

科海故事博览

KEHAI GUSHI BOLAN

(旬刊·1993 年创刊)

2025 年 5 月 第 15 期 (总第 604 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 25 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、印刷权和电子版（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 基于纳米涂层的灯具外壳自清洁技术研究
..... 瞿宏伟, 吴胜红, 陈叶烜
- 004 激光加工技术在工程机械制造中的应用探讨
..... 张宝芬
- 007 光纤激光切割设备安装调试与维护保养要点
..... 丁晓丽
- 010 热电偶在高温环境下的测量精度与误差分析
..... 徐 涛, 吴 亮, 邹子涵
- 013 永磁同步电机在高效能驱动系统中的应用研究
..... 顾华杰, 朱吉安, 徐 旌

智能科技

- 016 计算机网络病毒传播模型构建及应用
..... 罗东林, 刘 颖
- 019 5G+ 云网融合在新质生产场景中的应用
..... 钟 铭, 程 迪
- 022 基于激光扫描的建筑结构测量方法研究
..... 王 欣, 赵佳兴, 张 乐
- 025 无人机技术在山地光伏电站施工中的应用
..... 付秋云, 孔 禹, 林 杰, 胡益民, 张 涛
- 028 公路路基填筑施工智能监测与质量控制研究
..... 杨 维
- 031 电气自动化在无纬布成型设备中的应用与优化
..... 刘 群, 田洪庆

应用技术

- 034 公路隧道不良地质段施工处理技术
..... 李 鑫
- 037 建筑工程地基质量检测技术应用探析
..... 孙 标
- 040 市政道路排水管道顶管施工技术应用分析
..... 王 梅

目录Contents

043	建筑施工中防水防渗施工技术的应用探究.....	钱 康
046	建筑工程中深基坑支护施工技术的应用分析.....	李永娟
049	沉箱预制技术在航道港口码头施工中的应用.....	甘 雨
052	模板工程施工技术在建筑工程中的应用与质量控制.....	吴 刚, 段二敏
055	不同地基处理方法对软土地基沉降特性的影响分析.....	刘红锋, 康利鑫
058	软基处理技术在市政道路路基工程施工中的应用分析.....	丁 翔

科创产业

061	建筑环境与设备工程节能施工措施探析.....	张小孟, 姜建昊
064	BIM 技术在医疗建筑节能改造中的应用.....	陈 铭
067	建筑节能设计对能源消耗的影响及优化策略.....	张明琦, 张燕峰
070	高速铁路信号系统运维分层架构模型的设计.....	卻书旺
073	基于 BIM 技术的建筑工程全生命周期成本控制研究.....	陈 昂
076	大数据及数字化实验室技术在石油石化专业检验中的应用探究.....	李清岭
079	隧道开挖中数码雷管与导爆索协同赋能光面爆破技术效能研究.....	金 超

技术管理

082	建筑电气安全管理与故障排查技术研究.....	李德洪, 卢明水, 付晖敏, 黎 强
085	工业与民用建筑施工质量管理策略探析.....	郑伯伦
088	建筑工程监理中安全管理的有效措施探讨.....	饶 红
091	公路双导梁架桥机施工安全管理控制探讨.....	张巨伟
094	建筑工程安全管理中多维度风险防控策略分析.....	魏 皓
097	道路桥梁施工中的安全风险分析与防控对策.....	钱立明
100	水利工程遭遇地质滑坡后的工程设计变更思考.....	李琦韵
103	基于精益建设理念的绿色建筑工程施工质量管理模式分析.....	冯修正, 苏玉玉

科学论坛

106	高速公路路面病害检测技术研究.....	徐 凯
109	房建工程钢筋绑扎与安装施工技术研究.....	张冬萍
112	电力燃气设施在道路改造中的优化布局.....	林东贺, 袁宗保
115	高层建筑水箱减压装置的应用与优化研究.....	周国杰
118	高层建筑给排水施工技术难点与优化对策研究.....	祝嗣伸, 马玉笑
121	基于物联网的水资源实时监测与调度技术研究.....	李晶莹, 岳云奎
124	建筑工程大体积混凝土裂缝成因及控制技术研究.....	李 梅

基于纳米涂层的灯具外壳自清洁技术研究

瞿宏伟, 吴胜红, 陈叶烜

(浙江尧亮照明科技有限公司, 浙江 绍兴 312300)

摘要 本文聚焦于纳米涂层在灯具外壳自清洁技术方面的研究, 指出纳米涂层可有效降低污垢附着情况, 提升灯具的使用寿命以及光效, 通过对涂层微观结构的调控, 形成亲水性或者疏水性特性, 促使污物可轻易地被水流带走, 并对涂层材料的选择、性能、应用工艺以及自清洁性能测试方法展开研究分析, 结果表明, 经过优化的纳米涂层在不同环境条件下呈现出良好的自清洁效果。

关键词 纳米涂层; 灯具外壳; 自清洁技术; 涂层性能

中图分类号: TB383; TS956

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.15.001

0 引言

随着环境污染以及气候变化不断加剧, 传统灯具所面临的维护成本以及光效衰减问题变得日益严峻, 为提升灯具的耐用程度并且降低维护成本, 研究人员开始探索自清洁技术在灯具外壳方面的应用^[1]。纳米涂层凭借其出色的表面特性, 如疏水性或者亲水性, 可有效避免污垢附着, 并且借助雨水或者水流实现自清洁效果。本文探讨纳米涂层在灯具外壳上的应用优势、材料选择、工艺优化以及自清洁测试方法, 以期对灯具外壳提供一种可持续的清洁解决办法。

1 纳米涂层自清洁涂技术在灯具外壳上的应用优势

由于环境因素不断变化, 灯具长时间暴露在户外, 容易遭受雨水、灰尘以及污染颗粒的侵蚀, 使光衰加速且维护成本提高, 合理选择涂层材料, 能让其拥有出色的疏水性或者亲水性, 使污染物难以附着或者更容易被水流冲刷干净, 和传统清洁方式不同, 自清洁涂层依靠表面能调控技术, 在不额外消耗能源的情况下维持灯具外壳的清洁状态。自清洁特性不仅能减少人工维护的频率, 还可以降低清洁剂的使用量, 减少化学物质对环境的影响。纳米涂层的广泛运用为灯具的耐久性和功能性提升提供了新的解决方法, 在复杂环境中依旧可保持良好的光学性能。

2 纳米涂层的材料选择与性能分析

2.1 洁纳米涂层的主要材料

应用于自清洁技术的纳米涂层要拥有特殊的表面特性, 让污染物不容易附着或者便于去除。二氧化钛凭借其优良的光催化性能, 被大量运用在亲水性自清洁涂层中, 经紫外线照射可分解有机污染物并且降低

表面能, 使水在表面形成均匀水膜, 带走污垢, 含氟聚合物因其表面能极低, 经常被用于疏水性涂层, 在形成稳定薄膜后可让水滴呈球形状态滚落, 携带灰尘和颗粒物离开表面。二氧化硅纳米颗粒可构建粗糙的微纳结构, 借助物理效应提高涂层的疏水特性, 还可以提供额外的耐磨性。复合型材料融合了无机纳米颗粒和有机聚合物的优势, 在维持良好自清洁能力的同时具有更高的附着力和耐久性。材料的选择需全面考量环境适应性、耐候性以及制造成本, 保证长期稳定的自清洁效果^[2]。

2.2 亲水性与疏水性涂层的作用机制

亲水性涂层一般是通过降低表面能, 促使水在涂层表面延展成为均匀的水膜, 在遭遇雨水冲刷或者空气湿度相对较高的环境情况下, 有机污染物以及灰尘可随着水流从表面脱离。光催化技术可对这一效果起到强化的作用, 涂层在紫外光的作用之下可分解污染物, 减少附着残留, 疏水性涂层依靠超疏水表面结构, 使水滴在接触表面时保持较大的接触角, 如此形成滚珠效应, 把附着于表面的灰尘以及颗粒带离。微纳结构的构建对于疏水性能而言非常关键, 借助控制纳米颗粒的排列方式, 可形成空气层, 降低水与固体表面的接触面积, 提高疏水效果。两种不同机制的涂层适用于不同的应用环境, 亲水性涂层在频繁暴露于光照的区域会表现得更为出色, 而疏水性涂层在少雨或者高污染环境更具优势^[3]。

2.3 纳米涂层的耐候性与稳定性

长期用于户外环境的纳米涂层需要拥有较高耐候性, 以此应对复杂气候条件给材料性能造成的影响, 紫外线辐射有可能使涂层材料出现降解, 影响表面结

构的完整性。光催化材料在持续照射时容易产生光腐蚀现象,使自清洁功能降低,湿度和温度发生变化可能引发涂层膨胀收缩,造成附着力下降甚至出现裂纹,影响长期使用寿命。在酸雨、工业污染等环境中,材料要有较强的抗腐蚀能力,以防表面性能下降,选择合适的纳米填料和高分子基底,可提升材料的抗老化能力,让涂层在长时间使用后依旧保持稳定的微观结构。优化施工工艺也可提高耐久性,合理的固化和交联方式可以提高材料的内部结合力,使其在极端环境下仍然维持优异的自清洁性能。

3 纳米涂层在灯具外壳自清洁技术中的应用工艺

3.1 灯具外壳表面预处理技术

表面预处理直接决定了涂层与基底材料间的结合力,金属或者灯具外壳等物体经常存在油污、氧化层以及表面不均匀等情况,使涂层粘附性降低,对自清洁性能产生影响。化学清洗方式可将油污和氧化物去除,借助酸洗或者碱洗工艺,可提高表面活性。物理打磨或者喷砂处理可以提高表面粗糙度,让涂层在结构上达成机械嵌合。等离子体处理技术在改善表面能时会形成活性基团,提高颗粒与基底的结合效果。合理控制表面清洁度、粗糙度以及活性,可提高涂层的附着力与耐久性,让后续工艺更稳定。

3.2 纳米涂层的制备工艺

溶胶-凝胶法属于一种被广泛运用的技术,该方法是在液态前驱体当中引入纳米颗粒,经过水解以及缩合反应形成均匀的涂层。喷涂工艺可实现大面积涂布的效果,对喷涂压力、速度以及喷嘴角度加以控制,可对涂层厚度以及均匀度进行有效调节^[4]。旋涂法适用于在平滑表面制备精密涂层,借助离心力把纳米溶液均匀铺展于基底之上,形成致密的薄膜结构,热固化和紫外固化工艺可提升涂层的稳定性,还可以提高其抗磨损以及耐候性,表1为不同制备工艺对涂层性能的影响,其中涉及涂层厚度、附着力以及表面粗糙度等参数。合理选择制备工艺并对参数进行优化,可在保证自清洁效果的同时提升涂层的耐候性以及机械强度。

表1 不同纳米涂层制备工艺对性能的影响

制备工艺	涂层厚度 (nm)	附着力 (MPa)	表面粗糙度 (nm)	自清洁效果
溶胶-凝胶法	100 ~ 500	8 ~ 12	5 ~ 10	优良
喷涂工艺	200 ~ 800	6 ~ 10	15 ~ 20	良好
旋涂工艺	50 ~ 300	10 ~ 15	3 ~ 8	优良
热固化法	300 ~ 700	9 ~ 14	8 ~ 12	良好

3.3 纳米涂层的施工方法

涂层的施工工艺会对涂层的均匀性以及附着力产生直接影响,喷涂工艺借助高压喷枪把纳米溶液均匀地雾化,让其覆盖于灯具表面,依靠对喷嘴角度以及喷射速度进行调整,可对厚度和粒子分布加以控制。涂涂工艺是把灯具外壳完全浸入纳米溶液中,然后缓慢提升,使得涂层均匀地附着在基材表面。采用喷涂技术可利用电场作用,让带电颗粒在灯具表面形成稳定且致密的涂层,在施工时,要严格控制环境湿度与温度,防止涂层因挥发速度过快而出现气泡或者裂纹。

3.4 纳米涂层的固化与稳定化工艺

固化以及稳定化工艺通过恰当的温度以及时间控制,推动纳米颗粒于基底表面构建紧密结合。热固化工艺借助高温烘烤,让涂层中的溶剂充分挥发,提高纳米颗粒间的化学交联。紫外光固化工艺凭借特定波长的紫外光照射,使光敏剂生成自由基,触发聚合反应,形成高强度涂层。等离子体处理技术可以在低温环境中,激发纳米颗粒表面活性,并且提高其与基底的物理和化学结合。在固化过程中,通过精确控制温度梯度以及固化时间,可防止涂层收缩和开裂,提升耐候性以及自清洁效果。

4 纳米涂层自清洁性能测试

4.1 自清洁性能测试方法

自清洁性能的评估覆盖了多种实验手段,不同的测试方法可获取涂层在各异污染环境下的表现。接触角测量可直观地呈现表面润湿性,测定水滴在涂层表面的接触角大小,可判断其是否有出色的疏水性或者亲水性,较小的接触角意味着涂层更易于形成均匀的水膜,而较大的接触角则有利于水滴迅速滚落,减少污染物的残留。水滴滚动角测试可验证表面的抗污能力,当水滴在倾斜角度较小时便能滚落,说明表面具有良好的自清洁特性。污染物附着实验是模拟真实使用环境的方法,常见的测试包括粉尘、油污以及泥水污染,在实验过程中,将污染物均匀地撒布或者喷洒到涂层表面,随后用水冲洗并记录污染物的去除率。

光学显微镜与扫描电子显微镜用于观察污染物在表面的粘附状态以及涂层微观结构的变化,分析自清洁效果是否受到表面形貌的影响。耐候性试验箱用于模拟紫外线照射、高温高湿等环境,测量涂层长时间暴露后性能的变化,评估其稳定性,实验数据可借助图像处理软件对污渍去除率进行定量分析,并且结合多次重复试验提升数据的可靠性。通过对不同测试方法的综合分析,可准确地评估涂层的自清洁能力,为优化工艺提供可靠的依据^[5]。

4.2 实验变量与环境影响因素

影响纳米涂层自清洁性能的因素包括材料自身性质、涂层制备工艺以及外部环境状况等方面。涂层配方中纳米颗粒的类型、浓度以及分散均匀程度决定了表面微观结构,影响疏水性或者亲水性。表面粗糙度对接触角有着重要作用,微米级与纳米级结构共同发挥作用可形成超疏水或者超亲水界面,让涂层拥有更出色的自清洁性能。外部环境条件对涂层自清洁效果也会产生直接影响,空气湿度的改变会影响水滴在涂层表面的铺展行为,影响污染物的去除能力,温度变化会影响涂层的物理化学特性,比如在低温环境中,水滴可能会结冰,使污染物难以去除。而在高温环境下,部分有机污染物可能更容易被降解,紫外线照射对含有光催化材料的涂层影响较为明显,在适量紫外线作用下,光催化效应可降解表面有机污染物,提升自清洁能力。在实验设计阶段,通过控制单一变量,保持其他条件不变,可以剖析不同因素对自清洁效果的影响,实验数据需要结合统计分析方法来处理,保证不同环境因素对涂层性能影响的可重复性和可靠性,优化配方和施工工艺。

4.3 不同工艺参数对自清洁性能的影响

施工工艺对纳米涂层的自清洁性能有着决定性的作用,如喷涂方式、固化温度以及涂层厚度等因素。在喷涂过程中,压力和喷嘴类型会对涂层表面的均匀性产生影响,不同的喷涂方式会改变纳米颗粒的排列,使表面形成各异的微观结构。涂层厚度是影响自清洁性能的一个关键参数,较薄的涂层可能无法形成完整的微观结构,而过厚的涂层则有可能降低表面的疏水性或者亲水性,影响自清洁效果。固化温度决定了涂层的稳定性以及表面形态,合适的固化温度可提高纳米颗粒的结合力,提高机械强度以及耐候性。实验数据说明,固化温度在 80℃ 时,污渍去除率为 60%,提高到 100℃ 时,去除率达到 85%,而在 120℃ 时,去除率提升至 92%,具体情况如表 2 所示。

表 2 不同固化温度对纳米涂层自清洁性能的影响

固化温度 (°C)	接触角 (°)	污渍去除率 (%)
80	45	60
100	25	85
120	15	92

实验得出的结果显示,相对较高的固化温度对提升自清洁性能会有一定帮助,然而如果温度过高的话,有可能对涂层的性能产生影响。在选择参数时,要把自清洁能力和耐久性综合起来考量,以此获取最为优良的性能。

4.4 试验结果分析

通过对不同实验变量以及工艺参数展开测试分析,可较为全面地了解纳米涂层的自清洁性能。接触角测试所得结果显示,表面微观结构对润湿性存在影响,带有纳米颗粒提高的涂层呈现出更为优异的疏水性或者亲水性。污渍去除实验的数据说明,喷涂压力、固化温度以及表面修饰技术都会对污染物的清除能力造成影响。耐候性实验说明,涂层在长时间的紫外线照射以及高湿度环境中依旧可维持稳定的自清洁特性。污染物附着实验说明,经过优化处理的涂层在油污和污染环境中都呈现出较高的去污效率。优化后的纳米涂层于各种环境条件下都有优异的自清洁性能,为外壳的长期使用提供了保障^[6]。

5 结束语

纳米涂层的灯具外壳自清洁技术能减少污垢附着、延长灯具使用寿命、提高光效,选择适宜的纳米涂层材料并优化涂层工艺,可有效提升涂层自清洁性能。实验结果表明,纳米涂层在复杂环境下能保持稳定自清洁效果,减少人工维护频率,降低清洁成本,此技术为灯具行业提供了高效且环保的解决办法。

参考文献:

- [1] 杨建卫,王忠明.纳米自清洁涂层在光伏电站的应用研究[J].山西电力,2022(06):29-31.
- [2] 董慧芬,刘嘉祺.助航灯具干冰清洗多目标参数混合优化[J].表面技术,2022,51(06):390-398.
- [3] 薛鹏飞,张艳彬.光伏纳米双成膜涂层自清洁材料研究[J].计量与测试技术,2022,49(04):9-12.
- [4] 王雨桐,吴明明,张静,等.光热杂化粒子基超疏水防霜涂层及多功能应用[J].印染,2025,51(02):49-53.
- [5] 解迎千,胡华友,吴云来,等.纳米涂层光伏组件的清洗效果及清洗周期研究[J].太阳能,2024(09):97-104.
- [6] 李正强.光伏纳米涂层检测方法研究[J].计量与测试技术,2022,49(05):51-54.

激光加工技术在工程机械制造中的应用探讨

张宝芬

(济南锦鸿机械有限公司, 山东 济南 250000)

摘要 在工程机械制造精度与效率需求越来越高的今天, 激光加工技术具有高能量密度、非接触式加工、精密加工能力以及材料适应性广等特点, 已成为这一领域中一种重要的技术手段。本文论述了激光加工技术所具有的高能量密度特性、非接触加工优点、精密加工能力和加工材料广泛等核心特点, 对激光精密打孔、切割、焊接、熔覆和增材制造在机械制造方面的具体运用进行了详细的分析, 并对激光加工技术发展趋势进行了预测, 指出装备小型化和集成化、功能多元化和复合化以及控制智能化和数字化等将是今后的重点发展方向。

关键词 激光加工技术; 工程机械制造; 精密加工; 高能量密度; 非接触加工

中图分类号: TG665; TH16

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.15.002

0 引言

激光加工技术是现代制造业中的一项重要内容, 由于具有高精度、高效率和非接触性加工的特点, 已在航空航天、汽车电子和生物医学等诸多领域显示出广阔的应用前景。在科学技术不断进步以及市场需求不断变化的情况下, 激光加工技术迎来了全新的发展契机和挑战。激光加工技术不断革新, 必将进一步促进工程机械制造向着高效、精密、智能化的方向迈进。本文将分析激光加工技术发展近况, 从设备设计、功能拓展、控制智能化及数字化等方面论述激光加工技术研究进展, 旨在为促进制造业向智能化转型及高质量发展提供有益借鉴。

1 激光加工技术的核心特征

1.1 高能量密度特性

激光加工技术在工程机械制造及其他诸多领域中显示出巨大应用潜力的原因, 高能量密度特性毫无疑问是其中的核心。这一特点使激光束能在最小的时空内放出大量能量以达到高效准确地处理。具体地说, 激光束能量密度极高, 能快速地把光能转换为热能或者机械能, 在被加工材料中起到强局部作用。这种局部高温或者高压环境使物料在极短时间内产生熔化、汽化乃至分解的物理或者化学变化, 以达到切割、打孔和焊接等各种加工目标^[1]。同时, 激光束聚焦特性使它的能量得以准确控制, 从而显著提高了加工精度。另外, 高能量密度特性也使激光加工技术具有很强的穿透力与切割能力。就工程机械制造而言, 这一特点使激光加工技术可以很容易地处理金属、陶瓷和其他

多种复杂而又坚硬的物料, 从而达到高效而准确的加工目的^[2]。

1.2 非接触式加工优势

激光加工技术还有一个显著优点, 就是它具有非接触式加工方式。这一特点使激光束可以通过能量传递达到精确加工材料而无需与被加工物料直接接触。该非接触式加工方式在避免传统机械加工中由于刀具磨损、切削力过大而造成加工误差及表面损伤的同时, 也极大地提升了其灵活性及适用范围。以激光束为能量载体进行非接触式加工时采用聚焦、扫描等多种控制手段可实现被加工物料的准确控制与定位。该控制方式在保证加工精度与稳定性的前提下, 也使加工过程更灵活多样, 能适应多种复杂外形与结构加工要求^[3]。另外, 非接触式加工方式也降低了加工时的噪声、振动及热量等负面影响。这些要素的降低不但能改善加工环境的品质与安全, 而且有利于保护加工材料与装置的完整性。在工程机械制造领域中, 由于很多加工任务都要在高温、高压和强磁场的恶劣环境条件中才能完成, 所以, 这种优势就显得格外重要。激光加工技术非接触式的加工方式, 使在上述复杂环境中完成加工任务更具有可行性、效率更高。

1.3 精密加工能力

工程机械制造领域激光加工技术的精密加工能力是它备受关注的关键性能之一。这种能力表现为激光束控制精度高、微细加工能力强、加工表面质量明显提高。一是激光束高精度控制为精密加工提供了依据。通过高级激光控制系统使激光束达到微米级乃至纳米

级定位精度,以适应被加工零件大小及形状等严格要求。该高精度控制在提高加工效率的同时也保证了被加工零件尺寸的一致性与互换性,方便后续装配调试作业^[4]。二是激光加工技术微细加工能力突出。工程机械制造中常需加工零件微孔、微槽及其他微细结构。激光束由于具有高能量密度、聚焦特性等特点,能够很容易地对上述微细结构进行精密加工。

1.4 加工材料广泛性

激光加工技术表现出的加工材料的广泛性是它在工程机械制造和许多工业领域备受推崇的一个主要原因。这一特点使激光加工技术几乎可以用于各种材料中,其中包括但不仅限于金属、非金属、复合材料和新的功能材料。就金属加工而言,激光加工技术能够实现多种金属材料精确切割、焊接以及表面改性等。高强度钢、铝合金或钛合金,激光加工均可依靠其高能量密度及精确控制特性达到效率高、成本低的目的。另外,激光加工技术可应用于金属表面硬化、熔覆及合金化等加工,以改善材料耐磨性、耐腐蚀性及强度。对非金属材料及复合材料而言,激光加工技术也有突出的性能。以塑料、玻璃、陶瓷等非金属材料加工为例,激光加工能达到高精度切割、打孔、雕刻等目的。同时,激光加工技术也可应用于复合材料层间剥离、切割与修补,以适应航空航天、汽车及其他工业领域高性能复合材料要求^[5]。

2 激光加工技术在机械制造领域的应用

2.1 激光精密打孔技术

在机械制造领域,激光精密打孔技术具有高精度、高效率以及非接触式加工等特点,该技术是利用激光束能量密度高的特点,能在极短时间内实现光能到热能的转换,使材料表面产生高精度孔洞。激光精密打孔技术与传统的机械打孔方法相比有着显著优点。一是激光打孔能达到微米级精度控制并满足孔的大小、形状及位置等严格要求。这种高精度在改善产品质量与性能的同时也给后续组装与调试带来了方便。二是激光打孔技术加工效率高。由于激光束具有聚焦特性,可将能量快速聚焦到极小区域,实现快速打孔。这一特点使激光打孔技术加工数量众多或形状复杂的孔洞可以显著提高生产效率和加工成本。三是激光打孔技术还有非接触式加工等特点。这就意味着打孔时激光束不物理接触材料,避免传统机械打孔中由于刀具磨损、切削力过大造成加工误差及表面损伤。

2.2 激光切割技术

激光切割技术作为现代机械制造领域的核心加工方法,具有高精度、高效率和对材料适应性广的特点,逐渐成为许多工业应用的优选工艺。该技术是利用激光束能量密度高的特点,将激光束经聚焦镜导向待处理物料表面,从而达到对物料进行快速准确切割的目的。与传统机械切割方式相比,激光切割技术显示出其他切割方式无法比拟的优越性。一是激光切割具有极高的精度,可以很容易地达到微米级切割精度,对要求加工精度高的机械部件来说非常关键。该高精度在保证产品尺寸一致性的同时也极大地提升了整体质量与性能。二是激光切割技术加工效率异常显著。激光束具有高能量密度,在降低切割时热影响及变形情况下,使切割速度显著提高,进而提高材料利用率及加工效率。

2.3 激光焊接技术

激光焊接技术作为现代先进制造技术中的一项重要内容,由于具有高精度、高强度、低热输入以及高自动化程度的显著优点而被越来越多地应用于机械制造领域。该项技术以激光束为热源,在准确控制激光功率、焦距和焊接速度的基础上,达到了快速优质焊接物料的目的。激光焊接技术具有精度高、强度大等核心优点。激光束聚焦特性决定了焊接时能量密度极高,可在短期内使材料局部熔化以形成优质焊缝。该高精度焊接方式在保证焊缝外观质量及尺寸精度的同时,也提升了产品整体强度及耐久性,符合机械制造领域高质量焊接需求。另外,激光焊接技术具有低热输入特性,与传统焊接方法相比,激光焊接具有焊接时热影响小、降低材料热变形及残余应力等特点,使产品加工精度及稳定性得到改善。

2.4 激光熔覆技术

激光熔覆技术作为表面工程领域先进技术已逐渐成为机械制造行业改善材料性能、修复受损部件和制备特殊功能表面等方面的重要方法。该技术是以高能激光束为热源,使特定的粉末或丝材在基材表面迅速熔融和沉积,从而形成性能良好的熔覆层。激光熔覆技术最核心的优点是它可以实现材料和基材高强度的冶金结合。通过对激光束能量密度、扫描速度和熔覆材料供应等参数进行精确调控,可使熔覆层和基材紧密贴合,同时确保基材受到最低热影响。该冶金结合方式既增加了熔覆层结合强度,又保证了熔覆层和基材物理和化学性能的一致性,可延长零件使用寿命。

2.5 激光增材制造技术

以激光增材制造技术为代表的先进制造技术逐渐引领机械制造领域朝着更加高效、灵活和定制化的方向迈进。该技术利用激光束作为能量源,将粉末或者丝材材料层层堆积,直接构造三维实体零件,从而达到从设计和制造一体化的目的。激光增材制造技术具有设计自由度高、材料利用率高等核心优点。与传统的减材或者等材制造技术相比,激光增材制造不需要模具和复杂工装就可以实现对复杂几何形状零件的精确制造。这一设计在减少产品开发成本的同时,也加快了新品上市的步伐。同时,激光增材制造工艺材料利用率更高,降低材料浪费,符合绿色制造理念。

3 激光加工技术发展趋势展望

3.1 设备小型化与集成化

在科学技术不断进步、市场需求不断变化的情况下,激光加工技术发展正向着装备小型化、集成化方向发展。这一发展趋势既顺应了现代制造业高效、灵活、节能的生产要求,又促进了激光加工技术向更广泛的领域发展。设备小型化,是激光加工技术的一个主要发展方向。随着半导体激光器和其他新型光源技术的持续进步,激光器的尺寸逐步缩小,而其功率密度持续上升,使激光加工设备在体积和重量上都得到了显著的减少。小型化激光加工设备既方便携带与移动,又能在有限空间中进行高效加工作业,提升生产效率与灵活性。同时集成化又成为激光加工技术的一个重要发展趋势。通过激光加工设备及其他相关装置或系统集成,可使加工过程自动化、智能化。如激光切割设备结合自动送料系统和机器视觉系统可实现物料自动识别及精确定位并进一步提高加工精度及效率。

3.2 功能多元化与复合化

在激光加工技术不断发展的过程中,功能多元化、复合化是促进其进一步发展、扩大应用范围的关键性趋势。此趋势的目标是通过融合各种激光加工方法和其他辅助技术,达到在单一设备或系统中集成多种加工功能的目的,进而提高加工的效率、扩大其应用领域并增加加工的灵活性。功能多元化表现为激光加工设备既可以完成切割、焊接和熔覆的常规基础工作,又可以根据具体需要实现表面改性、快速原型制造和微纳加工的先进功能集成为一体。如将激光纹理化和表面合金化加工相结合,可以同步增强零件美观性和耐磨性;而激光快速原型制造和微纳加工技术集成为精密器件快速研制和制造提供了一种新的途径。这一

多元化功能设计既满足了复杂零件加工的高度需求,又推动了激光加工技术向生物医学、微电子和航空航天等高技术领域扩展。

3.3 控制智能化与数字化

在激光加工技术飞速发展过程中,控制智能化和数字化已经成为驱动其向更高方向发展的关键动力。这一发展趋势在促进激光加工工艺精确性与稳定性的同时,也大大加强了生产效率与灵活性,对现代制造业智能化转型具有有力的技术支撑作用。控制智能化主要表现为激光加工系统可以将先进传感器、机器视觉和人工智能算法等技术融合到加工过程中进行实时监控和智能调控。通过对加工过程中激光功率、扫描速度、熔池状态关键参数的收集,结合机器学习算法对数据的分析,该系统可实现工艺参数的自动调节,从而达到加工质量与效率的最优化。另外,该智能化控制系统可实现故障预警及远程诊断等功能,减少设备停运时间及维护成本,增强整个生产线运行可靠性及稳定性。数字化已经成为激光加工技术进步中的一个关键方向,它主张将激光加工完全整合进数字化的生产体系中。激光加工系统可以通过建立数字化双胞胎,实施虚拟仿真以及利用云计算和大数据等信息技术来实现加工任务的准确规划和高效实施。

4 结束语

激光加工技术发展正向着设备小型化和集成化、功能多元化和复合化、控制智能化和数字化方向发展。这些发展趋势在提高激光加工技术性能和效率的同时,还拓宽了激光加工技术应用领域,为制造业智能化转型、高质量发展提供了有力的技术支撑。未来,随着相关工艺的不断创新和更新,激光加工技术必将在更多的领域显示出独特的价值,并对我国智能制造体系建设和工业4.0进程的推进做出巨大贡献。

参考文献:

- [1] 刘鹏,李峰西.激光加工技术在农业机械制造中的发展和应用研究[J].数字农业与智能农机,2023(09):33-35.
- [2] 刘鹏,马立强,李峰西.激光加工技术在工程机械制造中的应用[J].锻压装备与制造技术,2023,58(04):61-64.
- [3] 杜帅,张成林,孙文明,等.激光微细加工技术在医疗器材领域的应用[J].光电工程,2023,50(03):176-190.
- [4] 周静.激光加工技术在机械制造中应用研究[J].农业工程与装备,2024,51(01):24-26.
- [5] 李款.现代机械加工技术在农业机械制造中的应用[J].农机使用与维修,2024(04):86-88.

光纤激光切割设备安装调试与维护保养要点

丁晓丽

(山东普雷赛斯数控设备有限公司, 山东 济南 250000)

摘要 光纤激光切割设备是现代制造业广泛应用的设备, 设备的安装调试及维护保养关系到设备的性能及使用寿命。本文从安装、调试和维护保养三个方面详细阐述了光纤激光切割设备的关键要点, 指出了安全操作规范也是保证装置平稳运行的根本, 并对光纤激光切割设备安装调试、维护保养体系与安全操作规范进行了探究, 希望能够为相关操作人员提供有益参考。

关键词 光纤激光切割设备; 安装调试; 维护保养

中图分类号: TG485

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.15.003

0 引言

随着工业技术的发展, 光纤激光切割设备由于具有高精度、高效率、高灵活性等优点而被广泛用于制造业。但是, 该装置要想长时间稳定地运行, 提高切割质量, 必须依靠科学合理的维护保养与安全操作。安装阶段需要注意场地准备、设备搬运和固定等; 调试阶段由通电前检查、通电调试和试切割参数优化组成; 日常的清洁工作、光学部件的维护、冷却系统的管理, 以及对激光器、运动系统和切割头的定期保养都是维护保养的一部分。通过科学安装调试、规范维护保养可以有效地促进设备效率、延长设备使用寿命、确保生产安全。

1 光纤激光切割设备安装要点

1.1 场地准备

光纤激光切割设备安装时需要保证安装现场有足够大的空间来容纳设备自身以及其运行需要的配套设施。这涉及设备的前后、左右和上方的空间配置, 以确保在设备的安装、调试和日常操作过程中, 操作人员能够拥有充足的活动空间, 同时也能避免设备与其他物体产生碰撞。同时, 还需要对现场承重能力作出评价, 以保证能承载设备重量和其在工作过程中动态负载^[1]。另外, 场地准备还要考虑电力供应、通风条件和安全防护措施等因素。光纤激光切割设备必须有稳定的电力供应才能保证设备正常工作。良好的通风环境有助于减少设备在运行过程中产生的热量, 并确保设备内部组件维持在正常的工作温度下。为了确保操作人员或其他相关人员不误入高风险区域并保障其人身安全, 安全防护措施涵盖了安装安全警告标志和设置防护栏等多个方面^[2]。

1.2 设备搬运与就位

设备搬运需要严格按照既定搬运方案进行, 该方案要根据设备大小、重量和搬运路径等具体情况来进行。搬运时, 要采用适当的搬运工具与装备, 如叉车、吊车等, 并且要保证操作人员有相关的专业技能与经验, 这样才能够避免在搬运时对装备造成损坏。同时要特别关注设备重心位置, 使其在搬运时保持平稳, 以免由于摇晃或者倾斜可能带来危险。设备就位即搬运过程结束和设备安装之初, 到位之前需要重新确认预订地点以保证与设备安装图纸一致, 就位时, 要使用水平仪、激光定位器及其他专业定位工具与方法来保证设备水平与垂直度符合安装标准^[3]。

1.3 设备固定与连接

光纤激光切割装置安装过程中装置固定的目的是避免装置工作时由于振动或者外力作用产生位移进而影响切割精度与安全。固定时需要根据设备重量、振动特性及运行环境等因素选择适当的固定方式与固定材料。常用的固定方式有螺栓、焊接和地脚螺栓。在固定时要保证固定点均匀分布, 固定力要适度, 以免过紧或过松对设备造成损伤或工作不稳^[4]。设备的连接包括了电气连接、液压连接、气路连接和数据传输等多个方面。电气连接需要保证电源线规格和设备要求匹配, 并且接线稳固可靠, 以免出现短路或者断路。在进行液压和气路的连接时, 必须确保管道的密封和通畅性, 以保证液压油和气体能够正常供应和排放。

2 光纤激光切割设备调试要点

2.1 设备通电前检查

在光纤激光切割装置正式通电调试前, 对装置通电前的综合检验是保证装置安全稳定工作的关键环节。

这一措施的目的是预防可能出现的安全问题，并在设备安装过程中及时识别和修正可能的失误或遗漏。通电前检查内容涉及设备物理状态、电气连接、安全防护、环境适应性等诸多方面^[6]。一是需要对设备的物理状况进行全面检查，确保设备的各个部分都完整地安装，没有任何缺陷或损坏。同时，各种紧固件，如螺栓和螺母，都应该被牢固地固定在位，以防止设备在运行过程中由于松动导致的故障。二是要对设备的电气连接进行检查，包括电源线、信号线等，确保连接是正确的、牢固的，没有裸露或损坏的情况，以避免电气短路或断路的情况发生。

2.2 设备通电调试

设备通电调试对光纤激光切割设备装好后保证功能正常和性能稳定至关重要。通电调试需专业人员指导，并严格遵守设备制造商给出的调试指南及安全操作规程。通电调试之前，需要保证各项电气连接的正确性和安全防护装置的安装位置以及功能的正常。调试时，先做空载运行试验，即未装载工件时，开动该装置、观察运行情况。在这一阶段，主要是考察设备启动、停止和急停的基本功能是否正常，同时考察各个运动部件运行轨迹、速度和加速度是否满足设计要求。同时需要密切注意设备振动、噪声等异常状况，对可能出现的故障进行及时发现和处置。然后进行负载运行测试——该装置的切割测试是在真实的加工情况下完成的。在这一阶段需要根据切割材料、厚度及其他参数对设备切割参数进行调节，如激光功率、切割速度和气体压力，才能达到最佳切割效果。

2.3 试切割及参数优化

试切割和参数优化作为光纤激光切割装置调试过程的核心，其目的在于通过实际切割操作来验证装置的切割性能和精细调整切割参数，使其达到最优的切割效果。这一阶段既考验装备自身制造精度与装配质量，又对操作人员专业技能与经验有很高的要求。在试切之前，需要根据被试切物料的类型、厚度和试切要求预先设定一套包括激光功率、试切速度、辅助气体类型与压力和焦距在内的初始试切参数。然后在安全运行环境中，开展试切割作业，对切割面质量、热影响区尺寸、切割效率和设备运行稳定性等主要指标进行观测和记录。切割面质量对切割效果有重要影响，需要保证切割边缘光滑，没有毛刺和挂渣现象；热影响区要尽量小，以降低对材料性能产生的不利影响；为了满足生产的需求，切割效率必须得到保障，同时也要确保设备的连续运作和稳定性。

3 光纤激光切割设备维护保养要点

3.1 日常维护保养

3.1.1 设备清洁及润滑

对光纤激光切割设备进行日常检修，是保证设备长期稳定工作，延长设备使用寿命的关键。其中设备清洁与润滑是日常维修中最基本的一环，对其正常工作与性能维持起着关键作用。设备清洁在日常维护保养工作中处于首要地位。该装置工作时，切割后的粉尘、金属屑等杂质易黏附于装置表面和内部零件，既会影响装置散热性能，又会使零件之间摩擦加剧，加快零件磨损速度。所以，需经常对装置进行全面清洗，其中去除切割区域残留物、擦拭装置表面和清洗散热片是使装置处于良好工作状态的重点。清洗时，要用特殊清洁剂及工具，切忌用腐蚀性、磨损性材料，以免损坏设备。在日常保养中，润滑又是一个非常重要的环节。对于光纤激光切割设备中的运动部件，如导轨和轴承，它们需要得到适当的润滑，以降低摩擦和磨损，确保其运动过程的稳定性和准确性。

3.1.2 光学元件清洁及保护

光学元件是该装置的核心部件，它的性能状态对激光束质量、聚焦效果及最终切割精度与效率都有着直接的影响。光学元件清洗工作要做到精细，避免一切会在元件表面产生划痕和腐蚀的作业。清洗时，要用特殊光学清洁布、无尘纸并辅以适量无水乙醇或者特殊光学清洁剂轻轻擦洗元件表面，避免用含研磨颗粒、腐蚀性成分清洁剂和粗糙清洁工具，防止光学表面被破坏。同时，清洁时需要保证环境洁净无尘，尽量避免在大风或者灰尘较大的环境中使用，防止二次污染。除洁净之外，对光学元件进行防护也是必不可少的。光学元件装拆过程中，需要按照严格操作规程进行操作，并采用专用工具进行操作，切忌用手直接接触元件表面以来减少指纹、油脂及其他污染物黏附。

3.1.3 冷却系统维护及水质管理

光纤激光切割设备冷却系统作为设备稳定工作必不可少的关键组件之一，它的性能好坏直接影响着设备工作效率及使用寿命。所以，定期维护冷却系统和严格管理水质是保证该装置高效可靠工作的关键。冷却系统保养主要是检查冷却液液位、清洗冷却管道，更换老化冷却介质、检查冷却泵、散热风扇工作情况等。定期对冷却液液位进行检测以保证冷却液处于指定范围是避免装置温度过高的关键。同时，要对冷却管道内杂质及沉积物进行清理，使管道处于通畅状态，有利于提高冷却效率及降低能耗。

3.2 定期维护保养

3.2.1 激光器维护保养周期

在光纤激光切割设备定期检修系统中, 激光器是该装置的核心组成部分, 激光器性能是否稳定, 使用寿命是否长, 直接关系着整个装置的性能及切割质量。激光器维护保养周期要综合考虑设备使用频率、工作环境、激光器具具体型号、厂家推荐等因素。在通常情况下, 对激光器进行维护保养主要有定期对激光器输出功率、光束质量、冷却系统工作状态及光学元件清洗与标定进行检查。这些维护保养工作要根据厂家提供的维护保养手册, 同时要根据设备的实际工作状况做适当调整。设置激光器维护保养周期需要综合考虑装置运行环境及使用工况。

3.2.2 运动系统维护保养周期

在光纤激光切割设备定期检修系统中, 运动系统是该设备能否实现精准切割的关键部分, 运动系统性能稳定准确与否直接影响切割质量与生产效率。运动系统维护保养周期要综合考虑设备使用频率、工作环境、切割材料类型、运动部件磨损程度等因素。通常, 运动系统的保养和维护工作涵盖了对导轨、轴承、传动带等运动部件磨损状况的检查, 对运动部件进行清洁和润滑, 以及对运动部件的精度和间隙进行调整等多个方面。这些维护保养工作要根据厂家提供的维护保养手册和设备的实际工作状况做适当调整。运动系统维护保养周期的设置需要充分考虑到设备使用环境及切割材料特点。如切割硬度大或者黏性大的物料时就有可能加重运动部件磨损, 所以维护保养周期需适当减少。

3.2.3 切割头维护保养周期

切割头是该装置直接完成切割任务的关键零件, 它的精度、稳定性及耐用性对切割效果及生产效率有着直接影响。切割头维护保养周期要根据设备使用频率、切割材料类型、切割工艺需要、切割头实际磨损等因素综合考虑。维修工作一般是对切割头进行清洗, 对光学元件进行检查和标定, 对喷嘴进行更换和调节, 对切割头内机械部件进行润滑和磨损检查。这些维护保养步骤都需要严格执行设备制造商给出的维护保养手册, 同时要结合设备的实际运行情况做出必要的调整与优化。设置切割头维护保养周期需要特别注意切割材料特点及切割工艺要求。在对不同材料或者厚度的物料进行切割过程中, 由于切割头磨损严重、喷嘴堵塞等原因, 其维护保养周期可能存在差异。与此同时, 当环境温度较高、湿度较大或者腐蚀性较大时, 可能

需适当减少切割头维护保养周期, 以防由于环境因素而造成其性能降低。

3.3 安全操作规范

在光纤激光切割设备运行和使用中, 光纤激光切割设备是高精度、高功率工业加工设备之一, 运行中涉及激光辐射和高压电等技术, 鉴于高速运动部件和其他多种可能的危险源, 制订并实施严格的安全操作标准尤其关键。安全操作规范应该涉及设备运行前安全检查、运行过程中安全注意事项、运行后安全处置等诸多内容。运行该装置之前, 操作人员需要对该装置进行充分的检查以证实该装置的状况良好、激光防护装置和紧急停机按钮以及其他安全设施均完好无损且效果良好。同时, 操作人员需要熟悉装置安全操作规程、了解其性能特点及潜在危险, 确保在操作过程中能够正确应对各种突发情况。在操作过程中, 操作人员需要严格按照安全操作规程进行操作, 如戴防护眼镜、防护手套以及其他个人防护装备等, 以免受到激光辐射的直接照射; 保证工作区域没有易燃易爆物品, 避免激光造成的火灾或者爆炸; 高速运动部件的运行需要保持一定的安全距离以避免碰撞或者夹伤事故的发生。

4 结束语

本文论述了光纤激光切割设备维修体系及安全操作规范, 着重阐述了设备维修及安全操作的意义。科学、合理的维护保养周期及严格的安全操作规范是保证设备长期平稳运行、提高切割质量及生产效率、减少安全风险的关键。所以, 有关操作人员要加强设备维护保养与安全操作方面的研究与实践, 并不断提升专业素养与安全意识, 从而为制造业发展尽一份力。

参考文献:

- [1] 晏芙蓉, 王晨曦, 高志远. 基于激光切割装置的结构设计与控制系统研究 [J]. 电子制作, 2024, 32(08): 101-103.
- [2] 芦洪波, 夏思明, 余磊, 等. 宽幅大厚度钢带在线激光焊接设备研制 [J]. 冶金设备, 2023(05): 58-60, 57.
- [3] 翟兆阳, 李欣欣, 张延超, 等. 基于正交试验的金属薄壁材料激光切割工艺优化 [J]. 中国机械工程, 2024, 35(07): 1279-1289.
- [4] 张建柱, 李鑫. 光纤激光切割设备安装调试与维护保养要点 [J]. 设备管理与维修, 2019(05): 34-36.
- [5] 黎兴宝, 蒋文祥, 丁庆伟, 等. 光纤激光切割机碳钢板拐角毛刺研究 [J]. 锻压装备与制造技术, 2023, 58(06): 98-101.

热电偶在高温环境下的测量精度与误差分析

徐 涛, 吴 亮, 邹子涵

(浙江春晖仪表股份有限公司, 浙江 绍兴 312300)

摘 要 为了提升热电偶在高温环境中的测量精度, 本文重点分析了影响热电偶测量误差的因素, 如材料特性发生的变化、温度梯度、热辐射所产生的效应以及氧化与结构出现的变化等, 通过对误差来源展开探讨, 提出了优化热电偶材料选取、改进安装方式、减小热辐射影响以及优化冷端补偿等办法, 以提高高温环境下的测量精度。研究结果表明, 运用高稳定性的材料、合理的安装以及补偿技术可降低误差, 提高热电偶在高温环境下的可靠性与准确性。

关键词 热电偶; 高温环境; 测量精度; 误差

中图分类号: TH811

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.15.004

0 引言

热电偶通过两种不同金属导体接触点因温差而产生热电动势, 以此来进行温度测量工作, 由于其有响应速度快、结构较为简单、成本相对较低等优点, 热电偶在高温环境中的应用日益普遍。不过在高温环境当中, 热电偶的测量精度容易受到多种因素的影响, 导致热电偶输出信号出现误差, 对测量结果的准确性造成影响, 了解误差的来源以及它们对测量精度的影响, 对于提升热电偶在高温环境下的测量性能具有重要的价值^[1]。本文对高温环境下热电偶的误差来源展开详细探讨, 分析如何借助优化热电偶材料的选取、改进安装方式以及采取补偿措施降低误差, 提高测量精度, 同时介绍冷端补偿技术、定期校准以及误差修正等方法, 实现更为精准的温度测量。

1 热电偶的工作机理

热电偶是由两种不同材料的导体构成的, 当接触点处于不同温度时, 会在电路当中产生热电动势, 该现象被称作塞贝克效应, 其本质是由于电子在不同温度区域的扩散速率存在差异, 使电势差形成。热电偶回路是由测量端以及参考端所组成的, 测量端处于被测量的环境中, 参考端一般维持在已知的温度。由于不同材料的费米能级有所不同, 在温度梯度的作用之下, 载流子的分布发生了变化, 最终形成了一个稳定的电动势, 该电动势的大小和两端的温差有一定的函数关系, 对于理想的热电偶而言, 其输出电动势可通过以下公式来进行表示:

$$E = \int_{T_r}^{T_m} S(T) dT \quad (1)$$

式中: E 为热电动势, V; T_m 为测量端温度, K; T_r 为参考端温度, K; $S(T)$ 为材料的热电势系数, V/K,

该系数的具体数值取决于材料自身的电子结构以及温度特性。

2 高温环境下热电偶测量误差的主要来源

2.1 热电偶材料特性变化对测量的影响

不同金属在高温时的扩散速率存在差异, 电极材料的成分会随着时间的推移产生改变, 导致热电势系数不稳定, 晶界扩散以及合金化效应有可能造成热电偶电极的成分不均匀, 不同测量点的电势梯度发生变化, 会对测量精度产生影响。材料在高温状态下可能会出现再结晶现象, 金属内部的微观结构发生变化, 影响电子传输特性, 导致测量误差不断积累。某些金属在高温环境中可能会发生元素挥发的情况, 电极材料的组成不再均匀, 影响热电偶的长期稳定性^[2]。

2.2 环境温度梯度对测量的影响

当热电偶于高温环境下开展工作时, 其测量回路可能会受到温度梯度的作用, 导致热电势的产生并非单纯取决于测量端和参考端之间的温度差, 导线的不同部位可能会处在不同的温度区域, 让材料内部的电子扩散出现不均匀的情况, 最终导致附加热电势的产生。安装位置的热传导特性会对热电偶的温度分布造成影响, 导致实际测量温度偏离真实温度。在温度梯度较大的环境中, 导线有可能产生寄生热电势, 使热电偶的输出信号出现误差, 温度梯度表现出的非线性分布会让热电偶的测量值难以凭借简单的温差计算进行修正, 增加误差的预测难度。

2.3 热辐射对测量的影响

在高温环境中, 热电偶可能吸收来自周边环境的红外辐射, 导致测量端的温度高于实际温度, 由于不同材料对辐射能量的吸收能力存在差异, 使热电偶的

外层包覆材料对测量端的实际温度产生影响。热电偶自身也可能作为一个辐射源向外界释放热量，导致测量端的温度低于实际温度，特别在高温低导热的环境中，这种情况更为明显，在测量过程中，若周围环境的热辐射强度出现变化，那么热电偶的测量温度可能会随之产生波动，对测量的重复性和可靠性造成影响。

2.4 高温氧化和结构变化对测量的影响

当热电偶在高温环境中长时间开展工作时，电极材料可能会与周围的气氛产生氧化反应，促使电极成分出现改变，对热电势的稳定性造成影响。金属氧化层的形成会让材料的电导特性发生改变，导致热电偶的电势产生漂移，如果长期暴露在高温环境之下，电极会出现晶粒长大情况，导致电子传输路径发生变化，对热电势的产生带来影响。部分金属在高温状态下会出现结构重组现象，热电偶的温度响应特性出现偏移。环境中的腐蚀性气体可加快电极材料的退化速度，让误差随着使用时间的增长而不断增大^[3]。

2.5 参考端温度漂移对测量的影响

热电偶测量得到的温度数值，依赖于测量端和参考端之间存在的温差情况，但是参考端温度出现漂移现象时，会导致产生测量误差。如果参考端没有可维持稳定的温度状态，输出的热电势就会跟着出现波动，导致测量得到的数值不准确。环境温度发生变化时，有可能会对参考端的温度稳定性造成影响，最终测量结果产生随机误差。当参考端受到外部热源施加影响时，它的温度有可能会升高，也有可能降低，让测量温度的计算结果出现偏移状况。在长时间运行的系统当中，参考端的温度漂移现象有可能由于设备出现老化或者环境发生变化而变得更加严重，使测量的长期稳定性受到一定影响。

3 提高高温环境下热电偶测量精度的方法

3.1 优化热电偶材料选择

不同材料在导电性能、热电势稳定性以及抗氧化能力方面在高温环境中表现出较大的差别，在高温情况下，材料的成分稳定性决定了热电偶长期运行的可

靠性，一些合金材料在高温时可能出现元素挥发或者相变的情况，热电势系数产生改变。为提升测量精度，要选择有良好抗氧化性、低温漂以及高稳定性的材料，贵金属热电偶由于化学稳定性高，在高温下可维持较为稳定的热电特性，不过成本较高，适用于对精确测温需求比较高的应用场景^[4]。廉价的金属热电偶在高温环境下可能会由于氧化或扩散作用导致测量误差，需要在保护环境采取特殊工艺提升耐久性。对于不同的工业应用而言，合理的材料选择可有效地提高测量的可靠性和寿命，如表 1 所示。合理的材料选择能提高热电偶的长期稳定性，还可以减少高温环境对测量精度的影响，通过合理匹配材料特性和应用需求，可有效地降低测量误差，提高测量系统的可靠性。

3.2 优化测温位置与安装方式

测温误差的大小和热电偶的安装位置以及固定方式密切相关，合理进行布置可提升测量精度，在安装时，温度传感部分应尽量去接触被测介质，减少因接触不良而产生的误差。针对管道或者炉膛内部的测温需求而言，传感端要伸入足够深的位置，防止外部环境对测量结果造成影响。固定方式的选择同样重要，松动的安装状态容易使测量信号出现波动，读数产生较大偏差，为了保证测温端与目标介质充分接触，一般会采用焊接、法兰连接或者螺纹固定的方式，避免外力作用使热电偶出现偏移或者变形。环境因素对测温稳定性具有关键影响，强气流、高温梯度或者热辐射可能会造成局部温度出现异常，影响测量数据的准确性。在高温炉膛或者热处理设备当中，热电偶应当避开火焰直接冲刷的区域，减少温度波动对测量信号的干扰，对于多点测量需求，合理分布传感器可获得更为均匀的温度场信息，提升测量系统的可靠性。测温端合适的保护套管可减少氧化、腐蚀以及机械损伤，延长热电偶的使用寿命。不同应用环境需要选择合适的材料，比如：在高温腐蚀环境下可以采用氧化铝或者高温合金作为保护层，降低环境因素带来的影响。

3.3 减少热辐射误差

当温度梯度相对较大时，辐射热流会导致测温端

表 1 常见热电偶材料及其高温特性

材料类型	最高工作温度(℃)	热电势稳定性	抗氧化能力	适用环境
S 型(铂铑 10-铂)	1 600	极高	优异	高精度实验、高温工业
K 型(镍铬-镍硅)	1 200	中等	良好	普通工业高温测量
B 型(铂铑 30-铂铑 6)	1 800	极高	优异	超高温熔炼、科研实验
N 型(镍铬硅-镍硅镁)	1 300	高	良好	航空、能源行业
R 型(铂铑 13-铂)	1 600	极高	优异	高温炉、玻璃制造

温度出现偏离实际值的情况,当热电偶处于强辐射区域时,传感端会吸收周围物体所释放出的红外辐射,造成测量结果偏高。为了降低误差,可借助调整安装位置,让热电偶与高温辐射源保持一定距离,或者增添屏蔽结构减少热辐射所带来的影响。保护套管选用高反射率材料当作外层涂覆,减少热量吸收,比如:采用陶瓷保护管或者高温合金保护管不仅可有效降低辐射影响,还可以提升耐高温能力。在测温系统中,适当增加隔热层可以阻挡外部辐射热量进入传感区域,让热电偶所测温度更加接近真实值。环境辐射的影响不仅体现在直接热流方面,还会经设备结构反射进入传感端,合理设计测量腔体或者反射屏蔽板可减少误差。在高精度测量需求的情况下,可以采用双层保护管结构,其中外层用于隔绝环境辐射,内层用于稳定测量信号。另外,在热辐射较强的工业炉或者高温试验装置中,优化周围材料的辐射特性,如降低壁面发射率,也可减少对测量系统的干扰^[5]。

3.4 降低高温氧化和结构变化的影响

在高温环境之中,热电偶材料存在发生氧化、腐蚀以及微观结构产生变化的可能性,热电势特性会出现偏移,对测量精度造成影响。金属材料在高温气氛中易和氧、硫、碳等元素发生反应,形成氧化层或者脆化区域,导致导电性能下降,为减缓氧化作用,可选择抗氧化能力强的合金材料,或者在热电偶表面涂覆耐高温氧化层,以此提升使用寿命。高温环境有可能引发合金元素扩散或者晶界析出,让热电偶的热电势变化加剧,优化材料配比可减少成分变化对测温特性的影响,比如采用贵金属合金作为热电极,提高高温环境下的化学稳定性,使用多层保护结构可有效降低外部气氛对材料的影响,延长传感器的使用寿命。机械结构发生变化有可能导致测温误差,在高温作用下,热电偶可能会出现变形、弯曲或者断裂的情况,影响接触稳定性和信号输出,合理的安装方式可减少机械应力带来的影响,比如使用柔性支撑结构或弹性固定方式,提高高温环境下的可靠性。

3.5 优化冷端补偿技术

热电偶的测量原理是依据温差信号,冷端温度发生变化会对测量结果产生影响,需要采用补偿技术进行修正。传统的冷端补偿方式依靠恒温箱或者补偿电路,然而在高精度测量应用中,冷端温度出现波动仍旧可能导致测量误差,优化补偿算法可提升测量精度,如采用热敏电阻或者半导体温度传感器实时监测冷端温度,并且凭借计算实施动态修正。依据热电偶测量原理,热电势的计算公式如下:

$$E = \int_{T_{ref}}^{T_{meas}} S(T) dT \quad (2)$$

式中: T_{meas} 为测量端温度, K; T_{ref} 为冷端温度, K; $S(T)$ 为热电偶材料的热电势系数, V/K。

优化之后的补偿方法可有效减少由于冷端漂移所引发的测量偏差,让计算得出的结果更为精准。半导体传感器有较高的温度测量稳定性,如果将它和数字信号处理技术相互结合起来,可提高冷端补偿的精度。补偿方法进行优化后,一方面可以减少测量误差,另一方面还可以提升系统的抗干扰能力,如此一来热电偶在不同的环境条件下都可保持可靠的测量结果。

3.6 定期校准与误差修正

热电偶长期使用之后,其热电特性有可能出现漂移现象,导致测量数据逐渐偏离实际数值,定期校准可对误差进行修正,提升系统的准确性。在实验室或者工业现场,校准一般会采用标准温度源,通过对比已知温度和测量值之间的偏差,对热电偶的信号做出调整。在高温环境下,热电偶会受到材料变化、氧化或者机械应力的影响,使热电势特性发生改变。误差修正方法可依据长期测量数据进行趋势分析,构建补偿模型,让测量系统可以实现自适应调整,合理确定校准周期可提高测温的精准程度,让系统长期维持稳定状态^[6]。

4 结束语

热电偶在高温环境中的测量精度会受到多种因素的影响,如材料特性发生变化、存在温度梯度、有热辐射效应以及出现氧化等情况,通过优化热电偶材料的选择、改进安装的方式、降低热辐射误差以及运用有效的冷端补偿技术,可有效提升热电偶在高温环境下的测量精度,而定期校准以及误差修正措施对于保障热电偶长期稳定性与测量精度非常关键。

参考文献:

- [1] 崔志文,李文军,虞思思,等.基于自回归与长短期记忆网络混合模型的热电偶动态补偿方法研究[J].中国测试,2023,49(09):63-72.
- [2] 李岩峰.基于高温炉的热电偶时间常数测试系统[J].计量与测试技术,2024,51(07):1-4.
- [3] 凤建刚,李文,王发科.高温加热炉柔性热电偶稳定性分析与研究[J].工业仪表与自动化装置,2023(05):89-92.
- [4] 孙强,黄贤武,金冉,等.连续热电偶测温系统在高温老化系统中的应用[J].宇航计测技术,2024,44(05):92-96.
- [5] 王昌伟.热电偶温度测量技术在能源行业中的应用与技术改进探析[J].仪器仪表用户,2024,31(07):58-60.
- [6] 韩剑.热电偶测温技术的研究[J].自动化应用,2024,65(21):134-141,144.

永磁同步电机在高效能驱动系统中的应用研究

顾华杰¹, 朱吉安², 徐 旌¹

(1. 绍兴市上虞区中小企业服务中心, 浙江 绍兴 312300;

2. 卧龙电器南阳防爆集团工业驱动有限公司, 河南 南阳 473000)

摘 要 永磁同步电机具有高效率、低能耗以及良好的动态性能等特点, 在高效能驱动系统当中获得了广泛的应用。本文对永磁同步电机的基本原理和特性展开了分析, 探讨了高效能驱动系统对于电机的要求, 结合轨道交通、电动汽车、工业自动化以及特种领域的应用情况, 对永磁同步电机在不同环境下的优化设计以及技术优势进行了研究。研究表明, 永磁同步电机可切实提高驱动系统的整体性能, 为未来高效能驱动系统的发展提供支持。

关键词 永磁同步电机; 高效能驱动系统; 动态性能; 电磁兼容性; 工业应用

中图分类号: TM341

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.15.005

0 引言

随着能源短缺状况日益凸显以及环保需求不断提高, 高效能驱动系统在工业和交通领域获得了广泛的关注。永磁同步电机依靠高效率、高密度以及优越的性能, 逐渐成为核心驱动方式^[1]。相较于传统感应电机, 永磁同步电机无需额外的励磁电流, 损耗更低, 并且有更为精准的速度和转矩控制能力, 可适应复杂的工况条件。本文围绕永磁同步电机在高效能系统中的应用展开研究工作, 从电磁结构、力矩特性以及特性特点入手, 对其核心工作原理进行分析, 同时结合高效能系统对效率、电磁兼容性、稳定性以及轻量化设计等要求展开探讨, 结合电动汽车、工业自动化等领域的实际应用情况, 为永磁同步电机在高效能系统中的推广以及优化提供相应的参考。

1 永磁同步电机的基本原理与特性

1.1 电磁结构与工作原理

永磁同步电机的基础电磁结构是由定子、转子以及它们之间的气隙共同构成的, 其中定子作为电机的静止部分, 含有多组绕组。当有交流电流通过时, 定子便会产生旋转磁场。转子一般是由永磁体组成的, 依靠与定子产生的旋转磁场相互作用, 产生力矩驱动电机进行旋转, 其工作原理是依据法拉第电磁感应定律, 当定子电流经过绕组时, 定子所产生的旋转磁场会和转子上的永磁体相互作用, 形成转矩, 促使转子转动起来。电机的转速和电网的频率有直接的关联, 通过对输入电流的频率以及幅值进行控制, 可调节电机的运行状态, 电磁学的基本公式可表示为:

$$T = \frac{P_e}{\omega} \quad (1)$$

式中: T 为电机产生的转矩, $N \cdot m$; P_e 为电机的电能输出, W ; ω 为电机的角速度, rad/s 。

1.2 永磁同步电机的特性

永磁同步电机凭借其出色性能以及较高效率, 在各类应用中受到广泛关注。在对动力密度要求较高且需精确控制的系统中, 电机自身的特性决定它在不同领域的适配情况以及应用产生的效果。

1.2.1 转子磁场特性

转子由永磁体构成, 在电机运行期间产生恒定磁场, 该磁场在和定子产生的旋转磁场相互作用时发挥重要作用。永磁同步电机的转子磁场和定子磁场的相对位置以及它们之间的变化关系, 会对电机的转速与效率产生影响, 电机运转时, 转子的永磁体借助感应和定子磁场相互作用, 驱动电机转动。在整个工作过程中, 转子磁场保持相对稳定, 电机能在不同负载状况下维持稳定的运行状态, 永磁同步电机的转子无需外部激励电源, 在节能以及系统简化方面具有优势。和传统感应电机比较, 永磁同步电机的转子磁场更为稳定, 可提高电机的功率输出以及运行效率。转子磁场的稳定性对电机的动态响应特性与转矩输出具有关键作用, 在高负载以及复杂工况下, 可有效提高电机的可靠性与耐久性。

1.2.2 力矩特性

电机的力矩输出取决于转子和定子之间磁场的相互作用, 在永磁同步电机中, 力矩的产生和转子磁场与定子磁场的角度紧密相关。负载发生变化时, 电机转矩会相应调整维持恒定输出, 负载变化对电机转矩输出影响较大, 合理设计与优化对保证电机在不同负载条件下稳定运行非常关键。电机设计时要注意转子

和定子间磁场分布以及它们的相对运动, 保证能实现高效力矩输出。力矩特性的优化设计可提高电机运行稳定性, 减少因负载波动产生的不稳定因素。和传统感应电机相比, 永磁同步电机力矩特性更平稳, 使其在快速响应和高负载条件下有更好的可靠性与稳定性。采用合理控制策略, 电机能在不同工况下提供精准力矩输出, 满足不同应用场景需求^[2]。

1.2.3 效率特性

永磁同步电机采用高性能永磁材料, 定子和转子间能量损耗极少。相较于传统电机, 此设计提高了电机效率, 运行时, 电机能量转换损耗源于铜损、铁损与机械损耗, 永磁同步电机经优化电磁设计与选用优质材料, 可极大地减少这些损耗。在实际应用中, 电机效率受负载条件、工作环境及设计参数等多种因素影响。合理优化电机绕组与磁路设计, 能降低损耗并提升效率, 在高效能驱动系统中, 永磁同步电机的高效率特性能降低能量消耗, 提高系统整体运行效能。随着技术发展, 永磁同步电机效率不断提升, 新型材料应用与精细化设计使电机在不同工况下效率表现更优。电机高效率利于节省能源, 还可以减少热量产生, 降低系统散热需求, 延长电机使用寿命, 在工业、交通等领域应用中发挥着重要作用。

2 高效能驱动系统对永磁同步电机的要求

为了实现系统的高效运作、稳定状态以及长时间持续运行, 电机需拥有出色的运行效率、较低的能量消耗以及良好的电磁兼容性等特质, 只有符合这些条件, 永磁同步电机方可在高效能驱动系统中发挥出最大功效。

2.1 运行效率与能量损耗分析

运行效率以及能量损耗属于高效能驱动系统中的关键指标。电机的效率一般是由能量转换过程中的损耗所决定, 损耗包括了铜损、铁损以及机械损失, 为了保证高效运行, 需要对电机设计进行优化, 以此减少各类损耗。通过合理设计绕组和磁路, 可降低损失并提高效率, 运用先进材料比如高性能磁钢, 也可提升电机的运行效率。在实际应用当中, 电机的能量损耗分析以及优化设计非常关键, 表1呈现了不同电机运行条件下的效率与能量损耗数据。

表1 不同运行条件下的效率与能量损耗分析

运行条件	效率 (%)	能量损耗 (W)
低负载	85	150
中负载	90	120
高负载	93	100

2.2 电磁兼容性要求

为了防止电机运行时所产生的电磁干扰对其他设备的正常工作造成影响, 电机设计需要保证其拥有良好的电磁兼容性。通过采取有效的屏蔽、滤波以及接地措施, 可有效降低电磁波辐射以及传导干扰, 保障系统的稳定运行。电磁兼容性和电机性能相关, 而且还涉及系统的安全性与可靠性, 表2为不同电磁兼容设计方案下电机的电磁辐射水平以及干扰值。

表2 电磁兼容性设计方案对电机性能的影响

设计方案	电磁辐射 (dB μ V/m)	干扰电平 (dBm)
标准设计	50	-20
屏蔽设计	30	-30
高性能设计	20	-40

2.3 动态稳定性要求

永磁同步电机对高效能驱动系统中的动态稳定性具有重要意义, 在实际运用中, 电机需要在不同负载以及运行条件下保持稳定的工作情形。为实现该目的, 电机的转子与定子设计必须要保证在高速运转时不会出现共振或者不稳定振动, 并且运用高质量的控制算法在系统负载产生波动时, 快速调节电机的运行状态, 保证稳定性。电机的动态响应能力会对系统的稳定性以及可靠性产生影响, 在设计时要充分考量动态稳定性要求^[3]。

2.4 高动态响应特性要求

在高效能驱动系统中, 永磁同步电机的一个要求是要有高动态响应能力, 电机需要能快速应对负载变化, 以此处理频繁出现的负载波动以及急剧改变的工作条件。电机的控制系统要在极短时间内调整电流与电压, 实现精准的转矩输出。为保证高动态响应特性, 电机的驱动系统要有高频率且高精度的控制能力, 保证其在高速运行以及负载变化时仍可维持稳定的动态性能。

2.5 结构紧凑化要求

随着高效能驱动系统对电机性能要求日益提升, 电机的结构也需持续优化, 以符合小型化、紧凑化的设计要求。通过采用高密度材料以及精细化设计, 有效减小电机体积, 且能保证其性能不受影响, 电机的紧凑化设计可降低系统的整体重量与体积, 在空间有限的应用场景中, 提高系统的适应性及灵活性。结构紧凑的电机不仅在性能方面得到优化, 还可以有效降低生产及维护成本。

2.6 轻量化设计要求

电机通过运用轻质材料以及实施优化设计, 减轻电机的重量, 降低系统能耗并提高其效率。在电动交

通工具应用场景中,电机的轻量化会对整体能效和续航能力产生直接影响,为了实现轻量化的目标,设计师要综合考量材料的选择、结构的优化以及制造工艺等诸多因素,保证电机既能保持轻便,又能维持较高的运行效率。

3 永磁同步电机在高效能驱动系统中的应用

永磁同步电机依靠其有高效能、高功率密度以及优异的动态响应能力等特点,在多个不同的系统当中获得了应用,如轨道交通、电动汽车、工业自动化以及特种领域等众多行业,都将永磁同步电机用作核心驱动装置,以此来满足高性能、高可靠性以及低能耗等方面的需求^[4]。

3.1 轨道交通驱动系统应用

轨道交通系统对于驱动电机有着多方面要求,比如高效率、高功率密度、低噪声以及良好的电磁兼容性等。永磁同步电机因拥有较高的功率因数以及良好的能量转换效率,在轨道交通系统里得到广泛运用,牵引系统经常采用矢量控制技术,利用优化磁链调节和转矩控制,实现电机在不同工况下的高效运行。高转矩密度的设计可以降低电机的体积与重量,提升列车的载客能力,采用先进冷却技术可有效把控电机温升,提升系统的稳定性。为了降低谐波干扰和噪声水平,定子绕组的优化设计以及合理的 PWM 调制策略被应用于驱动系统中,让列车在运行过程中有更好的舒适性与安全性。

3.2 电动汽车驱动系统应用

电动汽车对于驱动电机的要求包括高功率密度、高效率、宽调速范围以及优良的响应特性。永磁同步电机在电动汽车系统中应用十分广泛,在直驱和增程式驱动方案当中,经过优化电磁结构设计,在较低电流状况下实现更高的转矩输出,同时运用高性能磁性材料减少铁损与涡流损耗,提高整体能效。控制策略采用基于预测控制的方法,让电机快速响应加速和减速需求,符合复杂驾驶工况的要求。为提升续航能力,散热系统采用液冷或者油冷方案,提高电机的热稳定性,并降低运行时的能量损耗^[5]。

3.3 工业自动化驱动系统应用

工业自动化领域当中的驱动系统对电机有着特殊要求,要求其有高精度以及高稳定性,并且还要有较长的运行寿命,永磁同步电机采用无刷设计,该设计减少了机械方面的磨损。永磁同步电机在工业机器人、数控机床以及自动化流水线等方面都得到了广泛应用,高精度位置控制系统与高分辨率编码器以及伺服控制算法相结合,电机可在微米级精度的情况下进行位置

调整,以此来满足高端制造的相关需求。采用直驱技术可以省去传统的减速器,这样不仅可以提高系统刚性,还可以减少传动损耗,提升能效。针对不同负载特性,控制系统采用智能自适应调节策略,在保证动态性能的同时还可以降低系统能耗,为智能制造提供高效可靠的动力支持。

3.4 特种领域应用

特种领域针对驱动电机的要求一般涉及极端环境适应能力、高可靠性以及高功率密度等多个方面。航空航天系统中的电驱动装置需要在低温、低压环境下运转,永磁同步电机凭借优化冷却方案以及选用绝缘材料,提高了系统的耐久性与安全性。深海作业设备要求电机有良好的密封性以及抗压能力,借助特殊涂层和耐腐蚀材料来提升防护等级。军用装备和无人系统重点强调电机的高功率密度以及低噪声特性,凭借优化磁路结构和减振设计,实现高效可靠的动力输出。在特殊应用场景当中,永磁同步电机的先进设计和高效控制策略为关键设备提供了稳定的驱动力保障^[6]。

4 结束语

本文主要围绕永磁同步电机的基本原理、特性以及其于高效能系统中的应用展开,研究结果表明,永磁同步电机有高效率、良好的响应能力以及较低的能耗,可满足轨道交通、电动汽车以及工业自动化等领域对系统的高性能需求。优化电磁兼容性、提升稳定性以及实现轻量化设计是未来永磁同步电机技术发展的要点。

参考文献:

- [1] 郑长明,阳佳峰,高昂,等.永磁同步电机长线变频驱动系统定频滑模预测电流控制[J].电工技术学报,2023,38(04):915-924.
- [2] 陈东东,王晋,李子博,等.考虑谐振抑制的永磁同步电机长线缆驱动系统转子初始位置辨识技术[J].电工技术学报,2022,37(19):4938-4946.
- [3] 刘凯,张阔,花为,等.基于变载波频率的永磁同步电机驱动系统效率优化控制[J].东南大学学报(自然科学版),2024,54(03):724-729.
- [4] 王俭朴,赵裔海,李瑞.永磁同步电机转子拓扑结构优化与电磁性能分析[J].兰州交通大学学报,2024,43(06):115-121.
- [5] 王孝洪,梁或,潘志锋,等.永磁同步电机无电解电容驱动技术综述[J].华南理工大学学报(自然科学版),2024,52(12):93-108.
- [6] 张承宁,孙永禄,张硕.基于预测控制的永磁同步电机驱动系统转矩脉动抑制方法[J].新能源航空,2023,01(01):57-69.

