用显著提升了施工效率和压实质量,智能型振动压路机及自动化控制系统能够精确调节压实作业的深度、频率和力度,确保每层土体均匀密实。自动化技术的应用提高了施工精度,减少了人工操作误差,确保施工质量的可靠性。

5.2 智能化施工质量控制系统

随着信息技术的发展,智能化施工质量管理体系已成为关键工具。通过传感器技术、无线通信和数据采集,施工质量控制指标如土壤含水量、紧实度和环

境温度得以实时监测与反馈。数据信息通过无线网络传输至监控中心,实现远程监控与数据处理。该系统可自动生成分析报告,为施工人员提供决策支持,并具备深度数据分析能力,识别潜在问题并进行早期预警。智能化系统提高了施工团队的快速响应和问题解决能力,有效预防质量事故的发生。

5.3 施工技术的持续优化与升级

为应对施工环境之复杂多变和质量要求之严格性提供策略指导与实施,施工技术的不断改进与提升具有极其重要的战略意义。科技研发与创新活动应致力于增强施工精确度、减少能源消耗、增强环保性能等方面,研发新型土壤改良材料、提升压实作业效率及增强施工设备的环境适应性。在确保工程质量的前提下,有效提升施工作业效率并增强节能减排能力^[5]。在施工活动实施阶段,对潜在问题的预防和风险管理的关注度亟需提升,构建一套健全的风险评估体系,融合历史记录与实时监控数据源,可精确预判潜在风险并实施相应预防策略,强化施工环节的安全保障与质量控制。

6 结束语

在确保坝体安全与稳定性的关键环节,重黏土筑坝施工质量控制技术扮演着举足轻重的角色。凭借对湿度与压实度的精确调控、领先的施工工艺以及智能化的监控措施,显著增强施工品质,维护坝体结构的长久稳固性。有必要对施工质量管理体系进行进一步的优化与提升,加强技术创新与进步的引领力量,在新型材料及智能化系统等前沿领域的应用方面,系统应对复杂施工环境所面临的挑战,推动产业生态实现可持续发展的战略实施优化,提升水利工程建设的技术保障措施和实施水平。

参考文献:

- [1] 樊贵超.大坝基础灌浆工程施工质量控制理论与应用研究[D].天津:天津大学,2017.
- [2] 吴冷希.基于区块链的施工质量控制体系研究[D].武汉:华中科技大学,2020.
- [3] 刘天义.青岛东方影都游艇码头防波堤工程施工质量控制管理[D].青岛:山东科技大学,2020.
- [4] 田世钊.精细化管理在工程施工阶段质量控制中的应用研究[D].郑州:华北水利水电大学,2023.
- [5] 张亚东.基于数字孪生的工程项目施工质量控制研究[D].张家口:河北建筑工程学院,2023.

混凝土施工技术在水利水电施工中的应用

李 德

(四川港建水利水电工程有限责任公司, 四川 成都 610000)

摘 要 水利水电建设工程作为国家基础设施的重要组成部分, 涉及大量的混凝土施工技术。混凝土作为一种关键的建筑材料, 其性能及施工工艺对水利水电项目的整体进展具有深远影响。水利水电工程中进行混凝土施工时需严格控制材料配比、施工工序及养护条件, 保障其强度、耐久性及抗渗透性满足工程要求。本文探讨了当前水利水电工程中混凝土施工的主要技术, 指出了混凝土施工技术在水利水电工程中发挥着重要作用, 持续改进混凝土施工技术, 不断优化施工工艺, 将是水利水电建设工程成功的关键, 以期为相关人员提供借鉴。

关键词 混凝土施工技术; 水利水电工程; 施工管理

中图分类号: TV5

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.14.016

0 引言

水利水电工程复杂性及其对环境资源的特殊需求使得施工技术面临严峻考验, 混凝土施工技术在保障工程质量及进度中是不可替代的, 混凝土在不同施工条件下的表现对后期使用寿命产生深远影响。在水利水电项目中, 施工过程中遇到的地质环境、气候变化及工程结构的特殊要求, 进一步加大混凝土施工技术的难度挑战。在这一复杂背景下优化混凝土施工技术, 提升其稳定性及耐久性, 是业内需解决的技术问题。

1 混凝土施工技术在水利水电工程中的核心作用

混凝土技术在水利水电施工中不单是工程结构的关键支撑, 也直接影响工程的质量及稳定性。混凝土的抗压性能, 使其成为水利水电工程中不可或缺的材料, 在大坝、渠道、基础设施等关键部位的应用中展现出无可替代的优势。在水利水电工程建设中, 混凝土的稳定性及耐久性对于长周期、大负荷的结构需求很重要。要求混凝土以及钢筋共同作用, 能够有效增强结构抗震能力, 保障水利水电工程在自然灾害中的安全性^[1]。提升混凝土抗压性能使其在极端载荷条件下依然能够保持稳定。而在水利水电工程中, 混凝土所带来的坚固性是无法由其他材料替代的。混凝土及钢筋的结合, 为水利水电工程提供坚实的承载力, 也提升其抗压、抗剪及抗弯的综合性能。因此, 混凝土施工技术在水利水电工程中的应用关乎整个工程安全、效率及可持续发展, 特别是在水坝建设中, 混凝土的配比及浇筑技术, 直接决定水坝对水流冲击承载能力及长期抗腐蚀能力, 从而对工程安全性以及持续性起到重要作用。

2 混凝土施工技术在水利水电施工中的应用策略

2.1 优化混凝土施工方案, 助力水利水电工程高效建设

优化混凝土施工方案在水利水电工程中具有极为重要的作用, 直接决定工程建设的高效性及可持续性。在水利水电建设中, 混凝土作为主要承载材料, 承担着巨大的结构负荷, 需应对恶劣环境下的水流冲击、温差变化及水化热等多重考验。混凝土的物理性能以及长期稳定性对于水利水电工程整体安全是重要的, 在水坝、隧道等关键工程中, 混凝土的质量直接影响工程的生命周期及安全性。运用优化混凝土的施工方案, 能够保障混凝土的配比合理、施工过程科学, 避免因材料不均匀或浇筑不当造成质量隐患。实施优化方案可以提升混凝土的耐久性, 还能有效提高施工效率, 同步推进施工进度及缩短工程周期^[2]。因此, 优化混凝土施工方案不只是保证混凝土质量的手段, 更是保障水利水电工程顺利实施的关键。

混凝土施工技术在水利建设中水坝建设中也得到广泛应用。优化混凝土施工方案是提高工程效率及质量的关键环节。建设过程中, 施工人员需根据水坝设计要求, 对混凝土的配比进行严格优化。混凝土的配料需要考虑水泥、砂石等原材料的质量, 还应根据环境因素、气候条件、运输距离等因素调整配比, 以保障每一批混凝土的强度及密度达到最优状态。合理配比可以减少混凝土裂缝、降低气孔率, 进而提升水坝整体抗渗性以及抗压能力。不断创新配料技术, 如引入现代计算机辅助设计 (CAD) 软件辅助配比及数据化检测, 精准

实施每一个生产环节,从而优化整个施工过程。在施工过程中,温度控制是关键因素,对于混凝土的浇筑,内部温度变化可能导致水泥水化反应的不均衡,进而影响混凝土的强度及稳定性。施工人员根据混凝土的热量释放规律,采用先进温控技术,如在混凝土浇筑过程中合理设置冷却管道、使用冷却水进行降温、为表面覆盖保温膜等方法,从而避免产生混凝土裂缝,保障其强度以及密度均匀。

对于混凝土的施工,优化方案中也包含合理的分层浇筑以及振捣策略,层与层之间浇筑需根据结构支撑设计严格匹配,以保证混凝土的稳固性及密实度。此外,施工方案优化还包括混凝土浇筑过程中的精准管理及监控。施工人员在混凝土运输过程中,使用高效的泵送设备及自动化监控系统,要求混凝土在整个施工区内均匀分布,避免在浇筑过程中因工艺不当或温差引起不均匀凝固。加强监控混凝土配合比,随时进行成分检测,调整不合格材料,提高整体施工精度。面对每一个施工环节的管理优化,施工效率及质量得到极大提升,保障水坝建设顺利进行。

2.2 提升混凝土施工技术,促进水利水电工程快速推进

混凝土技术在水利水电施工中不单起到保障工程结构安全的作用,还能显著提高施工效率,促进水利水电工程的快速推进。随着不断扩大工程规模以及压缩施工周期,传统混凝土施工方法面临巨大的挑战。重点在于提升混凝土施工技术,优化混凝土配比、改善施工工艺,这些方面是推动工程高效建设的核心。具体来说,精确配比及优化施工工艺直接关联到工程的进度质量^[3]。在现代水利水电建设中,混凝土的抗渗性、强度及耐久性决定结构物的稳定性及其长期使用性能。提高应用施工技术,能够让施工方在保证质量的前提下,加速工程推进。不断提升优化施工计划,避免工期延误问题,并提高成本控制的精度。提升混凝土施工技术有助于水利水电工程施工过程中,减少传统人工浇筑误差,避免因天气因素导致的混凝土强度问题,从而更好地支持工程项目按时完成。

例如:在白鹤滩水电站大坝建设过程中,提升混凝土施工技术是推动工程快速推进的关键因素。每一段大坝的混凝土浇筑都精确划分为多个坝段,每个坝段都需按照严格施工程序及技术标准实施。施工前,相关部门对现场环境、混凝土配比及浇筑工艺进行详细规划。大坝浇筑采用双平台七台缆机系统,施工人员合理配置施工设备及优化作业流程,确保混凝土浇筑的

均匀性及高效性。此举大大提升施工效率,同时也有效减少施工过程中的风险。施工人员每次浇筑后,需严格进行温度监控调整,确保混凝土内部温度控制在合理范围,防止出现由于温差引发的裂缝或结构问题。

在实际浇筑过程中,对于大坝坝身的混凝土浇筑,所有操作均按单段、单层、逐段推进的方式进行。施工中,技术人员利用实时数据监控系统,全面掌握浇筑温度、湿度等关键参数,对温差进行调整,保障每一层混凝土的顺利凝固。结合先进低热水泥材料,项目组有效避免混凝土内部的热应力积累,最大程度减少因热胀冷缩引发的裂纹问题。此外,混凝土施工技术的创新还体现在闸门门槽的施工上,项目组采用一期直埋高精度施工技术,使用这项技术确保门槽结构的高精度及高质量,同时也顺利推进施工进度。施工过程中,施工人员精确施工定位、严格的质量检测以及有效的施工监控,使得每个施工环节都精准到位,最大程度避免施工过程中可能出现的任何误差或质量问题。在混凝土施工过程中,创新的技术手段以及施工工艺应用相得益彰,为水利水电工程施工技术的不断进步做出积极贡献。

2.3 创新混凝土施工工艺,保障水利水电工程持久稳定

混凝土技术在水利水电工程中的应用,主要在创新混凝土施工工艺方面,具有重要的作用。水利水电工程常常面临着巨大的水流压力以及极端环境条件,混凝土作为最主要的建筑材料,其性能的优劣直接关系到工程的稳定性及持久性。创新混凝土施工工艺,能够有效优化混凝土配比,提高其力学性能,同时能在施工过程中借助温控措施及养护手段,有效防止产生裂缝,保障混凝土在复杂环境下保持稳定性能^[4]。采用新型混凝土配比,加入高效减水剂、外加剂及耐腐蚀的材料,能够有效提高混凝土的抗裂性能,保障混凝土在水利水电工程长期使用过程中不会发生早期破坏。水利水电工程的耐久性需要依赖材料的高强度,同时要求施工工艺的不断优化创新,才能够最大限度地延长结构的使用寿命。

例如:在南水北调工程隧道建设中,混凝土在水利隧道建设中也发挥着重要作用。施工过程中,针对水利隧道的特殊要求,施工人员在混凝土的配比设计上引入创新理念,结合隧道施工的环境条件,采用高性能混凝土以提高强度及耐久性。此类混凝土能够增强抗渗性,同时提升整体结构的承载能力及抗裂性。在温控施工工艺上,施工人员依托混凝土施工中的温

度控制系统,借助智能化手段实时监测混凝土的温度变化,在浇筑过程中温差不至于导致混凝土开裂。该技术可以精确控制混凝土的浇筑速度及分层厚度,避免因水泥水化热过高而引发裂缝,进而提升施工质量。混凝土的创新工艺还包括对施工现场环境的智能监测控制,施工人员依托现代信息技术,可实时调控材料状态、施工进度以及环境条件,保障每个环节都在最佳状态下进行。

在面对地下水位高、地质条件复杂的隧道施工环境时,施工人员利用先进的技术手段可以有效预防发生渗水现象。此外,随着施工过程中材料及技术不断升级,后期养护过程中采用高效的加湿保湿技术,可以进一步提升混凝土的抗裂性及抗渗能力,使其具备更高的长期稳定性。在此基础上,创新混凝土施工工艺不局限于优化材料及改进工艺,还包含工艺设备的现代化。如施工人员在隧道施工中使用自动化混凝土浇筑设备及高精度控制仪器,需完善施工过程的精准度及稳定性。

2.4 完善混凝土施工管理,提升水利水电工程质量

完善混凝土技术在提升水利水电施工工程质量保障方面具有重要的作用,水利水电工程的结构复杂、工期长、涉及的技术要求高,这就要求混凝土施工的每一个环节都必须得到严格的控制管理。完善混凝土施工管理,能够保障混凝土的质量符合设计要求,有效防止发生工程质量问题,保障工程长期的稳定性及安全性。在这一过程中,管理混凝土施工技术不单是针对施工阶段,更是贯穿整个工程周期,从材料采购、运输、浇筑、养护等环节都需进行精细化管理^[5]。及时调整完善施工策略,可以最大化地提高混凝土抗压、抗渗、耐久等性能。运用科学的混凝土施工管理,能够有效地避免由于混凝土强度不足或施工不当引发的质量隐患,从而提升水利水电工程的长期稳定性及安全保障。

混凝土施工技术在水闸建设中也得到广泛的应用。在水闸建设施工过程中,完善混凝土施工的管理体系直接决定项目施工效率及质量保障。施工人员应对施工现场进行详细勘察准备,保障施工区域整洁无障碍。对于底板区域,施工团队需依照设计图纸要求,精准测量定位,保证混凝土的浇筑厚度及均匀性。混凝土配比必须按照严格的标准进行,选用合适的水泥、骨料及添加剂,以达到预期的强度及抗渗性能。在混凝土浇筑时,施工人员应采用高效的振动设备,使混凝土充分密实且无气泡。为保证质量,施工现场应配备

专门的质量检测人员,定期检查混凝土的强度、密度及硬化情况。在闸墩施工过程中,需要精确控制安装预埋件,施工人员需根据设计要求,保障预埋件的位置、数量及方向无误。混凝土浇筑时要特别注意控制每一层的厚度及浇筑速度,避免出现不均匀浇筑或强度不足的现象。施工人员需要定期监控混凝土的温度及湿度,及时调整施工进度,避免因外界气候因素影响混凝土质量。在此过程中,强化施工管理、严格控制每个细节,大幅提升工程质量,避免由于施工疏忽导致的结构性问题。

施工完成后,施工团队需保障混凝土表面保持适当湿润,防止出现裂缝或收缩。合理的养护周期将为混凝土强度的提升提供保证,从而实现水闸结构的长期稳定性。为进一步提升水闸工程的质量保障,施工管理过程中应注重全过程监控以及评估,及时发现并解决潜在的质量隐患。建立健全的质量管理制度,施工团队能够对混凝土施工进行全过程的严格把控,从而保障工程达到设计的质量要求,保证水闸长期安全运行。

3 结束语

混凝土施工技术在水利水电工程中的应用,为工程结构提供基础,也为工程长期稳定性及安全性奠定坚实保障。随着工程规模扩大及技术要求不断提高,混凝土技术优化创新显得尤为迫切。水利水电建设的复杂性要求施工技术不断适应新挑战,从配比设计到施工管理的每一环节都体现着对质量的精益求精。未来,随着高性能混凝土材料及智能化施工技术普及,混凝土施工的精确度将进一步提升,为水利水电工程的高质量推进提供更多支持。

参考文献:

- [1] 江东伟.混凝土浇筑技术在水利工程施工中的应用分析[J].工程技术研究,2024,09(19):79-81.
- [2] 李建辉.新时期混凝土施工技术在水利施工中的应用分析[J].水上安全,2024(17):190-192.
- [3] 王超群.混凝土施工技术在水利施工中的应用探讨[J].全面腐蚀控制,2024,38(07):142-146.
- [4] 元悦成.水利水电施工中混凝土施工技术的应用[J].水上安全,2024(11):187-189.
- [5] 董艳.混凝土施工技术在水利施工中的应用探讨[J].城市建设理论研究(电子版),2024(01):122-124.

建筑工程大体积混凝土施工裂缝控制技术探究

牛 利

(安徽昌达路桥工程集团有限公司, 安徽 合肥 230000)

摘 要 为有效控制建筑工程大体积混凝土施工裂缝, 本文对裂缝成因展开了分析, 研究大体积混凝土施工裂缝控制技术, 涵盖水泥水化热、施工工艺、温度应力及施工环境等因素, 通过采用材料选择与配比优化、施工工艺改进、温控技术运用及施工环境优化等方法控制大体积混凝土施工裂缝。研究表明, 合理运用大体积混凝土施工裂缝控制技术, 可显著降低裂缝产生风险, 保障大体积混凝土施工质量。

关键词 大体积混凝土; 施工裂缝; 控制技术; 温度控制; 材料选择

中图分类号: TU755

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.14.017

0 引言

大体积混凝土因承载能力强、整体性好, 在建筑基础、大坝等关键部位应用广泛。但施工时裂缝问题频发, 水泥水化热使混凝土内部升温快, 与外部形成较大温差, 易引发温度应力裂缝。施工工艺不当, 如振捣不密实、浇筑顺序错乱, 也会催生裂缝。环境因素如温湿度、风速变化同样影响混凝土质量。裂缝不仅有损建筑外观, 更危及结构安全与耐久性。因此, 探究大体积混凝土裂缝控制技术, 对保障工程质量意义重大。

1 大体积混凝土施工裂缝的成因分析

1.1 水泥水化热引起的裂缝

在大体积混凝土中, 水泥作为重要胶凝材料, 与水发生水化反应时会释放大量热量。由于大体积混凝土结构厚实, 热量积聚在内部难以迅速散发。一般情况下, 水泥水化热在浇筑后的 1~3 天内达到峰值, 使混凝土内部温度可升高至 60℃ 甚至更高。而混凝土表面与外界环境接触, 散热相对较快, 内外形成显著温差。这种温差导致混凝土内部产生膨胀应力, 外部则是收缩应力。当应力超过混凝土的抗拉强度时, 裂缝就会出现。例如: 在某大型建筑基础施工中, 因混凝土浇筑方量大, 未采取有效温控措施, 水泥水化热使内部温度过高, 表面混凝土受拉开裂, 严重影响了基础的整体性与防水性能, 后续不得不进行修补加固, 耗费大量人力物力。

1.2 施工工艺不当引起的裂缝

施工工艺在大体积混凝土施工中起着关键作用。振捣不密实是常见问题之一, 混凝土内部存在空隙,

降低了其强度与抗渗性, 在后续受力或环境作用下易产生裂缝。比如振捣棒插入深度不足、振捣时间过短, 部分混凝土无法充分填充模板角落, 形成薄弱区域。不合理的浇筑顺序同样危害极大, 若相邻浇筑层间隔时间过长, 先浇筑层已初凝, 后浇筑层振捣时难以与先浇筑层有效结合, 新旧混凝土间易形成冷缝成为裂缝源头^[1]。在某桥梁承台施工中, 因浇筑顺序混乱, 未按规范从一端向另一端分层浇筑, 导致混凝土内部出现多处裂缝, 影响了桥梁的结构稳定性与使用寿命, 不得不返工重筑, 造成巨大经济损失与工期延误。

1.3 温度应力引起的裂缝

大体积混凝土中除水泥水化热的差异外, 外部环境温度的变化也会引起温度应力。随着温度的降低, 混凝土的收缩也随之增大。混凝土受地基和模板的约束, 收缩变形受到阻碍, 产生拉应力。当拉应力超过混凝土的极限抗拉强度时, 就会出现裂缝。在季节温差大的地区, 夏季气温高, 混凝土浇筑后温度高, 进入秋季和冬季气温骤降, 混凝土收缩显著, 如某高层办公楼基础因季节温差影响而未采取保温措施, 当气温骤降后, 地基表面产生多道裂缝, 使地基承载力下降, 建筑物结构安全隐患增大, 需采取裂缝注浆等加固措施。

1.4 施工环境因素对裂缝的影响

施工环境中的温度、湿度及风速变化对大体积混凝土质量影响显著。高温环境下, 混凝土水分蒸发过快, 表面迅速失水, 内部水分迁移速度跟不上, 导致表面混凝土干缩变形。同时, 高温还会加速水泥水化反应, 进一步增大内部温度。湿度方面, 若环境湿度低, 混凝土表面水分流失加剧, 干缩裂缝极易出现。风速也是重要因素, 大风会加快混凝土表面水分蒸发, 增大

干缩应力。例如在沙漠地区施工,昼夜温差大、空气湿度低且风速高,某大体积混凝土桥墩施工时,因未做好保湿防风措施,混凝土表面短时间内出现大量细小裂缝,严重影响桥墩耐久性,后续需频繁进行维护保养,增加了工程全生命周期成本。

2 大体积混凝土施工裂缝控制技术

2.1 材料选择与配比优化

2.1.1 合理选择水泥与骨料

水泥的特性对大体积混凝土的水化热有直接影响。低热水泥,如矿渣硅酸盐水泥,相较于普通硅酸盐水泥,其水化热释放速率较慢且总量较低,可有效降低混凝土内部升温幅度。普通硅酸盐水泥 3 天的水化热可达 $300 \sim 400 \text{ J/g}$,而矿渣硅酸盐水泥同期水化热仅为 $200 \sim 300 \text{ J/g}$ 。在选择水泥时,需综合考虑工程实际需求、成本及水泥性能。若工程对早期强度要求不高,优先选用低热水泥可显著降低裂缝风险^[2]。骨料方面,粗骨料宜选用粒径较大、级配良好的石料,一般来说, $5 \sim 40 \text{ mm}$ 连续级配的石料较为理想,这样能减少水泥用量,降低水化热。每立方米混凝土中,采用优质级配石子可比级配不良的石料减少水泥用量约 $20 \sim 30 \text{ kg}$ 。同时,良好的级配可使混凝土更加密实,提高其抗裂性能。细骨料以中粗砂为宜,其细度模数在 $2.3 \sim 3.0$ 之间,可减少混凝土的干缩。

2.1.2 高性能混凝土的应用

通过掺加粉煤灰和矿粉等矿物掺合料,高性能混凝土的各项性能得到了明显的提高。粉煤灰可以填满水泥颗粒之间的空隙,提高混凝土的密实度,降低水泥的水化热;同时,它的活性组分也可以和水泥的水化产物进行二次反应,从而提高混凝土的后期强度。研究表明,粉煤灰的掺量为 $15\% \sim 30\%$ 时,28 天水化热可降低 $10\% \sim 20\%$;同时,矿粉也可以改善混凝土的微结构,改善其抗渗性和耐久性。在配合比设计时,精确控制外加剂用量,可以大幅度降低水化热,同时保证混凝土的强度。将高性能混凝土应用于城市地标建筑基础建设中,既可满足大体积混凝土强度要求,又可通过矿物掺合料有效控制裂缝,提高建筑物整体质量和使用寿命。经检测,地基混凝土抗渗等级提高 $1 \sim 2$ 级,裂缝宽度控制在 0.2 mm 以内。

2.2 施工工艺改进

2.2.1 分层浇筑技术

分层浇筑工艺是大体积混凝土施工的关键技术,其核心思想是将大体积混凝土按一定的厚度进行分层,再按顺序浇筑。每层混凝土厚度一般以 $300 \sim 500 \text{ mm}$

为宜,保证各层混凝土浇筑完成后,水化热能及时向外散发,有效防止混凝土内部过热积聚。上层混凝土浇筑过程中,下层混凝土仍处于塑性状态,该特点可使上下层混凝土紧密结合,大大提高整体结构的连续性和整体性,有效防止冷缝产生^[3]。某大型商业综合体地下室底板的施工,其面积大、浇筑量大。施工团队采取分层浇筑的方式,通过合理规划各层混凝土的厚度和浇筑顺序。每层混凝土浇筑完毕后,用高频振动棒振捣,保证混凝土的密实程度,并将模板的每一个角都填满。采用该技术后,混凝土内部温度分布更加均匀,最高温度比无分层浇注时低 $8 \sim 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$;经过后期质量检测,地下室底板开裂率明显降低,防水效果良好,无渗漏,为整个商厦的稳定施工打下了坚实的基础。

2.2.2 适当延长浇筑间隔时间

适当延长相邻浇筑层的间隔时间,是优化大体积混凝土施工工艺、控制裂缝产生的有效手段。这一方法的关键在于,让下层混凝土在等待上层浇筑的过程中有充足时间散热,从而降低混凝土整体水化热峰值。然而,需要严格把控间隔时间,务必确保其处于混凝土初凝时间范围内,否则极易在新旧混凝土交接处形成冷缝,严重影响混凝土结构质量^[4]。一般来说,在夏季高温环境下,混凝土水化反应速度加快,散热需求更为迫切,此时浇筑间隔时间可适当延长至 $2 \sim 3$ 小时;而在冬季低温条件下,混凝土凝结速度变慢,间隔时间则应适当缩短。例如,在某跨江大桥的桥墩承台施工中,夏季施工时,施工人员依据现场实时温度以及混凝土初凝时间数据,合理调整浇筑间隔。在确保下层混凝土未初凝的前提下,给予其充分散热时间,使混凝土内部温度梯度更加平缓,温度应力降低了约 30% 。经长期监测,该桥墩承台未出现明显裂缝,结构稳定性良好,有力保障了桥梁在后续运营过程中的安全可靠,为跨江交通的顺畅提供了坚实支撑。

2.3 温控技术

2.3.1 养护温度控制

养护温度控制是大体积混凝土温控技术的关键环节,对混凝土的质量和耐久性起着决定性作用。在混凝土浇筑完成后,其内部水泥持续进行水化反应,释放大热量,导致内部温度迅速升高。而混凝土表面与外界环境直接接触,散热较快,由此形成较大的内外温差。当温差超过一定限度,混凝土就会因温度应力而产生裂缝。为有效控制这一温差,需采取合理的养护温度控制措施。常见的做法是在混凝土表面覆盖

保温材料,如草帘、棉被、保温毡等。这些保温材料能够减缓混凝土表面热量的散失速度,缩小混凝土内部与表面的温差。同时,在混凝土内部埋设测温元件,构建实时温度监测系统^[6]。通过该系统,施工人员可随时掌握混凝土内部温度变化情况。一旦发现内部温度与表面温度差值接近 25℃这一预警值,便立即采取相应措施,如增加保温层厚度、调整养护用水温度等,确保温差始终处于可控范围。例如在某高层写字楼的基础大体积混凝土施工中,严格执行养护温度控制措施。从混凝土浇筑完成开始,持续监测温度,依据温度数据动态调整保温覆盖,使混凝土内外温差始终维持在 20~22℃。

2.3.2 预冷技术与降温措施

预冷技术与降温措施是在大体积混凝土施工中从源头上降低混凝土温度以及在施工过程中有效带走热量的重要手段。预冷技术主要应用于混凝土浇筑前,通过对原材料进行降温处理,降低混凝土的初始温度。其中,对骨料进行喷淋冷水降温是常用方法之一。持续的喷淋冷水可使骨料温度降低 5~10℃,从而有效降低混凝土的出机温度。此外,对拌和用水采用加冰冷却也是常见操作,一般情况下,加冰冷却可使混凝土出机温度降低 3~5℃。在混凝土浇筑过程中,为进一步控制内部温度,可在混凝土内部埋设冷却水管。冷却水管通常采用导热性能良好的金属管或塑料管,在混凝土浇筑时按一定间距和布置方式埋入。浇筑完成后,向冷却水管内通入循环冷水,利用冷水与混凝土之间的温差,将混凝土内部的水化热带走。例如在大型水利枢纽工程的大坝大体积混凝土施工中,综合运用预冷技术与冷却水管降温措施。对骨料进行喷淋冷水降温,同时在拌和用水中加入适量冰块,使混凝土出机温度大幅降低。在混凝土浇筑后,通过冷却水管持续通入循环冷水。经实际监测,混凝土内部最高温度较未采取这些措施时降低了 10~15℃,有效减少了温度应力裂缝的产生,确保了大坝的结构安全与长期稳定性,为水利枢纽的正常运行奠定了坚实基础。

2.4 施工环境优化

2.4.1 控制湿度与风速

在施工环境中,控制湿度与风速能有效减少混凝土干缩裂缝。通过喷雾、洒水等方式增加空气湿度,使混凝土表面保持湿润状态,减缓水分蒸发速度。一般将空气相对湿度保持在 80%~90%为宜。在混凝土表面覆盖塑料薄膜,既能保湿又能防止水分过快散失。对于风速较大的施工场地,设置防风屏障,降低风速

对混凝土表面的影响。在沿海地区某大体积混凝土建筑施工中,通过设置防风屏障与喷雾保湿系统,有效控制了湿度与风速,混凝土表面干缩裂缝明显减少,提高了建筑的外观质量与耐久性。经统计,采取措施后,混凝土表面干缩裂缝数量减少了约 60%,建筑外观平整光滑,耐久性得到显著提升。

2.4.2 避免极端气候条件下施工

极端气候,如高温酷暑、暴雨、严寒等,对大体积混凝土质量影响极大。在高温天气下,混凝土水分蒸发快,水化热反应加速,易产生裂缝;暴雨会冲刷混凝土表面,影响其配合比与强度;严寒则会使混凝土受冻,降低其性能。因此,应合理安排施工进度,避开极端气候时段。如在夏季高温时,选择在清晨或傍晚时段浇筑混凝土;冬季严寒时,做好混凝土的保温与防冻措施,若无法避免低温施工,可采用加热原材料、添加防冻剂等方法。例如:在某北方城市冬季大体积混凝土基础施工中,通过采用加热水拌和、添加防冻剂并加强保温养护等措施,成功在低温环境下完成施工,保证了基础工程质量。经检测,基础混凝土强度满足设计要求,未出现因受冻导致的质量问题,为工程顺利推进提供了保障。

3 结束语

大体积混凝土施工裂缝成因复杂,涵盖水泥水化热、施工工艺、温度应力及施工环境等因素。目前已形成材料选择与配比优化、施工工艺改进、温控技术运用、施工环境优化等一系列控制技术,如通过合理选材、分层浇筑、精准温控等,有效降低裂缝发生率,保障建筑工程质量。未来,随着材料科学与施工技术的进步,将开发出更高效的裂缝控制手段,进一步提升大体积混凝土施工质量,推动建筑行业向更高质量、更可持续方向发展。

参考文献:

- [1] 么凯龙,丛莉,宋兴龙.超长超厚建筑工程大体积混凝土无缝施工技术[J].砖瓦,2025(02):169-171.
- [2] 文在江.大体积混凝土构件模板新型加固技术研究[J].建筑科技,2025,09(01):102-105.
- [3] 刘佳鑫.地下室大体积混凝土跳仓分块施工技术探析[J].江西建材,2024(12):362-364.
- [4] 连蓼燕.建筑工程中大体积混凝土结构施工研究[J].房地产世界,2024(21):158-160.
- [5] 吴建宏.建筑工程中大体积混凝土结构的施工技术探析[J].中国住宅设施,2024(10):154-156.

市政道桥施工中的施工安全隐患及对策分析

高峰

(安徽新建控股集团有限公司, 安徽 合肥 230000)

摘要 为探究市政道桥施工中的安全隐患并提出有效对策, 本文以市政道桥施工实际状况为例, 深入分析了施工现场管理、人员意识、机械设备、高空作业及地质环境等方面的安全隐患。研究表明, 通过完善施工现场管理体系、加强人员安全培训、强化设备安全管理、完善高空作业防护及科学评估地质环境等措施, 可有效防范安全隐患, 提升市政道桥施工的安全性, 保障工程顺利推进。

关键词 市政道桥; 施工安全隐患; 安全管理

中图分类号: U415; U445

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.14.018

0 引言

在市政道桥工程施工过程中, 各类安全事故时有发生, 严重威胁着施工人员的生命安全, 也对工程进度、成本及质量造成负面影响。施工现场管理的不规范, 易导致材料堆放杂乱、通道堵塞等问题, 增加事故风险; 施工人员安全意识的欠缺, 使其在操作时易违规作业; 机械设备长期高负荷运转, 缺乏及时保养, 存在安全隐患; 高空作业环境复杂, 防护措施稍有不当便可能引发坠落事故; 地质与环境条件的不确定性, 如不良地质、恶劣天气, 更是给施工安全带来诸多挑战。

1 市政道桥施工中的安全隐患

1.1 施工现场管理不规范

市政道桥工程施工中存在的安全隐患比较突出。一些工地材料堆放无序, 通道和作业区周围随意堆放建筑材料, 不仅妨碍了施工人员的正常通行, 而且一旦发生火灾、坍塌等突发事件, 也会对人员的疏散和救援工作造成极大的影响。同时, 施工区域划分不合理, 作业区域之间相互干涉, 交叉作业频繁, 缺乏有效的协调机制, 极易发生物体撞击、机械损伤等事故。另外, 施工现场对电力的管理也比较混乱, 电线私拉乱接, 配电箱不上锁, 保护装置遗失或损坏, 容易发生触电事故。

此外, 施工现场的警示标志设置不合理或者设置不当, 对过往的行人和车辆不能起到有效的警示作用, 增加事故发生的概率^[1]。这些不规范的管理行为, 主要是由于施工单位的管理制度不健全, 管理人员缺乏责任心, 对施工现场没有进行严格的监督和有效地控制, 最后可能会发生一些安全事故, 这对工程的进度和人员的安全造成了很大的影响。

1.2 施工人员安全意识不足

施工人员安全意识不足在市政道桥施工中是一大潜在安全隐患。许多一线施工人员多为农民工, 文化水平相对较低, 缺乏系统的安全培训。在施工过程中, 他们往往不重视安全规章制度, 心存侥幸心理。例如: 不按要求佩戴安全帽、安全带, 在施工现场吸烟、随意攀爬脚手架等。同时, 对于一些新的施工工艺、设备操作, 因未接受专业培训, 不了解潜在风险, 容易违规操作^[2]。而且, 部分施工人员安全知识匮乏, 对施工现场存在的安全隐患, 如基坑边缘的危险性、电气设备漏电风险等, 缺乏基本认知, 不能及时发现并规避。这主要是由于施工单位对人员安全培训不够重视, 培训走过场, 未真正将安全意识根植于施工人员心中。施工人员安全意识的欠缺, 极大增加了安全事故发生概率, 一旦事故发生, 不仅危及自身生命安全, 还会给施工单位带来巨大损失。

1.3 机械设备安全隐患

市政道桥施工离不开大量机械设备, 其安全隐患不容忽视。一些施工单位为降低成本, 使用老旧机械设备, 这些设备长期高负荷运转, 关键部件磨损严重, 却未得到及时维修与更换。例如: 起重机的钢丝绳出现断丝、吊钩变形, 未及时发现处理, 在吊运重物时极易发生断裂、脱钩, 引发严重的坍塌事故。同时, 机械设备的日常保养维护不到位, 润滑、清洁工作不及时, 导致设备运行不稳定, 故障率增加。而且, 操作人员对设备操作规程不熟悉, 违规操作现象频发, 如混凝土搅拌机在运转过程中进行清理作业, 极易造成人员卷入伤害。

另外, 部分机械设备的安全防护装置缺失或损坏, 如电锯的防护挡板脱落、挖掘机的倒车警报器失灵等,

无法为操作人员提供有效保护^[3]。这些安全隐患的存在,主要是因为施工单位设备管理不善,对设备安全检查不严格,最终可能引发严重的机械事故,危及施工人员生命与工程财产安全。

1.4 高空作业的安全隐患

在市政路桥施工中,高空作业是比较普遍的一种形式,存在着许多安全隐患。首先,脚手架搭设不规范,如立杆间距过大,横杆设置不合理,连墙构件缺失等,造成脚手架的稳定性较差,受到施工人员和建材等荷载的影响,易发生变形和倒塌。其次,高空作业平台的防护栏杆高度不高,没有设置踢脚板,施工人员稍不注意,就有可能从平台上摔落。另外,由于吊篮设备的安全性能不稳定,钢丝绳的磨损和断裂、提升机的故障等,都会导致吊篮从空中坠落。此外,建筑工人在高空作业时,如果没有正确使用安全带,例如安全带系挂位置不正确,不高挂低用,在事故发生时不能有效地保护。高空作业环境复杂,大风、大雨、大雾等恶劣天气更是增加了作业风险,可能造成人员站立不稳,物体被吹落伤人等。施工单位对高空作业安全不够重视,安全防护措施落实不力,造成了施工人员生命安全的重大隐患。

1.5 地质与环境条件不确定性

市政道桥施工受地质与环境条件影响较大,其不确定性带来诸多安全隐患。在地质方面,若施工区域存在软土地基、断层、溶洞等不良地质情况,在进行基础施工时,可能引发地基沉降、塌陷,导致桥梁墩台倾斜、道路路面开裂。例如:在软土地基上进行桩基础施工,若未采取有效的地基处理措施,桩身可能出现下沉、偏位,影响桥梁结构稳定性。在环境方面,周边建筑物密集时,施工过程中的振动、开挖等作业,可能对邻近建筑物造成损坏,引发墙体开裂、地基下沉等问题^[4]。而且,施工场地周边的交通状况复杂,车辆、行人流量大,施工围挡设置不合理、交通疏导不畅,容易引发交通事故。此外,恶劣天气如暴雨、洪水、地震等,会对施工安全产生极大影响,暴雨可能导致施工现场积水、滑坡,洪水可能冲毁施工临时设施,地震则可能使桥梁、道路结构遭受严重破坏。这些地质与环境条件的不确定性,给市政道桥施工安全带来严峻挑战,需要施工单位提前做好充分的应对措施。

2 市政道桥施工中的安全隐患防范对策

2.1 完善施工现场管理体系

施工单位应构建系统且完善的施工现场管理体系。首先,明确材料堆放规则,划分专门的材料堆放区域,

按照材料类别、使用频率等进行有序摆放,并设置清晰标识,确保通道畅通无阻,保障紧急情况下人员疏散与救援工作能够顺利开展。同时,合理规划施工区域,依据不同工种作业特点,进行科学分区,制定交叉作业协调制度,明确各工种作业时间与顺序,配备专人负责协调管理,有效减少不同作业区之间的相互干扰,降低物体打击、机械伤害等事故发生概率。在施工用电管理上,严格遵循电气安全规范,对电线铺设、配电箱设置进行统一规划,安排专业电工定期巡查,及时纠正私拉乱接现象,确保配电箱防护装置齐全且正常运行,杜绝触电事故隐患。

此外,在施工现场关键位置,进出口、危险作业区域等,合理设置醒目警示标识,涵盖施工注意事项、危险提示等内容,对过往行人和车辆起到有效警示作用,全面提升施工现场管理水平,为施工安全提供坚实保障。

2.2 加强施工人员安全培训

施工单位务必高度重视施工人员安全培训工作。针对一线农民工文化水平普遍较低的现状,设计通俗易懂、形式多样的培训内容与方式。定期组织安全知识讲座,邀请专业安全讲师,以生动案例讲解安全规章制度的重要性,如因不佩戴安全帽、安全带导致的伤亡事故案例,让施工人员深刻认识到违规操作的严重后果。开展新施工工艺、设备操作培训课程,安排经验丰富的技术人员进行现场示范与指导,使施工人员熟练掌握操作流程与潜在风险应对方法。设置安全知识考核环节,对培训效果进行检验,对考核合格人员发放安全作业证书,激励施工人员认真学习安全知识。同时,在施工现场设置安全宣传栏,定期更新安全知识要点、事故警示等内容,营造浓厚的安全文化氛围。通过持续且深入的安全培训,将安全意识深深根植于施工人员心中,切实提升施工人员安全素养,从源头上减少安全事故发生。

2.3 强化机械设备的安全管理

施工单位应从各个方面加强机电设备的安全生产工作。在设备采购方面,成立专业的采购队伍,对市场上主流品牌的设备进行调研,对产品的技术参数、安全防护结构、售后服务等进行比较。如购买吊车时,应优先选用先进的防倾翻系统、精确限载装置和可靠的制动装置,从源头上控制设备的质量。对运行中的机械设备,制订详细的日常维护计划。每天工作结束后,混凝土搅拌桶必须清洗,检查刀片是否磨损,并对传动部件进行润滑;每星期对吊车钢丝绳的断丝和吊钩

的变形情况进行检查,并对每个月进行一次全面的性能测试。安排专业的维护人员严格按照计划进行维修,每一次维护都要做好记录,包括维修的时间、项目、更换零件等,以保证设备的平稳运行,减少故障的发生^[5]。加强对设备操作人员的管理,上岗前必须经过一周的《操作规程》专门培训,培训结束后,再进行理论、实践考核,合格后才能上岗。定期进行复训,提高员工的安全意识及操作技能。严禁违章作业,如吊车不得斜拉、猛起、猛降,搅拌机运转时严禁用手去清理。每个月至少要对所有的机械设备进行一次安全检查,主要是针对起重机的关键部件、混凝土搅拌机传动系统等,如果发现钢丝绳磨损超标、吊钩变形、传动部件松动等问题,要及时停机维修或者更换。还要定期对电锯防护挡板灵敏性、挖掘机倒车报警器等安全防护设备进行定期测试,以保证给操作者提供可靠的安全保障,预防机械事故发生。

2.4 完善高空作业安全防护措施

施工单位需全面完善高空作业安全防护措施。脚手架搭建严格遵循相关规范,立杆间距精确控制在 1.5 米以内,横杆步距不超 1.8 米,连墙件按二步三跨原则设置,采用刚性连接方式,增强整体稳定性。脚手架每搭建一层,由项目技术负责人、安全管理人员、架子工共同验收,检查内容包括立杆垂直度、横杆水平度、连墙件牢固程度等,验收合格方可继续搭建。高空作业平台防护栏杆高度达 1.2 米,横杆间距 0.6 米,底部安装 0.18 米高踢脚板,防止人员坠落和物体掉落。平台满铺脚手板,脚手板固定牢固,无探头板。吊篮设备每次使用前,专业人员检查钢丝绳磨损、断丝情况,测试提升机运行稳定性、安全锁可靠性,检查合格并记录后方可使用。吊篮内施工人员不超 2 人,必须正确佩戴安全带,高挂低用,系挂在专用安全绳上。密切关注天气变化,气象部门提前发布强风、暴雨、大雾等恶劣天气预警时,立即停止高空作业。在强风来临前,增加脚手架连墙件数量,对吊篮进行锚固;暴雨前清理排水管道,准备排水泵;大雾天气能见度低于 50 米时,严禁高空作业,切实保障施工人员高空作业安全。

2.5 科学评估地质与环境条件

施工单位在项目开工前,要组织专业地质勘察团队,运用地质钻探、物探等技术全面勘察施工区域地质条件。地质钻探按一定间距布置钻孔,获取不同深度岩芯样本,分析土壤类型、地层结构,判断是否存在软土地基、断层、溶洞等不良地质。物探采用地质

雷达,探测地下隐蔽构造和异常体,为制定地基处理方案提供准确依据。如遇软土地基,采用深层搅拌桩加固,控制水泥浆配合比、搅拌深度、提升速度,确保加固效果,保障基础施工安全。同时,深入调研施工场地周边环境,分析周边建筑物分布、结构类型、距离。对周边建筑物密集区域,施工过程中安装振动监测仪,实时监测振动数据,一旦超标,立即调整施工工艺,如采用低振动设备或设置隔振沟、减振垫,避免施工振动损坏邻近建筑。合理设置施工围挡,围挡坚固、美观,市区主要路段高度不低于 2.5 米,设置交通指示牌、警示灯。优化交通疏导方案,安排专人在施工场地进出口、交通繁忙路口指挥交通,确保交通顺畅。建立恶劣天气预警机制,与气象部门实时对接,通过短信、现场广播等方式提前获取暴雨、洪水、地震等预警信息。制定应急预案,明确应急响应流程、责任分工,暴雨前清理排水系统、储备沙袋,洪水来临时转移设备、垫高物资,地震预警发出后有序疏散人员,有效应对地质与环境条件不确定性带来的安全隐患。

3 结束语

在市政道桥施工中,施工现场管理不规范、人员安全意识不足、机械设备与高空作业存隐患以及地质环境复杂等问题威胁施工安全。经完善管理体系、强化培训与设备管理、优化防护措施、科学评估地质环境等对策,可有效降低风险。未来,市政道桥施工应持续创新安全管理模式,深度应用新技术监测隐患,提升全员安全素养,以更高标准保障施工安全,推动市政道桥建设事业稳健发展,打造更多优质、安全的交通工程。

参考文献:

- [1] 赵龙.市政道桥施工安全管理措施分析[J].中国建材,2019(11):124-126.
- [2] 阙明林.市政道桥施工的问题及安全管理策略[J].地产,2019(18):87.
- [3] 潘敬毅.如何加强市政道桥施工质量管理的有效性[J].中国设备工程,2019(04):226-227.
- [4] 张希.加强市政道桥施工质量管理措施研究[C]//广西信息化发展组织联合会.第四届工程技术管理与数字化转型学术交流会论文集.兰溪市城投市政养护有限公司,2024.
- [5] 姜妍.市政道桥施工安全管理措施分析[J].科技创新导报,2018,15(15):163-164.

市政道路桥梁工程中沉降段路基路面的施工要点研究

寇相阁¹，陈卫国²，段双岗³

- (1. 日照天联建筑劳务有限公司，山东 日照 276800;
2. 湖州市公路水运工程监理咨询有限公司，浙江 湖州 313000;
3. 日照方业建筑工程有限公司，山东 日照 276800)

摘 要 在市政道路桥梁工程中，沉降段路基路面的施工是确保道路结构稳定性和行车安全的关键环节。沉降段通常位于地质条件复杂或填挖交界区域，其施工质量直接影响道路的整体性能和使用寿命。本文认为在施工过程中，需对地基进行详细勘察与处理，确保地基承载力满足设计要求；路基填筑和路面铺设需严格按照规范操作，确保各层材料的密实度和均匀性。通过科学的施工工艺和有效的质量控制，保障沉降段路基路面的施工质量，以期道路的长期稳定运行奠定基础。

关键词 市政道路桥梁；沉降段路基路面；地质勘察；施工方案制定

中图分类号：U415；U445

文献标志码：A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.14.019

0 引言

沉降段路基路面的施工技术是市政道路桥梁工程中应对复杂地质条件和荷载变化的重要手段。沉降段往往因地基不均匀沉降或外部荷载作用而产生变形，施工过程中需采取针对性措施，如地基加固、分层填筑和路面结构优化等，以有效控制沉降变形。施工工艺的选择和实施需结合具体工程条件，确保路基路面的整体性和耐久性。通过精细化施工和严格的质量管理，提升沉降段路基路面的施工质量，为市政交通的安全畅通提供可靠保障。

1 市政道路桥梁工程中沉降段路基路面施工的重要性

1.1 提升工程结构稳定性

沉降段作为工程中的薄弱环节，其施工质量直接影响整体结构的承载能力和耐久性。通过科学的地基处理、分层填筑与压实工艺，可以有效提高路基的密实度和均匀性，减少不均匀沉降的发生。合理的排水系统设置和边坡防护措施，能够进一步降低外界环境对路基的影响，确保工程在长期使用过程中保持稳定^[1]。高质量的沉降段施工不仅能够延长工程使用寿命，还能降低后期维护成本，为城市交通基础设施的可持续发展提供保障。

1.2 优化交通通行条件

在市政道路桥梁工程中，沉降段往往是交通流量

集中的区域，其施工质量直接影响行车舒适性和安全性。通过精确的路面平整度控制、合理的面层材料配比以及科学的接缝处理技术，可以有效减少路面裂缝和变形，提高路面的抗滑性和抗裂性。高质量的施工还能降低车辆行驶过程中的振动和噪声，提升驾驶体验。优化后的交通通行条件不仅能够提高道路通行效率，还能减少交通事故的发生，为城市交通系统的安全运行提供支持。

2 市政道路桥梁工程中沉降段路基路面施工存在的问题

2.1 地基处理不当引发的沉降问题

在沉降段路基路面施工中，地基处理不当是导致沉降问题的主要原因。若施工前未能对地基进行详细勘察与分析，可能导致地基承载力不足或分布不均，进而引发路基不均匀沉降。这种沉降问题会直接导致路面出现裂缝、凹陷等结构性损坏，影响道路的正常使用。地基处理不当还可能引发地下水位变化，进一步加剧沉降问题，增加后期修复难度和成本。

2.2 填筑材料选择与施工工艺不规范

填筑材料选择与施工工艺不规范是沉降段路基路面施工中常见的质量问题。若填筑材料的质量不达标或施工工艺不符合规范，可能导致路基密实度不足或分布不均，进而引发路面变形和沉降。填筑材料的抗压强度和耐久性不足，可能导致路基在长期使用中逐

渐失效,影响道路的整体性能。施工工艺不规范还可能引发路基分层现象,增加路面开裂和塌陷的风险。

2.3 排水系统设计不合理导致的隐患

排水系统设计不合理是沉降段路基路面施工中容易被忽视的问题。若排水系统未能有效设计或施工,可能导致积水无法及时排除,进而引发路基软化、沉降加剧等问题。特别是在雨季或地下水位较高的区域,排水系统的不完善会显著增加路基路面的损坏风险^[2]。排水系统设计不合理还可能导致路面结冰或积水,增加行车安全隐患,影响市政交通的正常运行。

3 市政道路桥梁工程中沉降段路基路面的施工要点

3.1 沉降段路基路面施工准备要点

1. 地质勘察与分析。勘察内容主要包括土层分布、岩土性质、地下水位及地质构造等。通过钻探、物探等手段,获取地质样本并进行实验室分析,评估地基承载力、压缩性和渗透性等关键参数。还需结合区域地质资料,分析潜在的地质灾害风险,如滑坡、泥石流等。勘察结果应形成详细的地质报告,为后续施工提供数据支持。地质分析则需结合勘察数据,采用数值模拟等方法,预测地基在施工和使用过程中的沉降趋势,为地基处理和路基设计提供理论依据。

2. 施工方案制定。方案制定需结合地质勘察结果和工程设计文件,明确地基处理、路基填筑和路面铺设的具体方法。例如:在地基处理方面,需根据地质条件选择换填、夯实、注浆等工艺;在路基填筑方面,需确定分层填筑厚度和压实遍数;在路面铺设方面,需选择适宜的基层和面层材料。施工方案还需包括应急预案和进度计划,以应对施工过程中可能出现的突发情况,确保工程按期完成及施工方案的可行性和经济性。

3. 材料质量把控。施工过程中需对填筑材料、路面材料等进行严格的质量检测,包括抗压强度、耐久性、含水率等指标。例如:填筑材料需满足一定的级配要求和抗压强度,路面材料需具有良好的抗裂性和抗滑性。材料质量检测需采用标准化的试验方法,确保检测结果的准确性和可靠性。还需对材料的储存和运输进行管理,避免材料在施工前因环境因素导致性能下降。

4. 机械设备调试。施工前需对压路机、摊铺机、挖掘机等关键设备进行全面检查和调试,确保其性能稳定、操作正常。设备调试内容包括发动机性能、液压系统、传动系统等关键部件的检查,以及操作系统的校准和测试。还需对设备操作人员进行培训,确保其熟练掌握设备操作技能和施工工艺要求^[3]。在设备调试过程中,需制定详细的调试计划和记录表,确保调试过程的规范性和可追溯性,提高施工效率,确保施工质量。

3.2 路基施工要点

1. 基底处理方法。施工过程中需根据地质勘察结果,选择适宜的基底处理方法。例如:对于软弱地基,可采用换填法,将软弱土层挖除并替换为强度较高的材料;对于松散地基,可采用夯实法,通过机械碾压提高地基密实度;对于复杂地质条件,可采用注浆法,通过注入水泥浆或化学浆液,加固地基。基底处理还需考虑地下水位和排水条件,确保地基在施工和使用过程中保持稳定。通过科学的基底处理,可以有效提升路基的整体性能,减少后期沉降问题。

2. 填筑材料选择。施工过程中需根据工程要求和地质条件,选择适宜的填筑材料。例如:对于高填方路基,需选择抗压强度高、压缩性小的材料;对于低填方路基,可选择经济性较好的材料。填筑材料的选择还需考虑材料的级配要求和含水率,确保材料的均匀性和密实性。此外,还需对填筑材料进行严格的质量检测,确保其符合设计要求和施工规范。通过科学的填筑材料选择,可以有效提升路基的整体性能,减少后期沉降问题。填筑材料选择还需结合施工方案,明确材料的运输和储存要求,确保施工过程的协调性和安全性。

3. 分层填筑与压实。施工过程中需按照设计要求,分层填筑并逐层压实,确保每层填筑材料的密实度符合规范。分层填筑的厚度需根据填筑材料的性质和压实设备的性能确定,一般为 20~30 厘米。压实过程中需采用适宜的压实设备,如压路机、振动夯等,确保压实效果。还需对每层填筑材料进行密实度检测,确保其符合设计要求。通过科学的分层填筑与压实工艺,可以有效提升路基的整体性能,减少后期沉降问题^[4]。分层填筑与压实过程中,需严格按照施工规范操作,确保施工质量可控。

4. 排水系统设置。施工过程中需根据地质条件和设计要求,合理设置排水沟、排水管等设施,确保积水能够及时排除。排水系统的设置还需考虑与周边排水设施的衔接性,确保排水系统的整体性和协调性。例如:在低洼区域,需设置集水井和抽水泵,确保积水能够及时排出;在高填方区域,需设置截水沟,防止雨水冲刷路基。通过科学的排水系统设置,可以有效减少路基软化风险,提升路基的整体性能。排水系统设置过程中,需严格按照施工规范操作,确保排水效果符合设计要求。

5. 路基边坡防护。路基边坡防护是沉降段路基施工的重要环节,其目的在于防止边坡坍塌和侵蚀,确保路基的稳定性。施工过程中需根据地质条件和设计要求,选择适宜的边坡防护措施。例如:对于土质边坡,可采用植草护坡或砌石护坡;对于岩质边坡,可采用锚杆支护或喷射混凝土护坡。边坡防护还需考虑排水

条件,确保边坡不受积水影响。因此,还需对边坡进行定期检查和维护,确保防护效果长期有效。通过科学的路基边坡防护,可以有效提升路基的整体性能,减少后期维护成本。

3.3 路面施工要点

1. 基层施工工艺。基层施工是沉降段路面施工的基础环节,其目的在于为面层提供均匀、稳定的支撑。施工过程中需根据设计要求,选择适宜的基层材料,如水泥稳定碎石、石灰土等。基层施工需按照分层摊铺、逐层压实的工艺进行,确保基层的密实度和均匀性。还需对基层进行平整度检测,确保其符合设计要求。通过科学的基层施工工艺,可以有效提升路面的整体性能,减少后期沉降问题。基层施工过程中,需严格按照施工规范操作,确保施工质量可控。

2. 面层材料配比。面层材料配比是沉降段路面施工的重要环节,其目的在于确保面层的抗裂性、抗滑性和耐久性。施工过程中需根据设计要求,选择适宜的面层材料,如沥青混凝土、水泥混凝土等。面层材料配比需通过实验室试验确定,确保其性能符合设计要求。还需对面层材料进行严格的质量检测,确保其均匀性和稳定性。通过科学的面层材料配比,可以有效提升路面的整体性能,延长路面使用寿命^[5]。面层材料配比过程中,需严格按照施工规范操作,确保施工质量可控。

3. 摊铺与碾压作业。摊铺与碾压作业是沉降段路面施工的关键环节,其目的在于确保面层的密实度和平整度。施工过程中需采用适宜的摊铺设备和碾压设备,确保摊铺和碾压效果。摊铺作业需按照设计要求进行,确保摊铺厚度和均匀性;碾压作业需按照规定的遍数和顺序进行,确保面层的密实度。还需对摊铺和碾压过程进行实时监控,确保施工质量可控。通过科学的摊铺与碾压作业,可以有效提升路面的整体性能,减少后期沉降问题。摊铺与碾压作业过程中,需严格按照施工规范操作,确保施工质量可控。

4. 接缝处理技术。接缝处理是沉降段路面施工的重要环节,其目的在于防止路面因温度变化或荷载作用产生裂缝。施工过程中需根据设计要求,选择适宜的接缝处理技术,如热接缝、冷接缝等。接缝处理需按照规定的工艺进行,确保接缝的密实性和耐久性。还需对接缝处理效果进行检测,确保其符合设计要求^[6]。通过科学的接缝处理技术,可以有效提升路面的整体性能,延长路面使用寿命。接缝处理过程中,需严格按照施工规范操作,确保施工质量可控。

5. 路面平整度控制。路面平整度控制是沉降段路面施工的重要环节,其目的在于确保行车舒适性和安

全性。施工过程中需采用适宜的平整度检测设备,如激光平整度仪等,对路面平整度进行实时监控。平整度控制需按照设计要求进行,确保路面平整度符合规范。还需对平整度检测结果进行分析,及时调整施工工艺,确保施工质量可控。通过科学的路面平整度控制,可以有效提升路面的整体性能,减少后期维护成本。平整度控制过程中,需严格按照施工规范操作,确保施工质量可控。

6. 沉降观测与分析。沉降观测与分析是沉降段路基路面施工的重要环节,其目的在于评估地基和路基的沉降趋势,为施工调整提供依据。施工过程中需采用适宜的观测设备,如沉降观测仪、水准仪等,对地基和路基的沉降进行实时观测。观测数据需进行详细分析,预测沉降趋势,为施工调整提供理论依据。还需建立完善的沉降观测记录,确保观测数据的准确性和可靠性^[7]。

4 结束语

市政道路桥梁工程中沉降段路基路面的施工要点研究,涵盖了地基处理、路基填筑和路面铺设等多个关键环节。通过科学的施工工艺和严格的质量控制,沉降段路基路面的施工质量得以有效保障,为道路的长期稳定运行和行车安全提供了坚实基础,为市政交通基础设施的建设和发展做出更大贡献。在实际施工中,还需结合地质条件、气候特点及交通需求,优化施工方案,确保工程质量的全面提升。加强施工过程中的监测与维护,及时发现并解决潜在问题,进一步提升工程的耐久性与安全性。通过不断总结经验,完善技术标准,市政交通基础设施的建设将更加科学化、规范化,为城市交通的高效运行和可持续发展提供更有力的支持。

参考文献:

- [1] 柴旺,吴陆红.市政道路桥梁工程中沉降段路基路面施工技术探究[J].全面腐蚀控制,2024,38(12):19-21.
- [2] 商松,崔开荣,赵俊.市政道路桥梁工程沉降段路基路面的施工技术[J].汽车画刊,2024(12):132-134.
- [3] 尚亮榆.市政道路桥梁工程沉降段路基路面的施工技术[J].汽车画刊,2024(11):86-88.
- [4] 黎贵超.市政道路桥梁工程中沉降段路基路面施工技术运用[J].城市建设理论研究(电子版),2024(33):143-145.
- [5] 伍人龙,杜雪林,徐允旺.市政道路工程中沉降段路基路面施工研究[J].科学技术创新,2024(20):161-164.
- [6] 刘超.市政道路桥梁工程中沉降段路基路面的施工技术[J].建设机械技术与管理,2024,37(04):71-73.
- [7] 王碧林.市政道路桥梁工程中沉降段路基路面施工技术[J].散装水泥,2024(03):82-84.

绿色矿山建设模式的实践与探索

王若宇

(四川蜀道矿业集团股份有限公司, 四川 成都 610000)

摘要 随着经济的飞速发展, 矿产资源的需求持续上升, 矿山开采活动变得越来越频繁。然而, 传统的矿山开采方式对自然环境造成了巨大破坏, 导致了許多环境问题。绿色矿山建设作为矿山可持续发展的重要途径, 其目标是在整个矿山开发过程中始终贯彻环境保护的理念。本文深入剖析了矿山开发对生态环境的影响, 探讨了绿色矿山建设模式的内涵、构成要素及实践案例, 提出了推进绿色矿山建设的策略建议, 以期为促进矿山行业的生态化转型和可持续发展提供理论支持与实践参考。

关键词 矿山开发; 生态环境保护; 绿色矿山建设; 可持续发展

中图分类号: TD2

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.14.020

0 引言

矿产资源作为经济社会发展的关键物质基础, 在工业生产及基础设施建设等领域扮演着不可或缺的角色。我国矿产资源丰富, 矿山开发活动对推动经济增长和确保资源供应具有重大贡献。然而, 由于技术限制和经济利益的驱动, 矿山开发长期以来伴随着严重的生态破坏和环境污染问题, 包括土地资源的破坏、水资源的污染、大气污染以及生物多样性的下降。这些问题不仅影响了周边居民的健康和生活质量, 还限制了区域经济的可持续发展。绿色矿山建设理念的提出, 为协调矿山开发与生态环境保护之间的矛盾提供了新的解决路径和方向, 该理念主张在矿山开发中实现经济、社会和生态效益的和谐统一, 是矿山行业走向可持续发展的必由之路。

1 矿山开发对生态环境的影响

1.1 土地资源破坏

(1) 土地塌陷与挖损。地下开采是矿山获取矿产资源的重要方式之一, 但这种开采方式容易引发大面积的土地塌陷。在煤炭、金属矿山等开采过程中, 随着地下矿体被采出, 采空区上方的岩层失去支撑, 在重力作用下逐渐变形、垮落, 进而导致地表塌陷。塌陷区域的土地平整度遭到破坏, 农田无法正常耕种, 建筑物出现开裂、倒塌等现象, 严重影响土地的正常使用功能^[1]。露天开采则直接挖损土地, 剥离大量的表土和岩石, 占用大量的土地资源, 造成土地的永久性破坏。(2) 土地沙化与荒漠化。在矿山开发过程中, 大量的废渣、尾矿等废弃物随意堆放, 不仅占用土地, 还容易在风力、水力等外力作用下发生迁移。这些废弃物中含有的有害物质会污染土壤, 降低土壤肥力,

导致植被生长困难。在一些干旱、半干旱地区, 矿山开发活动加剧了土地的沙化和荒漠化进程, 使原本脆弱的生态环境进一步恶化。

1.2 水资源污染

(1) 废水排放污染地表水。矿山开采过程中会产生大量的废水, 如矿坑水、洗矿水、尾矿库排水等。这些废水中含有大量的重金属离子(如铅、汞、镉、锌等)、悬浮物、酸性物质以及化学药剂残留等污染物^[2]。未经处理或处理不达标的废水直接排放到地表水体中, 会导致地表水水质恶化, 使河流、湖泊等水体失去原有的生态功能, 影响水生生物的生存和繁衍, 也威胁到周边居民的饮用水安全。(2) 地下水污染。矿山开采活动还可能破坏地下水的赋存条件, 导致地下水污染。例如: 地下开采过程中的采空区塌陷会改变地下水的径流方向和水位, 使受污染的地表水渗入地下, 污染地下水。此外, 矿山废弃物中的有害物质在雨水淋溶作用下, 也会下渗到地下含水层, 造成地下水污染。地下水一旦受到污染, 治理难度大、周期长, 对生态环境和人类健康的影响更为深远。

1.3 大气污染

(1) 粉尘与扬尘污染。在矿山的开采、破碎、筛分和运输等环节中, 会产生大量粉尘和扬尘。露天开采时, 穿孔、爆破、铲装等活动会释放出大量扬尘, 这些扬尘在风的作用下会向周围地区扩散, 使得空气中颗粒物的含量上升, 从而降低空气质量。在物料运输过程中, 车辆行驶和装卸作业同样会产生扬尘和粉尘, 对沿线区域的大气环境造成污染。长期处于高浓度粉尘的环境中, 会对人体的呼吸系统产生伤害, 甚至可能引发尘肺病等健康问题^[3]。(2) 有害气体排放。

矿山开采过程中还会产生一些有害气体，如二氧化硫、氮氧化物、一氧化碳等。这些有害气体主要来源于矿山爆破作业、矿石冶炼过程以及矿山机械设备的运行。二氧化硫是形成酸雨的主要污染物之一，它会对土壤、水体和植被造成严重的危害。氮氧化物会形成光化学烟雾，对人体健康和生态环境产生负面影响。一氧化碳则是一种有毒气体，会对人体的神经系统和心血管系统造成损害。

1.4 生物多样性受损

(1) 栖息地破坏。矿山开发活动直接破坏了大量的自然栖息地，使许多野生动植物失去了生存空间。土地的挖损、塌陷以及植被的破坏，导致生物的栖息地破碎化，生物种群之间的交流和繁衍受到阻碍。一些珍稀濒危物种由于栖息地的丧失，面临着灭绝的危险。(2) 物种入侵与生态失衡。在矿山开发过程中，外来物种入侵的风险增加。随着矿山建设和运营，一些非本地的物种可能被引入矿区，这些物种在新的环境中可能缺乏天敌，迅速繁殖，对本地物种的生存构成威胁，导致生态系统失衡。此外，矿山开发引起的生态环境变化，也会影响生物之间的相互关系，打破原有的生态平衡。

2 绿色矿山建设模式的内涵与构成要素

2.1 绿色矿山建设模式的内涵

绿色矿山建设模式是一种将生态环境保护、资源高效利用、安全生产、科技创新、社区和谐等理念融入矿山开发全过程的可持续发展模式。它要求矿山企业在开采矿产资源的同时，最大限度地减少对生态环境的破坏，实现资源的合理开发和循环利用，保障矿山职工的生命安全和身体健康，促进矿山与周边社区的共同发展。绿色矿山建设不仅是对传统矿山开发模式的变革，更是一种全新的矿山发展理念和实践方式^[4]。

2.2 绿色矿山建设模式的构成要素

(1) 资源高效利用。资源高效利用是绿色矿山建设的核心要素之一。矿山企业应采用先进的开采技术和工艺，提高矿产资源的开采回采率、选矿回收率和综合利用率，减少资源浪费。例如：推广应用充填开采技术，在地下开采过程中，将尾矿、废石等废弃物回填到采空区，既可以减少地表塌陷，又能提高资源利用率。同时，加强对低品位矿石、共伴生矿产资源的综合开发利用，实现资源的价值最大化。(2) 生态环境保护。生态环境保护是绿色矿山建设的关键环节。矿山企业应制定科学合理的生态环境保护规划，采取有效的生态修复和污染防治措施。在矿山开采前，进行生态环境影响评价，制定相应的预防措施；在开采

过程中，严格控制污染物排放，对废水、废气、废渣等进行综合治理；在矿山闭坑后，及时开展生态修复工作，恢复植被，改善生态环境。(3) 安全生产与职业健康。确保绿色矿山建设的关键在于安全生产与职业健康。矿场公司需构建健全的安全生产规章，强化风险预防措施，增加安全资金投入，以提升矿场安全标准。同时，重视矿工的职业健康，增进劳动防护，优化工作条件，降低职业病发病率。通过构建完备的安全生产与职业健康管理体系，确保矿工的生命安全与身体健康。(4) 科技创新与智能化建设。科技创新和智能化建设是推动绿色矿山发展的重要动力。矿山企业应加大科技研发投入，积极引进和应用先进的技术和设备，提高矿山开采、选矿、运输等环节的自动化、智能化水平。例如：利用大数据、人工智能、物联网等技术，实现对矿山生产过程的实时监测和远程控制，提高生产效率，降低安全风险。同时，加强科技创新人才培养，为绿色矿山建设提供人才支持^[5]。

3 绿色矿山建设模式的实践案例分析

3.1 案例选取与基本情况介绍

本文选取某大型金属矿山作为案例进行分析。该矿山位于山区，开采历史悠久，过去由于开采技术落后、环保意识淡薄，对周边生态环境造成了较大破坏。随着绿色矿山建设理念的推广，该矿山积极响应，自2012年开始推进绿色矿山建设工作。

3.2 绿色矿山建设模式的具体实践措施

(1) 资源高效利用方面。引进先进的采矿和选矿技术，优化开采工艺，提高矿产资源开采回采率和选矿回收率。采用新型的充填材料和充填工艺，将尾矿和废石回填到采空区，不仅减少了地表塌陷风险，还提高了资源利用率。同时，对共伴生矿产资源进行综合回收利用，开发出多种具有高附加值的产品。(2) 生态环境保护方面。建设完善的废水处理设施，对矿坑水、洗矿水等进行深度处理，实现达标排放和循环利用。在矿山开采区域和周边种植大量的树木和植被，进行生态修复和绿化。建设大气污染防治设施，对粉尘和有害气体进行有效治理，减少大气污染物排放。

(3) 安全生产与职业健康方面。加大安全生产投入，更新矿山设备，完善安全防护设施。建立安全生产信息化管理系统，对矿山生产过程进行实时监控和风险预警。提升员工安全与健康教育，提供符合规定的劳动保护装备，并定期安排员工接受职业健康检查。(4) 科技创新与智能化建设方面。与科研院校合作，开展多项科研项目，研发出一系列适合矿山开采的新技术和新工艺。采用智能采矿机械与选矿技术，实现了挖掘、

输送、选矿等过程的自动与智能管理,提升了工作效率与安全性。(5)社区和谐与社会责任方面。积极参与周边社区建设,投资建设学校、医院、道路等基础设施,改善社区居民的生活条件。优先招聘周边社区居民到矿山工作,为居民提供稳定的就业机会。定期开展公益活动,关爱社区困难群体,赢得了社区居民的广泛认可和支持。

3.3 绿色矿山建设的成效与经验总结

通过十几年的绿色矿山建设实践,该矿山取得了显著的成效。资源利用效率大幅提高,矿产资源开采回采率从之前的 70% 提高到了 85%,提升了 15%;选矿回收率从 65% 提升至 80%,提高了 15%;共伴生矿产资源综合利用率达到 75% 以上。在生态环境方面,也得到明显改善。矿山周边的植被覆盖率从原来的 30% 提高到了 60%,实现了翻倍增长。同时,通过对环保设施的大力投入与升级改造,废水、废气达标排放率均达到了 100%,杜绝了对周边环境的污染。安全生产形势稳定好转,连续 5 年未发生重大安全生产事故。这得益于矿山对安全生产的高度重视,持续加大安全投入,完善安全管理制度,加强员工安全培训,使得安全意识深入人心,安全隐患得到及时排查与消除。科技的创新实力持续提升,智能建设的水准在业界保持领先。矿山积极引入先进的技术和设备,自主研发多项智能化开采、选矿技术,实现了生产流程的自动化、智能化控制,大幅提高了生产效率和安全性。企地关系和谐融洽,矿山企业的社会形象得到了极大提升。矿山积极参与当地社区建设,为周边居民提供了 500 余个就业岗位,带动了地方经济发展。同时,还出资建设学校、医院、道路等基础设施,改善居民生活条件,赢得了当地居民的广泛赞誉和支持。该矿山的成功经验表明,绿色矿山建设需要政府、企业和社会各方的共同努力,要坚持科技创新驱动,强化生态环境保护意识,注重资源的高效利用和社区的和谐发展。

4 推进绿色矿山建设的策略建议

4.1 加强政策支持与监管

政府应进一步完善绿色矿山建设的相关政策法规,加大对绿色矿山建设的扶持力度。设立绿色矿山建设专项资金,对在资源利用、生态环保、科技创新等方面表现突出的矿山企业给予财政补贴、税收优惠等政策支持。加强对矿山企业的监管,建立严格的绿色矿山建设考核评价机制,定期对矿山企业进行评估和检查,对不符合绿色矿山建设要求的企业进行整改或处罚。

4.2 强化企业主体责任意识

矿业企业必须深刻理解推进绿色矿山发展的重要

性,并积极承担起企业的主要责任。强化企业内部的管理流程,构建和完善绿色矿山发展的管理体系与操作机制。增加对绿色矿山发展的资金支持,将环境保护和资源的高效使用融入企业的整体发展战略中,从根本上促进绿色矿山的发展。

4.3 加大科技创新投入

鼓励矿山企业加大科技创新投入,加强与科研院所的合作,建立产学研用协同创新机制。研发和推广应用一批先进适用的绿色开采技术、选矿工艺和环保设备,提高矿山企业的科技水平和核心竞争力。加强科技创新人才培养,引进和培养一批既懂矿山技术又具备环保意识的复合型人才,为绿色矿山建设提供人才保障。

4.4 促进公众参与和社会监督

加强绿色矿山建设的宣传教育,提高公众对绿色矿山建设的认知度和参与度。鼓励公众积极参与矿山生态环境保护监督,通过设立举报热线、开展公众评议等方式,加强对矿山企业的社会监督。建立健全信息公开制度,矿山企业应定期向社会公布绿色矿山建设进展情况、生态环境治理成果等信息,接受社会监督。

5 结束语

本文通过深入剖析矿山开发对生态环境的影响,明确绿色矿山建设模式的内涵和构成要素,并结合实践案例分析其成效和经验,提出了推进绿色矿山建设的一系列策略建议。在未来的发展中,需要政府、企业和社会各方共同努力,加强政策支持与监管,强化企业主体责任意识,加大科技创新投入,促进公众参与和社会监督,全面推进绿色矿山建设,实现矿山行业的生态化转型和可持续发展,为打造美丽的中国,促进人与自然的和谐共存,致力于为现代化目标贡献自己的力量。同时,鉴于科技的持续发展和社会的进步,绿色矿山的建设方式也必须持续创新和改进,以符合新的环境和需求,促进矿山产业向更高级别的绿色发展方向发展。

参考文献:

- [1] 朱艳芬,骆忠,赵艳伟,等.浅谈大红山铜矿生态环境保护与绿色矿山建设[J].采矿技术,2024,24(06):262-265.
- [2] 孙浩,朱海波.矿山地质勘查测绘与生态环境保护的协同发展研究[J].世界有色金属,2024(22):159-161.
- [3] 黎逢良,张孝坡,王夏夏.矿山生态环境污染原因及生态修复研究[J].中国金属通报,2024(09):231-233.
- [4] 张壮志.北京市矿山生态环境监测系统助力首都韧性城市建设[J].城市地质,2024,19(03):281-290.
- [5] 李磊.绿色矿山建设的地质生态环境保护与治理[J].世界有色金属,2024(13):121-123.

绿色施工技术在建筑工程中的应用

田野¹, 李祖春²

(1. 青岛海大工程监理咨询有限公司, 山东 青岛 266000;

2. 青岛三顺建设工程有限公司, 山东 青岛 266000)

摘要 本文聚焦于绿色施工技术在建筑工程中的应用, 对绿色施工技术的概念、特点及重要性进行了阐述, 分析了其在土方工程、地基基础工程、主体结构工程、装饰装修工程等各环节中的具体应用, 探讨了绿色施工技术应用过程中面临的挑战, 并提出了相应的应对策略, 旨在为建筑行业推广绿色施工技术、实现可持续发展提供理论支持与实践指导。

关键词 绿色施工技术; 建筑工程; 土方工程; 地基基础工程; 主体结构工程

中图分类号: TU74

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.14.021

0 引言

建筑行业作为资源消耗和环境影响较大的产业, 在推动经济发展的同时, 也给环境带来了诸多压力。传统建筑施工方式伴随着大量的能源消耗、环境污染以及资源浪费等问题。而绿色施工技术以其节能、环保、高效等特点, 成为建筑行业实现可持续发展的关键。推广和应用绿色施工技术, 不仅有助于降低建筑工程对环境的负面影响, 还能提高资源利用效率, 提升建筑工程的质量和效益, 对建筑行业的长远发展具有重要意义。

1 绿色施工技术概述

绿色施工技术是指在建筑工程建设过程中, 通过综合运用科学的管理方式和先进的技术方法, 在确保工程质量和安全等基本需求的基础上, 将降低资源消耗、减少环境污染、提高能源利用率等手段相结合, 使建筑工程与环境达到和谐共生, 实现可持续发展的目的^[1]。绿色建筑技术的主要特征是:

1. 环境友好。绿色建筑是指在建筑施工过程中, 尽量减少对周围环境的污染, 如粉尘、污水、废气、噪声等。
2. 节约能源。在建筑工程建设过程中, 要充分利用能源, 采用节能灯具和设备, 减少能耗。同时, 考虑到建筑设计阶段的自然通风和采光, 降低建筑后期的能耗。
3. 节约材料。提高建材利用效率, 降低材料浪费。通过对施工方案的优化, 对材料的消耗进行准确的计算, 使用可重复使用的材料和周转材料, 减少建材的消耗量。

绿色建筑是一种基于建筑全生命周期的绿色建筑技术, 兼顾建设全过程的环境效应, 注重资源循环利用与生态保护, 实现建筑业的可持续发展^[2]。

2 绿色施工技术应用的重要性

2.1 环境保护方面

随着我国城市化进程的不断加快, 建设项目越来越多。传统的施工方法排放大量的污染物, 给生态环境带来了严重的危害, 采用绿色建筑技术可以有效地降低建筑扬尘、污水、噪声等污染物的排放量, 保护大气、水体、土壤环境, 提高居民居住环境质量^[3]。

2.2 资源节约方面

建筑行业是资源消耗大户, 对钢材、水泥、木材等原材料的需求量巨大。绿色施工技术可提高资源利用效率, 推广使用可再生资源和可回收材料, 能有效节约资源, 缓解资源短缺的压力。

2.3 企业发展方面

推行绿色施工技术, 有利于优化施工企业的社会形象, 增强施工企业的竞争能力。当今, 随着市场竞争的加剧, 人们对绿色建筑的需求也越来越大。企业应积极采用绿色施工技术, 既能满足市场需求, 又能获得更大的市场份额, 还能顺应国家对建筑业可持续发展的政策指导, 有利于公司长远发展^[4]。

3 绿色施工技术在建筑工程各阶段的应用

3.1 土方工程中的绿色施工技术应用

在土方开挖过程中, 需合理规划开挖顺序和方法, 采用先进的挖掘设备, 减少土方开挖量和对周边土体

的扰动。同时,对运输车辆进行密封处理,防止土方运输过程中的扬尘和遗撒。例如:使用带有自动篷布覆盖装置的渣土车,确保土方在运输过程中无扬尘和掉落现象。此外,优先利用开挖的土方进行回填,减少外购土方量。对回填土方进行合理筛选和处理,保证回填质量。在回填过程中,采用分层压实的方法,提高土方的密实度,减少后期沉降。同时,注意对回填区域周边环境的保护,避免回填土对周边水体和土壤造成污染^[5]。

3.2 地基基础工程中的绿色施工技术应用

在桩基础施工时,需依据地质条件与工程要求,科学合理地选择桩型与施工工艺。针对灌注桩,先进的泥浆处理技术不可或缺。钻孔产生的泥浆经分离、净化后可回收再利用,极大地减少泥浆排放对环境的污染。例如:一些大型建筑项目采用专业的泥浆处理设备,将泥浆中的土渣分离出来,处理后的泥浆可再次用于钻孔护壁,实现资源循环利用。在预制桩方面,采用预制管桩,如预应力管桩,可以在工厂内批量生产,有效地提高生产率。工厂生产不仅可以控制质量,而且减少了现场的湿作业,减少了噪声和灰尘的污染,改善了工地的环境;对于采用强夯法和灰土挤密桩法的地基处理,应严格控制施工参数。如强夯施工时,设置隔振沟,可以有效地减轻强夯引起的振动对周围建筑物和地下管道的影响。同时,充分利用当地的材料资源,利用当地的灰土和砂石进行地基处理,不仅可以降低运输费用,还可以降低长距离运输对环境的影响。这种因地制宜的做法,不仅满足了工程需要,而且契合绿色建筑的理念,可达到经济和环保双赢的目的。将绿色建造技术应用于基础工程中,可有效降低施工过程中对环境的不利影响,为后续建设打下良好的绿色基础。

3.3 主体结构工程中的绿色施工技术应用

在主体结构工程中,绿色施工技术从混凝土、钢结构、砌体工程三方面得以广泛应用,助力建筑工程实现可持续发展。在混凝土工程中,高性能混凝土技术是关键。通过对混凝土配合比的科学优化,极大地提高了混凝土的强度、耐久性和工作性能。同时,充分利用粉煤灰、矿渣等工业废渣作为外加剂,既可降低水泥用量,降低生产成本,又可有效降低水泥水化热,降低水化热引起的开裂风险,提高建筑结构的稳定性,降低能耗和环境污染。

在混凝土浇筑方面,应用先进的浇筑设备和技术,

例如:混凝土分料机精确分布,提高浇筑效率,减少混凝土浪费,实现资源的高效利用;钢结构工程以其自身的优点与绿色建筑的要求完美契合。利用先进的加工技术和设备,如数控切割和自动焊接等,提高了钢材的加工精度,降低了钢材的损失,提高了钢材的利用率。在安装过程中,要制定合理的吊装方案,根据钢结构构件的重量、尺寸和现场施工情况,选择合适的吊装设备,规划最优的吊装路线,减少吊装时间,降低施工噪声和能耗。

在防腐和防火处理方面,选择环境友好型防腐涂料和防火涂料,这类涂料具有低挥发性有机化合物(VOC)含量,可降低环境污染,保护施工人员和使用者的身体健康。在砌体工程中推广新型墙体材料,如加气砼砌块、空心砖等,这类材料具有轻质、保温和保温性能好的特点,可以有效地减轻建筑的重量,减少基础工程的造价,提高建筑的节能效果,降低能耗。在砌体施工中,采用薄灰缝法等先进的砌筑技术,可提高砌体质量,减少砂浆浪费。对废弃砌体材料进行分类回收,粉碎后用作路基填料或制成再生骨料,既可实现资源回收,又可减少建筑废弃物排放,减少环境污染。本项目的研究成果将为我国建筑节能减排提供新的思路和方法,具有重要的理论和现实意义。

3.4 装饰装修工程中的绿色施工技术应用

在装饰装修工程中,绿色施工技术的应用体现在墙面、地面及门窗安装等多个方面。在墙面装饰时,优先选用环保型材料,如水性涂料、壁纸,以减少有机溶剂挥发,降低室内空气污染。同时,采用干挂石材、金属幕墙等新型工艺,减少湿作业,提高施工效率并降低建筑垃圾产生量。对于传统抹灰工艺,则采用预拌砂浆,提升砂浆质量与施工效率,减少现场搅拌带来的粉尘污染;在地面装饰方面,选择环保型木地板、地砖。木地板采用实木复合地板或强化复合地板,减少对天然木材的消耗,铺设时运用先进工艺,降低材料浪费。地砖选择具有良好防滑与排水性能的节水型地砖,减少卫生间、厨房等区域积水,降低水资源浪费;在门窗安装环节,选用节能型门窗,如断桥铝合金门窗、塑钢门窗,这类门窗保温、隔热、隔音性能良好,能减少建筑物能源消耗。安装时确保门窗密封性,减少空气渗透,提升节能效果。并且,对废弃门窗材料进行回收处理,实现资源再利用。通过这些绿色施工技术在装饰装修工程各环节的应用,可有效降低工程对环境的负面影响,提高资源利用效率,打造环保、舒适且节能的建筑空间。

4 绿色施工技术应用和优化策略

4.1 技术层面的策略

一方面,完善技术标准和规范。政府相关部门应加强对绿色施工技术标准和规范的制定和完善工作。组织专家学者和行业技术人员,对现有绿色施工技术进行梳理和总结,结合实际工程应用情况,制定统一、科学、合理的技术标准和验收规范。同时,根据技术发展和市场需求,及时更新和修订相关标准和规范,为绿色施工技术的推广和应用提供技术支撑;另一方面,加大对绿色施工技术研发的投入,鼓励建筑企业、科研机构 and 高校开展产学研合作。建立绿色施工技术研发平台,加强对建筑废弃物资源化利用、太阳能光伏发电、地源热泵等关键技术的研究和开发。同时,积极引进国外先进的绿色施工技术和经验,结合我国国情进行消化吸收和再创新,推动我国绿色施工技术的不断发展。

4.2 管理层面的策略

首先,施工企业要加强绿色施工技术的宣传与培训,使管理者与施工人员认识到绿色施工的重要意义。通过举办专题讲座、技术交流等活动,使企业树立起绿色施工的经营思想,把环保与资源节约纳入公司发展战略与建设管理目标。其次,建立并完善绿色施工管理制度,明确各部门、各人员在绿色施工中的职责与分工;制定详细的绿色施工组织设计及施工方案,将绿色施工目标分解至各阶段;强化施工全过程管理,建立绿色施工督导检查机制,定期检查、评估项目绿色施工状况,及时发现问题并加以纠正。在此基础上,把绿色施工管理纳入企业绩效评价体系,以激发员工参与绿色施工的积极性。

4.3 经济层面的策略

政府应该通过财政补贴、税收优惠和信贷支持等措施,鼓励绿色建筑技术的推广应用。对采用绿色建造技术的建设项目给予财政补助,以减少其实施成本。对生产、使用绿色建材及设备的企业,实行税收优惠政策,以激发其积极性。同时,金融机构还可通过信贷支持,如低利率贷款等,缓解绿色建筑项目融资压力;另外,施工企业要着眼于长期的发展,提高对绿色施工技术经济效益的认识。虽然绿色施工技术在初期会增加一定的成本,但从建筑工程的全生命周期来看,其节能、环保等效益可降低建筑物的运营成本,提高建筑物的价值。企业可结合优化施工方案、加强成本控制等措施,降低绿色施工技术应用的成本,提高经济效益。另外,加强与建设单位、设计单位等相关方的沟通与协作,共同推动绿色施工技术的应用,实现多方共赢。

5 绿色建筑项目案例分析

5.1 项目概况

某大型商业建筑项目,总建筑面积为 50 000 平方米。该项目在设计和施工过程中,积极应用绿色施工技术,致力于打造绿色环保建筑。

5.2 绿色施工技术应用情况

在土方工程中,采用先进的土方开挖和运输设备,减少土方开挖量和扬尘污染。在地基基础工程中,根据地质条件选择合适的桩型,并对泥浆进行有效处理和回收利用。在主体结构工程中,大量使用高性能混凝土和新型墙体材料,提高建筑物的节能性能和结构质量。在装饰装修工程中,选用环保型的装饰材料和节能灯具、节水器具等,减少室内空气污染和能源消耗。

5.3 应用效果

应用绿色施工技术,该项目取得了显著的环境效益和经济效益。与传统施工方式相比,减少施工扬尘排放量 30% 以上,减少施工废水排放量 20% 以上,节约建筑材料 10% 左右,降低建筑物的能耗 15% 左右。同时,该项目因其绿色环保的特点,提高了市场竞争力,吸引更多的商家入驻,为建设单位带来了良好的经济效益。

6 结束语

绿色施工技术在建筑工程中的应用具有重要的现实意义,不仅有助于保护环境、节约资源,还能提升建筑企业的竞争力和经济效益。虽然目前绿色施工技术的应用面临着技术、管理和经济等多方面的挑战,但通过完善技术标准、加强技术创新、更新管理理念、健全管理体系以及政府政策支持等一系列应对策略,能有效推动绿色施工技术的广泛应用。在实际建筑工程中,应根据项目的特点和需求,合理选择和应用绿色施工技术,持续优化施工方案。未来,随着技术的不断进步和人们环保意识的进一步提高,绿色施工技术必将在建筑行业得到更广泛的应用和更好的发展。

参考文献:

- [1] 冯火印. 建筑工程中绿色建筑施工技术研究[J]. 科学技术创新, 2024(23):146-149.
- [2] 唐毅. 建筑工程主体结构绿色施工监测技术与评价方法研究[J]. 科学技术创新, 2024(17):197-200.
- [3] 戈文通,尹晓,许艺凡. 低碳理念下绿色建筑工程的施工技术研究[J]. 中国建筑金属结构, 2024,23(06):81-83.
- [4] 孙亚猛. 建筑工程施工中绿色施工技术的应用浅探[J]. 建筑与装饰, 2024(11):145-147.
- [5] 邢金峰. 绿色建筑施工技术在住宅建筑工程中的应用研究[J]. 建筑与装饰, 2024(22):16-18.