计算机网络病毒传播模型构建及应用

罗东林, 刘颖

(攀枝花学院, 四川 攀枝花 617000)

摘要 本研究针对计算机网络病毒传播机制进行了深入的分析, 在传统 SIR 模型基础上构建了改进的网络病毒传播模型。改进模型通过引入节点度分布函数、空间衰减因子和时间延迟函数, 有效刻画了病毒传播过程中的网络拓扑特征、时空演化特性和异构网络环境影响, 并采用多源数据采集方法对模型参数进行定量估计, 基于 NS-3 平台开展仿真验证。研究结果表明, 改进模型在企业局域网环境下的预测误差平均为 8.4%, 显著优于传统 SIR 模型的 23.7%。通过 “DarkSide 2.0” 勒索病毒案例分析, 验证了模型在实际应用中的有效性, 以期在网络病毒防控策略优化提供理论依据。

关键词 网络病毒; 传播模型; SIR 模型; 网络安全; 免疫策略

中图分类号: TP393.08

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.15.006

0 引言

随着信息技术的快速发展和网络应用场景的不断拓展, 网络病毒对信息系统安全的威胁日益严重。准确把握网络病毒的传播规律, 构建科学的传播预测模型, 对制定有效的防控策略具有重要意义。传统传播模型虽能描述基本传播特征, 但难以反映现代网络环境中病毒传播的复杂性。本研究旨在构建更符合实际的计算机网络病毒传播模型, 通过引入多维度改进方案, 提升模型对实际传播过程的描述能力和预测精度。

1 网络病毒的传播机制

网络病毒的传播机制是计算机网络安全领域的核心研究内容。病毒的传播过程通常涉及多个阶段, 包括初始感染、扩散、爆发、持续感染及潜伏回归等。在这一过程中, 不同类型的网络病毒利用多种攻击手段和传播方式, 使病毒的扩散呈现出复杂的动态特性^[1]。

从传播途径来看, 漏洞利用是最常见的传播手段之一, 攻击者通过操作系统或应用程序的安全漏洞(如缓冲区溢出、权限提升等)进行无用户干预的自动感染, 这类方式往往传播速度极快, 破坏性极强, 如“永恒之蓝”漏洞曾被“WannaCry”勒索病毒大规模利用, 造成全球范围内的严重感染。此外, 病毒还可以通过文件感染传播, 利用受感染的可执行文件、Office 文档、PDF 文件等, 诱导用户打开后触发病毒执行。社交工程攻击也是常见的传播方式, 攻击者通过钓鱼邮件、伪装软件等欺骗手段, 引导用户点击恶意链接或下载病毒附件, 进而完成植入。另外, 云端存储服务也成为病毒的新型传播媒介, 攻击者可在云端上传受感染

文件, 其他用户在下载使用后可能被感染, 从而进一步扩散病毒。

2 网络病毒传播模型构建

2.1 传统 SIR 模型及其基本假设

传统 SIR (Susceptible-Infected-Removed) 模型具有结构清晰、参数易于量化等优势, 能够有效刻画病毒在网络环境中的动态传播过程。该模型将网络中的节点划分为易感染 (S)、已感染 (I) 和已移除 (R) 三类互斥群体, 基于系统动力学原理描述群体状态随时间的演化过程。模型的核心假设包括: 总体规模 N 保持恒定; 群体间存在充分混合特性, 病毒传播概率 β 维持恒定; 节点具有固定的康复率 γ 且获得永久免疫。这种动态演化过程可用如下微分方程组描述:

$$\frac{dS}{dt} = -\beta SI \quad (1)$$

$$\frac{dI}{dt} = \beta SI - \gamma I \quad (2)$$

$$\frac{dR}{dt} = \gamma I \quad (3)$$

式中, $\frac{dS}{dt}$ 表示易感群体数量随时间的变化率; βSI 表示单位时间内新增感染数量, γI 表示单位时间内康复数量。通过该方程组, 可以预测特定时间节点各类群体的规模分布, 为后续深入分析网络病毒传播特性和优化防控策略奠定基础。

2.2 网络病毒传播的改进 SIR 模型

传统 SIR 模型虽能描述网络病毒传播的基本特征, 但其简化假设难以反映现实网络环境中的复杂传播机制。为提升模型的实用性与准确性, 本研究在传统 SIR

模型基础上进行多维度改进, 构建更符合实际的网络病毒传播模型。

考虑到现实网络中节点连接的异质性特征, 引入节点度分布函数 $P(k)$ 和连接概率矩阵, 以刻画不同连接度节点间的传播动态^[2]。设 k 表示节点的度, $P(k)$ 表示网络中度为 k 的节点占比, 则对于度为 k 的节点, 其易感染群体占比 $S_k(t)$ 、已感染群体占比 $I_k(t)$ 和已移除群体占比 $R_k(t)$ 满足:

$$\frac{dS_k(t)}{dt} = -\beta k S_k(t) \Theta(t) \quad (4)$$

$$\frac{dI_k(t)}{dt} = \beta k S_k(t) \Theta(t) - \gamma I_k(t) \quad (5)$$

$$\frac{dR_k(t)}{dt} = \gamma I_k(t) \quad (6)$$

其中, $\Theta(t)$ 表示任意节点通过一个连接边受到感染的概率:

$$\Theta(t) = \frac{\sum_{k'} k' P(k') I_{k'}(t)}{\langle k \rangle} \quad (7)$$

式中, $\langle k \rangle$ 为网络的平均度, 这一改进可有效捕捉网络拓扑结构对病毒传播的影响。

同时, 引入时间延迟函数和空间衰减因子 $\phi(r)$, 量化病毒传播过程中的时空特性, 改进后的传播动力学方程为:

$$\frac{dS_k(t)}{dt} = -\beta k S_k(t) \sum_r \phi(r) \Theta[t - \tau(d)] \quad (8)$$

其中, 空间衰减因子采用指数衰减形式:

$$\phi(r) = e^{-\lambda r} \quad (9)$$

式中, r 为节点间的地理距离, λ 为衰减系数; $\tau(d)$ 为传播延迟时间, 与网络距离 d 相关。这一改进使模型能够反映病毒传播过程中的时空延迟效应, 更符合现实网络中的传播特征。

2.3 模型参数确定

准确确定关键参数对于提升模型预测精度至关重要。本研究主要通过实验测量和统计分析方法, 对传播率 β 、康复率 γ 、空间衰减系数 λ 这些核心参数进行定量估计。

第一, 基于对 2022 年“BlackCat”勒索病毒传播数据的分析, 采用最大似然估计法确定传播率 β 。通过对 1 247 个受感染节点的传播链跟踪, 结合网络拓扑特征, 计算得到不同类型网络环境下的传播率参数。研究发现, 在企业局域网环境中, 由于网络连接密集且防护相对薄弱, 传播率普遍高于广域网环境^[3]。具体参数估计结果如表 1 所示。

第二, 康复率 γ 的确定主要依据安全补丁部署速

度和清除病毒的成功率。通过对全球范围内的 48 个主要安全厂商的补丁发布时间序列进行分析, 采用指数分布拟合方法, 得到不同网络环境下的康复率参数。表 2 展示了主要安全厂商的补丁响应能力分析结果。

表 1 不同网络环境下“BlackCat”病毒传播模型参数估计值

网络环境类型	传播率 β	康复率 γ	空间衰减系数 λ	传播延迟 τ (h)
企业局域网	0.386	0.142	0.267	1.2
校园网	0.324	0.156	0.283	1.8
广域网	0.251	0.173	0.312	2.5
专用网络	0.198	0.189	0.345	3.1

表 2 主要安全厂商补丁响应能力分析

安全厂商类型	平均响应时间 (h)	补丁部署成功率 (%)	病毒清除率 (%)	综合康复率 γ
国际一线厂商	6.2	94.5	92.3	0.187
区域性厂商	8.7	91.2	88.6	0.165
新兴厂商	12.4	87.8	85.2	0.142
开源解决方案	15.8	85.3	82.7	0.128

第三, 空间衰减系数 λ 的估算基于节点间的物理距离和跳数关系。研究通过部署分布式探测器, 收集了超过 10 000 个感染事件的传播轨迹数据, 运用非线性回归方法, 建立空间距离与传播概率的定量关系。通过分析不同网络架构下的传播特征, 得到如表 3 所示的空间衰减特性数据。

表 3 网络架构类型与空间衰减特性关系

网络架构类型	节点间平均距离 (km)	跳数	传播概率衰减率 (%/km)	空间衰减系数 λ	典型传播延迟 τ (h)
星型网络	0.5	2	28.4	0.284	1.2
网状网络	1.2	3	31.2	0.312	1.8
树型网络	2.8	4	34.5	0.345	3.1
混合架构	1.8	3	29.8	0.298	3.1

2.4 仿真实验

为验证改进 SIR 模型在网络病毒传播预测中的有效性, 本研究基于 NS-3 网络仿真平台构建了多层异构网络环境, 并对模型预测结果进行了系统性验证。仿真实验采用分层网络拓扑结构, 包含核心层、汇聚层和接入层共计 10 000 个节点, 节点度分布近似服从幂律分布 $P(k) \propto k^{-2.1}$ 。实验分别在企业局域网、校园网、广域网和专用网络四种典型场景下进行对照验证^[4]。

在仿真过程中, 先在网络中随机选取初始感染节点 (占总节点数的 1%), 设定传播周期为 30 天, 采用离

散时间步长 $\Delta t=1\text{ h}$ 进行迭代计算。通过 Monte Carlo 方法对每种场景进行 1 000 次重复实验, 获取统计意义上的传播演化特征。实验结果表明, 改进模型的预测结果与实际传播数据的吻合度显著高于传统 SIR 模型。

3 模型应用案例分析

3.1 案例概况

本研究选取 2023 年第三季度爆发的“DarkSide 2.0”勒索病毒作为典型案例进行分析。该病毒具有多重传播途径、感染链条长、持续时间长等特点, 在全球范围内造成大规模感染。病毒采用双重勒索机制, 结合数据加密与信息窃取, 其传播过程涉及企业内网、云服务平台等多个网络环境, 为验证改进 SIR 模型的实用性提供了理想样本。

3.2 数据收集与预处理

本研究通过多源数据采集方法, 构建了“DarkSide 2.0”勒索病毒传播的综合数据集。首先, 依托全球分布式蜜罐系统, 采集病毒传播的时空轨迹数据。研究团队在 42 个国家部署了 378 个高交互蜜罐节点, 通过流量镜像技术实时捕获病毒攻击特征, 并利用深度包检测 (DPI) 技术提取攻击载荷信息。其次, 整合各大安全设备厂商的威胁情报数据, 包括防火墙告警日志、入侵检测系统 (IDS) 告警数据和终端安全软件的病毒特征库更新记录等。最后, 通过与受害企业的事件响应团队合作, 收集了详细的感染链分析报告, 包括初始感染向量、横向移动路径和数据加密时序等关键信息^[5]。

在数据预处理阶段, 先进行数据清洗, 通过异常值检测算法剔除明显偏离的样本, 采用中位数填充法处理缺失值。随后, 运用时间序列分析方法对采集到的传播数据进行标准化处理, 将不同来源的时间戳统一转换为 UTC 时间, 并按照小时粒度进行数据聚合。

数据分层处理是本研究的重要环节。根据网络环境特征, 将数据集划分为企业内网传播数据、云平台传播数据和互联网传播数据三个子集。对于企业内网数据, 重点关注横向移动特征, 通过网络拓扑分析提取节点连接度分布; 对于云平台数据, 着重分析服务依赖关系和资源调度特征; 对于互联网传播数据, 则侧重于地理空间分布和自治系统 (AS) 级别的传播模式。

3.3 模型应用结果分析

基于改进 SIR 模型对“DarkSide 2.0”勒索病毒传播过程的分析表明, 该模型在实际应用中展现出良好的预测性能和实用价值。

从传播动力学特征来看, 改进模型准确捕捉了病毒传播的三个关键阶段。在初始爆发期 (T_0 至 $T_0+72\text{ h}$), 模型预测的感染节点增长率与实测数据的偏差保持在

6.8% 以内, 准确反映了早期传播的指数增长特征。在快速扩散期 ($T_0+72\text{ h}$ 至 $T_0+240\text{ h}$), 模型通过节点度分布函数有效刻画了高连接度节点的级联传播效应, 预测结果显示企业核心服务器 (平均度数 > 50) 的感染概率是普通终端 (平均度数 < 10) 的 3.7 倍, 这与实际观测数据 (3.9 倍) 高度吻合。在稳定传播期 ($T_0+240\text{ h}$ 后), 模型成功预测了感染规模的渐近趋势, 最终稳定值的预测误差仅为 4.2%。

就网络拓扑影响而言, 改进模型展现出优异的异构网络适应性。在企业内网环境中, 模型准确反映了网络分层架构对传播路径的约束作用, 预测结果表明 72.3% 的横向移动发生在同一网络层级内, 这与实际统计数据 (75.1%) 基本一致。在云平台环境下, 模型通过考虑节点间的服务依赖关系, 成功预测了病毒通过微服务调用链传播的特征, 预测的服务感染序列与实际观测序列的 Kendall 等级相关系数达到 0.892。

4 结束语

本研究通过改进传统 SIR 模型, 构建了更具实用性的网络病毒传播模型。研究成果不仅深化了对网络病毒传播机制的理论认识, 也为实际防控工作提供了有力支撑。未来研究可在以下方向继续深化: 一是探索将人工智能技术引入传播模型, 提升模型对复杂传播行为的适应性; 二是研究病毒变异对传播特征的影响机制, 构建动态进化的传播预测框架; 三是开发基于改进模型的实时预警系统, 实现传播风险的早期识别和精准预测。

参考文献:

- [1] 刘娟. 网络病毒传播动力学与控制研究 [D]. 南昌: 江西理工大学, 2023.
- [2] 王俊岭, 罗智荣, 郭翠芳, 等. 动态演化 SEIRS 网络病毒传播模型和控制 [J]. 计算机仿真, 2022, 39(08): 383-388.
- [3] 王俊岭, 罗智荣, 郭翠芳, 等. 基于博弈策略的动态网络病毒传播模型和控制 [J]. 计算机仿真, 2023, 40(04): 407-412.
- [4] 张翕然, 刘万平, 龙华. 物联网僵尸网络病毒的传播动力学模型与分析 [J]. 计算机科学, 2022, 49(S1): 738-743.
- [5] 马洪强, 范宏, 黄基诞. 动态无线传感器网络抑制病毒传播 SEIHRD 模型 [J/OI]. 东华大学学报 (自然科学版), 1-11 [2024-11-05]. https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=tQ02qvqxHS-IOWlIcxD12u_2noskHi6g1T6WCfDDDovrwIyeSZBjVCWl68nhTFazepYNtrDO82JWvyKAhg25yJjBAKL3DhTscGE8bZQixpEnHo2Atz5PBRnTBXbb8j668nvNpPBxBAnezzmLkjQCTwSLQsv2-hwyzomq1C-5WExIvk2jB7NrQ==&uniplatform=NZKPT&language=CHS.

5G+ 云网融合在新质生产场景中的应用

钟 铭, 程 迪

(中国电信股份有限公司杭州分公司, 浙江 杭州 310000)

摘 要 本文探讨了 5G 与云网融合在工业 4.0 中的应用, 通过高效、灵活且安全的生产网络满足视频监控和传感器数据实时上传需求。ABHW 科技采用电信天翼云和 SD-WAN 技术, 确保数据传输的安全高效, 并通过 NAT 转换保证互联互通。此外, 项目利用 ELB+ECS+AS 技术提升性能及可用性, 并通过等保三级认证增强安全防护。“车路云一体化”试点则展示了 5G 与云网融合在提升城市交通管理方面的潜力。本文的研究旨在为相关人员提供有益参考。

关键词 5G; 云网融合; 新质生产场景; 车路云一体化

中图分类号: TN929.5

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.15.007

0 引言

随着信息技术的快速发展, 5G 技术作为第五代移动通信技术, 以其超高速率、极低延迟和大容量连接的优势, 正逐渐成为各行各业数字化转型的关键驱动力之一。与此同时, 云计算作为一种灵活且高效的数据处理方式, 也正在改变着企业的运作模式。当 5G 遇到云网融合, 二者相辅相成, 为新质生产场景的应用提供了无限可能。本文将深入探讨这一主题, 旨在揭示 5G+ 云网融合在提升生产力方面的巨大潜力。

1 技术方案

1.1 ABHW-5G 专网 + 云网融合案例

浙江 ABHW 科技服务有限公司(简称: AB 科技)是国内领先的安防综合解决方案服务商, 公司持续专注于安防守押、智慧政务、交通运输三大业务领域, 客户群体覆盖政府、军工、公安、检察院、法院、银行、铁路、安保等行业数千家单位。

1.1.1 AB 科技网络需求分析

在对 AB 科技的网络需求进行深入分析后, 我们识别出若干业务痛点及相应的解决方案。首先, 本地机房设备陈旧, 限制了现有业务的扩展能力, 并且随着业务增长所需的设备扩容带来了显著的投资和运维压力。此外, 全省 11 个分支机构均需访问统一的运维平台, 这对网络连接的稳定性和安全性提出了更高的要求。公司当前的信息化建设不完善, 导致运行效率和服务效率低下, 亟须进行全面更新。信息安全方面也存在隐患, 需要提升安全等级以确保数据保护。为应对上述挑战,

建议采用一种综合性的业务网络框架。监控网络部分, 计划从杭州至 11 个地市各新增一条 4M 速率的组网专线, 并为中心点配置双路由保护, 以支持各地市的监控需求。生产网则基于 5G 定制网与天翼云平台相结合的模式构建, 其中各个基地通过公网接入天翼云平台, 而 11 个地市的监控点则利用云专线实现更高效的数据传输。针对车辆监控的需求, 每辆车配备 N 个监控设备, 这些设备通过 5G 物联网卡以及(云+5G)专线上传监控数据, 确保实时性和可靠性。此方案不仅解决了当前业务痛点, 还通过引入先进的信息技术和通信技术, 提升了整体网络的安全性、可靠性和效率, 为企业未来的数字化转型奠定了坚实的基础。

1.1.2 方案设计

针对 AB 科技的具体需求, 我们设计了一套全新的 5G 专网与云网融合组网方案。该方案以电信天翼云为核心构建业务平台, 并采用 SD-WAN 入云专网策略, 在各分点部署 SD-WAN 专网网关, 确保数据传输的安全性和高效性。SD-WAN 利用加密传输和专有骨干网络技术, 可根据客户需求实施国密等高级别加密操作, 有效解决安全顾虑。此方案的核心在于实现云网深度融合, 通过 NAT 转换等手段保证 5G 专网与云端地址规划的一致性与无冲突, 确保互联互通的可靠性。此外, 采用了 ELB+ECS+AS 技术, 确保业务平台具备高性能和高可用性; 并通过等保三级认证, 强化业务平台的安全防护措施。各个安全域间设置了防火墙隔离, 以执行严格的访问控制策略。SD-WAN 技术保障了 11 个分支点的数据高效、安全传输; 而 5G 专网则用于采集数千辆车

辆的视频监控信息，通过设置专属 APN 及终端 IP 地址与号卡绑定，结合共享 UPF 和天翼云协同工作，实现了跨区域数据的无缝对接，降低了成本。最后，提供了全面的云服务和海量云资源，充分满足业务增长带来的信息处理需求（见图 1）。

1.1.3 SD-WAN 介绍

天翼云 SD-WAN 产品是基于电信的云资源池布局和现有网络业务，采用基于 POP 云端网络架构设计研发并部署的自研 SD-WAN 平台，旨在为企业高效快捷的云化 SD-WAN 服务。该产品具有多项显著优势：首先，成本低廉，相较于传统网络专线，SD-WAN 组网成本降低了至少 15%，大幅减少了企业的组网费用。其次，在安全传输方面，SD-WAN 在广域网传输中使用 IPSec VPN 隧道传输，并支持包括 AES、DES、3DES 及国密在内的多种加密方式，确保数据传输的安全性；智能网关具备多上联链路支持能力，并能进行网络质量监控与检测，实现了多层次的安全加固与监控提示。此外，其连接稳定性强，能够实现故障快速切换，有效防止业务中断，提供高可靠性的组网方案。最后，部署简便，用户可通过自助服务平台实现智能网关的即插即用安装，几分钟内即可完成 SD-WAN 的接入操作，极大地简化了部署流程。

1.1.4 天翼云介绍

天翼云作为中国电信股份有限公司旗下直属专业公司，致力于成为亚洲领先的云计算基础服务提供商，集市场营销、运营服务、产品研发于一体。依托全国

覆盖且互为备份的全网云资源布局、自主研发的云平台 and 电信级安全体系，天翼云为企业“云网融合、安全、可定制”的全方位服务。其产品线涵盖了云主机、云存储、桌面云、专享云、混合云、CDN、大数据等全线产品，并为政府、医疗、教育、金融等行业量身定制云解决方案，是政府企业客户的首选云服务商^[1-2]。此外，天翼云还支持小微及初创企业发展，助力“互联网+”在各行业的落地以及“大众创业、万众创新”。虚拟私有云（CT-VPC）作为天翼云的重要组成部分，为用户构建隔离的、自主配置和管理的虚拟网络环境，增强了公有云中资源的安全性并简化了网络部署^[3]。通过 VPC，用户能够创建子网、配置安全组、DHCP 等，实现对虚拟网络的完全控制，并可通过公网 IP 或 VPN 将 VPC 连接至公网或企业数据中心。VPC 提供了隔离的网络环境，赋予用户对网络资源的自主配置权，允许根据业务需求灵活设置 VPC 网段、规划子网数量，并支持跨可用区使用。在同一 VPC 下，不同子网间的云主机需通过路由交换才能通信，而同一子网内的主机可以直接二层通信。此外，通过安全组策略可以精细控制云主机之间的访问权限，确保生产应用与数据库之间、不同生产环境之间的安全互通，并能指定通过端口的流量类型和方向，进一步加强网络安全防护。

1.1.5 5G 虚拟专网（简称 5G 专网）介绍

5G 虚拟专网基于 5G-SA 独立组网网络，利用共享式或下沉式 UPF，结合 5G 切片技术和通过 IPRAN/OTN 专线连接客户数据中心，为园区或企业提供专属私有

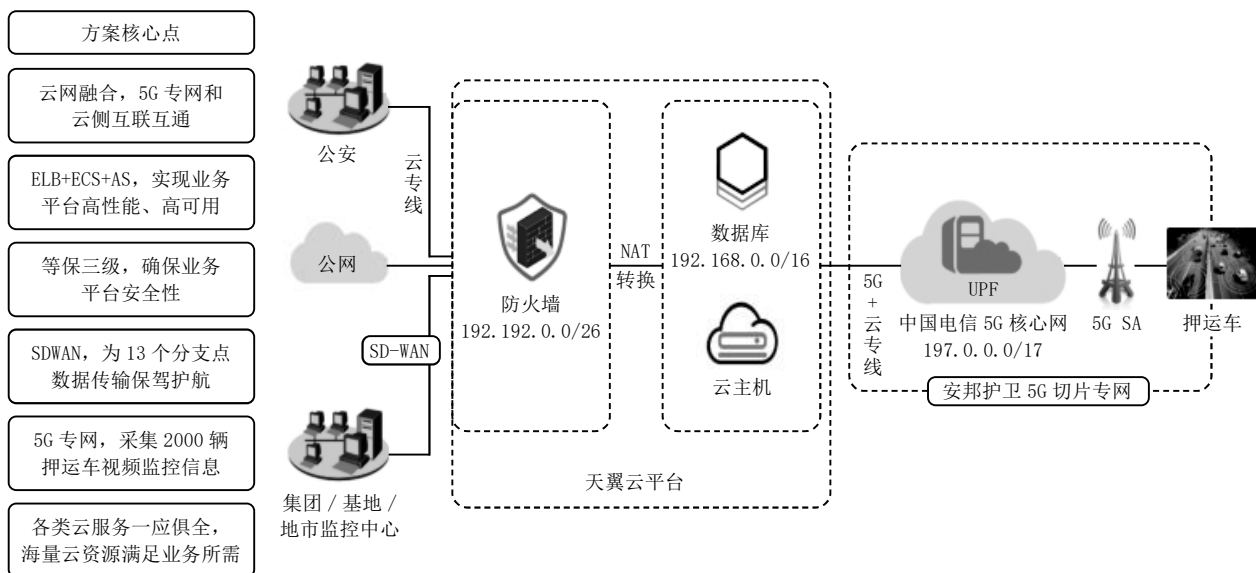


图 1 方案总体拓扑

IP 服务^[4]。该专网通过 5G 号码级的权属绑定隔离互联网,并使用专用通道确保内网安全^[5],从而替代了传统的基于 C 网的 VPDN 业务,服务于新质生产力。5G 技术以其高密度覆盖、优良的室内外覆盖质量、平滑的基站间切换、QoS 和优先级支持、网络弹性和防攻击能力,以及高速率低时延等特性,成为新一代通信标准。此外,5G 在安全方面采用了节点/设备独立密钥、双向认证和全程加密传输,并使用专用授权频段避免同频干扰,同时根据信噪比实时调整终端与基站之间的数据发送冗余度,进一步增强了安全性。5G 与云网融合技术相结合,在无线视频监控、人脸识别、4K/8K 直播、VR 全景直播、AR 导览、视觉质量检查、巡检无人机及巡检机器人等多种应用场景中展现出广泛的应用前景,为企业数字化转型提供了强有力的支持。

2 “车路云一体化”案例

当前各大城市正在积极推进“车路云一体化”应用试点,5G 与云网融合技术的高度契合为此提供了理想的解决方案。该方案旨在完善城市交通的道路和信息网络系统,增强智慧交通的车路协同基础设施建设,并全面提升城市公交管理和交通秩序管理水平。以车路协同技术为核心,从路端和云端两方面展开,实现大规模互联互通场景及平台建设,对车辆进行智能化和云网联化的升级改造,并投放全新的无人驾驶车辆。通过打造数字云平台及 5G+ 无人驾驶车辆综合解决方案,实现了多数据融合的互联互通,构建了新一代融合单车智能与车路协同的自动驾驶车载智能计算平台。此平台集成了数字孪生技术,向智能网联公交提供行车安全事件预警、信号灯消息、道路标志信息等服务,同时为交通监管等部门提供交通态势分析、交通流预测和交通信号优化等服务,从而提升交通出行效率和安全性。针对“车路云一体化”应用所需的云资源包括:云主机用于部署“车路云一体化”云控平台应用,云存储用于项目相关数据,网络带宽及专线资源用于云控平台与其他中心云、区域云、边缘云、应用平台、路侧设备及车载终端的对接,以及配套的网络安全服务。

云平台应具备弹性伸缩功能,以应对突发需求;在安全能力方面,提供 Anti-DDoS 流量清洗、云 WAF、云服务器安全服务、自定义安全组和云监控能力。对象存储支持 RESTful 接口访问,提供用户自服务门户和 API 接口,确保数据管理的便捷性与安全性。此外,VPC(虚拟私有云)支持跨可用区(AZ),便于运维人员管理和控制不同地理位置的应用服务器。对于无线

车载终端采用 5G 专网+云专线技术,车载无线终端通过 5G 物联网卡将数据通过无线信号传输至 5G SA 核心网的 UPF 设备,再通过与 UPF 相连接的 5G 专线连接云侧,也即云专线将数据传输至云侧一体化平台,将无线实时信息传送至云平台查看分析数据及数据交互;对于有线监控视频流,采用城域网 VPN 汇聚云专线方式接入云平台和云存储,每个监控网点通过 VPN 线路接入,速率为 20 M,所有点位都通过城域网 VPN 接入,通过 2 条 10G 线路互为主备打通城域网和云侧作为中心线路,以实现所有点位监控流直接入云。对于各地相关私有云、IDC 服务器等,以 OTN/IPRAN 云专线接入云平台,速率为 100 M,用户可携带私网 IP 不变上云,线上线网下大二层。互联网用户通过弹性 IP 接入,弹性 IP 通过 NAT 转换到指定的弹性主机上,这样便实现了天翼云中资源的访问,为实现与外部网络的通信,云主机、路由器、负载均衡、SSL VPN 等安全组件均能绑定和解绑弹性 IP。

3 结束语

5G 专网结合云网融合方案为新质生产场景构建了一个高效、灵活且安全的数字化网络基础设施。该方案通过实现生产设备间的无缝互联互通和数据的实时传输,极大地提升了生产效率,并简化了网络运维流程,从而有效降低了网络建设和维护的成本。此外,AI 技术的应用,不仅实现了产品质量检测的精准化和智能化,同时也开启了预测性维护的新篇章,进一步提高了产品的整体质量水平。这一综合解决方案不仅加速了企业的数字化转型进程,还显著增强了企业在激烈市场竞争中的响应速度与竞争力,为企业持续创新和发展奠定了坚实的基础。

参考文献:

- [1] 林瑶.5G 时代云网融合的发展策略研究[J].数字通信世界,2024(12):202-204.
- [2] 武文学,徐晓.云网融合的 5G 承载网络技术研究[J].数字通信世界,2025(01):31-33.
- [3] 强锋,郭绍波.基于 IPv6+ 的云网融合建设策略[J].网络安全技术与应用,2023(11):12-13.
- [4] 金武,张志伟,连祝成,等.基于 5G 电力定制网的应用研究[J].电气技术与经济,2023(06):23-26.
- [5] 王鹏洋.数字化转型背景下中小企业敏捷项目管理研究[J].中国管理信息化,2024,27(24):132-134.

基于激光扫描的建筑结构测量方法研究

王欣¹, 赵佳兴², 张乐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 随着建筑行业对精准度和高效性的要求不断提高, 传统的建筑结构测量方法已逐渐无法满足现代建筑设计与施工的复杂需求。激光扫描技术作为一种先进的三维测量工具, 凭借其高精度、快速性和非接触性, 逐渐成为建筑结构测量中的重要技术手段。通过激光扫描技术, 能够准确获取建筑物及其周围环境的三维点云数据, 为结构分析和施工管理提供精确的基础数据。激光扫描技术在建筑结构测量中的应用, 有助于解决传统方法中存在的误差问题, 提升测量效率, 减少人工操作的风险。本文对基于激光扫描的建筑结构测量方法进行研究, 以期为相关人员提供借鉴。

关键词 激光扫描; 建筑结构; 三维点云; 测量技术

中图分类号 TU198

文献标志码 A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.15.008

0 引言

随着建筑行业对数字化、智能化的需求不断增加, 激光扫描技术凭借其高精度、快速性和非接触性, 逐渐成为建筑结构测量中的重要工具。近年来, 国家在推动建筑行业信息化和智能化转型方面出台了一系列政策文件, 明确指出要加强建筑行业数字化技术的应用, 推动包括激光扫描在内的高新技术在建筑中的普及与应用。政策的支持为激光扫描技术的应用提供了强大的动力。然而, 技术普及仍面临一些挑战, 包括设备成本、数据处理复杂度等问题。本文探讨基于激光扫描的建筑结构测量方法的现状、问题及优化策略, 旨在为推动该技术在建筑行业中的进一步发展与应用提供参考。

1 激光扫描在建筑结构测量中的重要性

激光扫描技术在建筑结构测量中发挥着至关重要的作用, 不仅仅体现在提升数据精度和效率上, 更在于推动建筑设计、施工和管理的数字化转型。传统的建筑结构测量方法通常依赖人工测量, 这种方法受限于操作人员的技能与经验, 且受环境和测量工具的制约, 容易产生较大的误差, 导致测量结果的不准确性^[1]。激光扫描技术通过高频率发射激光束并接收其反射信号, 能够在短时间内精确捕捉建筑物的几何形态, 生成大量的三维点云数据, 提供详尽的空间信息。点云数据通过精确的数字重建, 能够直观还原建筑结构的每个细节, 尤其对于复杂形态和隐蔽结构的捕捉具有显著优势^[2]。与传统方法相比, 激光扫描不仅能够大幅提高测量的精度, 还能显著缩短测量周期, 从而提

高施工的效率。在建筑结构的维护和改造中, 激光扫描提供的精确现状数据能够帮助工程师准确评估现有结构的状态, 进而优化设计方案, 避免因设计误差造成的返工或安全隐患。由于激光扫描具有非接触性, 能够在不干扰现场环境的情况下进行数据采集, 有效消除了人工误差对测量结果的影响, 确保了数据的可靠性与一致性。因此, 激光扫描技术在建筑结构测量中的重要性不仅体现在其高效性和精确性, 还在于它为现代建筑项目的精确设计、施工质量保障及生命周期管理提供了重要支持^[3]。

2 激光扫描在建筑结构测量中的应用现状分析

2.1 激光扫描技术在建筑结构测量中的具体应用

激光扫描技术已经成为建筑结构测量中的重要工具, 特别是在复杂结构和大型建筑物的测量中展现出了无法比拟的优势。该技术通过激光设备发射激光束, 获取建筑物及其周围环境的三维数据, 生成点云信息, 能够提供精准的空间数据。与传统的人工测量方法相比, 激光扫描能够快速而准确地覆盖大面积区域, 且测量误差较小, 极大地提高了建筑测量的效率和精度。激光扫描不仅能够在短时间内完成大规模测量任务, 还能通过其高密度的三维数据, 精确重建建筑物的几何形态。这些三维点云数据不仅能为建筑设计提供详细的基础信息, 还能为施工过程提供重要的数据支持^[4]。在施工阶段, 激光扫描与建筑信息模型(BIM)相结合, 实现了施工过程的数字化、精准化管理, 提高了施工的质量控制和进度管理水平。同时, 激光扫描技术还

广泛应用于建筑物的维护和检测阶段,尤其是在改建和加固设计中,通过精确的现状数据,帮助工程师更好地理解和分析建筑结构,做出更加科学的决策。随着建筑行业对测量精度和高效性的需求不断提升,激光扫描技术逐步成为现代建筑项目中不可或缺的核心技术之一^[5]。

2.2 激光扫描设备和数据处理技术面临的困难

尽管激光扫描技术在建筑结构测量中展现了诸多优势,但在实际应用过程中依然面临一些较为突出的挑战。激光扫描设备的高成本仍然是许多建筑企业面临的重要问题,尤其是对于中小型项目而言,设备采购和运营成本高昂,限制了其广泛应用^[6]。即使一些大型建筑公司拥有了先进的设备,这些设备的维护和操作仍需要高技能的专业人才,进一步提高了整体的投入成本。此外,激光扫描生成的点云数据量巨大,数据处理和分析成为技术应用中的一大难题。激光扫描技术产生的数据密度非常高,点云的处理过程涉及大量的计算和分析,如何高效地从海量数据中提取有用信息,并将其转化为可用的建筑设计和施工数据,是目前技术发展的一大瓶颈。尤其是在大型建筑项目的实时反馈和精确分析需求中,数据处理的延迟和计算消耗可能导致项目进度延误,影响施工的及时性与质量保障。

2.3 激光扫描技术在建筑结构测量中集成化应用的挑战

随着激光扫描技术在建筑结构测量中的广泛应用,其集成化的使用面临着越来越多的挑战。在现代建筑项目中,激光扫描技术不仅需要与传统的测量方法相结合,还需与其他先进技术如建筑信息模型(BIM)、无人机航测、以及地理信息系统(GIS)等紧密配合。然而,激光扫描技术在多平台协作中常常遇到数据兼容性和处理流程不统一的问题,尤其是在不同设备之间的数据格式差异可能会影响数据的顺利传输和整合。随着建筑行业对于系统集成要求的日益提高,确保激光扫描设备与BIM系统的无缝对接变得愈发重要。然而,如何实现不同技术之间的数据互通、实时更新以及共享,仍然是当前技术应用过程中面临的一个显著挑战。这一问题的解决对于提高工作效率、减少错误和降低成本具有至关重要的意义。

3 激光扫描技术在建筑结构测量中的应用优化对策

3.1 优化设备成本结构,提升技术普及覆盖范围

在建筑行业中,激光扫描设备的高昂成本在一定程度上限制了其普及和广泛应用。为了能够有效地降

低这些设备的整体成本,制造商们应当致力于研发创新技术,以提升激光扫描仪的性价比。通过采用更为经济实惠的材料、优化生产工艺流程以及提升自动化生产水平,这些都是降低生产成本的有效途径^[7]。

随着科技的不断进步和创新,激光扫描技术将会迎来更加令人瞩目的变革。我们可以预见,激光扫描设备不仅会变得更加紧凑和便携,而且其功能将变得更为强大和多样化。这些设备的生产成本预计也将随着技术的成熟和规模化生产而进一步降低。企业可以通过灵活的租赁和共享设备的模式,来确保在进行精确测量的同时,大大减少对资金的需求。特别是对于中小型项目来说,这种模式可以有效地减轻企业的财务负担。通过租赁,企业无需承担一次性购买先进设备所需的巨额资金,从而可以更加灵活地使用这些技术,提高工作效率和项目质量,保持资金的流动性。同时,企业应加强对操作人员的技术培训,提升他们对激光扫描设备的理解与使用能力,减少外部技术支持的依赖,一方面能够降低建筑企业的技术服务成本,另一方面也能提高设备使用效率,确保数据采集的准确性与实时性。随着设备成本的降低和技术培训的普及,激光扫描技术在建筑项目中的应用将进一步扩展,尤其是对资金较为紧张的小型项目来说,租赁和共享设备的方式将成为有效的解决方案,推动这一技术的普及和应用^[8]。

3.2 加强数据处理效能,优化算法分析精准度

激光扫描技术生成的三维点云数据极为庞大且复杂,如何高效、精准地处理这些数据是提升激光扫描应用效果的关键问题。点云数据包含了建筑结构的丰富空间信息,但其数据量巨大,数据处理的速度和精度成为技术应用的主要瓶颈。为了提高数据处理效率,优化数据处理算法显得尤为重要。当前,许多激光扫描设备生成的数据点云密度高,尤其在大规模建筑项目中,数据的处理需求呈指数级增长。通过提升计算能力,采用高效的算法模型来压缩和优化数据处理流程,可以大幅缩短处理时间,提升数据分析的及时性。

与此同时,云计算、大数据等技术的融合应用也能够有效解决数据处理过程中面临的挑战。借助云计算技术,建筑企业可以实现数据的集中存储与高效处理,避免了传统存储方式中的容量瓶颈。大数据技术能够对大量的点云数据进行深度挖掘与分析,提取出有价值的结构信息,从而加快建筑结构测量的精准度与处理速度。为了进一步提高数据的处理能力,人工智能技术的引入也为点云数据分析提供了新的思路。

利用机器学习和深度学习算法,能够自动识别和分类点云中的不同结构元素,自动化处理过程大大提高了数据分析的效率。

与此同时,数据存储和传输技术的提升,特别是开发更高效的存储与压缩技术,也能够有效减少数据占用空间,降低数据存储成本,为大规模建筑项目的数据处理提供强有力的支持。

3.3 提升环境适应能力,保障复杂场景稳定性

在建筑结构测量中,复杂环境往往是激光扫描技术应用的一个难点。建筑物表面形态的多样性、空间的狭小性以及不同光照条件下的反射特性,都可能影响激光扫描的效果。为了提高激光扫描技术在复杂环境中的应用效果,必须针对设备的抗干扰能力和适应性进行改进。激光雷达系统在一些环境中容易受到外界干扰,尤其在强光、雨雪等恶劣环境下,激光信号的传播会受到严重影响,导致数据采集的准确性降低。因此,提升激光雷达系统的抗干扰能力,改进激光发射和接收系统,以确保在不同环境下都能稳定运行,成为技术改进的重要方向。

对于一些复杂环境,单一传感器的激光扫描系统可能无法满足测量需求,因此,多传感器融合技术的应用显得尤为重要。通过将激光扫描与其他传感器,如红外线、超声波、热成像等相结合,可以互为补充,提高数据采集的可靠性与精度。在恶劣环境下,红外线传感器能够有效弥补激光扫描的不足,帮助检测遮挡区域或低对比度的细节,从而保证测量结果的完整性和准确性。

此外,采用多传感器技术,还能提高数据的综合性,使得获取的数据更具综合参考价值,满足建筑项目中复杂环境下的测量需求。

3.4 推进激光扫描技术与BIM技术深度融合,实现全周期协同管理

随着建筑信息模型(BIM)技术的迅速发展,激光扫描技术与BIM的深度融合为建筑行业带来了全新的工作模式。BIM技术通过数字化模型对建筑项目的全生命周期进行管理,而激光扫描技术则通过生成精确的三维点云数据,为BIM模型提供了基础的数据支持。将激光扫描技术与BIM技术相结合,可以实现建筑结构的精准建模,并实时更新建筑物的现状数据,使得设计、施工、运营及维护的各个环节都能在同一平台上进行可视化和数字化管理。

这种数据协同的方式,大大提高了建筑项目管理的精度和效率,避免了传统方法中由于信息不对称或

误差积累造成的设计和施工问题。在设计阶段,激光扫描技术提供的精确现状数据为建筑师和工程师提供了一个准确的设计基础,减少了因设计不符合实际而产生的返工和修改。在施工阶段,BIM技术可以通过实时更新和监控施工进度,帮助施工团队及时发现问题并进行调整,确保工程按照预定计划进行。激光扫描技术与BIM技术的深度融合不仅优化了项目管理过程,还提升了建筑项目的质量控制能力,尤其在复杂结构或改建项目中,能够为每个施工环节提供精确的指导和支持。通过这一技术融合,建筑项目的可视化、信息化水平得到了显著提高,进一步推动了建筑行业向数字化、智能化转型的进程。

4 结束语

基于激光扫描的建筑结构测量技术在建筑行业中的应用日益广泛,为建筑设计、施工及维护等各个阶段提供了精确、可靠的数据支持。随着技术的不断发展,激光扫描技术的应用也逐步从高端大型项目向中小型建筑项目拓展。然而,设备成本、数据处理能力和环境适应性问题依然制约着激光扫描技术的广泛应用。通过降低设备成本、提升数据处理技术、优化环境适应能力以及推动BIM技术与激光扫描技术的深度融合,激光扫描技术在建筑结构测量中的应用前景将更加广阔,能够为建筑项目的高效、精准实施提供有力保障。

参考文献:

- [1] 王钦,刘鹏亮,郝帅,等.智慧城市背景下的智能给排水系统设计与应用[J].工程建设与设计,2023(18):107-109.
- [2] 许铁夫,陈悦佳,刘金锁.智慧水务背景下给排水科学与工程专业实践教学改革探索[J].黑龙江教育(理论与实践),2023(09):67-69.
- [3] 祝超,赵秀慧,张自强,等.智慧楼宇给排水设计[J].港工技术,2022,59(06):85-87.
- [4] 鹿佳明.给排水系统智慧化建设赋能韧性城市发展[J].中国安全生产,2022,17(04):54-55.
- [5] 徐静.智慧城市绿色给排水管道施工技术的应用分析[J].居舍,2022(11):61-64.
- [6] 杜洪涛.基于激光雷达的大比例地形测绘与数据联动更新技术[J].科技通报,2023,39(01):44-48.
- [7] 王彬.机载激光雷达在机场选址大比例尺地形图测绘中的应用[J].城市建设理论研究(电子版),2022,10(33):142-144.
- [8] 罗正龙,袁峥,吴玮.机载激光雷达技术在自然淤积区海岸线测绘中的应用[J].城市勘测,2022,28(04):87-89.

无人机技术在山地光伏电站施工中的应用

付秋云¹, 孔禹¹, 林杰², 胡益民¹, 张涛¹

(1. 株洲中车时代电气股份有限公司绿能分公司, 湖南 株洲 412001;

2. 会泽华电道成清洁能源开发有限公司, 云南 曲靖 654200)

摘要 山地光伏电站建设面临地形复杂、地块分散、坡度大、交通不便等挑战, 传统施工方式成本高、效率低且对环境影响较大。本文以云南省会泽县山地光伏项目为例, 探讨无人机技术在光伏材料转运中的应用, 通过对比分析, 无人机技术在成本控制、施工效率、安全管理和生态环境保护等方面展现出显著优势。研究结果表明, 无人机转运材料不仅降低了施工成本, 减少了人工搬运的安全风险, 还加快了施工进度, 同时最大限度地减少了对地表植被的扰动, 符合绿色施工要求。本文的研究旨在为山地光伏电站建设提供新的技术思路。

关键词 山地光伏电站; 无人机技术; 成本控制; 安全质量; 环境保护

中图分类号: TU27; V19

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.15.009

0 引言

随着全球对可再生能源需求的不断增长, 光伏发电作为一种清洁能源形式, 得到了广泛应用。然而, 山地光伏电站的建设面临着地形复杂、地块分散、坡度大、交通不便等诸多挑战, 传统的施工方式难以满足要求。无人机技术的引入为解决这些问题提供了新的思路。本文以云南省会泽县山地光伏项目为例, 探讨无人机技术在山地光伏电站建设中的应用, 分析其在成本控制、施工效率、安全管理和环境保护等方面的优势, 旨在为类似项目的施工管理提供参考, 推动山地光伏电站的可持续发展。

1 工程背景

矿山镇老坪子村唐家丫口光伏项目位于云南省会泽县上村乡。项目直流侧装机容量为 108 MWp。项目采用分块发电、集中并网方案, 光伏区采用双面双玻单晶硅 n 型组件, 项目分 57 个地块共 36 个光伏发电单元, 400 台 225 kW 组串式逆变器, 每台逆变器接入 16、17 个组串。光伏支架采用钢结构固定支架形式, 安装倾角 25°, 组件最低点距地面不小于 2.5 m。光伏阵列支架基础采用 C30 混凝土灌注桩桩基, 每个光伏组串采用 8 根双桩支架。双桩桩径为 150 mm, 设计桩长为 1.4 m。箱式变压器基础为灌注桩桩基加钢筋混凝土平台结构。集电线路采用直埋电缆和架空线路相结合的方式。

2 施工运输和转运难点及要点

2.1 材料进场

本项目光伏区地块位于偏远山区, 地块周边林地较多。进场道路多为乡村道路, 已有的道路狭窄且转

弯半径较小, 不利于光伏电站材料的运输。

为确保材料运输到位, 可对结构件尺寸设计和施工方案进行优化, 减少运输要求。但因地块分散在山区, 较多地块周边无原有道路, 施工时仍需修建运输道路。本项目所属乡镇植被覆盖率高, 乡村道路需穿越林地、农用地、村民自建道路或盘山道路, 道路改扩建将面临高成本、高难度、难协调且面临破坏地类图斑被政府职能部门执法的风险^[1]。

2.2 安全、环保措施

项目地块特点为: 地块面积小; 地形坡度大, 大部分山体坡度超过 35°, 局部坡度达 70°; 地质以中风化岩石居多, 行走易滑; 地貌冲沟较深, 深坑较多, 局部存在陡坡, 行走难度大^[2]。大量采用人工山地来回搬运材料易造成安全风险, 不利于项目安全管控。

随着国家政策对农用地和林草地保护要求的逐步提高, 绿色施工管理要求也日趋严格。在项目施工过程中, 职能部门也需严格管控植被保护实施情况。项目实施时, 需降低项目施工的机械化程度, 减少地表扰动。

2.3 施工散料

桩基、支架组件、电气等材料转运至光伏电站光伏区地块周边时, 需将材料散布至地块内。光伏区内机械化散料程度决定了散料难易程度。本项目光伏区地块地形、地貌、地质条件较差, 较多地块场内无交通道路, 材料不能直接采用运输车辆转运材料至地块内^[3]。

常规山地光伏项目采用山地爬山虎、畜力或纯人工等方式进行材料转运, 但受地块大小、地质条件和堆场限制, 本项目适用性较低。采用纯人工代替大型

机械散料，易造成人工成本偏高和临时农民工用工等问题，不利于项目管理^[4]。

2.4 桩基混凝土浇筑

山地光伏电站光伏区支架桩基础混凝土浇筑可采用溜槽由高至低传送混凝土。本项目较多地块顶部和地块内部无道路，采用纯人工挑运混凝土浇筑的方式，转运成本较高，施工进度慢。

2.5 总结

本项目常规的运输、转运和散料等施工方式实施难度大。针对各地块情况，对于地块小、交通条件不便的、地理条件较差地块，材料到达光伏区地块附近后应用无人机技术对材料进行转运，并匹配相应的实施方案，可在成本造价、安全质量、施工进度、生态环境保护等方面对项目的实施进行一定的优化。

3 无人机技术的应用对比

3.1 无人机技术参数及说明

3.1.1 无人机常规技术参数

(1) 整机重量小于 70 kg (含电池)；(2) 最大起飞重量不高于 120 kg；(3) 最大飞行半径不小于 2 km；(4) 最大可承受风速不超过 6 m/s；(5) 载重量不大于 50 kg。

3.1.2 无人机其他要求及说明

(1) 无人机通常采用租赁形式，一台一天起飞次数 100~200 次；(2) 无人机计费形式：吊运一次单价 8~14 元/次。

3.2 成本造价对比

1. 道路施工成本统计。本项目直流侧容量 108 MWp，合同道路总长约 10 km。道路施工单价 15~20 万元/km，平均每个地块容量约为 1.9 MWp，每个地块折合的道路平均施工长度约为 0.18 km，对应的道路施工费用为 2.7~3.6 万元，折合道路施工平均单价约 0.03 元/Wp。

2. 其他形式材料转运成本统计。山地光伏区陡坡地块无进场道路时常规做法为：爬山虎等小型机械转运、人工及畜力转运等方式。山地爬山虎和畜力转运材料方式受地块大小、地块地质和地块内是否有堆场等条件限制，本项目通用性不高。可实施性较高的方式为纯人工散料。

人工散料：1 组串散料为 71 人次，折合人工为 1.775 人工，外加电缆和逆变器等材料，1 MW 地块 (62 组) 施工人工散料折合费用为 38 824 元，折合单价为：0.039 元/W。具体计算流程详见表 1。

3. 无人机材料转运费用统计。采用无人机完成组串所有材料散料为 67 次，合计价格 670 元，外加电缆和逆变器等材料折合 1 MW 地块 (62 组) 施工散料费用

约为 47 334 元，折合单价为 0.047 元/W。具体计算流程详见表 2。

表 1 每组串材料人工散料统计

每组串材料人工散料统计 (双桩)					
物项	数量	单位	人工搬运次数 (次)	每人每天平均搬运趟数 (趟)	折合人工 (人工/天)
组件	28	块	28		
立柱	8	条	4		
斜梁	4	条	2		
檩条	12	条	12		
斜撑	8	条	3		
拉条 / 支撑	39	条	6	40	1.775
螺栓、连接件、抱箍	1	项	2		
混凝土	16	桶	8		
钢筋及下立柱	8	根	4		
接地扁铁、套管	4	项	2		
合计			71		1.775

(注：①现场混凝土用量含 1.5 的系数。② 1 MW 逆变器人工运费：4 人一天 300 元，合计 1 200 元；1 MW 交流电缆约 4 根，由 15 人单日完成，人工单价 300 元/天，总费用为 4 500 元；1 MW 逆变器支架：4 套，人工搬运 2 次。③散料搬运人工单价：300 元/天。)

4. 费用对比分析。对比①+②=0.069 元/Wp 的折合单价，无人机施工③=0.047 元/Wp 的折合单价性价比更优。

3.3 安全质量管理对比

1. 安全风险。本项目地形坡度大；地质中风化岩石居多行走易滑；地貌冲沟较深，深坑较多，局部存在陡坡，行走难度大；大量采用人工山地来回搬运材料存在安全隐患且不利于安全管控。采用无人机可减少搬运材料人数及工人的搬运移动范围，有利于项目安全管理。

2. 质量管控。(1) 采用无人机：吊运组件、拉条等材料，可减少组件隐裂和材料受损概率；提高吊运混凝土效率，减少因运输时间过长导致混凝土初凝，有利于现场质量管控^[5]。(2) 以本项目为例 (575/620 组件)：机械配合人工转运组件破损率约为 2%，若项目整个破损组件数预计可达 364 块，损失费约 17.7 万元。无人机转运组件几乎无破损。

表 2 每组串无人机工程统计

每组串无人机工程统计（双桩）					
物项	数量	单位	无人机吊 飞一次		无人机运 输价格 (元)
			运次数 (次)	单价(元) / 次	
组件	28	块	28	10	280
立柱	8	条	4	10	40
斜梁	4	条	1	10	10
檩条	12	条	6	10	60
斜撑	8	条	4	10	40
拉条 / 支撑	39	条	6	10	60
螺栓、连 接件、抱 箍	1	项	2	10	20
混凝土（桩）	8	根	10	10	100
钢筋及下立柱	8	根	2	10	20
接地扁铁、 套管	4	项	4	10	40
合计			67		670

（注：①现场混凝土用量含 1.5 的系数。② 1 MW 逆变器人工运费：4 人一天 300 元，合计 1 200 元；1 MW 交流电缆：4 段电缆 15 人一天完成。每人每天 300 元，合计 4 500 元；1 MW 逆变器支架：4 套，无人机 2 次。）

3.4 施工进度对比

1. 纯人工散料：采用人工挑运混凝土，平均 12 人 1 天桩基浇筑功效为 100 根桩，1 MWp（496 根）桩基混凝土浇筑需要约 60 个人工；支架、组件散料需要约 110 个人工。综上，采用纯人工散 1 MWp 材料，合计约 170 个人工。

2. 无人机散料：采用 1 台无人机散料，4 名工人配合浇筑混凝土，一天约浇筑 90 根桩，则 1 MWp（496 根）桩基混凝土浇筑需要 22 个人工；1 台无人机支架、组件散料，4 名工人配合装料和卸料，1 MWp 材料散料需 83 个人工。综上，采用无人机散 1 MWp 材料，合计需要约 105 个人工。

因此，采用无人机散料，折合人工数量越少，施工进度越快。

3.5 生态环境保护对比

1. 减少地表扰动。采用无人机技术吊运材料，减少机械设备运输对地表扰动，保持原生地貌，有利于环境保护。

2. 减少产生违法图斑处理的代价。（1）违法图斑：

施工过程中临时产生的清表、临时堆场、临时道路等对地表的扰动都为违法图斑。（2）以林草局对林草图斑处理为例。地表扰动面积行政处罚界限为：其它草地 < 20 亩，公益林 < 5 亩，其他林地 < 10 亩。若超出以上面积，将面临刑事处罚。

3. 减少植被恢复成本。植被保护和恢复：因国家对项目用地政策的紧缩，大部山地分光伏项目能采用的图斑类别为林草图斑中的其他草地。项目总图在报批政府林草单位时，需同时上报：项目植被保护方案、林地恢复方案、草地恢复方案等方案，政府职能会针对项目的实施方案（地表扰动情况），核实项目植被恢复费用。

以本项目政府林草单位植被保护要求为例：

责任范围：该项目必须采取场地平整、地表覆土、植被恢复、景观绿化、边坡绿化工程措施。其中：光伏场区办理临时用地（草原）面积 0.2 581 hm²，需要进行场地平整，并覆土后恢复植被；对光伏阵列区 108.6 052 hm² 面积，因施工造成了局部破坏，对受到破坏的面积，需要进行覆土平整后，恢复植被；未布设光伏板区域 25.5 833 hm² 面积，在施工过程中会造成一定破坏，设计为景观恢复区，采取破土免耕撒播灌草，进行景观植被恢复。

4 结束语

随着国家新能源项目的逐步推进，山地光伏项目越来越多，后续光伏项目的场址条件也将越来越差。另外，国家对农用地和林草地保护要求也在逐步提高，绿色施工要求将越来越严，以牺牲环境为代价的生产方式将会逐步被淘汰。在新环境下对项目实施方案做相应的调整才能适应工程的发展。山地光伏电站面对越来越严峻的施工环境，无人机技术在山地光伏项目上的应用能在一定程度上从成本造价、安全质量、施工进度，特别是生态环境保护等方面促进山地光伏项目的可持续发展。

参考文献：

- [1] 卢强. 浅谈山地光伏区施工难点及应对措施 [J]. 人民黄河, 2023, 45(S1): 175.
- [2] 石营. 山地高陡坡微型光伏基础施工重难点分析与对策 [J]. 水电站机电技术, 2023, 46(07): 129-130.
- [3] 赵建生. 山地光伏发电建设项目施工管理对策研究 [J]. 云南水力发电, 2024, 40(01): 195.
- [4] 任龙. 山地光伏电站项目施工管理对策研究 [J]. 中小企业管理与科技, 2022(08): 47-49.
- [5] 曾庆贺. 浅谈山地光伏灌注桩基础施工质量控制 [J]. 湖南水利水电, 2022(02): 5-6.