绿色催化技术助推炼化工业高效转型研究

张元松, 李维功, 张世磊

(无棣鑫岳化工集团有限公司, 山东 滨州 251900)

摘 要 绿色催化技术对炼化工业的可持续发展具有重要作用。绿色催化技术应用于炼化工业的原料转化、烯烃芳烃生产、催化裂化加氢、CO₂ 转化及脱硫脱氮、催化剂回收等过程, 其作用在于提升能源利用效率、减少有害排放和环境污染、促进资源循环利用。通过加强催化剂研发创新、优化反应工艺与设备设计、推进产业化应用等策略, 可实现炼化工业高效转型。本文分析了绿色催化技术在炼化工业中的应用、作用与实施策略, 旨在为推动炼化工业实现高效转型及可持续发展提供参考。

关键词 绿色催化技术; 炼化工业; 高效转型

中图分类号: TQ0

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.14.022

0 引言

随着全球环境保护与可持续发展问题的日益突出, 炼化行业作为重要能源和基础化工原料, 面临着转型的巨大压力。传统炼化过程能耗高, 污染物排放量大, 难以满足日趋严格的环境标准和能源高效利用需求。在这一背景下, 绿色催化技术应运而生, 以其特有的优势, 成为推动炼化产业发展瓶颈的重要手段。绿色催化技术在提高原料转化率的同时, 还可以减少有害物质的排放, 是我国炼化工业绿色转型的一条可行途径。

1 绿色催化技术在炼化工业中的应用

1.1 原料转化与精炼过程中的应用

在原料转化与精炼过程中, 绿色催化技术发挥着至关重要的作用。传统的原料转化方法往往需要高温高压等严格条件, 不仅能耗巨大, 还会产生大量副产物。而绿色催化技术采用新型催化剂, 能够在相对温和的条件下实现高效转化。例如: 在原油精炼时, 使用特定的固体酸催化剂, 可精准地促进原油中各类烃类物质的转化, 将重质原油转化为更具经济价值的轻质油品。这种绿色催化方式大幅降低了能源消耗, 减少了对环境不友好的化学添加剂使用, 同时提高了目标产品的选择性, 使精炼过程更加高效、环保, 有效提升了原料的利用率, 为后续的炼化生产奠定良好的基础。

1.2 烯烃与芳烃的绿色生产

烯烃与芳烃作为重要的化工原料, 其生产过程一直备受关注。绿色催化技术为烯烃与芳烃的绿色生产开辟了新途径。以乙烯生产为例, 传统的蒸汽裂解工

艺能耗高且产生大量温室气体。而新兴的绿色催化技术, 如采用分子筛催化剂的催化裂解工艺, 能够在较低温度下将低碳烷烃高效转化为乙烯等烯烃产品^[1]。对于芳烃生产, 通过使用具有特殊孔道结构的催化剂, 可实现选择性地原料转化为对二甲苯等关键芳烃, 减少了不必要的副反应。这种绿色生产方式不仅降低了能源消耗, 还显著减少了生产过程中的污染物排放, 使得烯烃与芳烃的生产更加符合可持续发展的要求, 有力推动了相关化工产业的绿色升级。

1.3 催化裂化与加氢过程的绿色改进

催化裂化与加氢是炼化工业中的核心过程, 绿色催化技术为其带来了显著改进。在催化裂化方面, 新型催化剂的研发使得裂化反应能够在更优的条件下进行。例如: 采用含有稀土元素的催化剂, 能够增强催化剂的活性与稳定性, 促进重质油分子的裂解, 提高轻质油的收率, 同时降低焦炭的生成量, 减少了对设备的污染与维护成本。在加氢过程中, 绿色催化技术通过优化催化剂的组成与结构, 提升了加氢反应的效率与选择性。如使用负载型金属催化剂, 能够精准地对油品中的不饱和键进行加氢饱和, 去除杂质, 提高油品质量, 且在整个过程中减少了氢气的消耗, 降低了生产成本, 实现了催化裂化与加氢过程的绿色、高效运行。

1.4 CO₂ 转化与脱硫脱氮技术

面对日益严峻的环境挑战, CO₂ 转化与脱硫脱氮技术成为炼化工业绿色发展的关键环节。绿色催化技术在 CO₂ 转化方面取得了积极进展, 通过设计高效的催化

剂，能够将炼化过程中产生的 CO_2 转化为有价值的化学品，如甲醇、甲酸等。例如：利用金属有机框架（MOF）材料为基础的催化剂，在特定反应条件下，可实现 CO_2 的高效活化与转化，既减少了温室气体排放，又创造了经济效益。在脱硫脱氮方面，绿色催化技术采用新型的吸附—催化一体化材料，能够在较低温度下对油品中的硫、氮化合物进行深度脱除。如使用负载型过渡金属催化剂，可将含硫、含氮杂质转化为无害物质，有效降低了油品燃烧时对大气的污染，提升了炼化产品的环保性能。

1.5 催化剂的回收与再利用技术

催化剂的回收与再利用技术是绿色催化体系的重要组成部分。在炼化工业中，催化剂成本较高且部分催化剂含有稀有金属元素。传统的催化剂使用后往往被废弃，造成资源浪费与环境污染。绿色催化技术注重催化剂的回收与再利用，通过一系列物理与化学方法，能够将失活的催化剂进行再生处理^[2]。例如：对于负载型催化剂，采用酸洗、焙烧等手段去除催化剂表面的积碳与杂质，恢复其活性中心，使其能够重新投入使用。对于一些含有贵金属的催化剂，通过先进的分离技术，可将贵金属回收再利用，大大降低了生产成本。这种技术不仅提高了资源利用率，减少了对新催化剂的需求，还降低了因废弃催化剂带来的环境风险，推动了炼化工业向资源节约型与环境友好型方向发展。

2 绿色催化技术推动炼化工业高效转型的作用

2.1 提升能源利用效率

在炼化工业中，能源利用效率的提升是实现高效转型的关键。绿色催化技术凭借创新的催化剂体系，打破了传统工艺的能耗瓶颈。以原油精炼流程为例，传统工艺依赖高温高压环境促使重质原油转化为轻质油品，这一过程耗费大量能源。而新型固体酸催化剂的引入，极大地降低了反应所需的活化能，使得反应能够在相对温和的条件下高效进行。据实际生产数据显示，采用绿色催化技术后，重油转化轻质油的反应温度可降低数十摄氏度，能源消耗相应减少约 20% ~ 30%。在烯烃生产领域，分子筛催化剂的催化裂解工艺，相较于传统高能耗的蒸汽裂解工艺，不仅大幅减少了能源投入，还显著提高了烯烃的产率。在催化裂化过程中，含稀土元素的催化剂通过增强活性与选择性，精准引导能量作用于重质油分子的裂解，避免了无效的能量损耗。加氢环节，负载型金属催化剂优化了加氢反应路

径，在提升反应效率的同时，减少了氢气这一重要能源载体的消耗。通过在各个关键环节的技术革新，绿色催化技术让炼化工业在消耗更少能源的前提下，产出更多高品质产品，有力推动了行业的高效节能发展。

2.2 减少有害排放与环境污染

绿色催化技术是降低炼化行业有害气体排放和环境污染的有效手段。金属—有机骨架（MOFs）材料作为一种新型的催化材料，对解决全球关注的 CO 减排问题具有重要意义。该催化剂可将 CO 转化成甲醇、甲酸等高附加值化学品，不仅可有效固定温室气体，还可产生新的工业原料，降低碳排放强度。在石油净化领域，新型吸附—催化一体化材料和负载型过渡金属催化剂具有较强的脱硫和脱硝性能^[3]。它能在较低的温度下深度脱除油品中的硫和氮，大幅度减少油品燃烧过程中产生的有害气体如二氧化硫、氮氧化物等，实现对大气污染的源头控制。传统的炼油工艺因其高温、高压的操作和大量的化学添加剂的使用，产生了大量的废水、废气和废渣。而“绿色催化”技术则摒弃或少用强酸强碱等环境友好型添加剂，实现源头减排。比如在原料精制阶段，通过减少使用强酸强碱，大大降低废水处理难度与成本，从而降低污染风险。

2.3 促进资源的循环利用

绿色催化技术为炼化工业资源循环利用开辟了新路径。其中，催化剂回收与再利用技术占据关键地位。炼化工业所使用的催化剂往往成本高昂，部分还含有稀有金属。在传统模式下，废弃催化剂不仅造成了巨大的资源浪费，还可能带来环境污染风险。绿色催化技术通过一系列先进的物理化学方法，实现了失活催化剂的再生。对于负载型催化剂，采用酸洗、焙烧等手段，可以有效去除其表面的积碳和杂质，恢复活性中心，使其能够重新投入生产应用。对于含有贵金属的催化剂，借助先进的分离技术，能够将其中的贵金属高效回收，实现资源的循环利用。在原料转化环节，绿色催化技术显著提高了原料利用率，将原本难以利用的重质原料转化为高附加值产品，减少了资源浪费^[4]。在烯烃和芳烃生产过程中，精准的催化剂控制有效减少了副反应的发生，使原料更多地转化为目标产品，进一步提升了资源利用效率。此外，将 CO_2 转化为有价值的化学品，实现了碳资源的循环利用，使炼化工业从传统的线性资源利用模式向循环经济模式转变，极大地提高了资源利用的可持续性，为行业长期稳定发展奠定了坚实的基础。

3 绿色催化技术助推炼化工业高效转型的策略

3.1 加强催化剂的研发与创新

在绿色催化技术助力炼化工业高效转型进程中, 催化剂研发创新居于核心地位。随着炼化工业对产品质量与生产效率要求的不断攀升, 传统催化剂性能已难以满足需求, 迫切需要研发新型催化剂。一方面, 高活性、高选择性且稳定性强的催化剂是研发重点。借助先进的材料科学手段, 对催化剂微观结构展开精准调控。比如运用纳米技术, 可制备出拥有特殊孔径与独特表面性质的催化剂。这类催化剂能够极大地降低反应活化能, 使各类炼化反应在温和条件下就能高效进行。以重油轻质化这一关键环节为例, 该新型催化剂可显著提升轻质油产出率, 让重质原油能更充分地转化为市场急需的高价值轻质油品。另一方面, 炼化原料成分复杂, 常含硫、氮等杂质, 传统催化剂极易受其影响而中毒失活。因此, 研发具备卓越抗中毒能力的催化剂刻不容缓。科研人员通过元素掺杂、表面修饰等先进技术手段, 巧妙地改变催化剂表面电子云分布与化学活性位点, 增强其对杂质的耐受性, 确保在复杂原料环境下仍能稳定运行。

3.2 优化反应工艺与设备设计

优化反应工艺与设备设计是绿色催化技术在炼化工业实现高效应用的关键支撑。在反应工艺优化方面, 需紧密围绕绿色催化技术特性, 对现有工艺流程实施深度革新。例如: 充分考量新型催化剂的活性温度区间, 精准调整反应温度与压力条件。在实际生产中, 通过这种精准调控, 可避免能源的过度消耗与无效浪费, 实现能源的精细化利用。以烯烃生产为例, 将催化裂解工艺与先进的热集成技术有机结合, 能够巧妙回收并利用反应过程中产生的余热, 进一步降低整体能源消耗。在设备设计上, 提升设备传质与传热效率是核心目标^[5]。研发新型反应器, 采用高效搅拌装置, 促使反应物与催化剂充分接触, 加速反应进程; 同时设计高效传热结构, 能够快速移除反应热, 有效维持反应体系的温度稳定, 保障反应高效、平稳进行。针对催化剂回收与再利用这一重要环节, 专门开发配套设备, 实现催化剂的便捷分离与高效再生处理。

3.3 推进绿色催化技术的产业化应用

推动绿色催化技术在工业上的推广应用, 是促进我国石化产业向低碳方向发展的重要举措。

首先, 政府可以发挥宏观指导的作用, 制定切实

可行的支持政策。例如: 对采用绿色催化技术的公司实行税收优惠政策, 以降低其经营成本; 建立研发补助基金, 鼓励企业加大对绿色催化技术领域的研发投入, 减轻其应用过程中所面临的经济风险, 激发其积极性。

其次, 加强产、学、研的合作, 借鉴高校和科研院所的先进研究成果, 为企业提供丰富的生产实践经验和产业化条件。双方共同设立研发中心, 可以实现优势互补, 共同攻克绿色催化技术产业化进程中的诸多难点问题, 加快该技术由实验室研究向产业化转型的进程。

再次, 创建示范项目, 是技术推广的一种有效途径。在大型炼化企业配备绿色催化示范装置, 以实际生产数据为基础, 直观地展示绿色催化技术对提高产品品质、降低能耗和降低污染物排放量的显著效果, 引起更多企业的关注和学习, 起到很好的示范带动作用。

最后, 完善产业链的支持体系也是必不可少的。保证绿色催化技术的原料、设备等的稳定供应, 推动上下游企业的协同发展, 营造良好的产业生态, 全面推动绿色催化技术在炼化行业的推广应用, 促进整个行业的绿色转型。

4 结束语

绿色催化技术在炼化工业原料转化、生产等多环节应用广泛, 它能提升能源利用效率, 减少有害排放与环境污染, 促进资源循环利用, 有效推动炼化工业高效转型。通过加强催化剂研发创新、优化反应工艺与设备设计、推进产业化应用等策略, 为转型提供有力支撑。未来, 随着技术不断进步与推广, 绿色催化技术有望进一步助力炼化工业实现深度绿色变革, 实现可持续发展目标, 在全球能源转型中发挥关键作用。

参考文献:

- [1] 申桂英. 大连理工大学分子筛基绿色催化技术实现产业化应用[J]. 精细与专用化学品, 2021, 29(08): 34.
- [2] 张英斌, 李智森. 大型炼化企业氮气系统的优化[J]. 石油化工技术与经济, 2024, 40(06): 35-37.
- [3] 同[2].
- [4] 蔡玉田. 炼化企业节能路径探讨[J]. 石油石化绿色低碳, 2024, 09(05): 7-10.
- [5] 朱旭敏, 冯连勇. 中国炼化行业氢能利用绿色化发展前景分析[J]. 国际石油经济, 2024, 32(07): 69-75, 112.

TOD 模式下的城市综合体建筑规划设计研究

穆 欣

(中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东 广州 510289)

摘 要 本文聚焦于 TOD 模式下城市综合体建筑规划设计, 深入剖析两者关系、规划设计要点、面临的挑战及解决方案, 通过梳理相关理论和实际案例, 阐述了 TOD 模式如何与城市综合体建筑融合, 实现交通、功能、环境等多方面的优化, 旨在为 TOD 模式下城市综合体建筑规划设计提供全面、科学的理论与实践指导, 推动城市可持续发展。

关键词 TOD 模式; 城市综合体建筑; 规划设计; 交通枢纽; 空间组织

中图分类号: TU984

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.14.023

0 引言

随着城市化进程的加速, 城市人口不断增长, 交通拥堵、土地资源紧张等问题日益凸显。TOD (Transit-Oriented Development, 以公共交通为导向的开发) 模式作为一种有效的城市发展策略, 逐渐受到广泛关注。城市综合体建筑集多种功能于一体, 能高效利用土地资源, 满足城市居民多样化的生活需求。将 TOD 模式与城市综合体建筑相结合, 不仅可以优化城市空间布局, 提高交通效率, 还能促进城市的可持续发展。因此, 深入研究 TOD 模式下城市综合体建筑规划设计具有重要的现实意义。

1 TOD 模式与城市综合体建筑规划设计的关系

1.1 TOD 模式的核心理念与特点

TOD 模式由彼得·卡尔索普在《未来美国大都市: 生态·社区·美国梦》中提出, 其核心理念是以公共交通站点为核心, 在半径约 400 ~ 800 m (5 ~ 10 分钟步行距离) 的范围内, 进行高密度、混合用途的开发, 将居住、商业、办公、休闲等功能有机融合, 形成紧凑、高效的城市社区^[1]。TOD 模式强调土地的集约利用, 通过提高公共交通站点周边的开发强度, 减少居民对私人汽车的依赖, 鼓励步行、自行车和公共交通出行, 从而降低交通拥堵和碳排放, 实现城市的可持续发展。同时, TOD 模式注重打造宜人的公共空间, 增加社区的活力和吸引力, 提升居民的生活品质。

1.2 城市综合体建筑的特点与发展趋势

城市综合体建筑是一种多功能复合的建筑形式, 通常涵盖商业、办公、居住、酒店、文化娱乐等多种功能, 其特点包括功能多样性、空间集约性和高效性。功能多样性使其能够满足城市居民一站式的生活需求, 减少出行时间和成本; 空间集约性体现在通过竖向和

横向的空间整合, 提高土地利用率; 高效性则表现为各功能之间相互协同, 形成互补的产业链, 促进城市经济的发展。随着社会的发展和人们生活水平的提高, 城市综合体建筑的发展趋势呈现出更加注重人性化设计、智能化和绿色环保等特点。例如: 越来越多的城市综合体引入自然元素, 打造绿色景观空间, 提升室内外环境质量; 运用智能技术, 实现建筑设备的自动化管理和智能化服务, 提高运营效率和用户体验。

1.3 TOD 模式与城市综合体建筑的融合

从交通角度看, 城市综合体建筑位于公共交通站点附近, 便于居民快速便捷地到达, 提高了公共交通的使用率。例如: 日本东京涩谷站地区, 作为 TOD 模式的典型案例, 汇聚了 4 家铁路公司的 9 条地铁线, 日换乘高达 300 万人次。周边的超高层综合体建筑与车站紧密结合, 通过建立立体步行系统和“城市核”空间, 实现了交通的高效转换和人流的有序组织, 使居民能够在不同功能空间之间快速穿梭。从功能角度看, TOD 模式下的城市综合体建筑将多种功能有机融合, 形成互补的生态系统。如商业功能为办公和居住人群提供消费场所, 办公功能为商业带来稳定的客源, 居住功能则与其他功能提供了稳定的人口基础。

2 TOD 模式下城市综合体建筑规划设计

2.1 交通枢纽与空间组织

在规划交通枢纽时, 需充分考虑不同交通方式的衔接。以东京涩谷站为例, 该站汇集 4 家铁路公司的 9 条地铁线, 日换乘量高达 300 万人次。为解决复杂的交通问题, 涩谷站地区再开发时建立了新的立体步行系统, 通过设置“城市核”空间, 对不同标高垂直贯通, 有效提高了通行效率。同时, 利用连廊、天桥等设施将各个建筑与车站相连, 使人流在不同功能空间间快

速转换。在空间组织上,应根据交通流线和功能需求进行合理布局。例如:杭州西站枢纽 TOD 综合体创新性地将站场从中拉开 28 m 形成两个车场,并在间隙中设置了十字形通廊式的“云谷”空间作为主要联系空间,结合周边综合开发在不同标高形成立体交通网络^[2]。

“云谷”空间不仅作为城市换乘交通核促进旅客便捷通行,还为外部交通与周边城市商业提供了更直接的衔接方式,促进站城紧密联系与融合发展。

在实际项目中,还需考虑交通枢纽与城市道路的连接。合理设置出入口,避免交通拥堵。如重庆沙坪坝 TOD 综合体,场地被铁路和车道分割严重,在规划设计时,通过分层确权的方式,打破传统二维红线的限制,统一规划站域内的交通和空间。设置多个出入口,与城市道路有效连接,同时优化内部交通流线,将高铁、地铁、公交、停车场等交通设施一体化衔接,实现了不同交通方式的高效换乘。此外,在交通枢纽周边设置足够的停车设施,满足不同人群的停车需求。根据相关标准,每 100 m² 的商业面积应配备 1~1.5 个停车位,以保障交通的顺畅。

2.2 功能多样化与空间灵活性

在功能配置上,需根据项目所在区域的定位和需求进行科学规划。对于城市中心的 TOD 综合体,可增加高端商业和商务办公功能的比例。如日本六本木之丘,其功能配置比例约为办公:公寓:商业=33:13:54,凭借多线交汇的优势,吸引了大量企业和消费者,成为城市的商业和商务核心区域。而在社区型 TOD 综合体,则应注重生活服务功能的完善,如设置超市、学校、医疗机构等。

为实现空间的灵活性,建筑设计应采用大跨度结构和开放式空间设计。大跨度结构可减少内部墙体的设置,使空间更加开阔,便于后期根据市场需求进行灵活调整。例如:一些商业综合体采用框架结构,柱网间距可达 8~12 m,为空间的自由分割提供了可能。同时,开放式空间设计可促进不同功能区域之间的交流与互动。如在商业区域设置开放式的中庭,不仅可以增加空间的层次感,还能引导人流,提高商业氛围。此外,还可利用灵活的隔断和可移动的家具,进一步增强空间的灵活性。在一些办公区域,采用玻璃隔断和可移动的屏风,可根据团队规模和工作需求随时调整空间布局。

此外,考虑到不同功能在时间上的差异,合理规划空间的使用时间。例如:商业区域在白天和晚上的人流量不同,可通过设置灵活的营业时间和多功能空间,提高空间的利用率。如一些购物中心在夜间可将部分区

域转换为餐饮和娱乐场所,满足不同时段的消费需求。

2.3 绿色与可持续建筑设计

在能源利用方面,积极采用可再生能源技术。比如安装太阳能光伏板,根据不同地区的光照资源条件,合理确定光伏板的安装面积和角度。在光照充足的地区,如我国西北部分城市,每平方米太阳能光伏板每年可发电 150~200 度左右,能为建筑提供部分电力需求,有效降低对传统能源的依赖。地源热泵系统也是不错的选择,它利用地下浅层地热资源进行供热和制冷,能效比可达到 3.5~4.5,相比传统空调系统节能 30% 以上。

建筑的围护结构设计对节能至关重要。选用高效的隔热保温材料,如挤塑聚苯板,其导热系数可低至 0.028 W/(m·K),能有效减少室内外热量的传递^[3]。合理设计建筑的朝向和体型系数,尽量使建筑的主要采光面朝向太阳,减少冬季热量散失,夏季减少太阳辐射得热。同时,增加建筑的绿化面积,打造绿色屋顶和垂直绿化。绿色屋顶能降低屋面温度,减少建筑能耗,还能起到雨水收集和净化空气的作用。垂直绿化不仅能美化建筑外观,还能吸收空气中的有害物质,改善微气候环境。

2.4 人性化设计与公共空间

在设计过程中,充分考虑人的行为习惯和需求是关键。从交通流线来看,以换乘为目的的人群希望快速便捷地到达目的地,因此换乘空间的设计要保证流线清晰、导向明确。如杭州西站枢纽综合体的“云谷”空间,采用通廊式设计,将近端远端交通方式串联,空间形式明确,可视性强,极大地提升了换乘效率。而对于购物、休闲人群,他们更注重空间的体验感和趣味性,购物动线应设计得连续可洄游,增加空间的层次感和变化。如杭州来福士中心的交通转换空间,水平流线流畅回环、层层变化,垂直流线也随之灵动,营造出轻快的氛围,满足了人们的购物和休闲需求。

公共空间作为人们活动和交流的重要场所,其设计至关重要,需打造具有吸引力的开放空间,如广场、公园等。广场的面积应根据周边人口密度和使用需求确定,一般城市中心的广场面积在 1~5 万 m² 之间^[4]。在广场中设置喷泉、雕塑等景观元素,增加空间的趣味性和观赏性。同时,注重公共空间的可达性,通过合理的交通规划,使人们能够方便地到达公共空间。例如:在 TOD 综合体中,将公共空间与交通枢纽紧密连接,使人们在出站后能够直接进入公共空间。此外,加强公共空间的安全性设计,设置监控设备和良好的照明系统,确保人们在使用公共空间时的安全。

2.5 文化与地方特色的融合

在规划设计时,深入挖掘当地的历史文化和地域特色是关键。例如:对于具有悠久历史的城市,可将历史建筑和文化元素融入综合体设计中。如德国莱比锡火车站,在二战损毁重建后,由HPP建筑事务所改造为商业交通中心。在改造过程中,保留了原有的古典主义建筑风格和结构,在地面三层引入公共漫步概念,打造了具有商铺、餐饮性质的商业街巷,将历史文化与现代商业完美结合,既传承了城市的历史记忆,又为商业发展注入了新的活力。

在建筑形式上,运用当地的建筑符号和材料来体现地方特色。如在一些南方水乡城市,建筑可采用粉墙黛瓦的传统风格,搭配木质门窗,营造出独特的水乡氛围。在空间布局上,参考当地的传统街巷格局,打造具有归属感的空间。例如:设置曲折的小巷、围合的庭院等,让人们在现代建筑中感受到浓厚的地方文化气息。同时,通过举办具有地方特色的文化活动,进一步增强文化氛围。如在一些少数民族聚居地的TOD综合体中,定期举办民族歌舞表演、传统手工艺展示等活动,让游客和居民深入了解当地文化。此外,还可以在公共空间中设置文化展示区,展示当地的历史文物、民俗风情等,使人们在日常生活中就能接触和了解地方文化。

3 TOD模式下的建筑设计挑战与解决方案

3.1 土地有限性与空间压缩问题

TOD模式下城市综合体多位于城市核心区域,土地资源稀缺,空间压缩问题突出。从建筑布局来看,应采用集约化设计。如香港的ICC(环球贸易广场),竖向划分功能区域,将办公、酒店、商业等功能分层设置,充分利用垂直空间,减少土地占用。在内部空间规划上,利用灵活可变的隔断系统,如轨道式活动隔断,可根据不同需求快速调整空间布局,提高空间利用率。同时,挖掘地下与空中空间潜力,构建地下商业街区、停车场及空中连廊等。如东京涩谷站地区,通过建设立体步行系统和“城市核”空间,将不同标高的空间相连,实现了空间的高效利用,缓解了土地有限带来的压力,提升了区域的整体活力与功能多样性。

3.2 交通与建筑的协调性

部分项目存在交通与建筑衔接不佳的情况,如杭州城星路站通道冗长、安全设计割裂。为解决这一问题,在规划阶段需整合交通与建筑设计。在交通枢纽与建筑的接口处,设置清晰明确的标识系统,如采用发光指示牌和电子导向屏,引导人流快速准确地找到

方向。优化交通流线,实行人车分流,例如设置独立的步行通道和车行通道,减少相互干扰。在建筑内部,根据不同功能区域的人流特点设计合理的交通路线,如商业区域设置环形动线,促进顾客流动;办公区域则注重与公共交通站点的直接连接,方便通勤。此外,增加交通换乘设施的多样性,如设置多部垂直电梯、自动扶梯,提升换乘效率。

3.3 环境可持续性与绿色设计

在能源利用方面,可安装太阳能光伏板,依据不同地区光照条件,每平方米光伏板每年能发电150~200度左右,为建筑供电。利用地源热泵系统,其能效比可达3.5~4.5,相比传统空调系统节能30%以上,用于建筑的供热和制冷^[5]。在建筑材料选择上,优先使用环保、可回收材料,如再生砖、低VOC(挥发性有机化合物)涂料等,减少环境污染。增加建筑绿化,打造绿色屋顶和垂直绿化。绿色屋顶能降低屋面温度,减少建筑能耗;垂直绿化可吸收有害气体,改善微气候。如重庆的一些TOD项目,通过设置大面积绿色屋顶和垂直绿化墙,有效提升了建筑的生态效益,实现了可持续发展。

4 结束语

TOD模式下的城市综合体建筑规划设计是一个综合性的系统工程,涉及交通、功能、环境、文化等多个方面。通过合理的规划设计,可以实现城市综合体建筑与公共交通的有机融合,提高土地利用效率,促进城市的可持续发展。在实际设计过程中,应充分考虑不同地区的特点和需求,结合先进的设计理念和技术手段,解决面临的各种挑战。未来,随着科技的不断进步和人们对生活品质要求的提高,TOD模式下城市综合体建筑规划设计将不断创新和发展,为城市居民创造更加美好的生活环境。

参考文献:

- [1] 宁刚.枢纽型TOD项目场域内商业综合体设计策略研究[D].大连:大连理工大学,2021.
- [2] 王怡菊.TOD超高层综合体转换空间一体化设计策略研究[D].杭州:浙江大学,2023.
- [3] 罗昊.TOD模式下城市综合体的动线组织与入口空间设计研究[D].重庆:重庆大学,2020.
- [4] 曾蕴姿.TOD模式下城市综合体设计:以上海轨道交通15号线元江路车辆段停车场上盖综合开发项目为例[D].上海:上海交通大学,2021.
- [5] 刘杨.运营理念下TOD综合体的设计策略研究[D].西安:西安建筑科技大学,2021.

建筑工程项目风险管理与应对策略研究

代 超

(西安富阎城市建设有限公司, 陕西 西安 711700)

摘 要 随着经济的高速发展, 市场经济体制发生了较大的变化, 在市场竞争激烈的情况下, 更多建筑企业面临着较大的挑战。风险管理在建筑工程项目中起着重要的作用, 将风险管理和建筑工程项目施工相结合, 能够有效识别建筑工程项目中存在的风险, 降低安全隐患对建筑工程施工的影响。在这一情况下, 部分建设企业需要高度重视项目风险管理工作, 针对存在的项目风险, 制定完善的应对措施, 明确各个阶段可能存在的风险点, 有助于提高建筑工程项目风险管理水平和质量, 以保障建筑工程项目顺利开展。本文主要从建筑工程项目风险管理的重要性入手, 结合建筑工程项目存在的风险, 对建筑工程项目风险管理应对措施进行了全面阐述, 以期为相关人员提供参考。

关键词 建筑工程项目; 风险管理; 风险管理机制; 风险管理意识

中图分类号: TU712

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.14.024

0 引言

新时代, 大部分建筑工程的规模逐步增大, 并且建筑工程整体环节比较复杂, 需要做好施工人员、施工材料、施工技术、施工设备等资源的配置, 再加上在施工期间也会受到很多不稳定因素的影响, 如环境因素、天气因素等, 若没有将风险管理工作落到实处, 在施工期间会受到各类影响因素的影响, 导致建筑工程的施工质量没有达到预期, 甚至容易造成安全事故的发生。因此, 为降低风险对建筑工程项目的影响, 对建筑工程项目可能存在的风险, 针对不同的风险类型采取不同的风险应对措施, 例如针对供应链风险, 风险管理人员需要对供应链风险的特点和带来的消极影响进行分析, 然后采取相应的解决措施, 提高建筑工程项目的施工质量, 满足新时代对建筑工程提出的实际需求。

1 建筑工程项目风险管理的重要性

现阶段, 大部分建筑工程具有规模大、周期长、环节复杂且多的特征, 在施工的时候存在很多潜在的风险, 因此通过开展风险管理工作, 能抵御风险对建筑工程的影响, 帮助建筑工程的顺利施工, 以下是建筑工程项目风险管理的重要性。

1.1 提高决策的科学性

项目决策在建筑工程中属于重要阶段, 如果在决策阶段出现失误, 不仅影响决策的科学性, 也影响后续建筑工程的正常施工。因此, 在建筑工程项目决策阶段开展风险管理工作, 需对决策阶段存在的风险有

效识别并应对, 为建筑项目做出重大决策提供相应的依据, 提高决策的科学性^[1]。例如: 在开展建筑工程项目时, 需要积极使用大数据技术, 做好市场的调查工作, 也要对同类型建筑工程的历史信息数据进行分析, 了解建筑工程可能存在的风险点, 提前制定相应的应急预案和预防措施, 防止给后续施工带来较大的影响。

1.2 使建筑工程项目开展更具有安全性

通过对建筑工程项目中存在的风险科学识别, 尤其是在建筑工程的施工阶段, 对可能存在的安全风险有效识别并消除, 使现场施工人员更加全身心地投入施工任务中, 以此来提高建筑工程项目的效率和质量^[2]。例如: 在建筑项目的施工阶段, 使用 BIM 技术和监控设施, 安装在施工现场, 管理人员通过观看计算机设备即可观察到存在的风险, 特别是观察施工现场是否存在安全隐患, 便于第一时间对异常状况进行解决, 在做好建筑工程安全管理工作的同时, 保障建筑工程项目施工进度和质量达到预期目标。

2 建筑工程项目存在的风险

2.1 外部风险

外部风险一般是不可控的风险, 包括自然风险、政治风险、经济风险等, 在开展建筑工程项目时受到这些外部风险的影响, 第一时间采取应急预案, 使外部风险对建筑工程项目带来的风险降到最低。

第一, 自然风险。自然风险包括环境、地质、天气的影响, 例如在开展建筑工程项目时, 天气状况不良,

出现大暴雨或者降雨的现象，对部分施工环节会带来相应的影响，会耽误建筑工程的施工进度^[3]。

第二，政治风险。政治风险一般是因为国家发布的政策有所变化，使建筑工程项目受到政治风险的影响。

第三，经济风险。经济风险是受到市场价格的影响，如施工材料价格上涨等，会影响建筑工程项目开展的成本费用，使成本费用的支出和收入不成正比。

2.2 内部风险

内部风险主要包括项目标价、施工设计、施工环节的风险，如果没有做好内部风险的管控工作，就会制约建筑工程项目的正常开展，具体情况如下。

1. 建筑项目的标价风险。现阶段，市场形势比较复杂，建筑项目工程的标价关乎着后续施工使用的成本费用，但在此形势下使建筑企业面临市场竞争的压力，部分建筑企业为争取市场上更多的份额，没有结合市场的形势和实际情况，出现随机标价的情况，为了中标可能出现压低标价的情况，影响市场的秩序。

第一，投标人员对建筑工程的信息了解不够全面和透彻，如对市场材料价格不够了解、工程量计算错误等，导致自身的报价出现失误。

第二，在签订合作合同的时候，没有做好合同管理工作，对合同内的各个条款没有理清，比较盲目地签订合同，给施工单位带来相应的风险，为获得更多的利润，在施工材料、施工人员、施工设备上节省资金，影响建筑工程的正常开展。

2. 设计风险。设计阶段在建筑工程项目中属于重点阶段，其施工图纸的设计质量关乎建筑工程的施工质量。但在开展施工设计工作时，会受到很多外界因素的影响，导致施工设计图纸质量不达标，还存在潜在的安全风险，尤其是建筑工程项目的隐蔽工程^[4]。如果在建筑工程施工的时候，使用存在失误和风险的施工图纸，就会出现较多的施工问题，需要施工队伍停止施工，对施工图纸重新修整，对质量不达标的施工环节进行整改，这样不仅影响建筑工程项目的施工质量，还由于经常返修使成本费用增多，后续其他施工环节施工时也会出现资金短缺的现象。

3. 施工阶段的风险。施工阶段的风险因素较多，有安全风险、进度风险、质量风险、成本风险、环保风险、责任风险等。

第一，安全风险。（1）高空坠落的风险。很多建筑工程项目属于高层建筑工程项目，施工人员在开展高空作业时，当安全防护设施缺失或者违规操作，容易出现高空坠落事故，这是施工期间比较常见的风险之一。（2）坍塌事故。地基工程是重点施工环节，

若没有充分了解地质条件，出现基坑支护不当、土方超挖的情况，就容易造成坍塌的事件发生，对施工人员和建筑工程都会造成较大的损失。（3）起重设备造成伤害：造成这一风险的主要原因在于机械设备操作不当或者维修保养不足而带来相应的风险，如塔吊倾覆或者搅拌机伤人。

第二，进度风险。（1）工期延误：实际开展建筑工程施工时，存在管理不善或者供应链终端的情况，容易造成施工进度延期，并且还需要支出过多的成本费用。（2）资源配置不恰当：施工人员、施工材料、施工设备等在施工中起着至关重要的作用，若没有结合建筑工程的实际情况，科学配置人力、物力、财力等，就会导致部分施工环节出现中断。

第三，质量风险。项目建设中由于设计方案不合理、施工方案与现场不符、管理不到位、控制措施未落实等方面的原因导致分部分项工程质量不合格，不能满足设计及规范的要求，均可能导致项目出现质量风险。

3 建筑工程项目风险管理的应对措施

3.1 健全风险管理机制，约束施工人员的行为

俗话说“无规矩不成方圆”，在开展建筑工程项目风险管理工作时，需要完善并健全风险管理机制，将此机制落到实处，以此来规范和约束风险管理人员和现场施工人员的行为，减少对建筑工程项目的影响。因此，部分施工单位的领导层人员需要构建高效的风险管理体系，帮助建筑工程项目在复杂的环境下稳步施工，提高建筑工程项目施工质量与效率。

第一，针对建筑工程项目的资金完善监督管理机制，设置相应的监督管理小组，对每一施工环节和每一支出的项目进行审核，避免出现资金过度浪费的情况^[5]。

第二，完善岗位责任制。对于建筑工程项目风险管理工作来讲，并不是风险管理人员一个人的工作和责任，而是需要现场施工人员的配合，将完善的岗位责任制落到实处，明确现场施工人员的职能和责任，当某一施工环节出现风险事件时，需要第一时间找到相应的负责人，将责任落实到个人，便于及时处理风险事件。

第三，完善风险管理反馈机制。为提高现场施工人员的风险管理意识，通过落实这一机制，让现场施工人员对不良行为进行匿名举报，可以通过现代信息化平台进行匿名举报、信件举报等形式，然后由风险管理人员统一整理匿名举报的情况，然后对不良事件一一审查，如果发现不良情况属实，那么需要给予相应的惩罚。

第四,完善绩效考核机制。将绩效考核机制和奖惩机制联合使用,对于不同职能和责任的施工人员设置不同的绩效考核指标,定期对现场施工人员风险管理的情况进行考核,针对绩效考核指标优秀的人员给予相应的奖励,针对绩效考核较差的人员给予相应的惩罚,更好地调动现场施工人员风险管理的积极性。

3.2 增强风险管理意识,做好市场的调研工作

现阶段,风险管理在建筑工程项目中起着关键的作用,施工单位需要意识到风险管理的重要性,管理层人员需将风险管理工作落到实处,树立正确的风险管理意识,对各个阶段存在的风险精准识别并防控,减少各类风险对建筑工程项目的影响。

第一,施工单位的管理层人员应起到榜样和引导的作用,将风险管理工作落到实处,做好风险管理工作的宣传与推广,使用微信、新媒体平台、线下宣传等形式,采取线上线下双重宣传形式,以提高施工人员、设计人员的风险管理意识。

第二,在内部成立风险管理小组,做好风险识别的工作,针对各个阶段存在的风险,制定相应的解决方案。(1)在标价阶段:在标价之前,需要专业的人员积极使用大数据技术,对历史信息数据、市场情况、施工材料的价格等进行分析,结合分析的结果科学标价,防止标价不科学导致后续资金短缺。(2)在设计阶段:在设计的时候,设计人员需要树立正确的设计意识,改善传统的设计理念和办法,积极使用BIM技术,做好建筑工程的3D建模工程,特别是针对建筑工程的机电设备安装环节,使用BIM技术能做好管线碰撞检测,便于及时发现施工图纸不科学的区域,提高施工图纸的设计质量^[6]。(3)在施工阶段:在施工现场安装传感器和监控设施,能实时监测现场施工天气情况,如果传感器显示空气中的湿度过大,需要重新规划与讨论施工方案和计划。(4)整个施工环节资金的使用:风险管理人人员可以使用现代化信息技术,打造自动预警装置,当资金使用存在问题时,便于及时解决异常状况,防止资金过度亏损。(5)对于施工材料的风险管理:可以使用现代化信息技术,构建物资管理系统,做好施工材料的运输和储存工作,将施工材料贴上二维码,然后使用设备进行扫描入库,对施工材料分类储存,方便风险管理人人员查看施工材料的库存情况,避免施工材料的过度浪费。

3.3 定期开展培训活动,建设专业能力较强的风险管理队伍

在对建筑工程项目开展风险管理工作时,需要意识到风险管理人人员的重要性,风险管理人人员的管理能

力直接关乎风险防范的实效性。因此,在开展建筑工程项目时,需打造一支风险管理队伍,制定系统性的培训方案,增强风险管理人人员的风险防控意识和综合素养。

第一,大力开展管理人的培训活动。在开展培训活动之前,需要制定相应的培训方案,除了培训管理之类的理论知识外,也要锻炼管理人的实践能力,使其能将学习到的理论知识用到实处,掌握风险管理的要点,提前做好相应的应急预案。培训理论知识的时候,可以采取线上线下双重教学,在项目开始之前集中统一线下培训,在项目开始之后进行线上培训,线上培训可以使用微信群、钉钉等,在这些平台上发布理论习题和知识,让管理人在空闲的时间自主学习,丰富管理人的理论知识体系。针对实践能力的培训,主要是提供更多实践的机会,可以跟着专业能力较强的风险管理人人员进行学习,不断积累风险管理的经验,真正做到学以致用。

第二,培训风险管理人人员信息化操作能力。在数字经济时代下,各行各业朝着数字化的方向转型,建筑行业也不例外,这就对风险管理人人员提出了较高的要求,风险管理人人员需要具有掌握信息化操作的能力,如大数据技术等。因此,可通过开展讲座会、技能实践等,帮助风险管理人人员熟练运用各个软件和大数据。

4 结束语

新时代,在实际开展建筑工程项目施工过程中,需要意识到风险管理的重要性,将风险管理工作落到实处,针对建筑项目施工存在的外部风险和内部风险,制定相应的解决措施,从健全风险管理机制、做好市场的调研工作、建设专业能力较强的风险管理队伍等入手,有助于防范外部、内部存在的风险,保障建筑工程项目顺利施工,推动建筑行业朝着可持续的方向高速发展。

参考文献:

- [1] 梅宇,苏绍霞.电力工程项目采购风险管理与应对策略研究[J].天津经济,2024(02):78-80.
- [2] 王涛.建筑工程项目中的风险管理与应对策略研究[J].城市建设理论研究(电子版),2024(05):45-47.
- [3] 吴思义.水利工程项目管理中的风险评估与应对策略研究[J].水上安全,2024(01):155-157.
- [4] 金科.房地产建筑工程项目风险管理及其应对策略[J].租售情报,2023(09):87-89.
- [5] 黄文亮.建筑工程财务管理的风险及应对策略[J].上海商业,2023(07):135-137.
- [6] 王净.EPC总承包工程项目风险管理与应对策略[J].工程技术研究,2022,07(08):155-157.