公路路基填筑施工智能监测与质量控制研究

杨 维

(四川路桥盛通建筑工程有限公司, 四川 成都 610000)

摘 要 本文聚焦于智能监测与公路路基填筑施工的交叉融合, 探索了数据感知、智能分析、动态优化、区块链应用等方面的技术创新与管理变革, 分析了智能监测在路基填筑质量管控中的重要意义, 进而从多源异构传感器协同感知、多层级智能化数据分析、开放兼容的系统集成架构等角度阐述了面向路基填筑的智能监测系统设计思路, 并在此基础上重点探讨了融合智能监测的质量评估、预测、动态优化控制等方法创新, 分析了智能监测驱动下公路路基填筑质量管理的发展趋势, 旨在为促进行业数字化、智慧化转型升级提供借鉴。

关键词 公路路基填筑施工; 智能监测; 质量控制

中图分类号: U416.1

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.15.010

0 引言

公路作为国民经济和社会发展的基础设施, 其建设质量事关交通运输效率、行车安全和工程投资效益。路基填筑作为公路工程的基础环节, 其施工质量更是直接决定了路体结构的完整性、稳定性和耐久性。近年来, 以物联网、大数据、人工智能为代表的新一代信息技术蓬勃发展, 正加速向工程建设领域渗透融合。智能监测作为工程管理信息化、智能化的核心抓手, 通过构建全方位、全过程、全天候的监测感知网络, 实现工程现场的透明化和过程的可视化, 为质量管控提供更加及时、准确、全面的数据支撑。

1 公路路基填筑施工质量控制的重要性

1.1 质量控制是实现工程效益最大化的关键环节

工程质量直接关系到公路的使用性能和寿命, 进而影响整个工程的投资效益。路基填筑作为公路工程的基础, 其施工质量的优劣对公路的耐久性和安全性具有决定性作用。通过在填筑施工过程中实施严格的质量控制措施, 可以从源头上预防和减少质量缺陷, 避免因返工、维修等导致的成本增加和工期延误, 从而实现工程效益的最大化^[1]。同时, 高质量的路基填筑也是树立企业品牌形象、提高市场竞争力的重要砝码。可见, 质量控制已成为现代公路工程施工管理中不可或缺的关键环节, 对于实现工程效益的最大化具有重要战略意义。

1.2 质量控制是应对复杂路基病害的有效手段

公路路基常存在诸如不均匀沉降、高液限土破坏、

湿陷性黄土地基等复杂工程问题和病害隐患。如果在施工过程中疏于质量管控, 则极易埋下病害隐患, 导致路面开裂、车辙、波浪等病害的发生, 严重影响公路的使用性能和安全。而通过在填筑施工的关键环节和重点部位实施精准的质量控制, 如优化施工工艺、加强原材料质量管理、实时监测压实度等, 则可以最大限度地规避上述质量风险。尤其在特殊土质、不良地质等复杂路基条件下, 更需要通过主动预控、动态管理等质量控制手段, 实现质量状况的量化评估和反馈优化, 为应对复杂路基病害挑战提供坚实的保障。

1.3 质量控制是践行可持续发展理念的重要抓手

在可持续发展理念日益深入人心的新时代, 公路工程建设也面临着更高的节能环保要求。将节能、低碳、耐久等指标纳入质量控制范畴, 对于推动公路路基填筑施工的绿色化、生态化具有重要意义^[2]。例如: 在填筑材料选择上, 优先采用工业废渣等再生材料, 减少天然材料开采; 在施工机械配置上, 优选节能环保型设备, 提高能源利用效率; 在现场管理中, 加强扬尘、噪声、固废等污染防控, 最大限度地减少施工活动对环境的负面干扰。可以说, 将可持续发展理念融入质量控制全过程, 通过对各施工环节、工序实施精细化管理, 是新时期公路工程高质量建设的必由之路。

2 公路路基填筑施工智能监测系统设计

2.1 多源异构传感器协同感知方案

在公路路基填筑施工智能监测系统设计中, 首要任务是实现对施工过程关键质量参数的全面精准感知。

鉴于路基填筑工程的复杂性和动态性,单一类型传感器难以满足多场景、全过程的监测需求。为此,本文提出一种多源异构传感器协同感知方案。该方案综合应用变形、应力、温度、湿度等多种类型传感器,构建起全维度、多尺度的质量参数感知网络。同时,针对不同施工工艺、作业环境,遴选差异化的同类传感器,发挥各自优势,互补不足。通过多源传感器的一体化集成与智能协同,可获取更全面、更准确的质量状态信息,为后续智能分析、质量预警奠定数据基础。值得一提的是,传感器选型还需统筹兼顾本质安全性、稳定性、经济性等多重因素,以期达到监测性能、工程适用性和成本投入的最优平衡。总之,以多源异构传感器协同感知为核心的智能监测方案,可为动态把控路基填筑施工质量提供坚实的数据支撑。

2.2 多层次智能化数据分析体系

公路路基填筑施工智能监测系统的另一核心在于构建多层次智能化数据分析体系,充分挖掘海量监测数据中蕴藏的质量管控知识。鉴于监测数据来源多样、格式复杂,数据治理是分析应用的首要环节,通过制定统一的数据标准规范,运用数据清洗、融合等技术,夯实后续分析的数据基础。在数据预处理阶段,利用信号处理、特征工程等手段,提取对质量状态描述最为准确、敏感的关键特征参数,在确保信息完整性的同时降低数据维度,减轻计算负荷^[3]。基于优选的特征参数,结合专家经验、工程先验知识,运用机器学习、深度学习等人工智能技术,建立起映射监测数据与工程质量状态的预测模型,形成从数据到决策的端到端分析路径。分析结果与三维可视化工程场景相融合,直观呈现质量演变全景,辅助工程管理人员及时洞悉质量风险,科学制定应对策略。多层次智能化分析体系的构建,使得质量管控决策从经验驱动走向数据驱动、知识驱动,助推路基填筑施工迈向更高质量、更高效益。

2.3 开放兼容的系统集成架构

公路路基填筑施工智能监测系统在顶层设计上须坚持开放兼容的理念,与智慧建造各业务系统及管理平台无缝集成。系统架构需预留标准化的数据交换接口,与 BIM、GIS 等平台构建双向连接,将设计阶段的模型数据、施工过程的机械设备信息等引入监测场景,同步反馈监测数据,实现数字孪生、实景建模等信息应用。监测系统与工程管理各职能模块也应做到互

联互通,将监测数据嵌入质量、进度、成本等业务流程,建立与各专项系统的协同联动机制,将质量管控与进度把控、成本优化等目标统筹兼顾。为提升系统集成架构的灵活性、扩展性,可引入微服务、容器化等先进架构思想,对各功能模块解耦重组,实现模块化、组件化部署,灵活适配业务变化。开放兼容、智能协同的监测系统集成架构,是实现路基填筑智能建造、提升工程管理水平的关键举措,对于传统粗放式管理模式的变革具有重要意义。

3 基于智能监测的公路路基填筑施工质量控制方法

3.1 多源监测数据融合驱动的质量评估

智能监测系统产生的海量多源异构数据蕴藏着路基填筑施工质量演变规律。要充分发掘这一数据价值,实现对施工质量状态的全面评估,需构建面向全过程、多尺度的数据融合分析框架。具体而言,在时间维度上,通过时间序列分析、变化点检测等方法,刻画质量指标的动态变化趋势,把握质量演进脉络^[4];在空间维度上,利用空间插值、地统计学建模等技术,揭示质量水平的空间分布规律,识别质量的薄弱区段;在语义维度上,运用本体推理、知识图谱等人工智能技术,深度挖掘质量影响因素间的复杂关联,探寻质量评估的内在机理。

以公路路基压实度质量评估为例。首先,将不同时间点获取的压实度监测数据进行汇聚,利用时间序列平滑、分解等技术,刻画压实度指标随时间的波动规律,判断其变化趋势是否符合设计要求。同时,针对施工现场不同区域布设的压实度传感器,采用克里金插值等空间统计分析方法,获取整个施工区域的压实度空间分布图谱,直观呈现质量的均匀性。在此基础上,运用关联规则挖掘、因果推理等智能算法,探究压实度与含水量、干密度等多源监测数据之间的关联模式,揭示这些要素与压实质量的内在作用机制。通过融合多源监测数据所构建的质量评估模型,能够实时评判压实施工的质量状态,当评估结果低于预设阈值时,及时预警质量风险。工程管理人员可据此迅速判断问题根源,动态调整碾压遍数、振动频率等工艺参数,从而实现路基压实质量的闭环控制。类似的融合分析思路也可推广应用于路基沉降、强度等其他质量评估场景。

3.2 机理驱动的质量演化规律刻画与预测

揭示路基填筑施工质量演化规律是实现预测性质

量控制的重要基础。在大数据分析的同时,更需重视工程机理知识的融合应用。具体而言,可通过理论分析与数值模拟相结合的方式,构建能够刻画路基填筑质量演化过程的机理模型,包括变形沉降、强度增长、湿度场—应力场耦合等。

在模型构建过程中,一方面要立足于土力学、岩石力学等学科的基本定律,确保模型的物理合理性;另一方面,要充分融合工程地质、水文气象等环境要素的动态监测数据,提升模型对实际复杂工况的适用性。同时,基于海量质量监测数据对模型参数进行修正和优化,进一步提升模型精度。

以湿陷性黄土地基的沉降质量预测为例。首先,基于非饱和土力学理论,构建能够反映湿陷性黄土固结变形特征的本构模型,如双应变硬化弹塑性模型等。在模型中引入降雨入渗、蒸发等水分迁移过程的数学描述,体现湿度场与应力场的耦合作用机制。然后,利用现场布设的孔隙水压力、含水量等传感器的实时监测数据,对模型中的渗透系数、湿陷系数等关键参数进行率定,提升模型对实际工程环境的适用性。在此基础上,将机理模型预测的沉降量作为智能算法(如支持向量机、神经网络等)的输入特征,同时将现场沉降监测数据作为训练样本,构建融合机理特征的沉降预测模型。这种混合建模范式不仅能充分利用监测大数据训练模型,提高预测精度,还能借助机理模型的外推性,对未监测区域、长期变形趋势做出合理预估,减少数据驱动模型的黑盒特性,增强预测结果的物理解释力。工程管理人员可根据预测的沉降趋势动态优化施工工艺,预防沉降超限,确保路基施工质量,体现出机理驱动的质量预测方法相较于传统经验判断的优越性。

3.3 动态反馈的智能质量优化决策

基于智能监测数据获得的质量评估与预测结果,可通过构建多目标优化模型,在满足质量约束条件的前提下,同时兼顾工期、成本等管理目标,求解出各项施工工艺参数的最优配置组合。将优化结果与工程专家知识相融合,形成切实可行的质量控制策略,并实时反馈至施工现场予以执行。动态反馈优化控制闭环的构建,使得路基填筑施工过程在不断自我评估、预测、优化中逐步趋于最优状态,质量源于设计的理念也由此得以落地^[5]。

以碾压施工质量优化控制为例,通过融合压实度、

含水量等多源监测数据构建的质量评估模型,可实时判定当前碾压质量是否满足要求。若评估结果低于设计阈值,质量预测模型还能预判在当前施工工艺下的最终压实度趋势。基于评估与预测信息,构建碾压质量动态优化模型,目标函数为综合考虑实际压实度与目标值偏差、工期延误风险、成本增量等因素后的加权总价值,决策变量为碾压机具类型、碾压遍数、振动频率、行进速度等工艺参数,约束条件包括最终压实度须达标、工期不超限等,求解该多目标优化模型,即可得到当前工况下的最优碾压施工组合策略,通过动态反馈优化控制,碾压过程在机理约束下不断自我改进,最终实现一次成型,质量、进度、成本效益得以同步提升。

4 结束语

智能监测技术与质量控制方法的融合创新,正成为新时代公路工程高质量发展的重要驱动力。随着物联网、大数据、人工智能等新兴技术的日益成熟和广泛应用,智慧化、信息化已成为行业发展的必然趋势。在这一背景下,公路路基填筑施工质量控制也迎来了从传统经验驱动向数据驱动、从事后被动应对向事前主动预控的范式转变。然而,理论创新到工程应用的转化落地仍面临诸多挑战。未来,相关工作者要进一步增强使命担当,深化产学研用协同创新,加快核心技术攻关。在智能传感、边缘计算、知识工程、密码学等领域持续发力,打造技术、产品、解决方案的全栈式创新能力,为工程质量管理提供更加先进、可靠、智能的技术支撑,扎实推进新技术、新方法的工程适用性研究,因地制宜地开展试点示范,不断完善行业标准规范,营造数字化转型的良好生态。

参考文献:

- [1] 尚立波,李莹.公路路基填筑施工质量控制措施研究[J].中国新技术新产品,2024(09):96-98.
- [2] 李国鹏.公路路基填筑碾压工艺及质量控制[J].建材发展导向,2023,21(16):79-82.
- [3] 张长璞.市政道路路基工程施工工艺及质量控制分析[J].新材料·新装饰,2023,05(05):159-162.
- [4] 田雷,张文进.高地下水位条件下路基填筑施工质量控制探析[J].科技创新与应用,2023,13(29):141-144.
- [5] 姜绳.既有公路路基改扩建施工关键技术及质量控制研究[J].工程建设与设计,2024(14):134-136.

电气自动化在无纬布成型设备中的应用与优化

刘 群, 田洪庆

(山东莱威新材料有限公司, 山东 济南 271100)

摘 要 无纬布成型设备的核心功能在于通过精确控制材料成型过程, 实现复杂结构的加工。电气自动化技术通过将 PLC (可编程逻辑控制器)、伺服系统及人机界面等先进技术整合到设备中, 实现了对成型过程的精确控制与优化。这一技术的应用不仅提高了设备的加工精度和效率, 还通过数据采集与分析功能, 为设备的运行状态提供了科学依据, 从而实现了设备的智能化管理。电气自动化技术的融合应用, 使无纬布成型设备在实现高精度加工目标的同时, 亦为制造业智能化升级开辟了创新技术路径。本文详细分析了电气自动化在无纬布成型设备中的应用, 并就应用中存在的问题提出了优化策略, 以期为相关行业及从业人员提供有益参考。

关键词 电气自动化; 无纬布成型设备; 高精度加工; 智能化管理

中图分类号: TB332

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.15.011

0 引言

电气自动化技术在无纬布成型设备中的深度融合, 成为推动现代制造业向智能化、高效化转型的关键里程碑。无纬布成型设备作为典型的高精度复杂加工系统, 其技术核心聚焦于材料成型全过程的精密控制。该技术体系通过多模态传感器网络、智能控制器与高精度执行单元的协同集成, 构建起设备运行状态的实时感知与动态调控闭环, 显著增强了系统鲁棒性与生产效能。技术革新同时重构了设备操作范式, 通过自动化流程替代传统人工干预, 有效规避了人为操作误差累积风险, 为设备智能化跃迁提供了底层技术保障。

1 电气自动化在无纬布成型设备中的应用

1.1 自动化控制技术的应用情况

自动化控制技术在无纬布成型设备中的核心应用聚焦于设备运行全流程的精密调控与系统优化。该技术体系通过 PLC (可编程逻辑控制器) 与 DCS (分布式控制系统) 的协同集成, 构建起对温度、压力、速度等关键工艺参数的多维度实时感知与动态调节机制。PLC 作为中央控制枢纽, 依托定制化编程逻辑实现设备运行状态的纳米级精度控制, 保障复杂加工场景下系统稳定性; DCS 则凭借分布式拓扑结构, 将控制任务解耦至多个自治节点, 显著提升系统容错能力与响应敏捷性。在无纬布成型工艺中, 该技术不仅将加工精度提升至亚微米级别, 更通过智能控制算法优化实现能耗降低 15% 以上及运维成本压缩 20%。其技术延伸价值体现在为设备智能化演进提供底层架构支撑, 推动无纬布成型设备向自主决策、自优化方向升级。

1.2 传感器技术的使用

传感器技术在无纬布成型设备中的深度应用, 为设备精密控制与状态感知构建了多维数据网络。该技术体系通过融合温度、压力、位移及速度等多模态传感器, 实现了加工全流程关键参数的实时采集与量化表征。这些高精度数据流为控制系统提供了动态决策基准, 例如基于温度梯度变化实施加热功率的闭环调节, 或依据压力波动曲线优化模具夹紧策略。在无纬布成型工艺中, 传感器网络不仅将加工精度提升至微米级水平, 更通过设备状态特征的持续监测, 使故障预警准确率提高 40% 以上, 维护响应效率提升 30%。其技术延伸价值体现在为设备全生命周期管理提供数据基石。

1.3 通信技术在设备中的应用

工业以太网、无线通信及现场总线等通信技术的融合应用, 构建了无纬布成型设备与上位机、协同装置及远程运维中心的全域数据交互网络。工业以太网凭借千兆级传输带宽, 保障了控制指令与设备状态数据的毫秒级同步, 使系统响应延迟降低 60% 以上, 可靠性提升至 99.999% 水平。无线通信技术则突破物理连接限制, 通过 5G/Wi-Fi6 网络实现设备移动场景的远程诊断与参数重构, 使现场维护效率提升 40%。在无纬布成型工艺中, 该通信架构不仅增强了多设备协同作业能力, 更依托远程监控平台将运维成本压缩 25%。其技术延伸价值体现在为设备智能化管理提供底层支撑, 例如基于 OPC UA 协议实现设备全生命周期数据贯通, 结合边缘计算构建智能工厂数字孪生体, 推动生产模式向分布式协同智造演进^[1]。

1.4 执行机构的自动化应用

执行机构在无纬布成型设备中的自动化应用，为设备的精确动作控制提供了重要保障。通过集成伺服电机、液压缸及气动元件等执行机构，设备能够实现模具运动、材料输送及压力调节等动作的精确控制。伺服电机通过高精度位置控制，确保模具运动的精确性与稳定性。液压缸与气动元件则通过调节压力与速度，满足不同材料的成型需求。在无纬布成型设备中，执行机构的自动化应用不仅提高了设备的加工精度，还通过优化动作控制算法，降低了设备的能耗与运行成本。执行机构的自动化应用还为设备的智能化升级提供了技术支持，如通过智能控制算法优化执行机构的动作轨迹，实现设备的自主决策与优化^[2]。

1.5 监控系统的应用

监控系统在无纬布成型设备中的集成应用，为设备状态感知与故障预判构建了智能化技术平台。该技术体系通过SCADA（数据采集与监控系统）与HMI（人机界面）的协同部署，实现了设备运行参数的实时采集与多维可视化呈现。SCADA系统依托多源传感器网络，对温度、压力、速度及能耗等关键指标进行毫秒级采样，为设备健康度评估与能效优化提供数据支撑；HMI界面则通过三维动态建模与交互控件，将设备状态信息转化为可操作的数字孪生体，使操作响应速度提升50%以上。在无纬布成型工艺中，该监控架构不仅将设备综合效率（OEE）提高18%，更通过异常模式识别算法将故障定位精度提升至95%，维护成本降低30%。其技术延伸价值体现在为设备全生命周期管理提供决策依据，例如基于时序数据库构建设备衰退模型，推动无纬布成型设备向预测性智造模式升级^[3]。

2 电气自动化在无纬布成型设备应用中存在的问题

2.1 自动化系统的稳定性问题

自动化系统在无纬布成型设备中的集成应用虽显著提升了加工精度与生产效率，但系统稳定性仍面临多重挑战。其可靠性瓶颈主要源于硬件设备、控制逻辑及环境扰动等耦合因素。在硬件层面，控制器、传感器及执行机构的突发性失效可能引发系统级故障，导致加工参数漂移或工艺中断；在算法维度，多变量耦合控制与非线性优化策略虽提升控制效能，但计算复杂度增加易引发实时响应延迟与控制精度劣化，造成控制回路振荡或数据采集失真。

2.2 传感器的精度与可靠性问题

传感器在无纬布成型设备中的应用，虽然为设备

的精确控制与状态监测提供了重要支持，但其精度与可靠性问题仍然存在。传感器的精度主要受制造工艺、校准方法及使用环境等因素的影响。制造工艺的缺陷，如材料不均匀、加工误差等，可能导致传感器的测量误差增大。校准方法的不当，如校准频率不足、校准标准不统一等，可能影响传感器的测量准确性^[4]。

2.3 通信网络的干扰与故障问题

通信网络在无纬布成型设备中的部署虽为远程运维与多机协同提供了技术保障，但信号干扰与硬件故障仍制约其可靠性提升。外部电磁噪声、信号衰减及网络拥塞等扰动因素，易导致数据帧丢失或时序错乱，其中电磁干扰可使误码率上升至 10^{-3} 量级，信号衰减造成有效通信半径缩短30%以上，网络拥塞则引发端到端延迟波动超过200 ms。在硬件层面，交换机、路由器及通信模块等关键节点的单点失效，可能造成区域网络瘫痪或关键数据传输中断，其故障率随设备老化呈指数级增长。

2.4 执行机构的响应速度与准确性问题

执行机构的响应速度主要受驱动方式、控制算法及负载特性等因素的影响。驱动方式的差异，如电机驱动、液压驱动及气动驱动等，可能导致响应速度的不同。控制算法的复杂性，如多变量耦合控制及非线性控制，可能增加系统的计算负担，导致响应速度下降^[5]。负载特性的变化，如负载惯性、摩擦阻力等，可能影响执行机构的动态性能。执行机构的准确性主要受制造工艺、校准方法及使用环境等因素的影响。

2.5 监控系统的功能局限性问题

监控系统在无纬布成型设备中的应用，虽然为设备的运行状态监测与故障诊断提供了重要支持，但其功能局限性问题仍然存在。监控系统的功能局限性主要受硬件设备、软件算法及数据采集范围等因素的影响。硬件设备的性能，如处理器速度、存储容量及通信带宽等，可能限制系统的数据处理能力。软件算法的复杂性，如数据分析、故障诊断及预测维护等，可能增加系统的计算负担，导致功能实现受限。

3 电气自动化在无纬布成型设备中的优化策略

3.1 提升自动化系统稳定性的措施

增强自动化系统稳定性的技术路径涵盖硬件升级、算法优化与环境隔离三大维度。硬件层面采用军工级控制器、冗余传感器及高精度执行机构，配合模块化热插拔设计，可使系统平均无故障时间（MTBF）提升

60% 以上; 算法维度融合自适应控制、模糊逻辑及深度强化学习等智能策略, 构建动态补偿机制, 将复杂工况下的控制误差压缩至 $\pm 0.5\%$ 以内; 环境防护体系通过多层电磁屏蔽、精密温控腔体及主动减振平台, 有效抑制 90% 以上的外部扰动。在无纬布成型设备中, 该综合方案可实现系统稳定性从 98.5% 至 99.99% 的跨越式提升, 确保在 $\pm 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 温度波动、85% 相对湿度及 10 g 振动烈度等极端条件下仍保持纳米级加工精度^[6]。

3.2 提高传感器精度与可靠性的方法

提升传感器精度与可靠性的技术策略聚焦于工艺革新、校准体系升级及环境适应性增强三大核心领域。在工艺优化层面, 采用飞秒激光微加工、单晶硅基材及真空共晶封装等先进技术, 可将迟滞误差降低至 0.05% FS 以下, 温度系数优化至 5 ppm/ $^{\circ}\text{C}$ 量级; 在校准体系创新方面, 构建基于量子基准的溯源网络, 实施在线动态补偿与自适应校准算法, 使长期稳定性提升至 0.1% FS/年; 在环境控制维度, 部署复合式温湿度调控模块 (控制精度 $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}/\pm 3\% \text{ RH}$) 与多层 μ 金属屏蔽结构, 可抑制 99% 以上的电磁干扰。在无纬布成型设备中, 该综合方案可实现传感器综合误差从 $\pm 1\%$ FS 降至 $\pm 0.2\%$ FS 的突破, 确保在 85 $^{\circ}\text{C}$ 高温、95% RH 高湿及 10 V/m 强电磁场环境下, 关键工艺参数测量精度始终维持在 $\pm 0.5\%$ 的工业级标准, 为设备闭环控制提供可靠数据基石^[7-8]。

3.3 解决通信网络干扰与故障的方案

解决通信网络干扰与故障的方案主要包括硬件设备的优化、网络协议的改进及外部环境的防护。硬件设备的优化, 如采用高可靠性交换机、路由器及通信模块, 可以提高网络的抗干扰能力与运行稳定性。网络协议的改进, 如引入 QoS (服务质量) 机制、冗余通信及数据加密技术, 可以提高网络的传输效率与安全性。外部环境的防护, 如增加电磁屏蔽、信号增强及网络隔离等措施, 可以减少外部环境对网络运行的干扰。在无纬布成型设备中, 通过实施这些方案, 可以显著解决通信网络的干扰与故障问题, 确保设备监控与协同控制的实时性与可靠性^[9]。

3.4 改善执行机构性能的优化策略

改善执行机构性能的优化策略聚焦于驱动方式革新、控制算法升级以及负载特性适配三大核心领域。具体而言, 选用高性能伺服电机、先进液压系统以及精密气动元件等优化驱动方式, 能够显著提升执行机构的响应速率与动作精准度; 引入自适应控制、模糊逻辑

控制及神经网络控制等先进算法改进控制策略, 可有效增强执行机构的控制精度与动态响应能力; 通过优化负载惯性配置、降低摩擦阻力并改良机械结构以实现负载特性精准匹配, 则能大幅提高执行机构的运行效能与稳定性。在无纬布成型设备应用场景中, 综合运用上述优化手段, 可系统性提升执行机构性能表现, 为设备动作的精确控制与稳定运行提供坚实的保障^[10-11]。

4 结束语

电气自动化技术在无纬布成型设备领域的应用成效显著, 其不仅显著提高了设备的加工精度与生产效率, 更为制造业智能化转型提供了关键支撑。借助先进传感器、控制器及执行机构的集成, 该技术实现了对设备运行状态的全时精准监控与动态调节, 使设备操作流程得以优化, 有效规避了人为操作带来的不确定性及误差。自动化技术的融入为设备智能化管理积累了海量数据资源, 构建起制造业数字化转型的坚实技术框架, 推动行业向更高效、更智能的方向迈进。

参考文献:

- [1] 蔡顺忠. 并列、海岛构型聚丙烯双组份纤维无纺布的成型制备及其性能研究 [D]. 青岛: 青岛大学, 2024.
- [2] 罗小豪, 李国成, 张晓宇, 等. 基于 3D-DIC 技术的老化 UHMWPE 无纬布准静态拉伸性能研究 [J]. 包装工程, 2024, 45(07): 254-259.
- [3] 苑晓洁, 蔡烨梦, 陈旭, 等. 加工温度对 PP 无纺布自增强复合材料性能的影响 [J]. 工程塑料应用, 2023, 51(08): 84-91.
- [4] 张燕, 孟花, 王然, 等. 芳纶 III 无纬布在柔性防弹衣中的应用 [J]. 毛纺科技, 2023, 51(02): 16-22.
- [5] 郭丹妮, 赵一楠, 于海庆, 等. 用于生产一次性医用口罩的口罩体成型机: CN202011106927.5 [P]. 2022-06-21.
- [6] 艾青松, 李宗家, 吴中伟, 等. 芳纶机织布混杂芳纶无纬布的防弹性能研究 [J]. 高科技纤维与应用, 2022, 47(01): 27-31.
- [7] 周可辉, 李濠宇, 闫赛. 无纺布平面口罩机安装与调试 [J]. 装备维修技术, 2021(04): 28-29.
- [8] 刘壮洪, 吴彦君, 杨彦霞, 等. 医用一次性防护服生产工艺及关键设备改进 [J]. 天津纺织科技, 2020(01): 1-4.
- [9] 康少付, 李进, 瞿立, 等. 共聚酯无纺布定型-增韧碳纤维复合材料的制备及力学性能 [J]. 复合材料科学与工程, 2020(04): 53-59.
- [10] 刘壮洪, 吴彦君, 杨彦霞, 等. 医用一次性防护服生产工艺及关键设备改进 [J]. 天津纺织科技, 2020(01): 1-4.
- [11] 陈虹, 虎龙, 吴中伟, 等. 芳纶无纬布产品研究进展 [J]. 合成纤维, 2019, 48(01): 32-36.

公路隧道不良地质段施工处理技术

李 鑫

(四川路航建设工程有限公司, 四川 成都 610000)

摘 要 本文以某山区高速公路隧道项目为例, 结合项目内容以及施工过程中涉及的不良地质段, 重点分析了隧道穿越的断层破碎带、岩溶发育区、富水区及软弱围岩段的地质特征及施工风险, 针对不同地质问题提出超前探测、注浆加固、排水处理及支护优化等施工技术, 并结合监测手段确保施工安全, 旨在为复杂地质条件下的公路隧道施工提供科学的技术方案。

关键词 公路隧道; 不良地质段; 施工处理技术

中图分类号: U455.49

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.15.012

0 引言

公路隧道在我国山区公路建设中具有重要作用, 但隧道施工过程中常遇到软弱围岩、断层破碎带等不良地质问题。这些不良地质条件不仅影响施工进度, 还会引发工程质量问题, 增加建设成本。因此, 针对不良地质段的施工处理技术研究具有重要的现实意义。目前, 我国在公路隧道施工领域已积累了丰富的经验, 并采用超前地质预报、超前支护等综合处理措施, 以提高施工安全性。同时, 随着隧道施工技术的发展, 数值模拟、智能监测新技术逐步得到应用, 为复杂地质条件下的隧道施工提供了科学高效的解决方案。

1 公路隧道工程概况

本项目为山区高速公路隧道, 采用双向四车道设计, 设计时速 80 km/h。隧道全长 4 180 m, 最大埋深 315 m, 纵坡约 2.4%。隧道进出口分别位于陡峭山体及缓坡地形区, 施工条件较为复杂。地质及水文条件: 隧道主要穿越中等风化花岗岩、砂岩及泥质粉砂岩, 局部段落存在断层破碎带及富水区。围岩级别以Ⅲ、Ⅳ级为主, 部分短距离段落为Ⅴ级, 围岩稳定性一般。地下水较丰富, 以裂隙水为主, 部分区域有溶蚀作用, 需采取超前探水和注浆加固。

1. 设计方案: (1) 洞身断面: 单洞双车道, 净宽 10.4 ~ 10.6 m, 净高 4.9 ~ 5.1 m。初支采用 C25 喷射混凝土 + 系统锚杆 + 钢拱架, 局部Ⅳ、Ⅴ级围岩段加强支护。二衬采用 C35 钢筋混凝土, 部分软弱围岩段增加防水层。(2) 通风方式: 纵向通风 + 射流风机, 局部区域风速较高需优化布置。隧道中部设紧急通风竖井, 局部可能增设横向通风措施。(3) 排水系统: 上、下分层排水, 设置环向 + 纵向排水系统, 重点防

范渗漏对结构的影响。局部富水区段需设置临时导排管, 降低涌水对施工影响。(4) 照明及机电: LED 节能照明, 配合智能调光系统优化能耗。设智能监控系统, 远程监测洞内环境及机电设备状态。

2. 施工组织: (1) 开挖方式: 采用台阶法 + 全断面法结合, 遇软弱围岩及破碎带区域, 超前管棚 + 注浆加固确保稳定。(2) 施工设备: 采用双向掘进方式, 配置三台湿喷机械手、两台全液压钻机、一台地质超前钻机高效设备。(3) 工期计划: 预计工期约 35 ~ 37 个月, 分四个阶段实施: 洞口施工 (约 4 ~ 5 个月), 洞身开挖 (约 18 ~ 20 个月), 衬砌施工 (约 10 ~ 12 个月), 机电安装及调试 (约 3 ~ 4 个月)。

(4) 安全及环保措施: 安全防护包括实时监测围岩变形、拱顶下沉、支护应力, 确保施工安全; 采用自动化监测系统, 结合人工巡检, 及时调整施工方案。环保措施包括施工废水经过污水沉淀池处理后达标排放; 隧道出渣采用密闭运输, 减少粉尘污染, 部分渣料回填利用。

2 公路隧道不良地质段概述

本隧道工程穿越山区地质复杂区域, 部分路段存在不良地质条件, 主要包括断层破碎带、岩溶发育区、富水区及软弱围岩段, 对施工安全和结构稳定性提出较高要求。以下为主要不良地质段及其特点: (1) 断层破碎带: 隧道穿越 F3、F5 两条主要断层, 破碎带宽度分别为 34 ~ 36 m 和 18 ~ 21 m, 岩体破碎, 节理裂隙发育, 围岩级别以Ⅳ ~ Ⅴ级为主。断层处应力松弛, 易发生大变形甚至塌方。(2) 岩溶发育区: 隧道部分区段位于碳酸盐岩地层, 勘察发现多处溶洞及暗河, 溶洞最大空间达 4.5 × 3.2 m, 部分洞内充填泥质沉积

物,存在坍塌及突水风险。(3)富水区:富水区主要分布在隧道中段,地下水位高,透水性较强,隧道涌水量预测达 $1\ 150\sim 1\ 250\ \text{m}^3/\text{d}$,局部渗水压力高,可能引发围岩失稳及支护失效。(4)软弱围岩段:部分区段围岩为泥质粉砂岩及强风化岩层,岩体强度低,易发生大变形及围岩蚀变,导致初期支护受力超限。

3 公路隧道不良地质段施工处理技术

3.1 断层破碎带处理——超前探测,注浆稳固

针对断层破碎带,施工人员采用地质雷达精确探测断层破碎带,探测范围覆盖隧道设计断面外 $30\sim 50\ \text{m}$,探测精度需达到厘米级,以明确断层走向、宽度及破碎程度。根据探测数据,制定分区注浆方案,利用差异化处理破碎程度不同的区域^[1]。对于中等破碎区域,使用超前小导管注浆技术,预埋 $\Phi 42\ \text{mm}$ 注浆管,间距 $0.8\sim 1.2\ \text{m}$,注浆材料选用水泥—水玻璃双液浆,水灰比 $0.8:1$,注浆压力控制在 $0.8\sim 1.2\ \text{MPa}$,注浆扩散半径达到 $1.5\sim 2\ \text{m}$,注浆后岩体抗压强度需提升至 $3\sim 5\ \text{MPa}$ 。对于严重破碎区域,采取帷幕注浆技术,钻孔间距 $1\sim 1.5\ \text{m}$,注浆材料选用超细水泥浆或化学浆液,注浆压力 $1.2\sim 1.5\ \text{MPa}$,扩散半径 $2\sim 3\ \text{m}$,将岩体渗透系数降至 $1\times 10^{-5}\ \text{cm/s}$ 以下。在注浆过程中,利用实时监测系统,记录注浆压力、流量及浆液扩散范围,避免浆液流失或压力过高导致岩体劈裂。注浆完成后,结合取芯试验验证注浆效果,岩体完整性系数需达到 0.75 以上,单轴抗压强度不低于 $5\ \text{MPa}$ 。开挖阶段,采用短进尺、弱爆破或非爆破机械开挖,每循环进尺控制在 $0.5\sim 1\ \text{m}$,开挖后立即施作初期支护,喷射 C25 混凝土,厚度 $10\sim 15\ \text{cm}$,铺设钢筋网($\Phi 6.5\ \text{mm}$,网格间距 $15\times 15\ \text{cm}$),并且架设 I18 钢拱架,间距 $0.5\sim 0.75\ \text{m}$ 。对于局部极不稳定区域,增设管棚支护,预埋 $\Phi 108\ \text{mm}$ 钢管,横向间距 $30\ \text{cm}$,纵向间距 $2\sim 3\ \text{m}$,钢管内注浆以增强整体性。

在初期支护完成后,立即监测围岩变形程度,采用收敛计、应力计及位移计等监测设备,实时跟踪围岩变形情况。若发现异常变形,及时增加钢拱架密度、加厚喷射混凝土或追加辅助支护,以防止围岩失稳^[2]。在断层破碎带开挖施工过程中,还需加强超前支护措施。对于高地应力或围岩自稳性较差的区域,采用大管棚支护,管棚长度控制在 $15\sim 30\ \text{m}$,倾角 $5\sim 10^\circ$,钢管规格选用 $\Phi 108\times 4.5\ \text{mm}$,环向间距 $30\sim 40\ \text{cm}$,管内注浆饱满,以提高围岩承载能力。对于局部突出的软弱破碎带,增加锁脚锚杆,增强围岩稳定性。在隧道掘进施工方面,采取短进尺、快封闭、强支护的原则。爆破开挖时,宜采用光面爆破技术,减小对围

岩的扰动。爆破采用小药量、密集孔布置方式,以降低振动影响。对于极破碎岩体或存在突涌水风险的区域,使用液压破碎锤开挖,以减少对围岩的扰动。

3.2 岩溶发育区处理——精确探查,注浆填充

对于岩溶发育区处理,施工人员利用高密度电法(测区电极距宜为 $2\sim 5\ \text{m}$,精度达 $\pm 5\%$),初步探测地下介质异常电阻率,判断可能存在的岩溶空洞、裂隙带位置。同时,结合地震波CT(接收传感器布设间距不超过 $2\ \text{m}$,成像分辨率达 $\pm 1\ \text{m}$),识别岩溶区内部结构,精确刻画空洞、软弱夹层等不良地质特征,并配合瞬变电磁法(发射线圈面积 $> 25\ \text{m}^2$,探测深度达 $50\ \text{m}$),识别深部溶洞^[3]。探测数据需经三维建模处理,并采用GIS(地理信息系统)技术进行可视化分析,以形成完整的地质信息数据库。钻探验证时,施工人员布设网格化钻孔,孔距控制在 $5\sim 10\ \text{m}$,重点区段加密至 $3\sim 5\ \text{m}$,钻孔深度须超出隧道拱顶 $3\sim 5\ \text{m}$,钻孔取芯率 $\geq 85\%$,并结合水压测试分析裂隙渗透性,精确评估岩溶地层稳定性及充填物特性。处理岩溶空洞及裂隙应采用分区、分级、分步注浆策略,控制浆液扩散范围。

针对大规模空洞($> 1\ \text{m}^3$),采用水泥—水玻璃双液浆(水灰比 $0.8\sim 1.2:1$,凝固时间控制在 $10\sim 30\ \text{min}$),以快速填充并形成高强度胶结体。对细微溶蚀裂隙(宽度 $< 5\ \text{mm}$),可使用丙烯酸胺化学浆液(渗透能力 $> 2\ \text{m}$),提高浆液渗透性。注浆施工采用多级注浆法,先低压($0.3\sim 0.5\ \text{MPa}$)封堵微裂隙,再高压($1.0\sim 1.5\ \text{MPa}$)填充大孔隙,以保证浆液充分扩散而不引发围岩破坏。另外,实时监测注浆量(应达到理论计算孔隙率的 90% 以上)、浆液扩散半径($\geq$ 设计值 85%)、注浆压力波动范围(控制在 $\pm 0.2\ \text{MPa}$ 内)等参数。施工完成后,进行钻孔抽芯(核心完整率 $\geq 85\%$)、波速测试(充填区波速提升 $\geq 40\%$)及水压试验(渗透系数降低至 $1\times 10^{-6}\ \text{cm/s}$ 以内),验证注浆密实性及防渗效果。在隧道掘进过程中,实施超前地质预报,采用TSP(地震波透射法,预报距离 $20\sim 50\ \text{m}$,误差控制 $< 10\%$)、地质雷达(探测深度 $10\sim 15\ \text{m}$)等手段,动态掌握前方岩溶发育情况。对于突发性岩溶灾害(如暗河、突水突泥),采取帷幕注浆(孔距 $0.5\sim 1\ \text{m}$,形成连续止水屏障)、超前小导管注浆($\Phi 42\ \text{mm}$ 钢管,孔内设排气阀,浆液扩散 $\geq 2\ \text{m}$)等加固措施。

3.3 富水区段处理——帷幕加固,分层排水

公路隧道穿越富水区段时,施工人员可采用帷幕加固与分层排水相结合的施工技术,以提高结构稳定性。帷幕加固采用超前帷幕注浆与径向注浆联合技术,

在隧道轮廓外3~5 m范围布设注浆孔,环向间距控制在0.5~1.0 m,形成封闭止水屏障。注浆孔深度不小于围岩富水层厚度的1.5倍。注浆材料根据围岩渗透性选择合适配比的水泥—水玻璃双液浆,水灰比控制在1:1~1.5:1,高渗透岩层或断裂带可采用超细水泥浆,提高浆液渗透能力^[4]。注浆压力控制在0.5~2.0 MPa,保证浆液扩散半径达到设计值的90%以上。注浆效果借助钻孔抽芯验证,要求取芯率达到85%以上,渗透系数降低至 1×10^{-7} cm²/s以内。径向注浆采用“由外向内、先低后高”的顺序进行,注浆孔间距控制在0.8~1.5 m,以增强围岩整体自稳能力。

分层排水系统包括超前导水孔、围岩排水系统及二次衬砌防排结合结构。超前导水孔在掌子面前方15~30 m布设,孔深10~20 m,倾角控制在10°~15°,引导地下水有序排泄。导水孔出水量降低至初始值的30%以下后,方可进入正式开挖。围岩排水系统由环向排水盲管、径向疏水孔及纵向排水管构成,环向排水盲管布设间距控制在1.5~3 m,径向疏水孔孔径50 mm,深度3~5 m,纵向排水管直径110 mm,使渗流量降低至设计允许值以内,同时降低围岩水压力50%以上。二次衬砌采用复合防排水结构,先敷设厚度2~3 mm的防水板,焊接接缝密封度达到95%以上,再设置透水性不小于0.1 cm/s的排水层,常用材料为聚乙烯排水网,最终形成封闭衬砌结构,防止隧道内部渗漏水。施工过程中,采用测斜仪监测围岩变形程度,控制误差在≤2 mm,同时监测地下水渗流量,保证流速下降幅度超过70%,并检测衬砌渗水点。

3.4 软弱围岩段处理——分步开挖,支护加强

在软弱围岩段地质段,施工人员采用分步开挖与支护加强相结合的施工技术,以控制围岩变形,提高结构稳定性。开挖方式采用台阶法、环形开挖留核心土法或中隔壁法,依据围岩级别选择合理方案^[5]。V级围岩宜采用环形开挖留核心土法,核心土宽度控制在1.5~2.5 m,确保围岩自稳能力,降低扰动;IV级围岩可采用台阶法,步距控制在1.0~2.0 m,以减少围岩松弛变形。开挖过程中设置超前地质预报,采用超前钻探、地质雷达及TSP(地震波透射法)联合探测,预报范围≥30 m,预测误差控制在10%以内。

支护加强采用超前支护、初期支护及二次衬砌联合实施。超前支护采用管棚或超前小导管,管棚采用Φ108 mm无缝钢管,长度9~12 m,间距300~400 mm,成环状布设,提高围岩稳定性。超前小导管采用Φ42 mm钢管,间距400~600 mm,外插角5°~10°,长度3~5 m,采用水泥—水玻璃双液浆注浆,注浆压力

0.5~1.5 MPa,扩散半径≥1.5 m,形成预加固区域,降低围岩收敛速率。初期支护采用钢拱架、喷射混凝土及系统锚杆联合施工,钢拱架间距0.5~1.0 m,采用I20~I25型工字钢,拱架闭合误差≤5 mm。喷射混凝土厚度≥30 cm,28 d强度≥25 MPa,分层喷射,每层厚度5~7 cm,间隔时间≤2 h,采用速凝剂提高早期强度,降低回弹率≤15%。系统锚杆采用Φ25 mm全螺纹钢筋,长度3~5 m,间距1.5~2.0 m,外插角10°~15°,采用水泥砂浆或树脂锚固剂锚固,锚固体强度≥30 MPa,提高围岩抗剪能力。二次衬砌采用复合衬砌结构,混凝土强度≥C30,厚度≥40 cm,衬砌表面光滑,接缝密封度≥95%,采用钢筋网加固,提高整体刚度。在施工过程中,采用收敛计,监测围岩变形程度,监测频率每日1次,围岩收敛速率控制在≤2 mm/d,累计变形量≤30 mm。

4 结束语

公路隧道穿越不良地质段时,需要综合考虑地质特征、施工安全及结构稳定性,采取科学合理的处理技术。断层破碎带、岩溶发育区、富水区及软弱围岩等不良地质条件对隧道施工构成了较大的挑战,但借助超前探测、注浆加固、排水系统优化以及合理的开挖与支护方式,可以有效降低施工风险,确保工程顺利推进。在施工过程中,施工人员应充分利用现代地质探测技术,实时掌握围岩状况,并结合超前支护与动态调整施工参数,保证隧道结构的安全性。同时,加强施工监测,采用自动化监测系统结合人工巡检,将围岩变形、支护受力等关键指标控制在安全范围内。本项目的施工处理技术可为类似工程提供有价值的经验借鉴。未来,随着施工技术的进步,不良地质隧道的处理方案将更加精细化,进一步提升公路隧道的施工安全性,为交通基础设施建设提供有力的支撑。

参考文献:

- [1] 周志勇,陈文达.公路隧道工程不良地质段施工技术研究[J].中国设备工程,2025(01):247-249.
- [2] 陈增旭.公路隧道工程不良地质段施工技术[J].工程建设与设计,2024(23):272-274.
- [3] 朴彬.公路隧道不良地质段施工技术应用研究[J].资源信息与工程,2024,39(04):95-98.
- [4] 李奎.公路隧道工程不良地质段施工技术分析[J].科学技术创新,2022(23):128-131.
- [5] 马奇.公路隧道工程不良地质段施工技术分析[J].运输经理世界,2022(11):82-84.

建筑工程地基质量检测技术应用探析

孙 标

(蒙城县漆园工程质量检测有限公司, 安徽 亳州 233500)

摘 要 建筑工程地基的质量状况直接决定了建筑物的建设质量和使用寿命, 是建筑安全保障的核心要素。随着建筑行业的不断发展, 工程项目体量和数量也在不断增加, 对地基质量的要求也越来越高, 合理运用并创新建筑地基工程质量检测技术具有极其重要的意义。本文指出, 精准可靠的建筑地基检测技术, 能及时发现地基中潜藏的问题, 为工程建设决策提供依据, 降低安全风险, 助力工程质量提升。

关键词 建筑工程; 地基; 质量检测技术; 检测精度; 动态监测

中图分类号: TU753

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.15.013

0 引言

在建筑工程领域, 地基的重要地位是不言而喻的。一旦地基质量存在问题, 整个建筑的安全便会受到严重威胁。当下, 建筑行业发展速度快, 各类建筑项目层出不穷, 建设难度越来越高, 这使得严格把控地基质量变得更为关键。建筑工程地基质量检测技术亟待创新, 并在实际工作中得到充分应用。唯有如此, 才能确保建筑物的安全稳固, 推动建筑行业持续、健康地发展。

1 建筑工程地基传统检测技术概述

传统检测技术曾是保障建筑工程地基质量的重要手段, 载荷试验是其中一种被广泛应用的检测方法, 具体操作时, 检测人员要按照既定的规则, 在地基上逐级施加荷载, 同时时刻留意地基土在荷载作用下产生的变形情况, 需要把每一级荷载对应的变形数据详细记录下来, 随后依据这些数据去分析确定地基的承载能力。这种检测方式相对直观, 检测人员能较为直接地了解地基在不同荷载下的实际表现。但载荷试验存在不少明显的缺点, 实际操作过程非常复杂, 每个环节都需要检测人员投入大量精力, 从小心翼翼地布置荷载设备, 到全神贯注地记录地基变形数据, 任何一点疏忽都可能影响检测结果的准确性, 该检测技术对场地条件要求很高, 在狭窄的施工区域, 大型荷载试验设备根本无法正常工作, 地形复杂的地段更是难以开展检测, 限制了其在很多工程场景中的应用^[1]。

标准贯入试验也是传统检测技术的重要部分, 利用规定质量的穿心锤, 让其从特定落距自由落下, 将标准规格的贯入器打入土中, 通过统计贯入器打入土中的难易程度, 记录贯入锤击数, 以此来判断土的性质。然而, 这种方法有明显不足。不同操作人员的手法和

熟练度存在差异, 这很可能导致检测结果出现偏差, 使得检测数据的准确性受到影响。标准贯入试验只能获取地基浅层的相关信息, 对于深层地基土的性质, 往往无法准确探测, 在一些对深层地基情况要求较高的工程中, 这个局限性就特别明显。

2 建筑工程地基质量检测技术的创新

2.1 提高检测精度

传统检测技术由于方法和手段的限制, 通常只能对地基状况做出比较笼统的判断, 很难提供精准详细的信息。无损检测技术则不一样, 能深入地基内部, 精确检测出地基内部缺陷的位置、大小以及形状等重要信息^[2]。通过对相关物理参数进行精准分析, 检测人员可以准确判断地基土的密实程度, 及时发现地基中是否存在裂缝等影响工程质量的隐患, 高精度的检测结果, 为工程质量评估提供了更可靠的依据, 让工程师在进行工程决策时更有把握。

2.2 节省时间和成本

过去采用人工定期检测的方式, 不仅需要投入大量人力到现场操作, 而且由于人力和时间的限制, 检测频率难以保证, 很难及时察觉地基的实时变化, 智能检测技术中的自动化监测系统改变了这种状况, 可以持续对地基进行实时监测, 全程不需要人工在现场操作, 大大减少了人力成本。自动化监测系统能够快速获取检测数据, 并利用先进算法进行高效分析, 显著缩短了检测周期, 检测周期的缩短意味着工程进度可以加快, 有效降低了整个工程的成本, 给建筑企业带来了实实在在的经济效益。

2.3 实现动态监测

在建筑施工过程中, 地基会随着施工进度不断变

化,传统检测技术因为只能在特定阶段进行检测,很难实时掌握地基的变化情况,容易导致一些潜在问题不能被及时发现。基于物联网的检测技术通过在地基中合理布置传感器,实时监测地基在施工过程中的沉降、应力变化等关键参数。建筑投入使用后,这套系统仍然可以持续监测地基的稳定性,一旦发现地基出现异常变化,系统会马上发出警报,相关人员就可以迅速采取加固或修复措施,保障建筑物的安全使用,为人们的生命财产安全提供有力保障。

3 建筑工程地基质量检测技术的运用

3.1 无损检测技术

无损检测技术在当前建筑工程地基质量检测中愈发受到重视,探地雷达技术是该领域较为典型的代表,探地雷达的工作原理建立在高频电磁波于地下介质传播的特性之上,当高频电磁波朝着地下传播时,一旦遇到不同介质的分界面,便会产生反射现象。在实际操作过程中,探地雷达具备快速且连续检测地基的能力,能清晰展现地基内部不同土层的具体分布状况,无论是土层的层数、每层的厚度,还是各土层之间的界限,都能一目了然。探地雷达对于地基内部空洞的位置也能精准定位,哪怕空洞处于较深的位置或者尺寸较小,也难以逃过它的“侦查”,对于可能存在于地基内部的裂缝,探地雷达同样能够准确发现,并且可以大致判断裂缝的走向和长度。探地雷达检测速度极快,能在较短时间内完成大面积的地基检测,缩短检测所需的时间,加快整个工程的进度,为后续工程开展争取宝贵的时间^[3]。探地雷达不会对地基造成任何损伤,通过发射和接收电磁波进行检测,无需对地基进行任何物理性的破坏,保护了地基的完整性和稳定性。探地雷达通过生成图像等形式,让检测人员能直接看到地基内部的情况。这些图像就如同地基内部的“照片”,检测人员可以根据图像清晰地判断地基是否存在问题以及问题所在的位置和大致情况,无需进行复杂的数据分析和推断,特别是在城市建筑密集区域,探地雷达的优势表现得尤为突出,这些区域,周边环境极为复杂,既有建筑密密麻麻地分布着,地下管线等设施也错综复杂。在进行地基检测时,如果采用传统的检测方法,可能因为施工空间狭窄、对既有建筑的保护要求高等因素而难以开展工作。使用探地雷达进行检测,能在不破坏周边环境和既有建筑的情况下,高效地完成检测任务,不会对周边建筑的基础造成任何影响,也不会干扰到地下管线等设施的正常运行,避免了因检测工作对周边建筑产生不必要的影响。

3.2 智能检测技术

随着科技的持续快速进步,智能检测技术逐渐被引入建筑工程地基质量检测领域,基于物联网的传感器监测系统是智能检测技术中的关键组成部分,该系统需要在地基的关键部位合理布置多种类型的传感器,比如在可能承受较大压力的区域,如建筑物的承重墙下方、大型设备基础下方等位置,布置压力传感器,其作用是精确测量地基所承受的压力大小,在容易产生位移的节点处,如地基与基础的连接处、不同土层交界处等,布置位移传感器,用于实时监测地基是否发生位移以及位移的具体程度。布置在地基各处的传感器就如同地基的“眼睛”,时刻密切关注着地基地状态变化,实时采集地基的应力、变形等关键数据,借助先进的无线传输技术,传感器采集到的数据能够迅速、准确地发送到监测中心。监测人员无论身处何地,只要通过电脑或者手机终端,连接到监测系统,就能随时随地查看地基的实时状态,一旦传感器采集的数据出现异常情况,比如压力突然急剧增大,远远超出正常范围,或者位移数值超出预先设定的允许偏差,系统会在第一时间立刻发出警报。智能检测技术实现了对地基的动态监测,在建筑施工过程中,能及时察觉因施工操作不当导致的地基异常,如进行土方开挖时,如果挖掘速度过快或者挖掘深度超过了设计要求,可能引起地基的应力突变与位移,智能检测系统能够及时发现这些异常,以便施工人员及时调整施工方案,避免地基出现严重问题^[4]。在建筑物投入使用阶段,智能检测技术能提前发现地基的潜在问题,随着时间的推移和环境因素的影响,地基可能会逐渐出现一些细微的变化,这些变化如果不能及时发现并处理,可能引发严重的安全隐患,智能检测系统能够实时监测这些变化,为及时采取加固、修复等措施提供了可能,有力地保障了建筑物的安全。

3.3 光谱分析检测技术

光谱分析检测技术在建筑工程地基质量检测方面展现出了独特的优势,其工作原理主要基于不同物质对特定波长光的吸收、发射或者散射特性存在差异。在对地基进行检测时,检测人员会向地基土壤发射特定光谱的光线,地基土壤中包含着各种各样的成分,有矿物质、水分,以及在一些特殊情况下可能存在的污染物等。这些不同的成分与发射过来的光线会产生不同的相互作用。不同种类的矿物质对光线的吸收和散射情况截然不同。例如:含铁矿物质可能会对特定波长的光有较强的吸收能力,使得反射回来的光线在

该波长处强度减弱;含钙矿物质则可能会对另一些波长的光产生特殊的散射效果,改变光线的传播方向和强度分布。水分含量的多少也会显著影响光线的反射特性。当土壤中水分含量较高时,光线在土壤中的传播会受到更多的阻碍,反射回来的光线强度和光谱特征都会发生变化。通过使用精密的光谱分析仪收集并深入分析反射回来的光线光谱,专业人员能够准确地推断出地基土壤的成分构成,可以确定土壤中各种矿物质的具体种类和含量,精确得知土壤的含水量,还能敏锐地判断土壤中是否存在异常物质,比如是否受到工业污染等^[5]。光谱分析检测技术具有极高的检测精度,能对土壤样本进行全面且细致的分析。面对特殊地质条件下的地基检测时,其优势体现得更为突出,比如在一些含有多种矿物质的复杂地层,传统检测技术可能很难准确判断土壤成分。因为,传统方法往往只能通过一些宏观的指标或者简单的化学分析来推断土壤成分,对于复杂地层中多种矿物质相互交织的情况,很难做到精确区分和定量分析。光谱分析检测技术能够清晰地识别出各种矿物质,为工程设计提供准确的地质信息,在可能受到工业污染的地基检测中,光谱分析检测技术更是发挥着关键作用,能精准地检测出污染物的种类和含量,为后续工程处理提供科学依据,确保地基处理方案具有有效性和针对性。只有准确了解了地基土壤的成分和污染情况,工程师才能制定出合理的地基处理方案,如采用合适的土壤改良方法或者污染治理技术,保证地基能够满足建筑工程的要求。

3.4 声波层析成像检测技术

声波层析成像检测技术利用声波在不同介质中传播速度不同这一特性来开展地基检测工作,实际进行检测时,需在地基周围合理布置多个声波发射和接收装置,这些装置会按照预先设定好的特定顺序发射声波,声波在地基内部开始传播。当声波遇到不同性质的土层时,比如从较为松软的软土层传播到相对坚硬的硬土层,或者碰到存在缺陷的部位,如空洞、疏松区域时,声波的传播路径和速度都会发生明显的改变,接收装置会负责收集经过地基内部传播后的声波信号,之后将这些信号传输到专门的分析系统中,该系统通过运用专门设计的算法对这些信号进行处理。经过一系列复杂而精确的计算和分析后,能够构建出地基内部的声波传播速度分布图像,也就是所谓的层析图像。检测人员可从图像中清晰地看到地基内部的详细结构情况,明确不同土层的分布,准确知晓每一层土层在地下所处的位置和厚度,对于地基内部是否存在空洞以及空洞的大小和具体位置,也能一目了然。对于疏

松区域,通过图像上声波传播速度的变化也能清楚地了解其范围和程度,还能发现地下是否存在障碍物等其他影响地基质量的因素。声波层析成像检测技术能提供地基内部的三维结构信息,与一些只能获取二维信息或者局部信息的检测技术相比,具有较大的优势,二维信息或者局部信息往往无法全面反映地基内部的真实情况,可能遗漏一些重要的问题,声波层析成像技术提供的三维结构信息,能让检测人员全面、直观地了解地基内部的整体状况,而且该技术的检测范围较大,一次检测就能覆盖较大面积的地基区域,在对大型建筑项目的大面积地基进行检测时,能提高检测效率,减少检测所需的时间和成本^[6]。检测结果的可视化程度高,通过层析图像,即使是非专业人员也能对地基内部情况有一个大致的了解。在对大型建筑项目的大面积地基进行检测时,该技术可以快速、全面地了解地基的整体状况,为工程设计和施工提供详细且直观的资料。工程师可以根据这些资料提前发现潜在的地基问题,如土层不均匀、存在空洞等,并制定合理的解决方案,保障工程的顺利进行和建筑物的安全稳定。

4 结束语

建筑工程地基质量是保障工程项目建设质量的关键所在。针对建筑工程地基质量检测技术一定要给予充分重视,这不仅仅是有关监管部门应尽的职责,更应是整个建筑行业的责任。在规定的施工环节中,不但要加强地基的施工管理,还要加强巩固地基构造。无损检测、智能检测等新技术的出现,提升了检测精准度、降低了成本,还能实时监测地基状态,提升了地基检测信息的真实性和精确性,为建筑工程地基质量提供了强大的技术保障。

参考文献:

- [1] 陈阳,王钦. 土建工程地基施工技术及其质量控制研究[J]. 居业, 2021(04):48-49.
- [2] 赵世伟. 建筑工程地基基础检测的重要性及关键技术[J]. 科海故事博览, 2024(21):40-42.
- [3] 苑仁鹿. 土建工程地基施工技术及其质量控制研究[J]. 绿色环保建材, 2019(10):155,157.
- [4] 周柏松,周长真. 建筑工程地基基础检测技术研究[J]. 砖瓦世界, 2025(04):64-66.
- [5] 王静. 建筑工程地基基础施工质量控制措施[J]. 居业, 2019(11):143-144.
- [6] 谢世林. 建筑工程地基基础检测技术应用策略研究[J]. 现代工程科技, 2024,03(19):89-92.

市政道路排水管道顶管施工技术应用分析

王 梅

(青岛军民融合发展集团有限公司, 山东 青岛 266000)

摘 要 市政道路排水管道作为城市基础设施的重要组成部分, 其施工质量直接关系到城市的防洪排涝能力和居民的生活质量。随着城市化进程的加快, 传统的开挖埋管施工方式已难以满足现代城市建设的需要, 顶管施工技术因其独特的优势逐渐在市政道路排水管道施工中得到广泛应用。本文首先概述了顶管施工技术的概念, 随后深入探讨了市政道路排水管道顶管施工技术的优势, 最后详细阐述了施工技术的应用要点, 旨在为市政道路排水管道施工提供科学指导。

关键词 市政道路; 排水管道; 顶管施工技术

中图分类号: TU992.05; U417

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.15.014

0 引言

市政道路排水系统的建设质量直接关系到城市的防洪排涝能力和居民生活的舒适度。在排水管道施工中, 顶管施工技术作为一种先进的非开挖施工方法, 凭借其独特的优势在市政道路排水管道建设中得到了广泛应用。本文详细探讨其在实际施工中的应用要点, 以期进一步推动顶管施工技术在市政道路排水管道建设中的广泛应用与发展。

1 顶管施工技术概述

顶管施工技术作为一种先进的非开挖地下管线施工方法, 其核心价值在于高效、环保与低干扰性。该技术的精髓在于通过精心构建的工作井作为操作平台, 安装高性能的顶管机设备, 随后, 依托强大的顶进系统, 将预先精心制造的管道构件沿着预设的轨迹与设计坡度稳步、精准地顶入地下土层之中, 从而构建起地下给排水、燃气输送或通信电缆铺设等关键基础设施。该过程有效避免了传统施工带来的交通堵塞、建筑损害和污染问题, 显著减少了对环境的负面影响, 控制了成本, 提高了效率和质量, 是现代城市建设中重要的绿色施工技术。

2 市政道路排水管道顶管施工技术的优势

2.1 减少对城市交通的干扰

顶管施工技术通过精细规划的工作井作为操作平台, 巧妙运用液压千斤顶等先进设备, 实现了管道的非开挖式地下顶进作业。这一过程不仅极大地减少了对城市地面的直接开挖面积, 从而有效避免了大规模施工对城市交通网络的即时性干扰, 确保了交通流的连续性与稳定性, 降低了因施工引发的交通拥堵和临

时断路情况, 为市民的日常出行提供了极大的便利^[1]。此外, 该技术还显著减轻了施工噪声、尘土等环境污染, 保护了周边居民的生活质量, 彰显了现代城市建设中的环保与人文关怀, 进一步提升了城市的整体通行环境与居民的生活满意度。

2.2 保护城市生态环境

相较于传统的开挖式施工方法, 顶管技术以其独特的非开挖作业模式, 显著降低了对城市地表景观的破坏程度。它巧妙地地下进行管道铺设, 不仅有效避免了大规模开挖导致的地面植被和绿地环卫设施的损毁, 还极大地减少了施工过程中的噪声污染与粉尘飞扬, 为城市居民营造了一个更加宁静、清洁的生活环境。此外, 该技术还通过减少地表施工废弃物的产生, 从源头上遏制了对城市环境的潜在污染, 充分体现了现代城市建设中的绿色施工理念与可持续发展原则, 是城市基础设施建设中环境保护与经济效益并重的重要体现。

2.3 提高施工效率, 缩短工期

顶管施工技术突破了传统开挖施工法的局限, 通过非开挖方式, 即利用液压顶进设备将预制管道穿越土层, 直达预设位置, 从而完全规避了气候与天气的制约因素。无论是风雨交加还是严寒酷暑, 均能保持连续作业, 有效避免了因不可抗力导致的施工中断与工期延误。此外, 顶管施工大幅削减了地面开挖面积与后期恢复工作量, 简化了施工流程, 显著提高了施工效率, 使得项目能够更快地完成。这一优势不仅显著降低了施工单位的运营成本与时间成本, 更关键的是, 它极大地减少了因长时间施工封闭道路而对城市交通与居民日常生活造成的不便与影响, 彰显了其在现代城市建设中的先进性与优越性^[2]。

2.4 适应性强,可穿越障碍物

在现代城市化进程中,市政道路排水管道的建设面临着复杂多变的施工环境,其中,需频繁穿越的各类障碍物成为传统施工方法难以逾越的挑战。顶管施工技术以其卓越的适应性和灵活性,在这一领域展现出独特魅力。该技术不仅能够有效克服建筑物密集、道路繁忙、桥梁交错等难题,更能在不影响地面交通和居民生活的前提下,精准穿越各类地下结构,确保施工顺利进行。其强大的穿越能力,不仅简化了施工流程,降低了对周边环境的干扰,还极大地提高了施工效率与安全性,成为解决城市排水管道建设难题的关键技术之一^[3]。

3 市政道路排水管道顶管施工技术的应用要点

3.1 施工前期准备工作的充分性

3.1.1 现场勘查与设计优化

在市政道路排水管道顶管施工技术实施之初,施工前期准备工作的充分性显得尤为重要,它直接关系到后续施工的顺利进行与项目质量的高低。具体而言,现场勘查作为首要环节,需由经验丰富的专业技术人员携带高精度探测设备,对拟施工区域进行全面而细致的地质勘查。在勘查过程中,不仅要精确掌握地下既有管线的分布位置、埋深及材质,还需深入分析土壤类型、分层结构、含水率及承载力等地质特性,这些数据是制定科学合理施工方案不可或缺的基石。基于详尽的勘查报告,设计团队需运用先进的 CAD 及 BIM 等信息技术手段,对顶管线路进行精细化设计优化。在设计中,需综合考虑地形地貌、地质条件、交通状况及环境影响等多重因素,力求在保证施工安全的前提下,实现线路的最短化、成本的最小化及对环境的最小干扰。通过反复论证与调整,最终确定一套既经济合理又技术可行的施工方案,为后续顶管施工的高效有序开展奠定坚实的基础。

3.1.2 设备选型与材料准备

在设备选型与材料准备环节,需细致考量工程的具体规模、地质条件、施工环境及设计标准等多方面因素。针对顶管机的选择,需优先考虑其技术先进性、适应复杂地质条件的能力以及自动化与智能化水平,确保其在施工过程中能够高效、稳定地推进。注浆设备的配置则需满足注浆压力、流量控制精确的需求,以有效支撑管周土体,减少地面沉降风险。在材料准备方面,管道材料作为工程主体,其选择应严格遵循设计文件要求,确保管道材质不仅具有足够的强度和刚度以承受内外压力及地质变动,还需具备优秀的耐腐蚀性能,以延长管道使用寿命,减少后期维护成本。

同时,对于管道接口材料、注浆浆液等辅助材料,亦需进行严格筛选与检测,确保所有材料均符合国家或行业相关标准,为工程的顺利进行提供坚实的保障。此外,还应提前做好材料的存储与保护措施,避免材料在存储过程中受损或变质,影响施工质量^[4]。

3.2 顶管施工过程中的精确控制

3.2.1 导向与纠偏技术

精确控制是确保工程质量与安全的关键环节。具体而言,导向与纠偏技术作为此过程的基石,其重要性不言而喻。在施工过程中,需部署高精度的导向系统,该系统集成了先进的定位与传感技术,能够全天候、不间断地监测顶管机的前进方向,确保每一米的推进都严格遵循设计图纸中的预定轨迹。这一举措极大地提升了施工的精确性和效率,有效避免了因方向偏差而导致的返工与资源浪费。一旦发现顶进方向出现微小偏差,立即启动快速响应机制,运用先进的纠偏技术进行精准调整。这包括但不限于:动态调整顶进速度,根据偏差大小适时增减推力,以柔和而有效的方式引导管道回归正确路径;同时,灵活调整顶进角度,利用顶管机的微调功能,对偏差进行细微而精准的纠正,确保管道铺设的直线度与高程控制达到设计要求。整个过程要求操作人员具备高度的专业技能与责任心,严格遵循施工规范与操作规程。

3.2.2 注浆减阻与地层加固

在顶管施工过程中,注浆减阻与地层加固技术尤为重要。具体而言,注浆减阻作业需精细规划,施工人员需根据地质勘察报告,科学调配触变泥浆或其他高效减阻材料的配比,通过专用注浆设备,以均匀、连续的方式注入管道外周,形成一层润滑层,显著降低顶进过程中管道与土层的摩擦阻力,从而提高施工效率,减少能源消耗,同时有效保护管道免受磨损,延长使用寿命。此外,地层加固措施亦不容忽视。针对地质条件复杂或软弱地层区域,需预先采取注浆加固、打入注浆管桩或设置地下连续墙等加固手段,以增强地层承载力,预防施工期间及后续可能出现的地面沉降、坍塌等安全隐患。这些加固措施不仅保障了施工顺利进行,也最大限度地减少了对周边环境的干扰与破坏,体现了市政工程建设中的环保与可持续发展理念^[5]。因此,在顶管施工过程中,精确控制注浆减阻与地层加固技术,是确保工程质量、安全及环境保护的必然要求。

3.3 环境保护与安全管理

3.3.1 环境保护措施

在市政道路排水管道顶管施工技术的应用中,就

环境保护措施而言,必须严格遵守国家及地方环境保护法律法规,将绿色施工理念贯穿于项目始终。在施工过程中,应优先采用低噪声、低振动的机械设备,并在施工区域周边合理设置隔音屏障与减震设施,以最大限度降低施工噪声与振动对周边居民及生态环境的不良影响。同时,精心规划施工时间,避免在夜间及居民休息时间进行高噪声作业,体现对社区生活的尊重与关怀。此外,废弃物管理亦是环保工作的重点,需建立完善的废弃物分类、收集、运输与处置体系,确保施工废弃物如泥土、碎石、废旧管材等得到妥善处理与回收利用,减少环境污染。对于可能产生有害物质的施工环节,采取严格防护措施,确保污染物不泄露至土壤、水体或空气中,保护自然环境的纯净与生态平衡。

3.3.2 安全生产管理

就安全生产管理而言,必须构建一套完善、严谨的安全生产责任体系,明确各级管理人员及施工人员的安全职责,确保责任到人,形成上下联动、齐抓共管的安全生产格局。同时,加强施工现场的日常安全管理,通过定期安全检查与不定期抽查相结合的方式,及时发现并消除安全隐患,为施工人员营造一个安全、有序的作业环境。在施工过程中,严格要求所有参与人员佩戴符合国家标准的安全防护装备,包括但不限于安全帽、反光背心、防护鞋及必要的呼吸防护装置,以最大限度地减少意外伤害风险^[6]。此外,加强对施工人员的安全教育与培训,确保每位员工都能熟练掌握操作规程,增强自我保护意识和能力。针对可能发生的突发事件,要提前制定详尽可行的应急预案,并定期组织应急演练,以检验预案的有效性,提升团队的应急响应与处置能力,全方位保障施工安全。

3.4 施工质量控制与验收

3.4.1 严格质量控制

在市政道路排水管道顶管施工技术的实施中,为确保施工质量达到设计标准与规范要求,必须实施严格而全面的质量控制体系。首先,针对管道接口处理这一关键环节,需采用先进的密封材料和工艺,确保接口严密不漏,能够承受地下水压及地面荷载,防止渗漏现象发生。同时,注浆作为稳定土层、减少地面沉降的重要措施,其质量亦不容忽视,需精确控制注浆压力、注浆量及注浆材料配比,确保注浆层均匀、连续,有效支撑管道周围土体。此外,管道铺设的精度直接关系到后续排水功能的顺畅与否,因此,在铺设过程中应严格遵循设计图纸与施工规范,利用高精度测量仪器进行定位与校核,确保管道轴线、高程及

坡度等关键指标准确无误。为进一步提升质量管理的有效性,还将实施自检、互检与专检相结合的三级质量检查制度,即施工班组进行日常自检,相邻班组间进行互检,以及由专业质检人员进行的专项检查,形成多层次、全方位的质量控制网络,确保施工质量。

3.4.2 规范验收流程

施工完成后,必须遵循国家及地方颁布的相关施工规范、设计文件及技术标准,进行全面而细致的验收工作。这一流程不仅涵盖了对管道位置精确度的复核,确保每一节管道均按照设计坐标精准铺设,避免偏移影响排水效率;还要严格检查管道的高程与坡度设置,确保水流能够顺畅无阻,避免积水或逆流现象的发生。此外,闭水试验作为验收的核心环节之一,通过模拟实际工况下的水压测试,检验管道的密封性能与结构强度,确保无渗漏现象,从而保障整个排水管道系统在未来长期运行中能够稳定、高效地发挥作用。各项检测均达到或超过设计标准与规范要求后,方可正式交付使用^[7]。

4 结束语

市政道路排水管道顶管施工技术的应用,需从施工前期准备、施工过程控制、环境保护与安全管理、施工质量控制与验收等多个方面入手,确保施工的高效、安全、环保与高质量完成,为城市排水系统的建设与发展贡献力量。展望未来,随着材料科学、信息技术及自动化控制技术的不断进步,顶管施工技术将在精准度、智能化、节能环保等方面实现更大突破,为构建更加绿色、智能、高效的排水系统贡献力量,助力城市可持续发展迈上新台阶。

参考文献:

- [1] 邓永彬.顶管施工技术在市政大型排水管道工程中的应用研究[J].居业,2025(01):13-15.
- [2] 何文权.市政道路给排水管道长距离顶管施工技术研究[J].工程建设与设计,2024(19):93-95.
- [3] 杨刚.市政道路排水工程顶管施工技术研究[J].工程技术研究,2024,09(05):68-70.
- [4] 茆训源.市政道路排水工程顶管施工技术研究[J].四川水泥,2023(10):272-274.
- [5] 张爱国.市政排水工程中小型管道顶管施工技术研究[J].工程技术研究,2024,09(23):99-101.
- [6] 李熙浩.浅析简析市政道路排水管道顶管施工技术的应用[J].城市建设理论研究(电子版),2024(24):103-105.
- [7] 谭威威.顶管技术在市政排水中的应用探讨[J].低碳世界,2024,14(02):88-90.