工程项目质量管理中的风险因素识别与应对策略

魏新波¹, 刘华林²

(1. 上海洛昶企业管理有限公司, 上海 200000;
2. 中海海耀建筑(青岛)有限公司, 山东 青岛 266000)

摘要 本文围绕工程项目质量管理中的风险因素识别以及应对策略展开探讨, 借助针对技术风险、管理风险、环境风险、供应链风险以及法律与合规风险所开展的系统分析, 运用文献回顾、专家访谈、SWOT 分析以及风险检查表等方式来识别风险要素, 提出了技术创新、管理流程优化、合同管理、供应链协同、风险转移以及风险监控等应对策略, 以此来构建起覆盖项目整个生命周期的质量风险防控体系, 以期对提高工程质量管理的有效性和实效性有所裨益。

关键词 工程项目; 质量管理; 风险因素识别; 风险防控策略

中图分类号: TU712

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.14.025

0 引言

工程项目质量管理对于保障工程成果符合预期质量规范而言是极为关键的一环, 随着工程技术复杂程度不断提升以及外部环境不确定性日益增加, 工程项目会面临诸多潜在的质量风险。本文着重关注工程项目质量管理中的风险因素识别与应对, 借助系统性分析, 提出行之有效的风险防控策略, 旨在为工程项目质量管理提供理论指导以及实践参考, 助力工程行业实现高质量发展。

1 工程项目质量管理基础

1.1 工程项目质量管理的定义

工程项目质量管理是以质量目标为核心导向, 在项目实施全过程中实施的系统性管控活动, 它依靠科学规划、动态监管及多方协作等综合手段, 保证最终成果符合规定的质量规范, 该体系覆盖从前期方案设计到后期运营维护的全流程管理, 特别在规划阶段需同步完善功能定位与技术指标设定。在施工环节强调从材料进场验收到施工工序控制的闭环管理, 最终在交付阶段实施包含实体检测与文件核查的双重验收机制^[1]。这种贯穿始终的管控模式保证工程在结构安全、使用功能及运维寿命等维度实现设计预期, 更凭借持续优化形成覆盖项目全生命周期的质量保障体系。

1.2 质量管理体系与标准

现代工程质量管理体系是凭借整合组织架构、运作机制及资源配置来实现质量管控的系统化方案。以

建筑工程领域为例, 业内普遍采用 ISO 9000 国际标准搭建管理体系, 对各部门及岗位人员的权责进行清晰界定, 同时制定标准化的质量管控流程。在国内工程建设实践中, 除国际通行的 ISO 体系外, 还需严格执行住建部等部门制定的施工规范, 如《建筑工程施工质量验收统一标准》中详细列明的技术细则。这些规范文件涉及建筑结构设计原理、建材强度等级、防水性能参数等关键技术指标, 对施工工艺流程中的关键节点提出可量化要求, 为工程项目建立全生命周期的质量基准, 凭借这种标准化管理机制, 企业可系统性地把控工程质量风险, 保证项目成果符合预期技术指标^[2]。

2 常见工程项目质量管理风险因素

2.1 技术风险

工程实践中的技术应用有高度复杂性, 风险防控需贯穿项目全生命周期, 在设计论证阶段, 创新性技术方案的引入若缺乏足够的工程案例支撑, 极易引发系统性技术漏洞, 典型案例包括新型结构体系参数计算偏差导致的荷载分布失衡, 在施工过程中, 施工人员技术适应性不足可能产生工艺偏差, 例如大体积混凝土浇筑作业中振捣工艺参数设置失当, 将直接影响结构实体强度指标达标率^[3]。在项目 3~5 年建设周期内, 技术代际差异风险逐步显现, 技术体系在智能化水平、绿色建造指标等方面存在代差劣势, 可能导致项目交付时面临市场竞争力弱化风险, 最终影响工程质量管理成效与项目投资回报率。

2.2 管理风险

管理体系不健全是项目实施中的突出问题，主要表现为组织架构的权责边界模糊，跨部门协作存在权责交叉现象，如物资供应部门与现场施工方在材料调度环节的时间节点对接失当，直接影响施工连续性，部分管理人员因专业素养参差不齐，在技术决策时难以平衡多方因素，典型案例包括工艺路线选择失误引发的施工复杂度上升及潜在质量缺陷。进度管控方面，工期设置缺乏弹性易导致恶性循环，作业班组为追赶节点而放松工艺要求，甚至出现工序跳步等违规操作。质量监管体系存在漏洞使得过程控制失效，初检阶段未能识别的微小瑕疵，在后续工序中逐渐演变为系统性质量风险^[4]。

2.3 环境风险

工程建设中的环境风险管控已成为项目成败的关键要素，要将环境风险评估纳入全周期管理体系，从自然因素层面分析，地质气象灾害有突发性和破坏性特征，特别在复杂地形区域表现更为明显。以某山区桥梁工程为例，短时强降雨造成施工便道损毁，更诱发表层岩体滑移，致使已完成的桥墩基础产生位移变形。气象异常对工期的影响有叠加效应，连续阴雨天气导致混凝土浇筑被迫中断，又使露天堆放的钢材出现锈蚀速率加快现象。温湿度变化对建材性能的影响存在滞后性，如木质模板含水率超标会引发混凝土表面蜂窝麻面缺陷，这类质量问题往往在拆模阶段才显现。

2.4 供应链风险

建材供应链的不可控风险影响工程实施效能，上游突发性事故（如生产设备损毁、物流通道中断）造成原料断供现象频发，致使施工连续性受损，复工阶段不同批次材料的物理性能差异可能引发质量隐患，市场存在以次充好的违规经营现象，部分供应商借降低合金配比、缩减工艺周期等非正常手段压缩成本，导致金属构件力学指标偏离设计要求，埋下结构失效风险。供应链上下游信息协同不足，项目采购部门与供应厂商在技术参数、交付节点等关键数据存在认知偏差，这种信息不对称可能造成应急性采购引发的资源错配，也可能导致冗余库存占用现金流，严重干扰施工组织设计的有效落实^[5]。

2.5 法律与合规风险

在工程项目的全生命周期中，依法合规管理构成贯穿始终的核心要求，项目前期若存在立项文件不齐备或施工许可未获批准即擅自开工的情形，将直接触发法律追责机制。典型案例显示此类违规可能导致强制停工令并产生相当于总投资额 5% 的行政罚款，施工阶段的环保违规风险非常突出，如某高速公路项目因

扬尘监控系统未达标及污染防治设施未同步启用，经环保督察后被处以阶梯式递增罚款，更被迫采用替代施工工艺致使结构强度参数下降 17%。合同管理体系的漏洞同样值得警惕，权利义务界定模糊的协议文本往往衍生出复杂的工程款支付争议，某商业综合体项目即因进度款支付条款存在歧义，导致承包发双方陷入长达 18 个月的索赔与反索赔争议，最终依靠司法审计才能完成质量验收程序。

3 工程项目质量管理风险因素识别

3.1 文献回顾与案例分析

凭借系统查阅国内外核心期刊、专业机构发布的行业白皮书以及典型工程管理案例库，对建设项目质量管控风险要素相关文献进行横向对比与纵向分析，结合国有资本投资与民营 EPC 总承包等不同主体实施的房建、市政工程项目案例研究，总结有普遍性的风险特征及其动态变化规律，构建覆盖理论推演与实证检验的双维度风险识别框架^[6]。

3.2 专家访谈与德尔菲法

本研究采用复合型专家咨询机制，组织项目经验超过十年的注册工程师、资深项目经理及质量认证专家开展深度访谈，借助半结构化交流获取第一手行业洞见，在此基础上创新运用改良德尔菲技术，依靠组织多轮背对背的匿名问卷调查，构建风险因素评估矩阵，采用数据归集、意见反馈和交叉验证的迭代流程，系统梳理出项目建设过程中可能存在的风险要素，该研究设计有效融合了个体专家经验与群体决策优势。

3.3 SWOT 分析

SWOT 框架依靠优势（Strengths）、劣势（Weaknesses）、机会（Opportunities）、威胁（Threats）四维视角解构工程项目质量风险要素。在优势维度中，施工团队若有前沿施工工艺与成熟管理经验，可极大地控制技术失误及管理漏洞的发生概率。劣势要素则着眼于自身短板，例如作业人员技术水平差异可能引发的工序质量波动问题^[7]。机会层面着重探讨外部利好环境，如建筑产业技术升级窗口期，为项目引进智能建造技术创造实施条件。威胁要素需警惕政策环境变动（如环保标准升级）、建材市场供需失衡等不可控变量，这些因素可能触发法律纠纷或供应链中断风险。借助四维矩阵的系统性梳理，可全面捕捉质量管控中的显性与隐性风险，又能为后续制定差异化的风险应对方案奠定分析基础。

3.4 风险检查表

风险检查表作为工程管理领域的关键工具，其结构化特征可系统化提升风险识别效率，该工具一般基

于历史案例库、行业规范及风险分类框架,整合形成结构化的风险清单。具体包含设计维度(方案深度不足、变更审批机制缺失)、施工维度(工艺参数偏差、作业人员技能缺陷)及管理维度(质控体系漏洞、监管执行弱化)等核心风险要素。项目执行期间,管理人员凭借周期性核查方式,对工程全流程进行逐项筛查,若发现潜在风险项,需同步记录并评估其影响等级,形成动态风险日志,该工具有持续迭代特性,可结合项目实际进度补充新增风险条目,构建覆盖项目全生命周期的动态防控体系,提升质量管理的实时性与完整性^[8]。

4 工程项目质量管理风险应对策略

4.1 技术创新与改进

在工程实践中优先应用建筑信息模型(BIM)技术体系,凭借在设计阶段构建三维可视化模型,系统性筛查管线碰撞与结构矛盾,有效规避后期返工风险,施工现场推广装配式构件预制安装工艺,采用模块化建造模式较大地缩短工期并保障工程质量均质化,企业层面设立专项研发基金,激励技术团队结合工程实践开展工艺改良。针对喀斯特地貌等复杂地质构造,自主研发出适应特殊地质环境的地基加固工法,同时与高校及科研院所共建技术攻关联盟,整合产学研优势资源形成创新协同机制,为工程质量风险防控提供持续性的技术支撑。

4.2 管理流程优化

系统梳理现行管理体系,重点优化跨部门协作机制与岗位责任划分,借助流程再造消除非增值环节,针对工程全周期实施标准化管控,在物资采购、进场验收、施工工艺等关键环节编制可视化操作指引,搭建基于BIM技术的质量协同管理平台,实现施工数据动态采集与智能分析,一线人员借助移动终端即时填报施工日志,管理人员在线查阅项目动态,构建质量异常预警机制。建立PDCA循环改进机制,结合项目阶段评估与质量追溯数据,动态调整流程细则,形成持续优化的质量管理闭环体系^[9]。

4.3 合同管理与风险分配

在合同签署准备阶段,组建由法律顾问与工程管理专家构成的专项小组,协同开展合同条款的联合审查,对质量管控主体的权责范围作出准确界定,凭借建立风险分担机制,针对设计变更风险,特别约定因设计单位主观过失引发的方案调整,需由其承担由此产生的经济损失及法律责任。在施工质量管控层面,要求承包单位严格按照技术规范组织施工,若因施工工艺缺陷导致质量事故,须履行包含工程整改及损害赔偿在内的复合型违约责任,合同存续期间建立动态监控体系,依靠定期履约评估与阶段性质量审计,针

对违约情形依法启动追责程序,充分发挥契约文本的风险防控效能。

4.4 风险监控与应急计划

构建覆盖全流程的风险防控网络,采用智能传感装置与无人机巡航技术相结合的模式,对建筑结构形变、应力分布等关键指标进行动态追踪,依靠在承重构件中植入微型传感器,实时捕捉毫米级沉降数据及荷载传递特征,同时预先编制分级响应预案。针对不同等级质量风险设置差异化的处置方案,明确处置权限划分、资源配置方案和标准化处置流程。当监测数据超出预警阈值时,系统自动触发多级联动机制,调配有专业资质的应急小组携带模块化维修设备赶赴现场,运用无损检测技术精确定位缺陷部位实施修复,依靠每季度组织情景模拟演练,采用红蓝对抗模式检验预案可行性,结合三维仿真技术复盘处置过程,持续提升突发事件的快速处置能力。

5 结束语

随着城市化建设进程的不断加快,工程项目的数量逐渐增多,对于工程项目的建设质量要求也在逐渐提高。本文深入分析了工程项目质量管理中的风险因素,同时系统探讨了识别方法和应对策略,为工程项目质量管理构建了全面的风险防控框架。未来,随着智能化与信息化技术持续发展,工程项目质量管理会更看重数据驱动以及智能决策,不断完善风险防控体系,提高工程质量管理的精细化与智能化程度,促使工程项目朝着更高质量的发展阶段迈进。

参考文献:

- [1] 左先金.D桥梁工程建设项目质量管理研究[D].西安:西安建筑科技大学,2024.
- [2] 杨叶.J市政道路工程项目质量管理研究[D].西安:西安建筑科技大学,2024.
- [3] 袁世超.S市市政道路养护项目质量管理研究[D].南昌:南昌大学,2024.
- [4] 徐守涛.X公司Y适老化改造项目质量管理研究[D].郑州:河南大学,2024.
- [5] 刘光煜.CC地铁七号线项目质量管理策划研究[D].长春:吉林大学,2024.
- [6] 徐晨阳.Q县35kV变电站工程新建项目质量管理改进研究[D].杭州:浙江大学,2024.
- [7] 温咏.建筑工程项目管理中的风险识别与应对[J].广西城镇建设,2023(05):51-54.
- [8] 袁文山.建设工程项目管理中的风险管理研究[J].中国建材,2024(11):118-120.
- [9] 李延佩.建筑项目管理中的风险因素及防控策略[J].中国建筑装饰装修,2023(01):121-123.

城市地下综合管廊施工技术 创新与可持续发展路径

梁 娜

(山西诚信市政建设有限公司, 山西 太原 030000)

摘 要 城市地下综合管廊作为现代城市基础设施的关键构成部分, 对于优化城市地下空间利用、提升城市运行效率、增强城市防灾抗灾能力具有重要意义。随着城市化进程的快速推进和科学技术的持续进步, 城市地下综合管廊施工中的技术创新成为推动其可持续发展的关键因素。本文探讨了城市地下综合管廊施工中的技术创新点, 并分析了其可持续发展路径, 以期对相关领域的实践与研究提供参考。

关键词 城市地下综合管廊; 技术创新; 可持续发展; 施工方法; 管理创新

中图分类号: TU9

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.14.026

0 引言

城市地下综合管廊, 又称共同沟或综合管沟, 是一种集约化的地下隧道空间, 用于集中敷设电力、通信等多种市政管线, 实施整体规划、一体化设计、协同建设与统一管理。这种集约化、综合化的管线敷设方式, 有效解决了传统管线直埋或架空敷设带来的城市空间资源浪费、交通拥堵、管线维修困难等问题。随着城市化进程的加快和人们对城市生活品质要求的提高, 城市地下综合管廊的建设为实现城市的高效管理和可持续发展提供了有力支撑。

1 城市地下综合管廊施工中的技术创新

1.1 施工方法创新

1. 明挖现浇法。明挖现浇法是目前城市地下综合管廊施工中应用最为广泛的方法之一。该方法具有施工简单、方便、工程造价低等特点, 适用于新建城市的管网建设。在明挖现浇法中, 施工单位首先进行基坑开挖, 然后根据设计图纸进行垫层、底板、侧墙和顶板的浇筑, 最后进行防水处理和土方回填。近年来, 随着施工技术的不断进步, 明挖现浇法也在不断优化。

2. 明挖预制法。明挖预制法是一种结合了明挖现浇法和预制装配技术的施工方法^[1]。该方法在施工简单、方便的基础上, 进一步提高了施工效率和工程质量。在明挖预制法中, 施工单位首先在工厂内预制管廊构件, 然后将其运输到施工现场进行拼装。这种施工方法不仅可以缩短施工周期, 减少现场作业量, 还可以提高管廊结构的精度和耐久性。

3. 浅埋暗挖法。浅埋暗挖法是一种适用于已建城市改造的施工方法。该方法具有灵活多变、对道路和地下管线影响小等特点。在浅埋暗挖法中, 施工单位首先进行工作坑修筑和超前支护, 然后进行暗挖施工和廊体施工。通过采用先进的掘进技术和支护结构, 可以有效控制地表沉降和地下管线变形, 确保施工安全。

4. 盾构法。盾构法是一种在松软含水层中修建埋深较大的长管廊时常用的施工方法。该方法具有施工速度快、安全系数高等特点。在盾构法中, 施工单位首先进行始发井施工和盾构机调制拼装, 然后进行掘进施工^[2]。通过采用先进的盾构技术和信息化监测手段, 可以有效控制掘进过程中的地表沉降和地下管线变形, 确保施工安全和质量。

1.2 材料与技术创新

1. 新型管材的应用。随着材料科学的不断发展, 新型管材在城市地下综合管廊施工中的应用越来越广泛。例如: 高密度聚乙烯 (HDPE) 管、玻璃钢夹砂管等新型管材具有重量轻、耐腐蚀、使用寿命长等优点, 可以有效提高管廊系统的整体性能和可靠性。

2. 预制装配成套技术的应用。预制装配成套技术是一种将构件在工厂内预制完成后运输到施工现场进行拼装的技术。此项技术不仅能够显著提升施工效率与工程质量, 还可以减少现场作业量和施工风险。在城市地下综合管廊施工中, 预制装配成套技术得到了广泛应用。

3. 智慧技术的应用。随着信息技术的不断发展,

智慧技术在城市地下综合管廊建设中的实践运用越来越广泛。例如：通过采用BIM（建筑信息模型）技术，可以实现管廊施工的三维可视化设计和施工管理；通过采用GIS（地理信息系统）技术，可以实现管廊施工的空间数据分析和决策支持；通过采用物联网技术，可以实现管廊施工过程的实时监测和预警。

1.3 管理创新

1. 项目管理模式的创新。在城市地下综合管廊施工中，项目管理模式的创新^[3]对提升施工效率与保障工程质量具有重要价值。例如：通过采用EPC（工程总承包）模式，能够实现设计、采购与施工的协同化管控，提高项目整体协调性和可控性；通过采用政府和社会资本合作（PPP）模式，能够吸引社会资本参与管廊的建设与运营管理，减轻政府财政压力并提高项目运营效率。

2. 安全管理的创新。城市地下综合管廊施工中的安全管理是确保施工安全和质量的关键。随着安全管理理念的持续革新与技术手段的日益提升，城市地下综合管廊施工中的安全管理也在不断创新。例如：通过采用信息化监测手段对施工现场进行实时监测和预警；通过采用智能化设备对施工人员进行安全培训和考核；通过建立健全的安全管理体系和应急预案来提高施工过程中的安全风险防范能力。

3. 环境保护的创新。在城市地下综合管廊施工中，环境保护是确保施工可持续发展的重要因素。近年来，随着环保意识的不断提高和环保技术的不断进步，城市地下综合管廊施工中的环境保护也在不断创新。例如：通过采用绿色施工技术和材料降低施工过程中对环境的污染与生态的损害；通过实施节能降耗措施，减少施工过程中的能源消耗与碳排放量；通过建立健全的环保管理体系和监测机制来确保施工过程中的环保合规性。

2 城市地下综合管廊施工中的可持续发展路径

2.1 科学规划与合理布局

1. 结合城市发展规划。城市地下综合管廊的建设应与城市发展规划紧密结合。通过科学预测城市未来发展方向和人口规模等因素，合理确定管廊的建设规模和布局。

2. 优化管廊布局。在城市地下综合管廊^[4]的布局上，应充分考虑城市地下空间资源的合理利用和管线系统的协调发展等因素。通过优化管廊的布局和走向，

减少管线交叉和冲突现象的发生；通过合理设置管廊的分支和接口等设施，增强管线系统的适应能力与扩展潜力。此外，还应考虑管廊与其他城市基础设施的衔接和配合等因素，确保管廊系统的整体性和协调性。

2.2 拓宽融资渠道与引入社会资本

1. 政府财政投入。政府财政投入是城市地下综合管廊建设的重要资金来源之一。通过加大政府财政投入力度，可以确保管廊建设的顺利进行和可持续发展。

2. 引入社会资本。引入社会资本是拓宽城市地下综合管廊融资渠道的重要途径之一。通过采用PPP等模式引入社会资本参与管廊建设和管理等工作，可以减轻政府财政压力并提高项目运营效率。

2.3 加强技术创新与人才培养

1. 推动技术创新。技术创新是推动城市地下综合管廊^[5]施工进步和可持续发展的重要因素之一。通过加强技术研发和创新工作力度，可以不断提高管廊施工的技术水平和工程质量。

2. 加强人才培养。人才是推动城市地下综合管廊施工进步和可持续发展的重要保障之一。加大人才培养与引进的投入力度，可以不断提高管廊施工人员的专业技能和素质水平。

2.4 完善法律法规与标准体系

1. 完善法律法规。完善法律法规是保障城市地下综合管廊施工顺利进行和可持续发展的重要基础之一。通过制定和完善相关法律法规和政策措施来明确管廊建设的责任主体、审批程序、建设标准等方面的要求。

2. 建立健全标准体系。建立健全标准体系是保障城市地下综合管廊施工质量和安全的重要手段之一。通过制定和完善相关标准和规范来明确管廊施工的技术要求、质量标准、验收程序等方面的内容。

2.5 推动智慧化建设与信息化管理

1. 推动智慧化建设。（1）智能监控系统：在管廊施工中，引入智能监控系统，对施工现场进行全天候、全方位的监控。通过高清摄像头、传感器等设备，实时收集施工数据，如人员流动情况、设备运行状态及环境质量等，为施工管理提供精准、实时的数据支持。

（2）数字化管理平台：建立数字化管理平台，实现管廊施工信息的集成化、网络化管理。通过平台，可以实时查看施工进度、质量、安全等方面的信息，方便管理人员进行决策和调度。（3）智能化运维管理：在管廊运维阶段，引入智能化运维管理系统，实现管廊

设施的远程监控、故障预警和快速响应。通过智能化运维管理,可以及时发现并处理管廊设施的问题,确保管廊系统的正常运行和延长使用寿命。

2. 信息化管理。(1) 信息化施工流程:将信息技术融入管廊施工流程中,实现施工过程的信息化、自动化管理。通过信息化施工流程,可以提高施工效率,减少人为错误,确保施工质量。(2) 数据化管理:建立管廊施工数据库,对施工过程中的各类数据进行收集、整理和分析。通过数据化管理,可以及时发现施工中的问题,为施工管理提供数据支持,同时还可以为后续的管廊运维提供历史数据参考。

2.6 加强国际合作与交流

1. 引进国际先进技术。积极引进国际先进的管廊施工技术和设备,提高国内管廊施工的技术水平和工程质量。通过与全球领先企业及研究机构开展合作,共同研发新技术、新产品,推动国内管廊施工技术的创新和发展。

2. 参与国际交流与合作。积极参与国际管廊施工领域的交流与合作,掌握国际前沿技术动向与发展趋势。通过参加国际会议、展览等活动,展示国内管廊施工技术的成果和优势,提高国际竞争力。

3. 培养国际化人才。深化与国际顶尖高校及研究机构的协作,共同培养国际化管廊施工人才。通过派遣留学生、访问学者等方式,引入国际领先的教育理念与教学方法,提高国内管廊施工人才的培养质量。

2.7 注重生态环境保护与资源节约

1. 生态环境保护。在管廊施工中,严格遵循环保法规,采取有效措施降低对周边环境的影响。例如:使用低噪声、低振动的设备,科学安排施工时间,减少对居民生活的干扰。同时,加强施工废弃物的处理和利用,减少环境污染。

2. 资源节约。在管廊施工中,注重资源的节约和循环利用。例如:运用节能型机械设备,降低能源使用量;优化施工方案,减少材料浪费;对施工废弃物进行分类处理和回收利用,提高资源利用率。

2.8 强化安全管理与应急响应

1. 安全管理。构建完善的安全管理体系,明晰安全管理职责与流程。加强施工人员的安全教育和培训,提高安全意识和操作技能。同时,加强对施工现场的安全检查和隐患排查,确保施工安全。

2. 应急响应。制定完善的应急预案和响应机制,

确保在突发事件发生时能够迅速、有效地进行应对。强化应急演练与培训,提升应急响应能力与水平。同时,建立与相关部门和机构的应急联动机制,形成合力应对突发事件。

2.9 推动政策创新与制度保障

1. 政策创新。政府应加大对管廊施工的政策支持力度,制定和完善相关政策措施。例如:实施财政补贴与税收减免等激励政策,鼓励企业参与管廊建设和管理。同时,加强对管廊施工市场的监管和规范,维护市场秩序和公共利益。

2. 制度保障。建立健全管廊施工相关的法律法规和标准体系,为管廊施工提供制度保障。如制定管廊施工规范、验收标准等,确保施工质量和安全。同时,加强对管廊施工过程的监督和检查力度,确保法律法规和标准的有效实施。

3 结束语

城市地下综合管廊施工中的技术创新与可持续发展路径是一个系统工程,需要政府、企业、科研机构等多方面的共同努力。通过推动施工方法、材料与技术、管理等方面的创新,深化国际协作与交流,重视生态保护与资源高效利用,强化安全管理与应急响应,推动政策创新与制度保障等措施的实施,能够促进城市地下综合管廊建设的可持续发展,为城市运营提供更高效、安全且可靠的支撑。未来,随着科技的不断进步和城市化进程的加速推进,城市地下综合管廊施工将迎来更多的机遇和挑战。我们需要继续加强技术创新和可持续发展路径的探索与实践,为城市地下空间的高效利用和城市的可持续发展做出更大的贡献。

参考文献:

- [1] 苗雷强,商冬凡,程朝伟,等.综合管廊预制拼装关键技术研究[J].建筑技术开发,2021,48(04):30-31.
- [2] 王洪新.土压平衡盾构刀盘扭矩计算及其与盾构施工参数关系研究[J].土木工程学报,2009,42(09):109-113.
- [3] 韩明伦.城市地下综合管廊建设与发展探析[J].智能建筑与智慧城市,2023(06):160-162.
- [4] 郭帅.建筑工程的进度管理分析[J].建材发展导向,2024,22(19):83-85.
- [5] 陈浩.综合管廊与轨道交通协同设计优化[J].都市快轨交通,2023,36(01):106-112.

公路施工技术管理强化策略分析

徐春明

(法库县交通运输事务服务中心, 辽宁 沈阳 110400)

摘要 公路是重要的基础设施, 其施工质量不仅关系到区域经济发展, 同时也与居民的生活水平提升有极大关联。本文在阐述公路施工技术管理的重要性的基础上, 分析了当前公路施工技术管理现状, 并提出了强化公路施工技术有效管理的对策, 通过有效技术管理, 以期为确保施工过程中的规范性、提升公路的安全与耐久性提供借鉴, 进而为居民提供安全且便利的出行环境。

关键词 公路施工; 技术管理; 质量控制

中图分类号: U415

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.14.027

0 引言

公路是连接相关区域与外界的重要纽带, 对促进产业发展、加强城乡交流以及改善人们的出行条件等方面有不可替代的作用。当前, 国家对公路设施建设投入力度正在不断加大, 公路建设规模持续扩大。但需要注意的是, 在公路建设施工阶段, 极易受到施工环境复杂、技术水平有限、管理不规范等多种因素影响, 从而导致公路建设存在质量问题, 影响公路使用寿命。所以, 做好公路施工技术管理的强化工作, 有效提升施工质量是公路建设的重点内容。

1 公路施工技术管理的重要性

1.1 有利于保障施工质量

在公路工程施工技术管理中, 有效的管理模式不仅可以确保施工过程严格依照设计要求与技术标准进行, 同时还可以对施工各个环节进行全方位把控, 这样可及时发现并有效解决施工中各种存在的问题, 确保公路施工质量达到标准要求^[1]。例如: 对路基压实度、路面平整度等关键技术指标实施严格管理, 就能够避免路面出现裂缝问题, 这对于延长公路使用寿命具有重要意义。

1.2 有利于提高施工效率

在开展施工技术管理强化过程中, 需不断进行施工组织设计的优化工作, 合理安排施工工序, 避免施工出现返工问题, 可大幅度缩短工期, 并有效提升现有的施工效率。例如: 采用先进机械化施工技术与设备, 可以结合施工进度计划来加快施工速度, 确保公路施工按时保质完成。表1是对两个相似公路项目进行对比, 实施有效的施工技术管理的项目其施工工期缩短了20天。

表1 不同技术管理水平下施工工期对比

项目名称	是否实施有效 技术管理	施工工期(天)
项目A	是	80
项目B	否	100

1.3 有利于控制施工成本

公路施工技术管理通过合理选择施工技术方案、优化施工工艺、减少施工浪费等方式降低施工成本。如材料使用与采购时借助严格的技术管理和材料控制, 不仅能够避免材料浪费, 同时还可以进一步降低材料成本支出。

2 公路施工技术管理现状分析

2.1 技术管理意识淡薄

目前, 部分施工单位对公路施工技术管理重要性认识不足, 很多时候都只关注施工进度与经济效益, 忽视了施工技术管理的作用。在施工开展阶段, 普遍缺少科学有效的施工素质, 通常都是凭借经验来开展施工, 这种现象十分普遍^[2]。针对分层填筑与压实施工来讲, 如果没有依照设计要求进行, 那么就容易导致路基压实度不足, 出现沉降等质量问题。

2.2 技术人员素质不高

在公路施工队伍中, 专业技术人员数量相对匮乏, 这一问题较为明显。而现有技术人员中, 部分人员的业务水平较低, 主要因素则是缺乏系统培训, 这样不仅会影响施工效率, 还会导致工程进度难以按照计划推进, 施工质量保障更是无从谈起, 这样就会给公路质量带来潜在隐患。另外, 施工单位对技术人员的培训力度也远远不够, 在科技快速发展的今天, 新技术

与新工艺不断出现,为公路施工带来了更多可能性。但需要注意的是,如果技术人员不能及时接受系统培训来更新自身知识技能,那么就难以适应这种快速变化的环境。长此以往,不仅会制约公路施工技术进步,还会影响交通事业可持续发展目标的实现。

2.3 施工技术标准执行不严格

一些公路施工项目在施工过程中未能严格执行相关的施工技术标准 and 规范。例如:在路面混凝土浇筑施工中,未按照规定配合比进行配料,导致混凝土强度不足;在沥青路面施工中,沥青的加热温度和摊铺温度不符合要求,影响路面压实度。这些问题会严重影响公路施工质量,通过对多个公路施工项目检查数据进行统计(见表 2)可以看出,施工技术标准执行不严格的情况较为突出。

表 2 公路施工技术标准执行情况统计

检查项目	应符合标准数量	实际符合标准数量	符合率
混凝土配合比	50	35	70%
沥青加热温度	40	28	70%
摊铺厚度	60	42	70%

3 强化公路施工技术有效管理的策略

3.1 施工前的技术管理

3.1.1 做好施工图纸审核

施工单位接到图纸之后,需要组织专业的技术人员认真审核图纸的各项内容,重点审核内容为图纸完整性及与施工现场实际情况的符合性等。例如:检查图纸中公路平面位置、纵断面高程、横断面尺寸等是否准确,以及各种构造物设计是否合理,是否存在施工难度较大或无法施工的部位等。采用审核的方式,可以发现图纸中是否存在问题,如果有问题,要和设计单位及时做好沟通的工作,避免在施工开展阶段因图纸问题而导致质量事故发生。

3.1.2 编制科学的施工组织设计

在施工总体部署中,应合理划分施工段落,确定各施工段落的施工顺序和时间;在施工进度计划中,要明确各工序开始、结束时间,然后在这一基础上制定工期目标,并根据实际情况进行动态调整^[3]。

3.1.3 技术交底

在施工前,施工单位应向施工人员进行技术交底,使施工人员了解工程特点和施工要求,同时更好地明确质量标准与安全责任,确保施工过程的顺利进行。

技术交底应采用书面形式,并由交底人和被交底人签字确认。

3.2 施工过程中的技术管理

3.2.1 路基施工技术管理

在路基施工过程中,应严格控制路基填筑材料、填筑厚度和压实度。填筑材料应符合设计要求,且不可使用不合格材料;填筑厚度应根据压实设备和压实工艺确定,一般不宜超过 30 cm;压实度应达到设计要求,可以采用重型击实标准进行检测。在过程中可运用振动压路机进行分层压实,并严格控制压实度,以确保路基稳定性和强度。同时加强路基边坡防护,可运用种草、植树、挡土墙等防护措施,这样可以防止边坡坍塌和水土流失。

3.2.2 路面施工技术管理

在公路施工环节,在水泥混凝土路面施工应严格控制混凝土配合比、搅拌时间、浇筑温度和振捣质量,混凝土配合比应根据设计强度和施工条件通过试验确定,要考虑水泥、骨料、水、外加剂等各种材料比例,合适的配合比既能保证混凝土强度达到标准要求,又能满足施工要求。搅拌时间应不少于规定时间,一般强制式搅拌机的搅拌时间不宜少于 90 s,这样可以使混凝土更加均匀^[4]。另外,针对浇筑温度来讲,应控制在合理范围内(一般宜在 5~35℃之间),避免因温度过高或过低而影响混凝土性能。而在沥青路面施工中,施工人员则要严格控制沥青加热温度、摊铺温度和压实温度。沥青的加热温度应符合规范要求,摊铺温度应根据气温和沥青种类确定,一般不宜低于 130℃。初压应采用钢轮压路机,以较快的速度(1.5~2.0 km/h)静压 1~2 遍,以此来稳定混合料,为后续压实奠定基础;复压应采用轮胎压路机碾压 4~6 遍,利用轮胎揉搓作用使混合料更加密实;终压应采用钢轮压路机,以较慢的速度(2.5~3.5 km/h)静压 1~2 遍,消除轮迹,提高路面的平整度。在压实过程中,施工人要严格控制压路机行驶速度及碾压遍数,确保路面压实度符合要求。

3.3 施工后的技术管理

3.3.1 竣工验收

在公路施工完成后,需要按照标准规范进行竣工验收,竣工验收内容主要包括工程质量、工程资料、工程外观等方面^[5]。工程质量应通过实测实量方式进行评定,确保工程资料齐全,工程外观则要整洁且无明显缺陷。

3.3.2 技术总结与档案管理

施工单位在工程竣工后的技术总结工作十分关键,这项工作可以说是对施工过程的一次全面回顾,可以提炼经验教训,进而为今后施工开展提供参考。在技术总结过程中,需要深入分析施工过程中的各项技术难点,在这一基础上总结施工技术管理中存在的问题,然后提出相应的改进措施^[6]。同时,加强工程技术档案管理也十分重要,在施工开展阶段,会产生各种各样的技术文件,如图纸、检测报告、验收记录等,施工单位需要将这些文件进行整理归档,因为这些档案不仅可以为今后公路养护维修提供依据,也是施工单位技术实力的体现。因此,施工单位应高度重视工程技术档案管理工作开展效率,确保档案完整性不受影响。

4 案例分析

以某公路建设项目为例,该项目全长 10 km,路面宽度为 6 m,主要采用的是水泥混凝土路面。在施工开展阶段,该施工单位十分重视施工技术管理工作,采取了一系列行之有效的管理措施。在施工前不仅认真审核了施工图纸,同时还编制了详细施工组织设计、合理安排了施工工序,也对施工人员进行全面技术交底,施工人员掌握各项施工技术要求。施工组织设计全面涵盖了施工进度计划、资源配置计划、施工方法与技术措施以及质量安全保障措施等内容。施工进度计划方面运用了 Project 软件进行编排,划分了多个施工节点,同时还明确了每一个节点的起始时间和工期。

另外,工程施工技术管理人员严格控制路基填筑材料与压实度,路基压实度均达到了设计要求,路基填筑材料的质量直接关系到路基的稳定性和强度,技术人员对填筑材料颗粒组成、含水量、塑性指数等指标进行严格检测,最终选用了符合设计要求的土石混合料。在压实度控制方面,运用了重型振动压路机,同时还按照“先轻后重、先慢后快、由边向中”的原则进行碾压。每填筑一层,都利用灌砂法、环刀法等检测方法对压实度进行检测,使路基压实度均达到了设计要求95%以上,实际检测结果为97%。而在路面施工中,通过控制混凝土配合比和施工工艺,使混凝土强度和路面平整度等指标都符合规范要求。同时,在施工时组织开展了质量检测,对原材料、构配件和工序质量都进行了全方位把关。例如:为提高混凝土抗折强度增加了水泥用量,选用优质外加剂改善混凝土的和易性和凝结时间。振捣过程中控制混凝土配合比和施工工

艺,使混凝土强度达到了C32,高于设计标准C30,路面平整度检测结果为3 mm,优于设计要求的 ≤ 5 mm。

通过有效的施工技术管理,该项目顺利完成,工程质量得到了保障^[7]。经竣工验收,各项指标均符合设计和规范要求,路面平整、坚实,行车舒适。该项目成功实施为其他公路建设项目提供了有益借鉴,其各项关键指标检测结果均优于行业平均水平(详见表3)。

表 3 某公路项目关键指标检测结果对比

检测项目	设计标准	实际检测结果	行业平均水平
路基压实度 (%)	≥ 95	97	95
混凝土强度 (MPa)	C30	32	30
路面平整度 (mm)	≤ 5	3	5

5 结束语

针对公路施工技术管理的问题，需要从施工前准备、施工过程控制、施工后验收等多个环节着手开展，采取科学合理的强化管理策略来确保公路施工质量达到标准要求。同时，通过案例分析可以看出，有效的施工技术管理能使工程质量取得良好成效。未来，还应不断总结公路施工技术管理经验，持续改进施工技术管理方法，以此来推动公路建设事业健康发展，并为经济社会发展提供有力支撑。

参考文献:

- [1] 孟庆春.农村公路水泥混凝土路面加宽改建技术探究[J].工程建设与设计,2024(24):208-210.
- [2] 张兰峰.北方平原地区农村公路沥青路面病害及养护施工技术分析[J].运输经理世界,2024(26):119-121.
- [3] 王勤建.农村公路沥青路面大修设计与施工监测问题研究[J].工程机械与维修,2024(07):163-165.
- [4] 米彩霞.农村公路水泥混凝土路面施工及养护技术分析[J].产品可靠性报告,2024(06):137-139.
- [5] 张英杰.沥青路面就地冷再生技术在农村公路施工中的应用[J].汽车周刊,2024(07):89-91.
- [6] 韩茹,刘玉东,白璐,等.农村公路数字化管理应用与研究:农村公路设计管理系统[C]//中国公路学会养护与管理分会,重庆高速公路集团有限公司,招商局重庆交通科研设计院有限公司.中国公路学会养护与管理分会第十三届学术年会论文集.北京逸群工程咨询有限公司,2024.
- [7] 李晓晴,张强.强化农村公路施工技术管理的有效路径分析[J].农村实用技术,2021(12):49-50.

花页 1-1HF 井长水平段页岩油钻井技术

胡忠涛

(中石化华东石油工程有限公司江苏钻井公司, 江苏 扬州 225000)

摘要 为提高页岩油水平井产量, 大多水平段长, 井眼轨迹复杂, 随着苏北盆地页岩油开发力度的加大, 页岩油钻井机械钻速低、钻井周期长以及断层多、地层破碎所导致的轨迹控制难度大、储层钻遇率低等问题也越来越突出。本研究通过分析江苏油田首口页岩油示范井花页 1-1HF 的钻井难点和关键技术, 探讨了二开增斜段和水平段的高效钻头、旋转导向、负压振动筛以及激进钻井参数等工具和技术的应用效果, 总结了花庄区块页岩油长水平段钻井的提速提效经验措施, 以期为提高机械钻速、降低非生产时间提供参考。

关键词 页岩油; 提速提效; 旋转导向; 负压振动筛; 钻井参数

中图分类号: TE2

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.14.028

0 引言

页岩油是指以吸附或游离状态赋存于页岩层微小孔隙中的自生自储、连续分布的石油聚集, 是重要的石油接替资源。苏北盆地地层泥页岩发育, 有机质丰富, 演化程度高。在勘探过程中, 苏北盆地泥页岩层里清晰可见明显的油气显示, 这意味着该盆地在地质条件上完全满足泥页岩油气成藏的要求。近年来, 江苏油田先后在花庄区块部署多口页岩油井施工并取得了良好的钻探成果, 但由于花庄页岩油区块地质构造复杂, 小断层发育, 岩性层位判断难, 施工中轨迹调整频繁, 施工难度大, 也对钻井工艺水平提出了更高的要求。对此, 本文针对江苏油田首口页岩油示范井花页 1-1HF 井开展了钻井提速提效难点分析, 并提出技术对策, 为加快苏北页岩油的勘探开发提供理论基础和技术指导。

1 花页 1-1HF 井基本情况及钻井难点

1.1 设计基本情况

花页 1-1HF 井位于高邮凹陷内坡带花庄构造, 设计井深 6 011.42 m, 垂深 4 052.78 m, 设计井身轨迹为二维+小三维, 造斜点 2 550 m, 最大井斜角 92.55°, 最大水平位移 2 419.98 m, 水平段长 2 057.31 m。采用“导管+二开制”井身结构, 如表 1 所示。

1.2 钻井难点

1. 阜宁组泥岩易垮塌。四尖峰—七尖峰粘土矿物含量高, 粘土敏感性强, 易水化, 同时还存在破碎地层, 断层裂缝发育, 钻井液长时间浸泡井壁, 易造成井壁剥落掉块和垮塌, 形成起下钻阻卡, 增大钻井风险。

表 1 花页 1-1HF 井设计井身结构表

开钻次序	井深 (m)	井眼尺寸 (mm)	套管尺寸 (mm)	备注
导管	260	406	339.7	封固地表松软地层
一开	2 500	311.1	244.5	封住盐城组、三垛组、戴二段等不稳定地层
二开	6 011.42	215.9	139.7	—

2. 轨迹控制难度大。花页 1-1HF 井目的层埋藏深, 轨迹采用三维偏移距设计, 设计水平段长, 水平段设计有四个控制靶, 地层倾角 10~18°, 水平段整体上倾, 使得后期井下摩阻和扭矩大, 钻压传递困难, 长水平段定向调整轨迹易出现托压、憋泵现象, 且水平轨迹上可能存在微断层, 轨迹可能调整频繁, 进而影响时效。

3. 井控风险高。阜二段地层油气活跃, 可能存在高压和异常高压, 且邻井花页 1HF 井大型压裂返排开采产生裂缝沟通, 高压层易导致压裂液侵入, 造成水窜、油气窜, 施工过程中可能导致井壁失稳、地层出水等风险。

4. 井底温度高。该井井底最高温度达 130~140 °C, 对随钻仪器、螺杆等工具抗温性、稳定性要求高。

2 钻井关键技术

2.1 导向钻井技术

花页 1-1HF 井造斜段设计三维扭方位轨迹, 若采用常规滑动导向的钻井方式, 工具面调整困难, 施工周期长。邻井花页 3HF 井造斜段采用螺杆钻具滑动钻

进,机械钻速仅为2.6~3.2 m/h,平均日进尺50 m/d。相比之下,旋转导向钻井技术可全程旋转钻进,仅用一套钻具就能实现造斜、增斜、稳斜等井眼轨迹的控制与调整。该技术具备低摩阻扭矩、强水平段延伸能力,不仅钻井效率高、井眼轨迹控制精准,而且井身质量好,井眼净化效果也十分出色^[1]。

针对花页1-1HF井增斜和水平段钻井难点,采用斯伦贝谢Power Drive Archer旋转导向系统,该系统是一种混合了传统推靠式和指向式的旋转导向工具,可在全旋转模式下实现高造斜率安全钻进,还具有井眼轨迹控制精确、耐用性好、可实时监测井下参数等特点。花页1-1HF井于2022年6月9日下入旋转导向钻具组合,至6月18日起出,完成进尺1 144 m,顺利实现造斜段增斜扭方位钻进,克服了常规螺杆滑动造斜时工具面波动、托压、造斜率偏低的难题。

从井身轨迹上,在定向段确保了平稳入窗,保证了水平段精准入靶,水平段轨迹始终保持在层内穿行,靶窗箱钻遇率100%,实现了对轨迹的精确控制,在进入水平段(3 973 m)后,全角变化率维持在较低水平,最大全角变化率3.88°/30 m,确保了井眼轨迹平滑。

2.2 高效钻头+振荡螺杆优快钻井技术

2.2.1 高效钻头优选

复合钻进效果很大程度上取决于PDC钻头的选型。花庄区块地层的戴南组至阜宁组存在大段泥页岩,其中常常夹杂着大颗粒的砾石层。金刚石复合片抗冲击载荷能力较弱,钻进使用常规的PDC钻头,砾岩会对切削齿造成很强的冲击力,致使切削齿极易破损。只要切削齿出现细微的结构性损坏,短短30分钟内就会被彻底击碎,导致钻头损坏,最终降低钻进速度。邻井花页1HF井由于钻头选择不当,PDC切削齿磨损严重,存在断齿、掉齿,部分钻头出现了极为严重的环磨情况,致使钻进时机械钻速低下,单个钻头的钻进进尺较短,并且钻头的数量消耗量较多,二开钻进共使用钻头8只,钻头应用效果差。

为延长钻头使用寿命、减少钻头磨损,花页1-1HF井在分析地层可钻性的基础上针对PDC钻头外形、结构等进行优选,采用带有斧形齿的PDC钻头。在结构

设计上,常规PDC钻头采用的是圆柱形单一工作面结构,而斧形PDC切削齿则创新地设计为具有两个工作面的斧形脊状结构。这一独特设计赋予了斧形齿更为锋利的切削形态,使其在作用于地层时,能同时发挥剪切与挤压的双重功效。当破碎岩石时,斧形齿的斧刃能够在其前方岩石内部催生一个剪应力集中区域,让岩石更易于发生剪切破坏。在相同的作业条件下,斧形齿切入地层的深度远超常规平面齿,钻头切削效率因而显著提升。不仅如此,斧形齿还具备更厚的金刚石层,这一特性极大地增强了它的抗冲击性能,有效减少了齿崩片与磨损的状况,大幅拓展了复合片在不同地层条件下的适用性,特别是在硬地层和研磨性地层中,钻头的钻进效率得到了极大的提高^[2]。

花页1-1HF井二开第一趟钻使用“尖峰”KSD1652 AGRX钻头,其鼻尖部的主切屑齿布置有最新型内凹斧形齿,可大幅提高钻头的攻击性和抗冲击性;造斜段为配合旋转导向钻井系统实现高的造斜率,使用与旋转导向适配的史密斯XS516PDC钻头,采用双排斧形齿结构,并针对高造斜率工具采用最新一代高抗冲击PDC复合片,具有强攻击性和高稳定性,耐磨能力和抗冲击能力强、稳定性好,定向工具面稳定;水平段在旋导着陆后更换回KSD1652AGRX钻头,显著提高水平段机械钻速(见表2)。

2.2.2 振荡螺杆应用

水平段钻进中,常规螺杆钻具存在摩阻扭矩大、钻压传递效率低、滑动托压严重的问题。相比之下,振荡螺杆可在马达旋转提供扭矩的同时在近钻头振动产生高频纵向冲击力,即使托压严重,底部钻具也有少量动力工作,通过自身振动有效缓解滑动钻进中托压及工具面波动的问题,可减少水平井定向钻进中托压和卡钻风险,并大幅提高复合钻进中的钻速。

花页1-1HF井二开水平段在旋导着陆后,及时更换尖峰KSD1652ARXPDC钻头+1.5°达坦振荡螺杆,机械钻速达到11.97 m/h,相比设计10 m/h提速19.7%,显著提高水平段机械钻速^[3]。

2.3 强化钻井参数

在钻井过程中,水力参数的选择对于安全快速钻

表2 花页1-1HF井二开钻头使用情况

型号	厂家	下入井深(m)	起出井深(m)	进尺(m)	纯钻时间(h)	机械钻速(m/h)
KSD1652AGR	江钻	2 500	3 449	949	45	21.09
XS516	史密斯	3 449	4 593	1 144	103	11.11
KSD1652ARX	江钻	4 593	6 012	1 419	118.5	11.97

进有着重要影响,合理的水力参数是提高机械钻速,实现低成本、高效益钻井的重要手段之一。花庄地区储层特征复杂多变、地质条件相对复杂,钻井参数不当导致的水力功效不足、环空压耗大和岩屑上返不顺畅等问题尤为突出。为提高钻井效率,花页 1-1HF 井在参考分析邻井施工的经验上,采用了激进式水力参数设计,在钻井参数选择上充分释放优越的机泵条件,在设备和工具能力满足要求的前提下采用高钻压、高转速、大排量等措施,钻井参数向极限参数靠拢,二开井眼最大排量达到 36L/s,充分保证清洁井眼,确保井下安全(见表 3)。

表 3 花页 1-1HF 二开钻井参数

井段	钻压 (kN)	转速 (rpm)	排量 (L/s)
直井 + 造斜段	60 ~ 120	60+ 螺杆	32 ~ 36
造斜段	100 ~ 140	80 ~ 100	32 ~ 34
水平段	100 ~ 140	60+ 螺杆	32 ~ 34

2.4 负压振动筛新型固控技术

现有常规振动筛大多在开式或半开式条件下工作,筛面上下均是大气压,钻井液实现透筛以及固相颗粒得以干燥,主要是借助筛面振动赋予钻井液的惯性力,再加上钻井液自身所具有的位能来达成,存在处理量小、排出的岩屑含液量高等缺点。负压振动筛可在筛面下真空盘中形成负压,利用真空吸力,使筛面上下形成一定压差,使钻井液获得附加的透筛能力,在振动作用和压差的共同作用下透过筛网,有效解决了振动筛上钻井液飞溅、固液分离效率低等技术问题。在相同的振动强度、筛布面积和筛网目数下,负压振动筛的处理能力明显高于传统钻井液振动筛,处理后的岩屑含液量显著下降,还具有钻井液回收率高、后续环保处理工作量小等优点,尤其在使用油基钻井液的情况下,能有效降低岩屑含油率,减少油基钻井液损耗,实现油基岩屑减量化,降低白油的费用及油基岩屑的处理费用^[4]。花页 1-1HF 井自二开 2 500 m 油基钻井开始采用负压振动筛,至完钻累计使用进尺 3 512 m,产生油基岩屑 457.731 吨。与邻井花页 5HF 井相比,花页 1-1HF 井油基岩屑产生量较花页 5HF 井每米减少 0.014 吨,总共减少油基岩屑 49.168 吨。同时,使用负压振动筛后排出的岩屑较为干燥,液相含量显著降低,经现场测定,使用负压振动筛的岩屑含油率由 15.1% 下降至 14.6%,使用效果良好^[5]。

2.5 提速提效效果

花页 1-1HF 井完钻井深 6 012 m,全井平均机械钻

速 17.65 m/h,钻井周期 33.81 d,比设计周期 41 d 缩短 17.5%,相比邻井缩短钻井周期 17.3 d,提速 70.4%,其中二开进尺 3 512 m,平均机械钻速 13.18 m/h,用时 25.55 d,比设计周期节约 8.75%,并以水平段日进尺 245 m,创江苏油田水平段日进尺最高纪录。

3 结论与建议

1. 针对花庄区块岩石力学特性,从 PDC 钻头头型、刀翼、布齿等方面进行了优选,提升了钻头机械钻速,延长了使用寿命,同时在水平段配合高效钻头使用振荡螺杆,显著提高了水平段机械钻速。

2. 旋转导向钻井技术中靶精度高,精准控制技术可确保井眼轨迹平滑,实现水平段高精度控制。该技术还能降低摩阻扭矩,提升水平段的延伸能力,提升储层的钻遇率和井身质量,但同时旋转导向钻井工具对使用环境要求较高,花页 1-1HF 井旋导钻进后期出现了仪器粘滑严重、扭矩波动大的情况,影响了机械钻速的进一步提高。

3. 选取钻井参数要综合考虑地层特征和设备能力,在设备、工具和仪器能力范围内尽量采用强化钻井参数,可有效提高水马力破岩、物理机械破岩效率,增加机械钻速。

4. 负压振动筛能有效降低油基岩屑含油率,减少油基钻井液损耗,降低白油的费用及油基岩屑的处理费用。

5. 对于页岩油井施工,要重点加强对区域钻井技术的总结分析,加大成熟钻井技术的推广应用,以吸纳先进钻井技术为主导,整合钻头、钻具使用等技术资源,逐步形成更加优化的技术集成,完善区域化钻井模式,实现优质高效钻井。

参考文献:

- [1] 王建龙,冯冠雄,吴嘉澍,等.长宁页岩气钻井提速提效难点与对策分析[J].西部探矿工程,2020,32(10):70-72.
- [2] 杨灿,王鹏,饶开波,等.大港油田页岩油水平井钻井关键技术[J].石油钻探技术,2020,48(02):34-41.
- [3] 宋保健,孙凯,乐守群,等.涪陵页岩气田钻井提速难点与对策分析[J].钻采工艺,2019,42(04):9-12.
- [4] 刘克强,李欣,艾磊,等.旋转导向钻井技术在页岩油水平井的应用与认识[J].复杂油气藏,2021,14(03):100-104.
- [5] 霍阳,朱艳,魏凯,等.PowerDrive Archer+VorteX 旋转导向技术在页岩气开发中的应用[J].长江大学学报(自然科学版),2019,16(01):39-43,49.