建筑施工中防水防渗施工技术的应用探究

钱 康

(中铁合肥建筑市政工程设计研究院有限公司, 安徽 合肥 230000)

摘 要 在现代建筑项目中, 防水防渗施工技术是确保建筑物质量和耐久性的关键因素之一。本文探讨了建筑物进行防水防渗处理的必要性, 分析了建筑物中渗漏频发的部位, 并提出了防水防渗施工技术的实施策略及具体应用。研究表明: 通过合理化材料选择、加强施工人员培训和监督等措施, 可以有效减少建筑物渗漏问题, 延长建筑物使用寿命, 确保建筑物使用安全。

关键词 建筑施工; 防水防渗施工技术; 屋顶表面; 建筑外墙; 地下建筑

中图分类号: TU761.11

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.15.015

0 引言

随着建筑质量标准的不断提高, 防水防渗施工技术在建筑施工中的应用越来越受到重视。由于气候变化、建筑材料老化等因素的影响, 建筑物面临着不同程度的渗漏风险。渗漏不仅影响建筑物的外观美观, 更可能导致结构损坏, 进而威胁到居住者的安全。因此, 研究并应用有效的防水防渗施工技术对于提升建筑质量具有重要意义。本文深入探讨了防水防渗施工技术的重要性、常见渗漏部位的特点以及相应的解决方案, 以期为建筑业提供有价值的参考。

1 建筑物进行防水防渗处理的必要性

建筑物作为人类生活与工作的主要场所, 其质量直接影响到人们的生活品质及财产安全。在自然环境作用下, 如雨水、地下水侵蚀, 以及温度变化引起的热胀冷缩效应, 均可能导致建筑材料的老化和损坏, 进而形成渗漏问题。一旦发生渗漏, 不仅会损害建筑物内部结构, 影响美观, 还可能引起电气设备故障, 增加维护成本, 严重时甚至威胁居住者的生命安全。此外, 有效的防水防渗措施有助于保护建筑物免受湿气侵袭, 避免因潮湿引发的霉菌滋生等问题, 为居住者创造一个健康舒适的室内环境^[1]。通过选用合适的防水材料并采取科学合理的施工方法, 可以显著提升建筑物抵御外界不利因素的能力, 延长使用寿命, 减少维修频率。防水防渗施工技术的应用亦能增强建筑物的整体性能, 确保其在各种恶劣天气条件下依然保持良好状态, 满足不同用户的需求。因此, 在建筑工程设计与实施过程中充分考虑防水防渗要求, 并严格执行相关标准规范, 对于保障建筑物的功能完整性及其长久价值具有不可替代的作用。高质量的防水防渗

处理不仅是建筑工程的重要组成部分, 也是衡量建筑质量和耐久性的关键指标之一。通过全面系统的防水防渗策略, 能够有效预防潜在风险, 实现建筑物的安全、经济、环保等多项目标, 促进社会经济可持续发展。

2 建筑物渗漏频发部位分析

2.1 屋顶表面

屋顶作为建筑物最直接暴露于自然环境的部分, 承受着风、雨、雪等多种气候条件的考验。在多变天气影响下, 屋顶表面容易出现裂缝或孔洞, 成为雨水渗透的主要通道。由于屋顶设计和施工过程中可能存在缺陷, 如坡度不够导致排水不畅, 或者接缝处理不当造成防水层破损, 这些问题都增加了渗漏的风险。此外, 随着时间推移, 紫外线照射和温度变化使得屋顶材料逐渐老化, 降低了其原有的防水性能。长期积水不仅会加剧屋顶结构的腐蚀速度, 还可能导致内部保温层失效, 增加建筑能耗。对于一些特殊用途的建筑, 比如温室或游泳池上方的屋顶, 其面临的挑战更为严峻, 需要更加严格的防水措施来应对。因此, 采取有效的防水策略显得尤为重要, 包括使用高性能防水卷材, 优化排水系统设计, 定期检查维护等, 以确保屋顶能够有效抵御外界水分侵袭, 保护建筑物内部免受损害。

2.2 建筑外墙

建筑外墙是建筑物与外部环境之间的第一道防线, 承担着抵御风雨侵蚀的重要职责。然而, 在实际应用中, 外墙常因多种因素而出现渗漏问题。外墙材料的选择和施工工艺直接影响到其防水性能, 例如砖石结构中的灰缝若处理不当, 则可能形成水汽渗透路径; 现代建筑中广泛使用的玻璃幕墙, 虽然美观大方, 但若密

密封胶质量不佳或施工不到位,极易引发渗漏现象^[2]。另外,外墙饰面层的老化和脱落也会削弱整体防水效果。气候变化带来的温差波动,引起墙体热胀冷缩,从而产生微小裂缝,为水分入侵创造了条件。特别是在寒冷地区,冬季积雪融化后形成的冰坝效应,更是对建筑外墙构成了严重威胁。为了提升外墙防水能力,需采用高效能防水涂料,增强接缝部位的密封性,并根据具体需求合理设计保温层,避免因温度变化引起的结构损伤,保障建筑物外观完整性和内部空间干燥舒适。

2.3 地下建筑

地下建筑由于其特殊的地理位置,长期受地下水静压作用,面临着比地上建筑更高的水压风险。一旦防水措施不足,地下水便可能通过混凝土结构中的细微裂缝或孔隙渗透进入室内空间,造成潮湿、霉变等问题,严重影响使用功能。地下建筑的防水工程复杂且要求高,从基础施工阶段就必须严格把控,选用抗渗性能优良的混凝土材料,并添加适当的防水剂,以提高混凝土自身的防水能力。同时,应设置合理的排水系统,减轻地下水压力,防止积水对建筑结构造成破坏。除了技术层面的考量外,还需关注施工过程中的细节管理,确保每一道工序均符合标准规范,避免人为因素导致的质量隐患。针对不同类型的地下建筑,如地下室、地下车库等,需结合具体使用需求制定个性化的防水方案,既要满足基本的防水要求,又要兼顾耐久性和经济性,确保地下建筑能够在复杂环境下长期稳定运行。

3 建筑施工中防水防渗施工技术的实施策略

3.1 防水防渗材料的选定

在防水防渗工程中,材料的选择至关重要。理想的防水防渗材料需具备良好的耐候性、抗老化能力和适应不同环境条件的能力。对于屋面和外墙等暴露于自然环境的部分,应选择具有高耐紫外线性能的材料,以抵御长期日晒雨淋带来的侵蚀。地下建筑则要求材料具备较强的抗压强度和抗渗透能力,以应对地下水压力的挑战。此外,环保型防水材料逐渐受到青睐,这类材料不仅对环境友好,还能减少施工过程中的污染风险。材料的选择还应考虑到建筑物的具体用途和设计要求,确保所选材料与结构特性相匹配,从而达到最佳防水效果。为保证材料质量,采购过程中需严格审核供应商资质,检查产品质量证明文件,并进行必要的现场测试,验证其实际性能是否符合标准规范。

3.2 提高施工人员的专业知识

施工人员的专业水平直接影响到防水防渗工程的

质量,因此,有必要加强施工队伍的技术培训,确保每位成员都掌握最新的施工技术和工艺要求。在理论学习方面,应涵盖防水材料的基本性质、适用范围以及常见问题的解决方案等内容;在实践操作环节,则需安排模拟演练或实地考察,让施工人员亲身体验各类防水技术的应用方法。定期组织技能竞赛和技术交流活动,有助于激发施工人员的学习热情,促进团队整体素质的提升。此外,鼓励施工人员参加专业认证考试,取得相关资格证书,增强职业竞争力的同时也为工程质量提供有力保障。通过系统化的培训体系,不断提高施工人员的专业素养,使其能够准确理解并严格执行设计图纸及施工规范,避免因操作不当引发的质量隐患。高质量的人才培养是防水防渗工程成功实施的关键因素之一,只有拥有一支高素质的施工队伍,才能确保各项防水措施落到实处,有效预防渗漏问题的发生。

3.3 对防水防渗施工进行监督管理

从项目初期规划阶段开始,就应当制定详细的施工计划和质量控制方案,明确各阶段的任务目标和验收标准。在施工过程中,设立专门的质量监督小组,负责对原材料进场、施工工序执行情况以及成品保护等方面进行全面检查。监督人员需严格按照国家现行标准和规范进行检测,及时发现并纠正不符合要求的操作行为,杜绝偷工减料现象的发生^[3]。利用现代信息技术,如无人机巡检、远程监控系统等工具,可实现对施工现场全天候、全方位的动态监测,提高监管效率。建立完善的质量追溯体系,记录每一道工序的施工细节和责任人信息,便于事后追踪分析质量问题根源。

3.4 施工的安全

在防水防渗施工中,必须采取一系列有效的安全措施来保护作业人员的生命健康。施工现场应设置明显的警示标志,划定危险区域,限制无关人员进入,防止意外事故发生。高空作业时,必须配备齐全的安全带、防护网等个人防护装备,并定期检查其完好性,确保使用安全可靠。对于涉及有毒有害物质的操作,如涂刷防水涂料等,需提供充足的通风设施和个人防护用品,避免化学物质对人体造成伤害。电气设备的安装与使用也应遵循严格的安全规程,防止触电事故的发生。

除此之外,加强员工的安全教育,普及基本的安全知识和应急处理技能,提高自我保护意识。定期组织安全演练,使每一位员工都能熟练掌握紧急情况下的逃生路线和自救方法。

4 建筑施工中防水防渗施工技术的具体应用

4.1 屋面的防渗漏技术应用

屋面防水施工是建筑工程中至关重要的一环,直接关系到建筑物内部环境的干燥与安全。屋面防水处理主要通过选择合适的防水材料和科学合理的施工工艺来实现。在材料方面,常采用高分子防水卷材、沥青基卷材或聚氨酯涂料等,这些材料具备良好的柔韧性、耐候性和抗老化性能,能够有效抵御外界恶劣气候条件的影响。为确保防水效果,需根据屋面的具体结构形式和使用功能,精心设计排水坡度,保证雨水能够迅速排出,减少积水的可能性。在施工过程中,基层处理尤为关键,必须保证基层表面平整、无尘土、无油污,并且充分干燥。接缝处作为防水薄弱环节,应采取特殊处理措施,如采用热熔法对接缝进行密封,或者铺设附加层以增强局部强度^[4]。对于女儿墙、天沟等特殊部位,还需特别注意细部构造处理,避免因施工不当而形成漏水隐患。此外,定期维护保养同样不可或缺,通过定期检查屋面状况,及时修补破损区域,可以有效延长防水层使用寿命,确保屋面长期保持良好状态。

4.2 外墙的防渗漏技术应用

外墙作为建筑的第一道防线,在保护室内环境免受外界风雨侵蚀方面发挥着重要作用。外墙防渗漏技术的应用不仅涉及材料的选择,还包括细致入微的施工工艺。在外墙防水工程中,常用的材料包括聚合物水泥砂浆、弹性防水涂料以及各种类型的密封胶等。这些材料具有优异的粘结力和耐候性,能够适应墙体因温度变化而产生的伸缩变形。施工前,需对墙体基层进行全面清理,去除松散颗粒和浮灰,确保表面坚实平整。针对不同材质的墙体,如砖石结构、混凝土结构等,需采取相应的预处理措施,比如在砖石墙上涂抹界面剂以增强附着力。外墙接缝部位往往是渗漏的主要来源,因此需要特别关注,通常采用嵌缝密封或设置分隔缝的方式进行处理,防止水分沿缝隙渗透进入墙体内部。此外,外墙装饰层的施工质量也直接影响到整体防水效果,要求严格控制各涂层厚度均匀一致,避免出现空鼓、裂缝等问题。

4.3 地下建筑防渗漏技术应用

常见的地下建筑防水方法包括刚性防水和柔性防水两大类,刚性防水主要依靠结构自防水,即通过优化混凝土配合比,添加适量防水剂,提升混凝土自身的密实度和抗渗能力。这种方法的核心在于提高混凝土的抗压强度和抗渗性能,使其在承受地下水压力时

不易产生裂缝。柔性防水则更多依赖于外加防水层,如防水卷材、防水涂料等,这些材料能够覆盖在混凝土表面,形成一道连续的屏障,阻止水分渗透。柔性防水的优势在于其适应性强,能够有效应对结构变形和温度变化带来的影响。在施工过程中,需严格按照规范要求操作,特别是在浇筑混凝土时,要确保振捣密实,避免出现蜂窝麻面现象^[5]。混凝土的振捣质量直接影响其密实度和抗渗性能,因此,施工人员需具备较高的专业水平。对于后浇带、变形缝等复杂节点,应采取特殊处理措施,如设置止水钢板或橡胶止水带,增强局部防水性能。这些节点是防水的薄弱环节,容易因应力集中或变形而产生渗漏,因此需要特别关注。此外,在施工过程中还需注意防水层的搭接和密封处理,确保防水层的连续性和完整性。防水卷材的搭接宽度和粘结质量必须符合设计要求,避免因施工不当导致防水失效。在地下建筑的防水设计中,还需考虑地下水的动态变化和土壤的腐蚀性。地下水位的变化可能导致防水层承受不均匀的压力,因此在设计时应预留足够的防水余量。对于腐蚀性较强的土壤环境,需选用耐腐蚀的防水材料,并采取相应的防护措施。施工完成后,还需进行严格的防水检测,如蓄水试验或淋水试验,确保防水效果符合设计要求。

5 结束语

防水防渗施工技术在建筑施工中占据着不可或缺的地位,通过防水防渗施工技术的实施策略,可以有效预防建筑物渗漏问题的发生。这不仅能够提升建筑物的使用寿命和安全性,同时也为用户提供了更加舒适的生活环境。未来,随着新材料和技术的不断发展,防水防渗施工技术也将持续进步,建筑防水工程将更加高效、可靠和环保,为保障建筑质量提供更好的技术支撑。

参考文献:

- [1] 秦菲菲. 建筑施工中防水防渗施工技术的应用探究[J]. 建材发展导向, 2025, 23(03): 58-60.
- [2] 李晨浩. 建筑工程施工中的防水防渗施工技术应用[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2025(03): 99-101.
- [3] 林健衡. 建筑工程防水防渗施工技术探析[J]. 江西建材, 2023(02): 239-240.
- [4] 焦世安. 建筑施工中防水防渗施工技术的应用探究[J]. 广东建材, 2023, 39(02): 85-87.
- [5] 蔡明卫, 叶世阳, 卢月明. 建筑施工防水防渗施工技术[J]. 城市建筑空间, 2022, 29(S2): 529-530.

建筑工程中深基坑支护施工技术的应用分析

李永娟

(山东菏建建筑集团有限公司, 山东 菏泽 274000)

摘 要 深基坑支护施工技术是建筑工程中的一项关键技术, 在建筑工程施工环节中发挥着至关重要的作用与价值, 但实际施工过程中仍存在问题, 需从根本上解决深基坑开挖问题, 有效消除外界带来的压力与影响因素。因此, 建筑行业要注重对深基坑支护施工技术的有效运用, 结合现场实际作业环境, 提高工程施工效率与效果。本文分析了建筑工程中深基坑支护施工技术要点, 并提出了深基坑支护施工优化方案, 希望为有关技术人员提供有益参考。

关键词 建筑工程; 深基坑支护施工技术; 锚杆支护施工技术; 钢板桩支护施工技术; 土钉墙支护施工技术

中图分类号: TU753

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.15.016

0 引言

现代建筑的逐步兴起与发展, 对基坑施工提出了更高的要求。随着基坑开挖深度的增加, 导致施工难度越来越大。所以, 在确保工程施工质量过程中, 需注重对建筑工程应用价值的提升, 为人们营造稳定、和谐与安全的生活、工作环境。通过对深基坑支护技术的持续研究、创新, 采用针对性、有效性深基坑支护施工技术, 全面保障深基坑支护施工技术在建筑工程中的应用效果, 为工程质量、安全提供重要支撑。

1 建筑工程中深基坑支护施工技术要点

1.1 锚杆支护施工技术

锚杆支护工艺是常见的深基坑支护施工技术之一, 应用效果显著。在实际应用过程中, 需要在土体中将锚杆进行预埋, 而且进行规范化张拉、固定, 促使土体抗拔能力、整体稳定性显著提升。针对锚杆支护施工过程, 通常涉及张拉锚杆、预埋锚杆以及注浆。在此期间, 对于需要进行支护的深基坑而言, 施工技术人员需展开钻孔作业, 其位置选择在基坑周围或者底端, 同时把锚杆嵌入孔中, 另一端要留有足够的长度为后续操作提供便利。同时, 施工人员还要利用注浆设备把浆液加入孔里, 起到孔隙填充的作用, 有利于土体密度、稳定性的提高。此外, 使用专业锚杆张拉设施, 实行锚杆张拉, 使其达到预定张拉力, 促使土体抗拔能力有所增强。在钢筋锚杆张拉作用下, 锚杆支护技术得到有效应用。而且, 在一些黏性与软弱土层结构中, 这些结构的土质条件相对较差, 应用锚杆支护技术不仅可对土体问题进行有效控制, 如沉降、

变形, 还提高了锚杆支护技术应用的简单性与有效性, 使其不会受到不同基坑形状、尺寸的干扰^[1]。

在锚杆预埋、张拉及注浆过程中应用锚杆支护施工技术, 不仅可使建筑工程深基坑支护施工效率显著提高, 还可大幅度提高深基坑周围空间使用效率, 减少对周围建筑物的不利影响。同时, 与传统方式相比, 锚杆支护施工技术成本较低, 具有缩短工程施工周期的作用。另外, 在项目建设成本、施工进度方面, 其经济价值非常大。因此, 应用该项支护技术之前, 需全方位了解深基坑周围土层状况, 做好科学评估与全面分析, 使锚杆支护施工技术发挥更好的效果。在实际施工环节中, 锚杆埋设质量、张拉力控制及注浆浆液性能等都是工程质量、效果强化的关键, 可借助先进监测设备与技术, 加大施工现场维护力度, 采取加固措施, 提高该支护体系的坚固性、长期性与安全性。在具体监测过程中, 监测指标如表 1 所示。现代化深基坑支护过程的监测措施逐渐朝着智能化方向发展, 如 BIM 技术和 5G 技术的融合使用, 可对数据进行实时传输, 提高变形预测、自动调控效率。如绿色支护技术的应用, 采用可再次回收的锚杆以及钢支撑材料, 材料回收率有明显提高, 可以达到 90%。此外, 应用 FLAC30/PLAXIS 进行精细化的模型构建, 可使各项支护参数得到持续优化与组合。

1.2 钢板桩支护施工技术

在优化和创新建筑工程深基坑支护施工技术过程中, 将钢板桩支护技术作为主要方向, 对钢板桩进行嵌入、衔接, 构建一个封闭式桩板体系, 增强土体水平里、竖向力的抵抗能力。施工技术人员在应用钢板

表 1 不同监测项目预警值及控制措施

监测项目	预警值	控制措施
水平位移	0.3% H 或者 30 mm	增加支撑、注浆加固
地表沉降	0.15% H	改进开挖顺序，回填反压
支撑轴力	设计值的 80%	增加预应力，设置临时支撑设施
地下水位变化	正负 0.5 m/24h	开启应急降水井

桩支护技术环节中，主要涉及钢板桩的预制、连接以及嵌入。施工人员应结合具体要求、现场施工状况，先预制钢板桩，并将其嵌入土体结构中，在符合要求后停止嵌入。而在具体嵌入过程中，使用振动锤、静力压入机，在衔接件帮助下将各个钢板桩连接起来，构成一个完整桩体。该项支护施工技术的优势主要体现在施工效率高、适应性强及施工方便。面对复杂的建筑工程环境，不管是在沙土、软土中，还是在砂砾土中，钢板桩支护技术的应用效果都非常显著。另外，在秉持可持续发展理念下，该项支护技术的应用也具有绿色环保作用，可对钢板桩进行循环利用，进而防止资源浪费^[2]。

1.3 土钉墙支护施工技术

土钉墙支护施工技术的应用原理是由施工技术人员在土体结构中预埋土钉，同时和钢筋网有机衔接起来，进一步提高土体结构整体抗剪强度、综合稳定能力。而在支护环节中，基坑周围、底端都需要展开钻孔作业，同时把土钉嵌入孔中，并使用喷射混凝土的方式进行喷涂处理，以此构成较为完善的土钉墙结构，有利于土体自身具有很强的抗剪能力。同时，施工技术人员还要做好钢筋网的铺设工作，使土钉墙整体无论是强度还是稳定性都有所提升。通过在混凝土表面进行喷涂，构成较为光滑且坚固的墙体结构。针对一些特殊土质环境，如黏性土与砂土，这些地质环境条件较差，应用土钉墙支护技术可以明显降低土体滑移、变形概率。在实际施工环节，土钉墙支护技术具有施工便捷的优势，不会受到基坑形状、尺寸限制，可保证工程总体施工效率与质量。

1.4 护坡桩施工技术

引用护坡桩施工技术，对建筑工程深基坑部位进行有效处理与防护。在具体实施环节中，将钢筋混凝土桩体嵌入基坑周边土体结构里，作为坚固支撑墙体，以免土体坡面出现滑动或者崩塌，消除一切安全隐患。而在护坡桩施工之前，应展开全面的现场勘察、方案设计，如明确具体施工位置、尺寸以及数量，并结合

基坑规模、地质情况，对各个护坡桩之间距离、深度进行合理的控制，有利于护坡桩更加稳定、坚固，并具有一定的承载能力。与此同时，施工技术人员应采用专业机械设备进行钻孔，并把钢筋骨架安装在桩孔中，随后加入混凝土材料。在这一操作环节中，要严格设置钻孔直径、深度，通常钻孔直径至少是 0.6 m，具体还要结合实际情况确定。通常情况下，钻孔之间的距离在 1 ~ 2 m 之间，并把钢筋骨架安装在钻孔中，采用纵向与横向交叉钢筋安装方式，让护坡桩结构更加稳定、牢固与安全。钢筋骨料安装结束后，应采用泵车设备，把混凝土进行科学、合理的灌入，同步进行振捣施工，对桩体结构进行充分的混凝土填充，以免由于空洞问题对工程后续建设质量产生不利影响^[3]。

2 建筑工程中深基坑支护施工优化方案

2.1 做好施工准备

在应用深基坑支护技术之前，应做好各项施工准备工作，这是工程整体建设安全、质量保证的关键要素，有利于该项工程施工过程更加顺利、高效。因此，在前期准备环节中，一定要做好对施工现场的地质勘察，掌握深基坑周边地质条件，如土的物理力学性质、土层分布以及地下水等状况，使支护结构设计、施工有更多科学依据支撑。而在资料收集过程中，如地下管线、建筑设计图纸以及道路等都是收集的重点内容。因此，在支护方案设计过程中，应全方面考虑各项影响因素，提高工程施工现场安全性。结合各项地质勘察结果与指标，对深基坑支护施工形式、工艺进行针对性选择，通过对设计方案的科学计算，使支护结构更具经济性与安全性。另外，施工流程、方法、队伍组织、材料供应等也都需全面确定与优化，保证施工过程进行更加顺利与有序。施工准备过程还包括施工技术、安全交底。采用技术培训、安全教育方式，让施工人员掌握更多施工技术及安全方面的知识，保证工程施工质量、效果。而对于施工现场的准备而言，主要有施工场地平整、设备调试与临时设备搭建等，都可为建筑工程深基坑支护质量提供重要保障。

2.2 优化支护模式

遵循经济性、科学性施工原则，即便支护方式越来越多元，但从基础特征、处理方式方面考虑，支护的使用频率也非常高，一旦支护技术选择不合理或者不科学，就会对工程施工质量、安全埋下严重隐患，导致安全事故频繁发生。因此，支护模式的优化与选择十分重要，相关人员应综合了解建筑工程施工现场实际情况，并根据支护技术的影响因素展开全方位分析与研究，探究各种影响工程建设质量、安全的因素，有利于最终支护效果更加突出。分析不同支护方式的类型、适用深度、地质条件等情况，具体参考表 2^[4]。

2.3 充分考虑地基支撑

在土方设计环节中，有关人员需对建筑工程深基坑进行土方设计，将地基支撑作为考量的重点内容，综合考虑各项地基支撑问题，为工程土方稳定、安全提供重要保证。在具体作业环节中，要确保地基良好承受土方压力、重力，主要涉及含水率及土壤类型，针对这些数据与指标，展开全面研究与分析，并进行针对性检测，根据具体评估结果，对地基加固方式进行针对性、有效性运用，如合理增加地基宽度、增加

地基桩，让地基负载能力有所增强。与此同时，重点分析地下水位真实情况，消除对建筑工程带来的不利影响。基于地下水位的深浅情况，不管是过高，还是过低，都会对建筑工程地基稳定、牢固性产生很大的负面影响。针对地下水的控制，采用降水方式，如深井降水、轻质井点和明沟集水等方式，以及截水措施的运用，在基坑外部结构中进行水沟施工，加以坡面的硬化处理，以免有地表水浸入基坑中，增加流砂现象发生概率。采用止水帷幕方式，借助三轴搅拌桩，让其形成一个连续防渗透体，对地下水位带来的波动产生有效抑制。另外，充分了解土方工程施工期间有可能发生的问题，如地震与地滑等，以免这些问题发生。通过地质勘测、灾害评估分析等手段，明确可能发生的地质灾害的类型、严重程度等情况，并准确评估出应用成果，利用振动性、有效性地基加固措施、防灾处理技术，逐步提升土方抗灾水平。除此之外，确保土方设计、周边环境之间处于良好状态，施工人员应保证对土方和周边构筑物及地下管线进行良好的协调，消除对生态环境的负面影响。针对深基坑支护施工监测，主要数据参照表 3^[5]。

表 2 深基坑支护类型和适用条件

支护类型	适用深度	适用地质条件	优点	缺点
排桩支护技术	10 ～ 30 m	软土与砂土	刚度大和变形小	施工复杂且成本高
地下连续墙支护技术	20 ～ 50 m	复杂地质与深大基坑	防渗性能好与总体稳定性高	施工难度大与成本高
土钉墙支护技术	5 ～ 15 m	土质较好	施工便利与经济性好	适合深度限制
锚杆支护技术	10 ～ 25 m	各种地质条件	和其他支护结构配合运用	施工空间大

表 3 施工监测数据示例

监测项目	监测方法	监测频率	允许变形值	实际变形值
支护结构变形	全站仪测量	1 次 / 天	30 mm	25 mm
周边建筑沉降	沉降观测	1 次 / 周	20 mm	18 mm
地下水位变化	水位观测	1 次 / 天	500 mm	480 mm

3 结束语

深基坑支护技术形式多样，在实际运用过程中一定要注重对不同深基坑支护施工技术的针对性、合理性选择，充分考虑现场实际作业条件与环境，并实行全面的现场勘察，特别是对施工现场地质条件、水体环境与气象条件，做好水文地质调查以及土体取样等工作，并在了解项目实际构造、基坑形式后，采用应用效果良好的深基坑支护手段，确保项目基坑支护效果更加显著，保证工程总体施工安全。

参考文献：

[1] 宋仁松. 建筑工程中深基坑支护施工技术的应用[J]. 中国住宅设施, 2024(12):122-124.
[2] 董宝社. 建筑施工中深基坑支护的技术管理[J]. 有色金属设计, 2024, 51(04):87-91.
[3] 王云鹤. 建筑工程深基坑支护的施工技术管理[J]. 建材发展导向, 2024, 22(21):94-96.
[4] 杨伟. 深基坑支护施工技术在建筑工程中的实践探究[J]. 居业, 2024(10):40-42.
[5] 张文伟. 建筑工程中深基坑支护的施工技术管理探究[J]. 建材发展导向, 2024, 22(20):130-132.

沉箱预制技术在航道港口码头施工中的应用

甘 雨

(广西航务建设工程有限公司, 广西 南宁 530000)

摘 要 本研究聚焦于沉箱预制技术, 对其在钦州港航道港口码头工程中的应用实践进行了深入探讨, 剖析了沉箱预制工艺的核心环节, 详细说明了质量控制的关键要素, 并综合评估了技术应用的实际效果, 通过优化模板设计、精确调整混凝土配合比及引入智能化监控技术, 有效解决了大型沉箱预制中的裂缝控制难题, 并提升了结构精度。研究成果旨在对提升预制沉箱的质量和效率有所裨益, 同时为类似工程提供技术参考和实践指导。

关键词 沉箱预制; 港口码头施工; 模板工程; 裂缝控制; 智能化监控

中图分类号: U656.1

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.15.017

0 引言

随着我国港口建设向深水化、大型化方向持续发展, 沉箱预制技术已成为码头主体结构施工的关键工艺。传统现浇施工方法存在施工周期长、成本高昂、质量波动大等问题, 这些问题在一定程度上限制了港口建设的效率和质量^[1]。预制沉箱技术以其工厂标准化生产和现场模块化安装的特点, 显著提高了施工效率, 并增强了结构的稳定性。本文结合具体钦州港工程项目案例, 深入探讨沉箱预制技术在实际应用中的创新点及有效质量控制方法, 旨在为类似工程提供参考和借鉴。

1 沉箱预制关键技术

1.1 结构设计与材料优化

在构建力学模型的过程中, 特别重视港口码头在实际运营中所面临的各种荷载特性, 包括但不限于波浪力、船舶撞击力以及其他可能对结构产生影响的因素。通过运用有限元分析法, 能够精确地计算出沉箱壁厚、隔舱间距等关键参数, 这些核心参数对于确保港口码头结构的安全性和稳定性至关重要。这种方法的应用不仅提高了设计的精确度, 而且为港口码头的设计和建设提供了坚实的技术支撑, 确保了设计的科学性和工程的可靠性。

在高性能混凝土应用方面, 在原材料的选择过程中, 合理选用水泥、骨料、掺合料及外加剂对于高性能混凝土性能的提升具有决定性作用。选取高强度等级、稳定性优良且与其他原材料具有良好相容性的水泥^[2]; 选择强度高、级配合理、含泥量低的骨料, 对粗骨料的压碎指标、坚固性、含泥量和针片状颗粒含量进行严格控制; 合理运用掺合料如粉煤灰、矿粉、

硅灰等, 能够改善混凝土的工作性能、强度和耐久性, 其中粉煤灰可优化工作性能和后期强度, 矿粉能提升后期强度和耐久性, 硅灰则可显著增强强度和密实性; 在配合比设计的优化方面, 水胶比是影响混凝土强度和耐久性的关键因素, 通过实验确定最佳水胶比, 可使混凝土强度和耐久性达到最佳平衡状态; 经过多次试验和调整确定的优化配合比, 能够满足港口沉箱预制对混凝土强度、耐久性和工作性能的要求。通过实践, 掺入 20% 粉煤灰及适量减水剂, 提高混凝土抗渗等级至 P10, 增强抗压强度。28 天养护后, 抗压强度可达 45 MPa, 沉箱在投入使用后, 结构未出现明显的裂缝、破损等病害, 能够正常承受船舶的停靠和装卸作业, 保证了港口的正常运营。

为确保沉箱在复杂多变的海洋环境中维持其结构的稳定性和耐久性, 需采取一系列专门的防腐措施。这些措施包括在混凝土中添加高效抗腐蚀剂, 能够显著提升混凝土的抗化学侵蚀能力。同时, 还结合了先进的表面涂层防护技术, 通过在沉箱表面施加特殊的防护涂层, 进一步增强了其对海水侵蚀的抵抗力。这些涂层不仅能够有效阻挡海水中的盐分和有害化学物质, 还能防止海洋生物如藤壶和海藻等的附着。通过这些综合性的防腐设计, 确保沉箱在恶劣海洋环境中的长期稳定运行。

1.2 模板工程创新

1. 采用组合钢模板系统, 运用高精度可调式钢模板, 误差严格控制在 2 mm 以内, 并辅以先进的液压支撑装置, 成功攻克了大型沉箱 (尺寸达 30×15×20 m) 施工中的变形控制挑战, 有力保障了结构的稳固性和施工品质。

2. 为了提高模板的周转率和减少模板损耗, 还引

入了模块化设计理念。将大型沉箱模板拆分为多个标准模块,每个模块均可独立制作、运输和安装^[3]。这种设计不仅简化了模板的制作和安装流程,还使得模板在不同项目之间能够灵活调配,大大提高了施工效率。

3. 在模板的连接方式上也进行了创新。传统的模板连接方式常因连接不紧密、易松动而影响施工质量和作业安全。为此,采用新型的高强度连接件,并优化了连接节点的设计,使得模板之间的连接更加牢固可靠,有效避免了模板在浇筑过程中出现的变形和错位等问题。

4. 智能温控技术:在混凝土结构中埋设温度传感器,实时监测混凝土内外的温差变化,通过智能控制的循环水冷系统,将混凝土内外的温差有效控制在 20℃ 以内,从而避免因温差过大导致的裂缝等问题,确保了混凝土结构的完整性和耐久性。

1.3 智能化施工监控

1. BIM 技术应用:通过建立沉箱预制的三维模型,可以详细模拟整个施工流程,从而预测和解决在实际施工过程中可能出现的各种问题。这一技术的应用显著提高了施工效率,优化钢筋碰撞点后,返工率和材料浪费显著降低,项目的经济效益得到提升。

2. BIM 技术为施工过程中的各方提供了一个协同工作的平台。设计师、施工人员、监理人员等都可以通过 BIM 模型进行信息的共享和交流,避免了传统施工方式中因信息沟通不畅导致的误解和错误^[4]。此外, BIM 技术还可以对施工进度进行实时监控和动态调整,确保施工计划得以顺利实施,进一步提升了项目的整体管理水平和施工效率。

3. 监测平台:该平台集成了应力和位移传感器,这些传感器被嵌入沉箱结构的内部,以实现沉箱吊装过程的实时监控。通过这个平台,可以实时地进行预警,确保吊装作业的安全性,从而为整个工程的顺利进行提供必要的技术支持。

2 沉箱预制技术在航道港口码头施工中的应用与质量控制

2.1 项目概况

以钦州港 20 万吨级自动化集装箱码头为例,为满足建设需求,必须预制 12 座沉箱,每座重 1 200 吨,设计使用年限达 50 年。该项目位于沿海区域,地质条件复杂,要求沉箱必须具备良好的抗风浪、抗冲刷和抗腐蚀能力。为满足要求,采用高性能混凝土和特殊防腐涂料预制沉箱,确保其在恶劣环境下保持稳定耐久。此外,沉箱的尺寸和形状也经过精心设计,以适应码头结构的整体布局和受力要求。

2.2 沉箱预制

在沉箱预制过程中,采用了先进的生产工艺和严格的质量控制措施。首要步骤是对原材料实施严格的筛选与检验流程,以保障混凝土、钢筋等核心材料均达到既定的质量标准。其次,在预制过程中,对每一道工序都进行了精细化管理和监控,从模板安装、钢筋绑扎到混凝土浇筑和养护,每一个环节都严格按照预定的工艺要求进行,以确保沉箱预制的质量。

2.3 沉箱安装施工

在沉箱安装过程中,采用 GPS 进行精确定位。在沉箱的两个前角安装 GPS 天线,并通过无线蓝牙技术将定位数据实时传输至定位船上的测量人员的手簿。船舶操作人员依据测量人员的指令执行吊杆操作,首先进行初步定位,将沉箱移至预定安装区域。随后,吊钩下降,沉箱开始注水以实现下沉。在沉箱下沉过程中,执行精细定位,确保沉箱角点能够准确移动至预定位置^[5]。在沉箱继续注水下沉的同时,必须保证沉箱均匀下沉,并保持顶部平衡。在下沉过程中,需要多次进行精确定位,以确保沉箱的安装精度。当沉箱接近基床时,进行最终测量,以确保沉箱安装精度符合要求。一旦确认安装符合标准,即可放松吊绳,使沉箱落至基床。安装完成后,在沉箱顶部安装标志杆和警示灯,并在箱顶四角设置观测点。沉箱着床稳定后,进行缝宽、偏位及顶面标高的测量,并由潜水员下水检查沉箱底部接缝、与基床的接触状况以及相邻沉箱的错牙情况。如有必要,将对沉箱进行起吊并重新安装。

2.4 质量控制措施

项目从结构设计的优化、材料的精选,到模板工程的创新,再到智能化施工监控的实施,每个关键环节都严格遵循了预定的技术方案。为确保预制质量,项目团队凭借科学方法优化混凝土配合比,并结合智能温控技术,精准调控混凝土温差,有效遏制了裂缝问题的发生。BIM 技术的应用使施工方案得以模拟和优化,进一步提升了施工效率和预制质量。

此外,项目团队还注重模板工程的精准施工,采用可调式钢模板和液压支撑装置,确保沉箱尺寸精确无误,减少变形风险。物联网监测平台凭借其强大的实时监控功能,为沉箱的吊装作业提供了全面而可靠的安全保障。通过这些质量控制措施,项目成功实现了沉箱预制的高质量完成,为后续码头建设奠定了坚实的基础。

在模板拼接过程中,项目团队采用高精度测量仪器进行定位,确保模板拼接的严密性和稳定性。同时,对模板进行定期的清洁和维护,防止杂质混入混凝土,

影响沉箱的外观质量和耐久性。此外,项目团队还建立了完善的质量管理体系,对预制过程中的每个环节进行严格的质量检测(表1)和记录,确保沉箱预制质量可追溯、可控制。

表1 沉箱预制质量控制标准

控制项	标准要求	检测方法
尺寸偏差	长度 ± 10 mm, 对角线 ± 15 mm	全站仪+钢尺复核
裂缝宽度	≤ 0.2 mm	裂缝观测仪
混凝土强度	C40 以上	回弹法+钻芯取样

2.5 应用成效

1. 显著缩短工期:通过精细化分析与预制流程优化,单件预制周期从45天大幅缩短至28天,此改进显著提升了工作效率,并为项目进度提供了坚实的保障,确保工程能够按时甚至提前完成。

2. 成本有效降低:实施模板重复利用策略,通过精心设计与管理,模板重复利用率高达90%。该措施直接导致综合成本显著减少,节约比例达到18%,从而节约了大量资源,并显著提升了项目经济效益,为公司创造了更多利润空间。

3. 质量显著提升:在沉箱安装工艺方面进行了深入改进与创新,使一次性合格率成功提升至97%,体现了对质量控制水平的高度重视,确保了提供高标准产品与服务。这种对质量的追求不仅提升了公司声誉,也极大地增加了客户满意度与信任度。

4. 环境友好型施工:在施工过程中使用环保材料,并引入智能化施工监控技术,有效减少了施工噪声与粉尘污染,同时对施工现场废弃物进行了有效管理与回收,不仅满足了绿色施工要求,而且促进了可持续发展理念,为环境保护做出了积极贡献。

3 沉箱预制技术在航道港口码头施工中应用存在的问题与改进建议

1. 技术瓶颈:在超大型沉箱的吊装作业中,作业精度不足成为制约工程质量和安全的关键因素。为解决此问题,亟需开发自适应定位系统,以提高吊装作业的精确度,确保沉箱的准确安装。

2. 环保挑战:预制场在生产过程中大量使用混凝土及其他材料,导致碳排放强度较高,与低碳环保的发展理念相悖^[6]。因此,推广低碳混凝土技术,采用环保材料和工艺,降低预制场的碳排放量,是推动绿色可持续发展的关键。

3. 智能化升级:随着工业自动化和智能化水平的

不断提升,机器视觉技术在表面缺陷检测中的作用愈发凸显。通过增强机器视觉技术的自动识别能力,可以显著提高检测效率和准确性,从而减少人工检测的误差和成本。这不仅有助于提升产品质量,而且对于加速行业智能化升级进程,实现生产效率的飞跃,是至关重要的必要措施。

4. 人员培训:目前施工人员对新技术的接受度和应用能力存在差异,这在很大程度上影响了技术应用的效果。因此,加强施工人员的技术培训,深化其对新技术、新工艺的理解和掌握,是确保技术应用精准高效的关键。同时,建立激励机制,鼓励施工人员积极参与技术创新和改进,形成良性循环,从而推动整个行业技术进步和效率提升。

5. 安全管理:在沉箱的预制和吊装过程中,由于涉及重型设备和高空作业,安全风险较高,因此必须进一步加强安全管理。完善安全管理制度,强化安全教育培训,提升施工人员的安全意识,确保每位员工都能严格遵守安全操作规程。同时,加强现场安全监控,利用先进的监控设备及时发现和消除安全隐患,确保施工安全,避免事故发生,保护员工的生命安全和身体健康。

4 结束语

沉箱预制技术通过采用标准化的设计方案、精细化的施工流程以及智能化的管理控制手段,显著地提升了港口码头工程施工的质量和效率。该技术不仅极大地提高了施工的速度,而且在确保工程质量方面发挥着至关重要的作用,为工程的顺利进行奠定了坚实的基础。沉箱预制技术的广泛应用还有助于推动港口码头工程行业的持续发展和技术创新,为未来的工程建设提供了更多的可能性和选择。

参考文献:

- [1] 王建国,李志刚.港口沉箱预制施工关键技术[J].水运工程,2020(05):45-50.
- [2] 李阳,陈强.高性能混凝土在港口沉箱预制中的性能优化与应用[J].混凝土世界,2021(08):76-82.
- [3] 赵鑫,孙明,刘畅.组合钢模板在大型沉箱预制中的创新应用与实践[J].建筑施工技术前沿,2023(03):35-42.
- [4] 张伟.BIM技术在沉箱预制中的应用研究[D].天津:天津大学,2022.
- [5] 钱进,杨晓.超大型沉箱吊装作业精度控制技术研究与应用[J].港口装卸,2023(04):28-32.
- [6] 郑宏,王芳.港口工程沉箱预制场的绿色环保技术与实践[J].环境工程前沿,2024(02):105-112.

模板工程施工技术在建筑工程中的应用与质量控制

吴 刚, 段二敏

(西安市政道桥建设集团有限公司, 陕西 西安 710082)

摘 要 模板工程施工技术作为建筑营造领域的关键支撑环节, 其应用效果直接关乎混凝土构件的尺寸精度、表面质量及整体结构的稳定性和安全性。本研究系统解析了模板工程体系构建于现代建筑营造中的实施路径及效能提升策略, 包括模板材料的选择、模板设计、模板安装与拆除等关键环节, 并构建了模板体系施工的质量保障技术框架, 通过理论分析与实际案例相结合, 旨在为建筑工程模板施工提供科学指导, 促进模板工程施工技术的优化与创新, 确保建筑工程质量与安全。

关键词 模板工程施工技术; 质量控制; 模板设计; 模板安装

中图分类号: TU755.2

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.15.018

0 引言

随着现代建筑技术的不断进步, 建筑工程对施工质量的要求日益提高。模板体系构建技术作为现代建筑营造领域的关键技术支撑模块, 其重要性不言而喻。模板工程不仅关乎混凝土构件的尺寸精度和表面质量, 作为混凝土结构成型的核心工艺载体, 其技术实施精度直接关联着建筑主体承载体系的力学稳定性与安全防护效能。因此, 深入研究模板工程施工技术的应用与质量控制, 对于提高建筑工程质量、降低施工成本、缩短工期具有重要意义。本文将从模板工程施工技术的应用出发, 探讨其质量控制措施, 以期为建筑工程模板施工提供有益参考。

1 模板工程施工技术在建筑工程中的应用

1.1 模板材料的选择

模板材料的选择是模板工程施工的第一步, 也是至关重要的一步。不同的材料具有不同的性能特点, 适用于不同的施工环境和工程要求。

1. 木质模板。木质模板是最常见的模板材料之一, 其优点是价格低廉、易于加工、重量轻、便于搬运和安装。然而, 木质模板也存在一些缺点, 如易受潮变形、强度相对较低、周转次数有限等。因此, 在选择木质模板时, 应优先考虑其干燥程度、材质均匀性和强度指标, 确保模板在使用过程中不易变形、开裂。

2. 钢制模板。钢制模板具有强度高、刚性好、耐用性强、周转次数多等优点, 适用于大型、复杂的混

凝土结构施工。但钢制模板的缺点是重量大、搬运和安装较为困难, 且成本相对较高。在选用钢制模板^[1]时, 应充分考虑其重量与施工条件的匹配度, 以及成本效益分析。

3. 铝合金模板。铝合金模板是近年来兴起的一种新型模板材料, 其具备轻质、高强度、多次周转及高效施工的特点。铝合金模板适用于高层建筑、大型公共建筑等工程, 能够显著提高施工速度和施工质量。然而, 铝合金模板^[2]的成本也相对较高, 需要综合考虑工程预算和实际需求。

4. 塑料模板。塑料模板作为一种环保建筑材料, 具备质量轻、加工便捷及可循环利用等优势。塑料模板适用于一些对表面质量要求不高的混凝土结构施工。但塑料模板^[3]的强度相对较低, 易老化变形, 需要在使用过程中加强保护和管理。

在选择模板材料时, 应根据工程的具体要求、施工条件、成本预算等因素进行综合考虑。此外, 还需关注模板材料的环保特性与可持续性, 优先选用符合绿色建筑标准的材料。

1.2 模板设计

模板设计是模板工程施工中的关键步骤, 其合理性和科学性直接影响到模板的施工效果和工程质量。模板设计应根据工程图纸、施工规范和技术要求进行, 确保模板的尺寸精度、表面质量、刚度和稳定性等满足施工要求。

1. 板尺寸设计。模板尺寸设计应根据工程图纸中

的混凝土构件尺寸进行精确计算。模板的尺寸应略大于混凝土构件的设计尺寸,以考虑混凝土的膨胀系数和施工误差等因素。同时,模板的拼接缝应设置在不影响结构性能和外观质量的位置,并采取措施确保拼接缝的严密性。

2. 模板结构设计。模板结构设计应根据混凝土构件的形状、尺寸和荷载要求进行。模板应具有足够的刚度和稳定性,能够有效抵抗混凝土浇筑时产生的侧向压力和振捣作用力。模板的支撑系统应合理布置,确保模板在使用过程中不发生变形和位移。对于大型、复杂的混凝土结构施工,应采用专业的模板设计软件进行优化设计,提升模板施工的效率与质量。

3. 模板脱模设计。模板脱模设计是模板设计中的重要环节之一。脱模时应确保混凝土构件表面平整、光滑、无损伤。为此,应在模板表面涂刷脱模剂,以减少混凝土与模板之间的粘结力。脱模剂的选择应根据混凝土构件的材质和施工要求进行,确保脱模效果良好。

1.3 模板安装与拆除

模板安装与拆除是模板工程施工的关键环节之一,模板体系的技术实施效能通过工艺执行精度与作业效率的双维度控制,对工程时序推进及全周期质量管控构成核心制约,其参数控制水平直接关联结构成型精度与荷载传递效能的关键技术指标。

1. 模板安装。模板安装前应进行测量放线,保证模板安装的位置与尺寸精确无误。模板安装时应按照先内后外、先大后小的顺序进行,先安装主要构件的模板,再安装次要构件的模板。在安装过程中,需强化模板的固定与支撑措施,确保模板的稳定性和刚度。同时,还应注意模板的拼接缝处理,确保拼接缝的严密性和平整性。

2. 混凝土浇筑与振捣。混凝土浇筑前应对模板进行验收,确保模板的尺寸精度、表面质量、刚度及稳定性等符合施工标准。混凝土浇筑时应分层进行,每层浇筑高度不宜过高,以避免混凝土离析和振捣不均匀。振捣作业可采用插入式或附着式振捣器完成,确保混凝土密实度满足要求。在振捣过程中,应注意避免振捣器与模板直接接触,以免损伤模板。

3. 板拆除。模板体系拆解需待混凝土抗压强度检测值通过 28 天标准养护周期验证,且满足设计荷载承载系数要求后方可实施拆除作业。拆除时应按照先拆后支、先拆非承重部分再拆承重部分的顺序进行。拆除过程中需防止对混凝土构件造成损坏或破坏。对于大型、复杂的混凝土结构施工,应采用专业的模板拆

除设备和方法进行拆除,提高拆除效率和施工质量。

2 模板工程施工技术的质量控制

模板工程施工技术的质量控制是确保建筑工程质量不可或缺的重要环节。在建筑施工过程中,模板体系作为混凝土结构成型的定型载体,其技术参数控制水平直接关系到混凝土构件的尺寸精度、表面质量、刚度和稳定性,技术实施偏差将直接制约结构安全效能与全周期质量管控目标的达成,对建筑工程整体品质构成系统性影响。因此,通过严格的质量控制措施,确保模板工程的施工质量,对于提升建筑工程的整体品质具有至关重要的意义。

2.1 模板材料的质量控制

模板材料的质量控制是模板工程施工质量控制的首要环节。模板材料作为模板工程的基础,其质量的好坏直接关系到模板的耐用性、稳定性和施工效果。因此,在模板材料的选择上,必须严格把关,确保所选材料符合施工要求。

首先,应对模板材料的生产厂家进行资质审查。通过查阅相关资质证书、生产许可证等文件,确认生产厂家具备生产合格模板产品的能力。同时,还应对生产厂家的生产规模、技术水平、质量管理体系等方面进行全面了解,以确保其能够持续稳定地提供高质量的模板材料。

其次,模板构件入场时需通过多层级质量验证体系,核查项目涵盖外观质量缺陷排查、几何尺寸偏差检测及材料力学性能参数测试等核心指标,并依据规范要求进行全面检测与抽样复检。在外观质量方面,应检查模板表面是否平整、有无裂纹、变形等缺陷;在尺寸精度方面,应测量模板的尺寸是否符合设计要求;在物理力学性能方面,应通过试验检测模板的强度、刚度、稳定性等性能是否满足施工要求。对于不合格的模板材料,应及时进行退货或换货处理,禁止使用不合格材料施工,以避免对工程质量产生潜在风险。

2.2 模板设计的质量控制

模板设计的质量控制是模板工程施工质量控制的核心环节之一。模板设计的合理性、科学性和可行性直接影响到模板的施工效果和混凝土构件的质量。

在模板设计阶段,应对设计图纸进行仔细审查。审查内容包括模板的尺寸、形状、结构是否符合工程图纸和施工规范的要求;模板的支撑体系^[4]是否合理、稳定;模板的拼接方式是否严密、平整等。通过审查,确保模板设计图纸的准确性和可靠性。

2.3 模板安装与拆除的质量控制

模板安装与拆除的质量控制是模板工程施工质量控制的重要环节之一。模板的安装和拆除过程直接影响到混凝土构件的成型质量和施工效率。

在模板安装过程中,须依据设计文件及技术交底文件要求实施标准化作业流程。模板组装前需通过预处理工序,确保模板表面干净、无杂物;安装时,需保证模板的位置与尺寸精确无误、固定和支撑牢固、拼接缝严密平整。同时,还应应对混凝土浇筑和振捣过程进行监督和检查,确保混凝土浇筑的均匀性和密实性满足要求。

在模板拆除过程中,同样需要严格控制。拆除前,应检查混凝土构件的强度是否达到设计要求;拆除时,需按规定的顺序与方法操作,避免对混凝土构件造成损伤和破坏。对于存在的问题,应及时进行整改和处理,确保模板安装与拆除的质量和效率。

2.4 模板施工过程中的质量控制

模板施工过程中的质量控制是确保建筑工程质量的关键环节。在模板施工过程中,应对各个环节进行严格的监督和检查。

首先,应确保模板的尺寸精度、表面质量、刚度和稳定性等满足施工要求。这需要通过定期的测量、检查和试验来实现。对于发现的问题,应及时进行整改和处理,以确保模板的施工质量。

其次,应关注模板施工过程中的安全问题。模板施工涉及高空作业、重物搬运等危险作业,必须严格遵守安全操作规程,保证施工过程的安全与稳定。对于存在的安全隐患,应及时进行排查和整改,防止事故的发生。还应加强模板施工过程中的现场管理。通过合理的现场布局、有序的物料堆放、严格的施工纪律等措施,提高施工效率,降低施工成本,确保模板施工的顺利进行。

模板工程施工技术的质量控制是确保建筑工程质量的重要环节。通过严格的质量控制措施,可以确保模板的尺寸精度、表面质量、刚度及稳定性等符合施工标准,提升工程整体质量与安全性。此外,还能降低施工成本,提升效率,为工程顺利推进提供保障。因此,在模板工程施工过程中,必须高度重视质量控制工作,保证模板工程施工质量符合设计要求。

3 模板工程施工技术的优化与创新

3.1 新技术的应用

随着信息技术和智能化技术的不断发展,模板工程施工技术也逐渐向数字化、智能化方向发展。通过

引入BIM(建筑信息模型)技术^[5]、3D打印技术等新技术手段,可以实现模板工程的精确设计、快速加工和高效安装。这些新技术的应用可以显著提高模板工程施工的效率和质量水平,降低施工成本和时间成本。

3.2 新材料的研发与应用

在材料工程领域技术革新的持续驱动下,新型模板材料不断迭代突破。这些新型模板材料具有更高的强度、更好的耐久性和更环保的性能特点。通过研发和应用这些新型模板材料,可以显著提高模板工程的施工质量和安全性水平。同时,这些新型模板材料还可以降低施工成本和时间成本,提高施工效率。

3.3 新工艺的探索与实践

随着施工工艺的不断改进和创新,模板工程施工技术也在不断探索和实践新的施工工艺。例如:采用预制构件拼装模板技术、滑模施工技术等新工艺手段,可以实现模板工程的快速施工和高效安装。这些新工艺的探索与实践可以实现模板体系施工效能跃升,降低施工成本和时间成本。

4 结论

本研究通过对模板工程施工技术在建筑工程中的应用与质量控制进行系统分析,得出以下结论:模板工程技术在现代建筑工程中扮演着不可或缺的关键角色,其科学合理的应用能够显著提高施工效率、降低工程成本并确保工程质量。此外,模板施工质控为核心技术,需从设计、材料、安装和拆除等各个环节严格把控,确保施工安全和工程质量。未来,随着智能化技术和新型材料的不断发展,模板工程施工技术将得到进一步提升,模板技术创新赋能建筑可持续发展。本研究旨在为模板工程施工技术的优化和质量控制提供理论依据和实践指导,对推动建筑行业的技术进步具有积极意义。

参考文献:

- [1] 袁桂芳.一种拼接式便于养护的钢制建筑模板:CN202011629594.4[P].2025-03-12.
- [2] 马敬.装配式建筑工程中铝合金模板施工技术要点分析[J].中国厨卫,2025,24(01):130-132.
- [3] 韩加安,范利从.复合塑料建筑模板在水电工程中的应用[J].水利水电施工,2024(01):47-49.
- [4] 韩彬彬.高大模板支撑体系施工技术与质量控制安全管理研究[J].建筑与装饰,2024(07):51-53.
- [5] 闭忠钦.BIM在施工项目全过程管理中的应用与实践[J].城镇建设,2024(06):244-246.

不同地基处理方法对软土地基沉降特性的影响分析

刘红锋¹, 康利鑫²

(1. 河北大力岩土工程有限公司, 河北 石家庄 050000;

2. 河北嘉研建筑工程有限公司, 河北 石家庄 050800)

摘 要 软土地基的沉降问题一直是建筑和工程领域中的重要课题, 尤其在城市化进程日益加快的背景下, 软土地基沉降对建筑物安全性的影响不容忽视。为了有效应对这一问题, 各种地基处理方法被提出并应用于软土地基的改善。不同的地基处理方法, 如深层搅拌法、预压法和真空压密法等, 通过改变土层的物理力学性质, 能显著影响软土地基的沉降特性。本文分析了各类处理方法对软土地基沉降特性的影响, 以期可以为帮助工程师选择合适的处理手段提供参考, 以保证工程的稳定性与长期使用性能。

关键词 软土地基; 地基处理方法; 沉降特性; 深层搅拌法

中图分类号: TU753

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.15.019

0 引言

软土地基沉降问题一直是影响建筑工程结构安全和使用寿命的重要因素。随着我国城市化进程的加速, 越来越多的建筑工程在软土地区开展, 因此, 如何有效控制软土地基沉降成为建设领域中的一项关键任务。为此, 我国出台了一系列政策推动地基处理技术的发展。例如: 《“十四五”建筑业发展规划》中明确提出, 要加强基础设施建设中的土木工程技术应用, 提高地基处理技术水平。《建筑与市政地基基础通用规范》(GB 55003-2021) 对软土地基处理提出了明确要求, 强调了地基沉降控制与土壤改良的结合, 推动各类先进的基础处理方法应用于实际工程中。不同的地基处理方法, 如深层搅拌法、预压法和真空压密法等, 已在多个工程中得到了成功应用。本文深入探讨这些处理方法对软土地基沉降特性的影响, 以期为基础处理技术的合理选择提供理论依据和实践指导。

1 不同地基处理方法对软土地基沉降的重要性分析

软土地基的沉降问题一直是建筑与土木工程中的挑战, 尤其在城市建设和基础设施开发过程中, 软土的低承载力和高压缩性常常成为影响建筑物稳定性的关键因素。未经处理的软土地基可能导致建筑物沉降不均, 进而影响其安全性和耐久性。软土的高含水量和低密度使其在承受外部荷载时容易发生变形, 因此对软土地基进行有效处理是确保建筑物稳定的重要环节。通过不同的地基处理方法, 如深层搅拌法、预压

法和真空压密法, 可以显著增强土体的承载力, 降低沉降速度, 并有效控制沉降量^[1]。这些方法通过改进土层的物理性质, 增强土体的强度和刚度, 从而减少沉降现象的发生。深层搅拌法通过引入水泥或石灰等固化材料, 改善土体的结构, 适用于深层软土的加固处理; 预压法通过施加外部压力促使软土层提前固结, 适用于处理较薄的软土层; 而真空压密法则利用负压作用加速土体排水, 从而促进其固结, 减少软土地基的沉降^[2]。

2 不同地基处理方法在软土地基沉降控制中的应用

2.1 深层搅拌法对软土地基沉降控制的影响

深层搅拌法作为一种地基处理技术, 主要通过将水泥、石灰等固化材料注入软土层, 并与土体进行充分搅拌, 形成较为稳定的固结土体, 从而显著提高软土地基的承载力和抗压强度。该方法能够改善软土地基的物理力学性质, 使其在承载外部荷载时表现出更好的稳定性与抗变形能力, 减少土体的压缩性和沉降速率。尤其在处理大面积、深层软土时, 深层搅拌法能够显著提高土体的抗剪强度和刚度, 抑制土体的压缩性变形, 从而有效地降低沉降量。在工程实践中, 深层搅拌法表现出了较为明显的沉降控制效果, 尤其对于厚层软土, 其在增强地基承载力方面的优势尤为突出^[3]。

2.2 预压法在软土地基沉降控制中的应用

预压法是一种利用外部压力对软土层进行预先压

缩的技术,其主要通过施加一定的外部荷载,促使软土层在较短时间内完成固结过程,提前释放沉降应力,以减少长期沉降的幅度。这一方法特别适用于处理较薄的软土地基,通过对软土层的加压,能够有效促进土体的压缩和固结,在短期内显著加速沉降过程,从而提高地基的稳定性^[4]。预压法的作用机理是通过给软土层施加预定的压力,使土体内部水分得以排除,土颗粒之间的结构得以紧密化,进而增强土体的承载力,减少沉降。该方法适用于处理土层较薄且沉降要求较高的地区,尤其对于低层建筑物或基础设施建设而言,预压法可以有效缩短施工周期并降低施工成本^[5]。

2.3 真空压密法在软土地基沉降控制中的应用

真空压密法是一种通过施加负压来促进土体固结的地基处理技术,尤其适用于湿润且孔隙率较高的软土层。其主要原理是通过在土体上施加负压,促进土体中的水分排出,加速土体的压实过程,从而提高土体的承载力,减少沉降量。与传统的压实方法相比,真空压密法能够更高效地去除土层中的水分,显著改善土体的物理力学性质,特别适用于湿度较高、孔隙较大的软土层。通过这种方式,不仅能够加快土体的固结进程,还能降低沉降速率,提高地基的稳定性。该方法的优点在于施工过程对环境的影响较小,且工期相对较短,适用于需要快速提高承载力的项目。

3 优化软土地基沉降控制的对策分析

3.1 优选地基处理措施,强化沉降调控效能

在软土地基的处理过程中,选择合适的地基处理方法是控制沉降的核心环节,且对工程的长期稳定性和安全性至关重要。软土地基由于其较低的承载力和较大的压缩性,常常会受到外部荷载作用而发生不均匀沉降,导致建筑物或基础设施的稳定性受到影响。软土层的沉降特性受多个因素的影响,包括土层的厚度、土壤类型、地下水位以及周围环境的影响。因此,在地基处理过程中,需要综合考虑这些因素,依据土壤的物理和力学特性,选取最合适的处理方法。

深层软土通常由于其较厚且承载力较低,常常采用深层搅拌法进行处理。深层搅拌法通过将水泥、石灰等固化材料注入软土层,并通过机械搅拌与土体充分混合,形成一种强化土体结构的加固措施。该方法不仅能够显著提高土体的抗剪强度和抗压能力,还能减少土体的压缩性,显著降低沉降量,尤其适用于大面积、深层软土的处理。深层搅拌法在提高地基承载力的同时,能够降低沉降速度,确保建筑物的长期稳

定性。对于较薄层的软土,则适合使用预压法。预压法通过在软土层上施加外部压力,促使土体发生快速压缩,加速土体的固结过程。施加的压力能够提前释放沉降应力,从而减少沉降的长期积累,尤其在薄层软土或局部软土地基的处理中,效果非常显著。预压法尤其适用于需要在短期内控制沉降的场合,例如低层建筑或基础设施建设中,需要快速完成地基稳定的情况。真空压密法则是一种通过施加负压作用促进土体固结的技术,尤其适用于含水量较高且具有较高孔隙率的软土层。通过负压作用,真空压密法能够促使土体中的水分迅速排出,促进土体的固结,从而降低沉降量。该方法的优点在于施工过程中可以显著缩短工期,并且对环境的影响较小。真空压密法对于湿度较高的土层,能够显著改善其固结速度,减少沉降风险,是一种有效的沉降控制手段。合理选择合适的地基处理方法,根据不同软土层的特性与工程要求,能够确保地基沉降得到有效控制,并保障工程的长期稳定性。

3.2 优化工艺技术,提升施工质效水平

随着地基处理技术的不断进步,施工技术的优化对提升软土地基沉降控制效果起着至关重要的作用。传统地基处理方法的施工过程较为繁琐,效率较低,而且存在一定的环境影响。现代地基处理技术则通过引入新型设备和材料,使施工过程更加精确、高效,同时减少对环境的负面影响,提升整体施工质量。

以深层搅拌法为例,采用现代化的搅拌设备和技术,可以显著提高土体的加固效果。新型的深层搅拌设备采用先进的搅拌技术,能够在较短的时间内将水泥、石灰等固化材料均匀地注入土层,确保土体与固化材料的充分混合,从而提高土体的承载力和抗压强度。通过精准控制搅拌深度、速度和压力等参数,施工人员可以进一步提升土体的稳定性,确保地基沉降得到有效控制。深层搅拌技术的提升,不仅提升了施工效率,也使得地基处理更加精确,降低了施工过程中的误差。在预压法的应用中,现代化的压力控制技术使得施加的外部压力能够更加精准、均匀地分布到软土层上。这一技术的精确控制减少了不均匀沉降的风险,确保了土体的均匀固结。通过控制施加压力的速率、时间和大小,能够实现软土层的有效加固,避免了传统方法中由于压力分布不均而导致的地基不稳定问题。此外,自动化技术在地基处理施工中的应用,使得监测和控制过程更加精准。随着传感器技术、数据采集技术和物联网技术的进步,自动化设备能够实时监控土体沉降过程,通过实时反馈数据调整施工

策略。施工人员可以根据监测数据及时发现施工中的异常情况并进行调整,确保施工过程中的风险管理更加有效。这些先进的技术不仅提高了施工过程的精度,也提升了施工效率,减少了人工操作的失误,提高了施工质量。

3.3 加强科研创新,推动技术革新应用

地基处理技术的持续创新是提升软土地基沉降控制效果的关键所在。尽管现有的地基处理方法,如深层搅拌法、预压法和真空压密法,已经在工程实践中得到了广泛应用,但它们在面对特殊环境和复杂土质条件时,仍然存在一定的局限性。例如:在极为厚重的软土层中,现有的技术可能无法充分发挥其沉降控制作用,因此,推动新型地基处理技术的研发与应用显得尤为重要。科研人员可以通过对新型固化材料的研发,提升固化材料的性能,使其在更短的时间内实现更高强度的土体加固效果。例如:近年来,一些新型复合材料,如高效聚合物和环保型固化剂的应用,逐渐改变了传统处理方法的局限。这些新型材料不仅能够显著提高土体的加固效果,还能在降低环境污染方面做出积极贡献。通过材料的创新,不仅提升了土体的抗压能力和抗剪强度,也在一定程度上缩短了施工周期。此外,深层处理设备的创新也同样重要。传统的地基处理设备多为大型机械,施工操作较为复杂,且在处理某些特殊土层时,可能无法提供足够的精确控制。随着智能化技术的进步,近年来出现了一些小型化、智能化的处理设备,它们具有更高的精度,可以根据不同土层的变化情况进行实时调整。结合先进的设备,地基处理的施工质量和效率得到了进一步提升。随着数字化、自动化技术的发展,未来的地基处理方法将更多地依赖于实时监控和数据分析技术。通过大数据分析、人工智能技术等手段,可以实现沉降控制的精准化和智能化,施工过程的实时反馈和调整将极大地提升地基处理的效果。新的地基处理技术将更加注重精细化管理和实时控制,推动沉降控制技术

3.4 统筹环境 and 经济因素,优化地基处理路径

在选择地基处理方法时,必须综合考虑环境和经济因素,制定出最合适的地基处理方案。不同的地基处理方法对环境的影响程度差异较大,选择合适的方法不仅能够提高工程的沉降控制效果,还能最大程度地减少对环境的负面影响。例如:深层搅拌法和真空压密法相对环保,因为它们在施工过程中不需要大量的废土挖掘和运输,且能够在较小的施工空间内完成

处理;而预压法则可能需要占用较大的土地面积,且由于施加的沉降应力较大,可能对周围环境产生一定的影响。因此,在选择地基处理方法时,必须充分考虑施工的环境影响,确保施工过程符合可持续发展的要求。

经济因素也是选择地基处理方法时的重要考虑点,尤其在大规模建设项目中,如何平衡施工成本和施工效果,是工程决策中不可忽视的因素。采用新型、高效的地基处理技术,如深层搅拌法和真空压密法,不仅能够确保沉降控制效果,还能显著降低施工成本,尤其是在长周期工程中,能够提高项目的整体经济效益。此外,通过引入智能化、自动化设备,能够进一步提高施工效率,降低人工成本,从而达到节省资金的目的。综合考虑环境影响、施工周期、土层条件和项目预算等多个方面因素,制定出最合适的地基处理方案,能够确保工程顺利进行并达到预期效果。在地基处理过程中,优化技术选择和方案设计,减少不必要的资源浪费,不仅能够提高施工质量,还能在确保地基稳定性的同时,推动社会和经济的可持续发展。

4 结束语

软土地基沉降问题的有效控制对建筑工程的稳定性和长期使用至关重要。通过不同地基处理方法的应用,如深层搅拌法、预压法和真空压密法,可以显著减少软土地基的沉降,提高地基的承载力和稳定性。然而,当前地基处理技术仍面临一些挑战,如方法选择的局限性、施工成本较高等。随着技术的不断发展和创新,地基处理方法的多样性和适用范围不断拓展,未来的地基处理将更加注重技术创新、施工效率与环保相结合。

参考文献:

- [1] 咸甘玲,兰景岩,潘旦光,等.桩顶荷载对软土地基-群桩基础动力相互作用的影响与机理分析[J].岩土工程学报,2023,45(s2):67-72.
- [2] 游桂芳.某桥头软土地基处理的参数影响分析[J].工程建设,2024(11):54-58.
- [3] 孙冲,刘印鹏,陈少青,等.真空预压法处理双层软土地基沉降特性分析及预测[J].岩土工程技术,2024,38(03):287-293.
- [4] 王丽欢,郜帆,任亚宁,等.软土地基预加固对桩基竖向承载特性的影响研究[J].人民长江,2023,54(04):190-197.
- [5] 王毅敏.市政公路工程施工中软土地基处理方法分析[J].石油化工建设,2023,45(01):94-96.

软基处理技术在市政道路路基工程施工中的应用分析

丁 翔

(青岛西海岸新区融合控股集团有限公司, 山东 青岛 266000)

摘 要 本文概述了软基处理技术的含义, 强调了软基处理在市政道路路基工程中的必要性, 指出其能有效解决地基软弱、易沉陷等问题, 保障道路的安全与稳定; 详细论述了软基处理技术的实际应用, 包括加固土法、路基处理法、深层处理法等, 提出了软基处理技术在市政道路路基工程施工中的具体实施路径, 以期为提升工程质量、确保道路长期安全运行提供借鉴。

关键词 软基处理技术; 市政道路; 路基工程

中图分类号: U416.1

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.15.020

0 引言

在市政道路路基工程建设中, 软土地基问题是一个普遍存在的挑战, 尤其在地质条件复杂的地区更为显著。软基处理技术作为提升地基承载力和稳定性的关键手段, 其重要性不言而喻。本文深入探讨软基处理技术在市政道路路基工程施工中的应用, 从技术的概述、必要性、实际应用及实施路径四个方面进行全面分析, 期望能为市政道路工程的安全、高效建设提供有力的技术支撑和理论参考。

1 软基处理技术的概述

软基处理技术作为土木工程领域中的一项核心技术, 其根本目的在于改善和提升软弱地基的承载能力与稳定性, 确保上部结构(如道路、桥梁、建筑等)的安全与耐久。简而言之, 这是一门通过科学方法和技术手段, 将原本承载力低、变形大、稳定性差的软土地基转化为符合工程要求的坚实基础。它不仅关乎工程的安全质量, 更是推动基础设施建设高质量发展的关键所在。

2 软基处理技术在市政道路路基工程中的必要性

2.1 保障道路结构稳定, 预防沉降与变形

市政道路作为城市交通的动脉, 承载着巨大的车流量与人流量, 其稳定性直接关系到行车安全与市民出行的顺畅。软土地基由于含水量高、压缩性大、承载力低等特点, 若不经有效处理, 极易在后续荷载作用下发生沉降、不均匀变形乃至失稳, 严重影响道路平整度与使用寿命^[1]。因此, 采用科学合理的软基处理技术, 如换填法、排水固结法、复合地基技术等,

能够显著改善地基土的工程性质, 增强其承载力和稳定性, 有效预防和控制沉降与变形, 为道路结构的长期稳定提供坚实的保障。

2.2 提升道路施工质量, 延长使用寿命

高质量的市政道路工程是城市基础设施建设的重要组成部分, 而软基处理技术的恰当应用则是提升整体施工质量的关键环节。通过精准分析软土特性, 采取针对性的处理措施, 可以有效改善地基的均匀性、密实度和强度, 使路基达到设计要求的各项指标。这不仅减少了因地基问题导致的返工与维修成本, 还显著提升了道路的耐久性, 延长了使用寿命, 为城市节约了宝贵的公共资源, 促进了经济效益与社会效益的双重提升。

2.3 促进城市交通发展, 助力城市现代化建设

随着城市化进程的加快, 城市交通网络日益复杂, 对道路建设的质量与效率提出了更高要求。软基处理技术的广泛应用, 不仅解决了软土地基带来的技术难题, 还加快了施工速度, 缩短了建设周期, 为城市交通网络的快速形成与完善提供了有力支撑。同时, 稳固的路基基础为城市地下管线的铺设、道路拓宽改造等后续工程创造了良好条件, 促进了城市基础设施的互联互通与综合承载能力的提升, 为城市现代化建设注入了强劲动力。

3 软基处理技术在市政道路路基工程施工中的实际应用

3.1 加固土法: 铸就稳固, 承载基石

在市政道路路基工程施工中, 加固土法是一种重要的软基处理技术。该方法主要通过向软土中添加适

量的固化剂（如水泥、石灰等），利用固化剂与软土发生化学反应或物理作用，从而增强土体的强度和稳定性^[2]。例如：水泥搅拌桩技术便是加固土法的典型应用，通过深层搅拌机械将水泥浆与地基土在原位拌和，形成具有高强度和良好水稳定性的水泥土体，显著提升路基的整体承载力和抗变形能力，确保道路的稳定性和耐久性。

3.2 路基处理法：多维优化，固本强基

路基处理法是针对软土地基进行的一种综合处理措施，旨在改善路基的承载性能和稳定性。常见的路基处理法包括换填法、排水固结法等。换填法通过挖除软土层，换填以砂、碎石等透水性良好、强度较高的材料，提高路基的承载力。而排水固结法则通过设置竖向排水体和水平排水层，加速地基土的排水固结过程，减少沉降，提高地基的稳定性。这些方法在市政道路路基施工中被广泛应用，有效解决了软土地基带来的工程难题。

3.3 深层处理法：触及根基，重塑稳定

深层处理法是针对深层软土地基的一种有效治理手段。其中，高压喷射注浆法和深层搅拌法是两种常用的技术。高压喷射注浆法利用高压设备将浆液注入软土中，通过浆液的渗透、劈裂和挤压作用，形成高强度的固结体，增强地基的整体强度。而深层搅拌法则是在地基深处将固化剂与软土混合搅拌，形成复合地基，提高地基的承载力和稳定性。这些深层处理技术能够深入地基内部，从根本上解决软土地基的问题，确保市政道路的安全运行。

3.4 地基改良法：科技赋能，重塑未来

地基改良法是科技进步与工程实践的完美结晶，它以创新的思维和技术手段，对地基进行全方位、深层次的改造与提升。这包括但不限于真空预压法、强夯法、振冲碎石桩等先进技术，它们各自拥有独特的优势和应用场景，能够针对不同地质条件，采取针对性的改良措施。地基改良法不仅着眼于当前的路基建设需求，更着眼于未来的可持续发展，通过科技赋能，实现地基性能的质的飞跃，为市政道路建设开启了一个更加安全、高效、环保的新篇章。

4 软基处理技术在市政道路路基工程施工中的实施路径

4.1 前期勘察与精准设计：奠定坚实的基础

4.1.1 详尽地质勘察，摸清软基地底细

在市政道路路基工程的宏伟蓝图中，前期勘察是构筑安全基石的首要环节。项目伊始，应秉持着严谨

科学的态度，启动全面而详尽的地质勘察工作。这一过程不仅仅依赖于先进的勘探设备，如高精度地质雷达与深层钻探取样技术，更融合了多年积累的实战经验^[3]。例如：在复杂地质条件下，应采用多点位、多深度的加密勘探策略，确保数据的全面性与准确性。同时，结合历史气象数据与地下水文监测资料，深入分析软土层的季节性变化特征，如雨季时含水量的激增与旱季时的收缩现象，为处理方案制定提供更为精细化的考量。通过这一系列精细化的勘察工作，仿佛为软基绘制了一幅详尽的“病理图谱”，不仅清晰标注了软土层的分布范围与厚度，还深入剖析了其物理力学性质，如压缩性、抗剪强度等关键指标。这些宝贵的数据，如同医生手中的诊断报告，为后续制定针对性的软基处理方案奠定了坚实的科学基础，确保每一步施工都能精准施策，有效改善软基性能，为市政道路的安全稳定奠定牢固基石。

4.1.2 科学制定处理方案，精准设计

在市政道路路基工程的起始阶段，精准设计是确保工程顺利进行与质量卓越的基石。首先，需依托先进的勘探设备与技术手段，深入细致地收集地质、水文等勘察数据，确保信息的全面性与准确性。随后，组织由资深工程师、地质专家及结构设计师构成的多学科团队，基于详尽的勘察资料，进行严谨的综合分析与讨论。在实际操作中，强调理论与实际相结合，根据软基的具体特性，如含水量、承载力、土层厚度等，灵活而科学地制定软基处理方案。例如：在含水量较高的区域，优先考虑采用换填法，以优质填料替换软弱土层，提升地基承载力；而对于压缩性较大的软土，则可能选择预压法，通过施加外部荷载加速地基固结，提高稳定性。此外，桩基加固和化学加固（如高压旋喷注浆加固）等先进技术也被广泛应用于特定条件下，以满足不同道路等级、交通量预测及环境保护的严格要求。在设计过程中，应始终坚持精细化原则，不仅考虑技术的先进性与可行性，还深入评估经济性与长期效益，力求在保障工程质量的前提下，实现成本的最优化。通过反复论证与优化，确保软基处理方案既经济合理又技术先进，为后续的高质量施工奠定坚实而可靠的基础。

4.2 精细化施工与过程控制：确保质量关键

4.2.1 严格材料控制，保障质量源头

在软基处理材料的选择上，必须严格把关，确保材料质量符合设计要求。这要求在材料采购阶段便需精挑细选，不仅需遵循设计图纸与规范标准，更需结合项目实际地质条件与施工需求，精选优质碎石、砂

砾作为换填材料,确保其粒径分布合理、含泥量低,以增强地基承载力与稳定性。同时,对于加固所用的水泥、注浆材料等关键物资,坚持实施“先检验、后使用”的原则,通过实验室检测与现场复验双重把关,确保其强度、凝结时间等关键指标符合设计要求,从源头上杜绝因材料质量问题引发的工程隐患^[4]。此外,结合丰富的施工经验深知材料存储与保管的重要性,因此在材料进场后应采取分类存放、防潮防晒等措施,确保材料性能不受外界环境影响,为后续的软基处理施工提供坚实的保障。这一系列精细化管理与过程控制措施,共同构成了市政道路路基工程软基处理质量的坚固防线。

4.2.2 强化施工监管,实施精细化作业

在施工过程中,实施全过程、全方位的质量控制是确保工程质量不可或缺的关键。首先,强化施工监管体系,从项目启动至竣工验收,实施全过程、无死角的质量控制策略。这要求不仅依赖于先进的施工技术与高端设备,如采用高精度压实机械与智能监测系统,以确保压实度等关键施工参数精准无误;同时,还需引入GPS定位、无人机巡检等现代科技手段,对施工现场进行全方位、多角度的监控,确保施工操作的规范性与准确性。

此外,在软基处理过程中,要特别注重对各道工序的精细化管理。例如:在注浆作业时,严格控制注浆压力与速率,确保浆液均匀分布,有效加固土体;在预压阶段,根据地质条件与工程需求,科学设定预压时间与荷载,通过实时监测沉降数据,及时调整预压方案,避免过度或不足预压导致的质量问题。通过这一系列精细化作业与严格的过程控制,力求将软基处理效果发挥至最佳,为市政道路的稳定与安全奠定坚实的基础。

4.3 后期监测与维护保养:保障长期性能

4.3.1 建立监测系统,实时掌握变化

项目竣工并投入运营后,首要任务是建立一套全面、科学的监测系统。这不仅要求在软基处理区域精心布设高精度传感器,如沉降计、水平位移计等,还需定期安排专业技术人员进行实地观测与数据分析,以实现软基变形、沉降速率等关键参数的实时监控。因此,在监测系统的构建中,应积极融入智能化技术,如物联网平台,实现数据的自动采集、传输与分析,大大提高了监测效率与精确度。同时,建立应急响应机制,一旦监测数据出现异常波动,立即启动应急预案,迅速组织力量进行现场勘查与处置,有效遏制问题恶化,保障道路长期性能的稳定与可靠。此外,定期对

监测设备进行维护与校准,确保其处于良好工作状态,也是不可忽视的重要环节。

4.3.2 加强维护保养,延长使用寿命

在市政道路路基工程的后期监测与维护保养阶段,为确保软基处理技术的长效性,需采取一系列严谨而细致的措施。首先,依托先进的监测技术,如GPS变形监测与自动化数据采集系统,对软基路段进行全天候、高精度的监测,精准捕捉路基微小形变与应力变化。基于详尽的数据分析,及时编制并实施针对性的维护保养计划,确保预防性维护的前瞻性与有效性^[5]。在实际施工过程中,面对轻微沉降现象,通常采用注浆加固技术,通过精准注浆填充路基空隙,增强地基承载力,有效遏制沉降趋势。对于细微裂缝,则采取环氧树脂等材料进行封闭处理,防止水分渗入加剧损害。此外,强调日常巡查的重要性,不仅限于表面检查,还深入排水系统内部,确保排水沟、盲管等排水设施畅通无阻,防止积水导致的地基软化与不均匀沉降。同时,结合季节变化特点,制定季节性维护保养策略,如雨季前加强排水系统检查与清理,冬季则注意防冻保温措施,全方位保障软基处理路段的长期性能稳定与使用寿命延长。这些实践经验与科学管理的结合,为市政道路的安全通行与可持续发展奠定了坚实的基础。

5 结束语

软基处理技术在市政道路路基工程施工中扮演着不可或缺的角色。它不仅能够有效解决软土地基承载力低、易变形等问题,还通过科学的方法提升了路基的稳定性和耐久性,确保了道路工程的安全与质量。随着技术的不断进步与创新,软基处理技术将更加精细化、智能化,为构建坚实、平坦、耐用的现代城市道路网络奠定坚实的基础。未来,应继续深化软基处理技术的研究与应用,推动市政道路建设向更高水平迈进。

参考文献:

- [1] 陈正佳. 软基处理技术在市政道路路基工程施工中的应用分析[J]. 建材发展导向, 2024, 22(17): 101-104.
- [2] 占伟. 市政道路施工中软基加固技术运用分析[J]. 新城建科技, 2024, 33(06): 155-157.
- [3] 陈景. 多种深厚软基处理技术在漳州某道路工程项目中的应用研究[J]. 福建建筑, 2024(06): 92-96, 125.
- [4] 赵维刚. 高速铁路路基施工技术分析研究[J]. 工程机械与维修, 2024(01): 206-208.
- [5] 蔡江波, 张晗, 潘斌, 等. 基于绿色施工理念的港区道路软土地基处理技术探讨[J]. 交通节能与环保, 2024, 20(04): 111-113.

建筑环境与设备工程节能施工措施探析

张小孟, 姜建昊

(山东正宇消防工程有限公司, 山东 东营 257000)

摘 要 建筑作为人们生产生活的主要场所, 其能耗水平对生态保护及社会可持续发展均有重要影响。建筑环境与设备工程作为建筑能耗的关键环节, 涵盖了供暖、通风、空调、给排水等多个系统, 这些系统在运行过程中消耗大量能源。通过采取科学合理的节能施工措施, 能够有效提高能源利用效率, 减少对环境的负面影响。本文首先探讨了建筑环境与设备工程的概述, 其次探讨了设备工程节能施工对建筑环境的影响, 最后就建筑环境与设备工程节能施工措施进行了研究, 以期相关人员提供参考。

关键词 建筑环境; 设备工程; 节能施工

中图分类号: TU83

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.15.021

0 引言

在我国城市化建设进程中, 市政建筑工程发挥着至关重要的作用。但在施工期间难免会破坏生态环境, 尤其是施工期间存在的水污染、光污染、空气污染等一系列问题, 严重影响城市居民的日常生活, 甚至会威胁到居民的身体健康。所以, 在市政建筑施工期间, 应加强施工现场管理, 遵循节能降耗原则, 借助有效的环境保护技术, 促进市政建设和生态环境的和谐共生, 为我国城市建设与社会发展奠定基础。

1 建筑环境与设备工程的概述

首先是建筑环境介绍。所谓建筑环境, 就是指存在于人为环境或者是自然环境中的建筑物空气环境, 空气的质量、温度, 室内声音和光线等因素都会对建筑环境的质量产生影响; 其次是设备工程介绍。所谓设备工程, 就是指设备规划、维修、动力以及安装等四个部分构成的组合型工程。该类型工程具有覆盖面积广泛、产品形式多元化, 工程设备设计面积比较广泛、安装调试周期长以及时空跨度较大等特点^[1]。

2 环境影响评估的关键指标

环境影响评估是对建筑材料及建筑项目全程进行审视的科学方法, 旨在系统化地分析与评价建筑项目的潜在环境影响。实施严格的环境影响评估程序, 有助于全面梳理建筑项目对生态环境的负面后果, 为设计师、项目经理及决策者提供科学的决策参考, 引导他们全面掌握并科学管理建筑项目的环境风险, 推动建筑行业向环保和节能模式转型。

环境影响评估涉及多个关键指标, 其中最重要的包括能源消耗、二氧化碳排放、水资源使用等。(1) 能

源消耗: 在建筑材料的生产和使用阶段, 能源消耗是环境变迁的关键驱动力。尤其是水泥、钢铁等传统建筑材料, 其生产工序涉及高温熔融和大量机械加工, 能源消耗巨大。因此, 对不同材质的能源消耗进行详细剖析, 有助于识别那些生产阶段能源需求较高的材料, 从而为筛选节能替代品奠定基础。(2) 二氧化碳排放: 二氧化碳是全球气候变化的主要驱动力。在建筑材料的生产、流通及施工阶段, 二氧化碳排放量对环境产生重大影响。通过对建筑材料的碳排放指标进行检测分析, 可以选择低碳排放的原料, 从而减少建筑项目的碳足迹, 尤其是水泥、钢铁等常见建筑材料, 其生产过程往往伴随大量的二氧化碳排放。通过选用替代材料或升级生产工艺, 可以显著减少温室气体的排放。(3) 水资源使用: 建筑构件的生产流程中, 水资源的消耗同样会对生态环境产生影响, 尤其是一些矿产资源的开采及后续加工环节, 在采矿和冶炼作业中, 所需水量往往极为可观。因此, 对建筑材料的水资源消耗进行细致分析, 有助于筛选低水耗且资源可持续性较强的材料, 从而缓解水资源的负担。

环境影响评估方法主要包括定量评估、定性评估和综合评估三种方式。(1) 定量评估: 定量评估通过数字化模型对建筑材料的环境效应进行精准评价。常见的量化评价标准包括能源消耗、碳排放及污染物排放等。通过计算机模型和关联数据分析, 量化模型能够精确测算建筑材料的环境负荷, 从而为决策提供科学依据。(2) 定性评估: 定性评估通过专家评审和环境法规对建筑材料的影响进行分析。这种方法主要依赖行业权威专家的经验和相关规范, 对缺乏数据支持的领域起到关键作用。(3) 综合评估: 综合评估是将

定量分析与定性分析相结合,深入探讨建筑材料的环境足迹。该方法将数据分析与专家洞察相结合,呈现详尽且精准的环境影响评价反馈,是建筑领域普遍采用的评估机制。通过以上评估方法,建筑行业能够更科学地选择和评估建筑材料,从而大幅降低环境负担,推动行业实现可持续发展的目标^[2]。

3 建筑环境与设备工程节能施工措施

3.1 选购绿色环保的施工材料

绿色环保材料的使用是市政建筑实现可持续发展的重要途径。这些材料不仅能够减少对自然资源的消耗、降低能耗和排放,还能够改善施工环境、提高建筑质量和使用寿命。使用绿色环保材料还有助于提升市政建筑的形象,增强市民的环保意识。选购绿色环保材料时,应遵循“减量化、资源化、无害化”的原则,优先选择可再生、可降解、低能耗、低排放的材料。对于环保施工材料的选择,需要详细了解材料的环保性能和生产过程,确保符合相关环保标准;对比不同品牌、型号的材料,选择性价比高的产品;与供应商建立长期合作关系,确保材料的稳定供应和质量控制。

3.2 节能减排与低碳建筑的推广

节能减排是建筑行业实现可持续发展的核心内容之一。通过推广低碳建筑理念,采用节能设备和技术,可以有效减少建筑施工中的能源消耗和污染物排放。例如,采用智能建筑管理系统,可以实时监控和调节建筑物的能源使用效率;引入可再生能源和清洁能源技术,可以减少对化石能源的依赖,降低建筑施工中的碳排放量。近年来,随着低碳建筑标准的逐步推广,建筑行业在减少碳足迹、应对气候变化方面取得了显著成效。

3.3 资源的高效利用与废弃物的循环利用

建筑施工过程中的资源消耗量巨大,如何提高资源利用效率,减少对原材料的过度依赖,成为建筑行业可持续发展的重要议题。通过引入先进的资源管理技术和设备,优化材料采购和使用流程,可以有效降低资源浪费。此外,废弃物的循环利用也是实现资源可持续利用的重要途径。通过建筑废弃物的分类处理和再利用,可以将废弃的材料转化为可再生资源,从而减少对自然资源的开采和使用压力^[3]。

3.4 建筑智能化在环境节能减排中的应用

(1) 智能电网。建筑智能电网技术可以将建筑内部的电力系统与电力网络相结合,通过智能化控制技术,实现对建筑用电的合理调配和监控,从而实现节能减排。首先,建筑智能电网系统通过搭载各种传感

器和监测设备对建筑内部各个系统(如照明、空调、电梯等)的能耗进行实时监测和数据采集,从而获取关键的能耗信息和规律。通过分析这些能耗数据,制定出最优能耗方案。其次,通过智能电网系统,对建筑内部各个系统的自适应能耗进行调控。例如:利用控制照明系统的光照强度和时间进行节能,并自动调整空调和通风系统来降低能耗和碳排放。此外,基于智能电网,在能源供应紧张时自动切换能源来源,以最优化的方式保证建筑内部的能源供应和消耗。同时,通过控制建筑内部各类能耗设备的负荷,实现建筑能耗的平衡。例如:在电力供应不足时,通过自动降低一些对电力负荷较高系统的功耗保证建筑内部的电力供应稳定。或者调节设备的工作时间,实现用电高峰时段的负荷平衡,减少用电峰值,从而降低能耗和碳排放。最后,基于建筑智能电网系统,结合可再生能源技术,实现对可再生能源的利用和控制。例如:通过与太阳能电池板等设备相结合,可以将建筑内部所需的电力需求得到覆盖;或利用智能电网和电池存储技术,将离散的可再生能源聚拢到一起进行有效利用。

(2) 智能热平衡。建筑智能热平衡技术主要是通过智能化的控制系统和传感器,对建筑内部的室温、湿度、热通量、热损失等参数进行实时监测和调控,达到建筑内部热平衡的目的。利用建筑智能热平衡技术,通过搭载传感器对建筑内部的热通量进行实时监测和调控,对热损耗进行有效控制。通过自动控制窗户和建筑外部的遮阳隔热设备,确保建筑内部的热量适合,从而满足室内舒适度的需求,同时也可以大大降低能耗和碳排放。另外,利用控制系统对室内温度进行自适应调节,确保每个区域的温度保持在合理水平,可以根据不同时间段的需求进行调控。(3) 智能照明。建筑智能照明技术是指通过智能化的控制系统和传感器,对建筑内部的照明进行实时监测和调控,以实现建筑节能、环保和舒适的照明效果。在该项目中,首先通过智能传感器和控制系统,监测不同区域的光照强度和亮度,根据实际需要,自动调节照明设备的光照强度和亮度。例如,在阳光充足的白天,适度减小照明灯光的亮度,以节省能源。其次,通过智能控制系统,利用传感器检测建筑不同区域的光照,自动控制每个区域的照明设备,有效减少能源浪费。除此之外,通过调节不同色温和光照模式来实现光照质量的调节。在不同的时间段内,选择不同的光照模式以提高室内环境的舒适度^[4]。

3.5 创新与完善市政建筑工程技术

市政建筑工程施工中,需要引入绿色建筑计理

念,注重建筑与环境的和谐共生,减少能源消耗和环境污染。利用建筑信息模型(Building Information Modeling, BIM)技术进行市政建筑工程的设计与管理,实现设计、施工、运营全过程的信息共享和协同管理。结合智慧城市发展趋势,将市政建筑工程纳入智慧城市框架中,提升城市基础设施的智能化水平。同时,引入先进的施工技术和设备,提高施工效率和质量;优化施工流程,减少不必要的浪费和损失;推广预制装配式施工方式,缩短工期,减少现场作业对环境的影响。利用信息化技术建立市政建筑工程管理平台,实现数据的集中管理和共享。推广智能化技术在市政建筑工程中的应用,如智能监控、智能预警等,提高市政建筑工程的智能化水平。同时,加强与其他行业的信息化对接和融合,促进市政建筑工程的信息化发展^[5]。

3.6 公众参与与社会影响评估

在环境影响评估的过程中,公众参与是一个不可或缺的重要环节。通过公众参与,项目方可以了解施工区域内居民和利益相关者的意见和建议,从而更好地调整施工计划,减少对周围环境和社区的负面影响。此外,社会影响评估(SIA)作为环境影响评估的一个关键补充工具,能够全面评估建筑施工对当地社区的社会、经济和文化的潜在影响,并为项目方提供相应的应对措施,确保施工活动具备较高的社会可接受性和社会支持。

3.7 建立节能建筑智能化的集成体系

在实际开展建筑工程节能设计工作时,可以借助智能化集成体系技术,通过这样的方式可以提升其完整性以及系统性,将子系统连接起来进行合作减少单独运行的概率。针对现代化建筑工程施工建设的角度上来说,借助智能家居或者是装饰控制,将物联网技术和运行系统相互结合,对周围气候情况以及耗能情况进行全面的采集与检测,从而得出高质量空调与楼梯日常数据。工作人员根据实际情况建立相应的耗能监管制度,对建筑工程的实际耗能情况进行分析,加大建筑物耗能控制力度。不仅如此,还可以远程操作家居安防或者是灯光,通过这样的方式不仅可以充分体现建筑信息化的发展水平,还能够满足环保的要求^[6]。

3.8 注重生态环境保护

市政建筑工程中的绿化和排水设施对维护城市生态环境具有重要作用。施工单位应重视绿化和排水设施的维护工作,确保设施正常运行并发挥最大效益。具体措施包括:加强绿化植物的养护管理,定期修剪、浇水、施肥等;定期检查和清理排水设施,确保其畅通无阻;加强宣传教育,提高市民的环保意识和参与度。

3.9 更高效的动态智能控制系统

建筑智能照明系统的控制是利用传感器和控制器,对室内自然光照、光照强度、光色等信息进行检测,针对检测结果调整照明灯及其他照明设备。未来建筑智能化控制系统可实现更加智能的控制逻辑,例如使用深度学习和机器学习等技术进行数据分析与决策,确保系统更加智能与高效。

4 国际经验与借鉴

全球各国在推动建筑施工环境保护与可持续发展方面积累了丰富的经验。例如,德国的被动房技术通过超低能耗设计,实现了建筑物在运行阶段的能耗大幅降低。北欧国家通过引入严格的环境立法和绿色建筑认证体系,如瑞典的绿色建筑评估系统,成功推动了建筑行业的可持续转型。日本的建筑施工过程中,强调资源的循环利用与智能化施工技术的结合,通过精准的施工管理系统和先进的技术手段,减少了建筑施工过程中的浪费和污染。美国通过 LEED 认证体系引导建筑行业向绿色、低碳方向发展,推动了环保技术在建筑施工中的广泛应用。这些国际经验为我国建筑施工领域的可持续发展提供了重要的借鉴。

5 结束语

建筑选材与生态环境评估在现代建筑业中占据了核心地位。通过对材料选择的优化与创新突破,结合生命周期分析与环境影响评价,能够显著减少建筑行业的碳足迹、能源消耗及资源浪费,推动绿色低碳转型。生态建材的广泛应用、废弃资源的回收与再生产,有效降低了建筑施工对生态环境的破坏,助力我国建筑业实现节能减排的目标。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 李连营.绿色建筑材料在建筑工程施工技术中运用研究[J].城市建设理论研究(电子版),2023(25):105-107.
- [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] 潘惟武.建筑环境与设备工程节能施工探讨[J].中小企业管理与科技(下旬刊),2020(08):108-109.
- [6] 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.

BIM 技术在医疗建筑节能改造中的应用

陈 铭

(枞阳县人民医院, 安徽 铜陵 246700)

摘 要 BIM技术主要是将建筑中的物理元素和功能通过可视化的方式呈现出来, 相关人员在建筑设计和施工阶段就可以通过数字化方式优化设计施工过程。为了充分发挥BIM技术在建筑节能改造中的应用效果, 本文深入探讨了BIM技术在某医院医技楼节能改造中的具体应用, 包括屋面、外墙、外窗及照明系统的改造设计, 通过详细分析改造前后的能耗数据, 展现了BIM技术在提升建筑节能性能方面的巨大潜力, 以为相关人员的具体实践工作提供有效的参考意见。

关键词 BIM技术; 医疗建筑; 节能改造

中图分类号: TU17; TU246

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.15.022

0 引言

建筑行业正面临日益严峻的能源挑战, 寻找有效的节能途径已成为亟待攻克的重要课题。据统计, 我国建筑能耗占据了全国能源消耗总量的约27%, 而在这一庞大的能耗中用于供暖、制冷等建筑日常运作的能源消耗更是高达总建筑能耗的三分之二左右。因此, 推行建筑节能改造措施, 对于促进建筑行业的绿色转型与可持续发展具有较高的价值。

1 BIM技术在建筑节能改造中的基本原理和应用

1.1 BIM技术在医疗建筑节能改造中的应用优势

将BIM技术运用到建筑节能改造中可以带来前所未有的技术和经济变革。一方面, 从技术维度来看, BIM技术连接了从前期的调研评估、方案设计再到后期施工运维的各个阶段, 打破了“信息茧房”的现象^[1]。另一方面, 从成本效益分析的视角出发, BIM技术的运用成为设计流程优化的关键驱动力, 不仅大幅度地削减了设计修正和重新工作的频次, 还加速了项目从规划到实施的进程, 并且有效控制了总投资成本。以一座占地25万平方米的既有建筑为例, BIM技术的部署可以帮助该项目节省总投资成本, 详细节省数据见表1。

表1 建筑节能改造项目具体节约情况

项目	传统方式	BIM技术	节约幅度
设计费用	125万元	103万元	17.6%
材料损耗	64万元	52万元	18.75%
工期周期	12个月	10个月	16.67%

1.2 BIM技术在医疗建筑节能改造中的基本原理

首先, 改造初期, BIM技术利用高精度的3D激光测绘技术对现有医疗建筑进行详细的几何信息采集^[2]。运用BIM技术所构建的模型可以对医疗建筑的能效表现进行深度评估, 尤其是针对围护体系、供暖与通风设施、照明装置等核心区域, 暴露出了能效上的短板所在, 从而为实施节能改造策略提供明确而具体的指导方向。针对识别出的能效问题, BIM技术利用集成的流体动力学模拟、热工性能分析、照明模拟等模拟仿真工具, 对高效空调系统、新型隔热材料、智能照明系统等多种节能技术方案进行系统比选, 力求找到技术可行、经济合理的最优解。其次, 施工阶段, BIM技术以自身强大的信息化施工管理能力, 通过实时监控工程进度、质量和成本, 有效避免施工的误差和浪费。最后, 运维阶段, BIM技术通过对医疗建筑能耗的持续监测和分析, 及时发现能耗的异常。

2 项目概述和参数设置

2.1 项目概述

某医院的医技楼始建于2003年, 采用钢筋混凝土框架结构, 设计有地下2层与地上8层, 功能布局涵盖了放射科、检验科、手术室、教学会议室等多个关键区域。整体建筑面积约22 000 m², 其中, 地上建筑面积19 800 m², 而地下建筑面积为2 200 m²。由于建造时间较早, 加上多年使用的损耗, 医技楼的室内环境舒适度欠佳, 尤其是热舒适度问题突出, 直接导致了能耗水平的居高不下。因此, 医院决定对该医技楼实施全面的节能改造工程。

2.2 医技楼模拟参数设置

第一,屋面结构采用三层负荷构造,内层为 10 cm 厚的钢筋混凝土板,既是结构的坚实支持,也是防水系统的基础;中间层为 1 cm 的水泥砂浆找平层,可以保障结构的平整度;外层铺设 2 cm 厚的高分子防水膜形成防水屏障。第二,外窗设计选用铝合金材质的窗框,轻盈且坚固,搭配 5 mm 的单层玻璃,在满足采光和通风需求的同时,也保持了设计的简洁和实用。第三,外墙的结构采用四重材料复合技术,从内至外依次为:2 cm 的石灰水泥砂浆底层,提供了良好的粘结基础;24 cm 厚的空心砖主体层,出色的承重和隔热能力成为外墙的核心;1 cm 厚的水泥砂浆中间层,起到了过渡和保护的作用;最外层是 5 m 粒厚的聚合物抗裂砂浆,不仅可以增强外墙的耐久度,还具有极好的抗裂性能。

3 改造前能耗分析结果

3.1 围护结构传热系数计算和负荷情况

依据软件的模拟和计算得出医疗建筑关键部位的传热性能数据:屋面、外墙和外窗的传热系数分别达到了 $2.66 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 、 $2.65 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 和 $6.38 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$,但这些数据已经超出了绿色建筑设计的理想范围。同时,围护结构在特定的模拟周期内的总体能耗负担,详细内容见表 2。

表 2 围护结构一年负荷情况统计表

单位: $\text{MW} \cdot \text{h}$			
负荷类型	外墙	外窗	屋面
空调负荷	151.32	426.39	30.37
采暖负荷	570.64	288.96	314.45

解读表 2 的数据结果,可以看到围护结构各组件在能耗分配上的独特模式:外窗在空调能耗领域占比最多,负荷量高达 $426.39 \text{ MW} \cdot \text{h}$,显示出外窗在应对制冷需求时的重要地位;外墙的空调能耗虽不及外窗,但仍以 $151.32 \text{ MW} \cdot \text{h}$ 位居其次,而屋面以微小的 $30.37 \text{ MW} \cdot \text{h}$ 处于最低水平。在采暖能耗方面,发现外墙是能耗大户,负荷量攀升至 $570.64 \text{ MW} \cdot \text{h}$,表明外墙在冬季保温方面承受着最大的压力;外窗与屋面分别以 $288.96 \text{ MW} \cdot \text{h}$ 和 $314.45 \text{ MW} \cdot \text{h}$ 的采暖负荷紧随其后,形成了能耗需求的次高峰与中位水平。

3.2 照明和设备情况

改造前,医技楼已安装了 5 863 件照明设施,功率上展现出了多样性,最低至 3 W,最高至 110 W。这些照明设备品类繁多,有吸顶式、方形、格栅式、管状、

角落安装型以及投射式等多种类型,充分满足了不同区域的照明需求。为维持照明系统的稳定工作,项目内还特别配置了四台变压器,其中一台具备 650 kVA 的容量,而另外三台则统一配备了 1 000 kVA 的容量。此外,该项目的能源供给体系中还包含了冷水机组、空调循环泵以及变风量空调装置等设备的协同工作。

3.3 供暖能耗计算方法

建筑供暖能耗的具体计算方式,如下:

$$E_{1H} = \frac{Q_{1H}}{\eta_1 \eta_2 q_1 q_2} \quad (1)$$

此公式中, E_{1H} 被定义为整个供暖季节的总能耗量; Q 代表了一整年内累积的热需求总量。另外, η_1 、 η_2 这一参数综合考量了供暖管网在户外的传输效率以及锅炉在标准工况下的运行效率; q_1 代表了标准煤炭单位所含的热量;而 q_2 反映了电力生产过程中单位电能所对应的煤炭消耗量。将上述各项参数逐一代入公式进行计算后得出,医技楼在供暖季节的总能耗达到了 $479\ 589.03 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 。供暖能耗的具体分布情况见表 3。

表 3 原医技楼供暖能耗相关计算参数

指标类型	计算结果
全年累计热负荷 / $\text{kW} \cdot \text{h}$	12 321 987.89
总建筑面积 / m^2	20 302.59
标准煤热值 / $(\text{kW} \cdot \text{h}/\text{kg})$	8.12
峰值热负荷 / kW	3 078.59
发电煤耗 / $\text{kW} \cdot \text{h}$	0.313
锅炉额定效率 / %	100
室外管网输送效率 / %	100

3.4 空调能耗计算方法

空调能耗的具体计算公式,如下:

$$E_{01c} = \frac{Q_{0c,A}}{P_{S,A}} + \frac{Q_{0c,B}}{P_{S,B}} + \frac{Q_{0c,C}}{P_{S,C}} + \frac{Q_{0c,D}}{P_{S,D}} \quad (2)$$

在上述公式中, E_{01c} 代表了空调系统总能耗;而 $Q_{0c,A}$ 、 $Q_{0c,B}$ 、 $Q_{0c,C}$ 、 $Q_{0c,D}$ 分别代表了空调系统在 0% 至 25%、25% 至 50%、50% 至 75%、75% 至 100% 不同负荷区间内所累积的冷负荷量;此外, P_s 这一参数实现了空调机组在上述各个负荷区间运行时,制冷效率与能耗之间的比值关系。通过将这些实际运行参数代入到相应的数学公式中进行计算,得出了空调系统的总能耗为 $225\ 856.22 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 。

4 基于BIM技术的节能改造方案设计

4.1 屋面节能改造设计

由于原有医技楼的屋顶构造中缺少了关键的保温组件,所以导致保温隔热效能低下^[3]。为了优化能效表现,拟定了一项节能改造计划,即在屋顶部位加装匀质改性且具备防火性能的保温板材。改造施工后,屋顶的构造层次从上至下将包括:一层C20细石混凝土作为保护层,下一层是水泥砂浆抹面,再下一层是匀质改性防火保温板材,该板材之下又是一层水泥砂浆找平,之后是现浇的B04泡沫混凝土层,再往下是钢筋混凝土结构层,最底层为石灰水泥砂浆层。而改造完成后屋顶传热系数的计算,如下:

$$K = \frac{1}{R_0} = \frac{1}{R_1 + \Sigma R + R_e} \quad (3)$$

在上述公式中,K被设定为衡量屋面改造后热传导性能的传热系数,是其中的关键指标; R_0 与 R_e 分别代表了屋面内外两侧因热交换而产生的热阻效应;而 ΣR 是综合体现了屋面构造各层次热阻的总和。对于构成屋面的水泥砂浆、钢筋混凝土和轻质改性防火保温板等各种材料,导热系数、热阻和热惰性指标都被测定。举例来说,水泥砂浆、钢筋混凝土以及均质改性防火保温板的热阻值分别确定为 $0.012 \text{ (m}^2 \cdot \text{K) / W}$ 、 $0.056 \text{ (m}^2 \cdot \text{K) / W}$ 和 $1.527 \text{ (m}^2 \cdot \text{K) / W}$,这些材料参数被输入到上面的计算公式中进行处理时,得出了改造后屋面的传热系数为 $0.50 \text{ W / (m}^2 \cdot \text{K)}$,与改造前 $2.66 \text{ W / (m}^2 \cdot \text{K)}$ 的传热系数相比,这一数值的显著降低直接反映了改造措施在能效提升方面的积极成效。

4.2 外墙节能改造设计

原建筑的外墙因设计年代等问题,在设计中缺少了必要的保温层,针对这一问题,提出了增设保温层的改造计划^[4]。由于市面上保温材料的种类繁多,所以设计人员借助PKPM-Energy软件对半硬质憎水性岩棉保温板、膨胀聚苯板、泡沫玻璃保温板、聚苯颗粒保温砂浆和膨胀玻化微珠保温砂浆这五种保温材料进行了节能潜力的模拟评估。在模拟过程中,保持各材料的厚度一致,再以外墙的冷暖负荷作为衡量指标。

分析结果显示,膨胀聚苯板在负荷控制方面略胜一筹,紧随其后的是半硬质憎水性岩棉保温板,两者在冷暖负荷方面的表现极为接近,保温效能相当。然而,在成本效益方面,半硬质憎水性岩棉保温板展现出明显的价格优势,因此最终选择了此材料为外墙保温的解决方案。改造后的外墙构造层次依次为石灰水泥砂浆找平

层、蒸压加气混凝土砌块层、水泥砂浆粘结层、半硬质憎水性岩棉保温层和聚合物抹面抗裂层^[5]。通过计算发现,改造后的外墙传热系数降低到了 $0.39 \text{ W / (m}^2 \cdot \text{K)}$,与原建筑的 $1.66 \text{ W / (m}^2 \cdot \text{K)}$ 相比节能效果得到了明显的提升。

4.3 外窗节能改造设计

改造前,医技楼的窗户配置为铝合金窗框配单层普通玻璃,此配置导致窗户整体的传热系数高达 $6.39 \text{ W / (m}^2 \cdot \text{K)}$,能效的表现并不好。为了提升窗户的保温隔热性能,设计人员构思了五种不同的改造策略,分别是:采用断桥铝合金窗框搭配低辐射中空玻璃(策略A1)、铝合金窗框与普通中空玻璃的组合(策略A2)、隔热铝合金窗框结合中空玻璃的设计(策略A3)、金属隔热型材与中空玻璃的搭配(策略A4)、塑钢窗框与普通中空玻璃的组合(策略A5)。为了评估这些策略的实际效果,设计人员运用了PKPM-Energy软件进行模拟分析,重点考察了窗户的传热系数与遮阳系数。

通过对比分析发现,策略A1在减少热量传递方面展现出了最佳的性能,因此决定采用策略A1作为窗户的改造方案。与改造前的 $6.4 \text{ W / (m}^2 \cdot \text{K)}$ 相比,采用策略A1后的窗户传热系数实现了明显降低,能效提升明显。

5 结束语

在医技楼进行能效提升改造的过程中,引入了BIM技术,该技术能够精确模拟并计算出建筑各组件的热传递系数,为项目团队提供了数据支持的同时,还能够迅速识别并解决任何超出设计预期的热能传递问题。未来,随着BIM技术的不断升级和更广泛的应用,将在促进建筑行业的节能与可持续发展方面发挥越来越大的作用,成为推动建筑业绿色发展的关键技术力量。

参考文献:

- [1] 韦钰琪,周福俊.既有乡村建筑超低能耗改造技术[J].石材,2025(03):160-162.
- [2] 曹立强,郑畅.既有建筑改造智慧化提升策略研究[J].电气应用,2025,44(02):19-22.
- [3] 马超.既有多层住宅建筑分项节能改造研究[J].广东建材,2025,41(02):110-113.
- [4] 胡中雨,郭汉丁.既有建筑绿色改造主体决策协同影响机理与路径优化研究架构[J].项目管理技术,2025,23(02):68-74.
- [5] 刘宁,高波,岳琳,等.既有公共建筑节能改造常规技术的成本效益分析[J].节能,2025,44(01):57-60.

建筑节能设计对能源消耗的影响及优化策略

张明琦¹, 张燕峰²

(1. 山东恒浩水利工程有限公司, 山东 东营 257000;

2. 山东同正勘察设计有限公司, 山东 东营 257000)

摘 要 随着我国经济、社会不断发展, 建筑能源消耗已成为全社会能源消耗的重要组成部分, 同时, 我国建设工程的数量不断增多, 大量的建材生产和施工给环境带来了消极的影响。随着全球变暖、能源短缺等问题的日益突出, 社会各界对建筑节能设计提出了更高的要求。本文深入分析了建筑节能设计的当前状况, 有针对性地提出了建筑节能设计对能源消耗的影响机制, 并在此基础上提出了建筑节能设计优化策略, 以期实现减少建筑能源消耗, 达到节能减排的目的。

关键词 建筑节能设计; 能源消耗; 保温体系

中图分类号: TU111.195; TU201.5

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.15.023

0 引言

随着我国经济的迅速发展, 建筑能源消耗占社会总能源消耗的比例越来越高, 大量的建材生产与建造给周围的环境带来了不利的影响^[1]。随着全球气候变暖和能源短缺, 建筑节能已经成为建筑业实现可持续发展的一个重要手段。因此, 在建筑设计阶段应加强对建筑节能的考虑, 使建筑能源消耗得到有效控制, 以实现建筑节能的目的。通过合理布局, 优化围护结构, 提高设备利用率, 可以显著地减少建筑的能源消耗, 同时保证使用功能和室内环境质量。本文通过对建筑能源消耗组成及影响因素的系统研究, 揭示建筑节能设计对室内热传递、空气渗透、热辐射等能量传递机制的影响, 分别从保温体系、气密性、辐射控制三个方面提出具体的优化措施, 以期能够有效地降低建筑能源消耗问题。

1 建筑节能设计的当前状况

1.1 现有建筑节能技术和措施概述

建筑节能设计就是在建筑设计、施工和运行过程中, 运用一系列行之有效的技术与手段, 达到减少建筑能源消耗和控制温室气体排放量的目的^[2]。随着科技的不断升级, 建筑节能设计也得到了越来越广泛的应用。目前的主要节能技术与措施有: 被动建筑设计, 有效利用太阳能、风能等可再生的自然资源, 通过对建筑朝向、门窗布置及遮阳措施等进行合理的设计和排布, 实现建筑的自然采光与通风最大化, 降低对室内灯光、空调的依赖。采用高效节能的建筑材料, 例如: 低辐射涂层玻璃、高效隔热材料、绿色屋顶系统等,

可以大大提升建筑能源效率; 通过对建筑物能耗进行实时监测与调控, 实现节能降耗; 另外, 太阳能、风能、地热能等新能源在建筑节能方面的应用也日益受到重视。同时 LEED、BREEAM 及中国绿色建筑评估等绿色建筑标准与认证, 为我国建筑节能设计与建设提供指引与评估系统。这些技术与手段不但可以运用于新建建筑的设计, 而且可以被广泛地运用到既有建筑的更新、升级、改造之中。在科技进步、政策推动下, 建筑节能设计已成为建筑行业发展的必然趋势。

1.2 国内建筑节能标准和政策

建筑节能标准与政策的制定, 是对建筑业节能减排工作进行指导与管理的重要内容, 主要包括: 建筑节能设计标准、节能标识制度、绿色建筑评估制度、各类政府鼓励机制等。与欧美国家相比, 中国在建筑节能设计发展方面起步较晚, 但近几年在我国却得到了快速的发展^[3]。目前, 我国出台了《严寒和寒冷地区居住建筑节能设计标准》和《近零能耗建筑技术标准》等一系列建筑节能技术标准, 推动了我国建筑节能水平的提高。《“十四五”建筑节能与绿色建筑发展规划》明确提出了到 2025 年实现 3.5 亿 m² 的既有建筑节能改造, 建设超低能耗、近零能耗建筑 0.5 亿 m² 以上。

《建筑节能与可再生能源利用通用规范》于 2022 年 4 月 1 日正式施行, 其中明确指出, 新建的居住和公共建筑的碳排放强度应分别在 2016 年执行的节能设计标准的基础上平均降低 40%。《绿色建筑评价标准》和《绿色建筑创建行动方案》等对绿色建筑进行了大力宣传, 到 2023 年年底, 获得绿色建筑标识项目累计 2.7 万余

个。根据《民用建筑节能管理规定》的要求,对能源密集型公共建筑进行市场化改造,探索以市场为导向的公共建筑改造模式。另外,能源效率标识体系以及政府财政补贴、税收减免等鼓励政策,也是推动我国绿色节能建筑发展的重要因素。上述举措为中国建筑节能减排提供一个基本的架构,对于推进我国工业的绿色转型、“双碳”目标的实现都将起到积极的作用。

2 建筑节能设计对能源消耗的影响机制

2.1 温度传导作用

温度传导是影响建筑能源消耗的一个重要因素。按照热力学第一定律,热量的传递方式始终是由高温的对象传递到低温的对象^[4]。在建筑环境中,由于室内外存在一定的温差,导致其会产生围护结构的传热现象。当室外气温较低的情况下,热量会通过墙体、屋顶和门窗等围护结构从室内传导到室外,从而产生热量损失;而在室内气温较低的情况下,热量则是由室外传递到室内,使建筑物的制冷负荷增大。传热系数的数值大小与墙体的传热系数、传热面积及温差之间具有紧密的联系。随着传热系数的增大,传热面积增大,温度差也随之变大,导热传热损耗也增大。所以,热传导所产生的能力损耗,成为建筑节能设计中必须加以重视控制和解决的问题。

2.2 气流渗透效应

气流渗透对建筑消耗也会产生极大的影响。在实际建筑中,由于墙体内部的缝隙、裂缝、孔洞等通风通道的存在或是门窗处于开放状态,使室内外的空气产生了交换,从而产生了气流的渗入导致气流渗透现象^[5]。气流渗透会导致显热和潜热的转移,室内热湿环境发生变化,导致建筑能源消耗增加。由热力学第一定律可知,显热是由高温气流流向低温气流传递。冬天,室外冷空气经缝隙进入室内时,在带走室内热能的同时也会使室内气温下降,从而加重墙体的导热损耗。夏天,室外热气进入房间,会给房间增添多余的热量,使空调等制冷系统的负载增大,进一步增加能源消耗。

气流渗透除了显热传递,还会引起大气湿度的改变以及潜热转移。高湿度的空气渗入房间后,会使房间内的湿度上升,会导致人体出现闷热不适的症状,从而通过降低制冷设备的温度来缓解这一症状,直接导致制冷设备的能量消耗增加。除此之外,当室内暖湿空气向外渗入时,除了将房间内的热能带走外,还会在墙体内壁形成结露,导致隔热效果下降,进一步增加传热损失。所以,气流渗透效应是一个不可忽视的问题,是影响建筑能源消耗的重要因素。

2.3 辐射交换影响

辐射传热作为一种主要的换能模式,对建筑能源消耗有很大的影响。按照热辐射原理,只要是在绝对零度以上的物质都会向周围环境发射电磁波。建筑环境中,太阳辐射、大气辐射等因素均会导致建筑能耗的增减。建筑物的热能主要来自太阳辐射。太阳辐射通过诸如窗等透明围护结构直接照射到建筑内部,并被建筑材料吸收并转换成热能,从而提高室内的气温。同时,在不透光的围护结构中,阳光也会被墙体所吸收,从而实现对室内空气的间接加热。太阳辐射能量的强度与辐射角度、围护结构的辐射性能密切相关。当日照强度较大时,与垂直方向的辐射角愈近,围护结构对阳光的吸收越大,其所产生的热能也越多。

除了太阳辐射,还存在长波的热辐射。在斯蒂芬—玻尔兹曼定律中,围护结构外表面与大气之间的净辐射传热量,正比于各自表面温度的4次方之差。在夜晚,当大气温度高于围护结构外表温度时,围护结构将大量的热量从围护结构中排出,导致热损失;而在白天,原理恰好相反。围护结构的辐射率、表面温度等参数对围护结构的辐射传热特性有着重要的影响。由于辐射传热强度大,作用距离长,对建筑能耗有很大的影响,因此,必须对辐射交换所导致的建筑能量消耗加以关注。

3 建筑节能设计优化策略

3.1 优化保温体系

围护结构的保温隔热性能会对建筑能源消耗程度产生直接的影响,借助优化和加强保温体系这一措施控制围护结构的传热系数,从而降低围护结构导热所产生的热量损耗。应根据不同的气候地区、不同的建筑类型,选用不同的隔热材料及施工方法。在隔热材料方面,应优先选择具有低热导率、高热容和低吸湿性的隔热材料;常用的隔热材料有岩棉、玻璃棉、聚苯乙烯等。该类材料的热导率可以达到 $0.030 \sim 0.045 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$,吸湿速率 $< 1\%$,可以显著改善其隔热性能。在严寒地区,围护结构要增厚保温层,保温层厚度不宜少于 120 mm 。但如果隔热层太厚,则会增大墙体的厚度,减少建筑的可利用面积。所以,在保证换热系数的同时,需要对隔热层的密度、热导率进行优化,从而达到降低隔热层厚度的目的。比如,将具有优良隔热性能的真空绝热层(VIP)与其他保温材料复合,可使外墙传热系数低于 $0.15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 。

屋面是建筑中最主要的传热面,其保温隔热设计也是非常重要的。在平屋面的顶部,要设置保温层,最好是高反射率的保温材料。坡屋面下方应设保温层,

瓦下应加设通风隔热层。门窗作为建筑围护结构通常是热损失最薄弱的部位,需加强门窗的保温设计,并采用低辐射薄膜,实现 $1.5 \sim 2.0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 的隔热效果。

3.2 提升气密性

建筑气密性对于保持室内热环境的稳定性和控制能源消耗有着重要的作用,是衡量围护结构抵御空气渗透能力的重要指标。提高建筑的气密性,可以有效地降低因空气流动而造成的能源消耗及室内环境的起伏。根据《公共建筑节能设计标准》(GB 50189-2015)的规定,建筑围护结构的气密性等级不得少于 4 级,也就是在 50 Pa 压力差下,透气度不得超过 $2.0 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。在此基础上,提出了控制墙体裂缝、提高围护结构性能的对策。对于墙体、楼板、屋顶等围护结构,在设计与施工时,要严格控制接缝、穿墙套管的数目与大小,以减小可能存在的漏风通道。隔热层与基层紧密贴合并对接缝进行填塞,可以有效提升墙体整体的气密性。在预制构件中,应优先选用凸凹式接缝,借助迷宫效应使漏风路径得以延长,在门窗洞口周边,要增加内外两层的密封胶条,以降低洞口的渗漏。

门窗在建筑物的气密性控制中起着至关重要的作用。具有良好气密性的门窗其特点如下:窗框选择热桥较少的型材,框扇连接部位采用可持续压缩的密封胶;玻璃和窗框的嵌缝密实,缝隙处应设置泡沫密封胶;开启扇与窗框之间的配合间隙不得大于 2 mm,且要有双重密封。值得注意的是,由于外门会反复开关,所以其气密性能很难和窗相提并论。所以,建议在外门外侧设置一个起缓冲功能的门斗或门厅,采用两扇门来保持气密性。因此,提高气密性是建筑节能的一种行之有效的方法,设计者应给予足够的重视。

3.3 调控辐射设计

辐射传热会对建筑能源消耗产生极大的影响,对其进行适当的调控可以有效地减少建筑能源消耗。对于太阳辐射与地表长波辐射,需要有针对性地进行设计。而在日照方面,则要根据建筑物所在的气候区及朝向,灵活地调节吸收的太阳辐射。在寒冷地区,建筑的南向外墙及窗户应使用具有较高吸收能力的涂料,以达到吸收阳光的目的,降低供暖能耗。在高温地区,采用高反射率的浅色涂料,可以有效地减少墙体的吸热,减轻制冷负荷。对窗墙比例、窗户布局等进行合理的设计,可有效降低太阳辐射的影响。为减少夏季早晚日照对建筑的不利影响,建筑南向应采用大窗墙比,东西向应采用小窗墙比。夏季高温冬季寒冷地区,建筑南侧的门窗要采用水平遮阳措施,以减少夏季的

高角光辐射;建议在东西方向设置竖向遮阳板,以避免夏季高角度的日光照射。在此基础上,通过在窗户上加装低辐射玻璃或者采用在玻璃上贴低辐射薄膜等方法,将绝大部分红外辐射阻挡在外,可有效降低太阳辐射的热系数。

此外还应注意围护结构表面的长波辐射换热问题。在冬季,人体、灯具和电器等高温物体向室内围护结构的表面辐射热量,使围护结构受热,并经传导散失至室外。为了防止这种现象的发生,建议在墙体或屋顶内表面粘贴铝箔等具有较小辐射率的材料,以降低其对热辐射的吸收。在夏季,屋面和外墙表面受到阳光的辐射,导致气温上升,使建筑内部的散热变得更加困难。在屋顶上铺设绿化屋顶或者建设一个屋面水池,利用植物的蒸腾和水分蒸发来吸收地表的热能,从而达到降温的目的。采用相变材料对屋面进行蓄热,以延缓屋面温度脉动的传播。因此,防辐射设计要综合考虑围护结构的内外表面,综合利用反射、隔热、蓄热等手段,对辐射传热进行优化,从而实现节能减排,改善室内热环境的目的。

4 结束语

建筑节能设计是减少建筑能源消耗,促进建筑绿色发展的有效方法。新的节能材料、新工艺、新技术的出现,为建筑节能设计带来了新的机遇和挑战。在今后的建筑节能设计中应重视其与智能化手段的结合,充分的利用可再生资源,在保证建筑的使用功能和室内环境质量的基础上兼顾节能和环境保护。与此同时,相应的标准和规范也应得到进一步的改进,加大对建筑节能设计的执行监督力度,促进我国建筑行业朝着低碳、节能、环保的方向发展。只有在社会各界的共同努力下,才能有效地减少我国建筑能源消耗,实现资源节约型和环境友好型社会的美好愿景。

参考文献:

- [1] 刘慧娟,宋长衡.基于 BIM 技术的绿色建筑节能设计优化研究[J].山西建筑,2025,51(02):20-23.
- [2] 肖健.绿色建筑理念下建筑节能设计研究[J].城市建设理论研究(电子版),2024,12(14):49-51.
- [3] 裴芳歌.“双碳”目标下建筑节能设计的问题及对策分析[J].佛山陶瓷,2024,34(05):68-85.
- [4] 夏建红.“双碳”目标下建筑节能设计探究[J].河北北方学院学报(自然科学版),2024,40(01):33-37.
- [5] 刘芳.高层建筑节能设计问题及优化策略研究[J].科技资讯,2024,22(01):118-121.