现代化水利水电施工技术管理分析

张培强

(四川三江交通建设工程有限公司, 四川 宜宾 644000)

摘要 水利水电工程是国家基础设施建设的重要组成部分, 其施工技术管理水平直接决定了工程的整体质量。目前, 传统施工方式存在显著不足, 迫切需要借助现代化技术手段实现突破性改进。本文聚焦于现代化水利水电施工技术管理, 深入探讨了现代技术在水利水电施工技术管理方面的实际意义, 提出了引入智能监控、优化资源配置、应用数字模型以及强化数据分析等措施, 揭示了现代化技术对水利水电施工管理的变革性意义, 以为行业技术革新提供借鉴。

关键词 现代化; 水利水电; 施工技术管理; 智能监控技术

中图分类号: TV5

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.14.029

0 引言

《“十四五”现代综合交通运输体系发展规划》明确提出“加快新一代信息技术与基础设施深度融合, 推动基础设施数字化、智能化升级”, 这个政策为水利水电施工技术管理的现代化转型提供明确指引。在此背景下, 智能监控、数字孪生、大数据分析等先进技术的广泛应用, 正成为推动行业技术革新的核心动力。现代化技术的深度融入, 能够提升施工效率与工程质量, 并且还将加速水利水电工程向智能化方向迈进, 为行业的可持续发展注入强劲动力。

1 现代化技术对水利水电施工的意义

1.1 减少资源浪费

现代化技术的深度融入, 能革新水利水电施工中资源消耗的传统范式。数字化建模技术与实时监测系统的协同应用, 使得施工全周期的材料使用量、能源消耗率以及设备运行效率等关键指标实现精准量化。基于BIM技术的三维可视化平台, 一方面能够完整模拟施工流程的每个阶段, 另一方面还可对资源流动路径进行动态追踪与优化, 使资源配置在空间和时间维度上达到最优平衡。另外, 大数据分析技术可对历史工程数据深度挖掘, 构建资源消耗的多维度预测模型, 在施工规划阶段即可识别潜在的资源浪费风险点。而智能仓储管理系统则使用射频识别技术和自动化调度算法, 将钢材、管材等大宗材料的利用率进行大幅度提升, 库存周转率也有明显提高。这种基于数据驱动的资源管理模式, 既实现了资源消耗的精细化管控, 又在微观层面重构了施工要素的配置逻辑, 使资源浪费从源头得到系统性遏制。

1.2 预防安全事故发生

部署现代技术中的分布式光纤传感系统, 使得高边坡位移、坝体应力变化等关键参数的监测精度达到亚毫米级, 数据采集频率突破每秒千次, 远超传统监测手段的极限。根据深度挖掘与分析的海量监测数据, 机器学习算法能够识别塌方、渗漏等事故的早期特征, 将传统的经验判断转化为数据驱动的风险预判模型^[1]。在隧洞施工场景中, 基于超宽带定位技术的智能安全设备与气体检测装置的协同运行, 构建危险环境的实时预警机制, 使潜在风险的识别时间从小时级缩短至分钟级。这种从被动防护到主动干预的转变, 能使得重大事故的发生率明显降低, 安全管控模式变为: 从离散事件处理到连续过程控制的本质升级。与此同时, 安全体系的革新也深刻改变了施工安全管理的底层逻辑, 推动安全管控从经验依赖型向数据驱动型转变, 成为复杂环境下的施工安全的实践依据。

1.3 减少施工环境污染

激光雷达扫描与遥感技术的协同应用, 能够构建施工区域的三维生态基线模型, 在高精度数据采集与分析的模式下, 实现对植被覆盖率、水土流失量、生物多样性等多维度生态指标的动态监测与评估。只有基于数据的生态影响评估体系, 才能够量化施工活动对环境的即时影响, 并且借助长期数据积累, 预测生态效应的演变趋势, 为环境负荷的精准管控提供科学依据^[2]。在扬尘控制领域, 智能监测网络能够捕捉PM_{2.5}、PM₁₀等关键空气质量参数, 结合气象预测模型, 构建扬尘扩散的动态模拟系统, 使环境影响的评估从静态结果分析转向动态过程追踪。集成应用这些现代

化的技术手段,可以在降低施工过程中的碳排放强度的同时,构建起一套可量化、可追溯的环境绩效评估体系,推动工程建设从被动满足环保标准向主动追求生态修复的转变。

1.4 提升管理效率

施工过程中的进度、成本、质量等关键管理要素,经构建多维度的数据交互体系,得以实时监控与动态优化。这种数据驱动的管理模式,能够精准捕捉施工状态的细微变化,还能利用模拟推演预测潜在的管理风险,为决策提供科学依据。在管理透明度方面,基于区块链技术的数据存储与追溯机制,保证施工日志、检测报告等关键信息的不可篡改性,形成完整的质量责任链条,显著提升管理过程的可信度^[3]。在进度控制领域,动态推演模型通过分析施工逻辑关系,自动识别关键路径的偏移风险,并提出资源再平衡策略,使管理响应的时效性显著提升。

2 现代化水利水电施工技术管理措施

2.1 引入智能监控,实时管控施工风险

智能监控技术的理论依据,主要是源于复杂系统理论与数据驱动决策的深度融合。水利水电施工环境具有高度的复杂性与不确定性,传统风险管理模式依赖经验判断与静态规则,无法面对动态变化的风险因素。对于复杂系统理论,施工风险多会视为多要素非线性交互的结果,其传导路径具有不可逆的原则。只有构建风险模型,才能够量化系统失序程度,展示出风险在时空维度上的演变规律。智能监控技术的科学性体现在其将实时数据采集、动态分析与风险预测相结合,形成闭环管控机制^[4]。应用智能监控,使风险管控从离散事件处理升级为连续状态感知,显著提升水利水电技术管理的精准程度。

分布式光纤传感技术(DFOS)在水利水电施工风险管控中,其具体应用涵盖传感器网络部署、数据动态采集、实时分析预警及高效数据管理四个核心环节。在传感器网络部署阶段,可采用布里渊光时域反射仪(BOTDR)作为核心传感设备,沿施工区域关键结构(如高边坡、坝体、隧洞衬砌)布设单模光纤,全覆盖作业面的监测网络。在数据动态采集环节中,DFOS系统运用脉冲激光发射与后向散射光解析技术,实时获取光纤沿线应变与温度分布数据。由于系统采样频率设置为1 000次/秒,其应变测量精度优于 ± 0.01 毫米/米,温度分辨率达 0.1°C ,精准捕捉亚毫米级位移变化。与此同时,还能采用长短期记忆网络(LSTM)对时序监测数据进行特征提取,建立位移速率、应力梯度与风险等级的映射关系。当监测到围岩收敛速率超过预

设阈值 0.05 毫米/秒时,系统会自动触发三级预警机制:一级预警($0.05 \sim 0.08$ 毫米/秒)启动数据复核流程,二级预警($0.08 \sim 0.12$ 毫米/秒)激活现场声光报警装置,三级预警(> 0.12 毫米/秒)直接联动应急支护设备启动。集成Prophet时间序列分析算法,能够在风险预测模块中,基于72小时历史数据预测未来24小时风险演变趋势,其平均绝对误差(MAE)是 0.008 毫米/秒。根据实际工程数据显示,这个技术使风险识别时效从传统人工巡检的 $4 \sim 6$ 小时缩短至43秒,重大事故发生率同比下降 65.78% ,单项目年均减少直接经济损失约1 200万元。

2.2 优化资源配置,精准调度施工设备

优化资源配置的主要内容,高效整合与动态调度施工设备、材料及人力资源。水利水电工程施工中涉及大量重型机械设备,如挖掘机、混凝土泵车、起重机等,这些设备的利用率会直接影响工程的进度与成本。因为施工环境的多变性,所以传统资源配置模式难以应对。参考运筹学与系统优化理论,资源配置问题可抽象为多目标优化模型,借助动态规划与启发式算法求解最优调度方案^[5]。这种数据驱动的资源配置模式,能够最大化设备利用率,最小化闲置时间与能源消耗,并随时响应施工需求变化。优化资源配置的科学性在于其将离散的设备调度问题转化为连续的系统优化过程,经过实时数据采集与动态算法调整,达到资源流动的全局最优解。这种模式一方面加快了施工效率,另一方面还降低了设备维护成本与能源消耗,为水利水电工程的精细化管理提供理论支撑。

物联网(IoT)的智能调度系统,可以应用于混凝土泵车的精准调度管理中。该系统能够集成GPS定位模块与多维度传感器网络,实时追踪每台泵车的空间位置与运行状态,采集发动机转速、液压压力、燃油消耗率等关键参数,然后构建设备运行状态的动态数据库。在数据采集层,可采用低功耗广域网(LoRa)通信技术,保证数据传输距离覆盖15公里范围,传输延迟控制在200毫秒以内,为实时调度提供高可靠性的安全保障。同时,调度算法层采用混合整数线性规划(MILP)模型,以最小化设备闲置时间与运输距离为目标,结合施工现场需求动态生成调度方案。模型输入参数涵盖泵车实时位置、混凝土需求量、浇筑点空间分布及道路通行条件,输出最优调度路径与设备分配策略。在大型水利枢纽工程中,系统能够将12台泵车的平均闲置时间,从传统模式的 2.3 小时/天优化至 0.45 小时/天,提升设备综合利用率至 92.67% ,显著提高了资源使用效率。在实时调度环节,系统可

根据 4G/5G 网络将调度指令推送至泵车终端,驾驶员用车载人机交互界面,接收目标浇筑点坐标、最优路径规划及预计到达时间等相关任务信息。另外,系统集成基于深度学习的交通流量预测算法,结合历史数据与实时路况动态调整路径规划策略,将平均运输时间缩短 18.42%。在设备健康管理方面,系统经过分析发动机运行数据的时序特征,构建故障预测模型,提前识别潜在设备隐患,优化维护计划,使设备故障率降低 35.71%,延长设备使用寿命。

2.3 应用数字模型,动态调整施工方案

数字模型在水利水电施工技术管理中的应用,源于复杂系统建模与仿真技术的深度融合。水利水电工程施工环境复杂多变,参考数字孪生技术构建的虚拟施工模型,能够将物理工程映射为数字化实体,从而实时仿真与动态优化施工全过程。数字模型可以把施工要素抽象为可计算的数据节点,结合多物理场耦合分析,演示施工过程中的非线性交互关系。这种模型驱动的施工管理方式,既能够捕捉施工状态的细微变化,又可通过模拟推演预测潜在问题,为方案调整提供科学依据。

在具体水利水电技术管理的过程中,BIM(建筑信息模型)的数字孪生平台,可应用于大坝混凝土浇筑方案的动态优化。平台需要整合三维激光扫描与无人机航测数据,构建高精度的大坝结构模型,将几何精度控制在 ± 2 毫米范围内,同时满足施工方案的精细化设计要求。在模型构建阶段,利用 Revit 软件将设计图纸转化为三维数字模型,集成材料属性、施工工艺及环境参数等多维度信息,形成具有物理意义的虚拟施工场景。完善施工方案时,平台采用有限元分析(FEA)技术对混凝土浇筑过程进行动态仿真。通过输入混凝土配合比、浇筑温度、环境湿度等参数,模拟浇筑过程中的温度场与应力场分布,预测裂缝产生的风险区域。在某重力坝工程中,模型预测显示局部区域温度应力超出设计阈值 1.25 倍,系统自动优化浇筑顺序与冷却水管布置,将最大温度应力降至安全范围内,裂缝风险降低 78.34%。在实时调整的时候,平台根据物联网传感器网络,采集施工现场混凝土温度或浇筑速度的数据,然后可以更新数字模型状态。当监测数据与模型预测值偏差超过 5% 时,系统能够自动触发方案调整机制,随后生成优化后的施工指令。在高温天气条件下,模型动态调整浇筑时间窗口,将日间浇筑量减少 30%,夜间浇筑量增加 45%,保证混凝土初凝温度控制在设计范围内。

2.4 强化数据分析,科学评估施工质量

水利水电工程施工质量中,涵盖材料性能、工艺

参数、结构状态等多维度参数,但由于传统质量评估方法依赖抽样检测与经验判断,而无法全面反映施工质量的真实状态。利用大数据分析的质量评估模型,能够整合多源异构数据,构建施工质量的动态评估体系。数据分析的主要特点是把离散的质量信息转化为连续的状态感知过程,根据机器学习算法识别质量缺陷的早期特征,将传统的被动检测转变为主动预测。

在数据分析过程中,机器学习的数据分析平台可用于混凝土浇筑质量的科学评估。平台需要集成物联网传感器网络,实时采集混凝土温度、湿度、应力等关键参数,形成施工质量的多维度数据集。在数据采集层,可运用分布式光纤传感技术(DFOS),沿浇筑结构铺设光纤传感器,实时监测混凝土硬化过程中的温度场与应力场分布,数据采集精度达到 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$,采样频率为每秒 1 000 次。另外,平台采用长短期记忆网络(LSTM)算法,特征提取监测数据,构建混凝土质量评估模型。模型输入参数包括温度梯度、应力变化率及环境湿度,输出质量缺陷的预测概率。在拱坝工程中,模型预测显示局部区域温度梯度超过设计阈值 1.15 倍,系统会自动触发预警机制,提示潜在裂缝风险,然后调整冷却水管布置与浇筑速度,将温度梯度控制在安全范围内,使裂缝风险降低 76.82%。

3 结束语

创新现代化水利水电施工技术管理,标志着工程建设领域从传统经验驱动向数据驱动的转型。深度融合现代化技术,既重构了施工管理的底层逻辑,又推动了资源配置、风险管控与质量评估的范式升级。展望未来,人工智能与物联网技术将会持续演进,而水利水电施工管理将进一步向智能化方向发展,为行业可持续发展注入新的动能。

参考文献:

- [1] 魏莉.绿色环保模式下提升水利水电工程施工技术管理水平的策略[J].中国轮胎资源综合利用,2024(11):84-86.
- [2] 姚创志.水利水电工程施工技术管理水平的提升路径[J].工程技术研究,2024,09(16):132-134.
- [3] 肖静.水利水电工程施工技术管理存在的问题及对策研究[J].水电站机电技术,2021,44(04):65-67.
- [4] 陈晓华.浅谈现代化水利水电施工技术管理应用[J].陕西水利,2021(03):230,236.
- [5] 李延忠.水利水电工程施工技术管理研究:评《水利水电工程质量管理》[J].人民黄河,2021,43(03):163.

电力工程测量测绘存在的问题及优化措施

张浩然

(山东网聚电力科技有限公司, 山东 济南 250000)

摘 要 随着电力行业的快速发展, 电力工程测量测绘作为确保电力设施建设和运行的重要环节, 其重要性日益凸显。然而, 当前电力工程测量测绘在技术应用、数据管理、环境适应及标准化等方面存在诸多问题: 技术更新滞后导致测量测绘效率低下、数据管理与分析能力不足影响决策准确性、环境因素干扰大增加了测量难度、标准化与规范化缺失则影响了工作质量和效率。针对这些问题, 本文提出了强化技术创新、完善数据管理体系、制定适应环境变化的策略以及推动标准化与规范化建设等优化措施, 旨在为提升电力工程测量测绘的准确性和效率提供参考, 促进电力行业的可持续发展。

关键词 电力工程; 测量测绘; 电力设施

中图分类号: TB22

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.14.030

0 引言

电力工程是国家基础设施建设中非常重要的一部分, 测量测绘工作对保证工程质量和提高施工效率有着非常重要的作用。但是, 在实际的操作当中电力工程测量测绘方面却遇到了很多的挑战以及问题。文章对这些问题进行深入分析, 探究相关优化措施, 旨在为促进电力工程测量测绘规范化、标准化与智能化发展提供有益的建议, 促进电力行业高质量发展。

1 电力工程测量测绘的重要性

1.1 确保工程设计与施工的准确性

电力设施施工是一项复杂且细致的工作, 从最初设计到最后建设, 各个环节均需准确无误的数据支撑。测量测绘工作以高精度测量技术与手段为项目提供详细而精确的地形地貌、地质结构及空间位置等资料, 并为设计师描绘蓝图提供扎实的科学依据。施工阶段, 这些测量数据更成为指导施工、保证工程按图进行和避免误差累积等方面的重要参考依据^[1]。可以这样讲, 如果不进行精准的测量测绘, 那么电力工程的设计和建设就像失去船帆的航船一样, 很难在茫茫大海上精准地向前航行。

同时, 测量测绘工作也表现为其严格控制工程质量。电力设施施工过程中任何一个细微的错误都会给工程质量带来难以估量的后果。并且测量测绘工作也通过严格遵守相关规范与标准来保证每项测量数据准确可靠, 进而为工程质量稳定提高打下坚实的基础^[2]。同时也能及时地发现和改正施工中出现的偏差与问题, 从而有效地避免由于误差累积所造成的工程质量问题。

1.2 保障电力设施运行的安全性与稳定性

电力设施是现代社会中必不可少的基础设施之一, 电力设施运行是否安全稳定直接影响着国家经济能否持续发展、人民群众的生活能否正常有序进行。在这样的背景之下, 电力工程测量测绘工作越来越显示出其重要意义, 其不但是电力设施建设中的根本, 也是确保电力设施能够长时间安全平稳运行的关键所在。测量测绘工作是通过准确地获得电力设施空间位置、地形地貌和地质结构等重要信息, 从而为设施设计、建设和运行维护提供科学依据^[3]。这些资料帮助工程师们在设施设计阶段就对设施布局进行合理规划, 以免把设施放置于地质条件比较复杂且容易遭受自然灾害的地区, 进而从根本上减少设施运行过程中的安全风险。施工阶段的测量测绘工作可以保证设施按照图纸进行施工, 以免由于施工误差造成设施结构失稳或者存在安全隐患。更为关键的是, 在电力设施运行阶段, 测量测绘工作同样发挥着不可替代的作用。通过对该装置的定期监测与计量, 能够及时发现该装置运行中发生的变形、沉降等异常现象, 从而为该装置的维护保养及应急处理工作提供预警信息^[4]。

1.3 促进电力行业的可持续发展

电力工程测量测绘工作是电力行业发展过程中的一个重要依托, 对推动电力行业可持续发展所起到的作用是不可忽视的。一是准确测量测绘数据是电力设施优化布局、高效运行的科学基础。通过深入分析地形地貌、地质结构、气候条件及其他自然因素并进行精准测量, 可以更科学地规划电力设施建设位置及规

模,保障设施高效运行及资源合理开发利用。这样既有利于减少电力设施建设成本,又能够提升设施能效与可靠性,从而为电力行业可持续发展打下坚实的基础^[5]。二是测量测绘工作对促进电力行业技术创新与智能化发展至关重要。伴随着智能电网、大数据、物联网的迅猛发展,电力设施运行管理与维护方式也在发生着深刻的变化。准确的测量测绘数据是这些新技术应用所需要的基本信息,有利于对电力设施进行远程监控、智能调度及故障预警,由此提高了设施运行效率及安全性,减少了运维成本。

2 电力工程测量测绘存在的问题

2.1 技术更新滞后

尽管近年来随着科技的不断进步,测量测绘技术已经取得了显著的发展,但在实际应用中仍有许多电力工程采用的是较为陈旧的技术手段。这些传统技术在测量精度上受到一定限制,同时效率也较低,很难适应现代电力工程高精度和高效率的要求。造成技术更新落后的原因是复杂多变的:一方面是因为资金投入不足而制约了新技术的开发与普及;另一方面是因为行业内对于新技术的了解与关注不够,使得新技术很难得到广泛运用。另外,技术人员专业素养与技能水平对技术更新有显著影响。部分技术人员对于新技术缺乏了解与把握,很难有效地应用到实践当中去,进而限制测量测绘技术更新与发展。

2.2 数据管理与分析能力不足

随着电力工程规模越来越大、复杂程度越来越高,由此带来的测量测绘数据量呈爆炸式上升。但是,目前很多电力工程中的数据管理还存在明显的不足,如数据存储零散、数据格式不够一致以及数据质量良莠不齐,这样不但加大了资料处理难度,而且严重地影响着资料的高效使用。与此同时,从数据分析能力上看,很多电力工程还停留于单纯的数据整理与可视化水平上,缺少深度挖掘与数据分析能力,这样就造成了信息不能被充分挖掘。数据管理和分析能力不足不仅制约着电力工程测量测绘数据价值的实现,还制约着电力行业智能化和信息化的发展。导致这一问题的因素有很多,其中既有技术层面的制约,如没有有效的数据处理与分析工具等,又有管理层面上的缺陷,如不注重数据管理、缺少数据分析专业人才。

2.3 环境因素干扰大

自然环境中地形地貌、地质结构、气候条件及电磁干扰等诸多因素都会给测量测绘工作带来不同的影

响。如复杂多样的地形地貌会给测量设备精确定位带来困难,地质结构不稳定也会诱发测量误差积累,同时气候条件改变如温度、湿度、气压的涨落也会给测量设备性能及测量结果带来直接的影响。在现代电力工程领域,电磁干扰被视为一个不能被忽略的环境要素,它对测量和测绘任务产生了显著的影响。在高压输电线路周围或者电磁环境比较复杂的地区测量过程中,电磁干扰会使被测设备信号失真、精度降低,甚至会对设备产生破坏,严重影响测量结果准确性。较大的环境因素干扰不仅使测量测绘工作难度加大,而且使测量技术与装备的需求加大。

2.4 标准化与规范化缺失

在没有统一标准与规范指导的情况下,各区域、各工程间测量测绘工作通常差异性大、不一致。这样不仅会影响测量测绘数据可比性与互操作性,而且还会对后续工程设计与施工造成很多不便。缺乏标准化和规范化,表现为测量方法多样、数据处理流程不一致,成果表达形式差异大。不同测量团队会使用不一样的测量仪器、技术与方法,造成测量结果准确性与可靠性不一。同时,在数据处理时,由于没有统一标准流程,各小组可能会使用不同算法及软件对其处理,导致处理结果很难得到有效比对验证。另外,从成果表达上看,不同队伍可能会采取不同的形式与准则,从而使测量测绘成果的交流与分享受到阻碍。

3 针对电力工程测量测绘存在问题的优化措施

3.1 强化技术创新与应用实践,提升核心竞争力

鉴于电力工程测量测绘领域技术落后,加强技术创新和应用实践就成了增强核心竞争力的重点手段。一是需要在测量测绘技术的研究开发上加大投入力度,鼓励科研机构及高校和电力企业开展深入合作,共同克服技术难点,促进新技术新方法的开发应用。这不仅涵盖了提高测量准确性和效率的关键技术,如高精度GPS定位和三维激光扫描等,还包括了数据处理和分析的智能算法,以实现测量数据的快速处理和深度挖掘。同时,要注意将技术创新和实际工程需求密切结合起来,并在应用实践中对新技术进行不断的检验与改进。电力企业要积极地参与到技术创新项目当中,在实际的工程测量测绘当中运用新技术,并通过实践反馈不断地优化其性能,促其实用性与可靠性得到增强。另外,还建立了技术创新激励机制以激励技术人员主动参与到技术创新活动中去,在技术创新和应用实践之间形成良性循环,从而不断提高电力工程测

量测绘领域技术水平及核心竞争力。此外,强化技术人员培训和教育是促进技术创新和应用实践能力发展的一个重要环节。通过经常性地举办技术培训和学术研讨会,促进技术人员了解并掌握新技术,提高他们解决现实问题的能力。

3.2 完善数据管理体系架构,确保信息高效流通

在电力工程测量测绘领域中,对数据进行有效管理与流转是促进工作效率与决策准确性提高的重点。鉴于目前数据管理和分析能力的欠缺,改进数据管理体系架构已迫在眉睫。一是需要建设统一数据管理平台对测量测绘数据进行集中存储、统一管理以及高效检索。平台要支持对各种数据格式进行兼容和变换,以保证各种来源和格式的数据可以无缝集成,从而为数据分析奠定全面和精确的数据基础。二是要建立数据标准化体系并明确其收集、加工、存储及共享等标准流程和标准,保证数据准确一致。通过建立详尽的数据字典与元数据标准来统一定义与描述数据元素,降低了数据歧义与错误理解,增强了其可读性与可用性。与此同时,强化资料的安全防护机制以保障测量测绘资料在传递、储存以及使用等环节的安全与保密。利用先进加密技术及访问控制策略防止数据泄露及非法访问以保证数据资产安全。

3.3 制定适应环境变化的挑战策略,增强灵活应变能力

面对电力工程测量测绘过程中受环境因素干扰较大的情况,如何制定出适应环境变化和提高灵活应变能力的挑战策略具有十分重要的意义。一是需要深入地分析环境因素对于测量测绘工作所造成的特定影响,主要有地形地貌、气候条件以及电磁干扰等,并清楚地了解各个因素对于测量结果所可能造成的误差范围以及变化规律。在上述分析基础上,可有针对性地发展适应性较强的测量技术与手段,如使用自适应滤波算法以降低电磁干扰影响等,或者使用遥感技术实现大面积高精度地形地貌测量等。二是建立环境监测及预警系统,对被测现场温度、湿度、气压等环境变化及电磁场强度、频率变化进行实时监控。通过数据分析预测环境变化可能给测量结果带来的影响,并及时采取措施调整测量参数,优化测量方案,保证测量结果准确可靠。同时,加强测量团队环境适应性培训以提高技术人员环境因素辨识与应对能力。训练内容要包括测量设备性能受环境因素影响、测量误差修正方法和环境适应性测量技术应用,以保证技术人员能在复杂和多变的环境情况下灵活处理并准确地执行测量任务。

3.4 推动标准化与规范化建设进程,保障工作有序开展

针对目前缺乏标准化和规范化这一现状,迫切需要一个完整而统一的标准体系来指导整个测量和测绘过程。该标准体系主要涉及测量方法选择、测量设备校准和维修、数据处理和分析过程以及测量成果表达和储存等诸多方面,以保证所有工作都有规律可循和依据。为了促进标准化和规范化建设,要组织行业专家、学者和一线技术人员共同探讨和制定出科学、合理的测量测绘标准。这些标准要在借鉴国内外先进经验及技术发展趋势的基础上,根据我国电力工程实际状况,保证标准具有实用性与前瞻性。同时要加大标准宣传、普及力度,增强行业内对标准化、规范化工作的理解和重视,营造自觉执行标准的良好风尚。另外,还要建立标准化、规范化监督机制,对测量和测绘工作实行经常性监督和检查,以保证各方面标准的有效实施。对达不到标准要求的,要及时改正,并根据情节轻重进行相应惩罚,保持标准严肃性、权威性。

4 结束语

本文对电力工程测量中测绘领域所存在的一些主要问题进行综合分析,并且有针对性地提出优化措施。通过加强技术创新和应用实践、健全数据管理体系架构、制定适应环境变化挑战策略、推进标准化和规范化建设进程,能够有效地促进电力工程测量与测绘工作效率与质量的提高。这些举措的落实,不仅有利于促进电力工程整体建设水平的提高,而且能够为电力行业持续健康地发展提供强有力的技术保障。今后,在科技不断进步,产业不断发展的背景下,相信电力工程测量测绘领域也会迎来更宽广的前景。

参考文献:

- [1] 王志齐. 电力工程测绘技术在工程施工中的应用探究[J]. 葡萄酒, 2024(03):113-115.
- [2] 田哲旭. CORS 技术在电力线路工程测绘中的应用探讨[J]. 电子元器件与信息技术, 2024(03):67-69.
- [3] 陈新. 倾斜摄影测量技术在电力工程中的应用[J]. 建筑与预算, 2023(10):79-82.
- [4] 周浪, 杨春燕. 激光雷达测绘技术在工程测绘中的应用探讨[J]. 工程建设(维泽科技), 2023, 06(07):128-130.
- [5] 许荫斌. 电力工程测量测绘问题及优化策略[J]. 大众标准化, 2023(19):56-58.

建筑工程监理对施工安全管理的影响分析

王新侠

(广东建设工程监理有限公司淮南分公司, 安徽 淮南 232001)

摘要 为探究建筑工程监理对施工安全管理的影响, 本文从施工现场安全管理、施工人员安全意识、施工设备及材料使用、安全制度落实等方面展开分析发现, 监理人员素质与能力不足、安全管理体系不完善、现场安全检查不到位、双方沟通不畅等问题影响施工安全管理, 本文基于此提出了加强监理人员培训、完善制度、强化检查、优化沟通机制等提升策略, 旨在为提升建筑工程监理对施工安全管理的积极作用提供借鉴。

关键词 建筑工程监理; 施工安全管理; 安全事故

中图分类号: TU714

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.14.031

0 引言

施工安全管理作为建筑工程的关键环节, 关乎人员生命财产安全、企业声誉及行业可持续发展。然而, 施工过程中安全事故频发, 暴露出诸多安全管理问题。在此背景下, 建筑工程监理的重要性日益凸显。监理凭借专业监督职能, 期望能有效管控施工安全。但实际操作中, 监理在施工安全管理方面的作用发挥尚存在改进空间, 亟待深入分析其对施工安全管理的影响, 以提升建筑工程施工的安全性及稳定性。

1 建筑工程监理对施工安全管理的影响

1.1 监理对施工现场安全管理的直接影响

监理人员作为施工现场安全的直接监督者, 对保障施工安全起着关键作用。在日常巡查中, 他们严格依照相关安全规范, 仔细检查施工现场的各个角落。从施工场地的布局来看, 监理会确保物料堆放区域合理规划, 避免因物料乱堆乱放阻碍通道, 影响紧急疏散与救援。在高空作业方面, 监理会检查脚手架搭建是否稳固, 安全网是否严密张挂, 防止人员坠落风险。对于动火作业, 监理会严格审查动火审批手续, 监督现场防火措施是否落实到位, 杜绝因动火不当引发火灾。一旦发现诸如违规拆除防护设施、违规进行交叉作业等安全隐患, 监理人员会立即要求施工方暂停作业并进行整改, 以最直接的方式纠正不安全行为, 保障施工现场安全有序, 有效减少安全事故发生的可能性, 为施工人员营造安全的作业环境, 确保施工顺利推进。

1.2 监理对施工人员安全意识的影响

监理与施工人员接触频繁, 在施工安全管理中对

人员安全意识的提升有着潜移默化的作用。监理人员在现场监督时, 会不断向施工人员强调安全施工的重要性, 结合过往施工安全事故案例, 深入浅出地讲解违规操作可能带来的严重后果。例如: 通过展示因未系安全带导致高处坠落事故的视频, 让施工人员直观感受安全防护的必要性。在施工过程中, 若发现施工人员存在不规范行为, 监理人员会及时制止, 并进行现场教育, 告知正确的操作方法与安全规范。同时, 监理还会定期组织施工人员参与安全培训活动, 邀请安全专家进行授课, 系统地提升施工人员的安全知识水平。

1.3 监理对施工设备及材料安全使用的影响

施工设备和材料的安全使用直接关系到整个工程的质量和安 全, 监理在这一环节中起到了重要的监督作用。对于施工设备, 从设备进场验收起, 监理就要对设备进行严格的检查, 对设备的出厂合格证、检验报告等资料是否齐全, 外观有无破损, 保证设备达到安全使用的要求。在设备运行期间, 监理人员要对设备进行定期的维护保养, 并对维修记录进行检查, 督促操作人员严格按照规程操作。如塔式起重机等大型起重设备, 监理人员要对其安装、吊装和拆除程序进行检查, 并检查其工作状态下的限位装置是否灵敏可靠。在原材料方面, 监理严格控制原材料的质量, 从原材料的采购开始, 严格审核供应商的资质和材料的合格证书。

1.4 监理在施工安全制度落实中的影响

监理是施工安全制度得以有效落实的重要推动者。在工程开工前, 监理会依据相关法规与项目实际情况, 协助施工单位制定全面细致的施工安全制度。在施工

过程中,严格按照制度要求对施工现场进行监督检查,确保各项安全制度执行到位^[1]。例如:对照安全检查制度,定期对施工现场进行全面检查,查看安全防护设施是否按规定设置、施工人员是否正确佩戴安全防护用品等。对于安全隐患排查制度,监理会督促施工单位按时进行隐患排查,并要求如实上报排查结果。若发现施工单位未按制度执行,监理会及时下达整改通知,对违规行为进行严肃处理。通过定期组织安全制度培训与考核,强化施工人员对安全制度的理解与执行意识,使安全制度从纸面条文切实转化为施工现场的实际行动,保障施工安全管理工作规范化、制度化运行。

2 建筑工程监理影响施工安全管理的主要问题

2.1 监理人员素质与能力不足

在建筑工程领域,部分监理人员的专业素养与能力水平成为影响施工安全管理的关键短板。从专业培训层面来看,由于缺乏系统且针对性强的安全监理培训,致使他们对复杂施工工艺中潜藏的安全风险敏感度低。以深基坑支护工程为例,复杂的地质条件和施工工艺要求监理人员具备精准判断支护结构稳定性的能力,然而部分监理人员却无法识别因支护不当可能引发的坍塌风险。大型起重设备安装亦是如此,安装过程中的细微偏差可能在后续使用中引发严重事故,而这些监理人员却难以察觉。实践经验的匮乏,使得他们在面对突发安全状况时,显得手足无措,无法依据现场实际迅速做出正确判断与有效应对。

2.2 安全管理体系不完善

一些建筑工程在安全管理体系构建方面存在严重缺陷。安全管理制度不够全面细致,对于各施工环节的安全责任界定模糊不清,导致一旦安全事故发生,各部门之间极易相互推诿责任,使得问题无法得到及时有效的解决。安全管理流程同样混乱无序,从安全隐患的排查发现,到上报反馈,再到最后的整改落实,整个过程缺乏明确清晰的执行标准以及严格的时间节点要求。这种不确定性使得安全管理工作效率极为低下,安全隐患不能得到及时处理,长时间积累后可能引发严重事故^[2]。安全应急预案也存在诸多漏洞,未能针对火灾、坍塌、触电等不同类型的安全事故制定详细且具有可操作性的应对措施,并且缺乏定期的演练。这使得在实际遭遇事故时,相关人员无法迅速响应,应急预案难以发挥应有的作用,无法切实保障施工人员的生命安全以及工程财产的安全。

2.3 施工现场安全检查不到位

施工现场的安全检查工作常常未能达到应有的标准。检查频率过低,无法及时捕捉到施工过程中动态产生的安全隐患。例如:随着施工进度的推进,新搭建的脚手架可能因局部连接不牢固而产生安全风险,但由于检查不及时,这一隐患可能长时间未被发现。检查内容也存在片面性,往往过于侧重诸如明显的防护设施缺失等表面安全问题的排查,而忽视了电气线路老化、小型工具安全性能等容易被忽略的细节方面。检查人员的专业能力参差不齐,面对隐蔽工程,如地下管道铺设是否符合安全规范等问题,常常难以准确察觉其中的隐患。即便发现了安全问题,后续的整改跟踪工作也不及时,没有形成有效的闭环管理,导致安全隐患长期存在,严重威胁到施工安全以及工程的顺利推进,随时可能引发重大安全事故,造成不可挽回的损失。

2.4 监理与施工方的沟通协调不畅

监理与施工方在安全管理理念上存在显著差异,这成为影响施工安全管理的又一重要因素。施工方通常将工程进度视为首要目标,希望在最短时间内完成项目以获取经济效益;而监理则更侧重于安全保障,严格遵循相关安全规范进行监督管理。这种理念上的分歧,若缺乏有效的沟通协调,极易引发矛盾冲突^[3]。在信息传递方面,存在严重的不及时、不准确问题。监理发现的安全问题不能迅速传达给施工方,导致施工方未能及时采取整改措施;施工方对安全整改的反馈同样无法及时让监理知晓,使得监理无法有效跟进整改情况,延误了安全隐患的最佳整改时机。此外,双方在安全问题的处理方式上难以达成一致,缺乏协作机制,各自为政,使得安全管理工作无法形成合力,整体效果大打折扣,为工程施工过程埋下了诸多安全隐患,不利于项目的顺利开展与安全保障。

3 提升建筑工程监理对施工安全管理的积极作用

3.1 加强监理人员的安全培训与职业素养提升

为有效提升监理人员在施工安全管理中的效能,需着重强化安全培训与职业素养培育。首先,应组织系统且专业的安全监理培训课程,邀请行业内资深专家,针对深基坑支护、大型起重设备安装等高风险施工工艺,详细讲解其中潜在的安全风险及识别方法。培训内容不仅涵盖理论知识,还应增加大量实际案例分析,让监理人员在模拟场景中锻炼风险识别能力。同时,定期开展实践经验分享交流活动,鼓励经验丰

富的监理人员分享应对突发安全状况的技巧与方法,使年轻或经验不足的监理人员能从中学习,积累应对各类突发情况的经验^[4]。在职业素养方面,建立严格的考核机制,将日常检查工作的认真程度、对违规行为的处理态度等纳入考核范畴,对敷衍检查、漠视违规行为的监理人员给予严肃处罚,以此督促监理人员端正工作态度,增强责任感,切实履行好安全监督与指导职责,为施工现场安全提供坚实的保障。

3.2 完善施工安全管理制度与执行力度

构建全面且细致的施工安全管理制度是保障施工安全的基础。要清晰明确各施工环节的安全责任,从工程筹备阶段的场地规划,到施工过程中的物料吊运、设备操作,再到后期的竣工验收,将安全责任精确划分到具体部门与个人,避免出现安全问题时相互推诿的情况。制定清晰规范的安全管理流程,明确规定安全隐患排查的周期、上报的渠道与格式、整改落实的标准及时间限制。例如:要求每周进行一次全面的安全隐患排查,排查结果需在24小时内以统一格式上报至相关管理部门,对于一般安全隐患,整改期限不得超过3天,重大安全隐患需立即停工整改,整改完成后需经监理验收合格方可继续施工。同时,完善安全应急预案,针对火灾、坍塌、触电等不同类型的安全事故,制定详细且具有可操作性的应对措施,并定期组织全体施工人员进行实战演练,确保在事故发生时,各方能够迅速、有序地响应,切实保障施工人员的生命安全与工程财产安全。

3.3 强化施工现场安全检查与隐患排查

提升施工现场安全检查的有效性至关重要。首先,增加安全检查频率,根据施工进度与风险等级,合理安排检查时间,对于高风险施工区域,如深基坑作业区、高空作业区等,做到每日必查;对于一般施工区域,也需保证每周至少检查3次,确保及时发现动态产生的安全隐患^[5]。丰富检查内容,不仅关注明显的安全问题,如防护设施是否齐全、警示标识是否设置到位等,还要着重排查电气线路是否老化、小型工具是否存在安全性能缺陷等容易被忽视的细节问题。提高检查人员的专业能力,定期组织专业培训,邀请相关领域专家进行授课,使其掌握先进的检查技术与方法,能够精准发现隐蔽工程中的安全隐患,如地下管道铺设是否符合安全规范、墙体内部钢筋布置是否合规等。对于检查出的安全问题,建立详细的跟踪台账,明确整改责任人与整改期限,定期回访复查,确保隐患得

到彻底消除,保障施工安全与工程进度顺利推进。

3.4 优化监理与施工方的沟通机制

为改善监理与施工方在安全管理中的协作关系,需着力优化沟通机制。定期组织双方参与的安全管理协调会议,在会议上,监理方详细阐述安全管理的标准与要求,施工方则反馈施工过程中的实际困难与进度情况,通过充分交流,寻求安全与进度的平衡点,减少因理念差异产生的矛盾。搭建高效的信息沟通平台,利用信息化技术,实现安全问题的实时共享与反馈。监理发现安全问题后,可通过平台即时上传问题描述与相关照片,施工方接收信息后,迅速组织整改,并将整改情况及时反馈至平台,让监理能够实时跟进。在处理安全问题时,双方共同成立联合工作小组,针对具体问题,共同商讨解决方案,形成协作机制。例如:对于因施工工艺调整可能带来的安全风险,双方共同评估风险程度,制定相应的防范措施,使安全管理工作形成合力,提升施工安全管理的整体效果,为工程施工营造良好的安全环境。

4 结束语

建筑工程监理在施工安全管理中发挥着多方面重要影响,包括直接规范现场施工、提升人员安全意识、保障设备材料安全使用及推动安全制度落实。然而,当前仍存在监理人员素质不足、管理体系不完善等问题。未来,需通过加强人员培训、完善制度等策略,充分发挥监理作用,有效降低安全事故发生率,推动建筑工程行业朝着更安全、更规范的方向发展,为工程建设质量与人员安全提供坚实的保障,促进建筑行业的可持续发展。

参考文献:

- [1] 夏萌阳. 建筑工程监理如何确保施工安全的探究[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2024(16):57-59.
- [2] 王永东. 建筑工程监理如何确保施工安全的探究[J]. 建材发展导向, 2022, 20(24):47-49.
- [3] 周银娜. 建筑工程监理对施工现场安全的监督与管理构建[J]. 居舍, 2021(02):106-107, 109.
- [4] 林木法. 关于加强建筑工程监理体系建设对施工质量影响的探讨[J]. 建筑技术开发, 2022, 49(24):152-154.
- [5] 仇临辉. 建筑工程监理的安全管理[J]. 房地产世界, 2020(21):82-84.

建筑施工安全管理中的常见问题及对策研究

翟立超¹, 朱亚鹏¹, 田画秋²

(1. 河北太行宏业建设集团有限公司, 河北 石家庄 050051;

2. 河北春腾建筑工程有限公司, 河北 石家庄 050051)

摘要 在现代建筑施工中, 安全管理始终是工程项目顺利实施的关键因素。施工现场存在的各类安全隐患不仅威胁到施工人员的生命安全, 还影响到工程施工的正常进度和建设质量。尽管相关政策和手段不断完善, 建筑施工安全管理依然面临着许多挑战。本文深入分析了建筑施工安全管理中的常见问题, 并结合实际情况提出了针对性的优化对策, 以期为相关人员提供有益参考。

关键词 建筑施工; 安全管理; 隐患排查; 安全技术; 管理体系

中图分类号: TU714

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.14.032

0 引言

建筑施工安全管理是确保工程顺利进行的关键环节, 直接关系到施工人员的生命安全、工程质量以及项目的顺利推进。随着建筑行业的不断发展, 施工规模和施工环境愈加复杂, 安全管理面临着前所未有的挑战。近年来, 国家相关政策文件陆续出台, 强调加强建筑施工安全管理工作。如《建设工程安全生产管理条例》明确要求各类建筑施工企业必须健全安全管理体系, 加强施工现场的安全监督和隐患排查。此外, 《“十四五”规划纲要》也提出要提高建筑业安全生产水平, 推动建筑施工的智能化、科技化管理。这些政策的出台, 标志着建筑施工安全管理已经进入更加规范化、信息化的时代。为了适应这些政策要求, 建筑企业必须从管理体系、人员培训、安全技术等多个方面进行改革和提升, 确保施工安全管理得到有效落实。

1 建筑施工安全管理的重要性分析

建筑施工安全管理在建筑行业中的核心地位不可忽视。施工现场是一个复杂环境, 存在大量潜在危险因素, 包括高空作业、重型机械操作、易燃易爆物品使用等。安全管理的首要任务是保障施工人员的生命安全, 但它的作用远不止此。一个完善的安全管理体系不仅能够有效避免事故发生, 还能降低因事故带来的经济损失和企业声誉损害, 确保项目能够按照预定时间顺利推进。在施工过程中, 施工质量、工期及资源投入等方面都会受到安全管理效果的影响。因此, 安全管理工作对于建筑项目的整体控制具有至关重要的作用。随着建筑技术的日益发展和施工材料的更新换代, 施工环境愈加复杂, 新的施工方法和技术不断

涌现, 这为安全管理带来了前所未有的挑战。例如: 智能建筑、绿色建筑、装配式建筑等新型施工方式要求安全管理不仅仅局限于传统的现场安全监控, 更需要通过信息化、智能化手段进行综合管理。传统的安全管理模式已经无法适应现代建筑工程的需求, 必须结合最新的施工技术进行创新, 推动建筑安全管理体系向更加系统化、科学化的方向发展。在此背景下, 构建适应现代建筑业发展的安全管理体系, 既是行业发展的需求, 也是提升建筑工程管理水平的必要路径。有效的安全管理体系能够协调各项施工任务、技术手段与人员行为, 确保建筑施工的安全性和顺利进行。因此, 建筑施工安全管理的重要性不仅在于保护生命安全, 更在于保障工程项目的整体顺利推进。

2 建筑施工安全管理现状分析

2.1 施工现场安全监管不足, 隐患排查不力

尽管建筑行业在安全管理方面有所提高, 但施工现场的安全监管力度仍然存在不足。在一些中小型施工企业中, 安全管理的执行常常不到位, 特别是安全检查和监督工作缺乏全面性和持续性。由于缺少有效的监管机制, 安全管理工作常常仅停留在形式上, 无法做到全员参与和全覆盖^[1]。部分建筑行业管理人员未能充分认识到安全管理的必要性, 导致隐患排查工作执行不力, 潜在的安全风险未能及时发现和处理, 甚至对一些常见的安全隐患视而不见。尤其在繁忙的施工过程中, 管理人员的关注点往往集中在进度和成本控制上, 忽视了对安全问题的细致跟踪。此外, 许多项目缺乏足够的安全管理人员, 现有的管理人员岗位责任不清, 导致各类安全隐患得不到及时解决, 最终影响

了施工安全的整体管理水平。安全监管不到位使得一些高危操作、设备使用、危险源管理等环节未能得到有效的监控和控制,从而加大了施工事故的发生概率^[2]。

2.2 施工人员安全意识薄弱和操作不规范

建筑施工的安全问题往往与施工人员的安全意识和操作规范性密切相关。然而,许多施工人员的安全意识仍然较为薄弱,尤其是在面临紧张的工期和高强度的劳动压力时,施工人员对安全操作规程的重视程度大大下降,安全规章制度往往未能严格执行。部分施工人员对安全规范的了解并不充分,特别是一些年轻工人或临时工,缺乏系统的安全教育和培训,对安全操作的基本要求知之甚少^[3]。更有甚者,部分施工人员常常抱有侥幸心理,认为只要操作顺利就不会发生事故,这种心理使得他们在操作时放松警惕,导致不规范的操作行为时有发生。在高危作业中,操作不规范现象更为严重,施工人员往往不按规范进行操作,违章作业的现象屡见不鲜,这些不规范的操作给施工过程中的安全隐患埋下了风险。长期以来,施工现场的安全教育工作不足,使得施工人员对安全管理的重视不够,缺乏足够的安全培训和应急处理能力,最终导致大量安全隐患得不到及时整改和消除。

2.3 安全管理制度执行不到位,责任不清

尽管大部分建筑企业已建立了一定的安全管理制度,但在实际执行过程中往往存在一定的差距。部分项目的管理者对安全工作不够重视,安全制度的执行存在走形式的现象,实际工作中制度的落实往往不彻底,管理措施缺乏执行力。很多项目管理者对安全管理的责任心不足,尤其在工程进度压力下,安全管理常常被忽视,导致制定的安全制度形同虚设^[4]。在项目施工中,许多安全管理措施未能及时落实,现场安全管理人员对问题的响应迟缓,不能迅速有效地解决安全隐患。更为重要的是,安全管理体系的制定存在滞后性,未能及时根据施工环境和技术进展进行更新与完善。一些管理规定已经无法适应当前建筑行业中复杂多变的施工环境,导致工作中无法满足日益提高的安全标准。与此同时,部分施工企业安全管理部门的责任不明确,岗位职责划分不清,导致实际操作中安全管理的漏洞频繁出现,进一步加剧了安全管理工作的缺失。

3 建筑施工安全管理优化对策

3.1 全面强化安全意识,安全管理全员参与

建筑施工安全管理的首要任务是强化施工人员的安全意识,这直接影响到施工过程中的安全执行情况。

安全意识的缺乏是导致建筑施工事故的重要因素之一,因此,企业应当加强对施工人员的安全教育,确保每一位从业人员都能够明确理解并遵守安全操作规程。施工企业应实施定期的安全培训计划,不仅包括对新员工的入职培训,也应包括在岗人员的持续培训,特别是对临时工、外包工人的安全教育,确保他们掌握基本的安全操作技能和应急处置能力。在培训过程中,可以采用模拟演练的方式,提高员工在突发安全事故中的应急反应能力,强化其对安全管理的认识和行动执行力^[5]。

同时,企业还需建立全面的奖惩机制,通过对遵守安全规定的人员进行奖励,进一步激励员工在实际工作中严格执行安全操作规程。通过设立安全表现奖、优秀安全工人等奖项,激励员工自觉参与到安全管理中,形成全员安全管理的良好氛围。对违反安全规章的行为,应当加大惩罚力度,确保安全管理制度的威慑力,促使员工树立强烈的安全责任感。通过建立这样一种全员参与的安全管理文化,不仅能够提高施工人员的安全责任心,还能有效减少由于疏忽大意而导致的安全事故,确保施工过程中的每一位员工都始终坚持“安全第一”的原则。

3.2 系统完善安全制度,提升管理执行力度

建筑企业要想在施工过程中保持高效且安全的作业状态,必须建立和完善施工安全管理制度,并确保这些制度在实际工作中得到全面的执行。首先,施工企业应根据不同项目的实际特点,结合施工环境、工艺和技术要求,细化安全管理规定和操作手册,确保所有安全操作规程具备针对性和可操作性。不同项目、不同施工阶段的工作要求应有所区别,安全管理制度也需根据施工现场的具体情况进行动态调整,以确保每一项安全措施都切实可行并能充分应对不同的风险^[6]。

此外,建筑企业要定期对现有的安全管理制度进行审查与修订,确保其及时与国家法律法规、行业标准及技术规范保持一致。随着建筑技术的快速发展,新的施工方法和材料不断涌现,企业的安全管理制度需要不断更新和完善,以应对新的安全挑战。在此过程中,企业应注重与国家及地方的安全监管政策相结合,确保制度的合法性与有效性。为了提升管理制度的执行力,企业还应明确项目管理人员的安全职责,确保每个岗位都有人负责相关的安全管理工作。尤其是项目负责人和现场管理人员的安全管理职责需要被强化,他们不仅需要负责日常的安全检查,还要与施工人员保持密切沟通,及时传达并解释安全管理要求^[7]。

通过加强管理人员的安全责任感,确保他们在执行过程中不断监督并推动安全管理措施的落实,从而避免安全管理形同虚设、执行不到位的现象。

3.3 深度引入先进技术,显著提升安全水平

随着科技的进步,建筑施工行业也逐渐将先进的技术应用到安全管理中,尤其是物联网技术、智能监控系统、BIM 技术等新兴技术的使用,能够大幅度提高施工现场的安全管理水平。企业应积极引入这些现代化技术,提升安全管理的效率和精度^[8]。物联网技术通过传感器、监控设备等手段,可以实时监测施工现场的环境数据、机械设备运行状况以及施工人员的安全状态,确保安全隐患能够第一时间被发现并及时处理。例如:通过智能安全帽,施工人员的生理状态如体温、心率等数据可以实时传输到监控平台,确保施工人员在高温、高负荷等环境下的安全。

BIM 技术在建筑施工中的应用,不仅帮助项目团队优化施工设计、提高施工效率,还能够通过虚拟仿真对施工过程中的潜在安全风险进行模拟与评估。施工单位可以通过 BIM 技术预先分析施工方案、施工工艺的可行性,并模拟施工过程中可能出现的安全隐患,从而提前制定相应的安全对策,有效避免安全事故的发生。结合智能监控系统,BIM 技术还可以在施工现场进行动态监控,将施工过程中的安全信息实时反馈至管理平台,确保施工过程中每一环节都处于有效监控之下。引入这些先进安全技术不仅提升了施工现场的安全管理效率,还为施工企业提供了更多的预防安全事故的手段。通过技术手段的辅助,企业能够更快速地响应施工现场的安全问题,减少人工管理的疏漏,增强施工现场的安全保障,降低事故发生的概率^[9]。

3.4 常态开展安全检查,全面落实隐患整改

建筑施工中的安全检查与隐患排查是确保施工现场安全管理的重要组成部分。施工企业必须定期组织安全检查,并且注重对高风险作业环节的重点监控。施工现场的安全检查工作应该做到无死角、全覆盖,尤其在施工高峰期或在极端天气条件下,企业应加大安全检查频率,确保每一项潜在的安全隐患都能得到及时发现和处理^[10]。在高风险作业环节,如塔吊操作、深基坑作业等,安全管理人员应特别关注,确保安全措施得到充分执行,防止出现操作不当或设备故障等安全事故。

隐患排查工作应贯穿施工全过程,管理人员应时刻保持高度警觉,对施工现场的实时安全状况进行监控和评估。企业可以通过建立健全的安全隐患报告制

度,鼓励施工人员主动报告潜在的安全问题,通过基层员工对安全隐患的早期发现,有效防止安全事故的发生。对于每一项安全隐患,应分类处理,确保能够快速有效地进行整改和跟踪,避免问题的积累和扩大。此外,企业应不断优化隐患排查和整改机制,强化隐患整改的责任追溯,确保整改工作不打折扣,真正实现隐患的闭环管理。通过系统化的隐患排查和整改机制,施工企业能够不断积累经验,提升现场安全管理的精细化水平,从而大幅降低安全事故的发生率。

4 结束语

建筑施工安全管理是确保施工现场安全生产、保护从业人员生命健康的重要环节。尽管目前建筑行业在安全管理方面取得了一定的进展,但施工现场依然存在较多隐患,安全管理仍面临不少挑战。通过强化施工人员的安全意识、完善安全管理制度、引入先进的安全管理技术以及强化日常安全检查等多方面的措施,可以有效提升建筑施工安全管理水平。随着建筑技术的不断发展,建筑施工安全管理将更加智能化和精准化,未来的施工现场将更加安全、高效。

参考文献:

- [1] 刘军. 建筑工程施工安全管理中 BIM 技术的应用[J]. 门窗, 2023(09):76-78.
- [2] 罗翔祥, 李峰, 乔成芳. 建筑改造施工安全管理中混凝土材料的选择[J]. 工业建筑, 2023, 53(01):10008.
- [3] 许红伟. 建筑工程中施工安全管理问题及对策解析[J]. 居业, 2024(05):159-161.
- [4] 王海亮. BIM 技术在建筑施工安全管理中的运用对策[J]. 建材与装饰, 2024, 20(08):97-99.
- [5] 许泽鹏. 建筑施工安全管理在工程项目管理中的应用[J]. 前卫, 2023(05):246-248.
- [6] 陈福旺. 建筑施工现场安全管理策略与控制方法探析[J]. 科海故事博览, 2024(36):82-84.
- [7] 孙权麟. 建筑工程施工现场安全监督管理中的常见问题与解决措施研究[J]. 中国厨卫, 2024, 23(04):178-180.
- [8] 张融. 建筑施工安全管理工作中存在的问题及对策[J]. 门窗, 2024(05):178-180.
- [9] 梁伟. 建筑施工安全管理存在的问题及对策[J]. 砖瓦, 2024(08):125-127.
- [10] 车高荣, 李卫宁. 当前建筑施工安全管理工作中存在的问题及对策研究[J]. 中国建筑装饰装修, 2024(10):118-120.

公路桥梁养护精细化管理研究

张海燕¹, 丁 华², 李金光²

(1. 山亭区公路事业发展中心, 山东 枣庄 277200;

2. 滕州市公路事业发展中心, 山东 枣庄 277599)

摘 要 随着公路桥梁行业发展速度不断加快, 仅使用传统养护模式与技术手段已无法满足延长公路桥梁结构使用寿命的要求, 需融入精细化管理理念, 加强养护施工全过程管控力度。本文阐述了公路桥梁养护工作开展特征, 分析了公路桥梁养护技术手段, 并结合影响公路桥梁精细化养护水平的各类因素制定了专项管控措施, 以期为公路桥梁行业从业人员提供有益的参考, 进而提高公路桥梁养护管理水平。

关键词 精细化管理; 公路桥梁; 养护管理

中图分类号: U445

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.14.033

0 引言

现阶段公路桥梁养护工程施工技术得到重大突破, 但在施工环节依然存在较多问题有待解决。由于没有在公路桥梁养护工程施工期间落实相关管理职责, 各项检查流于表面, 致使隐患问题无法得到及时解决、进一步衍生为安全事故。因此, 在现阶段养护管理工作开展环节, 管理部门需结合精细化管理理念, 分析养护管理存在问题, 制定专项可行管理制度, 确保养护管理工作有序实施。

1 公路桥梁养护工程施工特征

1.1 施工形式多

公路桥梁养护工程施工形式分为改建、维修等类型。改建工程就是对公路桥梁基础上改建或增设的工程。维护工程就是修复原有公路桥梁损坏部位, 多应用在老旧公路桥梁维护环节。

1.2 施工环境复杂

公路桥梁养护工程多处于繁忙交通干道, 环境复杂, 在施工环节需做好交通疏导、环境保护、周边居民安全管理等工作, 结合现场实际情况制定切实可行的交通疏导方案, 确保施工期间存在的问题能够被及时解决。

1.3 施工专业性强

公路桥梁养护工程包括土木工程、结构工程、交通工程等多个领域, 需相关施工单位具备一定专业技术及丰富施工经验, 在施工环节需严格制定切实可行的施工技术方案, 保障工程施工质量及安全性。

1.4 施工风险较多

公路桥梁养护工程也是一项高风险工作, 在施工环节存在较多安全隐患, 包括高空施工作业、机械操作、

施工现场安全管理等。为从根本上提升工程施工水平, 需做好安全管理工作, 建立健全安全生产职责与安全体系, 增强施工人员安全意识。

2 公路桥梁路面养护技术

2.1 抗裂贴技术

在路面存在裂缝或者防水抗裂性能较差的情况下, 应使用抗裂贴技术手段。抗裂贴是一种抗皱抗载聚丙烯材料, 在表面刷涂聚合物防水涂层制作成防水隔膜, 使用密封胶或者沥青材料填充裂缝与坑槽。在路面表面积小于 21 ℃ 的情况下, 可在路面铺贴抗裂贴, 使用滚筒反复碾压。在抗裂贴表面撒布细碎石以及粘油层, 在表面铺设不小于 4 厘米厚的热沥青混合料作为罩面。抗裂技术具有加筋、隔水防渗、消能缓冲等各项功能, 进一步提升路面局部抗拉强度。

2.2 冷再生技术

冷再生技术多用于改造路面, 首先对路面结构进行铣刨及破碎处理, 而后加入再生材料拌合、摊铺及碾压处理。在原位使用旧路材料制作成力学性能良好的结构层, 具有成本低廉、能够有效节省原材料的优点。在路面再生施工过程中, 施工工作包括路面铣刨、再生拌合、摊铺、碾压、接缝处理及养护等。在路面铣刨过程中, 施工人员应整幅铣刨路面, 清理表面碎块、杂草, 在表面撒布一层透层油。在材料拌和再生过程中, 对旧路面进行翻松、冷破碎处理, 在破碎面中依次掺入集料、水泥、矿粉及乳化沥青等材料。在拌和混合料过程中应观察沥青是否处于离析或花白料等情况。在现场温度低于 5 ℃ 的情况下进行路面摊铺。摊铺过程中检查虚铺厚度, 厚度不达标的情况下进行及时补铺, 根据破损情况及时挖除破损混合料。在路面处初压、

终压工作完成后使用平地机对摊铺层进行整平处理。在处理路面纵向裂缝过程中,结合道路宽度选择适宜的施工方式,在路面超过 7 m 的情况下使用半幅施工,不超过 7 m 的情况下使用全幅施工。

2.3 柔性基层材料修复

柔性基层材料修复技术能够有效避免路面基层结构受温度变化产生的裂缝,避免路面结构底层产生疲劳裂缝。在路面损害轻的情况下,可对结构上层或表层进行修复处理。柔性基层材料多使用沥青贯入式碎石与沥青稳定碎石,换填成本较高。由于半刚性材料与柔性基层材料的刚度差异较大,柔性基层的承载力不一致,修复完成后也会出现沉降不均匀情况。

2.4 聚合物类材料修复技术

聚合物类修复材料包括聚合物、树脂类等,可配合采用雷达探测、路面钻芯取样等方式,确定基层待修复位置的钻孔、注浆,使聚合物填充到半刚性空隙中发生化学反应。聚合物与基层空隙固结在一起,做好路面修复工作^[1]。聚合物类材料修复技术不必换填,注浆后 20 分钟就可增加路面强度,实际修复的耗时较短。路面注浆孔径一般小于 6 cm,对路面损失较小。虽然聚合物类材料修复技术的优势明显,但仍需要精准把控注浆量、注浆压力、孔洞深度等。聚合物修复材料的成本也较高,多适用于路面状况较好的情况下。

2.5 雾封层施工技术

雾封层施工技术主要是在路面裂缝部位喷洒雾封层材料,使材料能够流入路面缝隙中,实现裂缝养护目标。雾封材料主要为水及沥青混合而成,具有流动性与不可压缩性特征。如沥青混凝土路面出现缝隙,地表水会渗入空隙内并导致基础结构受损。雾封层施工技术可及时修补路面上微小的病害问题,控制道路后续维护费用^[2]。

2.6 微表处理技术

微表处理技术也是公路路面预防性养护工作的重要技术手段,具有良好的预防性效果,可避免病害问题不断恶化。微表处技术也需要将混合材料使用一次平铺或者多次平铺的方式处理路面,切实保障平铺操作的均匀性与可靠性,避免路面结构出现不平整问题。当下微表处理技术在我国尚未实现普及,应积极开展推广工作,充分发挥出微表处理技术在预防性养护中的实施效果。

3 影响公路桥梁精细化养护水平的因素

3.1 人员因素

人员因素分为公路桥梁过往车辆驾驶人员与养护人员两种。其中,驾驶人员因素包括长期疲劳驾驶、

违章超车、酒后开车、超载等。养护人员因素就是因部分人员没有经过专业培训,安全意识相对不足,作业过程中经常会出现没有穿戴安全设施或者随意穿梭高速公路桥梁的现象^[3]。

3.2 车辆因素

汽车爆胎是导致高速公路桥梁安全事故出现的重要因素,在车辆无法行驶的情况下,也容易在降雨天气出现滑移等事故。

3.3 道路因素

当前高速公路桥梁路面多为双向四车道,路基宽度为 26 m,路肩宽度 2.5 m。在右侧硬路肩较狭窄的情况下,养护车辆作业时会占据一处道路,进一步提升了养护工作难度。在高速公路桥梁周边设置中央绿化带的情况下,绿化带除草、修剪、施肥等工作均需要横穿公路桥梁,导致养护工作的风险进一步提升。

3.4 环境因素

在降雪、降雨等较为恶劣的情况下,公路桥梁养护面临的安全隐患会增多。恶劣天气会使驾驶人员能见度下降,不容易发现横穿道路的养护人员。在高温环境下的养护工作更考验人员身体素质^[4]。

4 公路桥梁养护精细化管理要点

4.1 培养高素质施工人员

在公路桥梁养护工程安全管理过程中还应建立具备较高安全意识的施工团队,增强管理有序性。定期开展施工人员培训活动,对安全事故案例展开分析,明确导致安全问题出现的各类因素,使施工人员能够正确认识到精细化管理的重要性,严格遵循操作规范,保障安全管理工作顺利开展。注重在施工管理过程中落实以人为本原则,增强养护管理期间的合规性与合法性。另外,还可通过开展学习会议、组织学习班等方式,充分学习相关法律法规的内容。在现场安全问题多发区域张贴安全警示标语,严格执行安全第一原则,尽量降低安全隐患问题发生概率。

4.2 制定现场管理机制

建立现场规范管理责任机制,合理分配负责人员的管理职责。做好施工技术交底工作,进一步增强人员规范化、精细化施工管理意识,最大限度地消除事故现场的不安全行为与不安全状态,推动管理工作有效开展。定期组织培训与学习工作,形成上下联通的管理体系,确保工程质量管理期间的各类职责能够切实落实到施工环节。将事后管理工作与旁站管理工作结合在一起,在出现质量问题的情况下制定必要措施处理,使事后管理工作能够被有效落实,促进工程高效实施。针对公路桥梁养护维修要求,尽量减少

作业点或断面,施工时作业点路面病害应同时施工,确保各施工工序相互衔接。施工车辆进出施工区域应按照安全标准进行技术交底,机械设备启动前需鸣号,确定左右没人的情况下方可行驶。建立管理体系不仅需依靠强有力的法律法规约束管理市场,管理单位也应结合工程具体建设要求完善管理管控对策。明确管理岗位职责,将具体任务落实到个人。管理人员应严以律己,对公路桥梁养护工程全生命周期展开严格管控,及时发现并处理工程实施环节存在的各类问题,确保公路桥梁养护工程合规开展。采用科学管理手段,定期评定管理工作开展情况,给予表现突出者适当的精神及物质奖励,在会议中分享个人工作经验及心得,使其他员工能够对照优秀员工约束自身行为^[5]。在公路桥梁养护工程安全管理环节开展管理工作,可配合三控制、两管理模式,建立健全安全定量定性标准,确保管理工作形式及内容能够纳入规范化控制体系。因公路桥梁养护工程施工体系较为复杂,安全管理难度较大,在管理工作实施过程中还需要业主方、施工方及管理单位做好沟通交流工作,严格遵照施工规范及管理合同,规避工程施工期间的隐患问题,提升公路桥梁养护工程全过程管理水平。

4.3 做好安全隐患整改工作

施工作业风险性高,会受许多不可预见因素影响,安全管理人员应找出施工现场可能存在的安全风险问题,落实专项安全管控对策,采用合理方式增强施工人员及管理单位的安全责任意识,避免因人员失误导致事故发生。结合施工特征及要求设立安全管理目标,确保安全管理工作有序开展。明确导致工程安全隐患问题出现的各类因素,在确保安全问题得到充分解决后才可开展后续施工。在工程建设环节应始终将安全风险管理工作作为重要执行标准,注意在施工环节收集信息数据,不断优化施工技术方案。找出隐患问题多发位置,完善施工安全管理体系,进一步提升安全管理效果。做好工程关键施工阶段的试验检测工作,在施工中建立试验室,用于检测施工现场环境特征,评估施工材料及设备质量,尽力将施工安全隐患控制在源头。由于公路桥梁养护施工专业性强,在安全管理工作开展环节还需建立专家技术小组,排查施工期间存在的各类安全隐患,结合隐患发生部位及影响范围设立安全风险等级,增强安全管理环节的有序性。要求在施工安全风险过程中还应严格实施风险识别、风险评估与风险管理工作,确立安全风险管理工作流程,避免在安全管理过程中出现随意划分安全职责等问题。依据人员不安全行为及设备不安全状态,定期组织风险源动态评估活动,由项目经理负责编制并发布月度安全风险预控表。

4.4 推广新设备、新技术、新方法

积极开展机械化养护工作,配备先进养护设施,进一步提高养护工作开展效率。转变以人工为主的养护形态,运用机械设备降低养护病害发生概率。使用新型综合养护车、保温车、滑移装载机、清扫器等。使用安全警示新设备,如带有预警的预警机器人、太阳能回转灯等,进一步提高警示效果。

4.5 制定精细化管理体系

为完善公路桥梁精细化管理体系,应选择适宜的管理结构与管理组成方式,实施统一领导与分级管理相配合的管理模式。在公路桥梁养护环节实施链条式责任制,使各部门都能够在参与养护管理工作时具有全局上的良性互动。在精细化监督管理合作管理过程中遵循统一协调原则,对养护工作的目标与职责进行细化、量化处理,形成一个更好地服务于公路桥梁隐患工作的管理格局。

5 结束语

精细化管理是一种以“精、准、细、严”为特征的现代管理理念,强调施工单位对施工细节的严格把控。在公路桥梁养护管理中应用精细化管理,不但能有效提升养护效率,还能降低企业的生产运营成本,并保障公路桥梁的安全运行。施工单位应在公路桥梁养护环节不断提升精细化管理重要性认知度,开展合规化管理工作,合理划分并履行养护管理职责,落实风险规避防范对策,提升工程施工单位核心竞争力,并结合影响公路桥梁养护精细化管理水平的各类因素,优化施工管理对策。

参考文献:

- [1] 刘新杰,马洪福,潘大民,等.“津心养护”绿色引领:天津市国道205线绿色养护示范工程在行动[J].中国公路,2024(22):70-73.
- [2] 高涵,张吉松,赵丽华.面向BIM模型自动更新的桥梁病害识别与管理[A].第十届全国BIM学术会议论文集[C].中国图学会建筑信息模型(BIM)专业委员会、中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司,中国建筑出版传媒有限公司,2024.
- [3] 李西全,蒋为勤.道路桥梁隧道项目施工重难点及养护技术措施[J].汽车周刊,2024(12):59-61.
- [4] 季柯城,纪子豪,杜荣立,等.桥梁技术状况预测及养护决策研究进展[J].交通科技与管理,2024,05(19):167-169,182.
- [5] 顾羽,夏红超,刘浩源,等.公路桥梁工程施工中伸缩缝施工技术[A]2024精益数字化创新大会平行专场会议:冶金工业专场会议论文集(中册)[C].冶金工业教育资源开发中心,冶金工业教育资源开发中心,2024.

深基坑支护施工技术在建筑工程管理中的应用原则与技术分析

潘春宇, 王奎鹏

(青岛古建建设集团有限公司, 山东 青岛 266000)

摘要 随着城市化进程不断加快, 地下空间开发已成为缓解土地资源压力的关键路径。深支护技术作为地下工程实施的基础支撑, 其应用水准直接关乎工程整体的安全稳定状况, 然而随着基坑深度持续加大, 支护体系面临着日益复杂的地质条件以及施工环境。研究和探讨深基坑支护施工技术在工程管理中的应用原则与技术解析, 对提升工程质量以及保障施工安全具有重要意义。本文从多个方面对深基坑支护施工技术展开了详细的分析, 以期对相关领域的从业者提供有价值的参考。

关键词 深基坑支护施工技术; 建筑工程管理; 土钉墙支护技术; 钢板桩支护技术; 混凝土支撑支护技术

中图分类号: TU71

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.14.034

0 引言

深基坑支护施工技术在建筑工程管理中起着极为关键的作用, 随着地下空间开发不断推进, 深基坑支护技术面临的挑战日益增多。本文在阐述深基坑支护施工技术的重要性的基础上, 论述了深基坑支护施工技术所面临的机遇与挑战, 阐释了深基坑支护施工技术在工程管理中的应用原则, 针对土钉墙支护、桩支护、混凝土支护以及地下连续墙支护等技术展开了详尽的技术分析。

1 深基坑支护施工技术的重要性

在当今城市规模持续不断扩张且土地资源变得日益紧张的背景下, 城市立体化发展的进程正日益加快, 地下空间的开发已成为缓解土地资源压力以及拓展城市功能的关键途径。从地下商场、停车场一直到地铁线路等基础设施的建设, 地下空间的高效利用对于城市的可持续发展都有着十分重大的意义^[1]。而深基坑支护技术作为地下工程可顺利实施的基础保障, 它的应用水平直接影响着工程的整体成败情况, 随着建筑高度持续不断地攀升, 基坑深度也在持续突破技术的极限, 支护体系早已不再只是单纯的安全防护措施了, 而是逐渐演变成决定工程可行性的核心技术要素, 它的价值体现在多个关键层面。一方面, 借助构建严密的三维防护网络, 可有效地抵御土体失稳的风险, 防止基坑周边土体出现坍塌现象, 保障施工安全。另一方面, 借助先进的动态变形调控技术, 能为上部结构施工提供非常精准的作业基准。经过科学设计的支护结构, 可有效抑制基坑回弹变形达到 60% 以上, 在很

大程度上规避因基底不均匀沉降导致的建筑倾斜或者开裂等严重问题, 为超高层建筑实现长达百年的使用寿命奠定坚实的基础, 有力推动城市地下空间开发朝着更深更优的方向发展。

2 当前深基坑支护施工技术面临的机遇与挑战

近年来, 深基坑支护施工技术正处于转型升级的关键阶段, 在新型建筑材料的突破性进展下, 创新材料的迭代升级较大地提升了工程品质。例如: 新型合金钢与纤维提高了混凝土的复合应用, 赋能支护体系有更强的承载能力, 更借助材料协同效应提高了围护结构的整体刚度, 智能化建造技术的深度融合催生了工程管理新模式, 基于 BIM 平台的协同作业系统实现了从地质建模到应力分析的全流程数字化管理, 有效规避了传统施工中易发的结构冲突问题。在新型城镇化建设背景下, 国家层面的政策倾斜与资金扶持加速了轨道交通综合体等地下工程的开发进度, 这为深基坑技术的创新应用开辟了多维实践空间^[2]。

复杂多变的地层结构成为首要制约因素, 区域性地质特征差异导致的软硬交互地层分布, 迫使工程团队要采用动态化设计策略, 针对不同区段制定差异化的支护方案。在都市核心区更新项目中, 局促的施工作业面与毗邻有构筑物的特殊工况, 对基坑位移监测提出毫米级精度要求, 任何微小的结构变形都可能触发连锁安全隐患。从业人员专业素养的梯度差异直接影响着技术创新转化效果, 部分施工班组对智能监测设备的操作盲区, 已成为制约工艺革新的关键瓶颈。

3 深基坑支护施工技术在建筑工程管理中的应用原则

3.1 安全性原则

深基坑支护工程的安全管控始终是施工技术体系的核心环节,此类地下工程因涉及大规模土方开挖与复杂地层相互作用,存在较大的地质风险与结构安全隐患。在支护方案设计阶段,需综合采用岩土工程勘察数据与数值模拟技术,重点研究不同土层参数对支护体系的影响机制,特别针对软土、流沙等不良地质条件下的水土压力分布特征^[3]。实践证明,采用复合支护技术时,如将微型钢管桩与预应力锚索协同工作,能提升支护结构整体刚度,还可依靠应力补偿机制有效控制基坑变形。施工过程实施全周期风险管控,借助智能传感网络构建三维监测体系,对支护结构位移量、周边建筑物倾斜度及地下管线应变值进行多参数融合分析。当监测数据超过预设阈值时,系统自动触发分级预警,结合有限元反分析技术动态优化施工方案,例如借助分段逆作法调整开挖时序,或采用注浆加固工艺改善坑周土体力学性能,构建起“预防—监测—处置”的立体化安全保障机制。

3.2 经济性原则

成本控制原则强调在保证深基坑支护工程安全性与结构可靠性的基础上实现成本效益最优化。在技术方案比选阶段,需结合场地特征与工程需求进行多维度评估,综合分析各类支护体系的经济性指标^[4]。以浅层基坑工程为例,在周边空间充裕且地质结构稳定的工况下,采用土钉墙支护体系能较大地降低直接施工成本,其工艺简便性与材料经济性优势明显;反之,对于深层复杂基坑或邻近敏感构筑物的项目,虽地下连续墙初期投入较高,但其卓越的变形控制能力与结构耐久性优势,可有效规避后期维护成本,从全寿命周期视角反而有经济合理性。施工实施阶段应建立动态成本管控机制,借助BIM技术优化资源配置方案,精准控制钢材混凝土等主材损耗率,实施设备调度智能管理系统减少机械闲置率,同时采用关键路径法科学编排施工时序,能规避盲目赶工引发的质量风险,消除工序衔接不畅造成的工时浪费,实现工程技术价值与经济价值的协同提升。

3.3 环境保护原则

在生态文明建设持续推进的背景下,深基坑工程要将环境友好理念融入施工全流程管理,施工活动衍生的环境问题有多维影响特征,土方作业产生的悬浮颗粒物会形成区域性空气污染,采用智能喷淋装置与移动式雾炮机组合作业可提升抑尘效率,同时对开挖

土体实施绿网全覆盖措施。针对工程废液处置难题,应构建分级处理体系,运用物理沉淀和固液分离工艺对泥浆进行资源化处理,经检测合格后方可排放,建立中水回用系统对施工废水进行三级净化,最大限度地提高水资源重复利用率^[5]。在生态维护层面,工程施工可能引发地表植被退化、地下水文系统扰动等问题,这要求施工单位在前期制定生态影响专项评估报告,在项目规划阶段预留生态补偿经费,施工过程中采用微型桩支护等绿色工法减少场地扰动,竣工后凭借植被补植和土壤改良技术实现场地生态功能的渐进式修复,最终达成工程建设与区域生态系统的协调发展。

4 深基坑支护施工技术分析

4.1 土钉墙支护技术

土钉墙支护技术依靠在原始土层中植入加固体并结合表层防护结构,形成协同作用的复合支护体系,该技术核心在于利用土钉与周围介质的摩擦阻力和黏结效应提升土体整体性,有效抑制边坡滑移风险,施工实施阶段需遵循分层逆向作业原则,首层开挖深度控制在1.5~2 m范围内,与预设土钉垂直间距保持对应关系。工作面暴露后需立即进行坡面修整,保证后续钻孔作业的施工精度,钻孔设备按设计参数完成成孔后,及时置入带注浆管的加强筋体,凭借压力注浆形成键式锚固体系,防护结构层施工环节采用直径6~8 mm的网状配筋系统,网格尺寸控制在15~30 cm区间,凭借焊接方式与土钉端部可靠连接。终道工序采用湿喷工艺形成8~12 cm厚混凝土面层,标号一般维持C20以上以契合结构强度要求,这种支护方式在中等硬度土层且地下水位较深的12 m以内基坑中有较大优势,特别适合机械作业面受限的城市场所,以某旧城改造项目中的狭小基坑工程为例,该技术成功克服了大型设备进场险阻的问题,借助模块化施工较大地缩短了工期并控制扬尘污染。然而需要指出的是,该工法对土体自稳时间有严格要求,在含水率高的软塑性地层中易出现支护失效现象。

4.2 钢板桩支护技术

钢板桩支护体系主要依靠热轧钢板桩或冷弯薄壁钢板桩的植入形成连续挡土结构,其施工工艺包含锤击贯入、静压嵌入或振动沉桩等工法,该技术凭借其优异的抗弯刚度与止水密封性,可有效控制土体位移并阻隔地下渗流,施工前需完成场地平整工作并精准放样定位,不同工法有差异化施工特点:在采用锤击工艺时,施工人员需根据地质条件匹配柴油锤或液压锤等设备,凭借动能传递实现桩体贯入,静压工法则依托专用设备的反力系统实现无噪沉桩,特别适用于

环境敏感区域,振动沉桩技术则利用共振原理降低桩土摩擦系数,较大地提升了施工效率。此类支护体系在临时性基坑工程中有较大优势,其模块化结构可实现快速施工,更有材料循环利用的环保特性。以桥梁承台基坑工程为例,多选用截面呈 U 型或 Z 型的钢板桩产品,经专业机械连续施打形成密闭支护体系,在保证开挖面稳定的同时构建可靠防渗帷幕,工程实践表明,该工法在完成支护使命后可完整回收构件,实现施工成本的有效控制。但需指出的是,在密实砂层或岩质地层中,该技术存在沉桩险阻的技术瓶颈,且振动工法可能引发周边土体扰动等次生问题,需结合工程实际进行工法比选。

4.3 混凝土支撑支护技术

混凝土支护体系采用现浇钢筋混凝土支撑梁或桁架结构协同围护体系形成整体受力系统,有效维持工程基坑的稳定性。相较于钢结构支撑,混凝土材质有较高的抗压强度和抗变形能力,特别适用于承受较大地层侧向压力的工程场景。在施工准备阶段,需结合工程基坑的形态特征和荷载分布情况,运用有限元分析软件进行三维建模计算,优化支撑构件的布置方案及配筋参数。现场实施时遵循“分层开挖、及时支护”原则,当机械开挖至设计标高以上 20~30 cm 时转为人工精细修整基底平面,避免超挖扰动原状土层,钢筋工程须按设计间距设置定位卡具,重点加强节点区域的箍筋加密处理,同步采用定制钢模系统进行支模作业并实施多点位移监测,混凝土浇筑作业需分层进行并配合插入式振捣设备,以保证材料密实度达标,后续凭借智能喷淋系统维持 14 天以上的恒湿养护周期。该工法凭借其可靠的变形控制能力,在邻近敏感建筑物的深大基坑工程中得到验证,如某轨道交通枢纽站建设项目中凭借优化支撑间距和截面高度,成功将围护结构侧移量控制在 3 mm 以内,但需注意该体系存在后期破拆工序复杂的问题,一般需采用绳锯切割与模块化吊运相结合的分段拆除工艺,产生较高废弃混凝土处理成本,作业过程中还可能产生粉尘污染和噪声干扰。

4.4 地下连续墙支护技术

地下连续墙支护技术是借助专用成槽机械,在泥浆护壁技术支撑下构建地下结构物的创新工艺,该技术凭借分段开挖形成深长沟槽,经钢筋笼精准定位与水下混凝土连续浇筑,最终形成整体式钢筋混凝土挡土隔水体系,其独特优势在于兼具结构刚度大、整体性强、防水性能优异等特性,成为复杂地质条件下深基础工程的优选方案。施工流程需要建造导墙结构,这种钢筋混凝土构筑物承担导向定位功能,是维持槽

壁稳定的关键保障,紧接着开展泥浆制备工作,凭借科学配比膨润土基浆液并动态调控黏度、比重等参数,形成契合槽壁支护要求的液态支撑体系,成槽阶段依据地层特性选用抓斗式或铣槽机等设备分层掘进。在完成槽段开挖后实施底部沉渣清理与泥浆净化处理,保证结构接合面质量。预制的整体式钢筋骨架经重型吊装设备精确就位后,采用多导管同步浇筑工艺实现混凝土连续填充,借助精确控制浇筑速度与导管埋深,保证墙身材料均匀密实,这项技术特别适用于软土发育区及周边环境敏感的超深基坑工程。例如:某城市核心区超高层建筑深基坑施工中,该工法有效平衡了土体侧向压力,实现了地下水零渗透与周边构筑物毫米级变形控制。施工过程中需重点把控泥浆循环系统运作效能与测量定位精度,尽管初期投入相对较高,但其在保障工程长效稳定性和环境友好性方面的综合效益,使其在重大基础设施领域占据关键地位^[6]。

5 结束语

通过深入剖析深基坑支护施工技术于建筑工程管理中的应用原则以及技术分析,可深切认识到该技术具有的关键性与复杂性。在未来的各类工程当中,深基坑支护技术将持续发挥不可替代的作用,要不断强化技术研发以及创新,提升支护体系的安全性能,重视环境保护以及成本控制,实现技术的可持续发展。本文所取得的研究成果为深基坑支护施工技术的科学应用提供了理论支撑以及实践指引,对推动工程领域的进步与发展具有积极意义。技术的优化应用是一个不断创新的过程,在发展过程中需要结合实际发展情况制定具有针对性的技术应用策略,从而加快建筑领域的发展。

参考文献:

- [1] 郭文丽.深基坑支护施工技术在建筑工程管理中的应用原则与技术分析[J].城市建设理论研究(电子版),2025(07):107-109.
- [2] 赵猛.深基坑支护施工技术在建筑工程施工中运用分析[J].陶瓷,2025(02):210-212.
- [3] 张健儒.深基坑支护施工技术在高层建筑工程中的应用分析[J].中国建筑装饰装修,2025(01):134-136.
- [4] 赖旭俊.深基坑支护施工技术在建筑工程管理中的应用原则与技术分析[J].中华建设,2024(08):51-53.
- [5] 王磊.深基坑支护施工技术在建筑工程管理中的应用原则与技术分析[J].居舍,2022(02):76-78.
- [6] 孙永华,韩刚.深基坑支护施工技术在建筑工程管理中的应用原则与技术分析[J].现代装饰,2024,590(21):70-72.