高速铁路信号系统运维分层架构模型的设计

卻书旺

(北京全路通信信号研究设计院集团有限公司, 北京 100013)

摘要 随着列车运行速度的提升与密度的增大, 对高速铁路信号系统的可靠性和稳定性提出了严峻的挑战。本文设计了高速铁路信号系统运维分层架构模型, 介绍了系统组成、分类、特点, 阐述了运维架构设计原则与关键组件, 详细规划了决策分散层、数据接入层等五层架构, 各层分工明确、协同工作。研究结果表明, 该模型提升了运维效率, 故障检测率有所提高, 误报率降低, 系统可用性增强, 可为高铁信号系统运维提供有效方案。

关键词 高速铁路; 信号系统; 分层架构; 故障预警

中图分类号: TP311.52; U284.92

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.15.024

0 引言

信号系统是列车安全有序运行的核心保障, 在高速铁路运行体系中发挥着重要作用。一旦信号系统出现异常, 列车运行秩序将被打乱^[1]。传统的运维方式主要依赖人工经验判断, 缺乏精准的量化评估手段, 难以实现对信号系统运行状态的全面、实时监测、预警。在数字化、智能化时代背景下, 开展高速铁路信号系统运维分层架构模型设计势在必行, 其对于提升我国高铁运维的智能化水平, 推动铁路行业技术进步具有重要意义。

1 高速铁路信号系统概述

构建高速铁路信号系统模型, 需了解其组成与分类, 这是保障模型精准、可靠与实用的前提。从应用场景看, 系统构成丰富。车站信号控制系统, 严密管控车站内信号, 确保列车进出与站内作业安全顺畅; 编组站调车控制系统, 针对编组站复杂调车作业, 精准操控车辆移动与调配; 区间信号控制系统, 负责监控区间线路上列车运行, 保障区间行车安全; 行车指挥控制系统, 从全局统筹列车运行, 科学规划运行方案; 列车运行控制系统则直接把控列车速度、制动等关键参数, 是列车安全运行的核心保障^[2]。从技术视角, 系统涵盖昼间、夜间、固定、移动等多种信号类型。不同信号类型协同运作, 全面监控高铁运行状况, 并依监测结果迅速调整, 有效防范安全风险, 保障高铁安全运行。

2 高速铁路信号系统运维架构的关键组件

2.1 运维系统架构的设计原则

高速铁路信号系统运维架构的设计需遵循一系列关键原则, 以确保其高效、可靠运行。

1. 安全性原则。信号系统直接关系到列车运行安全, 要具备完善的故障—安全机制, 当系统部分组件出现故障时, 能够自动导向安全状态, 避免引发列车运行事故。强化安全防护措施, 防止外部恶意攻击和非法侵入, 保障信号系统数据的安全^[3]。

2. 可靠性原则。通过采用先进的监测技术和智能诊断算法, 实时准确地监测系统运行状态, 及时发现潜在故障隐患, 并能够快速定位和修复故障, 减少系统故障停机时间。建立数据备份和恢复机制, 确保在意外情况下数据不丢失, 系统能够快速恢复正常运行。

3. 可扩展性原则。运维架构应具有良好的可扩展性, 能够集成新的设备和功能模块, 适应系统的升级需求。可通过预留接口和扩展空间, 便于未来接入新的监测设备或智能运维技术。

2.2 运维系统架构的关键组件

在高速铁路信号系统运维架构中, 关键组件起着至关重要的作用, 它们相互协作, 保障系统的稳定运行。关键组件如表1所示。

3 高速铁路信号系统运维分层架构模型的规划设计

高速铁路信号系统运维分层架构模型规划设计至关重要。将系统分为列车关联、地面监控、调度控制等层面, 各层面包含不同关键设备与子系统, 通过无线及数据通信网络交互。此架构利于实现对信号系统的全面监测、精准控制与高效运维, 保障高铁运行安全与稳定。整体架构如下。

3.1 决策分散层

在高速铁路信号系统运维分层架构模型里, 决策分散层打破了传统集中式决策的局限。其赋予列车关

表 1 运维系统架构的关键组件

组件名称	功能描述	适用工具	优势特点
配置管理组件	承担运维系统内服务器、网络设备 及数据库等配置信息的管理维护	Puppet、Ansible 等	借助自动化手段，实现配置管理的高 效与精准，减少人为错误
自动化部署组件	负责自动化地完成应用程序和 服务的部署与更新任务	Docker、Kubernetes 等	能够快速部署应用程序，并且 可根据需求轻松扩展，适应 系统动态变化
监控和告警组件	实时监测运维系统各组件的 运行状态及性能指标，一旦 出现异常及时发出告警	Zabbix、Prometheus 等	全方位监控系统，让运维人员第一 时间察觉潜在问题，降低故障影响
日志管理组件	对运维系统和应用程序产生的日志 进行收集、存储和深入分析	ELK 等	帮助运维人员迅速定位问题源头， 提升故障排查和解决的效率

联信号系统、地面监控关联信号系统等各子系统一定自主决策权，使其能依据局部实时信息快速响应，提升系统应对复杂情况的能力与可靠性。如车载列控关联信号系统中的车载控制器，可结合定位测速模块、车地无线通信单元传来的数据，在安全范围内自行调整列车速度与运行策略，减少对调度中心指令的过度依赖，有效降低决策时延，更好地应对线路突发状况^[4]。

动态评估函数是衡量决策分散层各子系统决策效果的关键工具。设 S 为决策合理性评分， S_a 为安全指标得分， S_e 为效率指标得分， S_o 为设备运行状态指标得分， ω_1 、 ω_2 、 ω_3 分别为对应权重，且 $\omega_1+\omega_2+\omega_3=1$ ，那么动态评估函数可表示为：

$$S=\omega_1S_a+\omega_2S_e+\omega_3S_o$$

安全指标得分 S_a 由列车与前车的实际距离和安全制动距离的比值等因素决定；效率指标得分 S_e 参考列车实际运行速度与计划速度的偏差、准点率等计算；设备运行状态指标得分 S_o 依据设备故障率、温度等参数得出。通过实时采集相关数据代入函数计算评分，当 S 低于设定阈值时，系统发出预警，提示子系统调整决策，优化运行，从而保障高速铁路信号系统安全高效运行。

3.2 数据接入层

数据接入层是整个系统获取信息的基础环节，承担着采集、汇聚和初步处理多源异构数据的重要任务。从数据来源看，该层需要接入列车关联信号系统产生的数据，如车载控制器、定位测速模块、列控设备监控系统等反馈的列车实时位置、运行速度、设备状态等信息。这些数据对于掌握列车运行状态，确保行车安全至关重要^[5]。地面监控关联信号系统的数据有微机监测系统分机采集的轨旁设备运行参数、信号强度

等，以及调度控制关联信号系统中调度中心、车站计算机联锁等产生的调度指令、设备控制状态数据，可通过数据接入层进行整合。在技术实现上，数据接入层采用多种通信接口和协议。对于列车与地面之间的数据传输，运用车地无线通信技术，保障列车运行过程中数据的实时、稳定传输。

3.3 融合层

在高速铁路信号系统运维分层架构中，融合层起着承上启下的关键作用，它对数据接入层汇聚的数据进行深度融合与处理，为决策分散层提供高质量的决策依据。融合层运用特征级融合技术，将来自不同数据源的特征信息进行综合分析^[6]。通过对列车运行状态特征（如速度、加速度、位置变化趋势）与地面设备运行特征（设备电流、电压波动情况）的融合，能够更全面地反映系统运行状况。在数据融合过程中，机器学习算法也发挥着重要作用。通过训练分类模型，如支持向量机（SVM），对多源数据进行分类和识别，挖掘数据之间潜在的关联关系^[7]。融合层利用分布式计算技术，将海量数据的处理任务分配到多个计算节点上，提高数据处理效率，确保在复杂的高速铁路运行环境下，能够快速、准确地完成数据融合与分析，为整个信号系统的稳定运行和高效运维提供有力支持。

3.4 故障预测层

在高速铁路信号系统中，故障预测层利用多种技术手段提前预判设备故障。基于机器学习的故障预测模型被广泛应用。以支持向量机（SVM）为例，构建模型时，设输入向量为 x_i ，表示设备运行的各项特征参数，如电流、电压、温度等，输出向量为 y_i ，代表设备正常或故障状态。通过训练样本 (x_i, y_i) ，寻找最优分类超平面 $w^Tx+b=0$ ，使得两类样本能够被最大间隔分开。在

基于 BIM 技术的建筑工程全生命周期成本控制研究

陈 昂

(天津建华工程咨询管理有限公司, 天津 300074)

摘 要 建筑工程全生命周期的成本控制面临数据分散、成本失控及管理不精确等问题, 导致资源浪费和预算超支。本文基于 BIM 技术的全生命周期成本管控方法, 通过信息协同与数据集成, 实现规划设计、施工、运营维护等阶段的精细化成本控制。利用参数化模型优化设计方案, 采用施工模拟动态调度资源配置, 借助传感器及数据平台实现运行参数监测和反馈, 确保成本核算的准确性与透明度。研究表明, 该方法在提升设计优化效率、减少施工浪费及提高运营维护管理水平方面具有显著成效。

关键词 BIM 技术; 全生命周期成本; 参数化模型; 动态监测; 数据集成

中图分类号: TU723.3; TU17

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.15.025

0 引言

BIM 技术作为一种数字化建模工具, 具备可视化、数据集成和实时监测的优势, 可通过对构件参数、材料用量及施工工艺的动态模拟, 精准测算成本并优化设计方案。本文以 BIM 技术为核心, 探讨其在建筑工程全生命周期成本管控中的应用策略, 提出基于 BIM 平台的成本核算、绩效评估及动态跟踪方法, 旨在为工程项目成本控制提供科学依据, 提升资源利用率, 确保工程项目的经济效益和质量安全。

1 全生命周期成本管控概述

1.1 全生命周期成本的内涵与特点

LCC 管理的核心在于充分识别并量化项目全过程中的各类成本要素, 包括初始投资成本、日常运行维护成本、能耗费用、更新改造费用、拆除回收成本等。该方法强调对工程项目全生命周期的全过程管理, 通过对各阶段成本的详细预测与控制, 及时识别可能引发成本增加的潜在因素, 并制定有效的防范措施。全生命周期成本管控要求建立完善的数据管理体系, 以保证成本信息的完整性、准确性和实时性, 从而实现对成本的精细化控制。该方法的优势在于帮助管理者在项目决策过程中更科学地分析各项技术方案的经济性, 优化资源配置, 避免仅关注初始建设成本而忽视后期运营维护开支的问题。

1.2 BIM 技术在成本管控中的地位与优势

BIM 技术以三维数字模型为载体, 集成了建筑工程在策划、设计、施工、运维等阶段的各类信息, 为项

目管理者提供了可视化、数字化的管理平台^[1]。通过 BIM 模型可实现工程量的自动统计和成本预算的快速测算, 避免了传统人工测算中可能出现的数据遗漏与误差问题。BIM 技术还能够在设计阶段对各项技术方案进行成本分析, 通过参数化建模调整构件尺寸、材质及结构形式, 快速预测各方案的造价差异, 帮助设计团队优化设计方案, 降低不必要的成本支出。施工阶段, BIM 技术可对施工过程进行动态模拟, 对各项成本消耗进行实时追踪, 避免因工序衔接不当、材料浪费等因素导致成本超支。BIM 技术的协同平台功能为多专业协作提供了便捷渠道, 大幅减少了设计变更与返工情况, 从而有效控制了额外成本支出。在材料管理方面, BIM 技术可精确计算各类材料用量, 结合采购计划与施工进度, 实现材料的精准采购与合理配置, 减少库存积压与资金占用。BIM 技术与工程造价软件的集成应用, 使得成本数据能够实时更新并与模型关联, 当模型发生变更时, 相关成本数据会自动调整, 保证了造价信息的准确性与时效性。在运维阶段, BIM 技术可通过设备管理与能耗分析, 识别建筑运行中的成本优化空间, 制定合理的维护计划, 降低全生命周期成本。

2 影响成本的关键环节分析

2.1 规划设计阶段的成本优化要点

BIM 模型可在设计初期对建筑结构、管线布置、设备安装等内容进行三维建模, 并以模型数据为基础, 完成对各项成本的精确估算。在设计过程中, 通过调整模型参数实现对不同技术方案的快速对比分析, 结

合各构件的尺寸、材料用量、节点形式及连接方式等因素,分析其对成本的具体影响。设计团队可利用BIM软件的碰撞检测功能,对管线排布、结构构件交接点等复杂部位进行优化,提前发现设计冲突,避免因施工中返工造成材料浪费和工期延误。采用BIM技术建立材料信息库,对钢筋、混凝土、模板、管道、电缆等主要材料的规格、型号及市场价格进行动态更新,确保设计阶段的工程量统计更加准确。在深化设计中,可通过BIM模型对复杂部位进行多轮推演,优化结构布置及空间利用率,减少非标构件的使用,以降低施工难度和成本。

2.2 施工阶段的成本影响因素与应对

BIM模型可对施工现场空间布局进行三维模拟,合理规划材料堆放区、机械作业区及人行通道,确保施工场地的空间利用率,避免因场地布置不合理导致材料二次搬运、堆放混乱等问题^[2]。利用BIM技术可将施工进度计划与三维模型关联,实现对施工过程的动态监控。通过构件分解、工序模拟等手段,明确各工序的施工顺序及时间节点,优化工序安排,减少因工序交叉、工期延误引发的成本浪费。BIM模型还可在混凝土浇筑、钢筋绑扎、模板安装等关键工序中嵌入精确的施工参数,并对施工工艺进行可视化模拟,确保各工序按既定工艺流程进行。

3 BIM技术在不同阶段的具体应用

3.1 设计深化与方案比选

BIM软件可将建筑模型按构件类型、规格尺寸、材质参数等信息进行分类,并结合项目要求对各构件的空间布局及安装位置进行多轮推演。在深化设计中,利用BIM软件的碰撞检测功能,可精准识别结构、设备及管线之间的交叉冲突点,减少施工中因设计不合理引发的返工问题。对于复杂节点或特殊部位,可借助BIM模型建立详图模型,并将关键参数如梁高、柱距、墙厚、管径等数值以数据表的形式输出,实现对构件的精细化设计和成本的精准测算。在设备及管线布置时,利用BIM模型可按设备型号、管径规格及布置间距等参数,进行动态排布与调整,确保空间利用率最优,减少非标管件及设备弯头数量。

3.2 施工模拟与进度调度

BIM模型可将建筑物分解为具体的施工构件,每个构件赋予唯一编码,并与施工进度计划相关联,确保每个构件的施工时间、安装顺序和完成状态可视化。利用BIM模型进行施工模拟时,可按具体工序对施工流程进行分解,将混凝土浇筑、钢筋绑扎、模板安装、

设备吊装等工序纳入模型,以实现全过程动态控制。施工模拟过程中,模型可同步显示各施工区域的人员、设备及材料状态,及时识别施工现场的拥堵点及潜在风险,提前优化资源配置。BIM技术还可集成气象数据、交通流量、周边环境等信息,为工程项目制定更为科学的施工组织计划。在进度调度过程中,可利用BIM平台对施工任务进行拆解,按照构件编号、安装位置及完成状态进行动态标注,实现施工计划的精细化管理。

3.3 运营维护过程中的数据反馈

在暖通空调系统(HVAC)运行监测中,传感器可实时采集出风口温度、回风温度、送风量、管道静压等参数,并将数据同步至BIM平台^[3]。室内温度控制范围设定为22~26℃,送风口温度偏差不得超过2℃。BIM平台根据温度偏差判断暖通系统异常,并结合模型分析管道布局、风口位置及阀门开闭情况,定位故障区域。当管道阻力增加或回风量异常时,系统提示维护人员检查并在模型中标注故障点位。电气系统方面,电压、电流、功率因数等参数通过智能电表实时监测,电压波动超出10V时,平台启动报警并标注故障回路。数据反馈系统还记录建筑设施能耗情况,以折线图、柱状图等形式动态呈现,辅助分析设备运行趋势。给排水系统方面,BIM平台接收水压传感器数据,确保供水压力维持在0.3~0.6MPa范围内,实现建筑设施运行状态的精准监测与数据反馈。

3.4 信息集成与实时监控

BIM平台可将工程地理信息、结构模型、设备参数及施工进度数据整合至统一界面,形成可视化管理平台。以建筑施工阶段为例,BIM平台可通过全站仪、激光扫描仪等设备,将施工现场的实际测量数据与模型数据进行比对,实时监测构件安装精度、轴线偏移及高程控制。若发现某楼层标高偏差超过5mm,平台可立即将异常数据反馈至施工管理人员,并在BIM模型中以颜色标注偏差部位,确保施工偏差得到及时纠正。在混凝土养护监测中,BIM平台可通过嵌入混凝土内部的温度传感器,实时记录混凝土内部温度变化。若混凝土内部温度偏差超过10℃,系统将发出警报并显示混凝土浇筑区域,以提醒现场人员及时采取保温或降温措施。

4 成本控制策略与管理机制

4.1 信息协同与数据管理

在建筑工程的全生命周期成本管控中,信息协同与数据管理可有效提升成本控制精度。BIM技术整合各

类工程信息,建立数据管理平台,实现专业间的数据共享。BIM模型可将钢筋规格、长度、搭接位置等参数纳入数据库,并通过编码系统关联每根钢筋的编号、安装部位及绑扎时间。激光测量设备采集的钢筋位置、数量及误差数据可自动对比模型数据,偏差超过5 mm时系统自动报警。钢筋加工厂数控设备可依据BIM数据导入下料指令,确保切割精度并减少材料浪费。管线安装中,BIM模型依据管径、坡度、弯头等参数进行校核,优化管道路径并规避返工。信息协同平台还可实时更新工程量清单、采购计划和库存信息,确保物料供应精准高效,避免积压和短缺问题。

4.2 质量提升与风险防范

以混凝土浇筑为例, BIM 平台可在模型中标注每个混凝土浇筑区域的方量、标号、浇筑时间及施工人员信息^[4]。传感器可对混凝土内部温度、湿度及凝固时间进行实时监测, 并与模型数据进行关联。若混凝土内部温度偏差超过 8℃, 系统将自动报警并定位异常区域, 提示施工人员采取保温或降温措施, 防止混凝土出现温度裂缝。

在钢结构工程中, BIM 模型可对钢构件的焊缝位置、焊接工艺及焊接电流参数进行记录。利用超声波检测设备, 可在模型中对焊缝内部缺陷位置进行标注, 发现焊缝气孔、裂纹等问题后, 系统可自动生成缺陷报告, 并根据缺陷等级提示返工要求。在幕墙安装中, BIM 平台可将每块玻璃幕墙的编号、规格及安装角度嵌入模型, 通过全站仪对幕墙定位精度进行测量, 发现偏差时, 系统将自动调整幕墙基座位置, 确保安装精度控制在 2 mm 范围内。

4.3 成本核算与绩效评估

BIM 模型可根据构件参数、尺寸、材料属性等信息,自动生成工程量清单,并按施工进度将每项工程量与实际成本数据关联,实现成本的实时核算。以钢筋工程为例,BIM 平台可根据钢筋直径、长度、搭接形式及混凝土保护层厚度计算钢筋用量,并结合市场价格生成成本清单^[5]。计算公式可表示为:

$$C = \sum_{i=1}^n (L_i \times D_i \times \rho \times P_i)$$

其中, C 为钢筋总成本, L_i 为第 i 根钢筋的长度, D_i 为钢筋直径, ρ 为钢筋密度, P_i 为钢筋单位价格。该方法确保了成本测算的精度, 避免人工统计中的遗漏或重复。对于模板工程, BIM 模型可根据墙体高度、板厚、结构构件形状等参数, 计算模板铺设面积, 并结合模板周转次数, 计算出实际使用量及损耗率。

4.4 动态跟踪与持续改进

在关键施工部位布置传感器,可实时采集环境温度、湿度、风速、位移偏差等数据,并将数据传输至BIM平台。以混凝土养护为例,传感器可监测混凝土内部温度波动,并将数据同步至BIM模型。若温度偏差超过 $8\text{ }^{\circ}\text{C}$,BIM平台将启动报警机制,并在模型中标注异常部位。系统可提示养护人员采取喷水、覆盖保温毯等措施,以控制混凝土内部温度稳定^[6]。钢结构安装过程中,BIM平台可利用激光扫描设备监测构件轴线偏差、垂直度误差及螺栓紧固度等参数。若发现轴线偏差超出 5 mm ,系统将在模型中标注误差区域,并提示施工人员对构件定位点重新调整。BIM平台可在设备调试过程中,对电压、电流、功率因数等参数进行动态监测,当电流波动超过 20 A 时,系统将自动记录电气线路状态,并提示维护人员检查接线端口、电缆绝缘及设备接地情况。

5 结束语

通过参数化模型在设计阶段优化方案，减少非标构件的使用；在施工过程中结合施工模拟，优化施工流程并精准核算各项成本；在运营维护中，利用传感器和BIM平台监测设备参数及环境数据，确保设施运行的稳定性及维护的及时性。BIM技术在成本核算、绩效评估及动态跟踪方面的应用，有效提升了成本控制的精度和项目管理的科学性，为建筑工程的高效管理和可持续发展提供了重要保障。

参考文献:

- [1] 蔡明成,朱成峰,王佟飞,等.基于BIM技术的综合管廊全生命周期管理研究[J].中国高新科技,2024(20):147-148,157.
- [2] 王锡茂.BIM技术在建筑工程项目全生命周期管理中的应用研究[J].砖瓦,2024(10):115-117.
- [3] 张妍雪.BIM技术在建筑工程全生命周期的应用价值研究[J].中国招标,2024(10):135-137.
- [4] 李延国.基于BIM的建筑工程全生命周期信息管理研究[J].中国招标,2024(09):97-99.
- [5] 张烈霞.基于多维建筑信息模型(BIM)的项目全生命周期数据管理及其工程应用研究[J].科技管理研究,2023,43(21):208-217.
- [6] 宋战平,肖珂辉,成涛,等.基于BIM技术的隧道全生命周期管理及应用研究[J].西安建筑科技大学学报(自然科学版),2020,52(01):47-53.

大数据及数字化实验室技术在石油石化专业检验中的应用探究

李清岭

(中石化(天津)石油化工有限公司, 天津 300270)

摘要 石油石化产业是数据量大、复杂度高的行业，传统的数据处理和实验室技术难以满足需求。本文对大数据和数字化实验室技术在石油石化专业检验中的应用进行了深入的研究，指出使用大数据技术可有效提升石油石化产业的数据处理能力，提高决策效率；而数字化实验室技术能提升实验效率，减少人工操作麻烦，降低错误率。研究表明，这两项技术的应用显著改善了石油石化产业的数据处理和实验能力，对提高石油石化产业整体效率具有积极的推动作用。

关键词 大数据; 数字化实验室技术; 石油石化专业检验; 数据处理能力; 实验效率

中图分类号: TP311.13

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.15.026

0 引言

随着科技的逐步发展，数据量呈现出爆炸式增长，尤其在石油石化产业中更为突出。这个产业是一个数据量大、复杂度高的行业，而传统的数据处理和实验室技术已经难以应对这个挑战。为了解决这个问题，我们开始寻找新方法，继而引入了大数据和数字化实验室技术。大数据技术因其在数据收集、存储、处理、分析等方面的高效性，已在许多领域得到广泛应用，而数字化实验室则以其能够提高实验效率，减少人工操作麻烦，从而降低错误率的特点，同样受到业界的高度重视。这类技术在石油石化产业中的运用，以及对于此类型产业数据处理和实验能力提升的重要性，是本研究的主题。本文将在接下来的内容中详细探讨这两种技术在石油石化专业检验中的应用，以及它们对于该行业整体效率提升的积极作用。

1 大数据在石油石化专业检验中的使用价值

1.1 大数据技术的基本概念及价值

大数据技术是利用先进的数据采集、存储、分析和处理方法,对海量数据进行有价值信息的挖掘和利用的綜合技术体系^[1]。其核心在于高效处理和分析复杂的大规模数据集,从而揭示隐藏在数据中的规律和趋势,实现更智能的决策支持。在石油石化专业检验领域,大数据技术能够通过整合分散的数据资源,提供更全面的数据视角。依托其实时处理和预测能力,能够针对生产过程、设备运行、质量控制等环节进行

动态监测和风险评估,以保障工艺的稳定性 and 数据的可靠性^[2]。石油石化行业的数据具有多样性和复杂性,大数据技术能够通过模式识别、深度学习等算法优化数据分析过程,提高数据的利用效率与精准度,解决传统数据处理方法中计算能力不足和效率低下的问题,为行业发展的智能化和数字化提供了有效支持。

1.2 石油石化行业的数据需求分析

石油石化行业作为能源领域的重要组成部分，其生产、加工和检验过程中涉及海量数据的处理和分析。该行业数据种类繁多，包括原油性质数据、加工工艺参数、设备运行状态数据以及产品质量监控数据等。这些数据具有规模庞大、来源复杂、实时性强等特点，对信息处理能力提出了较高要求。传统的数据处理方式在面对数据量激增和复杂性提升时，难以满足实际需求。这不仅容易导致数据分析效率低下，还可能引发决策的不准确性和资源浪费。石油石化行业对数据精准性和处理速度具有严格要求，大量动态变化的工艺参数和实时监测数据急需更高效的技术手段支持，以确保生产安全和质量稳定。对数据处理需求的深入分析表明，大数据技术的应用可有效解决现有难题，为石油石化检测提供强有力的技术支持。

1.3 大数据技术对石油石化行业的帮助

大数据技术在石油石化行业的应用显著提升了数据处理的效率与精度。通过快速分析海量生产和检验数据，大数据技术能够优化工艺流程，实时监测设备

运行状态, 更早发现潜在风险。其强大的数据挖掘能力助力揭示复杂数据间的关联关系, 为科学决策和高效管理提供了有力支持, 为行业的智能化转型奠定了重要基础。

2 数字化实验室技术在石油石化专业检验中的使用展望

2.1 数字化实验室技术的基本概念及意义

数字化实验室技术是一种基于信息技术和自动化手段, 将实验室设备、数据管理与分析、实验流程优化等多方面技术深度结合的先进实验室管理体系。其核心特征是通过传感器、物联网、大数据分析等技术手段实现实验室装备和数据的数字化连接与全程监控, 从而推动实验过程的高效性、安全性和智能化。在石油石化专业检验领域, 数字化实验室技术具有重要意义。该技术能够通过自动化设备减少实验室操作中的人为干预, 降低操作错误的发生概率, 实现实验室数据的实时采集、共享与存储, 强化数据透明度和可追溯性。通过优化实验流程、集成数据分析工具, 数字化实验室技术可以显著缩短实验周期, 提高实验效率, 为石油石化行业的质量监控和精准决策提供重要支撑^[3]。这种高效、透明、自动化的发展方向, 不仅提升了实验室运行水平, 还为石油石化产业的智能化发展奠定了技术基础。

2.2 石油石化专业检验的实验室操作状况

石油石化专业检验的实验室操作具有高复杂性、高精度以及高安全要求等特点。传统实验室操作方式通常依赖人工进行数据采集与记录, 存在操作流程冗杂、效率较低、数据易出错等问题。数据处理环节由于多依赖手动输入和分析, 容易受到人为主观性和误操作的影响。实验室操作普遍面临仪器设备利用率不高的问题, 部分复杂实验耗时较长且对操作人员的专业水平要求较高。现有实验室的信息化程度偏低, 不同系统之间的数据互通性不足, 导致实验结果的整合分析效率较低。尤其在处理大型综合实验或多维数据分析时, 传统方法难以满足高效和精确的需求。石油石化检验涉及大量危险物质, 对实验室管理和操作的安全性提出了更高挑战。这些现状反映出提升实验室智能化和自动化水平的迫切需求, 为数字化实验室技术的应用提供了显著的发展空间。

2.3 数字化实验室技术在实验室操作中的应用前景

数字化实验室技术在石油石化专业检验中的应用前景主要体现在提高实验自动化水平、增强实时数据

监控能力、优化实验流程设计以及促进实验结果的标准化与精确性, 为行业智能化发展提供支持。

3 大数据和数字化实验室技术在石油石化专业检验中的联合应用

3.1 联合应用的必要性及可能性

大数据技术和数字化实验室技术的联合应用在石油石化专业检验中具有重要的必要性和可行性^[4]。近年来, 石油石化行业面对数据复杂度逐年提升、实时性要求加剧及精确性需求增强等挑战, 传统实验室技术难以满足行业持续发展的需要。大数据技术在数据收集、分析及决策支持中的高效性, 能够有效弥补石油石化行业传统数据管理手段的不足。而数字化实验室技术以自动化和智能化为特点, 可以显著优化实验流程, 提升实验精度与稳定性。

3.2 联合使用大数据技术和数字化实验室技术的潜力和好处

大数据技术与数字化实验室技术在石油石化专业检验中的联合使用展现出显著潜力和多重好处。大数据技术能够实现对石油石化检验过程中复杂数据的高效存储、管理与分析, 为数据驱动的决策提供支持; 而数字化实验室技术则通过自动化与智能化操作, 提升实验效率, 降低人为误差。两者结合可强化实验数据的实时传输与深度分析能力, 使实验结果更加精准可靠。基于大数据的预测模型为数字化实验室的实验参数优化提供了科学依据, 数字化实验室的操作反馈又为大数据技术提供了更多高质量数据源。这种互补关系推动了实验质量的持续提升, 并为石油石化产业的检验工作在效率优化与技术创新方面提供了全新思路。联合应用还能够实现资源共享与流程整合, 从而降低运行成本, 为行业数字化转型铺平道路。

4 大数据和数字化实验室技术改善石油石化专业检验的实际效果

4.1 提高石油石化产业的数据处理能力

大数据技术的应用显著提高了石油石化产业的数据处理能力。石油石化行业面临海量数据的生成与管理, 这些数据包括地质信息、生产工艺参数、设备运行状态以及市场需求等。传统的数据处理方式难以有效应对如此复杂的多源异构数据, 而大数据技术通过高效的数据存储、清洗、挖掘和分析为行业带来了突破性变化。研究显示, 大数据技术的应用使得数据处理效率显著提升, 决策支持更加精准, 进一步优化了资源配置。这种能力极大地促进了石油石化行业的数

据驱动型转型，为行业的高效发展提供了技术保障。

4.2 提升实验效率，降低错误率的实例

数字化实验室技术显著提高了石油石化专业检验中的实验效率，减少了人力操作的复杂性，提升了实验数据的实时性和准确性。通过自动化仪器设备与数据采集系统的深度融合，实验过程中物料检测和环境参数监控更加流畅和精准，减少了因人为操作引发的误差。数据校准和分析模型的嵌入，有效简化了实验数据处理环节，避免了重复性劳动和手动计算带来的可能错误。例如：采用大数据驱动的数字化控制系统，可以实时捕捉微量组分的变化，确保实验数据的可靠性。这些先进技术的应用不仅缩短了实验时间，更优化了检验流程，对石油石化产业的实验效率提升和决策支持具有重要意义。

4.3 对石油石化产业整体效率提升的影响

通过大数据技术和数字化实验室技术的结合，石油石化产业的整体效率显著提升。大数据技术优化了数据处理流程，增强了信息分析能力和决策准确性，减少了资源浪费和操作延误^[5]。数字化实验室技术实现了高度自动化与标准化，降低了人工操作的错误率，提高了实验速度和产出质量。两项技术的联合应用进一步推动了产业链的协同发展，改善了生产过程的稳定性与可持续性，为石油石化产业的高效运作提供了可靠的技术保障。

5 未来石油石化专业检验大数据和数字化实验室技术的发展趋势

5.1 石油石化行业发展对大数据和数字化实验室技术需求的预测

随着石油石化行业的不断发展，大数据和数字化实验室技术的需求日趋显现。一方面，行业数据量呈指数级增长，数据来源日益多样化且复杂化，高效的数据管理、分析与挖掘技术成为不可或缺的支持。应用大数据技术能够实现对海量生产、检测及运营数据的实时采集与处理，辅助行业预测与决策，满足精细化管理要求。另一方面，实验室检验任务不断增多，对智能化、自动化以及快速响应能力的需求显著提升。数字化实验室技术不仅能够优化传统实验流程，还能够通过智能仪器与技术提升实验精度与效率，推动检验从以人工为主向智能化转变。随着石油石化行业进一步向绿色化与智能化方向发展，大数据与数字化实验室技术的融合应用有望在推动生产效率提升、节约成本、加强质量控制及减少环境影响等方面发挥重要

作用，成为行业技术革新与产业升级的重要方向。

5.2 大数据和数字化实验室技术的发展趋势和挑战

大数据和数字化实验室技术在石油石化专业检验中的发展趋势呈现出智能化、集成化和规范化的特征。随着人工智能算法的发展，大数据技术将更加注重深度分析与精准预测，助力解决复杂问题。数字化实验室技术将在设备自动化和全流程监控方面实现重要突破，推动实验室操作的智能化升级。技术发展中的挑战也不容忽视。数据安全和隐私保护问题日益严峻，数据泄露风险增加。不同平台间的数据标准和接口不统一，限制了系统间的互联互通，这对技术的全面推广形成了障碍。技术人员专业技能的不足也可能对新技术的应用产生限制。未来需在安全机制、标准化建设和专业人才培养方面加强布局，以应对出现的挑战。

6 结束语

本研究通过深入探讨大数据及数字化实验室技术在石油石化专业检验中的应用，发现这两项技术可以有效提升石油石化产业的数据处理和决策效率，并提高实验效率，降低人为错误率。研究结果表明，大数据和数字化实验室技术在处理石油石化产业中大量复杂的数据及提升实验室工作效率上具有显著优势和潜力。然而，虽然大数据和数字化实验室技术的应用在某些方面已经取得了显著的成效，但在具体的应用过程中仍然存在一些问题，如数据安全性问题、数据质量问题、对技术人员的高要求等，这些问题都是将来需要进一步研究和解决的重要议题。因此，未来的研究需进一步针对这些问题进行深入研究，以期完善大数据及数字化实验室技术的应用策略与方法，并扩大其在石油石化产业的应用范围。同时，更需要注重培养石油石化专业的大数据和数字化实验室技术人才，为石油石化产业的发展提供强大的技术支持。

参考文献：

- [1] 蔡永华,李镇,杜进,周红春.检验检测实验室数字化架构与实践探索[J].物联网技术,2023,13(08):119-120.
- [2] 王晖,戴富宏,李文彬,李如芬,何治海.大数据在数字化实验室中的应用[J].科技与创新,2020(23):54-55.
- [3] 王夕友.如何利用大数据技术建设智慧化的石油石化企业[J].石油石化物资采购,2021(11):136-139.
- [4] 闫敬.大数据在实验室数字化管理中的应用[J].电子技术(上海),2023,52(04):216-217.
- [5] 张雯莉.数据科学与大数据技术实验室建设探索及研究[J].现代教育论坛,2020,03(01):76-77.

隧道开挖中数码雷管与导爆索协同 赋能光面爆破技术效能研究

金 超

(中铁二十一局轨道交通工程有限公司, 山东 济南 250000)

摘 要 在隧道施工技术日益成熟的当下, 隧道超欠挖仍是现场技术人员质量控制的重难点。某公司榆林项目部承建的 12# 隧洞长达 21.288 km, 穿越复杂地貌与岩性区域。本项目经光面爆破参数设计检验, 采用数码电子雷管爆破网络技术, 积累经济效益与技术经验。本文对数码雷管与导爆索应用展开分析总结, 希望通过对本次应用实践的深入剖析, 能为行业内其他隧道工程提供切实可行的参考范例, 共同推动数码雷管与导爆索技术在隧道施工领域的广泛应用与创新发展。

关键词 光面爆破; 数码雷管; 导爆索

中图分类号: U455.6

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.15.027

0 引言

采用数码雷管可以明显体现爆破设计意图, 提升岩石破碎块度, 减弱爆破振动, 更好地降低爆破单位耗药量、消除爆破作业现场安全隐患、进行平台监控等。电子雷管在提高工程爆破的综合效益方面具有很大潜力, 它为推进我国的爆破器材发展和工程行业的爆破技术进步提供了有力的支持。随着技术持续迭代, 电子雷管有望在更多复杂爆破场景中发挥关键作用, 推动整个工程爆破领域迈向更高质量、更安全高效的发展阶段。

1 数码电子雷管

1.1 数码电子雷管概述

数码电子雷管也称电子雷管或数码雷管, 电子雷管技术是应用微电子、数码、加密等技术, 实现爆破延期时间、起爆爆破网路编程与起爆等。爆破工程和兵器行业中称为工业数码电子雷管, 也称为电子雷管或数码雷管。相对于传统雷管, 数码电子管采用了电子元器件和数字控制芯片, 实现了雷管的可编程和可控制性, 具有更高的延期时间精度、可靠性、适应性及更多的功能^[1]。

1.2 数码电子雷管起爆系统

数码电子雷管起爆系统由三部分组成, 即电子雷管、编码器(手持终端)和起爆器(控制器)。电子雷管工作码包括 UID 码(长度不小于 13 位字节, 随机

生成)、起爆密码(长度不小于 8 位字节, 随机生成)和雷管壳体共三码组成, 三码绑定。通过工作码系统加密信息上传到全国工业电子雷管密码中心进行负责储存。起爆器编码采用 11 位 ASCII 码, 由特征系列码、生产企业相关代号、生产流水号组成, 号码唯一。起爆器按规则解密下载工作码, 解析出在线电子雷管的 UID 码、起爆密码、电子雷管壳体码和相关准许爆破要求、禁爆要求。通过验证相关准许爆破要求、禁止爆破要求等程序, 且起爆密码校验成功后才能进行爆破工作流程操作。数码电子雷管在一定时间范围(目前为 0~16 000 ms)内可以设计任意设定每发雷管的延期时间, 且延时精度高, 有效避免了传统雷管的重段、错段现象, 更好的降低或消除爆破有害效应。通过对雷管延期时间的精准控制, 更能体现设计者的意图, 满足精细爆破的要求, 获得更好的爆破效果和经济效益^[2]。

2 导爆索

导爆索是传爆器材, 用以引爆炸药或者直接工作。导爆索以单质猛炸药为药芯, 外层用棉线、纸条、沥青、塑料或铅皮等材料被覆, 制成的索状器材。导爆索的爆速不小于 6 000 m/s, 能够可靠地起爆常用的工业炸药, 具有一定的抗水性能, 在高温(50℃)、低温(-40℃)环境条件仍可保持原有的起爆和传爆能力, 在受弯曲、打结和一定拉力作用后仍能正常使用。其传爆不受静电、杂散电流等的影响^[3]。

3 光面爆破

3.1 光面爆破常用的技术

1. 周边眼的不耦合装药系数一般取2~5。
2. 周边眼参数:间距一般为炮眼直径的10~20倍。
3. 周边眼炮眼密集系数一般取0.8~1.0。
4. 堵塞炮泥,封泥长度不小于0.3 m。

3.2 炮孔布置

根据隧道全断面开挖的爆破说明书要求,中间布置斜眼掏槽孔(掏心孔),掏槽孔周围布置辅助孔,隧洞周边为周边眼(帮眼)的布孔方式。

1. 掏槽孔:Ⅲ类围岩掏槽孔布置6个孔,上下各布置一排3个孔,位于隧洞中下部,采用楔形掏槽,掏槽孔排距0.6 m,孔距0.3 m,孔深3.2 m,孔长3.3 m。掏槽孔装药系数取0.7,掏槽孔装药长度为 $3.3 \times 0.7 = 2.31$ m,取2.3 m。Ⅳ类围岩掏槽孔布置6个孔,上下各布置一排3个孔,位于隧洞中下部,采用楔形掏槽,掏槽孔排距0.6 m,孔距0.3 m,孔深2.6 m,孔长2.9 m。掏槽孔装药系数取0.7,掏槽孔装药长度为 $2.9 \times 0.7 = 2.03$ m,取2 m。Ⅴ类围岩上台阶掏槽孔布置4个孔,菱形布置,位于上台阶中下部,采用楔形掏槽,掏槽孔排距0.6 m,孔距0.6 m,孔深1.6 m,孔长1.7 m。掏槽孔装药系数取0.7,掏槽孔装药长度为 $1.7 \times 0.7 = 1.19$ m,取1.2 m;下台阶掏槽孔布置4个孔,菱形布置,位于下台阶中下部,采用楔形掏槽,掏槽孔排距0.6 m,孔距0.6 m,孔深1.6 m,孔长1.7 m。掏槽孔装药系数取0.7,掏槽孔装药长度为 $1.7 \times 0.7 = 1.19$ m,取1.2 m。

2. 辅助孔:Ⅲ类围岩辅助孔共37个,采用垂直孔,孔深3.0 m。排距1.0 m,孔距0.75 m。Ⅳ类围岩辅助孔共43个,采用垂直孔,孔深2 m。排距1.0 m,孔距0.75 m。Ⅴ类围岩上台阶辅助孔共11个,下台阶辅助孔17个,采用垂直孔,孔深1 m。排距1.0 m,孔距0.75 m。

3. 周边眼孔(帮眼):为钻孔施工方便,减少和

控制超欠挖,周边眼孔距开挖轮廓线0.2 m,并向外倾斜 2° 。Ⅲ类围岩光面爆破孔共45个,孔深3.0 m。其中:顶拱孔25个,孔距0.3 m,侧墙孔10个,孔距0.5 m,底孔10个,孔距0.5 m。Ⅳ类围岩光面爆破孔共51个,孔深2.0 m。其中:顶拱孔29个,孔距0.3 m,侧墙孔10个,孔距0.5 m,底孔12个,孔距0.5 m。

采用全站仪在掌子面按设计图进行炮孔布置,炮孔均用红漆作出明显标记。

工作面采用钢管自制简易台车作为操作平台,钻孔采用YT28手风钻完成,综合考虑循环进尺Ⅲ类围岩为3.0 m,Ⅳ类围岩为2.0 m,Ⅴ类围岩为1 m。为衔接下一工作面施工方便,榜样钻孔方向向开挖边线以外倾斜 2° ;达到光爆效果,掏槽孔、辅助孔钻孔方向平行于洞轴线^[4]。

经计算和国家定额及同类工程经验确定单耗为 2.14 kg/m^3 ,周边眼采用导爆索起爆,间隔不耦合装药结构;辅助孔、掏槽孔均用数电子雷管起爆。

工作面上炮眼起爆顺序应为:掏槽眼、辅助眼、周边眼(帮眼、顶眼、底眼)的先后顺序起爆,形成自由面。

3.3 装药结构与炮孔的堵塞

1. 装药结构。为降低掘进爆破产生的冲击压力,减少粉碎区域以及减弱对隧道围岩的震动扰动,应力波作用时间加长,炸药的能量得到充分的利用释放,各炮孔均采用不耦合装药。各类炮孔均采用 $\phi 32 \text{ mm}$ 、长度为200 mm的药卷。

为改善爆破效果,所有炮孔均采用反向起爆方法引爆孔内炸药,即起爆药卷置于炮孔底部。

(1) 掏槽孔:掏槽孔炮孔长度为3.3 m,装药长度为3.0 m,连续装药15.0节药卷,装药结构见图1。(2) 辅助孔:Ⅲ类围岩装药长度为 $3.0 - 0.5 = 2.5$ m,连续装12.5节药卷。装药结构图见图2。(3) 光爆孔:线装药密度取 0.20 kg/m ,间隔装药。装药结构见图3。

2. 炮孔堵塞。装药前必须清楚跑孔内的岩粉,用

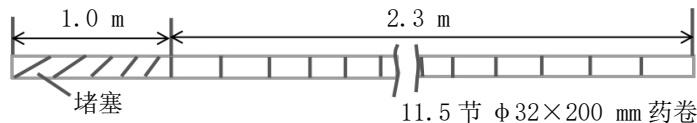


图1 掏槽孔装药结构示意图

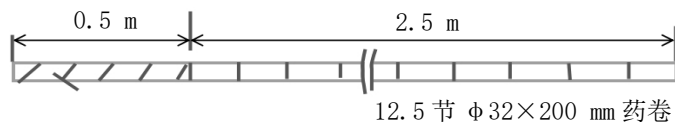


图2 辅助孔装药结构示意图

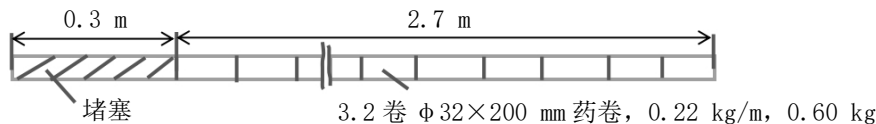


图 3 光爆孔装药结构示意图

木质或竹质炮棍推入进行填塞。炮孔填塞采用配合比为 3:1 的细沙与粘土的混合物或粘性较好的粘土等材料堵塞。周边眼堵塞长度不宜小于 30 cm, 其它炮眼深度 3.0 ~ 3.5 m 堵塞长度不宜小于 0.6 m, 深度超过 3.5 m 堵塞长度不宜小于 1 m。

3.4 起爆网路设计

起爆网路的连接方式为: 按照起爆顺序: 掏槽孔 → 辅助孔 1 → 辅助孔 2 → 辅助孔 3 → 光爆孔 (边墙孔和顶拱孔) → 底孔依次起爆, 共使用 6 个段别的延时导爆管雷管, 分别为 MS1、MS3、MS5、MS7、MS9、MS11。其中导爆管雷管数量分别为: MS1 6 发、MS3 11 发、MS5 12 发、MS7 5 发、MS9 30 发、MS11 8 发。另外每个光爆孔需用 3.5 m 的导爆索, 38 个光爆孔共需用导爆索 133 m。最后使用导爆管激发针起爆 (见表 1) [5]。

表 1 围岩爆破参数表

爆破种类	编号	孔数	孔深 /m	孔距 /m× 排距 /m	角度 /°	装药量 kg	导爆索 m	雷管段别	爆破种类	编号
掏槽孔	1-6	6	3.2	0.3×0.6	71 ~ 76	13.8	—	MS1	掏槽孔	1-6
辅助孔	7-34	28	3.0	0.75×1.0	90	67.5	—	MS (3-5-7)	辅助孔	7-34
光爆孔	35-72	38	3.0	0.5	92	22.8	133.0	MS (9-11)	光爆孔	35-72
顶拱孔	39-60	22	3.0	0.3	92	13.2	—	MS9	顶拱孔	39-60
侧墙孔	61-6435-38	8	3.0	0.5	92	4.8	—	MS9	侧墙孔	61-6435-38
底孔	65-72	8	3.0	0.5	92	4.8	—	MS11	底孔	65-72

4 影响光爆破效果的因素

4.1 地质条件的影响

在中、硬岩石或整体性较好的围岩宜采用中深孔爆破, 反之则采用浅孔爆破。在地质构造复杂、裂隙发育的部位, 可适当减少炮眼间距, 减少装药密度等。

4.2 炮眼精度的影响

为保证良好的光面爆破效果, 正确选择爆破参数, 钻孔精准控制是关键, 对钻孔要求“平、直、齐、准”。

“平”要求周边眼相互平行; “直”各炮眼均垂直于工作面; “齐”炮眼底部落在同一平面上 (掏槽眼除外); “准”开孔位置准确, 实际偏斜角度不超过 5°。

4.3 炸药的品种和装药量

光爆所用炸药与主体爆破所用的炸药相比, 爆速要低一些, 密度要大一些, 这样才有利于实现光爆。

若采用间隔装药, 岩石爆破一般为 0.15 ~ 0.3 kg/m, 应综合考虑各种因素。

4.4 装药结构与堵塞质量的影响

在有条件的情况下, 应优先选择“三小技术”, 即: 小直径钎杆、小直径炸药药卷和小直径钻头, 尽可能采用水泡泥技术。

5 结束语

数码雷管具有传统导爆管无法比拟的优点, 做到了本质上的安全。电子雷管可以设计任意时间间隔起爆, 而且精度准确, 改变了以往雷管每段强制 25 ms 时间间隔, 还存在一定串段的现象, 存在安全隐患, 使逐孔起爆真正做到了一孔一响, 减振成为可能。数码雷管与导爆索结合使用使得爆破效率大大提高, 炮痕残留率达到 80% 以上, 光爆效果良好, 有效控制了

隧道轮廓断面, 降低了施工成本, 提高了经济效益, 在目前精细化管理举措的实施过程中得到了很好的现场时效, 值得推广。

参考文献:

- [1] 罗燕. 数码电子雷管爆破开挖造价研究 [J]. 价值工程, 2023,42(22):16-18.
- [2] 刘建成. 高速铁路隧道爆破施工环境影响控制技术 [J]. 工程与建设, 2022,36(02):469-471,481.
- [3] 李正伟, 张智强, 郭强, 等. 中小断面长斜井隧道光面爆破设计施工技术 [J]. 云南水力发电, 2021,37(06):126-129.
- [4] 李博, 郑志涛, 孙冰华, 等. 隧道光面爆破不耦合系数优化研究 [J]. 矿业研究与开发, 2021,41(14):138-143.
- [5] 李辉. 公路隧道光面爆破施工技术 [J]. 交通世界, 2021(Z1):124-125.

建筑电气安全管理与故障排查技术研究

李德洪¹，卢明水²，付晖敏³，黎强⁴

(1. 山东宏文汽车底盘系统有限公司，山东 滨州 256600;

2. 山东安安门窗有限公司，山东 滨州 256600;

3. 滨州宏展铝业科技有限公司，山东 滨州 256600;

4. 山东和兴建筑安装工程有限公司，山东 滨州 256600)

摘要 建筑电气系统的复杂性和重要性日益凸显，电气安全不仅关系到建筑功能的正常运行，更直接影响到人们的生命财产安全。由于电气系统隐蔽性强、故障类型多样，加之部分建筑存在设计缺陷、施工不规范、维护不到位等问题，电气安全事故时有发生。本文认为深入研究建筑电气安全管理与故障排查技术，对于提升建筑电气系统的安全性和可靠性、保障人民群众生命财产安全具有重要的现实意义。

关键词 建筑电气；安全管理；故障排查技术

中图分类号：TU85

文献标志码：A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.15.028

0 引言

现代建筑电气系统的复杂性和智能化程度不断提高，电气安全管理与故障排查技术的研究显得尤为重要。电气系统作为建筑的核心组成部分，其安全性和稳定性直接关系到建筑的使用功能和人员安全。电气故障的多样性和隐蔽性使得其排查和预防工作面临诸多挑战，本文对建筑电气安全管理与故障排查技术进行研究，提出了建筑电气安全管理策略和故障排查方法。

1 建筑电气安全管理与故障排查技术研究意义

1.1 保障建筑安全运行

建筑电气系统的安全运行是建筑功能实现的核心基础，其稳定性和可靠性直接关系到建筑的整体使用效果和人员安全。电气故障的多样性和隐蔽性使得其排查和预防工作面临诸多挑战，一旦发生故障，可能导致火灾、触电等严重安全事故，甚至造成人员伤亡和财产损失。通过深入研究建筑电气安全管理与故障排查技术，能够有效识别和消除潜在隐患，确保电气系统的正常运行。先进的故障检测手段和科学的管理方法可以实时监控电气设备的运行状态，及时发现异常并采取针对性措施，避免故障扩大化。智能化技术的引入为电气安全管理提供了新的解决方案，通过大数据分析和预测性维护，进一步提升系统的安全性和稳定性。

1.2 提高电气系统可靠性

电气系统的可靠性是建筑功能实现的关键因素，

其性能直接影响建筑的整体运行效率和安全性。电气故障的多样性和复杂性使得其排查难度较大，一旦发生故障，可能导致设备损坏、运行中断甚至安全事故。通过深入研究电气系统故障排查技术，能够开发出更加高效、精准的检测手段，显著提升系统的可靠性和稳定性。先进的检测设备和方法可以快速定位故障点，缩短排查时间，减少因故障导致的设备停机和维修成本。智能化技术的应用为电气系统的可靠性提供了新的保障，通过实时监控和数据分析，能够提前预警潜在问题，实现预测性维护，避免故障的发生。科学的管理方法和规范的操作流程进一步降低了人为因素对系统可靠性的影响，确保电气设备在最佳状态下运行^[1]。

1.3 降低经济损失与风险

电气故障的发生往往伴随着严重的经济损失和潜在风险，包括设备损坏、生产停滞、数据丢失以及人员伤亡等后果。通过深入研究建筑电气安全管理与故障排查技术，能够有效降低这些经济损失和风险。先进的故障检测手段可以快速定位问题，缩短排查时间，减少因故障导致的设备停机和维修成本。科学的管理方法和规范的操作流程能够预防人为操作失误，降低因操作不当引发的故障概率。智能化技术的引入为电气安全管理提供了新的解决方案，通过实时监控和数据分析，能够提前预警潜在问题，实现预测性维护，避免故障的扩大化。高效的故障排查技术还能够减少因电气故障引发的火灾、触电等安全事故，保障人员安全，降低人员伤亡风险。

1.4 推动智能化与可持续发展

建筑电气系统的智能化与可持续发展是当前建筑行业的重要趋势,电气安全管理与故障排查技术的研究在这一过程中发挥着关键作用。随着智能化技术的快速发展,电气系统的管理方式正在发生深刻变革,通过引入物联网、大数据和人工智能等先进技术,能够实现对电气设备的实时监控和数据分析,提升系统的运行效率和安全性。智能化检测手段可以快速识别潜在故障,实现预测性维护,减少因故障导致的设备停机 and 维修成本。绿色化技术的应用为电气系统的可持续发展提供了新的方向,通过优化能源利用效率和减少碳排放,推动建筑行业向低碳环保方向发展。科学的管理方法和规范的操作流程进一步降低了人为因素对系统稳定性的影响,确保电气设备在最佳状态下运行。

建筑电气安全管理与故障排查技术的研究不仅为建筑的安全运行提供了技术保障,还为建筑行业的智能化升级和可持续发展奠定了重要基础,具有深远的意义和价值。

2 建筑电气安全管理关键点

2.1 设计阶段的安全管理

在建筑电气系统的设计阶段,安全管理是确保系统长期稳定运行的基础。在设计过程中需严格遵循国家电气设计规范和标准,充分考虑建筑的功能需求、用电负荷分布以及设备容量匹配,避免因设计不合理导致的过载、短路等潜在风险。电气线路的敷设路径应科学规划,确保与易燃物、水源等保持安全距离,同时设置必要的防护措施,如接地保护、漏电保护装置,以增强系统的安全性。对于重要场所,如医院、商场等,需设计备用电源和应急照明系统,确保在突发断电情况下仍能维持基本功能,减少事故影响。在设计阶段还需注重节能与环保,选用高效节能的电气设备,合理配置配电系统,降低能源消耗。设计图纸应清晰标注电气设备的位置、线路走向及安全技术要求,为后续施工和验收提供明确依据。通过科学严谨的设计,能够从源头上消除电气安全隐患,为建筑电气系统的安全运行奠定坚实的基础^[2]。

2.2 施工阶段的安全管理

在建筑电气系统的施工阶段,安全管理是确保工程质量与安全的重要环节。在施工过程中必须严格按照设计图纸和相关规范执行,确保线路敷设、设备安装等环节符合技术要求,避免因施工不当引发安全隐患。施工人员需具备相应的专业资质,并定期接受安全培训,确保操作规范与安全意识。电气材料与设备

的选择应严格把关,杜绝使用劣质或假冒伪劣产品,确保其符合国家标准和设计要求。施工期间需对电气设备进行必要的防护,防止因环境因素或人为操作造成损坏。施工现场应建立完善的安全管理制度,明确各岗位的安全职责,并配备必要的安全防护设施,如绝缘工具、警示标志等。在施工过程中需对关键环节进行质量检查与记录,确保每一道工序均符合安全标准。对于隐蔽工程,如线路敷设、接地系统等,需进行专项验收,确保其质量可靠。通过严格的施工管理,能够有效降低电气事故发生的风险,为建筑电气系统的安全运行提供保障。

2.3 运行维护阶段的安全管理

在建筑电气系统的运行维护阶段,安全管理是确保系统长期稳定运行的关键。定期对电气设备、线路、接地系统等进行全面检查,及时发现并消除潜在隐患,是维护工作的核心内容。建立详细的故障记录与分析机制,对每次故障的原因、处理过程及结果进行归档,有助于总结规律并采取针对性措施,防止类似问题重复发生。老化或损坏的电气设备应及时更换,避免因设备性能下降引发安全事故。在运行过程中需对电气系统的负载情况进行实时监控,确保其处于合理范围内,防止过载运行。维护人员需具备专业知识和技能,定期接受培训,掌握最新的安全规范和技术要求。制定并完善电气安全事故应急预案,定期组织演练,提高人员的应急处置能力。通过科学规范的运行维护管理,能够有效延长电气设备的使用寿命,降低事故发生的概率,保障建筑电气系统的安全可靠运行^[3]。

2.4 人员培训与安全意识提升

在建筑电气安全管理中,人员培训与安全意识提升是确保系统安全运行的重要保障。定期对电气管理人员、操作人员进行专业培训,普及电气安全知识和操作规范,能够有效提高其专业技能与风险防范能力。培训内容应涵盖电气设备的基本原理、常见故障识别与处理方法、安全操作规程以及应急处理措施等方面。通过模拟实际场景的演练,增强人员在突发情况下的应对能力,减少事故损失。建立完善的安全责任制度,明确各级人员的职责与权限,确保安全管理措施落到实处。定期组织安全知识考核与评估,检验培训效果并针对薄弱环节进行强化。通过张贴安全警示标语、发放安全手册等方式,营造全员参与的安全文化氛围,提升整体安全意识。注重对新技术、新设备的学习与掌握,确保人员能够适应电气系统的更新与发展。通过持续的人员培训与安全意识提升,能够显著降低人为因素导致的安全事故,为建筑电气系统的安全运行提供坚实的保障^[4]。

3 建筑电气安全故障排查技术类型

3.1 目视检查法

目视检查法是建筑电气故障排查中最基础且直接的技术手段,适用于初步识别明显可见的故障现象。通过肉眼观察电气设备的外观状态,能够快速发现线路破损、设备烧毁、接头松动等异常情况。在检查过程中需重点关注电气设备的颜色变化、变形痕迹、烧焦气味等异常特征,这些往往是故障发生的直观表现。对于配电箱、开关、插座等关键部位,需仔细检查其安装是否牢固、接线是否规范、防护措施是否到位。目视检查法不仅适用于日常维护,也可作为定期巡检的重要手段,帮助及时发现潜在隐患。虽然该方法无需复杂工具,但其效率依赖于检查人员的经验与细致程度。在实际操作中,需结合电气系统的运行环境,重点关注高温、潮湿、腐蚀等易引发故障的区域^[5]。

3.2 仪器检测法

仪器检测法是建筑电气故障排查中精准定位隐蔽性故障的重要技术手段,适用于解决肉眼无法直接观察的复杂问题。通过使用专业仪器,如万用表、绝缘电阻测试仪、接地电阻测试仪等,能够对电气系统的电压、电流、电阻等关键参数进行精确测量,从而分析故障原因。利用绝缘电阻测试仪可以检测线路的绝缘性能,判断是否存在漏电或短路隐患;接地电阻测试仪则用于评估接地系统的可靠性,确保设备安全运行。仪器检测法不仅能够快速定位故障点,还可用于预防性维护,通过定期检测发现潜在问题,避免事故发生。在实际操作中,需根据故障类型选择合适的仪器,并严格按照操作规程执行,确保检测结果的准确性。该方法对操作人员的专业能力要求较高,需具备扎实的电气知识和仪器使用经验。

3.3 分段排查法

分段排查法是建筑电气故障排查中处理复杂系统问题的有效技术手段,适用于多回路配电系统或大型设备控制系统的故障定位。该方法通过将电气系统划分为若干独立段,逐段进行检测与分析,逐步缩小故障范围,最终精准定位故障点。在操作过程中,需根据系统的结构特点合理规划排查区域,确保每一段的功能相对独立且易于检测。对于每一段,需分别测试其电压、电流、电阻等参数,并与正常值进行对比,判断是否存在异常。分段排查法的优势在于逻辑清晰,能够有效降低排查难度,尤其适用于故障范围不明确或系统结构复杂的情况。在实际应用中,需结合其他排查技术,如目视检查法或仪器检测法,进一步提高排查效

率。该方法要求操作人员具备较强的系统分析能力与故障判断经验,能够根据测试结果快速锁定问题根源。

3.4 数据分析法

数据分析法是建筑电气故障排查中基于智能化系统的高效技术手段,适用于楼宇自动化系统、能源管理系统等复杂电气网络的故障诊断。通过采集系统运行数据,如电流、电压、功率等关键参数,利用数据分析软件或算法识别异常模式,能够快速判断故障原因并预测潜在风险。该方法不仅能够实现实时监控,还可通过历史数据对比分析,发现系统运行中的规律性异常。数据分析法的优势在于能够实现远程监控与故障预警,减少人工巡检的工作量,提高排查效率。在实际应用中,需确保数据采集的准确性与完整性,并结合专业知识对分析结果进行验证。该方法对操作人员的数据分析能力与电气知识要求较高,需具备一定的技术储备。通过数据分析法,能够显著提升电气系统的智能化管理水平,为故障预防与快速处理提供科学依据^[6]。

4 结束语

建筑电气安全管理与故障排查技术的研究对于保障建筑电气系统的安全运行具有重要意义。通过科学的管理手段和先进的故障排查技术,可以有效预防和减少电气事故的发生,提高建筑的整体安全水平。具体措施包括定期进行电气设备检测、建立完善的电气安全管理制度、采用智能监控系统实时监测电气运行状态,以及培训专业人员掌握故障诊断与应急处理技能。这些举措不仅能提升建筑电气系统的可靠性,还能降低维护成本,确保人员与财产安全,为现代建筑的可持续发展提供坚实的保障。

参考文献:

- [1] 廖欣毅.建筑电气工程施工中的质量控制与安全管理[J].全面腐蚀控制,2024,38(12):49-51.
- [2] 胡岳强.高层建筑电气照明设计中低压配电系统设计与安全管理[J].光源与照明,2024(10):213-215.
- [3] 郑良.高质量背景下新建综合性医院建筑电气施工管理要点探究[J].北方建筑,2024,09(03):39-42.
- [4] 普剑涛.建筑电气火灾原因与监理措施探究[J].消防界(电子版),2024,10(02):78-80.
- [5] 苏云昊.建筑电气工程施工中的质量控制及安全管理分析[C]//中国智慧工程研究会.2024新技术与新方法学术研讨会论文集.杭州恒隆房地产有限公司,2024.
- [6] 任泽旭,张井文.高层建筑电气设备消防安全管理研究[J].中国设备工程,2023(18):216-218.

工业与民用建筑施工质量管理策略探析

郑伯伦

(中国航空技术国际工程有限公司, 北京 100101)

摘要 本文对工业与民用建筑施工中的质量管理问题进行了分析, 指出当前存在质量管理体系不完善、施工人员素质参差不齐、材料采购和控制不严格、施工设备及技术手段落后、缺乏有效质量检测与反馈机制等问题, 并提出了完善质量管理体系、加强施工人员培训与管理、严格材料采购和质量控制、更新施工设备与技术手段、建立健全质量检测与反馈机制等策略, 旨在为有效提升工业与民用建筑施工的质量管理水平提供参考, 进而保障施工质量。

关键词 工业与民用建筑施工; 质量管理; 材料采购; 施工设备

中图分类号: TU712.3

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.15.029

0 引言

随着社会经济的发展和城市化进程的加速, 工业与民用建筑规模不断扩大, 对建筑质量的要求也日益提高。然而, 当下工业与民用建筑施工在质量管理方面存在诸多问题, 如质量管理体系不完善、施工人员专业素养不足、材料质量把关不严、设备技术发展滞后以及缺乏有效检测反馈机制等。这些问题严重影响了工程质量, 不仅可能导致建筑安全隐患, 还会造成资源浪费。在此背景下, 深入探讨工业与民用建筑施工中的质量管理策略具有重要的现实意义。

1 工业与民用建筑施工中质量管理存在的主要问题

1.1 质量管理体系不完善

在工业与民用建筑施工中, 质量管理体系不完善是一个突出问题。许多施工企业虽构建了质量管理体系, 但在实际运作中, 该体系面临不完善和可操作性较差的问题。部分企业缺乏清晰的质量目标与详细规划, 致使施工人员对质量标准认知模糊, 工作时无明确方向。质量管理流程也存在缺陷, 从施工前期准备到具体施工环节, 再到竣工阶段, 各流程间衔接不紧密, 易出现管理真空地带。同时, 责任制度落实不到位, 一旦出现质量问题, 难以精准追责, 导致各部门、人员相互推诿。这种不完善的质量管理体系, 使得施工过程缺乏有效监督与规范, 工程质量难以保障, 增加了施工风险, 会导致工程返工, 延误工期, 造成巨大的经济损失。

1.2 施工人员素质参差不齐

施工人员作为工业与民用建筑施工的直接参与者,

其素质对工程质量影响深远。目前, 施工队伍人员构成复杂, 部分人员学历较低, 未接受过系统专业培训, 对施工工艺、技术规范理解不深, 操作时仅凭经验, 极易出现违规操作。例如: 在钢筋绑扎环节, 因不熟悉规范要求, 绑扎间距过大或扎丝松动, 影响建筑结构稳定性^[1]。此外, 施工人员质量意识淡薄, 未充分认识到自身工作对工程整体质量的重要性, 工作中粗心大意, 责任意识薄弱。而且施工队伍人员流动性大, 新入职人员难以快速融入团队, 熟悉工作流程, 导致施工过程质量不稳定, 严重制约了工程质量的提升, 为工程埋下诸多质量隐患。

1.3 材料采购和控制不严格

材料作为工业与民用建筑施工的物质基础, 其质量的好坏直接决定了工程质量的高低。然而, 当前材料采购和控制环节存在诸多弊病。在采购环节, 部分采购人员缺乏专业知识, 对各类建筑材料的质量标准把握不准, 在选择材料时往往只关注价格因素, 盲目追求低价, 忽视了材料质量, 最终采购回不符合标准甚至是劣质材料。如某建筑项目为降低成本, 采购了价格低廉的防水材料, 结果在后续使用中, 屋面频繁出现渗漏现象。而且, 在供应商选择上, 企业缺乏充分的市场调研和严格的资质审核, 与一些信誉不佳、生产能力不稳定的供应商合作, 导致材料供应时常中断, 或者供应的材料质量参差不齐。材料进场验收环节同样存在问题, 验收流程不规范, 验收人员工作不认真, 未严格按照既定标准对材料的规格、性能等进行细致检验, 使得大量不合格材料轻易流入施工现场。在材料存储和使用过程中, 由于缺乏妥善管理, 材料

随意堆放,受潮、变质现象屡见不鲜,并且在使用时浪费严重。这些问题极大地影响了工程质量,同时也大幅增加了工程成本。

1.4 施工设备及技术工艺落后

随着建筑行业的飞速发展,先进的施工设备和前沿的技术手段不断涌现,但部分施工企业却仍故步自封,使用陈旧落后的设备与技术。许多施工设备因使用年限过长,磨损严重,精度大幅下降。以混凝土搅拌机为例,老旧设备搅拌出的混凝土均匀性差,无法满足高强度建筑结构的需求。同时,企业对设备的维护保养重视不足,设备长期缺乏专业维护,故障频繁发生,不仅严重降低施工效率,还对工程质量产生负面影响。在技术手段方面,部分企业未能及时跟进行业发展趋势,依旧沿用传统、低效的施工方法^[2]。在大型商业综合体的深基坑施工中,不采用先进的支护技术,仍使用简易支撑方式,不仅施工安全风险大增,而且施工周期大幅延长,工程质量也难以达到高标准。这种落后的施工设备及技术工艺,严重阻碍了工程质量的提升,在日益激烈的市场竞争中,也使得企业逐渐失去竞争力。

1.5 缺乏有效的质量检测与反馈机制

有效的质量检测与反馈机制是保障工业与民用建筑施工质量的关键所在,但目前众多施工项目在此方面存在明显短板。质量检测标准混乱不一,不同检测人员对同一检测项目的标准理解和执行存在差异,导致检测结果缺乏权威性和可比性。检测方法也不够科学,部分检测人员为图方便,未严格按照规范流程操作,使得检测结果准确性大打折扣。检测频率严重不足,对于一些关键施工部位和环节,未能做到及时、定期检测,许多潜在质量问题无法及时发现。而且,检测结果反馈渠道不畅,检测完成后,结果不能迅速、准确地传达给相关部门和人员,导致无法根据检测结果及时调整施工方案与工艺。同时,缺乏完善的质量问题跟踪整改机制,对于已发现的质量问题,整改责任不明确,整改期限模糊,也缺乏对整改过程的有效监督,使得整改效果不佳,工程质量难以得到实质性提升,难以实现预期的质量目标。

2 工业与民用建筑施工中质量管理的策略

2.1 完善质量管理体系

在完善质量管理体系的过程中,施工企业需要对质量目标有一个明确的、可量化的目标,根据工程的特点和标准,制定一个覆盖整个施工过程的详细质量计划,给施工人员提供明确的工作指导。优化质量管

理程序,加强施工前准备阶段、施工阶段和竣工阶段的衔接,消除管理空白。通过制定严格的责任制,明确各个部门和人员在质量管理方面的职责,一旦发生质量问题,可以快速、准确地追究责任。同时,将全面质量管理的理念和方法引入建设项目的各个环节,对项目实施全方位的质量控制^[3]。成立专门的质量管理部门,配备专业人员,对施工过程进行监督和检查,保证所有的质量标准和要求都能得到有效执行,从而提高工程质量,减少施工风险,防止返工和工期延误造成的经济损失。如某大型住宅小区工程项目,对从基础施工到外立面装饰等各个阶段的质量控制要点进行了详细的规划,成立了质量管理团队,对各个环节进行了严格的监管,通过强化质量管理体系,制定清晰完善的责任制度,实施可操作性强的质量计划,施工单位对主体结构验收合格率达到100%,装修质量优良率达到85%以上。

2.2 加强施工人员培训与管理

针对施工人员素质参差不齐的状况,企业应加大培训力度。定期组织专业技能培训,邀请行业专家或经验丰富的技术人员,为施工人员讲解最新施工工艺、技术规范,提升其操作水平。开展质量意识培训,通过案例分析、质量事故警示等方式,让施工人员深刻认识到自身工作对工程质量的重要性,增强质量意识。建立人员考核机制,对培训效果进行考核,考核合格者方可上岗作业。加强人员管理,营造良好的工作氛围,增强团队凝聚力,减少人员流动。对于新入职人员,安排经验丰富的师傅进行传帮带,帮助其快速熟悉工作流程与要求,从而提升施工队伍整体素质,保障施工质量稳定提升,减少因人员操作不当引发的质量隐患^[4]。例如:某建筑企业针对新入职的泥瓦工,组织了为期一周的集中培训,涵盖砌墙工艺、灰缝标准等内容,培训结束后进行实操考核。同时,开展质量意识培训,播放因砌墙质量问题导致房屋坍塌的事故视频,让工人深刻认识到质量的重要性。通过这些措施,该企业泥瓦工施工质量大幅提升,返工率降低了30%。

2.3 严格材料采购和质量控制

在材料采购和质量控制方面,施工企业要选拔具备专业知识的采购人员,使其准确把握材料质量标准。采购前,对市场进行充分调研,全面审核供应商资质,选择信誉良好、生产能力稳定的供应商建立长期合作关系,确保材料稳定供应且质量可靠。完善材料进场验收流程,严格按照标准检验材料规格、性能等,运用专业检测设备与手段,杜绝不合格材料进入施工现

场。在材料存储环节,依据材料特性,设置专门存储区域,做好防潮、防火、防锈等措施,确保材料质量不受损。建立材料使用管理制度,加强对材料使用过程的监督,避免浪费,通过严格的材料采购和质量控制,为工程提供优质材料,保障工程质量,降低因材料问题导致的工程成本增加^[5]。例如:某市政工程在采购钢材时,采购人员对多家供应商进行实地考察,对比其生产工艺、产品质量证书等,选择了资质优良的供应商,在钢材进场时,运用专业探伤设备检测钢材内部质量,确保无裂缝等缺陷。存储时,搭建专门的钢材存放棚,做好防锈处理,有效保障了钢材质量,为工程顺利推进奠定了基础。

2.4 更新施工设备与技术手段

施工企业应加大对施工设备的投入,淘汰使用年限过长、磨损严重的设备,购置先进、高效、性能稳定的新设备,如高精度混凝土搅拌机,确保施工质量。建立设备定期维护保养制度,安排专业人员对设备进行日常维护与定期检修,降低设备故障率,提高施工效率。积极关注行业新技术、新工艺发展动态,结合工程实际情况,及时引进应用。例如:在高层建筑施工中,采用先进的爬模技术,提升施工安全性与效率,缩短施工周期。组织技术人员对新技术、新工艺进行学习与培训,使其熟练掌握应用,通过更新施工设备与技术手段,提升企业施工水平,增强市场竞争力,保障工程质量符合现代工民建工程要求^[6]。例如:某建筑公司承接了一座超高层写字楼项目,以往使用的塔吊设备老旧,吊运效率低且安全隐患大。公司果断购置了新型智能塔吊,不仅吊运速度提升了 50%,还配备了先进的安全监测系统。同时,引入先进的装配式建筑技术,在工厂预制建筑构件,再运输到现场组装,大幅缩短了施工周期,提升了建筑质量,该项目也成为当地的标杆工程。

2.5 建立健全质量检测与反馈机制

建立健全质量检测与反馈机制,首先要统一质量检测标准,依据国家规范、行业标准并结合工程实际特点,制定科学合理、细致明确的检测标准与方法。针对不同施工部位与工序,明确检测项目、检测频率、合格判定标准^[7]。增加关键施工部位和环节的检测频率,如对建筑基础的桩基础,除按常规抽检外,对重要部位的桩基进行 100% 检测,确保潜在质量问题能及时发现。运用先进检测设备与技术,如采用无损检测技术检测混凝土内部缺陷,利用激光测量仪进行高精度的建筑构件尺寸测量,提高检测结果准确性。搭建高效检测结果反馈渠道,借助信息化管理平台,检测

完成后,检测数据与结果能迅速传输并反馈给施工、监理、设计等相关部门与人员,相关人员依据检测结果及时调整施工方案与工艺^[8]。例如:若检测发现混凝土强度未达设计要求,施工单位可调整后续混凝土配合比,增加水泥用量或优化外加剂使用。构建质量问题跟踪整改机制,对已发现的质量问题,明确整改责任人与整改期限,制定详细整改方案,加强对整改过程的监督,整改完成后进行复查,确保整改到位。借助完善的质量检测与反馈机制,持续提升工程质量,达成预期质量目标。例如:某桥梁建设项目针对桥梁桩基这一关键部位,制定详细检测标准,运用超声波检测技术对每一根桩基进行检测。检测结果通过专门的信息化平台实时反馈给施工、监理等部门。若发现桩基存在缺陷,即刻明确整改责任人,要求一周内制定整改方案并实施,监理单位全程监督,整改完成后再次检测,最终该桥梁桩基质量全部合格,保障了桥梁整体质量,为桥梁后续安全使用奠定了坚实的基础。

3 结束语

工业与民用建筑施工质量管理面临体系不完善、人员素质低、材料把控不严、设备技术落后及检测反馈机制缺失等问题,通过完善质量管理体系、强化人员培训、严格材料管控、更新设备技术以及健全检测反馈机制等策略,能有效提升施工质量。未来,随着行业对质量管理重视程度不断加深,持续优化管理策略,有望进一步提高工程质量,推动工业与民用建筑领域向高质量、高效率方向稳健发展,更好地满足社会对建筑品质的需求。

参考文献:

- [1] 李孝忠. 工民建施工中墙体裂缝的诱因及其预防策略[J]. 城市建设理论研究(电子版),2022(32):52-54.
- [2] 何运洪. 工民建施工中软土地基处理技术的应用研究[J]. 城市建设理论研究(电子版),2019(04):175.
- [3] 任智伟. 工民建结构设计的优化措施的探讨[J]. 建材与装饰,2020(02):92-93.
- [4] 武科. 基于 CDIO 理念的土木工程专业工民建课程体系教改思考[J]. 教育教学论坛,2020(43):209-210.
- [5] 张杰. 工业与民用建筑施工中的质量问题与对策[J]. 中国建筑装饰装修,2024(11):174-176.
- [6] 李振怀. 工业与民用建筑工程管理中的常见问题及对策研究[J]. 城市建设理论研究(电子版),2025(02):43-45.
- [7] 贺成. 工业与民用建筑智慧建造的应用研究[J]. 新城建科技,2024,33(11):16-18.
- [8] 雷霆. 工业与民用建筑工程项目管理的影响因素研究[J]. 房地产世界,2024(21):71-73.

建筑工程监理中安全管理的有效措施探讨

饶 红

(合肥庐阳工程建设监理有限责任公司, 安徽 合肥 230000)

摘 要 本文分析了建筑工程监理中安全管理对于保障施工人员生命安全、确保工程质量与进度的重要性, 指出存在安全意识不足、安全管理制度不完善、施工现场监管不到位、安全培训缺乏系统性等主要问题, 并提出了完善安全教育与培训体系、强化安全管理制度建设等措施, 以期提升建筑工程监理安全管理水平提供有益借鉴。

关键词 建筑工程监理; 安全管理; 安全措施; 施工现场

中图分类号: TU712.2; TU714

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.15.030

0 引言

建筑工程安全事故时有发生, 不仅给施工人员的生命安全带来了严重威胁, 造成了不可挽回的人员伤亡和家庭悲剧, 还对工程质量和进度产生了负面影响, 导致工期延误、成本增加, 甚至引发一系列社会问题。在此背景下, 建筑工程监理中的安全管理愈发凸显其重要性。如何有效实施安全管理, 成为保障施工人员生命安全、确保工程顺利推进、提升工程质量与效益的关键所在。这也促使建筑行业从业者深入思考并积极探索建筑工程监理中安全管理的有效措施。

1 建筑工程监理中安全管理的重要性

1.1 保障施工人员生命安全

施工现场是一个复杂的环境, 机械设备类型多样, 高空作业频繁, 存在很多安全隐患。从塔吊起吊施工材料时可能出现的坠落风险, 到不规范搭设脚手架引起的坍塌隐患, 再到施工人员没有正确佩戴安全防护用具导致的意外伤害, 任何一种隐患都会给施工人员的生命安全带来致命的威胁。在建设工程监理过程中, 安全管理是一道坚强的防线, 它是一条严格的安全操作规程, 对施工人员进行全面系统的安全培训, 使其了解各种安全风险, 并采取相应的措施。与此同时, 监理人员在施工现场实时监控, 对施工人员的不安全行为进行及时纠正, 对存在安全隐患的设备和设施进行整改, 为施工人员营造一个相对安全的工作环境, 减少安全事故发生的概率, 使每个施工人员的生命安全得到保障, 使他们可以安心工作, 防止悲剧的发生。

1.2 确保工程质量与进度

安全管理与工程质量和进度紧密相连, 相辅相成。一方面, 安全的施工环境是保证工程质量的基础。当

施工人员在安全有保障的情况下工作时, 他们能够更加专注于施工操作, 严格按照施工标准和工艺要求进行作业。例如: 在混凝土浇筑过程中, 如果施工人员无需担忧模板支撑不稳等安全问题, 就能全身心投入到振捣等关键环节, 确保混凝土浇筑质量, 避免出现蜂窝、麻面等质量缺陷。相反, 若施工现场安全管理不到位, 施工人员时刻处于恐惧和不安之中, 极易因分心而导致操作失误, 进而影响工程质量^[1]。另一方面, 安全管理直接关系到工程进度。一旦发生安全事故, 必然会导致施工现场暂时停工, 进行事故调查、伤员救治以及隐患排查整改等工作, 这无疑会造成工期延误。而通过有效的安全管理, 提前预防和消除各类安全隐患, 保证施工过程的顺利进行, 工程进度才能按计划有序推进, 确保项目能够按时交付, 实现经济效益和社会效益的最大化。

2 建筑工程监理中安全管理的主要问题

2.1 安全意识不足

在建筑工程领域, 安全意识不足是一个普遍存在且亟待解决的问题。部分施工人员来自不同地区, 文化水平参差不齐, 对建筑施工中的安全风险认知有限。他们往往只关注施工任务的完成, 忽视了安全操作的重要性, 比如在施工现场随意拆除安全防护设施, 为了节省时间而不按规定佩戴安全帽、安全带等。一些管理人员也存在重进度、轻安全的错误观念, 在制定施工计划时, 没有充分考虑安全因素, 为了赶工期, 甚至默许一些不安全行为的发生。这种安全意识的淡薄, 使得施工现场成为安全事故的高发地, 一旦发生事故, 不仅会对施工人员的生命安全造成严重威胁, 还会给企业带来巨大的经济损失和声誉损害。

2.2 安全管理制度不完善

虽然部分施工企业已经建立了安全管理制度,但是在实际操作中存在着许多不完善的地方。有些制度内容太过笼统,没有具体的实施细则,也没有量化的标准,这就造成了在安全检查、隐患排查等工作中,不能准确地判断出安全问题的严重性,很难采取有效的整改措施。同时,由于安全责任划分不清,各个部门和岗位之间在安全管理方面相互推诿扯皮,在发生安全问题的时候,不能快速地确定责任主体,及时解决问题^[2]。

此外,安全管理体系更新滞后,无法满足建筑业新技术新工艺的发展需要,导致一些新的安全风险得不到有效控制,给建设工程建设带来安全隐患。

2.3 施工现场监管不到位

施工现场监管不到位是导致安全事故频发的重要原因之一。在实际施工过程中,监理人员数量不足,无法对施工现场进行全面、细致的监督。一些监理人员专业素质不高,对建筑施工安全规范和标准不熟悉,难以发现施工现场存在的安全隐患。同时,监管手段相对落后,主要依赖人工巡查,缺乏先进的技术设备辅助,无法实现对施工现场的实时监控。此外,部分建筑企业为了降低成本,减少了对施工现场监管的投入,导致监管工作流于形式,不能真正发挥其应有的作用。施工现场监管的缺失,使得安全隐患得不到及时发现和整改,最终引发安全事故。

2.4 安全培训缺乏系统性

安全培训是提高施工人员安全意识和技能的重要手段,但在实际操作中,建筑工程的安全培训却缺乏系统性。

一方面,培训内容单一,往往只侧重于讲解一些基本的安全知识和操作规程,缺乏对不同岗位、不同施工环节安全风险的针对性培训。

另一方面,培训方式简单,主要以集中授课、观看视频为主,缺乏实际操作演练和案例分析,导致施工人员对培训内容理解不深,无法将所学知识运用到实际工作中。此外,安全培训的频率不足,一些施工人员在入职初期接受过一次简单的培训后,便很少再参加后续的培训,随着时间的推移,安全知识逐渐遗忘,安全意识也逐渐淡薄。这种缺乏系统性的安全培训,无法有效提升施工人员的安全素质,难以满足建筑工程安全管理的实际需求。

3 建筑工程监理中安全管理的有效措施

3.1 完善安全教育与培训体系

完善的安全教育与培训体系是提升建筑工程安全管理水平的基础。首先,培训内容应具有全面性与针对性。针对不同岗位的施工人员,制定贴合其工作实际的培训方案。对于高空作业人员,重点培训高处作业安全规范、安全带使用技巧及应急救援知识;针对电气作业人员,则侧重于电气安全操作规程、触电急救方法等。同时,融入典型事故案例分析,以真实惨痛的教训强化施工人员的安全意识^[3]。在培训方式上,改变单一的集中授课模式,采用线上线下相结合。线上利用多媒体平台,提供丰富的安全知识视频课程,施工人员可利用碎片化时间自主学习;线下开展实操演练,如模拟火灾逃生、灭火器使用演示等,让施工人员在实践中掌握安全技能。此外,定期组织安全知识考核,对成绩优秀者给予奖励,激励施工人员积极参与培训,确保培训效果的持续性,使安全意识真正扎根于每一位施工人员心中。

3.2 强化安全管理制度建设

强化安全管理制度建设是保障建筑工程安全施工的关键。制度内容要细化,明确各部门、各岗位在安全管理中的职责与权限,制定详细的安全操作流程和量化的安全考核指标。例如:规定施工现场安全防护设施的设置标准,对安全检查的频次、检查内容及整改期限作出明确要求。建立严格的安全责任追究制度,一旦发生安全事故,能够迅速追溯到责任主体,依法依规严肃处理,杜绝推诿扯皮现象。随着建筑行业的发展,及时更新安全管理制度,将新技术、新工艺所带来的安全风险纳入管理范畴^[4]。如在装配式建筑施工中,针对预制构件吊运安装的安全风险,制定专门的管理规定。同时,加强对制度执行情况的监督,成立专门的监督小组,定期对施工现场进行制度执行情况检查,确保各项安全管理制度落到实处,为工程施工营造良好的安全制度环境。

3.3 加强施工现场的安全监督与检查

加强施工现场安全监督检查,及时发现和消除安全隐患,具有十分重要的意义。增派监理人员,保证在施工过程中的各个关键部位有专人负责监理。监理人员要不断提高自己的专业素质,熟悉施工安全规范,对安全隐患有敏锐的辨识能力。监督检查采取定期和不定期两种方式。按制定的检查计划,定期检查工地

安全防护设施,施工设备运行情况,人员操作规程等;不定期对施工现场进行突击检查,对施工现场存在的薄弱环节和容易被忽略的地方进行检查,杜绝弄虚作假。利用信息技术辅助监督检查,如运用无人侦察机在工地上空巡视,迅速发现重大安全隐患;利用智能传感技术对施工装备的运行参数进行实时监控,一旦发现异常情况,及时发出预警。对检查发现的安全隐患,下发整改通知书,对整改责任人、整改时限和整改要求进行明确,并对整改落实情况进行跟踪,形成安全监管的闭环管理确保施工现场的安全。

3.4 提升监理人员的安全管理能力

监理人员作为建筑工程安全管理的关键力量,其安全管理能力的高低直接关乎工程安全管理成效。定期组织监理人员参加安全管理培训课程,邀请行业内资深专家、学者前来授课,讲解最新的安全法规,如《建设工程安全生产管理条例》的修订要点;传授先进的安全管理理念,如风险管理、精益安全管理等;分享实用的安全管理方法,如安全检查表法、作业危害分析法等。鼓励监理人员参加注册安全工程师等相关的职业资格考试,通过备考系统学习安全管理专业理论知识,提升理论水平^[5]。同时,注重实践经验的积累,组织监理人员到优秀的建筑工程项目现场观摩学习,学习他们在施工现场安全管理方面的先进经验和做法,例如如何高效协调各方关系、如何利用信息化手段提升管理效率等。建立监理人员安全管理考核机制,将安全管理工作成效与绩效挂钩,从安全隐患发现数量、整改落实率、安全事故发生率等多个维度进行考核,对表现优秀的监理人员给予晋升机会、奖金等奖励,激励监理人员主动提升自身安全管理能力。

此外,监理人员要加强与施工单位、建设单位的沟通协作,定期召开三方安全管理会议,及时了解工程施工动态,共同解决安全管理中遇到的问题,形成安全管理合力,更好地履行监理职责,为建筑工程安全施工保驾护航^[6]。

3.5 引入现代技术手段提升安全管理水平

随着科技的迅猛发展,引入现代技术手段成为提升建筑工程安全管理水平的必然趋势。利用建筑信息模型(BIM)技术,对建筑工程进行三维建模,在虚拟环境中模拟施工过程,提前发现潜在的安全风险。例如:通过BIM模型可以直观地发现不同专业施工管线在空间上的碰撞问题,提前调整施工方案,避免在实

际施工中因管线冲突导致的安全事故。在模型中还能模拟火灾发生时人员的疏散路径,优化疏散方案。安装智能监控系统,通过密布在施工现场的摄像头、传感器等设备,对施工现场进行全方位、实时监控。摄像头利用图像识别技术,能够及时捕捉施工人员的不安全行为,如未戴安全帽、违规攀爬等,并自动报警;传感器可实时监测设备的运行状态,如施工升降机的运行速度、载重情况等,一旦出现异常立即触发警报。运用大数据分析技术,对过往安全事故数据、施工现场安全检查数据等进行深度分析,找出安全事故发生的规律和趋势^[7]。例如:通过分析发现夏季高温时段因施工人员疲劳作业,触电事故发生率较高,从而提前采取调整施工时间、增加防暑降温措施、加强用电安全检查等预防手段。现代技术手段的应用,能够显著提高安全管理的效率和精准度,有效预防和减少安全事故的发生,推动建筑工程安全管理向智能化、信息化方向大步迈进。

4 结束语

建筑工程监理中的安全管理对保障施工人员生命安全、确保工程质量与进度意义重大。当前虽存在安全意识不足、制度不完善、监管不到位及培训缺乏系统性等问题,但可通过完善安全教育与培训体系、强化制度建设、加强现场监督检查、提升监理人员能力以及引入现代技术手段加以改善。未来,期望建筑行业各方持续重视安全管理,不断优化措施,运用创新技术,进一步提升安全管理水平,减少安全事故,推动建筑工程行业安全、稳健发展。

参考文献:

- [1] 向树全.住宅建筑工程监理过程中监理安全标准化的应用研究[J]. 居舍,2024(36):124-127.
- [2] 张云先.建筑工程安全监理信息化探讨[J]. 低碳世界,2024,14(11):120-122.
- [3] 刘春.高层建筑附着式脚手架监理安全管理要点[J]. 建设监理,2024(11):32-35+50.
- [4] 吴绍靖.监理工作中进度质量投资控制与安全信息协调管理的一体化探究[J]. 建材发展导向,2024,22(20):61-63.
- [5] 喻贞贞.混凝土结构改造工程监理质量控制要点[J]. 建设监理,2024(07):103-106.
- [6] 朱海军.建筑工程监理过程中监理安全管理责任探讨[J]. 中华建设,2024(09):28-30.
- [7] 焦述春.建筑工程监理过程中的监理安全管理责任策略[J]. 中国住宅设施,2021(02):56-57.

公路双导梁架桥机施工安全管理控制探讨

张巨伟

(四川港建水利水电工程有限责任公司, 四川 成都 610000)

摘要 公路工程中的机械设备对施工质量与施工安全性有直接影响, 施工团队须结合实际需求选择合适的设备, 并在设备使用期间做好相应的安全管理工作。本文对双导梁架桥机进行了概述, 然后介绍了双导梁架桥机的施工流程, 分析了双导梁架桥机施工安全风险, 并深入探讨了步履式架桥机施工安全管理策略, 旨在为相关人员提供有益参考。

关键词 双导梁架桥机; 步履式架桥机; 施工安全

中图分类号: U445.1

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.15.031

0 引言

随着我国公路桥梁建设的快速发展, 双导梁架桥机作为一种高效灵活的施工设备, 广泛应用于桥梁架设中。其中步履式架桥机具有稳定性高、适应性强等特点, 逐渐成为桥梁施工的主流设备。然而由于施工环境复杂、机械操作难度较大, 安全事故时有发生, 严重威胁施工人员的安全。因此, 管理人员需要进一步研究并完善公路双导梁架桥机施工安全管理方法。

1 双导梁架桥机概述

1.1 双导梁架桥机的基本结构

双导梁架桥机是一种用于桥梁架设的大型施工设备, 主要由主梁、导梁、支腿、吊具、行走系统和控制系统等部分组成^[1]。主梁是架桥机的核心承载结构, 通常采用箱型和桁架形式, 具有较高的强度。导梁用于引导架桥机的前移和定位, 可以保证施工精度。支腿支撑架桥机并传递荷载至桥墩, 分为前支腿、中支腿和后支腿。吊具用于起吊和安装梁片, 通常配备液压和电动系统。行走系统包括轨道和驱动装置, 使架桥机能够沿桥轴线移动。控制系统则负责设备的操作和监控, 保障施工安全。

1.2 步履式架桥机的优势

步履式架桥机是一种改进型双导梁架桥机, 其最大特点是采用“步履式”行走方式, 借助液压缸实现支腿的交替移动, 从而完成设备的前移。与传统架桥机相比, 步履式架桥机具有显著优势。其自平衡能力强, 能够适应复杂地形和软土地基, 减少对施工场地的要求。同时, 模块化设计使设备安装和拆卸更加便捷, 缩短了施工准备时间。另外, 步履式架桥机的自动化程度较高, 减少了人工操作的风险, 提高了施工安全性。除此之外,

其行走稳定性好, 能够有效避免设备倾覆等安全事故。

2 双导梁架桥机的施工流程

2.1 施工准备阶段

施工准备阶段是双导梁架桥机施工的基础, 主要包括设备进场、组装调试、施工方案制定和梁片运输等环节。施工人员需将架桥机的主要部件(如主梁、支腿、吊具等)运输至施工现场, 并在桥头位置进行组装。组装完成后, 还需对液压系统、电气系统和控制系统进行全面调试。接下来, 建设单位需要制定详细的施工方案, 组织施工人员进行技术交底, 明确施工流程。同时, 清理施工现场, 使场地平整, 满足架桥机运行和梁片运输的要求。最后, 施工人员将预制梁片运输至桥头位置, 并对梁片的尺寸、强度和预埋件位置进行检查。

2.2 架梁施工阶段

架梁施工阶段是双导梁架桥机施工的核心环节, 主要包括架桥机就位、梁片起吊与运输、梁片安装与调整等步骤。施工人员驱动架桥机沿桥轴线前移, 到达待架梁跨的位置, 并调整支腿高度, 使设备水平并稳固支撑在桥墩。接着, 其还需将吊具与梁片连接, 启动架桥机吊装系统, 将梁片缓慢提升至设计高度, 并使用横移系统将梁片运输至待架位置上方。然后, 需要缓慢下放梁片, 使其准确落在桥墩上, 并使用千斤顶等工具微调梁片位置。最后, 需安装支座锚固螺栓, 使梁片与支座连接牢固。完成一跨梁片架设后, 架桥机前移至下一跨, 重复上述步骤, 直至完成全部梁片架设。

2.3 施工结束阶段

施工结束阶段是双导梁架桥机施工的收尾工作, 主要包括设备拆卸与转移、现场清理与验收等环节。

施工人员在完成全部梁片架设后,将架桥机拆卸为若干部件,并运输至下一个施工场地。在拆卸过程中需注意保护设备部件,避免损坏。拆卸后,施工人员清理施工现场,移除临时设施和废弃物。最后,检测方对架设完成的桥梁进行质量检查,包括梁片位置、支座固定情况等。

3 双导梁架桥机施工安全风险分析

3.1 主要风险来源

双导梁架桥机在施工过程中面临多种安全风险,主要有设备故障、操作失误、环境因素、管理缺陷以及材料质量问题^[2]。在设备故障方面,双导梁架桥机作为大型特种设备,其复杂结构且高负荷运行可能导致液压系统泄漏等问题,进而引发设备失控。在操作失误方面,架桥机操作需要高度专业化技能,若操作人员缺乏经验,可能导致吊装受力不平衡等问题,从而引发安全事故。在环境因素方面,施工现场的强风、雨雪或大雾等恶劣天气会降低设备稳定性,增加倾覆风险,而地基不稳固也可能导致设备失稳。在管理缺陷方面,施工安全管理不到位,未定期检查设备、未进行安全培训且未制定应急预案,都会增加事故发生的可能性,同时现场协调不当也可能导致设备运行与其他施工环节冲突,引发危险。在材料质量问题方面,架桥机使用的钢梁、螺栓等材料若存在质量问题,在施工过程中发生断裂,导致设备失效。

3.2 步履式架桥机的安全优势

步履式架桥机作为一种先进的桥梁施工设备,具有显著的安全优势。其采用多点支撑和步进式移动方式,能够有效分散荷载,降低设备倾覆风险,同时支撑系统可根据地形自动调整。步履式架桥机配备自动平衡系统、超载报警装置和实时监控系统,能够及时发现并处理异常情况,减少人为操作失误带来的风险。同时,步履式架桥机能够适应多种施工环境,其模块化设计使得设备在不同工况下都能高效运行,而其步进式移动方式减少了设备在施工过程中的频繁调整,降低了因操作不当引发事故的可能性。在施工效率方面,步履式架桥机自动化程度高,减少了人工干预,降低了因人员疲劳导致的安全隐患,同时其快速安装和拆卸能力也减少了设备在施工现场的滞留时间。除此之外,步履式架桥机的结构设计便于日常维护,各部件模块化程度高,故障排查和更换更加便捷。

4 步履式架桥机施工安全管理策略

4.1 定期检查设备,保障安全运行

步履式架桥机作为一种大型特种设备,在施工过程中承担着高负荷的作业任务,其结构复杂,涉及多

系统以及关键连接部件等多个部分^[3]。这些部件在长时间运行中容易因磨损老化以及外部环境影响而出现故障,进而引发设备失控、倾覆甚至严重的安全事故。因此,建立科学的设备检查制度,保障设备始终处于良好状态,是安全施工的前提。

设备检查应贯穿于施工的全过程,包括施工前、施工中和施工后三个阶段。在施工前,维修人员应对步履式架桥机进行全面检查,重点包括液压系统的密封性、电气系统的稳定性、支撑结构的完整性以及关键连接部件的紧固性等。在施工过程中,维修人员应结合设备运行特点,制定定期检查计划,对关键部位进行实时监测,及时发现并处理异常情况。施工结束后,其还需要对设备进行全面维护,清理设备表面的杂物,检查各部件的磨损情况,并进行必要的更换,为下一次施工做好准备。同时,设备检查还应结合具体施工环境和设备使用频率,制定针对性的检查方案。不同的施工环境对设备的影响各不相同,对于高强度使用的设备,维修人员应缩短检查间隔,增加检查频次。除此之外,设备检查应与维护保养相结合,形成闭环管理。维修人员应定期对设备进行润滑、清洁和调试,确保各部件运行顺畅,延长设备的使用寿命。

4.2 培训操作人员,开展安全作业

步履式架桥机的操作需要高度专业化的技能,操作人员的技术水平和安全意识直接影响到施工的安全性。因此,管理方需要开展系统的培训,提升操作人员的专业能力和安全素养。培训内容应涵盖设备操作、安全规范以及应急处理等多个方面。在设备操作方面,操作人员需要熟悉步履式架桥机的结构、性能和工作原理,掌握设备的基本操作方式。同时,应重点培训设备的特殊操作技巧,以应对实际施工中的各种挑战。在安全规范方面,操作人员需要了解相关的安全标准,明确设备运行中的危险点和防范措施。另外,管理方还应培训操作人员的应急处理能力,使其在突发事件中能够迅速采取有效措施,最大限度地减少损失。其培训方式还应注重理论与实践相结合。理论培训可以帮助操作人员全面了解设备知识。实践培训则使操作人员熟练掌握设备的使用技巧。在实践培训中,管理方可以设置多种场景,在不同地形条件下进行设备移动等,以提升操作人员的综合能力。同时,培训过程中应有专业技术人员进行现场指导,及时纠正操作人员的错误。除此之外,管理方还需定期开展培训,并根据实际情况进行更新,及时调整培训内容,保证操作人员掌握最新的知识。同时,培训还应结合施工过程中出现的问题,以增强培训的针对性。

4.3 监控施工环境, 防范外部风险

施工环境的安全性直接影响设备的运行和施工的顺利进行, 管理方使用科学的环境监控, 及时发现并消除潜在风险, 保障施工安全进行。步履式架桥机的运行对施工场地有较高的要求, 地基的稳固性、场地的平整度以及周边环境的安全性都是需要重点考虑的因素^[4]。在施工前, 管理方应对现场进行详细的地质勘察, 评估地基的承载能力。同时, 应检查场地的平整度, 清除障碍物, 并评估周边环境的安全性, 制定相应的防范措施。在施工过程中, 管理方应实时监测环境变化, 密切关注天气预报, 及时获取天气变化信息, 并根据实际情况调整施工计划。在恶劣天气下, 应暂停高风险作业, 并对设备进行加固处理。另外, 地质条件的变化也可能对设备运行造成影响, 因此, 管理方应定期对施工场地进行监测, 及时发现并处理地质隐患。在此基础上, 施工现场应建立完善的环境监控系统, 利用现代技术手段提升监控效率。管理方可以安装风速仪、倾角传感器等设备, 实时监测环境参数, 为施工决策提供依据。其可以利用无人机对施工现场进行全方位监控, 及时发现并处理环境中的异常情况。同时, 其还可以借助地理信息系统 (GIS) 和建筑信息模型 (BIM) 技术, 对施工环境进行三维建模和动态分析, 提前识别潜在风险, 并制定针对性的防范措施。最后, 管理方应定期对施工现场进行安全检查, 清除环境中的安全隐患, 使施工环境始终处于可控状态。

4.4 设置安全设施, 保护人员设备

管理方完善安全设施能够有效预防事故的发生, 并在突发情况下最大限度地减少损失, 为施工安全提供坚实的保障。步履式架桥机本身应配备限位器、超载报警装置、防倾覆装置以及紧急制动系统等完善的安全防护装置。因此, 管理方还需在施工现场设置明显的安全警示标志和隔离设施。其中安全警示标志可以提醒现场人员注意危险区域。隔离设施则可以, 将危险区域与人员活动区域分隔开, 防止无关人员误入危险区域。同时, 管理方还应在施工现场设置必要的照明设施, 保证光线不足条件下的作业安全。另外, 施工现场还需要配备必要的安全帽、安全带、防护手套、防护鞋等个人防护装备。并根据具体作业环境, 配备相应的特殊防护装备, 在强光环境下配备防护面罩, 在噪声环境下配备耳塞等。除此之外, 施工现场还应设置应急救援设施, 保证在突发情况下能够迅速开展救援工作。这些设施包括消防器材、急救药品、应急照明设备以及逃生通道等。消防器材应分布在施

工现场的关键位置, 在火灾发生时能够及时扑灭火源。急救药品箱应配备常用的急救物品, 保证在人员受伤时能够进行初步处理。应急照明设备和逃生通道则可以在紧急情况下为人员提供安全的撤离路径, 避免因慌乱导致二次伤害。同时, 管理方还要定期检查这些设施的完好性, 使其在紧急情况下能够正常使用。

4.5 完善应急管理, 提升风险应对能力

管理方应制定详细的应急预案, 明确应急组织、职责分工以及处置流程。应急预案是应急管理的核心文件, 应根据步履式架桥机施工的特点和可能发生的风险类型, 制定针对性的应急措施^[5]。针对设备故障等不同场景, 分别制定具体的处置方案。预案中需明确应急指挥部的组成, 指定现场指挥人员和技术支持人员, 能够在事故发生时迅速形成有效的指挥体系。同时, 管理方还需明确各岗位的职责, 使每个人都清楚自己在应急情况下的行动步骤。其还可以定期开展应急演练, 检验预案的可行性。演练内容应包括设备故障的紧急处理、人员受伤的急救措施、火灾的扑救方法以及自然灾害的应对策略等。在演练过程中, 管理方应注重实战性, 尽可能还原真实场景, 使参与者能够切实感受到应急情况下的操作难度。同时, 演练结束后应进行总结, 分析演练中暴露的问题, 并对应急预案进行完善。管理方需要建立完善的应急资源保障体系, 以求在事故发生时能够迅速调动所需资源。

5 结束语

双导梁架桥机因其高效性和灵活性为桥梁建设提供了强有力的技术支持。然而, 施工过程中存在的安全风险不容忽视, 桥梁建设大多地形复杂, 因此更需要科学的管理手段。未来, 随着智能化技术的不断发展, 管理人员需进一步提升双导梁架桥机的施工安全, 为桥梁建设行业的高质量发展奠定坚实的基础。

参考文献:

- [1] 张奎. 公路双导梁架桥机施工安全管理控制探讨[J]. 工程机械与维修, 2022(04):248-250.
- [2] 苏建旭. 双导梁架桥机吊装预制 T 梁的施工安全计算分析[J]. 广东建材, 2022, 38(02):40-43, 47.
- [3] 栾林秀. 双导梁架桥机架设组合梁现拼段施工技术[J]. 设备管理与维修, 2021(22):140-142.
- [4] 施剑欢. 公路双导梁架桥机施工安全管理的可行性建议[J]. 广东建材, 2021, 37(05):64-66.
- [5] 张俊恒. 步履式公路架桥机架梁施工技术[J]. 中国新技术新产品, 2021(05):110-112.

建筑工程安全管理中多维度风险防控策略分析

魏 皓

(亳州市建筑业管理服务中心, 安徽 亳州 236800)

摘 要 为有效防控建筑工程安全风险, 提升安全管理水平, 本文针对建筑工程安全管理展开了多维度剖析, 通过对管理、技术、人员安全等多维度风险因素的分析, 提出了相应的防控策略: 在管理方面, 建立完善的安全管理体系、强化安全文化建设及完善应急预案; 在技术性风险防控方面, 引入先进技术、培训技术人员并采用信息化手段; 在人员安全风险防控方面, 开展安全培训、严格入场检查。通过实施这些策略, 旨在能有效降低建筑工程安全风险, 保障工程顺利进行。

关键词 建筑工程; 安全管理; 风险防控; 风险评估

中图分类号: TU714; TU721.2

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.15.032

0 引言

建筑工程行业规模持续扩大, 项目复杂度不断提升。从管理层面看, 传统管理模式难以适应复杂项目需求; 在技术方面, 新工艺、新设备应用带来新风险; 在人员方面, 大量农民工涌入, 安全意识和技能参差不齐。在此背景下, 多维度分析建筑工程安全管理风险、构建有效防控策略迫在眉睫, 这对保障人员生命安全、促进行业健康可持续发展意义重大。

1 建筑工程安全管理中的多维度风险因素

1.1 管理风险

在建筑工程安全管理中, 管理风险是不容忽视的重要因素。一方面, 安全管理制度不完善是首要问题。部分建筑企业未根据工程实际情况制定全面、细致且具有针对性的安全管理规章制度, 使得安全管理工作无章可循, 导致施工现场安全管理混乱, 违规操作现象频发。另一方面, 管理流程执行不严格也是关键。即便有完善制度, 在实际操作中, 安全检查、隐患排查等流程常被简化或敷衍了事。例如: 对于施工设备的定期检查, 未严格按照规定频次和标准执行, 使得设备潜在故障未能及时发现, 为安全事故埋下隐患。此外, 安全责任落实不到位, 各部门及人员之间职责不清, 一旦出现安全问题, 相互推诿责任, 无法迅速有效地采取应对措施, 进一步加剧了安全管理的难度与风险, 严重影响建筑工程的顺利推进与安全保障。

1.2 技术性风险

建筑工程中的技术性风险贯穿于整个施工过程。随着建筑行业的快速发展, 新工艺、新技术不断涌现,

然而部分施工团队对这些新技术的掌握程度不足。例如: 在装配式建筑施工中, 对于构件的拼接、安装技术把控不到位, 容易造成结构不稳定, 从而引发安全事故。同时, 施工设备老化与维护不善也是常见问题。一些建筑企业为降低成本, 长期使用老旧设备, 且设备维护保养不及时, 导致设备性能下降, 故障率上升。像塔式起重机, 若其关键部件磨损严重却未及时更换, 在吊运重物过程中极有可能发生断裂, 引发严重的安全事故。此外, 技术方案不合理也会带来风险。在制定施工方案时, 未充分考虑工程现场的地质条件、周边环境等因素, 导致方案在实际执行中出现偏差, 如深基坑支护方案设计不合理, 可能引发基坑坍塌, 对施工人员及周边建筑造成巨大威胁。

1.3 人员安全风险

人员安全风险在建筑工程安全管理中占据显著地位。首先, 施工人员安全意识淡薄是普遍现象。大部分一线施工人员为农民工, 他们文化程度相对较低, 缺乏系统的安全知识培训, 对施工现场的安全风险认识不足。在施工过程中, 经常出现不佩戴安全帽、违规操作机械设备等行为。其次, 专业技能不足也是一大问题。建筑工程涉及多种专业工种, 如电工、焊工等, 部分人员虽持有相关证书, 但实际操作技能并未达到要求标准^[1]。以电工为例, 若其对电气线路敷设、漏电保护装置安装等操作不熟练, 极易引发电气火灾或触电事故。最后, 疲劳作业现象严重。由于建筑工程工期紧张, 部分施工人员长时间连续工作, 身体和精神处于极度疲劳状态, 反应速度减慢, 注意力不集中, 在进行高空作业、机械操作等高风险工作时, 稍有不

慎就可能引发安全事故，给自身及他人的生命安全带来严重威胁。

2 建筑工程安全管理中多维度风险防控策略

2.1 管理层风险防控策略

2.1.1 建立完善的安全管理体系

建立健全的安全管理制度，是管理人员进行风险防范的基础。企业应根据项目的性质、规模和施工环境，建立完善的安全管理体系。从项目规划阶段开始，就对各个部门和岗位的安全管理职责进行了明确，对安全目标进行了细化，做到事事有人管、人人有专责。例如：应建立安全管理部门，配备专职的安全管理人员，对施工现场的安全进行监控。同时，制订了一套覆盖整个施工过程的安全作业程序规范，从原材料进场检查、分项工程施工、竣工验收等各个环节进行了严格的规范。定期审核和更新安全管理体系，使之能够适应工程发展的需要和法律法规的要求，为施工现场的安全管理提供可靠的制度保证。在实际操作中，可以通过引入安全管理评价软件来定量评价系统的运行效果，精确定位问题，从而更加有效地对制度进行优化，保证安全管理没有死角。例如：利用软件对安全检验数据进行分析，发现经常发生问题的区域和环节，并对制度程序进行有针对性的改进，从而提高安全管理的针对性和实效性。

2.1.2 强化安全文化建设

安全文化建设对提升全体员工安全意识至关重要。企业可通过多种方式营造浓厚安全氛围，定期开展安全知识讲座、安全主题活动，如安全月宣传、安全知识竞赛等，以生动有趣的形式向员工传播安全理念与知识。在施工现场设置醒目的安全标语、安全宣传栏，展示安全事故案例及预防措施，时刻提醒员工注意安全。鼓励员工积极参与安全管理，对提出有效安全建议的员工给予奖励，让员工从“要我安全”转变为“我要安全”，形成全员参与、共同维护安全的良好文化环境，从根本上减少违规操作等不安全行为^[2]。例如：开展安全之星评选活动，每月选出表现突出的员工，给予物质与精神双重奖励，并将其安全经验在企业内广泛推广，带动整体安全意识提升。还可制作安全文化宣传手册，发放给员工，随时随地强化安全理念，将安全文化融入日常工作点滴。

2.1.3 完善安全事故应急预案

完善的安全事故应急预案能在事故发生时迅速响应，降低损失。预案应针对不同类型安全事故，如火灾、

坍塌、触电等，制定详细应对流程。明确应急指挥机构与各救援小组职责，确保事故发生时指挥有序、救援高效。定期组织应急演练，模拟真实事故场景，使各救援小组熟悉应急流程，提高协同作战能力与应急响应速度。演练后及时总结经验，对应急预案进行优化。同时，配备充足的应急救援物资，如灭火器、急救药品、救援设备等，并定期检查维护，确保关键时刻能正常使用，最大程度减少事故造成的人员伤亡与财产损失。在演练中，可设置突发状况，如通信中断、救援设备故障等，锻炼团队的应急处理能力，让预案在实战中不断完善。例如：演练后组织复盘会议，让各小组分享遇到的问题与解决办法，整理成报告，为后续优化预案提供详实依据。

2.2 技术性风险防控策略

2.2.1 引入先进的建筑技术

引入先进的建筑技术是降低技术性风险的有效手段。随着科技发展，建筑行业不断涌现新技术，如建筑信息模型（BIM）技术、智能化施工设备等。企业应积极关注行业动态，结合项目实际情况引入适用技术。例如：利用 BIM 技术对建筑工程进行三维建模，在施工前模拟施工过程，提前发现设计与施工中的问题并加以解决，避免施工中因设计变更导致的安全风险。采用智能化施工设备，如智能塔吊，其具备先进的安全监测与控制系统，可实时监测设备运行状态，预防设备故障引发的安全事故，提高施工安全性与效率^[3]。以某超高层建筑项目为例，运用 BIM 技术发现了原本设计中管线碰撞问题，提前调整设计，避免了施工返工带来的安全隐患与成本增加。又如：在装配式建筑项目中，引入自动化吊装设备，精准控制构件安装，大幅降低了操作失误风险，提升了施工质量与安全水平。

2.2.2 强化技术人员的培训

技术人员的专业水平直接影响技术应用效果。企业应定期组织技术培训，邀请行业专家对新技术、新工艺进行讲解与实操培训，提升技术人员对先进技术的掌握能力。针对施工设备操作与维护，开展专项培训，使技术人员熟悉设备性能、操作规程及常见故障排除方法。鼓励技术人员参加行业交流活动，拓宽视野，了解最新技术发展趋势。同时，建立技术人员考核机制，将培训效果与绩效考核挂钩，激励技术人员不断提升自身专业技能，确保在施工中正确应用技术，降低技术性风险。例如：组织技术人员到先进项目实地参观学习，亲身感受新技术应用场景，回来后结合本企业

项目制定应用计划,并在考核中检验其学习成果转化情况。

此外,设立内部技术交流论坛,方便技术人员随时分享经验、探讨难题,形成良好的学习成长氛围,持续提升团队技术水平。

2.2.3 采用信息化管理手段

信息化管理手段可提高技术管理效率与精准度。利用项目管理软件对施工技术方案、技术交底等资料进行信息化管理,方便技术人员随时查阅与更新。通过传感器、物联网等技术,实时监测施工设备运行状态、工程结构安全状况等关键技术参数,并将数据上传至管理平台。一旦数据出现异常,系统及时发出预警,便于管理人员迅速采取措施^[4]。例如:在深基坑施工中,通过传感器监测基坑位移、沉降等数据,若数据超出安全范围,能及时发现并采取加固措施,有效预防基坑坍塌事故,实现对技术性风险的实时监控与防控。在大型桥梁建设中,运用信息化管理手段实时监测桥梁结构应力变化,提前察觉潜在风险,保障工程顺利推进。在隧道施工中,借助信息化手段对通风、照明等系统进行远程监控与智能调节,确保施工环境安全,提高施工效率与安全性。

2.3 人员安全风险防控策略

2.3.1 安全培训与技能提升

安全培训与技能提升是降低人员安全风险的核心举措。鉴于一线施工人员普遍存在安全意识淡薄、专业技能不足的问题,企业需开展系统性培训。安全培训内容丰富全面,涵盖安全法规解读、施工现场安全常识普及、典型事故案例深度剖析等,通过理论讲授、视频演示、现场模拟等多元方式,让施工人员深刻认识安全的重要性,熟练掌握基本安全操作技能。专业技能培训根据不同工种特点进行针对性设置,如为电工开展电气安装与维修技能培训,为焊工提供焊接工艺与安全操作培训。定期组织技能考核,考核合格者颁发上岗证书,确保施工人员具备岗位所需技能,从源头上减少因操作不当引发的安全事故^[5]。在安全培训中,引入VR体验技术,让施工人员沉浸式感受违规操作带来的严重后果,培训效果显著提升。某建筑项目通过持续开展安全培训与技能提升活动,施工人员安全违规行为减少了60%,施工安全得到有力保障。同时,利用在线学习平台,为施工人员提供碎片化学习资源,方便他们随时巩固安全知识与技能,提升培训的灵活性与覆盖面。

2.3.2 严格入场检查制度

严格入场检查制度是保障施工现场人员安全的重要防线。在施工人员入场前,对其身份信息进行严格核实,确保人员背景无不良记录;同时,全面检查健康状况,确保身体条件符合施工要求。仔细查验施工人员所持专业证书的真实性与有效性,坚决杜绝无证上岗现象。此外,对施工人员进行安全知识与技能初步考核,考核不通过者安排补充培训,直至达标。在施工过程中,定期对施工人员进行复查,检查安全防护用品佩戴是否规范、是否严格遵守安全操作规程等,对违规人员进行严肃批评教育与相应处罚。利用智能监控设备辅助检查,提高检查效率与准确性,对多次违规人员建立重点关注名单,加强后续管理。某大型建筑项目通过严格执行入场检查制度,入场施工人员资质合格率达到100%,施工过程中人员违规率降低了50%,有效营造了安全的施工环境。在复查环节,引入智能安全帽,实时监测施工人员位置、运动状态及是否正确佩戴安全帽等信息,进一步强化对施工现场人员的动态监管,提升安全管理水平。

3 结束语

建筑工程安全管理面临管理、技术及人员等多维度风险,通过建立完善安全管理体系、强化安全文化建设、引入先进技术、加强人员培训等多维度风险防控策略,可有效降低安全风险,保障工程顺利推进与人员生命安全。未来,随着科技持续进步,建筑工程安全管理应进一步融合智能化、信息化手段,不断完善风险防控体系,持续提升安全管理水平,为建筑行业高质量发展筑牢安全根基,实现建筑工程安全管理的长效稳定发展。

参考文献:

- [1] 陆登峰. 建筑工程施工现场管控的重要性及措施[J]. 城市建设理论研究(电子版),2025(08):46-48.
- [2] 李青旺. 分析预警管理在建筑工程施工安全管理中的运用[J]. 城市建设理论研究(电子版),2025(07):28-30.
- [3] 于柯. 智能化技术在住宅建筑工程安全管理中的应用研究[J]. 建筑,2025(02):84-86.
- [4] 章国锋. 建筑工程安全管理及事故预防机制[C]//中国智慧工程研究会. 2024工程技术与施工管理交流论文集(下). 浙江德清荣业建设有限公司,2024.
- [5] 黄汉斌. 建筑工程管理中装饰装修施工安全管理策略探讨[J]. 中国建筑装饰装修,2025(02):156-158.

道路桥梁施工中的安全风险分析与防控对策

钱立明

(合肥工大建设监理有限责任公司, 安徽 合肥 230000)

摘要 为保障道路桥梁施工安全, 降低安全事故发生率, 本文通过理论分析的方法, 对道路桥梁施工中的安全风险展开深入分析, 涵盖施工环境、施工技术、施工人员管理等方面风险, 如天气地质影响、技术设备问题、人员素质及管理漏洞, 并指出应通过提高环境风险评估、完善施工技术管理、加强人员安全教育等防控对策, 有效降低安全风险, 确保道路桥梁施工安全有序推进。

关键词 道路桥梁施工; 安全风险; 施工环境; 施工人员管理

中图分类号: U445.1

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.15.033

0 引言

在城市化进程加速、交通建设需求激增的大环境下, 道路桥梁工程数量不断攀升。施工环境复杂多变, 恶劣天气、复杂地质常给施工带来阻碍与潜在风险; 施工技术持续更新, 若工艺不当、设备故障, 易引发安全事故; 施工人员管理难度大, 人员素质参差不齐、培训不足等问题突出。诸多因素交织, 使安全事故时有发生, 不仅造成经济损失, 更威胁人员生命安全。因此, 深入剖析安全风险并制定防控对策具有重要的现实意义。

1 道路桥梁施工中的安全风险分析

1.1 施工环境的安全风险

1.1.1 天气因素对施工的影响

在道路桥梁施工过程中, 天气因素的影响力不容小觑。暴雨天气会致使施工现场积水严重, 不仅阻碍施工人员的正常作业, 还可能造成地基被雨水浸泡, 导致基础沉降, 进而影响桥梁结构的稳定性。强风天气下, 搭建的脚手架、塔吊等设备易发生晃动甚至倒塌, 威胁施工人员生命安全, 而且风力过大还会对桥梁架设等高空作业产生极大干扰, 增加施工难度与安全风险。另外, 高温天气会使施工人员出现中暑现象, 导致工作效率降低, 注意力不集中, 容易引发操作失误; 严寒天气则可能造成混凝土冻害, 影响其强度和耐久性, 给工程质量埋下隐患。

1.1.2 地质条件与施工安全的关系

在公路桥梁建设中, 地质条件是影响其安全的重要因素。断层、溶洞等复杂地质结构给地基施工带来了很大挑战。在断层带施工时, 基础稳定性很难得到

保证, 易产生不均匀沉降, 导致上部结构受力不均匀, 甚至出现开裂、坍塌等现象。如遇溶洞, 则可能在施工过程中发生突发性塌方, 造成设备损坏和人员伤亡。软土地基承载力低, 需对其进行特殊处理, 若处理不当, 将随施工荷载增大而产生较大变形, 影响公路桥梁的正常使用。虽然岩体地质比较稳定, 但是岩体开挖时, 如果爆破参数设置不当, 很容易造成飞石伤人和边坡失稳等安全事故。

1.2 施工技术带来的安全风险

1.2.1 施工工艺的不当

施工工艺是确保道路桥梁质量与安全的核心环节, 不当的施工工艺会引发一系列安全问题。例如: 在桥梁的预应力施工中, 如果张拉工艺不符合规范, 张拉力不足或超张拉, 会导致预应力构件的承载能力下降, 在后期使用过程中可能出现断裂。在道路基层施工时, 若压实工艺不到位, 压实度未达到设计要求, 道路投入使用后易出现路面变形、裂缝等病害, 严重时会影响行车安全。在混凝土浇筑工艺中, 若浇筑顺序不合理、振捣不密实, 会造成混凝土内部存在空洞、蜂窝麻面等缺陷, 降低结构的整体性和耐久性, 增加安全隐患。

1.2.2 施工设备的故障与操作失误

施工设备在道路桥梁施工中起着至关重要的作用, 然而设备故障与操作失误却频繁引发安全事故。施工设备长期处于高强度作业状态, 若缺乏定期维护保养, 关键部件容易磨损、老化, 从而引发设备故障。如塔吊的钢丝绳断裂, 可能导致吊运的重物坠落, 砸伤下方施工人员; 混凝土搅拌站的搅拌装置故障, 会影响混凝土的生产质量, 间接影响工程安全^[1]。此外, 操

作人员若缺乏专业培训,对设备操作规程不熟悉,极易出现操作失误。例如:起重机操作人员违规操作,在起吊重物时歪拉斜吊,可能导致起重机倾翻,酿成严重的安全事故。

1.3 施工人员管理中的安全风险

1.3.1 人员素质与培训不足

施工人员的素质与培训情况直接关系到道路桥梁施工的安全。目前,部分施工人员文化水平较低,缺乏基本的安全知识和技能,对施工过程中的安全风险认识不足。一些新入职的工人,未经系统的安全教育培训就直接上岗作业,对施工现场的安全规章制度不了解,不懂得如何正确使用安全防护用品。在进行复杂施工工艺操作时,由于缺乏专业技能培训,施工人员难以按照规范要求进行操作,容易出现违规行为,增加安全事故发生的概率。而且部分施工企业为了节省成本,减少培训投入,导致施工人员素质难以提升,给施工安全带来极大的隐患。

1.3.2 人员疲劳与安全操作规范问题

公路桥梁施工工期较紧,工人连续工作时间长,容易出现疲劳。建筑工人在疲劳状态下会出现机体机能下降、反应迟钝、注意力不能集中等现象。在危险的工作中,如高空作业和机器作业,疲劳会大大增加工人的错误率。例如:在桥梁钢筋绑扎作业中,施工人员可能因疲劳而分心,造成钢筋连接不牢^[2]。同时,也有部分建筑工人的安全意识较差,抱着碰运气的心态,对安全操作规程没有严格执行。例如:施工现场不戴安全帽、违规跨越防护栏等违规行为,一旦遭遇突发事件,容易引发安全事故,对施工人员和他人的生命安全造成严重威胁。

2 道路桥梁施工安全风险防控对策

2.1 提高施工环境风险评估与预判能力

2.1.1 强化天气与地质条件的监控与分析

强化天气与地质条件的监控与分析是保障道路桥梁施工安全的重要举措。施工单位应构建完善的天气监测体系,借助气象卫星云图、天气预报软件以及现场气象监测设备,实时收集天气信息,精准掌握降雨、风速、温度等气象数据变化。在暴雨来临前,提前做好施工现场的排水准备,加固临时设施,转移重要物资,避免积水对地基及施工设备造成损害。针对强风天气,依据风力等级及时调整塔吊、脚手架等设备的使用,当风力超过安全标准时,果断停止高空作业。对于地质条件,在施工前开展详细的地质勘察,运用地质雷达、

钻探等技术手段,全面了解地层结构、岩土特性以及是否存在断层、溶洞等不良地质构造。在施工过程中,持续监测地质变化,一旦发现异常,立即调整施工方案,采取相应加固或处理措施,降低地质条件对施工安全的影响。

2.1.2 施工前期环境风险评估的重要性

施工前期环境风险评估是从源头上把控道路桥梁施工安全的关键环节。在项目规划阶段,组织专业的风险评估团队,综合考虑施工现场的地理位置、地形地貌、周边环境以及可能面临的天气和地质状况,对潜在风险进行全面梳理与分析。通过建立风险评估模型,量化评估各类风险发生的可能性及危害程度,制定针对性的风险应对预案^[3]。例如:若评估发现施工区域处于地震活跃带,在设计与施工时就要加强抗震设防措施;若周边有河流、湖泊,需充分考虑洪水侵袭风险,合理规划施工场地与排水系统。施工前期环境风险评估不仅能为施工方案的优化提供依据,确保施工过程中资源合理分配,还能提前做好风险预警与防范,避免因环境风险引发的安全事故,保障施工顺利推进,节省时间与成本,提升工程整体质量与安全性。

2.2 完善施工技术管理与操作规范

2.2.1 推广先进施工技术与设备

推广先进施工技术与设备对提升道路桥梁施工安全水平意义重大。先进的施工技术如自动化的桥梁架设技术,能减少人工高空作业,降低施工人员面临的安全风险,同时提高施工精度与效率,保障桥梁结构的稳定性。在道路施工中,采用新型的沥青路面摊铺技术,可使路面压实度更均匀,减少后期路面病害发生概率,保障行车安全。在先进设备方面,智能化的塔吊配备了先进的载重监测、防碰撞预警等系统,可有效降低设备故障与操作失误引发的安全事故。新型混凝土搅拌设备能精确控制原材料配比,提高混凝土质量,间接提升工程安全性能。施工单位应积极关注行业技术发展动态,加大对先进技术与设备的引进与应用力度,组织施工人员进行相关技术培训,使其熟练掌握新设备、新技术的操作要点,充分发挥先进技术与设备在保障施工安全方面的优势。例如:某桥梁项目引进自动化架桥机后,施工效率提升30%,安全事故发生率显著降低。该项目施工人员经专业培训后,能熟练操作自动化架桥机,精准完成桥梁架设工作,且因减少了人工在高空危险环境作业,施工期间未发生一起因高空作业导致的安全事故。

2.2.2 强化施工工艺的安全标准化管理

强化施工工艺的安全标准化管理是确保道路桥梁施工质量与安全的核心保障。施工企业要依据国家及行业相关标准,结合工程实际情况,制定详细且严格的施工工艺安全标准操作规程。在桥梁预应力施工中,明确规定张拉设备的校验周期、张拉力的控制范围以及张拉顺序等操作要点,杜绝因张拉工艺不当引发的安全隐患。在道路基层施工过程中,对压实机械的选择、压实遍数、压实速度等作出标准化要求,以保证压实度达到设计标准。在混凝土浇筑工艺中,规范浇筑顺序、振捣时间与方式,防止出现混凝土缺陷。建立健全施工工艺监督检查机制,安排专业技术人员对施工过程进行全程监督,定期检查施工工艺执行情况,对不符合安全标准的操作及时纠正,对违规行为严肃处理^[4]。通过持续优化施工工艺安全标准,不断提升施工工艺的科学性与规范性,保障道路桥梁施工安全。如某道路项目严格执行压实工艺标准,路面使用五年后仍无明显病害。在该项目施工中,技术人员每天对压实工艺进行检查,确保压实机械按规定遍数和速度作业,保证了路面压实度长期稳定,减少了路面裂缝、车辙等病害的出现。

2.3 加强施工人员安全教育与管理

2.3.1 提升人员安全操作技能与意识

提升施工人员安全操作技能与意识是保障道路桥梁施工安全的根本。施工企业应制定系统的安全教育培训计划,针对不同岗位施工人员的特点,开展有针对性的培训课程。对于新入职员工,进行基础安全知识培训,包括施工现场安全规章制度、安全防护用品的正确使用等方法。针对特种作业人员,如塔吊司机、起重机操作员等,开展专业技能培训,使其熟练掌握设备操作规程与应急处理技能。通过案例分析、安全演练等多样化培训方式,增强培训效果,让施工人员深刻认识到安全事故的严重性,提高安全意识。定期组织安全知识考核,对考核合格的人员发放上岗证书,确保施工人员具备相应的安全操作技能与知识水平,从源头上减少因人员失误导致的安全事故^[5]。例如:某施工企业通过定期安全演练,员工安全事故应对能力提升明显,事故发生率降低 25%。该企业每季度组织一次大型安全演练,模拟火灾、坍塌等事故场景,员工在演练中熟练掌握了应急逃生、急救等技能,在实际工作中面对突发状况能迅速、正确应对,有效减少了事故损失。

2.3.2 完善施工现场的安全监管机制

完善施工现场的安全监管机制是保障道路桥梁施工安全的有力支撑。施工单位要成立专门的安全监管小组,配备足够数量且专业素质高的安全管理人员,明确其职责与权限。安全监管人员要对施工现场进行全方位、全过程的巡查,重点检查施工人员是否遵守安全操作规范、施工设备是否正常运行、安全防护设施是否到位等情况。运用信息化手段,如安装施工现场监控摄像头、使用安全管理 APP 等,实时监控施工现场安全状况,及时发现并处理安全隐患。建立安全隐患排查治理台账,对发现的问题进行详细记录,明确整改责任人与整改期限,跟踪整改落实情况,形成安全管理闭环。对违反安全规定的施工人员与部门,严格按照相关制度进行处罚,同时对安全管理工作表现突出的人员与部门予以奖励,营造良好的施工现场安全氛围,确保施工安全有序进行。例如:某项目借助安全管理 APP,隐患整改效率提升 50%,安全管理成效显著。该 APP 能实时推送隐患信息至责任人手机,责任人接收后立即整改,并上传整改结果,大大提高了隐患整改的及时性和效率,保障了施工现场的安全。

3 结束语

道路桥梁施工安全风险管理贯穿于施工环境、技术及人员管理等多方面,通过强化施工环境风险评估,完善施工技术管理与操作规范,加强施工人员安全教育与监管,能有效防控风险,保障施工安全与质量。未来,随着科技进步,可进一步借助大数据、人工智能等技术优化风险预判与监控。同时,持续提升施工人员专业素养与安全意识,不断完善安全管理体系,从而推动道路桥梁施工行业安全、高效发展,为交通基础设施建设筑牢安全根基。

参考文献:

- [1] 杨鹏鹏.道路桥梁工程施工质量控制与安全风险管控[J].运输经理世界,2024(05):127-129.
- [2] 蔡涛.道路桥梁施工管理中存在的问题及优化措施[J].运输经理世界,2023(36):80-82.
- [3] 何少伟,杨静,崔祎.桥梁工程安全风险及管理对策分析[J].工程与建设,2023,37(04):1339-1341.
- [4] 廖文田,熊子多,张邵邦.复杂海域桥梁施工安全总体风险评估指标体系的研究[J].公路,2022,67(11):92-96.
- [5] 徐凯鹏,冯涛.山区高速公路桥梁工程施工风险评估及研究[J].建筑安全,2021,36(04):55-59.

水利工程遭遇地质滑坡后的工程设计变更思考

李琦韵

(四川水发勘测设计研究有限公司, 四川 成都 610072)

摘要 本文采用理论分析与工程实践相结合的方法, 针对某水利工程遭遇地质滑坡后工程设计变更问题展开研究, 首先系统分析了设计变更的成因机制, 在此基础上提出了变更方案的比选方法和实施要点, 并指出了水利工程设计变更具有显著的综合性、技术性、复杂性特征, 需综合考虑设计变更的原因, 规范流程和方法, 并对设计变更后的影响进行有效处理, 才能保障工程的综合效益。研究结果表明, 水利工程遭遇地质滑坡后的工程设计变更要综合考虑地质条件、滑坡特性、工程安全及施工可行性等多方面因素, 以确保工程的稳定性和安全性。

关键词 水利工程; 地质滑坡; 工程设计变更; 方案比选

中图分类号: TV51

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.15.034

0 引言

水利工程作为国家基础设施建设的重要组成部分, 对于防洪、灌溉、供水、发电等方面具有不可替代的作用。然而, 由于水利工程往往跨越复杂的地质区域, 在施工过程中可能会遇到各种地质灾害, 其中地质滑坡是较为常见且危害较大的一种, 一旦发生地质滑坡, 原有的工程设计可能不再适用, 需要进行及时有效的设计变更, 以确保工程的安全和功能。因此, 研究水利工程遭遇地质滑坡后的工程设计变更具有重要的现实意义。

1 案例分析

某水库位于四川某县城东河三级支流中游, 是一座以灌溉为主、兼顾乡镇供水及农村饮水等综合利用的中型水利工程, 距四川某县城约 80.0 km。坝址以上控制集水面积 21.3 km^2 , 多年平均来水量 $957 \times 104 \text{ m}^3$, 总库容 $1\ 147 \times 104 \text{ m}^3$, 兴利库容 $763 \times 104 \text{ m}^3$, 多年平均城市供水量 $908 \times 104 \text{ m}^3$, 设计灌溉面积 8.15 万亩。

2 设计变更的原因

就案例水利工程而言, 其中的一条渠线从获得初步设计批复开始到如今招标建设, 中间已经过去了 10 年时间, 在自然环境和人类活动多重因素的联合影响下, 沿线地形地貌已经发生了大幅度改变, 新建了大量建筑物, 包括民房、道路、蓄水池等。该渠线于 2022 年 3 月, 应建设单位的要求, 开展了招标建设工作。设计单位组织专业的技术人员深入现场进行勘察, 以平面地质测绘和勘探为主, 对渠道两侧 100 ~ 200 m 范围进行全方位勘察, 勘察结果显示, 该渠线 1# 倒虹

管的出口到 2# 倒虹管出口段渠线穿越了崩坡积堆积体, 地表之上孤石林立, 杂乱无章, 地形坡度和岩石产状都在 $11^\circ \sim 15^\circ$ 之间, 边坡属于是缓倾同向结构顺层边坡, 原本该边坡在初步设计阶段判定处于基本稳定状态, 但过去 10 年, 在自然环境和人类生产生活活动多重影响下, 加之最近几年的暴雨, 发现渠线附近村民新建的房屋普遍出现了蠕滑现象, 甚至部分房屋出现了较为严重的拉裂问题, 新建公路的排水沟也出现了较为明显的拉裂破坏问题, 充分表明此处滑坡正处于欠稳定状态, 若再次受到较大暴雨的侵袭可能会出现较为严重的滑坡问题。

针对此段已经出现并且发生拉裂的问题, 设计单位进行了更加细致的勘察钻探工作, 结果显示: 渠道沿线崩坡积堆积体已经发展成了滑坡, 共计形成了两个滑坡, 一个是向家岩 1 号滑坡, 另一个是向家岩 2 号滑坡, 两个滑坡的纵向长度约为 1.1 km, 横向宽度约为 450 ~ 500 mm, 滑坡体的厚度在 3 ~ 10 m 之间, 属于大型基岩古滑坡。考虑到周围居住了不少百姓, 继续修建渠道开挖动工会对原本就不稳定的边坡产生新的扰动, 为保障百姓生命和财产安全, 需对此段路线进行调整, 最终考虑以隧洞方式从该滑坡体下方通过。

3 工程设计变更面临的问题

3.1 地质条件复杂

地质滑坡的发生通常伴随着复杂的地质条件变化, 如岩土体结构的破坏、地下水位的波动等。在进行工程设计变更时, 需要对这些复杂的地质条件进行准确的勘察和分析, 但这存在一定的难度。比如: 就案例渠道所在区域的滑坡而言, 在深层滑坡的治理中, 由

于勘探手段的限制,难以准确获取地下深处的地质信息,给工程设计带来了很大的不确定性^[1]。

3.2 设计方案选择

针对地质滑坡的工程设计变更方案有多种选择,但每种方案都有其优缺点和适用范围。在选择设计方案时,需要综合考虑工程的安全性、可靠性、经济性和施工可行性等因素,需要设计人员具备丰富的经验和专业知识^[2]。比如:就案例所在的渠滑坡段而言,是直接治理滑坡,还是绕开滑坡范围于距离坡脚更远的地方修建渡槽或者倒虹管,还是利用隧洞方式从山体穿过滑坡段,治理滑坡是采用抗滑桩还是锚索加固,或者是两者联合使用,绕开滑坡范围修建渡槽的话高差是否便于施工,隧洞爆破对滑坡体是否会有影响,需要根据具体的地质条件、滑坡规模和工程要求等进行综合比较和分析。

3.3 设计方案调整难度大

水利工程遭遇地质滑坡后的工程设计变更方案调整难度大主要体现在两个方面:一方面是方案论证难度大,比如:需要对原设计方案进行全面的分析和论证,考虑滑坡对工程结构、稳定性、安全性等方面的影响,制定出合理的设计变更方案。但在论证过程中,可能存在对滑坡影响认识不足、考虑因素不全面等问题,导致设计变更方案不合理或存在安全隐患。另一方面是与原设计的衔接问题,设计变更方案需要与原设计进行有效的衔接,确保工程的整体性和连贯性^[3]。但在实际操作中,可能会出现新老设计之间的矛盾和冲突,如结构形式、尺寸、材料等方面的不匹配,需要进行大量的协调和调整工作。

4 工程设计变更方案比选

4.1 原设计方案分析

拟变更段原初设方案位于 1#倒虹管出口至 2#倒虹管出口之间,设计桩号为补 7+335.80~补 9+785.85,总长度 2 450.02 m。原方案为 1#倒虹管沿着南偏西 53°方向出口后,先接第一段明渠沿西南方向继续行进,再接 2#倒虹管沿正南方向跨沟,之后再接第二段明渠沿着南偏西方向继续推进。拟变更范围共明渠两段,长度分别为 1 819.17 m 和 146.85 m;倒虹管一座,长度为 484 m。

4.2 工程设计变更方案拟定

结合案例水利工程所在区域的地质水文条件和设计变更时存在的问题,以及遭遇地质滑坡后的工程设计变更的要求,排除了渡槽和边坡治理的方案,拟定

了三个工程设计变更方案进行对比,以选择出最佳的工程设计变更方案。三个设计变更方案都是以隧洞方式从距离滑坡体下方平均深度 40 m 的山体内穿过滑坡体,以降低渠道修建对滑坡体稳定性造成的影响。

方案一:长倒虹管方案,由连接暗渠+隧洞+长倒虹管+连接暗渠组成。总长度为 2 239.13 m,比原设计方案减少了 210.89 m。

方案二:短倒虹管+傍山箱涵方案,由连接暗渠+隧洞+倒虹管+箱涵组成。总长度为 2 350.03 m,比原设计方案减少了 99.99 m。

方案三:短倒虹管+傍山明渠方案,由连接暗渠+倒虹管+明渠组成。总长度为 2 344.69 m,比原设计方案减少了 102.33 m。

4.3 工程设计变更方案的最终确定

三种工程设计变更方案各有优缺点,在选择具体的设计方案时,还需进行有针对性的比选,比选内容包括:工程布置、地质条件、施工条件、移民征地、投资估算等。

1. 工程布置:从工程设计变更方案工程布置的角度来看,方案二长度最长,其次是方案三,方案一长度最短。虽然方案一倒虹管的长度比较长,但管线坡比整体比较缓,全线都可以实现良好的回填。而方案二和方案三都需要开挖傍山渠道,方案二箱涵单位长度土石方开挖量更是达到 25.5 m³/m,方案三则达到 33.9 m³/m,局部渠段开挖高度在 25~30 m 之间,施工工程量大,且后期维护难度大,成本高。

2. 地质条件:方案二和方案三渠道走向和岩层的走向近乎平行,岩层缓倾向坡外,属于缓倾向同结构顺层边坡,这就使得在进行渠道开挖施工中,容易发生土层沿着基岩卧坡滑动的情况,存在较为严重的安全隐患。而方案一倒虹管比较长,则可解决方案二和方案三施工中存在的不足。

3. 施工条件:方案一倒虹管虽然长度较长,但整体坡比更缓,对比方案二、三倒虹管,在施工开挖难度、管道吊装、沟槽的回填、后期运行管理难度方面,较缓对的坡比更有优势;方案二、三后半段开挖傍山渠道,原始地形条件较差,边坡较陡,外侧为陡岩,施工条件较差,难度较大,部分渠段边坡开挖高度较高,范围较大,会截断原有便民道路,且没有回填条件^[4]。

4. 移民征地:方案二与方案三中新建箱涵及明渠傍山而行,没有回填条件,属于永久征地,且边坡陡峭,开挖范围较大,工程占地相对较大。各方案中,方案三所涉及的实物相对最多,方案一所涉及的实物相对

最少。从各方案补偿投资概算来,方案三补偿投资相对最多,方案一补偿投资相对最少。

5. 投资估算:方案一要比原设计审批的概算投资多出约260.25万元,方案二要多出312.39万元,方案三要多出253.62万元,方案一和方案三投资估算相近。

对比分析三个工程设计变更方案,都是以隧洞穿滑坡体下部基岩的方式来避开此段滑坡段,以最大限度上降低渠道施工对滑坡体造成的影响和扰动。但方案二地表建筑的长度最长,其次是方案三,方案一最短。虽然方案二和方案三倒虹管的长度短,但开挖傍山渠道,费时费力,且原始地形地貌条件差,缺乏回填条件。此外,在进行渠道开挖时,不可避免地会导致土层沿着基层卧坡滑动,容易发生安全隐患^[5]。综合对比三种工程设计变更方案,方案一施工难度最小,且不存在后期运行管理时相对复杂繁琐的永久渠道,整体投资也比较小,可有效避开滑坡体的影响,施工风险最小,对既有建筑和周围居民生活生产造成的影响也比较小,因此,选择方案一作为此案例工程设计的变更方案。

5 设计变更对工程的影响分析

5.1 对工程任务与规模的影响

本次变更对案例设计流量参数进行了复核,变更后沿线的控灌面积没有变化,经过对比分析可以确认灌区的灌溉面积及流量与最初设计阶段的数据保持一致,因此,工程的规模无需进行任何调整,相应渠道的设计流量也将维持与初设阶段相同的参数。

5.2 对工程安全及工期的影响

在案例的变更方案中,通过重新规划线路,成功避开了滑坡段以及其他可能对施工造成不利影响的因素,从而显著提升了整个工程的施工安全性。在变更之前,案例段的施工工期原定为17个月^[6]。然而,变更后,施工的关键控制性建筑部分转移到了变更隧洞。根据变更隧洞的斜线进度表,新的施工工期为25个月。尽管工期有所延长,但这一时间仍然符合整个工程36个月的总施工工期要求,确保了工程进度合理性和可控性^[7]。

5.3 对生态环境的影响

5.3.1 环境敏感区生态安全影响分析

案例变更方案经过复核,不会触及生态保护红线,表明变更后的设计方案不会影响到国家公园、自然保护区、自然公园以及饮用水水源保护区等环境敏感区域。此外,变更内容也不涉及其他被明令禁止开发的区域^[8]。因此,此次工程设计的变更方案并不存在任

何环境制约性因素,不会对周边环境造成负面影响。

5.3.2 国土资源生态安全影响分析

在变更方案的施工过程中不可避免地会对原有的地貌造成一定程度的破坏,这会导致原有的土地和植被被扰动,从而引起轻微的水土流失问题。此外,施工场地内堆放的各种建筑材料和弃渣,同样容易成为引发新的水土流失的源头。但与初步设计阶段相比,本次提出的变更方案在工程施工的临时占地面积方面有所减少,同时,土石方的开挖量以及产生的弃渣量也得到了相应的降低^[9]。因此,通过实施这一变更方案,相较于初设报告,将能够有效地减缓项目建设对国土资源生态安全所带来的不利影响。

6 结论

本研究结合理论实践,分析了水利工程遭遇地质滑坡后的工程设计变更思考,分析结果表明:水利工程遭遇地质滑坡后的工程设计变更具有很强的复杂性、技术性,影响最终工程设计变更的因素多。通过对工程设计变更的原因、面临的问题及应对策略的分析可知,加强前期地质勘察与研究、优化工程设计变更方案,并做好设计技术创新是应对这一问题的关键措施,也只有充分认识到地质滑坡对水利工程的危害性,采取科学合理的设计变更方案和有效的应对策略,才能确保水利工程的安全稳定运行和效益发挥。

参考文献:

- [1] 孙迪. 水利水电工程设计变更的应对措施研究与分析[J]. 黑龙江水利科技, 2022, 50(08): 85-88.
- [2] 赖成联. 壬山水库工程施工导流方案优化设计变更[J]. 广西水利水电, 2022(01): 57-59.
- [3] 张航. 蒋家窑则水库工程地质分析及坝址比选[J]. 中国水能及电气化, 2021(10): 56-62, 34.
- [4] 王宏举. 水利工程项目建设中设计变更处理方法思考[J]. 黑龙江水利科技, 2021, 49(06): 239-240.
- [5] 刘杨威. 工程地质条件对坝址比选的影响: 以天星水库工程坝址选择为例[J]. 甘肃水利水电技术, 2021, 57(03): 34-37, 62.
- [6] 唐宏军. 水利工程渠道滑坡成因与防治[J]. 湖南水利水电, 2020, (01): 5-6, 17.
- [7] 张丽萍. 基于层次分析法的水利工程滑坡体稳定性评估方法分析[J]. 水科学与工程, 2020(04): 75-79.
- [8] 杜菊梅. 丘陵地区水利工程渠道滑坡原因与治理[J]. 长江技术经济, 2020, 04(S2): 79-80, 111.
- [9] 高向前, 史丽敏. 水利工程中边坡稳定性分析: 以彭家湾渠段滑坡为例[J]. 四川水泥, 2021(04): 172-174.