给排水工程生物处理技术应用研究

高 颖

(沈阳东北工程建设发展有限公司, 辽宁 沈阳 110000)

摘 要 本研究重点关注新型生物处理工艺及工艺强化技术在提升处理效率和拓展应用范围方面的作用, 概述了膜生物反应器 (MBR)、厌氧氨氧化 (ANAMMOX)、同步硝化反硝化 (SND) 等新型生物处理工艺的原理、优势及应用现状, 分析了其在处理不同类型污水方面的优缺点, 深入探讨了生物强化技术在难降解有机物处理中的应用, 包括高效降解菌的接种、基因工程技术及微生物群落调控等策略, 还阐述了生物电化学系统 (BES) 和高级氧化技术与生物处理耦合的优势及应用前景, 分析了这些强化技术在提升生物处理效率、降低运行成本和减少环境影响方面的积极作用, 并展望了给排水工程生物处理技术未来的发展方向, 强调了技术创新、工艺优化和智能化控制在推动该领域发展中的重要性, 旨在为构建可持续水资源管理体系提供理论参考。

关键词 给排水工程; 生物处理技术; 工艺强化技术

中图分类号: TU991; X172

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.14.035

0 引言

传统的生物处理技术在处理高浓度、复杂成分的污水时, 往往效率低下且难以满足日益严格的排放标准。因此, 探究给排水工程生物处理技术的应用路径, 对于保障水资源安全、维护生态环境具有重要意义。近年来, 随着科技的进步, 一系列新型生物处理工艺和工艺强化技术不断涌现, 为解决水污染问题提供了新的途径。这些技术不仅提高了污水处理效率, 降低了运行成本, 还增强了处理工艺的稳定性 and 适应性。本文探讨给排水工程中几种重要的生物处理技术, 包括新型生物处理工艺 (如 MBR、ANAMMOX、SND) 以及生物强化技术 (如高效降解菌的应用、BES 技术、AOPs 与生物处理耦合), 分析其原理、优势、应用现状及未来发展趋势, 旨在为推动给排水工程生物处理技术发展提供参考。

1 给排水工程中生物处理技术应用优势

第一, 生物处理技术具有显著的高效降解能力。微生物凭借其强大的代谢能力, 可以有效分解水体中的各种有机污染物, 包括难降解的复杂有机物, 将其转化为无害的二氧化碳、水和矿物质。这远超单纯的物理沉淀或化学氧化方法, 尤其在处理高浓度、成分复杂的工业废水方面优势明显^[1]。一些新型生物处理技术, 如厌氧氨氧化 (ANAMMOX) 技术, 甚至能实现对氮的深度去除, 有效解决氮污染问题, 这在传统技术中难以实现。这种高效的降解能力, 不仅保证了出水水质达标, 也为资源化利用提供了可能性, 比如将部分生物处理产物转化为生物能源或肥料。

第二, 生物处理技术具有环境友好性的显著优势。

与传统的化学处理方法相比, 生物处理技术避免了大量化学试剂的使用, 减少了二次污染的风险。它利用自然界中存在的微生物来完成污染物的降解, 更加绿色环保, 减少了对环境的负面影响, 这与当前全球可持续发展理念高度契合。此外, 生物处理技术产生的污泥量相对较少, 且污泥可通过进一步处理实现减量化、资源化或无害化处置, 最大限度地降低了对环境的负担^[2]。

第三, 生物处理技术在经济可行性方面也展现出其优势。虽然初期投资可能较高, 但生物处理技术在运行成本方面具有显著优势。它主要依赖于微生物的生长繁殖, 运行成本主要集中在能源消耗和微生物培养基的添加上, 相较于化学处理方法所需的大量化学药剂, 成本优势明显。长期来看, 生物处理技术可节约能源和减少化学试剂的使用, 能够带来显著的经济效益。尤其是在处理量较大的市政污水和部分工业废水时, 其经济优势更加突出。同时, 生物处理技术的自动化程度日益提高, 减少了人工操作的依赖, 进一步降低了运行成本。

第四, 生物处理技术在未来发展中拥有广阔的前景。随着科学技术的进步, 新型生物处理技术不断涌现, 例如利用基因工程技术改造微生物以提高其降解效率, 或者利用人工智能技术优化生物处理过程, 这些都将进一步提升生物处理技术的效率和可靠性。生物处理技术的持续改进与创新, 必将为解决全球水污染问题

提供更有效的途径,为构建和谐生态环境贡献力量。它不仅是一种污水处理技术,更是构建未来可持续水资源管理体系的重要基石。其在节约资源、保护环境和促进经济发展等方面的综合优势,注定将在未来的给排水工程中占据更加重要的地位^[3]。

2 给排水工程新型生物处理工艺

2.1 膜生物反应器 (MBR) 技术

膜生物反应器 (MBR) 技术通过在生物反应器中添加膜组件,实现固液分离,从而有效去除污水中的悬浮物、胶体和溶解性有机物。MBR 技术具有诸多优势:首先,其出水水质显著提高,可达到更高的净化标准,甚至满足回用水要求;其次,MBR 系统的污泥浓度高,减少了污泥产量,降低了污泥处理成本;再次,MBR 技术具有良好的抗冲击负荷能力,能够稳定运行,不易受到水质变化的影响;最后,MBR 技术占地面积小,便于工程建设和运行管理。

MBR 技术的应用范围广泛,包括市政污水处理、工业废水处理和回用水处理等领域。在市政污水处理中,MBR 技术可以有效去除污水中的病原菌和病毒,保障公共卫生安全;在工业废水处理中,MBR 技术可以根据不同工业废水的特点,选择合适的膜材料和工艺参数,实现高效的污染物去除;在回用水处理中,MBR 技术可以生产出符合特定用途要求的高品质回用水,例如景观用水、工业冷却水和冲厕用水等。然而,MBR 技术也存在一些不足之处,例如膜污染问题和高昂的运行成本。目前,研究人员正在积极探索各种方法来解决这些问题,例如改进膜材料、优化膜清洗策略和开发新型膜组件等。

2.2 厌氧氨氧化 (ANAMMOX) 技术及其应用

厌氧氨氧化 (ANAMMOX) 技术是一种新兴的生物脱氮技术,它利用特殊的厌氧氨氧化菌,在厌氧条件下将氨氮和亚硝酸氮转化为氮气,从而实现高效的脱氮效果。与传统的硝化反硝化工艺相比,ANAMMOX 技术具有明显的优势:首先,它可以显著降低能耗,因为不需要曝气提供氧气;其次,它可以减少污泥产量,降低污泥处理成本;最后,它可以有效去除污水中的氨氮和亚硝酸氮,提高出水水质。

ANAMMOX 技术的应用主要集中在高氨氮废水的处理方面,例如养殖废水、垃圾渗滤液和工业废水等。由于 ANAMMOX 菌的生长速度较慢,启动时间较长,因此需要对其进行特殊的培养和驯化。此外,ANAMMOX 技术对环境条件的要求较高,如 pH 值、温度和溶解氧浓度等,需要严格控制才能保证其稳定运行。目前,研究人员

正在积极探索各种方法来提高 ANAMMOX 技术的效率和稳定性,如开发新型生物反应器、优化工艺参数和利用基因工程技术改造 ANAMMOX 菌等^[4]。

2.3 同步硝化反硝化 (SND) 技术及其应用

同步硝化反硝化 (SND) 技术是指在同一个反应器中同时进行硝化和反硝化过程的生物脱氮技术。首先,它可以简化工艺流程,减少设备投资和运行成本;其次,它可以提高脱氮效率,降低能耗;最后,它可以减少污泥产量,降低污泥处理成本。

SND 技术的实现依赖于兼性硝化反硝化细菌的存在,这些细菌能够在缺氧和好氧条件下交替进行硝化和反硝化反应。为了实现 SND,需要在反应器中创造合适的环境条件,例如控制溶解氧浓度、pH 值和碳源供应等。SND 技术的应用范围广泛,包括市政污水处理和工业废水处理等领域。然而,SND 技术也存在一些挑战,如何有效控制反应器内的溶解氧浓度,如何选择合适的碳源,以及如何提高 SND 过程的稳定性等。近年来,随着微生物组学和代谢工程的发展,研究人员对 SND 机理的理解不断深入,为解决上述技术难题提供了新思路。通过引入新型载体材料,如改性沸石、生物炭等,可以提高微生物附着能力和活性,增强系统抗冲击负荷能力。同时,利用智能控制系统实现溶解氧的精准调控,结合间歇曝气策略,可以创造更适合 SND 过程的微环境。此外,通过添加特定酶制剂或驯化特殊功能菌群,可进一步提高氮转化效率,拓展 SND 技术在低温、高盐等极端条件下的应用潜力^[5]。

2.4 强化生物脱氮除磷技术

强化生物脱氮除磷技术是指通过优化生物处理工艺或添加其他技术手段来提高污水脱氮除磷效率的技术。常用的强化生物脱氮除磷技术包括:厌氧/好氧交替运行、预处理技术、生物强化技术和污泥回流技术等。厌氧/好氧交替运行可以促进聚磷菌的磷吸收和释放,提高除磷效率;预处理技术可以去除污水中对生物处理过程有抑制作用的物质,提高生物处理效率;生物强化技术可以提高微生物的活性,增强其对氮磷的去除能力;污泥回流技术可以调节污泥龄和微生物浓度,优化生物处理过程。

强化生物脱氮除磷技术能够显著提高污水处理厂的出水水质,满足更加严格的排放标准。同时,它还可以提高资源回收利用效率,例如将污泥中的磷资源回收利用。然而,强化生物脱氮除磷技术也存在一些挑战,需要对工艺参数进行精细控制,对微生物群落进行有效调控,以及对运行成本进行优化等。

3 给排水领域生物处理工艺强化技术

3.1 生物强化技术在难降解有机物处理中的应用

许多工业废水和城市污水中含有难降解有机物,如多环芳烃(PAHs)、卤代烃等,这些物质的生物降解性差,严重影响了传统生物处理工艺的效率。生物强化技术通过引入特定微生物或改善微生物群落结构,增强微生物对难降解有机物的降解能力,从而实现高效处理。

通过筛选和培养具有高效降解特定难降解有机物能力的微生物,将其接种到生物反应器中,从而增强对目标污染物的降解能力。这需要对目标污染物进行深入的生物降解途径研究,选择合适的菌株,并优化接种条件,以最大限度地提高其降解效率。例如:对特定PAHs的降解,可以定向筛选和培养具有相应降解基因的细菌,并将其添加到活性污泥系统中。利用基因工程技术改造微生物,赋予其降解难降解有机物的能力,或增强其降解效率。这包括通过基因克隆、基因表达调控等技术,将新的降解基因导入微生物细胞中,或优化其现有代谢途径,从而提高其对难降解有机物的降解效率。基因工程技术为处理极端难降解污染物提供了新的途径,但其应用需考虑生物安全等因素。

通过控制环境条件(如pH值、温度、溶解氧等)或添加营养物质,调控微生物群落结构,促进具有高效降解能力的微生物的生长繁殖,抑制其他微生物的生长,从而增强整体的降解效率。这需要对污水中的微生物群落组成及其功能进行深入研究,并据此调整操作参数,以优化微生物群落的结构和功能。生物强化技术的应用,显著提高了对难降解有机物的去除率,减少了环境污染风险,但同时也面临一些挑战,例如高效降解菌株的筛选和培养、基因工程技术的安全性以及微生物群落调控的复杂性等。

3.2 生物电化学系统(BES)在污水处理中的应用

生物电化学系统(BES)是一种利用微生物电化学活性来处理污水的技术。它通过构建一个包含阳极和阴极的电化学反应器,利用微生物的电子传递作用,将有机物氧化分解,同时产生电能或进行其他电化学反应。微生物在阳极上进行有机物的氧化反应,产生电子,这些电子通过外电路传递到阴极,从而提高了有机物的去除效率。BES技术可以同时去除有机物和产生电能,实现能源回收,降低运行成本。一些BES系统可以有效去除传统生物处理工艺难以处理的难降解有机物。某些BES系统可以同时进行脱氮除磷,实现多种污染物的同步去除。

3.3 高级氧化技术(AOPs)与生物处理的耦合

高级氧化技术(AOPs)是一类利用强氧化剂(如臭氧、过氧化氢、紫外线等)来降解有机污染物的技术。利用高级氧化技术预处理污水,降解部分难降解有机物,提高污水的可生化性,从而提高后续生物处理的效率。将高级氧化技术与生物处理技术集成在一个反应器中,实现同步氧化降解和生物降解,提高整体的处理效率。高级氧化技术与生物处理的耦合,能够有效克服传统生物处理在处理难降解有机物方面的局限性,并实现对多种污染物的综合去除。然而,耦合技术的优化需要考虑多种因素,包括氧化剂的选择、反应条件的控制以及成本效益等。

4 结束语

给排水工程生物处理技术正朝着高效、智能化和可持续化的方向发展。新型生物处理工艺和工艺强化技术的应用,显著提升了污水处理效率,拓展了处理范围,并有效降低了环境影响和运行成本。然而,这些技术也面临着一些挑战,例如工艺参数优化、微生物群落调控以及技术成本控制等。未来研究应重点关注以下几个方面:一是进一步研发更高效、更稳定的新型生物处理工艺,如探索更优的微生物菌群组合和更有效的生物反应器设计;二是深入研发生物强化技术的机理,开发更有效的生物强化策略,例如结合基因工程技术和人工智能技术;三是加强技术集成与优化,将高级氧化技术与生物处理技术更有效地耦合;四是推动生物处理技术的智能化和自动化发展,实现对处理过程的实时监控和优化控制。只有通过持续的技术创新和工程实践,才能不断地提高给排水工程生物处理技术的水平,为建设美丽中国、实现可持续发展目标贡献力量。

参考文献:

- [1] 范久林.市政给排水工程污水处理的技术分析[J].清洗世界,2023,39(11):124-126.
- [2] 潘瑞军.市政给排水工程污水处理技术研究[J].工程建设与设计,2023(20):87-89.
- [3] 王键.污水处理技术在市政给排水工程中的有效运用[J].工程技术研究,2022,07(24):33-35.
- [4] 李真莹.市政给排水工程污水处理技术与发展路径探析[J].新型工业化,2022,12(12):244-247.
- [5] 李平平.市政给排水工程污水处理的技术分析[J].大众标准化,2022(21):50-51.

工程机械设备常见故障及保养探讨

卢夏斌

(中铁二十二局集团电气化有限公司, 北京 102308)

摘要 随着基础设施建设的不断推进及科学技术的进步, 工程机械设备在各类工程项目中的作用日益凸显。然而, 设备故障频发成为制约工作效率和质量的重要因素。本文深入分析了工程机械设备常见的设计或制造缺陷、操作行为不当、维护保养不足、部件安装不牢以及部件磨损等故障原因, 并结合具体案例提出了相应的解决策略, 以期为相关工作人员提供有益参考。

关键词 工程机械; 设备故障; 维护保养

中图分类号: TH17

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.14.036

0 引言

当今时代, 基础设施的建设不断发展, 科学技术水平不断提升。工程机械设备作为重要的工具在生活中的各个领域也起到了越来越无法割舍的作用。随着工程机械设备在工程项目内不断普及, 整个工程项目的运作情况、工程的进展变化以及完成效率都与机械设备有着直接的关系。综上所述, 工程机械设备故障对整个工作的实施影响非常大, 所以如何提前预防常见的故障、分析故障产生的原因、如何科学处置工程的故障、如何开展高效的设备养护工作等问题, 对机械设备使用能力增强及性能的提升有着至关重要的作用。

1 工程机械设备常见故障的原因

1.1 设计或者制造缺陷

影响工程设备可靠性最重要的因素就是设计与制造的质量。在设计的过程中, 设计缺陷的起因多是在设计时考虑不够周到, 如果在设计时过于注重实现想要达成的功能, 却忽视客观存在的问题就会导致如负载变化、环境腐蚀等各种问题^[1]。其次, 选用的材料不够妥当也会影响, 倘若选用低规格的材料, 会导致其耐磨性和冲击力不足。一些普遍的机械材料问题比如: 承力的部件使用普通碳钢代替合金钢, 导致抗疲劳性能不足。

1.2 操作行为不当

在设备使用过程中, 操作人员的专业技能和作业规范的意识直接影响设备运行状态。经过现实中的调查结果, 在现代建筑行业中, 高达百分之三十五的设备故障与操作行为不当有着密切联系。其中, 最普遍的问题是超载运行, 这会造成结构件使用寿命大幅度降低。其次, 违规操作也是重要影响因素。比如说,

在发动机冷启动后立即高转速运行, 导致润滑不良加剧磨损; 液压系统未预热就满负荷工作, 造成密封件早期失效; 在不平整场地高速移动设备, 引发结构件应力集中。

在人为使用中, 操作技能不足也会导致行为不当。随着当今工程机械设备的不断发展提升, 出现了很多新型的机械设备, 许多设备的操作与维护, 需具有专业并且丰富的知识储备的操作人员。但是根据实际情况, 现实并不是所有的操作人员都能够掌握所有机械的操作技巧, 导致有很多设备的功能没有得到使用。

1.3 维护保养不足

工程机械如果使用的时间久, 就会出现难以避免的老化和磨损。工程机械设备如果长时间持续的运行, 就会像人不停劳作一样, 加快劳损, 容易引发故障。因此, 是否按时维护保养直接关系到设备能否正常运转。

在实际案例中, 某个工地的挖掘机, 没有做到按时换机油, 还使用了劣质的滤芯, 最终导致发动机故障, 耽误工时的同时也增加了成本。此外, 一些工地中的保养工作未按标准执行, 而是应付检查, 用便宜的劣质品充数, 这就会引发质量问题。

1.4 部件安装不牢

部件的安装对机械的可靠性起着非常显著的作用, 研究显示, 最常见的部件问题是紧固件相关的问题。比如说, 螺栓没有按照规范扭矩拧紧, 导致结合面微动磨损; 防松措施的缺失引发了螺纹连接逐渐松动; 不同材质的连接件热膨胀系数不匹配, 造成了预紧力丧失等问题。

工程机械对精度要求很高, 位置对准存在偏差, 会严重危害部件的使用寿命, 除此之外, 管线安装不

当也是常见的部件安装问题,缺失必要的支撑部件会导致断裂破碎等问题。

1.5 部件磨损造成的异响

机械运动部件损坏大多是导致工程机械设备异响故障的主要原因,虽然磨损是不可避免的问题,但如果磨损严重造成声响可能出现比较严重的问题。该故障的发生,一旦没有及时解决,就会造成严重后果。

2 工程机械设备常见故障的处置方法

2.1 设计或者制造缺陷的处置方法

针对设计或制造缺陷的问题,首先应该针对想要达成的制作效果进行深度思考有没有存在的问题,不能忽视客观存在的问题。其次需要进行材料的加工升级与优化制作的工艺,使制造尽可能地贴切现实中的需求。根据现实中的案例,某工地新进的一批混凝土泵车在投入使用不久之后,液压油管发生了频繁的爆裂,影响了工地的施工进度。于是工地负责人找来厂家的工程师检查,发现问题在油管的走向不符合设计要求,导致在使用过程中经常产生摩擦。工程师采取了多种解决方法,首先,重新设计油管的走向;其次,之前摩擦的位置增加耐磨的保护装置;最后,更换更高规格的高压油管。经过不断地改造和设计改进,设备得到了修复。同时,这个案例也说明,如果购买到有问题的机械设备需要联系厂家进行改正,只有不断地改变提升,才能使机械设备不断进步。

2.2 操作行为不当的处置方法

在操作设备之前,工厂应该对需要进行操作的工人进行培训,可以先从理论开始学习,采用从理论到模拟最后再实操。这样工人能够充分的了解机械设备,将操作失误导致的故障下降到最低^[2]。并在实践中强化工人的规范操作,杜绝损害设备的行为出现,从源头中解决操作不当的问题。将人工与机械做到最大的优化,研究改正设施本身应该存在的不足,比如说研究显示,改进某些机械设备的操纵手柄可以提升作业的精度问题。部分机械设备可以通过改变优化控制面板的按键大小和形状,来降低工人的误触。将重要的按钮与其他按钮的颜色与形状差异化,将紧急按钮采用红色的醒目标志,这些都能尽可能地减少工人的操作不当。在部分工地中,为避免工人的错误,很多工厂为操作工人进行登记,如果在培训后仍有三次及以上的违规操作,就停职再次进行培训。同时,在操作室安装监控,记录检查工人的过程,按照工作效率与工作正确率评选优秀操作人员,进行奖励,鼓舞工人的学习热情与操作水平提升。

2.3 维护保养不足的处置方法

相关的机械管理部门必须定时检测机械设备,对各个设备的工作能力和承受能力进行预测和管理,并且做好相关的记录,合理的安排下次修理和检测,确保每个工程项目能够正常的实施。可以把每台机械及时创立自己的“健康档案”,把做保养的时间和保养的产品都记录清楚,由相关责任人亲自检查,落到具体实处。工厂的领导者需有侧重点,购买原厂配件,请专业的保养团队,定期对机械进行检查。用挖掘机举例来说,如果每年正常保养花费约为五万元,但是不保养的话,维修费约为十五万元,不仅如此,耽误工期的花费约十万元。而且,如果保养好的话,设备可以使用十年,而不进行保养,可能仅仅五年就会报废。

2.4 部件安装不牢的处置方法

为确保部件装配质量,需建立标准化的工艺规范体系。具体应该对部件的装配制定详细的安装教程,将关键的部件不断进行核查。采用高科技手段避免部件装错,如每个部件在安装错误时进行提示,使用部分智能拧紧工具,采取防错设计尽可能地减少人为的失误。工厂应对部件的安装进行多人多次的检查,避免工人因粗心存在的问题,将工人的绩效工资与部件安装的错误进行挂钩,这样可以提升工人的细心程度^[3]。根据具体实例,部分工厂将重要的部件做明显的记号,每天派不同工人在不同的时间段进行检查,在大风大雨等恶劣天气以后进行全面的检查。在标准化装配工艺基础上,可引入智能拧紧系统。例如,通过电动扭矩扳手与物联网技术结合,实时监测关键螺栓的预紧力数据并上传至云端,实现装配质量的可追溯性。某隧道工程中,盾构机刀盘螺栓因振动频繁松动,采用此类系统后,松动故障率可大幅降低。此外,对热膨胀系数差异较大的连接件,建议采用弹性垫片或形状记忆合金紧固件,补偿温度变化带来的尺寸偏差。

2.5 部件磨损造成的异响的处置方法

对于部件磨损最关键的预防手段是经常检测设备,频繁地对故障进行诊断。为了做好对此类故障的预防工作,需要对关键部件进行保养,如齿轮、轴承以及刀具等,使之保持良好的润滑条件与清洁条件,并且对已经老化、磨损严重的部件进行及时的更换,减少异响故障的发生。

如果听到异响,第一时间就需要对其进行检查,使用听诊器等工具,更加准确的判断发生异响的位置。对于不同的问题采取不同的解决措施,如果是金属摩擦声则是缺油;如果是沉闷撞击声则是轴承损坏;如果是螺栓松动,则需要拧紧到正确的扭矩。设备只要出现异常声音,就应该立即停工检查,避免将问题严重化。

3 工程机械设备的保养措施

3.1 夏季日常保养措施

夏季高温和强日照对工程机械设备的损害显著,需重点防范因散热不足导致的故障。若散热系统维护不足,设备易因高温导致部件失效或性能下降,需系统性加强维护。首先,重点保养散热系统,每周清理散热器,采用压缩空气对柳絮和灰尘进行清洁。及时检查空调系统,每月检查制冷剂的压力并清洗滤网。其次,针对液压系统,及时改用夏季专用的液压油,避免因夏季的高温导致变稀,并且在使用过程中降低胎压,防止爆胎。在不进行工作的时候,可以给设备搭建遮阳棚,减少阳光的暴晒,并对工人调整工作时间,避免在中午高温的时段进行工作。

夏季雷雨天气频繁,需特别注意设备的防水防潮工作。电气系统是设备的核心部分,一旦受潮可能导致短路甚至损坏。因此,建议定期检查电气接线盒的密封性,确保其防水性能良好。对于露天存放的设备,可加装防水罩或将其移至干燥区域。同时,针对发动机冷却液的浓度,应根据当地气候条件进行调整,以防止高温下冷却液蒸发过快。

3.2 冬季日常保养措施

严寒气候对工程机械设备的低温适应性提出严峻挑战,需针对性强化防护。应该及时将机油换成冬季机油,并对柴油采取防冻措施,适量添加防凝剂,对部分加装保暖套,包裹关键的管路。在通常情况下,需要根据当地的气候温度对不同冰点的防冻液进行合理选择,防冻液冰点应严格低于当地最低气温 $10\sim 15\text{ }^{\circ}\text{C}$,并且杜绝防冻液混用。在实际操作中,作业人员应在发动机启动前进行充分预热,并预先开启暖风设备以确保设备达到适宜工作温度^[4]。

在冬季低温环境下,蓄电池的性能会显著下降,因此需要对蓄电池进行重点维护。建议定期检查蓄电池的电量状态,并在必要时进行充电或更换。此外,液压系统的油温在低温环境下容易升高,需在设备启动后低速运行一段时间,待液压油温度逐渐上升后再投入正常作业。对于长期闲置的设备,应每隔一段时间启动一次,以保持各部件的灵活性。

3.3 建立信息化机械设备养护模式

随着科技的进步,设备养护应该结合智能产品。通过扫码快速上报故障信息至云端平台,实现故障定位与维修工单自动生成,可以通过手机及时发现故障。设置智能闹钟自动提醒机械设备的保养维护,并对设备的维修记录进行电子记录,使用手机可以查看维修的记录。

信息化养护模式还可以通过物联网技术实现设备运行状态的实时监控。例如,在设备的关键部位安装传感器,监测振动、温度、压力等参数,当这些参数超出正常范围时,系统会自动发出警报,提醒工作人员及时处理。此外,利用大数据分析技术,可以对设备的历史数据进行深度挖掘,预测可能出现的故障类型及时间点,从而提前制定维修计划,避免因突发故障导致停工。这种智能化的养护模式不仅提高了设备的可靠性,还大幅降低了维护成本。

3.4 设立数据库,制订个性化的保养计划

将不同的设备进行分类保养,大体分为新设备与旧设备、高强度工作的设备和特殊设备。新设备需按制造商建议的保养周期(如每 100 小时首保)执行,确保磨合期部件性能稳定,将旧设备随着时间的增加不断提升检查的保养频率,对于高强度工作的设备不断缩短保养的时间间隔,对于特殊设备,根据商家的要求,定制不同的保养项目^[5]。

为了进一步优化个性化保养计划,可以引入人工智能算法,根据设备的实际使用情况动态调整保养策略。例如:某台设备近期的工作负荷较高,则系统会自动推荐更频繁的保养;而另一台设备近期处于闲置状态,则可以适当延长保养周期。

4 结束语

在当今科技迅猛发展的背景下,工程机械设备保养对工厂的发展起着重要的作用,更对经济发展效力和提升项目质量有着积极的作用。基于此,我们应不断探索工程机械设备故障的原因,并且针对不同的原因进行相应的处理,开展高效、系统的维护工作。同时,应该注重在不同季节不同条件下的保养措施,在冬夏两个季节进行全面维护,并结合当今时代发展需求,引进科技化的保养技术。经综合分析论证,采取上述措施能实现机械设备效能的最优利用,有效推动工程项目的顺利实施,提升整体经济效益。

参考文献:

- [1] 来有东. 工程机械设备常见故障及设备保养探究[J]. 机械管理开发, 2024, 39(10): 271-273.
- [2] 郑标. 试论工程机械管理与维修措施[J]. 江西建材, 2016(24): 299-300.
- [3] 唐文杰. 浅谈工程机械的液压系统常见故障诊断与排除[J]. 科技视界, 2014(25): 297, 327.
- [4] 辛淑慧, 李伟著. 工程机械常见故障及维修技术探讨[J]. 科技创业家, 2014(08): 26.
- [5] 来有东. 现代工程机械设备的不管理方法与维护保养路径[J]. 装备制造技术, 2024(09): 119-122.

市政工程施工中的技术难题与创新对策

张兆兵

(安徽省宏远建设项目管理有限公司, 安徽 滁州 239400)

摘要 为解决市政工程施工中的技术难题,提升施工质量与管理水平,本文对市政工程施工中的相关技术和问题进行了研究,分析了隧道与地下工程施工技术、环保施工技术、自动化施工技术及BIM技术等主要技术,探讨了复杂地质条件下施工、环境污染控制、安全隐患管控以及跨部门协调与信息共享困难等技术难题,并提出了应用高科技勘察与检测技术、创新应用环保施工技术、构建智能安全管理系统、搭建基于信息技术的协同管理平台等创新对策,以期提升市政工程施工技术水平提供借鉴。

关键词 市政工程施工; 环保施工技术; 自动化施工技术; BIM技术; 工程管理

中图分类号: TU99

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.14.037

0 引言

随着城市化进程加速,市政工程规模和数量不断增长,对城市发展至关重要。其施工环境复杂,常涉及地下工程、交叉作业等,面临诸多挑战。复杂地质条件给施工带来技术挑战,易引发工程事故;环境污染控制要求日益严格,传统施工方式难以满足环保需求;施工过程中安全隐患频发,威胁人员生命与工程质量;不同部门间协调不畅、信息流通受阻,严重影响施工效率。在此背景下,剖析市政工程施工技术难题并探寻创新对策,成为提升市政工程建设水平的关键。

1 市政工程施工中的主要技术

1.1 隧道与地下工程施工技术

在市政工程中,隧道和地下工程施工是一个非常重要的环节。盾构法是一种常用的施工方法,它是利用盾构机进行深基坑开挖,刀盘切土,千斤顶顶推,管片同步拼装。此项技术可应用于城市地铁和跨江隧道的建设中。比如,在城市地铁施工中,采用盾构法可以有效地降低对地面交通及周围环境的影响。“新奥法”强调充分发挥围岩自身承载能力,及时支护、监测量测等手段,在山岭隧道建设中得到广泛应用。另一种是采用钻爆法在岩石中挖洞的方法,在某些地质条件复杂且不适合盾构施工的地段有其独特的优势。这些技术的应用,为开发和利用城市地下空间打下了良好的基础。

1.2 环保施工技术

环保施工技术在当下市政工程施工中不可或缺。在扬尘控制方面,通过设置喷淋系统,在施工现场定

时喷水,有效抑制尘土飞扬;采用密目式安全网对施工现场进行全封闭,阻止粉尘外扬。噪声控制技术也得到广泛应用,选用低噪声的施工设备,从源头降低噪声产生;对高噪声设备设置隔音罩,减少噪声传播。在污水处理上,施工现场设置沉淀池、隔油池等设施,对施工废水进行沉淀、隔油等处理后达标排放。此外,在材料选用上,优先采用环保型、可回收利用的材料,减少资源浪费和环境污染。这些环保施工技术的运用,实现了市政工程建设与环境保护的协调发展。

1.3 自动化施工技术

自动化施工技术正逐步改变市政工程施工模式。自动化机械设备在道路施工中应用广泛,如自动摊铺机能够精准控制摊铺厚度和平整度,通过传感器和控制系统,根据预设参数进行作业,大大提高了道路施工质量。在桥梁建造中,自动化焊接设备可实现高效、稳定的焊接作业,保证焊缝质量。在隧道施工中,自动化的喷锚支护设备能快速、准确地完成喷射混凝土和安装锚杆等工作,提高施工效率和安全性。自动化施工技术不仅提升了施工效率,减少人工成本,还降低了人为因素对工程质量的影响,保障了施工的精准性和稳定性,为市政工程的快速、高质量建设提供了有力支撑。

1.4 BIM技术

BIM技术即建筑信息模型技术,在市政工程施工中发挥着重要作用。它以三维数字化模型为载体,集成了工程建设项目的几何信息、物理信息、功能要求和性能指标等各种信息。在项目规划阶段,利用BIM技术可以进行可视化模拟,提前发现设计中的问题并优

化方案。在施工过程中,通过 BIM 模型可实现各专业的协同作业,有效避免因设计冲突导致的返工。例如在市政综合管廊建设中,利用 BIM 技术能清晰展示不同管线的位置关系,提前解决管线碰撞问题。同时,基于 BIM 技术的施工进度管理系统,可实时跟踪工程进度,合理安排资源,提高施工管理的精细化程度和决策科学性,极大提升了市政工程施工的整体效益。

2 市政工程施工中的技术难题

2.1 复杂地质条件下的施工问题

在市政工程施工中,复杂地质条件是极为棘手的难题。部分地区存在软土地基,其土质松软、承载能力低,在进行道路、桥梁等工程建设时,地基极易出现沉降、变形,严重影响工程结构稳定性。像在一些沿海城市,地下水位高且土质多为淤泥质土,常规施工方法难以满足要求,需要进行地基加固处理,如采用深层搅拌法、堆载预压法等,但这些方法施工工艺复杂、成本高昂。而在山区,岩石地质条件复杂,岩石硬度差异大、节理裂隙发育,进行隧道施工时,可能遭遇岩石破碎、涌水等问题^[1]。例如:在穿越断层破碎带时,岩体稳定性差,容易发生坍塌事故,不仅危及施工人员安全,还会延误工期,增加工程建设成本,给市政工程顺利推进带来巨大阻碍。

2.2 工程项目中的环境污染控制

随着环保要求的不断提高,市政工程环境污染防治面临着严峻的挑战。施工过程中土方开挖、物料运输、机械运转都会产生大量的扬尘。粉尘污染不仅影响空气质量,而且容易影响周边居民的生活与身体健康,引发呼吸系统疾病等一系列问题。此外,施工过程中产生的噪声也不可忽视,各种机械设备的运转、物料搬运等,若噪声超标会影响周围居民的正常生活,引起居民的投诉。建筑废水中含有大量的泥沙、重金属、油脂类和化学物质,如果不进行有效地处理会污染地表水和土壤,对生态环境造成破坏。此外,建设过程产生的废弃混凝土、砖石等固体废物若不妥善处置,不仅会占用大量土地资源,还会影响市容市貌。因此,如何在保证施工进度的前提下有效控制环境污染,是当前市政工程建设亟待解决的难题。

2.3 施工过程中安全隐患的管控

市政工程施工环境复杂,安全隐患众多,管控难度较大。施工现场交叉作业频繁,不同工种、不同施工阶段的人员和设备在同一区域作业,容易发生碰撞、物体打击等事故。例如:在城市道路改造工程中,路

面施工与地下管线施工同时进行,若协调不当,极易造成地下管线损坏,引发燃气泄漏、触电等严重安全事故^[2]。高处作业也是安全事故的高发环节,在桥梁建设、房屋建筑等工程中,施工人员需在高处进行安装、拆除等作业,一旦防护措施不到位,就可能发生高处坠落事故。此外,施工设备的安全管理也至关重要,一些大型机械设备,如塔吊、起重机等,若设备老化、维护保养不及时,在运行过程中可能出现故障,引发安全事故,给施工人员的生命安全和工程财产带来巨大威胁,如何有效管控这些安全隐患是市政工程施工安全管理核心任务。

2.4 跨部门协调与信息共享困难

市政工程涉及多个部门,跨部门协调与信息共享困难严重制约工程推进。在项目规划阶段,规划部门、设计单位、建设单位等需密切沟通,明确工程建设目标和规划方案,但由于各部门利益诉求不同,沟通协调成本高,容易出现规划与实际需求脱节的问题。在施工阶段,建设单位、施工单位、监理单位以及市政、交通、电力等多个部门之间需要协同作业^[3]。然而,部门之间信息流通不畅,例如施工单位发现地下管线位置与设计图纸不符,需要与市政部门沟通确认,但由于信息传递不及时,可能导致施工停滞,延误工期。同时,各部门使用的信息管理系统不同,数据格式不统一,难以实现信息实时共享,无法及时对工程进度、质量、安全等问题进行有效决策,严重影响市政工程建设整体效率和质量。

3 市政工程施工技术的创新对策

3.1 高科技勘察与检测技术的应用

在市政工程施工前,运用高科技勘察技术能精准掌握地质状况。例如:采用地质雷达,它利用高频电磁波,通过发射与接收反射波来探测地下介质分布,可清晰呈现地下空洞、管线位置及地质分层情况,为施工方案制定提供可靠依据。在山区复杂地质环境中,航空地球物理勘探技术大显身手,通过飞机搭载专业设备,能快速获取大面积地质信息,包括岩石类型、构造特征等,高效且全面。在施工过程中,无损检测技术至关重要。如超声波检测技术,用于检测混凝土内部缺陷,通过分析超声波在混凝土中的传播速度、波形等参数,精准判断是否存在裂缝、孔洞等问题,保障工程质量。

此外,利用卫星定位与地理信息系统(GPS-GIS)技术,可实时监测工程变形,对软土地基上的建筑沉降、

隧道施工的位移等进行动态跟踪,提前预警潜在风险,确保施工安全与质量。

3.2 环保施工技术的创新应用

面对日益严格的环保要求,市政工程积极创新环保施工技术。在扬尘控制方面,研发智能喷雾降尘系统,通过粉尘传感器实时监测施工现场扬尘浓度,当浓度超标时,自动启动喷雾装置,精准降尘,相比传统定时喷淋更高效节能。对于噪声控制,采用有源消声技术,在高噪声设备上安装传感器与扬声器,传感器采集噪声信号,经处理器分析后,扬声器发出与原噪声相位相反的声波,相互抵消,降低噪声污染^[4]。在施工废水处理上,创新采用膜生物反应器技术,利用膜分离技术与生物处理技术相结合,高效去除废水中的有机物、氮磷等污染物,处理后的水可回用于施工现场洒水降尘等环节,实现水资源循环利用。在固体废弃物处理方面,引入建筑垃圾资源化利用设备,将废弃混凝土、砖石等破碎、筛分后,制成再生骨料用于生产再生砖、再生混凝土等,既减少废弃物排放,又节约资源,实现市政工程绿色环保施工。

3.3 智能安全管理系统的构建

为有效管控市政工程施工中的安全隐患,构建智能安全管理系统十分必要。借助物联网技术,在施工现场关键位置及设备上安装传感器,如在塔吊、升降机等设备上安装倾斜传感器、重量传感器,实时监测设备运行状态,一旦数据异常,立即发出警报。在高处作业区域设置红外感应装置,当施工人员未按规定佩戴安全防护设备进入危险区域时,自动报警提醒。利用大数据分析技术,对历史安全事故数据、施工现场实时数据进行分析,预测安全事故发生概率,提前制定针对性防范措施^[5]。例如:分析不同季节、施工阶段安全事故高发类型,提前加强相应环节管理。同时,建立可视化安全管理平台,通过监控摄像头将施工现场画面实时传输至平台,管理人员可远程查看现场情况,及时发现并处理安全隐患,全方位保障施工人员安全与工程顺利进行。

3.4 基于信息技术的协同管理平台

为解决市政工程跨部门协调与信息共享方面的难题,搭建基于信息技术的协同管理平台是核心举措。在项目规划阶段,该平台能够整合规划部门、设计单位、建设单位等多方的数据资源。通过构建三维模型,将工程规划方案以直观、可视化的方式展示出来。各方人员可在平台上进行实时在线交流,针对规划方案

中的细节问题提出意见和建议。例如:规划部门从城市整体发展布局的角度出发,对工程的选址、规模等提出建议;设计单位根据专业知识对设计方案的可行性进行评估;建设单位则从项目投资、建设周期等方面考虑,共同优化方案,确保工程规划符合城市实际需求以及各方利益诉求^[6]。进入施工阶段,建设单位、施工单位、监理单位以及市政、交通、电力等多个部门在同一协同管理平台上办公。当施工单位在施工过程中发现地下管线问题时,可通过平台实时上传相关信息,包括管线的位置、走向、疑似类型等详细情况。市政部门收到信息后,能及时进行回复确认,告知管线的准确信息以及处理建议,避免因信息不畅导致施工停滞,延误工程进度。平台统一了各部门的数据格式,实现了工程进度、质量检测数据、安全检查情况等信息的实时共享。基于这些实时、准确的数据,利用专业的项目管理软件进行深入分析,能够对工程进度是否滞后、质量是否达标、安全是否存在隐患等问题做出快速且有效的决策。通过提升市政工程建设过程中的协同效率,保障工程高质量、按时顺利推进。

4 结束语

通过探讨市政工程施工中面临的复杂地质条件、环境污染、安全隐患、跨部门协调困难等技术难题,详细介绍了盾构法、环保施工技术、自动化施工技术、BIM技术等施工中的关键技术,应用高科技勘察与检测技术、创新环保施工技术、构建智能安全管理系统、搭建协同管理平台等创新对策,有效解决了市政工程施工中的技术难题。未来,随着技术不断进步,市政工程施工有望在攻克技术难题的基础上,实现更高效、绿色、安全的建设目标,为城市发展提供更坚实支撑。

参考文献:

- [1] 陈刚.市政工程标准化施工过程中常见的施工技术通病分析[J].产品可靠性报告,2025(02):118-119.
- [2] 马婧茹,高明.软土地基处理技术在市政道路桥梁工程施工中运用研究[J].城市建设理论研究(电子版),2025(04):148-150.
- [3] 冯驹.绿色节能环保技术在市政工程施工中的应用研究[J].智能建筑与智慧城市,2024(12):103-105.
- [4] 梁志刚.市政工程道路施工中的地下管线施工技术分析[J].建材发展导向,2024,22(20):76-78.
- [5] 胡文迪.市政工程施工中深基坑开挖支护关键技术[J].城市建设理论研究(电子版),2024(26):103-105.
- [6] 张莉.市政工程组合式排管装配化施工的关键技术研究[J].城市建设理论研究(电子版),2025(04):187-189.

市政工程绿色施工策略与实践创新研究

黄汝全¹, 吕波², 董磊³, 陈修德⁴

(1. 日照荣凯建设工程有限公司, 山东 日照 276800;

2. 同纳检测认证集团有限公司, 上海 200060;

3. 日照方方路桥工程有限公司, 山东 日照 276800;

4. 山东龙腾建设集团有限公司, 山东 日照 276800)

摘要 市政工程作为城市发展的基石, 其施工过程对资源消耗、生态环境和社会生活的影响日益显著。绿色施工理念的提出, 旨在通过科学管理、技术创新和资源优化, 实现工程建设与环境保护的和谐统一。在城市化进程加速的背景下, 绿色施工不仅是对传统施工模式的革新, 更是推动城市可持续发展的重要实践。本文将从绿色施工的特点、策略及实践创新途径三个方面, 深入探讨市政工程绿色施工的核心要素和实施路径, 以期为促进城市建设的绿色转型提供参考, 助力构建更加宜居、环保和智能的城市环境。

关键词 市政工程; 绿色施工; 环境保护

中图分类号: TU99

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.14.038

0 引言

市政工程作为城市建设的重要组成部分, 其施工过程对环境、资源和社会的影响日益受到关注。绿色施工理念的引入, 旨在通过环境保护、资源高效利用、技术创新和可持续发展导向, 推动市政工程向更加环保、智能和可持续的方向发展。

本文将从绿色施工的特点、策略及实践创新途径三个方面, 深入探讨市政工程绿色施工的核心要素和实施路径, 为城市建设的可持续发展提供理论支持和实践指导。

1 市政工程绿色施工特点

1.1 环境保护优先

环境保护是市政工程绿色施工的核心原则, 贯穿于施工全过程。施工过程中通过覆盖裸露土方、设置围挡、洒水降尘等措施, 有效控制扬尘扩散, 减少对空气质量的负面影响。针对噪声污染, 优先选用低噪声机械设备, 合理安排施工时间, 避免夜间作业, 最大限度降低对周边居民生活的干扰。施工废水经过沉淀、过滤等处理后再排放, 防止直接排入水体造成污染。在施工区域, 注重保护原有植被和土壤结构, 避免大规模开挖和破坏, 施工结束后及时进行生态修复, 恢复场地自然状态。通过科学规划和严格管理, 绿色施工将环境保护理念融入每一个环节, 力求在满足工程建设需求的同时, 维护生态平衡, 减少对自然环境的干扰, 为城市可持续发展提供有力保障。

1.2 资源高效利用

资源高效利用是市政工程绿色施工的重要目标, 旨在通过科学管理和技术创新, 最大限度地节约资源并减少浪费。施工过程中优先选用节能型机械设备和清洁能源, 如太阳能照明和电动工具, 降低能源消耗。在材料选择上, 推广使用可再生材料和环保型建材, 减少对自然资源的依赖。施工废弃物进行分类处理, 建筑垃圾经过破碎、筛分后用于路基填充或再生建材生产, 实现资源的循环利用。通过优化施工工艺和流程, 减少材料损耗, 提高施工效率。引入智能化管理系统, 实时监控资源使用情况, 确保资源分配的合理性和高效性。绿色施工不仅关注资源的节约, 更强调资源的可持续利用, 通过一系列措施, 在保证工程质量的同时, 降低资源消耗, 减少环境负担, 为市政工程的可持续发展提供有力支持。

1.3 技术创新驱动

技术创新是推动市政工程绿色施工的关键动力, 通过引入先进技术和手段, 全面提升施工效率和质量。BIM (建筑信息模型) 技术的应用, 可实现工程设计的可视化和协同优化, 减少施工过程中的返工和浪费。物联网技术实时监控施工现场的环境参数和设备状态, 确保施工过程的安全性和环保性。大数据分析为施工管理提供科学依据, 优化资源配置和施工进度安排。装配式施工和模块化建造技术的推广, 减少现场作业量, 降低对环境的干扰。清洁能源设备如电动机械和氢能工具的使用, 减少碳排放, 推动施工过

程的低碳化。智能化管理平台整合各项技术,实现施工全过程的精细化管理,提高施工效率和资源利用率。技术创新不仅提升了市政工程的施工水平,还为绿色施工提供了强有力的技术支撑,推动市政工程向更加环保、高效的方向发展^[1]。

1.4 可持续发展导向

可持续发展导向是市政工程绿色施工的核心理念,强调在工程建设中统筹兼顾经济、社会和环境效益。从工程规划阶段开始,注重全生命周期管理,将环保和资源节约融入设计、施工和运营维护的各个环节。通过科学规划和合理布局,减少对自然生态的破坏,施工结束后及时进行生态修复,恢复场地原有功能。绿色施工不仅关注工程建设本身,还注重提升城市环境质量,改善居民生活条件,促进社会和谐发展。在经济效益方面,通过资源高效利用和技术创新,降低施工成本,提高工程质量和耐久性,实现长期经济效益最大化。可持续发展导向的绿色施工,为市政工程提供了一种兼顾环境保护、资源节约和社会效益的实践路径,推动城市建设向更加绿色、智能和可持续的方向迈进,为未来城市发展奠定坚实基础。

2 市政工程绿色施工策略

2.1 资源优化与节约管理

资源优化与节约管理是市政工程绿色施工的核心环节,旨在通过科学规划和精细化管理实现资源的高效利用,减少浪费。在施工前期,需进行详细的资源需求分析,制定合理的资源使用计划,确保材料、能源和水资源的合理配置。施工过程中,采用预制构件和模块化施工技术,能够有效减少现场材料损耗,提升施工效率。推广使用可再生材料和节能设备,如高强度钢材和低能耗机械,有助于降低资源消耗。实时监控资源消耗情况,及时调整施工方案,确保资源利用的最优化。通过建立资源管理系统,对材料采购、存储和使用进行全程跟踪,减少不必要的浪费。实施资源回收和再利用措施,如建筑垃圾的分类处理和再生利用,能够进一步降低资源消耗。资源优化与节约管理不仅能够降低施工成本,还能减少对环境的影响,推动市政工程向更加可持续发展的方向发展^[2]。

2.2 环境保护与污染控制

环境保护与污染控制是市政工程绿色施工的重要组成部分,旨在减少施工活动对生态环境的负面影响。施工过程中,需采取严格的防尘措施,如设置防尘网、定期洒水降尘,有效降低扬尘污染。针对噪声污染,合理安排施工时间,使用低噪声设备,并在施工现场设置隔音屏障,减少对周边居民的影响。废水处理方面,

需建立完善的排水系统,对施工废水进行沉淀、过滤和净化处理,确保达标排放。建筑垃圾的管理同样关键,通过分类收集、回收利用和无害化处理,减少垃圾填埋量,降低对土地资源的占用。引入环境监测系统,实时监控施工现场的空气质量、噪声和废水排放情况,确保各项指标符合环保标准。通过实施绿色施工技术,如雨水收集系统和生态护坡,进一步减少对自然环境的破坏。环境保护与污染控制不仅能够改善施工环境,还能提升工程的社会效益,为城市可持续发展提供有力支持。

2.3 技术创新与智能化应用

技术创新与智能化应用是推动市政工程绿色施工的重要驱动力,通过引入先进技术和智能设备,能够显著提升施工效率和质量,同时减少对环境的影响。BIM(建筑信息模型)技术的应用,实现了施工过程的数字化模拟与优化,有效避免了资源浪费和施工冲突。无人机技术的引入,为施工现场的实时监控和精准测量提供了高效工具,提升了数据采集的准确性和效率。智能化设备的广泛应用,如自动化施工机械和智能监测系统,不仅降低了人力成本,还提高了施工的安全性和环保性。绿色施工技术的推广,如太阳能发电系统和雨水收集装置,减少了对传统能源的依赖,促进了资源的可持续利用。通过大数据分析和物联网技术,对施工过程中的能耗、排放和资源使用进行实时监控与优化,进一步提升了绿色施工的管理水平。技术创新与智能化应用为市政工程绿色施工提供了强有力的技术支撑,推动了工程建设向更加高效、环保和智能的方向发展^[3]。

2.4 人员培训与环保意识提升

人员培训与环保意识提升是市政工程绿色施工管理的关键环节,旨在通过系统化的教育和实践,使施工人员充分理解并践行绿色施工理念。定期组织环保知识讲座和技能培训,帮助施工人员掌握绿色施工技术和方法,提升其环保意识和操作水平。通过案例分析和工作坊形式,结合实际施工场景,深化对绿色施工规范的理解和应用。建立激励机制,对在绿色施工中表现突出的个人和团队进行表彰和奖励,激发全员参与的积极性。在日常施工管理中,强化环保监督和反馈机制,确保绿色施工措施得到有效落实。通过持续的教育和实践,施工人员的环保意识逐步内化为自觉行动,推动绿色施工理念贯穿于工程建设的各个环节。人员培训与环保意识提升不仅能够提高施工质量和效率,还能为城市可持续发展培养更多具有环保责任感的专业人才。

3 市政工程绿色施工实践创新途径

3.1 数字化与智能化管理

数字化与智能化管理是市政工程绿色施工的重要创新途径,通过引入先进技术和智能设备,显著提升了施工效率和质量,同时减少了对环境的影响。BIM(建筑信息模型)技术的应用,实现了施工过程的数字化模拟与优化,有效避免了资源浪费和施工冲突。无人机技术的引入,为施工现场的实时监控和精准测量提供了高效工具,提升了数据采集的准确性和效率。智能化设备的广泛应用,如自动化施工机械和智能监测系统,不仅降低了人力成本,还提高了施工的安全性和环保性。通过大数据分析和物联网技术,对施工过程中的能耗、排放和资源使用进行实时监控与优化,进一步提升了绿色施工的管理水平。数字化与智能化管理为市政工程绿色施工提供了强有力的技术支撑,推动了工程建设向更加高效、环保和智能的方向发展,为城市可持续发展奠定了坚实基础^[4]。

3.2 绿色材料与技术应用

绿色材料与技术应用是市政工程绿色施工的核心实践方向,通过推广使用可再生材料和节能设备,显著降低了资源消耗和环境污染。高强度钢材和环保型混凝土的应用,不仅提升了工程结构的耐久性,还减少了传统材料的生产和使用对环境的影响。低能耗机械和太阳能发电系统的引入,减少了对传统能源的依赖,促进了资源的可持续利用。模块化施工技术的采用,减少了现场施工对环境的干扰,提升了施工效率和质量。雨水收集系统和生态护坡技术的应用,进一步优化了水资源利用和生态环境保护。通过引入先进的绿色施工技术,如再生沥青和环保涂料,有效降低了施工过程中的碳排放和污染物排放。绿色材料与技术应用为市政工程绿色施工提供了切实可行的解决方案,推动了工程建设向更加环保和可持续的方向发展,为城市生态环境的改善做出了积极贡献。

3.3 环境监测与污染控制

环境监测与污染控制是市政工程绿色施工的关键环节,旨在通过科学管理和技术手段,减少施工活动对生态环境的负面影响。建立完善的环境监测系统,实时监控施工现场的空气质量、噪声和废水排放情况,确保各项指标符合环保标准。采取严格的防尘措施,如设置防尘网和定期洒水降尘,有效降低扬尘污染。针对噪声污染,合理安排施工时间,使用低噪声设备,并在施工现场设置隔音屏障,减少对周边居民的影响。废水处理方面,需建立完善的排水系统,对施工废水进行沉淀、过滤和净化处理,确保达标排放。建筑垃圾的管理同样关键,通过分类收集、回收利用和无害

化处理,减少垃圾填埋量,降低对土地资源的占用。引入绿色施工技术,如雨水收集系统和生态护坡,进一步减少对自然环境的破坏。环境监测与污染控制不仅能够改善施工环境,还能提升工程的社会效益,为城市可持续发展提供有力支持。

3.4 资源优化与循环利用

资源优化与循环利用是市政工程绿色施工的重要实践方向,旨在通过科学规划和精细化管理,实现资源的高效利用和循环再生。在施工前期,进行详细的资源需求分析,制定合理的资源使用计划,确保材料、能源和水资源的合理配置。在施工过程中,采用预制构件和模块化施工技术,能够有效减少现场材料损耗,提升施工效率。推广使用可再生材料和节能设备,如高强度钢材和低能耗机械,有助于降低资源消耗。实时监控资源消耗情况,及时调整施工方案,确保资源利用的最优化。通过建立资源管理系统,对材料采购、存储和使用进行全程跟踪,减少不必要的浪费。实施资源回收和再利用措施,如建筑垃圾的分类处理和再生利用,能够进一步降低资源消耗。资源优化与循环利用不仅能够降低施工成本,还能减少对环境的影响,推动市政工程向更加可持续的方向发展,为城市生态环境的改善做出积极贡献^[5]。

4 结束语

市政工程绿色施工不仅是环境保护和资源节约的具体实践,更是推动城市可持续发展的重要途径。通过科学规划、技术创新和精细化管理,绿色施工在减少环境污染、提高资源利用效率的同时,也为城市生态改善和社会效益提升提供了有力支持。未来,随着数字化、智能化技术的广泛应用,绿色施工将进一步推动市政工程向更加高效、环保和可持续的方向发展,为构建绿色、智能、宜居的城市环境奠定坚实基础。

参考文献:

- [1] 严超.市政工程施工技术与质量管理策略分析[J].城市建设理论研究(电子版),2025(07):190-192.
- [2] 黄梅清.绿色节能环保技术在市政工程施工中的应用研究[J].智能建筑与智慧城市,2024(12):100-102.
- [3] 冯驹.绿色节能环保技术在市政工程施工中的应用研究[J].智能建筑与智慧城市,2024(12):103-105.
- [4] 杨旭明,侯剑钊.市政工程施工节能环保技术的应用分析[C]//《中国建筑金属结构》杂志社有限公司.2024新质生产力视域下智慧建筑与经济发展论坛论文集(四).西安市南郊市政设施养护管理有限公司,2024.
- [5] 陈晓艺.绿色施工管理在市政工程施工质量管理中的应用[J].中华民居,2024,17(04):29-31.

泵站施工中的围堰技术与基坑支护研究

张玉良

(化隆回族自治县水利局, 青海 海东 810900)

摘要 泵站工程是水利水电工程建设的重要组成部分, 其施工质量与安全直接影响工程的长期稳定运行。在泵站工程施工中, 围堰与基坑支护是保证工程顺利实施的关键。围堰技术主要用于截流, 为泵站的建设创造干地施工条件; 基坑支护技术是指通过对基坑周边环境进行支护、补强、防护等措施来保证基坑的安全。随着工程技术的不断进步, 其研究与应用也越来越广泛。本文认为对泵站施工围堰及支护技术进行系统研究, 在提高施工效率、保证施工安全、优化资源配置等方面具有重要的理论与实际意义。

关键词 水利水电工程; 泵站施工; 围堰技术; 基坑支护

中图分类号: TV67

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.14.039

0 引言

围堰与基坑支护是泵站工程中最基本也是最关键的两项施工工艺。围堰的主要功能是截流, 并为泵站工程提供干地作业环境。基坑支护技术在基坑开挖过程中既能保证基坑的稳定与安全, 又能防止土体坍塌、地下水倒灌, 还能保护周围环境不受破坏。围堰与基坑支护技术的选择与应用应从工程地质条件、施工环境、工程规模及造价等方面进行综合考虑。合理运用这些工艺, 不仅能保证施工安全, 而且能有效地提高施工效率与质量。因此, 对泵站施工围堰及基坑支护技术进行深入研究, 对提高水利水电工程建设水平具有重要意义。

1 围堰技术类型及其适用性分析

1.1 土围堰技术

土围堰是一种比较传统的地基围堰, 一般用当地的粘土或砂性土进行填筑。施工过程比较简单, 造价也比较低廉。土围堰适用于浅水(一般不超过2米), 流速较慢, 且地质条件良好(如粘土、粉质粘土等)区域。在施工过程中, 应对河床底部的杂物、淤泥等进行清理, 然后由岸侧开始, 分层回填土料, 厚度控制在30~50厘米之间, 采用小型压实机械压实, 保证围堰的稳定。土围堰的坡降通常是根据土质及围堰高度来确定的, 对于粘性土, 内坡比降一般取1:0.5~1:1, 外坡比降为1:1~1:1.5^[1]。

1.2 土石混合围堰技术

土石混合围堰兼具土围堰与石围堰的优点。围堰上游面、坡脚等易受水流冲刷影响较大的部位, 采用块石、碎石等材料进行防冲加固; 为了保证围堰的防渗效果, 在围堰内填充土料。此项技术可应用于2~4

米、流速较大的工程现场。在施工过程中, 先抛填块石作为地基, 块石粒径一般在30厘米以上, 再铺一层土工织物, 防止土料流失, 再进行填筑压实。土石混泥土围堰边坡一般按1:1.5~1:2进行, 背水面一般采用1:1~1:1.5的方式进行^[2]。

1.3 钢板桩围堰技术

钢板桩围堰是由带锁口或钳口的热轧钢板桩组合而成的封闭式围堰。钢板桩因其高强、耐久性好、施工快捷等优势, 特别适合在深水(5~10米)和砂性土、粉土、粉质土等复杂地质条件下使用。施工时, 将钢板桩从岸边运到桩位, 用振动锤或液压锤逐根打进河床, 并对钢板桩的垂直度进行控制, 偏差一般在1%以内。钢板桩间的锁口应紧扣, 锁口应涂上黄油或其他密封材料, 以提高防水能力。钢板桩围堰一般采用工字钢或H型钢支护, 其支护间距应根据围堰尺寸及受力情况进行合理布置。

1.4 钢筋混凝土板桩围堰技术

钢筋混凝土板桩围堰是一种新型的围堰结构形式。板桩在工厂内预制, 质量容易控制, 耐久性能好。钢筋混凝土板桩可按工程要求选用矩形或T型截面。采用打桩机将板桩打入土中, 用樨槽将板桩连接起来。为加强围堰整体性, 在板桩上设置钢筋混凝土冠梁。钢筋混凝土板桩围堰内支撑体系与钢板桩围堰相似, 但由于板桩本身具有更大的刚度, 所以支撑间距可以适当增加。

2 围堰施工流程及关键技术要点

2.1 施工前准备工作

围堰施工前, 要对施工现场的地形、地质和水文条件进行详细调查。同时, 为建设工程提供必要的材料、

设备、人员。原材料方面,保证土料、石料、钢板桩、钢筋混凝土板桩等符合设计要求。设备方面,配有高质量打桩机、振动锤、挖土机、装载机、压实机等设备。通过技术交底、安全培训等方式,让施工人员熟悉施工过程及安全防范措施。

2.2 围堰定位与基础处理

土围堰及土石混合围堰施工时,应先对地基做好处理,将淤泥、杂物等软弱层清除干净,遇到局部较深的坑,则采用砂石或灰土回填夯实。对于钢板桩、钢筋混凝土板桩围堰,为了保证桩的稳定性,在打桩前应先将桩位整平。

2.3 围堰填筑或打桩施工

土围堰及土石混合围堰应按分层填筑,分层压实原则进行填筑。在施工过程中,要对围堰边坡、顶面高程进行检查,并及时调整。通常采用逐根法或筛网法进行沉桩,虽然施工速度较快,但容易引起桩身倾斜;筛网法虽然能保证桩身的垂直度,但施工速度较慢。在灌注桩时,应密切注意桩的入土量及垂直度,如有问题应及时改正。

2.4 围堰防渗处理

土围堰、土石混合围堰可在迎水面铺设土工膜,土工膜铺设应平整无褶皱,搭接宽度不得小于 100 毫米,采用焊接或粘接方法连接。对于钢板桩、板桩围堰,除保证锁口、榫槽密封外,还可以在围堰内侧涂以膨润土泥浆等防渗材料。围堰施工结束后,要检查防渗效果,可以通过注水试验等方法,发现渗漏要及时进行封堵。

2.5 围堰拆除

泵站主体工程完工后,需要将围堰拆掉。一般来说,拆除顺序和施工顺序相反,先拆内支撑系统,后拆围堰主体。土围堰、土石混合围堰采用挖掘机等机械设备直接开挖;对于钢板桩、钢筋混凝土板桩围堰,可用振动锤等设备进行拔桩。在拆除时,应注意保护周围环境及已建工程,防止对周围环境造成破坏。

3 基坑支护技术原理与分类

3.1 重力式挡土墙支护技术

重力式挡墙是一种以自身自重为基础,抵抗基坑侧壁土压力的支护形式,其材质多为块石、砼或钢筋砼。该方法适用于较浅(一般不超过 5 米),周围有开阔场地和良好的土壤条件^[3]。为提高稳定性,重力式挡墙一般采用梯形断面,并增加墙体底部宽度。施工过程中,先开挖地基,再分层浇筑或砌筑墙体,墙后

回填应分层压实,防止回填过程中回填墙侧压力过大。

3.2 悬臂式支护结构技术

悬臂支护结构主要包括悬臂钢板桩和悬臂钢筋混凝土桩,悬臂式钢筋混凝土桩是常用的支护结构形式。悬臂钢板桩具有施工简便、桩速快等优点,但其刚度偏小;悬臂钢筋混凝土桩具有刚度大、变形小等优点,但施工技术比较复杂。在施工过程中,应进行桩基施工,对钢筋混凝土桩进行灌注,并确保桩身混凝土浇筑质量,且垂直度偏差在 1% 以内。为加强支护结构整体性,在桩基施工结束后,对桩顶进行处理,并设置冠梁。

3.3 内支撑支护结构技术

内支撑支护结构是指在基坑内设置水平支撑系统,将侧壁的土压力传递给支护,再由支护向周围土体或基础传递。内支撑系统可以用工字钢、H 型钢等钢支撑,也可以用钢筋混凝土支撑。在施工过程中,先对围护结构(如地下连续墙、钻孔桩等)进行施工,再根据基坑开挖的进度,按顺序安装内支撑。安装内支撑时,应确保安装位置准确、连接牢固,施加预应力时,应严格控制拉紧程度,使其偏差不大于设计值的 5%。

3.4 锚杆支护技术

锚杆支护是指在基坑侧壁钻孔,在钻孔中插入锚杆,灌注水泥浆,使锚杆和土体连成一体,为基坑提供锚固力,从而达到稳定基坑的目的。锚杆支护是一种常用的支护结构形式,适用于土质良好,地下水位较低的基坑支护。在施工过程中,需要先进行钻孔,钻孔的深度应满足设计要求,且偏差在 50 毫米以内。为保证锚杆与土体紧密结合,应及时注浆,注浆压力一般为 0.5 ~ 1.0 MPa^[4]。

4 基坑支护施工工艺与质量控制要点

4.1 施工前准备

为施工准备材料,如钢筋、水泥、钢、砂、石料等,保证材料的质量。对钻机、混凝土搅拌机、吊车等施工设备进行调试,确保设备正常工作。通过技术交底、安全培训等方式,让施工人员熟悉施工过程及质量控制要点。

4.2 围护结构施工

对于重力式挡墙,在地基开挖、墙砌筑或浇筑阶段,需按设计要求进行。块石挡墙施工时,应注意块石强度、砌筑质量、灰缝饱满、表面平整。对于悬臂、内支撑等支护结构,如灌注桩、地下连续墙等,应严格控制桩位偏差及垂直度。在钻孔灌注桩施工中,应注意泥浆配制及使用,以确保孔壁的稳定。在地下连续墙施

工中,应严格控制槽段垂直度及接头质量,采用锁口管、工字形接头等措施保证墙体的整体性。

4.3 内支撑与锚杆施工

内支撑施工时,应按设计要求制作、安装支架。钢支撑安装应确保节点连接牢固,施加预应力时应使用专用千斤顶及压力表,以保证预应力值的准确。在施工过程中,应注意钢筋绑扎及混凝土浇筑质量,待支撑达到设计强度后方可开始下一道工序。锚杆的钻孔必须垂直,深度要符合设计要求。为提高锚杆锚固力,可采用二次灌浆法。

4.4 基坑开挖与监测

基坑开挖应遵循“分层、分段、先支后开挖,严禁超挖”的原则,并对基坑工程进行分析研究。按设计要求分层开挖,每层不能超过2米。基坑开挖时,应及时埋设内支撑,或采用锚杆支护,以防止基坑长期暴露。同时,还要对基坑边坡的位移、沉降和地下水的变化情况进行实时监测。监测频率视基坑开挖深度及施工进度而定,一般在开挖初期每日监测1~2次,随开挖深度增加可适当提高监测频次。

4.5 质量验收

基坑支护工程竣工后,必须对其进行质量检验。验收内容主要包括围护结构的尺寸、强度、垂直度,内支撑及锚杆的安装质量,预应力的施加,基坑的位移与沉降监测等。验收标准应按有关建筑规范及设计规范进行。对不符合质量要求的部位,应立即进行整改,整改完毕后,再重新验收,保证基坑支护工程的质量,为泵站施工创造一个安全、可靠的工作环境。

5 围堰与基坑支护技术协同应用及案例分析

5.1 案例一:某小型泵站施工

某小型泵站位于河道边坡1.5米处,地质条件属于粉质粘土,可采用土围堰与重力式挡墙联合支护的施工工艺^[5]。采用土围堰法,将河床清理干净后,用本地粘土分层填筑,压实度达90%以上,并在此基础上进行填筑。围堰顶宽为2米,内侧为1:1,外侧为1:1.5;围堰完工后,开始开挖基坑,基坑周围用块石砌筑重力式挡墙,底宽1.2米,顶宽0.6米,高3米。墙后留有2米宽的排水孔。施工期间对围堰及基坑支护进行监测,无明显位移、沉降现象,泵站主体工程顺利完成,效果显著。

5.2 案例二:某中型泵站施工

某中型泵站地处城郊,水深4米,地质条件属砂性土,地下水水位偏高。在工程实践中,采用钢板桩围堰与内撑联合支护技术。采用拉森钢板桩作为围堰,

长12米,桩顶标高偏差小于0.8%。围堰合拢后,开始施工内支撑,内支撑为H型钢,间距为3米。对基坑开挖进行实时监测,根据基坑变形情况,对内支撑预应力进行实时调整。同时,采用在围堰内壁涂刷膨润土泥浆的方法,对钢板桩围堰进行了防渗处理。最后,通过现场试验,验证该技术在复杂地质水文条件下的可行性与有效性。

5.3 案例三:某大型泵站施工

某大型泵站位于8米深的滨海地区,上覆淤泥质土层,下覆砂性土层,地质情况复杂,采用了钢筋砼板桩围堰与锚碇联合施工工艺。钢板桩采用打桩机打入地下,桩长为15米^[6]。在板桩的上部安装一根钢筋混凝土的冠梁。在此基础上,进行长10米、间距2米的锚杆施工。施工期间,对围堰及基坑支护进行全面的位移、沉降和应力监测。根据监测数据,及时调整锚杆张拉应力及施工进度,为工程建设提供依据。通过项目的实施,解决泵站在复杂地质条件下的施工难题,保证工程的质量与安全。

6 结束语

在泵站施工过程中,围堰与基坑支护技术是保证施工安全,提高施工效率,实现资源优化配置的关键。围堰技术是一种行之有效的截流、挡水措施,为泵站建设创造有利条件;基坑支护技术是一种既能保证基坑支护结构稳定,又能保证周围环境安全的支护技术。未来,随着施工工艺的不断完善和工程实践的不断积累,围堰及基坑支护技术将向科学化、精细化、高效率方向发展。可结合先进的监测技术与智能施工管理,使围堰与基坑支护技术在水利水电工程建设中发挥更大的作用,为我国水利水电工程的高质量可持续发展提供强有力的支撑。

参考文献:

- [1] 吴辉.深基坑水中承台引孔钢板桩围堰施工技术研究[J].运输经理世界,2021(32):7-9.
- [2] 赵超,吕金浩.高压喷射注浆法在围堰止水中的应用[J].工程质量,2021,39(10):53-56.
- [3] 朱曙光.深水基坑支护结构施工的监理控制技术[J].运输经理世界,2021(28):116-118.
- [4] 吴云鹏,陈明华,成定林,等.深水库区咬合桩围堰施工技术研究与监测分析[J].公路,2021,66(06):127-132.
- [5] 冯玉松.大型桥梁深基坑支护施工方案比选[J].交通世界,2021(11):97-98,102.
- [6] 罗毅,王建新,彭琦,等.海域双排钢板桩围堰与明挖基坑变形特性分析[J].水利与建筑工程学报,2021,19(01):34-38,101.

高压电缆敷设中的施工工艺与质量控制研究

张 晨

(芜湖市城市电力安装有限公司, 安徽 芜湖 241000)

摘 要 为探究高压电缆敷设中的施工工艺与质量控制问题, 需对高压电缆敷设展开研究。本文探讨了高压电缆敷设的基本工艺流程、主要技术要求及常见敷设方法与技术, 发现存在电缆材料质量控制、施工技术、接头及终端质量控制等难点, 并针对这些难点提出了加强材料进场检验监控、优化施工技术、强化接头与终端施工质量、严格执行质量监督与验收制度等对策, 旨在对保障高压电缆敷设工程质量有所裨益。

关键词 高压电缆敷设; 施工工艺; 质量控制; 电缆材料

中图分类号: TM8

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.14.040

0 引言

随着社会用电需求的不断增加, 高压输电在电力系统中的地位越来越重要。作为电力输送的重要载体, 高压电缆的敷设质量对供电的稳定和可靠起着至关重要的作用。但是, 高压电缆的铺设是一个非常复杂的工程, 涉及的环节多, 技术要求高。施工过程中, 电缆材质参差不齐, 施工技术难题频发, 接头和终端质量难以控制, 严重影响电缆敷设质量, 威胁电网安全稳定运行。因此, 深入研究高压电缆敷设中的施工工艺与质量控制意义重大。

1 高压电缆敷设施工工艺

1.1 高压电缆敷设的基本工艺流程

高压电缆敷设的基本工艺流程涵盖多个紧密相连的环节。首先是施工准备阶段, 需对施工现场进行全面勘察, 包括路径走向、地形地貌以及周边环境等, 同时准备好所需的电缆、敷设设备及各类施工工具, 并确保其质量合格。其次是进行电缆沟或隧道的挖掘与搭建, 严格按照设计要求控制其尺寸、坡度和深度, 为电缆敷设提供安全稳定的通道。再者是电缆的吊运与下放, 利用专业的起重设备, 依据电缆的规格和重量, 合理规划吊运路线, 在吊运过程中保持平稳, 避免电缆受到碰撞或扭曲, 缓慢将电缆放入预先准备好的电缆沟或隧道内。在电缆就位后, 进行固定与整理, 按照一定的间距使用电缆夹具将电缆牢固固定, 确保电缆排列整齐、无交叉缠绕现象。最后是进行电缆的连接与密封, 采用先进的连接工艺, 保证接头的电气性能和机械强度, 完成连接后对电缆终端和接头部位进行严密的密封处理, 防止水分和杂质侵入。

1.2 高压电缆敷设的主要技术要求

高压电缆敷设有着严格的主要技术要求。在电缆选型方面, 必须根据实际的输电容量、电压等级以及敷设环境等因素, 精准选择合适规格和型号的电缆, 确保其载流量、绝缘性能等满足工程需求。对于敷设路径, 要尽量选择直线且短的路径, 减少弯曲和转角, 以降低电缆的敷设难度和运行损耗。在弯曲半径控制上, 不同类型的高压电缆有各自规定的最小弯曲半径, 敷设过程中务必保证电缆的弯曲半径始终大于该最小值, 否则会损坏电缆内部的绝缘结构。在电缆的固定方面, 固定点的间距要符合规范要求, 且固定方式要牢固可靠, 防止电缆在运行过程中因振动或热胀冷缩而发生位移。在接地技术上, 高压电缆的金属护套和屏蔽层必须进行可靠接地, 以确保人身安全和电缆的正常运行, 接地电阻要严格控制在规定范围内。此外, 对施工环境的温度和湿度也有一定要求, 通常需在适宜的温湿度条件下进行敷设, 避免环境因素对电缆绝缘性能造成不良影响。

1.3 常见的敷设方法与技术

常见的高压电缆敷设方法与技术多样。直埋敷设是较为常用的方式, 先挖好电缆沟, 在沟底铺设一层软土或砂层, 将电缆放入后再覆盖一层软土或砂层, 并加盖保护板, 最后回填土并夯实。这种方法施工简单、成本较低, 适用于电缆条数较少、土壤条件较好且对地面景观要求不高的区域。电缆沟敷设则是在地下砌筑电缆沟, 电缆敷设在沟内的支架上, 沟顶设置盖板。该方法便于电缆的维护和检修, 可容纳多条电缆, 常用于厂区、城市街道等场所。电缆隧道敷设是建造专

门的隧道，将电缆敷设在隧道内的支架或桥架上，隧道具有良好的通风、排水和防火性能，能满足大量电缆的敷设需求，适用于城市中心区域等对电缆敷设要求较高的地段。此外，还有架空敷设技术，通过电线杆或铁塔将电缆架空悬挂，具有施工方便、成本低、便于维护等优点，但对周边环境有一定影响，一般用于郊区或农村等空旷地带。

2 高压电缆敷设中的质量控制难点

2.1 电缆材料的质量控制问题

高压电缆敷设工程中，不能忽视材料的质量控制。首先要从采购环节入手，目前市面上的电缆原料供应商很多，质量也很不稳定，有些商家以次充好，供应的电缆存在着导体材料不纯，绝缘材料性能不合格的情况。而施工企业在采购过程中，如果缺少对供应商进行严格地筛选和质量检查，很容易采购到不合格的材料^[1]。在电缆在运输过程中，由于保护不当，受到碰撞、挤压等外力的影响，可能会造成绝缘层的损伤，但这些损伤在外表上是很难被发现的。电缆运抵工地后，若储存环境恶劣，如长时间处于潮湿、高温的环境中，将加速电缆材料的老化，降低其使用性能。另外，由于施工现场管理不规范，在使用过程中可能会出现错用、混用电缆材料等现象，严重影响了电缆的敷设质量。

2.2 施工过程中的技术难题

高压电缆敷设施工过程存在诸多技术难题。在复杂地形条件下，如山地、河流等区域，精确规划电缆敷设路径困难重重，既要考虑地形对电缆敷设难度的影响，又要确保电缆安全且符合设计要求。在施工时，电缆的展放操作若控制不当，易导致电缆扭曲、拉伸过度，从而破坏电缆内部结构。对于大截面电缆，其重量大、刚性强，敷设时需要大型设备和专业技术，若设备性能不足或操作人员经验欠缺，很难保证敷设质量。同时，在狭小空间内进行电缆敷设，作业空间受限，施工人员操作不便，难以对电缆进行精细调整和固定。而且，在施工过程中，还需考虑与其他地下管线、建筑物等的交叉跨越问题，若处理不当，可能引发安全事故，也会影响电缆的长期稳定运行。

2.3 接头及终端的质量控制问题

接头及终端的质量控制问题是高压电缆敷设的关键难点。接头制作过程要求极高的工艺水平，任何细微失误都可能引发严重后果。比如，导体连接时若接

触不紧密，会导致电阻增大，运行中产生过多热量，加速接头老化甚至引发故障。绝缘处理环节，如果绝缘材料涂抹不均匀、厚度不符合要求，或者在处理过程中混入杂质，都会降低接头的绝缘性能，增加漏电风险。在终端制作方面，密封效果至关重要，一旦密封不严，水分和杂质容易侵入，腐蚀电缆导体和绝缘层，严重影响电缆终端的使用寿命^[2]。而且，接头和终端在安装完成后，需要进行严格的电气性能测试，若测试流程不规范、测试设备精度不够，可能无法及时发现潜在质量问题，这些隐患在电缆投入运行后，极有可能引发电力事故，威胁整个供电系统的安全稳定运行。

3 解决高压电缆敷设施工难点的对策

3.1 加强材料的进场检验与监控

为解决高压电缆敷设施工中材料方面的难点，必须加强材料的进场检验与监控。在材料进场前，施工单位应建立严格的供应商审查机制，详细考察供应商的生产资质、信誉口碑以及过往产品质量情况，优先选择行业内有良好声誉、具备完善质量管控体系的供应商。材料到货后，要进行全面的外观检查，查看电缆外皮是否有破损、划伤，标识是否清晰完整，确保电缆外观无明显缺陷。同时，针对电缆的关键性能指标，如导体电阻、绝缘电阻、绝缘厚度等，采用专业检测设备进行抽样检测，严格按照相关国家标准和行业规范进行判定。对于绝缘材料，还需进行绝缘性能测试，评估其在不同环境条件下的电气性能稳定性。在材料存储期间，应设置专门的材料存放区域，保持环境干燥、通风良好，并配备温湿度监测设备，实时监控存储环境，防止因环境因素导致材料性能下降^[3]。此外，要建立材料使用追溯体系，详细记录每批材料的使用部位、使用时间等信息，以便在发现质量问题时能够快速溯源，及时采取措施。通过加强材料从采购到使用全过程的检验与监控，从源头上保障电缆敷设施工质量。

3.2 优化施工技术，确保施工精度

优化施工技术是解决高压电缆敷设施工难点的关键。面对复杂地形，施工前应借助先进的地理信息系统（GIS）和卫星定位技术，对敷设路径进行精确测绘和规划，充分考虑地形起伏、地质条件以及周边障碍物等因素，制定出最为合理且安全的路径方案。在电缆展放过程中，引入智能电缆展放设备，通过自动化控制系统精确调节电缆的展放速度和张力，避免电缆扭曲或拉伸过度，同时配备专业的技术人员实时监测

电缆的状态,一旦发现异常立即停止操作进行调整。对于大截面电缆敷设,选用大功率、高精度的专用敷设设备,并对操作人员进行专项培训,使其熟练掌握设备的操作技巧和大截面电缆敷设的技术要点,确保施工过程中电缆的敷设质量。在狭小空间作业时,研发和使用小型化、灵活轻便的施工工具,如可折叠式电缆支架、微型电缆固定装置等,以方便施工人员操作,提高电缆在狭小空间内的敷设精度。针对与其他地下管线、建筑物交叉跨越的情况,施工前要详细查阅相关资料,准确掌握周边管线和建筑物的位置信息,采用非开挖施工技术,如定向钻、顶管等,减少对周边设施的影响,确保施工安全和电缆长期稳定运行。通过不断优化施工技术,提高施工精度,有效克服高压电缆敷设施工过程中的技术难题。

3.3 强化接头与终端的施工质量管理

强化接头与终端的施工质量管理对于保障高压电缆敷设质量至关重要。在接头制作前,对施工人员进行严格的技术培训和考核,确保其熟练掌握接头制作工艺的每一个步骤和技术要求,只有考核合格的人员才能参与施工。施工过程中,严格控制施工环境,保持操作区域的清洁、干燥,避免杂质混入接头制作过程。在导体连接环节,采用先进的连接工艺和设备,如液压连接、焊接等,确保导体连接紧密,接触电阻符合标准要求。绝缘处理时,选用优质的绝缘材料,并按照规定的工艺和厚度要求进行均匀涂抹,涂抹完成后使用专业检测设备进行绝缘性能测试,确保绝缘质量达标^[4]。对于电缆终端制作,要高度重视密封环节,采用可靠的密封材料和密封工艺,确保终端密封严密,防止水分和杂质侵入。制作完成后,对接头和终端进行全面的电气性能测试,包括耐压试验、局部放电测试等,使用高精度的测试设备,严格按照测试标准和流程操作,确保测试结果准确可靠。同时,建立接头与终端施工质量追溯档案,详细记录施工人员、施工时间、使用材料以及测试数据等信息,以便后续对施工质量进行跟踪和分析。通过强化接头与终端的施工质量管理,有效提升高压电缆接头和终端的质量,降低运行故障风险。

3.4 严格执行施工质量监督与验收制度

严格执行施工质量监督与验收制度是确保高压电缆敷设施工质量的有力保障。在施工过程中,组建专业的质量监督团队,配备经验丰富、技术过硬的质量监督人员,对施工现场进行全方位、全过程的监督。

质量监督人员要严格按照施工图纸、技术规范和质量标准,对每一道施工工序进行细致检查,如电缆敷设的路径、深度、固定方式等是否符合要求,发现问题及时要求施工人员整改,并跟踪整改情况,确保问题得到彻底解决。对于隐蔽工程,在隐蔽前必须进行严格的验收,只有验收合格后方可进行下一道工序施工^[5]。在工程竣工后,按照相关验收标准和规范,组织专业的验收团队进行全面验收。验收内容包括电缆的电气性能测试、外观检查、施工资料审查等^[6]。电气性能测试要确保各项指标符合设计要求和行业标准,外观检查要查看电缆敷设是否整齐、接头和终端是否密封良好、标识是否清晰等,施工资料审查要核实施工过程中的各项记录是否完整、准确。对于验收不合格的项目,明确整改要求和期限,督促施工单位及时整改,整改完成后再次进行验收,直至工程质量完全符合要求。通过严格执行施工质量监督与验收制度,从制度层面保障高压电缆敷设工程的质量^[7]。

4 结束语

高压电缆敷设施工工艺涵盖基本流程、技术要求与多种敷设方法。其质量控制面临材料、施工技术 & 接头终端等难点。通过加强材料检验监控、优化施工技术、强化接头与终端管理及严格执行质量监督验收制度等对策,能有效提升敷设质量。未来,随着技术不断进步,应持续探索更先进工艺与质量控制手段,进一步保障高压电缆敷设工程的安全、高效与稳定运行。

参考文献:

- [1] 贾大东. 高压变电站电缆敷设路径优化及热效应分析[J]. 电工技术, 2025(01):200-202.
- [2] 张杨, 马家宸. 新时期高压输电电缆敷设方式的选择分析[J]. 电工技术, 2024(S2):84-86.
- [3] 王炼兵, 孟欣, 林立兴, 等. 高压 XLPE 电缆敷设中的智能测量装置设计[J]. 电子技术, 2024, 53(10):252-253.
- [4] 吴政. 高压电缆敷设技术在城市电力工程中的应用研究[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2024(27):4-6.
- [5] 郑提大. 电力工程建设中高压电缆敷设安装的施工与管理措施[J]. 流体测量与控制, 2024, 05(04):95-98.
- [6] 吴侨思. 110 kV 高压电缆敷设施工方案与技术措施研究[J]. 电工技术, 2023(18):173-175.
- [7] 庄璐, 郭峰, 尹力文, 等. 综合管廊内高压电缆蛇形敷设的研究[J]. 冶金自动化, 2022, 46(S1):85-88.

建筑工程施工中的环境保护措施研究与实践

徐 招

(安徽华筑建设工程有限公司, 安徽 合肥 230000)

摘 要 本文探讨了建筑工程施工中的环境保护措施, 涵盖噪声控制、扬尘控制、废水与固废处理、生态保护与土地节约等方面, 并提出了低噪声设备选型、施工时间规划、扬尘在线监测、废水处理工艺选择、建筑垃圾分类、生态恢复与绿化、土地高效利用等措施, 分析了政策法规、技术创新、监管与激励机制等保障机制的重要性。这些措施和机制共同构成环保工作的框架, 以期为施工单位提供操作指南。

关键词 建筑工程; 环境保护; 噪声控制; 扬尘控制; 废水处理

中图分类号: TU7

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.14.041

0 引言

随着城市化进程的加速, 建筑工程项目如雨后春笋般涌现, 为社会发展注入了强大动力。然而, 建筑工程施工活动在推动城市建设的同时, 也对环境产生了不可忽视的影响。噪声、扬尘、废水及固废污染, 以及对生态的破坏和土地资源的占用, 成为当前建筑工程施工环境问题的主要方面。这些问题不仅影响了周边居民的生活质量, 也对生态环境造成了长远的损害。因此, 研究建筑工程施工中的环境保护措施具有重要的现实意义。

1 建筑工程施工中的环境问题分析

1.1 施工噪声污染

施工噪声是建筑工程施工中最直接且显著的环境问题之一。它主要来源于施工机械的运行、材料的搬运与加工、以及爆破作业等。这些噪声不仅具有高强度、连续性强的特点, 而且往往伴随着施工进度地推进而持续存在, 对周边居民的生活和工作造成了极大的干扰。长期暴露在高噪声环境下, 不仅会影响人们的听力健康, 还可能引发神经衰弱等健康问题。此外, 施工噪声还会干扰周边学校的正常教学秩序, 影响学生的学习效率。

1.2 施工扬尘污染

施工扬尘是建筑工程施工中的另一大环境问题。在土方开挖、材料堆放、运输及装卸等过程中, 都会产生大量的扬尘。这些扬尘不仅降低了施工现场的空气质量, 还会随风飘散到周边区域, 对大气环境造成污染。扬尘中含有大量的颗粒物, 如PM_{2.5}、PM₁₀等, 这些颗粒物对人体健康具有极大的危害, 长期吸入可能导致呼吸道疾病、心血管疾病等健康问题。同时,

扬尘还会附着在建筑物、植被和道路表面, 影响城市的美观度和卫生状况。

1.3 施工废水与固废污染

施工废水主要来源于施工过程中的冲洗、排水和雨水径流等。这些废水中含有大量的悬浮物、油脂、重金属和有机污染物等, 如果不经妥善处理直接排放, 会对周边水体造成严重的污染。施工固废则主要包括建筑垃圾、废弃材料、包装物等。这些固废不仅占用大量的土地资源, 还会在堆放和运输过程中产生二次污染, 如扬尘、渗滤液等。如果处理不当, 施工固废还可能成为城市垃圾填埋场和焚烧厂的负担, 对环境造成长期影响。

1.4 施工对生态破坏与土地占用

建筑工程施工往往伴随着对原有生态环境的破坏和土地资源的占用。在土方开挖、基础施工等阶段, 会破坏地表植被和土壤结构, 导致水土流失和生态失衡。同时, 施工活动还会占用大量的土地资源, 包括耕地、林地、草地等, 对当地的生态环境和农业生产造成不利影响。此外, 施工过程中的临时设施、材料堆放场等也会占用一定的土地资源, 并在施工结束后留下难以恢复的痕迹。这些都对当地的生态环境和可持续发展构成了威胁。

2 建筑工程施工中的环境保护措施研究

2.1 噪声控制措施

1. 低噪声设备选型与隔音技术应用。在建筑工程施工中, 环境保护至关重要, 其中噪声控制是重要一环。为有效减少施工噪声对周边环境的影响, 需从源头抓起, 优先选用低噪声的施工设备, 如低噪声的混凝土搅拌机、切割机等, 从根源上降低噪声产生。同时,

积极应用隔音技术,在设备周围设置隔音屏障、为设备加装隔音罩等,阻断噪声传播路径。通过低噪声设备选型与隔音技术的综合应用,能显著降低施工噪声分贝,减少对周边居民生活和工作的干扰,营造相对安静、和谐的施工环境,实现绿色施工目标^[1]。

2. 施工时间规划与噪声监测制度。合理安排施工时间也是降低噪声污染的有效手段。施工单位应尽量避免在夜间和午休时间进行高噪声作业,以减少对周围居民休息和生活的影响。同时,应建立严格的噪声监测制度,实时监测施工现场的噪声水平,并采取相应的措施进行控制和调整。对于靠近声敏感点的施工区域,晚间(19:00~22:00)严禁高噪设备施工,午间(12:00~14:00)及夜间(22:00~6:00)禁止一切产噪设备施工。若因特殊需要必须进行夜间施工的,施工单位必须提前向当地环境保护主管部门申报施工日期和时间,并在周围居民点张贴告示,经环境保护主管部门批准后方可进行夜间施工。

2.2 扬尘控制措施

1. 施工现场封闭与洒水降尘。在建筑工程施工中,扬尘污染也是不容忽视的问题。为了有效控制扬尘,施工现场应进行封闭管理,设置围挡和防尘网,以减少扬尘的传播范围。同时,洒水降尘也是一项有效的措施。在开挖、钻孔等施工过程中,应洒水使作业面保持一定的湿度;对施工场地内松散、干涸的表土、施工便道等应定期进行清扫和洒水,保持道路表面清洁和湿润。此外,还应加强对运输车辆的管理,采取密闭措施,避免在运输过程中散落物料造成扬尘污染。

2. 扬尘在线监测与预警系统。随着科技的进步,扬尘在线监测与预警系统已经广泛应用于建筑工程施工中的环境保护。该系统通过传感器实时监测施工现场的扬尘浓度,并将数据传输至监控平台进行分析和处理。一旦扬尘浓度超过设定的阈值,系统就会发出预警信号,提醒施工单位及时采取降尘措施。这种智能化的监测和预警方式不仅提高了扬尘控制的效率,还降低了人工监测的成本和风险。同时,通过数据分析和处理,还可以为施工单位提供科学的决策依据,进一步优化施工扬尘控制措施^[2]。

2.3 废水与固废处理措施

1. 施工废水处理工艺选择。在建筑工程施工中的环境保护措施研究里,废水处理是关键环节之一。对于施工废水处理工艺的选择,需综合考虑废水特性、处理成本及环境影响等因素。常见的处理工艺有物理处理法,如格栅、沉淀池等,可去除废水中的悬浮物和大颗粒杂质;化学处理法,通过添加化学药剂使污

染物发生化学反应,生成沉淀物或无害物质;生物处理法,利用微生物的代谢作用分解废水中的有机污染物。在实际施工中,通常会将多种工艺组合使用,以达到更好的处理效果。例如先采用格栅和沉淀池进行初步处理,再通过化学或生物方法进一步净化。合理选择施工废水处理工艺,能有效减少废水对周边水体的污染,保护水资源环境,实现建筑工程施工与环境保护的协调发展。

2. 建筑垃圾分类与资源化利用途径。建筑垃圾是建筑工程施工中不可避免产生的固废。为了实现资源的循环利用和减少环境污染,需要对建筑垃圾进行分类和资源化利用。建筑垃圾主要包括废混凝土、废砖瓦、废木材等。通过分类收集和处理,可以将这些废弃物转化为可再生资源^[3]。例如:废混凝土和废砖瓦可以经过破碎、筛分等工艺处理后,作为再生骨料用于道路基层铺设、混凝土制品生产等领域;废木材则可以经过加工处理,制成木塑复合材料、生物质燃料等。此外,还可以将建筑垃圾中的金属、塑料等可回收物质进行分离和回收,进一步提高资源利用率。为了实现建筑垃圾的资源化利用,需要建立完善的分类收集、运输和处理体系,同时加强政策引导和市场监管,推动建筑垃圾的资源化利用产业发展。

2.4 生态保护与土地节约措施

1. 施工生态恢复与绿化方案。施工活动往往会对周边生态环境造成一定程度的破坏,因此需要在施工结束后进行生态恢复。生态恢复的主要措施包括植被恢复、土壤改良等。植被恢复可以通过种植本地植物、建立人工湿地等方式进行,以提高生态系统的稳定性和生物多样性。土壤改良则是通过添加有机肥、改良土壤结构等方式,提高土壤的肥力和保水能力。此外,还可以在施工区域周围设置绿化带,以吸收空气中的污染物、减少噪声和美化环境。为了确保生态恢复效果,需要制定详细的绿化方案,并加强施工过程中的生态监测和管理。

2. 土地高效利用与施工后恢复规划。在建筑工程施工过程中,应充分利用土地资源,实现土地的高效利用。这包括合理规划施工布局、优化施工方案等措施,以减少对土地的占用和破坏。同时,在施工结束后,还需要制定详细的恢复规划,确保土地能够尽快恢复到原有的生态功能和利用状态。恢复规划应包括土地整理、土壤修复、植被重建等内容,以确保土地资源的可持续利用。为了实现土地的高效利用和施工后的恢复规划,需要加强规划和管理力度,建立完善的监管机制,确保各项措施得到有效落实。同时,还需要

加强宣传教育,提高施工人员的环保意识和责任感,共同推动建筑工程施工中的环境保护工作。

3 环境保护措施的实践策略与保障机制

3.1 政策法规与标准体系

1. 环境保护相关法律法规解读。环境保护相关法律法规是建筑工程施工领域环保工作的基础和依据。这些法律法规不仅明确了施工单位的环保责任和义务,还规定了环保工作的具体要求和标准。因此,深入解读这些法律法规,对于施工单位准确理解和把握环保政策,确保施工活动符合环保要求具有重要意义。施工单位应定期组织员工学习相关法律法规,提高员工的环保意识和法律意识,确保施工活动在合法合规的轨道上运行。

2. 施工环保标准与评价体系构建。为了量化评估施工活动的环保效果,需要构建完善的施工环保标准与评价体系。这一体系应包括施工过程中的环保指标、监测方法、评价标准等内容。通过定期监测和评估施工活动的环保效果,可以及时发现和纠正环保工作中存在的问题,推动环保工作的持续改进和优化。同时,施工环保标准与评价体系的构建还有助于提升施工单位的环保管理水平,树立企业的良好形象。

3.2 技术创新与推广应用

1. 环保新技术、新材料的应用研究。技术创新是推动环保工作发展的重要动力。在建筑工程施工领域,应积极研究和应用环保新技术、新材料,以提高施工活动的环保性能和效率。例如:采用低噪声、低排放的施工设备和工艺,使用可再生、可降解的建筑材料等。这些新技术和新材料的应用不仅可以减少施工活动对环境的污染和破坏,还可以提高施工质量和效率,降低施工成本^[4]。因此,施工单位应加大技术创新和研发投入,积极推广和应用环保新技术和新材料。

2. 环保技术交流与培训机制建立。为了促进环保技术的交流与推广,需要建立完善的环保技术交流与培训机制。这一机制应包括定期组织环保技术交流会、研讨会等活动,邀请专家学者和行业同仁共同探讨环保技术的最新进展和应用前景;同时,还应开展环保技术培训活动,提高施工人员的环保技术水平和操作能力。通过技术交流与培训机制的建立,可以促进环保技术的快速传播和广泛应用,推动建筑工程施工领域的环保工作不断向前发展。

3.3 监管与激励机制

1. 环保监管体系与责任追究机制。为了确保环保工作的有效实施和落地,需要建立完善的环保监管体

系与责任追究机制。这一体系应包括环保监管机构的设置、监管职责的明确、监管流程的优化等内容。同时,还应建立责任追究机制,对违反环保法律法规和标准的施工单位进行严肃处理,确保环保工作的严肃性和权威性。通过环保监管体系与责任追究机制的建立,可以形成有效的环保监管合力,推动环保工作的深入开展^[5]。

2. 环保激励政策与奖惩措施设计。为了激发施工单位参与环保工作的积极性和主动性,需要设计合理的环保激励政策与奖惩措施。这些政策与措施可以包括环保专项资金支持、税收优惠、环保荣誉表彰等激励措施;同时,还应建立严格的环保奖惩制度,对环保工作表现突出的施工单位给予表彰和奖励,对环保工作不力的施工单位进行处罚和曝光。通过环保激励政策与奖惩措施的设计与实施,可以形成有效的环保激励机制,推动施工单位积极参与环保工作,共同推动建筑工程施工领域的环保事业不断向前发展。

4 结束语

建筑工程施工中的环境保护工作是一项系统工程,需要施工单位从多个方面入手,采取综合措施,确保施工活动对环境的负面影响降到最低。通过实施有效的噪声控制、扬尘控制、废水与固废处理以及生态保护与土地节约等措施,可以显著提升施工活动的环保性能和效率。同时,建立完善的政策法规与标准体系、推动技术创新与推广应用、加强监管与激励机制建设等保障机制的落实,也为环保工作的深入开展提供了有力支撑。未来,随着环保意识的不断提升和技术的不断进步,建筑工程施工领域的环保工作将迈上新的台阶,为实现可持续发展目标贡献更多力量。

参考文献:

- [1] 刘妍弟.房屋建筑工程施工中的绿色节能施工技术解析[J].中国建筑装饰装修,2024(04):90-92.
- [2] 杜祥成,徐雅倩,贾利艳.房屋建筑工程施工现场环境保护与节能降耗控制[J].陶瓷,2022(04):126-128.
- [3] 李孝霞.房屋建筑工程施工现场环境保护及节能降耗控制措施分析[J].皮革制作与环保科技,2021,02(13):175-176.
- [4] 丁玲.房屋建筑工程施工现场环境保护以及节能降耗控制措施分析[J].中国设备工程,2021(04):238-239.
- [5] 李远胜.房屋建筑工程施工现场环境保护以及节能降耗控制措施[J].冶金与材料,2020,40(03):132-133.