基于精益建设理念的绿色建筑工程 施工质量管理模式分析

冯修正, 苏玉玉

(广信检测认证集团有限公司, 山东 济南 250000)

摘要 为了发挥绿色建筑工程的生态效益, 进一步提高施工质量, 本文对精益建设理念与绿色建筑工程进行了概述, 分析了绿色建筑工程施工质量管理的主要内容, 包括人力资源、施工材料、机械设备、工艺技术、能源利用等, 同时详细阐述了精益建设理念在施工质量管理中的作用, 并提出了精益建设理念下的绿色建筑施工质量管理模式, 通过深入融合精益建设理念、完善质量管理模式框架、积极构建质量管理链条等措施, 旨在为推动绿色建筑行业可持续发展提供参考。

关键词 精益建设理念; 绿色建筑; 质量管理

中图分类号: TU712.3

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.15.035

0 引言

当前我国建筑行业进入了快速发展阶段, 但是由建筑施工引起的环境污染问题越来越严重, 这成为促进绿色建筑发展的契机。当下应在绿色建筑施工质量管理模式中融入精益建设理念, 从多方面入手进行控制, 全面提高施工质量, 减少施工中的资源浪费行为, 从而降低成本投入, 实现生态保护与经济发展的双重目标。施工单位要明确精益建设理念的内涵, 将其充分融入施工质量管理模式, 全面提高质量管理水平。

1 精益建设理念与绿色建筑工程概述

1.1 精益建设理念

精益建设理念最早从制造行业中诞生, 其核心在于消除生产过程中的重复性、机械化环节, 切实减少资源浪费、提高生产效率。由于制造行业与建筑行业的流水生产存在较高的相似度, 都是以多道工序为主要流程, 所以精益生产在建筑行业中得到广泛运用, 并逐渐转变为精益建设。精益建设理念会对绿色建筑工程中的复杂环节进行定量分析, 识别不稳定或无序因素, 利用精益建设方法进行消除, 从而加强各个步骤的科学把控, 实现质量效益、成本效益、工期效益的最大化目标^[1]。

1.2 绿色建筑

绿色建筑工程的本质在于全生命周期内尽可能节约资源、维护生态平衡, 从工程立项、规划、设计、施工、使用到拆除全过程, 在满足质量要求的基础上, 实现环境保护的目标。绿色建筑工程具有非常显著的

节能环保效果: 一方面, 施工过程中节能、节水、节地、节材; 另一方面, 使用过程中减少对环境的破坏, 与自然环境协同发展。绿色建筑工程采用先进的工艺技术, 保证施工过程安全可靠、施工质量严格受控, 符合现代绿色发展理念, 不会对生态环境造成破坏。

2 绿色建筑工程施工质量管理的主要内容

2.1 人力资源

在绿色建筑施工质量管理中, 人力资源管理是不可或缺的环节, 这是因为所有质量产生环节都由人力资源完成, 其中涵盖作业人员、技术人员、管理人员等, 而各岗位人员的专业能力、作业水平以及技术水准, 都会直接对施工质量造成影响。除此之外, 工作人员的职业道德、积极性都会直接或间接影响施工质量, 所以要加强人力资源管理, 一方面要提高专业能力、激发各岗位人员的积极性与创造力, 另一方面要对施工中的错误行为进行纠正与控制, 降低人为因素对施工质量造成的负面影响。

2.2 施工材料

建筑工程实体主要由多种材料构建而成, 所以材料的优劣会对质量造成影响, 绿色建筑施工涉及大量建材, 并且类型多种多样, 应基于绿色建筑工程要求进行采购, 并做好材料质量检验, 确保材料采购到进场每个环节都能接受严格把控, 避免出现质量不达标的问题。对于绿色建筑工程来说, 除了把控材料质量外, 还应优先选择低碳环保的材料类型, 比如常见的可塑性材料, 减少对自然资源的消耗, 同时规避容易排放有害物质的材料, 保障绿色建筑的环保性能^[2]。

2.3 机械设备

机械设备是绿色建筑施工中能源消耗较大的环节,并且决定了绿色建筑施工质量水平的高低。因此要加强对机械设备的管控,结合绿色建筑施工条件、现场环境、施工方案以及技术工艺等进行优化,遵循先进性、经济性与环保性原则采用机械设备。在施工过程中定期维护保养,根据施工项目合理分配,操作人员要做到持证上岗,持续记录机械设备的使用状况、维护保养信息,对于能源消耗较大的机械设备应及时更换,从而提高各类设备的节能效果。

2.4 工艺技术

绿色建筑施工要严格按照规范组织管理,最大限度降低能源消耗与环境压力。其中,施工工艺与技术的选择决定了绿色建筑工程质量,所以要加强管理,基于施工方案进行优化改进,或结合现代科技手段创新,提高施工工艺与技术的环保性。在施工工艺技术管理方面要充分考虑节约、环保问题,有效减少各类资源的消耗,同时降低施工技术中的污染排放,从而达到可持续发展目标。在施工过程中要充分理解设计意图,明确施工方案中的关键节点与难点,结合质量目标选择经济可行的施工方法。

2.5 资源利用

资源利用是指施工过程中对采用的各类资源展开科学化管控,达到节约使用、综合利用的目标。施工单位要构建完整的管理体系,包括采购计划、供应渠道、质量验收等,结合材料性质进行存储,降低二次运输、存储不当造成的损耗。在资源配置过程中应构建管理制度,合理把控各类材料的使用量,多余材料要及时存储、妥善利用,根据库存进行采购,防止材料堆积过多造成浪费^[3]。

3 精益建设理念在绿色建筑工程施工质量管理中的作用

精益建设理念在绿色建筑工程施工质量管理中能够发挥出重要价值,确保建筑质量达到预期标准。精益建设理念倡导全过程管理调控,绿色建筑竣工后也要结合相关规定展开质量检测,必须达到规定要求。通过融入精益建设理念,绿色建筑施工质量管理结构更加科学,将重复性与机械化内容剔除,加强各质量管理工作之间的联系,从而提升绿色建筑的整体价值。

4 精益建设理念下绿色建筑施工质量管理模式的构建

4.1 深入融合精益建设理念

当下应将精益建设理念融入绿色建筑施工质量管理中,施工单位应提前进行分析,充分掌握周边的环

境条件,从而保障施工质量,有效解决各类环境问题,将精益建设理念贯彻落实到绿色建筑工程中。施工单位可以根据绿色建筑施工质量管理需求,打造完善的绿色管理制度,加强对施工环节的监督与把控,确保每个环节都能有序推进,实现经济与生态效益统筹兼顾的目标。为了让精益建设理念深入施工质量管理过程,应加大宣传推广力度,促使施工人员树立良好的精益建设意识,能够基于精益建设理念开展施工质量管理相关工作。实施绿色建筑工程施工质量管理前,应做好充分准备,加强各岗位人员的培训,制定详细施工质量管理计划,培训内容涵盖精益建设理念、绿色建筑施工技术和质量管理方法,重点提升施工人员的整体素质和协同能力。另外,落实精益规划、精益设计、精益施工,项目团队在施工前期需进行详细的规划,识别出所有可能影响施工质量和进度的因素,并制定相应的应对措施,优化施工流程,减少不必要的资源浪费,确保绿色建筑施工的顺利进行。

4.2 完善质量管理模式框架

精益建设理念下的绿色建筑施工质量管理框架,以提升绿色建筑施工质量为目标,保证绿色建筑具备可持续性。在施工质量管理模式框架建设过程中,要以精益建设的思想为核心,消除施工过程中存在的资源浪费的问题,满足绿色建筑的基本功能要求,将精益建设理论作为指导,全面提高绿色建筑施工质量管理水平。绿色建筑施工质量管理模式的框架设计主要包含外部监控与内部监控两点,外部监控机制对施工质量管理水平有着显著影响,相关部门会随机抽取正在开展的施工项目,并提出质量验收标准规范与绿色建筑评价指标,对施工过程进行严格的监督管理。内部监控机制也是不可或缺的环节,对于精益建设理念下的绿色建筑施工质量管理来说,不能只依靠外部环境监管来实现,内外协调统一才能达到预期效果。精益建设理念下绿色建筑施工质量管理模式框架应具备多系统、多层次的特征,涉及众多环节相互作用与整合,形成协同机制优化施工流程,从而减少不必要的步骤^[4]。

4.3 优化施工材料选择与运用

目前,绿色建筑施工材料管控存在诸多问题,如供应链透明度、材料选择科学性和浪费减少等方面仍有待优化,当下应基于精益建设理念对绿色建筑施工材料的选择与运用展开管控,提高材料管理的科学性。施工材料管控需要从三个方面入手,首先做好供应链管理优化,在精益建设理念下落实供应链管理有利于保障绿色建筑工程的可持续性,施工单位要做好供应商的评估与选择,提前制定评估标准,对供应商的生产能力、

技术水平、社会责任等方面进行全面评估。同时加强信息共享与协同合作,改善施工材料供应链的透明度和响应速度,借助资源计划(ERP)系统、供应链管理信息系统(SCM)等,确保供应链各环节信息的实时传递和共享,减少信息不对称等问题。其次,把控材料选择与认证,精益建设理念强调价值的最大化,尤其是资源配置与环境保护等方面,所以要优先采用符合绿色施工标准的原材料,所有材料必须具备环保特点,具有可回收性质,在生产使用过程中不会排放有害物质。采购时注意绿色建材认证、能源效率标识认证和环保产品认证等,通过查看认证确认材料的环保性能,降低对环境造成的破坏。最后,落实施工现场材料管控,在材料存储环节,基于材料性质进行布局与规划,如仓库可以采取防火、防雨、防潮等措施,保证施工材料的完整性,仓库内部根据材料的种类、规格和使用频率合理分区,设置相应的标识牌,方便材料的识别和取用。施工前制定详细的资源配置方案,基于精益建设理念精细化管理原材料,按照施工图纸和技术规范,准确计算材料用量,避免过度使用造成浪费。

4.4 优化绿色建筑施工技术

精益建设理念下绿色建筑施工技术的优化至关重要,会直接影响资源利用率、环境污染问题。目前,绿色建筑施工技术仍存在不足,一方面成本投入较高,限制了施工技术的广泛应用;另一方面存在技术瓶颈与管理难题,因此施工单位要基于精益建设理念,对绿色建筑施工技术展开创新。绿色建筑施工技术的核心在于环境保护、资源节约,以可持续发展为目标,施工单位应引入预制装配施工技术、节能施工技术、智能化施工技术等,有效降低资源消耗,为绿色建筑工程建设打下扎实的基础。预制装配施工技术的应用较为广泛,有利于提升构建的精度与质量,通过工厂化生产减少大量施工环节,推动绿色建筑高效化生产。另外,将BIM技术融入绿色建筑施工过程,保证施工的系统性与综合性,同时加强施工过程管理,提供可视化模型与精确的数据统计,用于模拟施工过程、施工管理以及资源回收,打造绿色建筑施工估算模型,全面提高施工效率与质量。比如:在绿色建筑工程设计中,结合BIM技术逐层分析,减少施工误差等问题,并将施工质量与环境保护充分融合,助力绿色建筑行业良好发展^[5]。

4.5 合理引入节能环保设备

为了贯彻落实精益建设理念,提高绿色建筑施工质量管理水平,应及时更新施工设备,从而满足绿色建筑的发展需求。绿色建筑项目中更换节能设备是保

障施工质量、降低能源消耗的重要措施,可有效改善环境污染问题,并且达到绿色建筑标准。绿色建筑施工设备优化主要是引入具备节能效果的机械设备,如节能型施工设备、节能型电气设备、节能型照明设备、太阳能利用设备等,在保障低碳循环发展的条件下满足施工要求。节能型施工机械设备主要包含节能型挖掘机、装载机等,通过更换高效发动机、优化传动系统等方法,大幅度降低燃油消耗与排放,进一步增强节能效果。节能型电气设备涵盖节能变压器、智能配电柜等,可减少施工过程中的电力能源消耗,全面提高电能利用效率。除此之外,合理运用节能型照明设备、太阳能利用设备,如常见的LED照明灯具,具有显著的高光效、低能耗等特点,结合太阳能光伏板、太阳能热水器,共同促进绿色建筑整体节能效果。比如:在某大型商业建筑中引入太阳能光伏板、LED照明、智能温控系统,可实现节能减排与资源循环利用,基于精益精神理念持续优化改进,为绿色建筑工程带来更多经济与生态效益。

5 结束语

精益建设理念主要来源于精益生产,其价值体现在整合流程、减少浪费等方面,在绿色建筑施工质量管理模式的构建中能够起到关键作用。基于精益建设理念的绿色建筑工程施工质量管理模式框架设计应严格遵循系统性、科学性原则,在原本的质量管理基础上展开创新,重点加强人力资源、施工材料、机械设备等方面的管理。除此之外,还需加强建筑本身节能、环保等环节的质量控制,形成完整的质量管理链条,实现提高施工质量、降低成本投入、保护生态环境的目标,改变传统落后的施工质量管理模式,为绿色建筑工程发展打下坚实的基础。

参考文献:

- [1] 仓悦.精益建造施工质量管理绩效评价研究[D].南京:南京工业大学,2024.
- [2] 毛毓韬,孙一卉,凌菊.面向持续化精益的建筑施工技术管理研究[J].贵阳学院学报(自然科学版),2024,19(01):90-94.
- [3] 吴红翠.建筑工程施工质量的精益管理策略及应用评价方法研究[J].贵阳学院学报(自然科学版),2024,19(01):95-99,104.
- [4] 方宇航,黄星亮,祝羿,等.基于精益建设的绿色建筑施工质量控制探究[J].中国住宅设施,2022(10):43-45.
- [5] 赵倩.基于精益建设模式下的精益物资管理[J].中小企业管理与科技,2022(02):34-36.

高速公路路面病害检测技术研究

徐 凯

(山东华鉴工程检测有限公司, 山东 青岛 266108)

摘 要 高速公路作为重要的交通基础设施,其路面状况直接影响着行车安全和通行效率。路面长期受车辆荷载、环境因素等影响,易出现裂缝、车辙、坑槽等病害。本文系统分析了常见的路面病害类型及成因,总结了目视检测、弯沉仪检测、地质雷达检测、激光三维扫描等检测技术方法,提出了构建路面病害自动识别系统、多传感器联合检测系统等应用实现策略。通过典型案例分析,证实了先进检测技术在提升路面养护精细化水平、延长路面使用寿命、保障行车安全等方面的重要作用,以期为提高高速公路路面养护管理水平提供借鉴。

关键词 高速公路; 路面病害; 检测技术

中图分类号: U418.6

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.15.036

0 引言

随着我国经济的快速发展和汽车保有量的不断攀升,高速公路已成为连接各地的重要交通纽带,在促进区域经济一体化、提高物流运输效率等方面发挥着不可替代的作用。但是,高速公路路面在长期的使用过程中,不可避免地会受到车辆荷载、环境因素等的影响,出现裂缝、车辙、坑槽等各种病害,严重影响行车安全和舒适性。及时、准确地检测和评价路面病害状况,是实施有针对性养护措施的前提。传统的人工检测方法效率低下,难以满足日益增长的路面养护需求。

1 高速公路路面常见病害类型及成因分析

1.1 裂缝

高速公路路面裂缝是一种频发的病害类型,严重影响路面使用性能和行车安全。引发裂缝的因素多种多样,既有外部荷载和环境条件的影响,也有路面自身材料特性和结构设计的原因。车辆反复荷载会导致路面应力集中,高温和低温交替易引起路面温度应力,而路面材料老化、疲劳会加剧裂缝的产生和扩展^[1]。裂缝按照形态特征可分为纵向裂缝、横向裂缝和龟裂等类型。裂缝的出现会破坏路面的整体性和连续性,使路表水和杂质进入裂缝而引发二次病害,加速路面损坏的进程。同时,裂缝会降低行车舒适性,产生颠簸和噪声,甚至造成车辆失控等安全隐患。

1.2 车辙

车辙是高速公路路面在重复车轮荷载作用下产生的一种变形病害,具体表现为车轮反复碾压位置出现纵向凹陷或沟槽。车辙的形成主要源于路面材料在车轮荷载和高温条件下发生的永久变形,包括路面结构

层的剪切变形、压密变形以及沥青面层的流动变形等。车辙会使路面失去原有的横向坡度,降低路面排水性能,造成积水和水溅,增加车辆行驶阻力和湿滑风险。同时,车辙还会加剧动荷载作用,引起车辆颠簸和抖动,影响行车平稳性和舒适性。随着车辙加深,路面承载能力进一步降低,易诱发其他类型病害,加速路面破坏进程。

1.3 坑槽

坑槽是高速公路路面局部脱落、破坏而形成的坑洞或凹槽,是一种严重影响行车安全和舒适性的路面病害。坑槽的成因复杂多样,既与路面材料质量和施工工艺密切相关,也受车辆超载、环境侵蚀等外在因素的影响。路面材料质量缺陷,如粗集料级配不合理、沥青与集料粘附性差等,会导致局部脱落和松散。施工工艺不当,如压实度不足、接缝处理不到位等,也易引发坑槽病害。此外,车辆超载会加剧局部应力集中,雨水和冰冻会侵蚀路面而加速材料劣化。坑槽的存在会使车辆产生颠簸和冲击,影响行车平稳性和舒适性,甚至引发爆胎、失控等事故。

2 高速公路路面病害检测技术

2.1 目视检测法

目视检测法是高速公路路面病害检测中最为传统和直观的方法。检测人员徒步或乘车沿路巡查,通过肉眼观察和人工记录的方式,获取路面表面的裂缝、车辙、坑槽、沉陷等各种病害信息,并对病害的类型、数量、位置、尺寸等特征进行描述和量测^[2]。基于目视检测结果,评价路面的损坏程度和使用性能,为后续的养护决策提供依据。这种检测方法操作简便,无

需专门的检测设备,易于推广应用。但是,目视检测对检测人员的专业经验和责任心有较高要求,检测结果易受主观因素影响。此外,徒步检测效率低下,车载检测虽然速度较快,但观察视角和时间有限,容易漏检病害,尤其是早期微小病害。同时,目视检测只能获取路面表面信息,对于内部缺陷无能为力。因此,目视检测虽然简便易行,但检测质量和效率难以保证,已逐渐被新型检测技术所取代或补充。在实际应用中,目视检测常作为初步排查和日常巡查的手段,为后续检测提供参考。

2.2 落锤式弯沉仪检测法

落锤式弯沉仪是一种常用的路面结构承载能力检测设备。通过在路面上释放一定质量的重锤,测量路面在冲击荷载作用下产生的弯沉变量,评价路面的承载能力和结构完整性^[3]。弯沉值越大,表明路面的刚度和强度越低,车辆荷载引起的变形越大,路面承载能力越差。落锤式弯沉仪可用于路面设计验证、施工质量控制以及运营期病害诊断等环节。与其他检测方法相比,落锤式弯沉仪能够快速获取路面的整体性能指标,量测结果直观可靠,设备操作也相对简便。但是,由于落锤冲击会对路面产生一定扰动,因此检测速度相对较慢,每日检测里程有限。同时,落锤质量和释放高度等参数设置会影响检测结果,不同设备之间的衔接和比对也有一定难度。在实际应用中,落锤式弯沉仪常用于路面结构验收、大修设计和专项病害诊断等关键时点,而对于日常巡查和路况普查,则较少采用。

2.3 地质雷达检测法

地质雷达检测法是一种非接触、非破损的路面内部病害探测方法。地质雷达通过天线向路面发射高频电磁脉冲,电磁波在路面结构中传播并在界面处发生反射和衰减,反射信号携带了路面内部结构和材料特性的信息^[4]。通过分析雷达图像,可识别出路面结构层厚度、层间界面状况、裂缝和空洞等内部缺陷,为路面病害诊断和养护决策提供翔实的依据^[5]。地质雷达检测的优点在于无损探测、实时成像、高效快速,可达 100~120 km/h,日检测里程可达数百公里。同时,地质雷达对表面病害不敏感,可穿透薄层沥青面层探测基层、底基层病害,弥补目视检测和落锤弯沉的不足。但是,地质雷达检测也存在一些局限性。首先,雷达信号易受路面含水量、温度等因素干扰,材料介电常数差异也会影响探测分辨率和精度。其次,雷达图像的解译需要丰富的专业知识和实践经验,缺乏统一的定量判读标准。此外,地质雷达设备造价较高,车载系统集成也相对复杂。尽管如此,地质雷达检测仍是

当前应用最为广泛、发展最为成熟的路面无损检测方法之一,在高速公路路况巡查、专项病害排查以及大中修工程质量检测等方面发挥着重要作用。

2.4 激光三维扫描检测法

激光三维扫描检测是近年来兴起的一种先进的路面几何形貌获取技术。激光扫描系统利用车载或机载激光雷达,以极高的频率向路面发射激光束,通过激光的飞行时间和反射强度信息,获取路面表面的三维点云数据^[6]。高密度、高精度的点云数据真实地记录了路面的空间几何特征,包括横纵坡、翻边、车辙、平整度等路况指标,以及裂缝、坑槽、唧浆等表面病害。通过点云数据处理软件,可自动提取路况参数,量化分析病害的尺寸、体积等,实现路面性能的精细化评价。与传统检测方法相比,激光扫描检测具有全面真实、精度高、效率高等优点。扫描频率可达百万点每秒,车速可达 100 km/h,每日可获取上百公里的路面三维数据。海量的点云数据也为后续的可视化展示、数字孪生、大数据分析等应用奠定了基础。但是,激光扫描系统造价昂贵,数据采集、存储、处理也对计算资源提出较高要求。同时,激光穿透能力有限,主要用于路面表层检测,对内部缺陷无能为力。

3 高速公路路面病害检测技术的应用实现

3.1 路面病害自动识别系统

路面病害自动识别系统是将先进的机器视觉和深度学习技术应用于公路养护领域的典型成果。该系统以高清摄像头为感知设备,通过在公路网络布设固定摄像头或在巡查车辆上安装车载摄像头,持续采集高质量的路面图像数据^[7]。采集到的海量图像经过预处理、特征提取和分割等步骤,提取出路面病害的图像特征,并建立起完善的病害特征数据库。在此基础上,利用卷积神经网络等深度学习模型,对图像特征进行分类和识别,实现裂缝、坑槽、车辙、沉陷等典型病害的自动检测和分类。与人工目视检测相比,路面病害自动识别系统具有速度快、精度高、效率高、客观性强等优点。系统可根据病害类型、密度、严重程度等指标,快速生成路面病害统计报告和分布图,直观呈现路面健康状况。同时,该系统可与地理信息系统、路面管理系统等平台集成,实现病害数据的空间定位、趋势分析、维修排程等智能化应用,加速从海量数据到决策的过程,提高路面养护管理的科学化水平。

3.2 多传感器联合检测系统

多传感器联合检测系统是集成多种先进无损检测技术的路面综合检测解决方案。该系统在同一检测平台上融合了多种传感器,如激光雷达、地质雷达、高

清摄像机、红外热像仪等,可同步获取路面表面和内部的多源异构数据^[8]。通过传感器阵列布设和数据同步触发技术,实现了路面全方位、多维度、高精度的一次性采集,极大地提高了检测效率。采集到的海量数据通过多传感器数据融合算法进行解译和分析,发挥不同传感器的互补优势,实现对路面结构状况、功能性能和病害特征的全面刻画。例如:激光雷达点云数据用于提取路面表面的宏观纹理特征和几何形貌参数,高清图像用于识别表面裂缝、坑槽等病害,地质雷达剖面图用于分析内部层状结构、空洞、脱空等缺陷,多源数据的融合分析可形成路面结构和性能的全息画像。多传感器联合检测系统的应用,可快速查找路面病害成因,精准诊断病害等级,预测病害发展趋势,制定养护维修策略,实现“一次检测,多项评定”的目标。

3.3 移动应用与路面管理系统集成

随着智能手机和移动互联网的普及,将路面病害检测技术与移动应用相结合,开发路面巡查APP,可以显著提高一线养护人员的工作效率。巡查人员利用智能手机拍摄路面图像,通过APP将图像上传至云端服务器,借助机器视觉算法自动识别图像中的路面裂缝、坑槽等病害,并评估病害等级。识别结果与定位信息、路段信息等关联后,实时反馈给巡查人员,并同步更新路面管理系统中的路况数据库^[9]。管理人员通过移动端或Web端,可随时查看辖区内路面病害的数量、分布、程度等统计信息,并下达相应的养护作业指令。移动应用与路面管理系统的无缝集成,打通了路面病害从发现到处置的业务链条,实现了病害数据的实时采集、自动化分析和网络化管理,使传统的路面养护流程更加高效、便捷,大幅节约了人力物力。

3.4 声学及震动检测技术应用

声学及震动检测技术是路面结构性能评价的新兴手段。受路面病害影响,车辆行驶时产生的胎噪声和车身振动会表现出不同的频谱特征。通过在路面安装声学阵列和振动传感器,采集车辆通过时的声音和振动信号,并进行时频分析和特征提取,可以实现路面粗糙度、平整度等功能性指标的间接测量。同时,这些信号还蕴含着路面内部结构的信息。空洞、脱空、离层等病害会在频谱图上呈现出异常的峰值或阶跃变化,通过大数据分析和机器学习算法,可以从海量的声音和振动数据中智能识别出这些内部病害。声学及震动检测具有非接触、非破损、低成本、全天候等优点,尤其适合交通流量大、路况复杂的高速公路。在实际应用中,可利用收费站和服务区等区域布设声学及震动传感器,实现路面结构状况的自动化普查。

4 典型案例分析

某高速公路管理部门管辖的路段面临路面病害频发、日常养护难度大的棘手问题。为精准掌控路面状况,提高养护决策的科学性和针对性,管理部门果断引入了激光三维扫描检测系统和路面病害自动识别系统等先进技术装备。定期利用车载激光雷达开展路面三维扫描,获取高密度点云数据,建立起路面几何形貌的数字化模型,并通过病害识别算法自动检测和量化路面裂缝、坑槽等病害,形成路面病害数据库。同时构建路面管理信息系统平台,将路面病害与路段、桩号等位置信息关联,生成病害统计报告和分布图,直观呈现路面健康状况。管理部门据此优化年度和月度的检测计划,对病害严重、高风险路段加密检测频次。检测数据也被用于指导日常小修保养和大中修工程,对病害趋势进行超前研判,形成“早检测、早预警、早处治”的主动养护模式。

5 结束语

高速公路路面病害检测技术是公路运营养护中的一项关键技术。通过分析路面病害成因,研究先进的检测方法,开发智能化的病害识别系统和便捷的移动应用,可以显著提升路面病害检测的效率和精度,为路面预防性养护、科学化管理提供有力的数据支撑。展望未来,随着新型传感器、大数据分析、人工智能等技术的进一步发展和应用,路面病害检测技术必将向着更加智能化、网联化的方向发展,实现路面全生命周期的精细化健康监测,最终为高速公路的安全、高效、绿色运营提供坚实的基础保障。

参考文献:

- [1] 姚轩.公路沥青路面病害类型及处治措施[J].汽车画刊,2025(01):215-217.
- [2] 潘畴男.高速公路养护管理的新技术分析[J].城市建设理论研究(电子版),2025(02):164-166.
- [3] 吴钢荣,侯丁戈,雷超.高速公路路面病害检测技术研究综述[J].科技视界,2024,14(16):76-79.
- [4] 赵旭.路面病害数字化检测技术在京台高速公路改扩建工程中的应用[J].工程技术研究,2022,07(19):28-30.
- [5] 同[4].
- [6] 朱哲,冯波.基于探地雷达技术的路面病害检测研究[J].工程技术研究,2018(02):186-187.
- [7] 贾根选.高速公路路基路面病害检测技术的合理选择[J].新城建科技,2024,33(02):119-121.
- [8] 李明珊.高速公路路面病害无损检测与养护技术探析[J].交通世界,2024(Z2):73-75,79.
- [9] 穆红海,刘超权.高速公路路基路面病害检测技术研究[J].运输经理世界,2023(01):16-18.

房建工程钢筋绑扎与安装施工技术研究

张冬萍

(广西建工集团建筑工程总承包有限公司, 广西 南宁 530012)

摘要 本文围绕房建工程中的钢筋绑扎与安装施工技术展开研究, 系统探讨了钢筋绑扎与安装的工艺流程、技术要点及不同构件的施工方法, 通过分析基础、柱、梁、板等构件的钢筋绑扎与墙体、楼板、框架结构的钢筋安装技术, 提出了施工过程中应关注的关键环节与质量控制要点。研究表明, 合理的施工技术与质量控制措施能够显著提升房建工程的结构性能与施工效率。

关键词 房建工程; 钢筋绑扎; 钢筋安装

中图分类号: TU755.2

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.15.037

0 引言

当前, 房建工程中的钢筋施工技术已逐步从传统的人工操作向自动化与精细化管理转变, 但在实际应用中仍存在施工质量参差不齐、技术措施不完善等问题。因此, 对房建工程中钢筋绑扎与安装施工技术进行系统性研究, 明确各施工环节的工艺流程与技术要点, 对于提升工程质量、优化施工工艺具有重要的现实意义与学术价值。

1 房建工程中钢筋绑扎与安装施工技术概述

钢筋的绑扎是指利用铁丝将相邻的钢筋进行连接和固定的操作过程。通常采用的绑扎方法包括: 交叉绑扎、平行绑扎与套箍绑扎等。钢筋的绑扎质量直接影响到钢筋骨架的稳定性与抗震能力, 不同构件的钢筋绑扎方式有所差异, 基础钢筋、梁钢筋、柱钢筋与板钢筋的绑扎方法均需按照相应的施工规范进行。钢筋的安装是指将已加工好的钢筋按照设计图纸的要求进行定位、连接与固定的过程, 钢筋的安装方式包括现场绑扎与整体吊装两种。现场绑扎适用于普通结构构件的施工, 而整体吊装则更适用于预制构件或大型结构的施工。钢筋的安装质量对建筑结构的整体受力性能具有重要影响, 施工过程中应严格按照设计要求

进行检查与验收^[1]。在实际工程中, 钢筋的规格、布置方式与连接方式均需符合相应的设计规范与施工标准, 以确保结构设计意图的实现, 如图 1 所示。

2 房建工程钢筋绑扎施工技术

2.1 房钢筋绑扎的工艺流程

钢筋绑扎的工艺流程主要包括钢筋的下料、放样、加工、安装定位、绑扎加固等步骤。首先, 钢筋下料是整个施工过程中不可或缺的初始环节。根据设计图纸的要求, 施工人员需对原材料进行测量、切割及弯曲加工。为确保下料的精度与一致性, 通常在加工前应充分考虑钢筋的长度、直径、弯曲角度及加工工艺, 以避免产生材料浪费及尺寸偏差。加工完成后, 应对钢筋进行编号标识, 便于后续的安装与绑扎操作^[2]。

在放样过程中, 施工人员需使用专业的测量工具, 如经纬仪、激光测距仪等, 对绑扎区域进行精确定位。同时, 结合施工平面图与结构剖面图, 对钢筋的布置形式、间距要求与连接方式进行全面复核, 以确保放样工作的准确性与规范性^[3]。

在完成放样后, 进行钢筋的安装定位。通常情况下, 钢筋的安装定位主要通过设置定位筋、定位夹具或绑扎架进行支撑和固定, 以确保钢筋在绑扎过程中不发

表 1 常见的钢筋规格及其适用范围表

钢筋规格 (mm)	强度等级	适用构件	绑扎方式	抗拉强度 (MPa)
6	HPB300	板类结构	双股绑扎	300
8	HRB400	梁柱节点	十字绑扎	400
10	HRB500	基础底板	环绕绑扎	500
12	HRB600	框架柱、梁	多点固定绑扎	600
16	HRB600	受力主筋	机械连接	600

生位置偏移或变形。在实际操作中,应根据构件的类型与受力特性,选择适当的定位方法。例如,对于柱、梁等受力较大的构件,应采取加固支撑措施,以保证钢筋在浇筑混凝土时能够保持稳定状态。

钢筋的绑扎加固目的是通过绑扎工具与绑扎材料(如铁丝、绑扎扣等)将钢筋牢固连接在一起,从而形成稳定的钢筋骨架。绑扎施工的工艺方法多种多样,常用的方式包括单股绑扎法、双股绑扎法、十字绑扎法及环绕绑扎法等。根据实际工程的受力特点与施工要求,选择合理的绑扎方式尤为重要。在梁柱节点、板筋交汇处及其他应力集中的部位,通常采用双股绑扎或十字绑扎,以提高节点的稳定性与承载能力^[4]。

在绑扎施工中,应特别注意绑扎点的密度与均匀性,以避免因绑扎不当导致的钢筋松动或滑移现象。根据混凝土结构工程施工质量验收的相关规定,绑扎点的间距一般应控制在20 cm至30 cm之间,且所有交叉点均应进行绑扎,以确保结构的整体性与安全性。在钢筋绑扎完成后,应对钢筋的规格、数量、位置、间距及绑扎点的牢固性进行全面检查。通常采用目测检查与工具测量相结合的方式,对施工质量进行逐项核查。对于关键部位与重要节点,还应进行局部拆检,以确保钢筋的绑扎质量符合设计要求与施工规范。

2.2 不同构件的钢筋绑扎施工方法

2.2.1 基础钢筋绑扎技术

基础钢筋绑扎施工通常分为独立基础、条形基础与筏板基础三种形式。在施工过程中,首先应对基础钢筋进行加工与预制,根据设计要求切割并弯曲成相应的形状与尺寸。为确保基础钢筋骨架的稳定性与抗拉性能,施工时应合理布置纵向钢筋、横向钢筋与箍筋。纵向钢筋主要用于增强基础的抗拉应力,而横向钢筋与箍筋则起到固定与加强的作用。在独立基础与条形基础的施工中,应特别注意钢筋的绑扎间距与搭接长度。通常,纵向钢筋与横向钢筋的交叉点应采用双股绑扎法或十字绑扎法,以提高结点的稳定性。对于筏板基础的施工,需严格按照设计图纸的要求进行钢筋的分层与绑扎,通常采取上层钢筋与下层钢筋分离布置的方式,以形成双向受力的钢筋网片。施工中应避免钢筋的位移与变形,必要时可使用定位架或支撑架进行加固,以确保钢筋网片的平整度与均匀性。

2.2.2 柱钢筋绑扎技术

在柱钢筋绑扎过程中,纵向受力钢筋与箍筋是构件的核心组成部分。纵向钢筋通常沿柱截面的四周布置,箍筋则按照一定的间距以螺旋状或矩形封闭形式对纵向钢筋进行约束与加固。柱钢筋绑扎施工的第一

步是按照设计图纸的要求,确定纵向钢筋的数量、规格与位置。通常在绑扎过程中,使用定位筋或定位架对纵向钢筋进行固定,以防止钢筋发生位置偏移或倾斜。纵向钢筋的接头处理是柱钢筋绑扎中的重点与难点,一般采用直螺纹连接或搭接绑扎的方式进行施工。为确保钢筋接头的连接强度,搭接长度应符合相关规定,并应尽量避免在构件的受力最大区域内进行接头处理。箍筋的绑扎施工需严格控制绑扎点的间距与紧密度,通常在柱的端部与受力集中区域应适当缩小箍筋的间距,以增强柱的抗震性能与抗剪强度。

2.2.3 梁钢筋绑扎技术

在梁钢筋的绑扎过程中,主要包括纵向受力钢筋、箍筋与弯曲钢筋的布置与绑扎。纵向钢筋的布置与绑扎是梁施工的核心环节。通常情况下,梁的受力钢筋分为上部钢筋与下部钢筋两种形式,上部钢筋主要承受负弯矩作用,而下部钢筋则承受正弯矩作用。在钢筋的绑扎过程中,应特别注意梁的支座区域与跨中区域的钢筋搭接长度与位置调整,以保证受力合理与施工质量的稳定性。箍筋的绑扎通常采取密集布置的形式,以增强梁的抗剪能力。在梁端与支座附近的剪力较大区域,箍筋的间距应适当缩小,同时采用双股绑扎或十字绑扎的方式对箍筋与纵向钢筋进行加固。在一些大跨度梁或受力复杂的梁结构中,弯起钢筋的布置应符合设计要求,并应在交叉点处进行可靠的绑扎,以增强梁的整体刚度与受力性能^[5]。

2.2.4 板钢筋绑扎技术

在板钢筋的绑扎过程中,通常分为单向板与双向板两种类型。单向板的受力钢筋主要沿短跨方向布置,而双向板则在两个方向均需布置钢筋。在钢筋绑扎施工中,首先应对钢筋的间距、长度与位置进行精确控制,并确保上下两层钢筋的布置符合设计要求。对于双向板,钢筋的交叉点应采用十字绑扎的方式进行固定,以提高钢筋网片的稳定性与抗拉性能。在板的边缘与洞口区域,应增加钢筋的密度与增强绑扎点的牢固性,以增强结构的抗裂能力。板钢筋绑扎完成后,需对钢筋的平整度与间距进行全面检查,并采取必要的加固措施,以防止在混凝土浇筑过程中发生钢筋的变形与移位。通过严格控制钢筋绑扎的施工质量,可以显著提高板结构的耐久性与安全性^[6]。

3 房建工程钢筋安装施工技术

3.1 钢筋安装的工艺流程与技术要点

钢筋安装的工艺流程通常包括钢筋下料、钢筋加工、钢筋连接与安装定位等步骤。钢筋下料是钢筋安

装的前期准备工作,其目的是按照设计图纸的要求对钢筋进行切割、弯曲与成型加工。根据工程的设计规范与施工要求对钢筋进行精确的尺寸测量与标识,以确保钢筋的规格与形状符合设计要求。合理选择钢筋的加工工艺与设备,以提高钢筋加工的精度与效率。钢筋加工包括钢筋的调直、弯曲、成型与接头处理等工序。钢筋调直是为了消除钢筋在运输与储存过程中产生的弯曲与扭曲,使其具备良好的受力性能。钢筋弯曲与成型则根据设计要求将钢筋加工成所需的几何形状与尺寸。常用的钢筋弯曲形式包括直钩、弯钩与锚固弯等,不同的弯曲形式对钢筋的抗拉与抗剪性能具有不同的影响。最后,钢筋连接的方法主要包括绑扎连接、焊接连接与机械连接三种形式。

3.2 不同构件的钢筋安装施工方法

3.2.1 墙体钢筋安装技术

墙体作为建筑物的围护结构与承重构件,其钢筋布置的合理性决定了墙体的抗压、抗弯与抗剪性能。在墙体钢筋安装过程中,通常采用双层双向钢筋网片的布置形式,以增强墙体的整体刚度与抗震能力。施工过程中,首先依据设计图纸对钢筋的间距、规格与位置进行精确定位,并通过定位架与垫块的方式确保钢筋保护层的厚度符合规范要求。在钢筋绑扎过程中,应注意绑扎点的分布均匀性与连接牢固性,以防止钢筋骨架在混凝土浇筑过程中发生位移或变形。同时,对于高层建筑或剪力墙结构,应特别关注竖向钢筋的锚固长度与连接形式,常用的连接方式包括搭接连接、焊接连接与机械连接等。施工过程中应加强质量检测与验收工作,确保钢筋的安装位置、间距与保护层厚度符合设计与规范要求,从而有效提升墙体的整体受力性能与耐久性。

3.2.2 楼板钢筋安装技术

楼板作为建筑物的水平承重构件,其钢筋安装的质量直接影响到楼板的承载力、抗裂性与使用寿命。在楼板钢筋的安装过程中,通常采用双向受力钢筋的布置方式,即主筋与分布筋的合理配合,以增强楼板的抗弯与抗剪能力。施工过程中,首先应根据设计图纸准确放置底层钢筋,并通过支架或垫块保证钢筋的保护层厚度符合要求。然后,铺设分布筋,并采用十字交叉绑扎或机械连接的方式将两层钢筋网片固定。在钢筋安装过程中,应特别注意钢筋网片的平整度与间距的均匀性,避免钢筋弯曲、扭曲或错位等现象的发生。同时,对于现浇楼板与预制楼板的钢筋安装技术应区别对待,现浇楼板主要通过钢筋绑扎与模板支

撑相结合的方式安装,而预制楼板则需要在预制构件厂内完成钢筋的加工与安装,并在施工现场进行拼装与连接。施工过程中应加强钢筋接头的处理与检测,确保楼板的整体性与结构强度满足设计与规范的要求。

3.2.3 框架结构钢筋安装技术

框架结构作为建筑物的主要承重体系,其钢筋安装施工的质量直接影响到结构的抗震性能与使用安全。在框架结构的钢筋安装过程中,主要包括柱、梁与节点的钢筋安装施工。柱钢筋安装通常采用纵向钢筋与箍筋的组合形式,以增强柱的抗压与抗剪能力。施工过程中应特别注意柱钢筋的垂直度与锚固长度,并通过安装定位架或模板加固的方式确保钢筋的安装精度。梁钢筋的安装主要包括上下主筋与箍筋的布置,施工过程中应严格按照设计要求控制主筋的数量、间距与位置,并通过支架或垫块保证钢筋的保护层厚度符合规范要求。在节点区域的钢筋安装过程中,应特别注意钢筋的搭接长度与连接方式,以确保节点的受力性能与结构整体性。

4 结束语

本文系统研究房建工程中钢筋绑扎与安装施工技术,详细探讨了钢筋绑扎与安装的工艺流程、不同构件的施工方法以及质量控制措施。研究表明,不同构件的施工方法与技术要点存在显著差异,合理的施工方案与科学的管理措施能够显著提升结构的整体性能与安全性。然而,本研究在具体施工方法的优化与创新性技术应用方面仍存在不足,有待进一步深入研究。未来的研究方向应着重于施工工艺的智能化与标准化,同时结合建筑信息模型(BIM)与自动化施工技术的应用,以进一步提升钢筋施工技术的施工效率与质量。

参考文献:

- [1] 徐旭,武杰,强世伟,等.钢筋桁架混凝土组合楼承板施工技术探究[J].四川建材,2023(07):143-145.
- [2] 邢继铜.关于房屋建筑钢筋工程技术要点分析[J].产业科技创新,2022(01):74-76.
- [3] 徐玲珍.房屋建筑钢筋工程施工技术要点探讨[J].砖瓦,2022(02):139-140.
- [4] 方圆.建筑钢筋绑扎施工技术探讨[J].山西建筑,2018(32):105-106.
- [5] 唐赵松.建筑钢筋工程施工中应注意的几个问题[J].建材与装饰,2018(36):15-16.
- [6] 刘雪.浅谈建筑钢筋工程施工质量监理的必要性及其要点[J].城市建设理论研究(电子版),2017(27):137.

电力燃气设施在道路改造中的优化布局

林东贺¹, 袁宗保²

(1. 山东锦运电力工程有限公司, 山东 聊城 252000;
2. 聊城市茌平区志信液化气有限公司, 山东 聊城 252000)

摘要 道路改造是提升城市交通能力和基础设施水平的重要手段之一, 在这一过程中, 电力燃气设施的优化布局尤为关键。电力与燃气作为城市运行的核心能源, 其管网布局的合理性直接影响能源供应的稳定性和安全性。然而, 在道路改造中, 电力燃气设施往往面临空间资源有限、施工协调复杂等问题, 导致布局不合理或重复施工。因此, 如何在道路改造中科学规划电力燃气设施, 优化其布局, 成为当前城市建设中亟待解决的重要课题。本文对电力燃气设施在道路改造中的优化布局进行研究, 以期为相关人员提供参考。

关键词 电力燃气设施; 道路改造; 优化布局

中图分类号: TU994; TU996

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.15.038

0 引言

道路改造不仅是交通系统的升级, 更是城市基础设施整体优化的契机。电力燃气设施作为城市能源供应的核心组成部分, 其布局的合理性直接关系到城市运行的效率和居民生活的质量。然而, 在道路改造过程中, 电力燃气设施的规划往往面临技术标准不统一、环境影响评估不足等挑战, 导致布局不合理或潜在风险被忽视。因此, 探索电力燃气设施在道路改造中的优化布局策略, 对于提升城市能源系统的可靠性、降低建设成本以及推动城市可持续发展具有重要意义。

1 电力燃气设施的组成

电力燃气设施是城市能源供应系统的重要组成部分, 主要由电力设施和燃气设施两大部分构成。

电力设施包括发电站、变电站、输电线路、配电线路以及终端用电设备等。发电站负责将各种能源转化为电能, 变电站则用于电压的升降和电能的分配, 输电线路和配电线路将电能输送至用户端, 终端用电设备则直接为居民、企业和公共设施提供电力服务。

燃气设施则包括气源站、输气管道、调压站、储气设施以及终端用气设备等。气源站负责天然气的接收和处理, 输气管道将天然气输送至城市各个区域, 调压站用于调节气压, 储气设施则用于天然气的储存和应急供应, 终端用气设备为居民和工商业用户提供燃气服务。

电力燃气设施的合理布局 and 高效运行, 是保障城市能源供应稳定性和安全性的关键。

2 电力燃气设施在道路改造中的优化布局意义

2.1 提升能源供应效率, 保障城市运行稳定

在道路改造进程中, 对电力燃气设施布局实施优化举措, 是提升能源供应效能、保障城市稳定运行的关键环节。科学规划电力线路与燃气管道的走向, 能够显著减少能源输送过程中的损耗, 确保电力与燃气以高效、稳定的状态输送至用户端。具体而言, 优化布局可大幅缩短输电线路与燃气管道的长度, 这不仅降低了能源输送成本, 还减少了因线路过长而引发的故障风险, 增强了能源供应的安全性^[1]。同时, 合理的布局设计能够避免电力燃气设施与其他城市基础设施产生冲突, 降低了施工过程中的协调难度与维护工作的复杂性, 进一步提升了能源供应的可靠性。这种优化不仅满足了城市日常运行对能源的需求, 更为城市应对突发事件、保障能源持续供应提供了坚实支撑, 是推动城市高质量发展、实现可持续发展的重要保障。

2.2 降低建设成本, 减少资源浪费

优化电力燃气设施在道路改造中的布局是一项极具战略意义的举措, 其能够显著降低建设成本并减少资源浪费。在统筹规划的理念指导下, 可规避重复施工现象以及由此引发的资源浪费问题, 比如于道路改造阶段一次性完成电力燃气设施的铺设工作, 从根源上减少后期改造所需投入, 避免多次施工带来的资金与资源损耗。同时, 优化布局对提升空间资源利用效率大有裨益, 采用综合管廊形式便是典型例证, 将电力燃气管道与其他管线集中铺设, 极大减少了对道路空间的占用, 使有限空间得以更高效地利用。这种降

低建设成本与减少资源浪费的双重成效,能为城市基础设施建设释放更多资金与资源,为城市高质量发展注入强劲动力,推动城市在基础设施建设、功能完善以及可持续发展等多方面不断迈进,实现城市综合实力的稳步提升^[2]。

2.3 促进城市可持续发展,提升居民生活质量

优化电力燃气设施布局对促进城市可持续发展与提升居民生活质量意义重大。科学规划布局可减少电力燃气设施对环境的负面影响,如在施工过程中降低噪声和粉尘污染,有效保护周边生态环境,避免对居民日常生活造成干扰。同时,优化布局能为新能源技术应用预留空间,为太阳能、风能等可再生能源接入提供便利条件,推动城市能源结构优化升级,减少对传统能源的依赖。这种优化不仅提升了能源供应的安全性,还增强了环保性,为居民创造了更加宜居的生活环境,让居民享受到更优质、更清洁的能源服务。长远来看,这有助于增强城市的可持续发展能力,使城市在经济、社会和环境等方面实现协调发展,为城市未来发展奠定坚实基础,助力城市在高质量发展道路上稳步前行。

3 电力燃气设施在道路改造中的问题

3.1 空间资源紧张,布局难度大

在道路改造中,电力燃气设施的布局常常面临空间资源紧张的问题。城市道路地下空间有限,且已被供水、排水、通信等其他基础设施占据,导致电力燃气设施的布局难度加大。例如:电力线路和燃气管道的铺设需要满足一定的安全距离和技术要求,但在有限的空间内很难找到合适的位置。道路改造往往涉及复杂的施工环境。例如:地下管线交错、地质条件复杂等,进一步增加了布局的难度。空间资源的紧张不仅影响了电力燃气设施的合理布局,还可能导致施工进度延误和成本增加,给城市基础设施建设带来巨大挑战^[3]。

3.2 部门协调不畅,规划冲突频发

电力燃气设施的规划涉及电力公司、燃气公司、市政部门等,但由于部门间协调不畅,规划冲突频发。例如:电力线路的铺设可能与燃气管道的布局产生冲突,或者与道路改造的施工计划不一致,导致重复施工或资源浪费。各部门在规划过程中往往缺乏有效的信息共享和沟通机制,导致规划方案难以统一,增加了实施的难度。部门协调不畅不仅影响了电力燃气设施的布局效率,还可能导致安全隐患,如电力线路与燃气管道的距离过近,会增加事故发生的风险。

3.3 技术标准不统一,规划质量参差不齐

电力燃气设施的规划需要遵循严格的技术标准,

但由于技术标准不统一,规划质量参差不齐。例如:不同地区或部门对电力线路的埋设深度、燃气管道的安全距离等要求不一致,导致规划方案难以实施^[4]。此外,部分地区的技术标准相对落后,无法满足现代城市建设的需求,对新能源技术的应用缺乏明确的技术规范。技术标准不统一不仅影响了电力燃气设施的布局质量,还可能导致安全隐患。例如,燃气管道的泄漏风险增加,或者电力线路的电磁辐射超标,都会对居民健康造成威胁。

3.4 环境影响评估不足,潜在风险被忽视

在道路改造中,电力燃气设施的规划往往缺乏充分的环境影响评估,导致潜在风险被忽视。例如:施工过程中可能对周边土壤、植被和水源造成破坏,但未采取有效的保护措施。此外,燃气管道的泄漏风险、电力线路的电磁辐射等潜在问题也未得到充分评估,增加了环境安全风险。环境影响评估不足不仅影响了电力燃气设施的布局合理性,还可能导致公众对管网安全的担忧,增加了社会矛盾。忽视环境影响评估不仅增加了规划的实施难度,还可能对城市的可持续发展造成负面影响^[5]。

4 电力燃气设施在道路改造中的优化布局思路

4.1 建立跨部门协调机制,加强规划统筹

在道路改造中,电力燃气设施的优化布局需要建立跨部门协调机制,加强规划统筹。通过成立专门的规划协调小组,明确各部门的职责和任务,确保电力、燃气、市政等部门在规划过程中能够高效沟通与协作。例如:可以定期召开联席会议,讨论管网布局、施工顺序和资源分配等问题,避免因信息不对称导致的规划冲突。还可以建立统一的信息共享平台,实时更新规划进展和数据,为各部门提供决策支持。通过加强规划统筹,能够有效解决部门间沟通不畅的问题,提高管网规划的科学性和可操作性,为道路改造提供有力保障。同时,协调机制还应包括公众参与环节,听取居民和企业的意见,确保规划方案符合实际需求,减少实施过程中的阻力,进一步提升规划的可行性和社会接受度^[6]。

4.2 制定统一技术标准,规范规划流程

电力燃气设施的优化布局需要遵循严格的技术标准,因此制定统一的技术规范是确保规划质量的关键。例如:可以明确电力线路的埋设深度、燃气管道的安全距离以及管网材料的选用标准,确保规划方案符合安全性和功能性的要求。还可以引入国际先进的技术标准,结合本地实际情况进行优化,提升规划的先进性和适

用性。通过规范规划流程,能够减少因技术标准不统一导致的规划问题,提高管网建设的效率和质量,为城市能源供应提供可靠保障^[7]。同时,技术标准的制定还应考虑未来技术发展的趋势,例如新能源技术的应用和智能化管理的需求,确保规划方案具有一定的前瞻性和适应性,为城市能源系统的长期发展奠定基础。

4.3 优化空间资源配置,提高管网布局合理性

城市空间资源有限,因此在道路改造中优化电力燃气设施的布局至关重要。可以通过三维建模技术模拟地下空间的使用情况,合理分配电力燃气管网的位置,避免与其他基础设施的冲突。还可以采用综合管廊的形式,将电力、燃气、供水等管线集中铺设,提高空间利用效率。通过优化空间资源配置,能够解决管网布局难度大的问题,为城市基础设施的可持续发展提供更多可能性。同时,优化布局还应考虑城市美学和居民生活质量,例如在管网设计中融入绿化带或公共设施,提升城市整体环境的美观性和功能性,为居民创造更加宜居的生活空间^[8]。

4.4 加强环境影响评估,降低潜在风险

电力燃气设施的优化布局需要充分考虑环境影响,因此加强环境影响评估是确保规划安全性的重要措施。例如:在规划初期可以对施工区域进行详细的生态调查,评估管网建设对土壤、植被和水源的影响,并制定相应的保护措施。可以引入风险评估模型,预测燃气管道的泄漏风险、电力线路的电磁辐射等潜在问题,并采取有效的防范措施。通过加强环境影响评估,能够降低管网建设的环境风险,提升公众对管网安全的信任,为城市建设的可持续发展提供支持。同时,环境影响评估还应包括对施工过程中噪声、粉尘等短期影响的评估,并制定相应的缓解措施,减少对周边居民生活的干扰,进一步提升规划的社会效益。

4.5 引入智能化技术,提升规划效率

随着智能化技术的发展,电力燃气设施的优化布局可以借助先进技术提高效率和精度。例如:可以利用地理信息系统(GIS)和建筑信息模型(BIM)技术,对管网布局进行三维可视化分析,优化设计方案。引入大数据分析技术,预测城市能源需求的变化趋势,为管网规划提供科学依据。通过智能化技术的应用,能够减少人工规划的误差,提高规划的准确性和效率,为城市能源系统的优化提供技术支持^[9]。同时,智能化技术还可以应用于管网的后期管理和维护,例如通过物联网技术实时监控管网的运行状态,及时发现和解决问题,提高管网的安全性和可靠性,为城市能源供应提供更加稳定的保障。

4.6 注重规划的前瞻性,预留未来发展空间

城市发展具有动态性,因此电力燃气设施的优化布局需要具备前瞻性,为未来扩展预留空间。例如:在规划中可以预留足够的管道容量和接口,以适应未来能源需求的增长。考虑城市扩张和功能升级的可能性,设计灵活的管网布局方案,为未来改造提供便利。通过注重规划的前瞻性,能够避免因需求变化导致的重复施工和资源浪费,为城市基础设施的长期发展提供保障。同时,前瞻性规划还应考虑新能源技术的应用,例如为太阳能、风能等可再生能源的接入预留接口,推动城市能源结构的优化和升级,为城市的绿色发展和低碳转型提供支持。随着智慧城市建设的推进,电力燃气设施规划还需与智能电网、物联网等技术相结合,为未来能源管理系统的智能化升级奠定基础,进一步提升城市能源系统的效率和可靠性,为城市的可持续发展注入新的动力。

5 结束语

在道路改造中优化电力燃气设施的布局,是提升城市能源供应效率和保障城市运行稳定的关键举措。通过科学规划、技术创新和跨部门协作,能够有效解决当前布局中存在的问题,为城市基础设施的可持续发展提供坚实保障。随着城市化进程的加快和能源需求的增长,电力燃气设施的优化布局将继续发挥重要作用,为构建高效、安全、绿色的城市能源系统贡献力量,助力城市的可持续发展和居民生活质量的提升。

参考文献:

- [1] 黄何.电力安全韧性水平提升思考[J].中国电力企业管理,2024(15):18-19.
- [2] 王翔.浅析某小镇旧路及市政管网改造设计要点[J].石河子科技,2023(02):52-54.
- [3] 张思年.成都市温江区农村基础设施农户满意度研究[D].成都:西南财经大学,2023.
- [4] 赵明喆,李博.城市多条管线穿越既有道路变形规律研究[J].建筑结构,2022,52(S1):3159-3164.
- [5] 施倚.燃气建设经营输送使用全链条保障安全的主体责任有哪些[J].劳动保护,2022(02):96-97.
- [6] 朱兆虎.燃气专项规划有关问题的探讨[J].煤气与热力,2021,41(11):11-13,42.
- [7] 温帅.第三方施工破坏燃气管道原因分析及标准化管控措施探讨[J].城市燃气,2021(07):19-22.
- [8] 侯海迪.BIM技术在新农村规划中的正向设计应用研究[D].青岛:青岛理工大学,2020.
- [9] 范昔颖,高峰,贺兰军.浅谈老城区道路排水管网改造设计要点[J].中国勘察设计,2016(12):82-84.

高层建筑水箱减压装置的应用与优化研究

周国杰

(温州公用事业发展集团泰顺水务有限公司, 浙江 温州 325000)

摘要 随着城市化进程的加速, 高层建筑日益增多, 其供水系统的稳定性和安全性至关重要。水箱减压装置作为高层建筑供水系统的关键组成部分, 对保障各楼层合理水压起着不可或缺的作用。本文深入研究了水箱减压装置的工作原理、常见类型及其在实际工程中的应用情况, 分析了应用过程中出现的问题, 并提出了针对性的优化措施, 旨在提高水箱减压装置的运行效率和可靠性, 为高层建筑供水系统的优化设计提供参考。

关键词 高层建筑; 水箱减压装置; 设备故障; 系统设计; 维护管理

中图分类号: TU976

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.15.039

0 引言

高层建筑由于高度大, 不同楼层的水压差异显著。若供水压力过高, 会对管道、用水器具造成损坏, 增加漏水风险, 同时也会造成资源浪费; 若供水压力不足, 则无法满足高层用户的正常用水需求。水箱减压装置能够有效调节供水压力, 使各楼层获得稳定且合适的水压, 确保供水系统的安全、可靠运行, 因此对其进行深入研究具有重要的现实意义。

1 水箱减压装置的工作原理与类型

1.1 工作原理

水箱减压装置在高层建筑供水系统中发挥着关键作用, 其工作主要基于流体力学原理, 通过多种方式来降低供水压力。常见的减压方式有节流减压、利用减压阀减压以及设置减压水箱分区减压。节流减压是利用节流元件达成的, 如孔板、阀门等, 这些元件会对水流形成阻力。当水流经过节流元件时, 由于通道面积突然改变, 水流速度发生变化, 进而产生压力损失, 以此实现减压的目的。例如在一些小型建筑的局部供水系统中, 就可采用节流减压的方式。减压阀减压是一种较为智能的方式。它能够通过控制阀门开度, 依据出口压力的变化自动进行调节。当出口压力高于设定值时, 阀门开度减小; 反之, 当出口压力低于设定值时, 阀门开度增大, 从而让出口压力始终保持在设定范围内, 确保供水压力的稳定。

减压水箱分区减压则是将建筑物按高度划分为不同区域, 每个区域都设置独立的水箱。利用水箱间的水位差, 使水从高区水箱流向低区水箱, 实现压力的逐级降低。这种方式特别适用于超高层建筑, 能有效解决因建筑高度过高而导致的供水压力过大问题。这三种减压方式各有优劣与适用场景。节流减压简单但

精度低; 减压阀智能稳定; 减压水箱分区适合高层, 能协同保障供水压力合理。

1.2 常见类型

在高层建筑的供水系统中, 水箱减压装置起着至关重要的作用, 能够有效降低水压, 保障系统安全稳定运行。常见的水箱减压装置类型主要分为减压阀式减压装置和减压水箱式减压装置, 下面对其各自特点进行详细介绍。

1.2.1 减压阀式减压装置

(1) 直接作用式减压阀: 它的工作原理是依靠出口压力的变化直接作用于阀瓣。当出口压力发生波动时, 阀瓣会相应地上下移动, 以此来调节阀门的开度, 从而实现减压功能。这种减压阀具有结构简单的显著优势, 在制造过程中相对容易, 成本也较低。不过, 其调节精度相对较差。这是因为它直接依靠出口压力作用于阀瓣, 对于压力变化的响应不够精细。所以, 它比较适用于压力波动较小、对压力精度要求不高的场合。例如一些普通的多层住宅建筑, 其用水需求相对稳定, 压力波动不大, 使用直接作用式减压阀就能满足基本的减压需求, 并且可以有效控制成本。(2) 先导式减压阀: 该类型由主阀和导阀组成。导阀负责根据出口压力的变化来控制主阀的动作, 进而实现更为精确的压力调节。相较于直接作用式减压阀, 先导式减压阀调节精度高、响应速度快。在高层建筑供水系统中, 对于那些对压力稳定性要求较高的场所, 如大型医院的手术室、高档酒店的客房区域等, 先导式减压阀能够更好地满足需求。手术室的医疗设备对水压稳定性要求极高, 稍有波动就可能影响医疗操作; 酒店客房的用水舒适度也依赖于稳定的水压, 先导式减压阀能够确保这些区域的供水压力稳定, 提升使用体验^[1]。

1.2.2 减压水箱式减压装置

(1) 串联减压水箱: 采用多个水箱依次串联的方式, 水从高压水箱流向低压水箱, 每经过一个水箱, 压力就会降低一次。这种方式的减压效果十分明显, 能够将高压水逐步减压到合适的压力范围, 有效保障供水系统的安全。然而, 其也存在一些不足之处。水箱占地面积大, 需要较大的空间来安置多个水箱; 而且系统较为复杂, 涉及多个水箱和管道的连接, 维护成本相对较高。对于一些土地资源紧张的高层建筑来说, 串联减压水箱的应用可能会受到一定限制。(2) 并联减压水箱: 不同区域的水箱相互并联, 各自独立向本区域供水。每个水箱会根据所在区域的用水需求设置合适的水位高度, 利用水位差来实现减压。并联减压水箱的布置相对灵活, 可以根据建筑物的布局进行合理设置, 能够更好地适应不同建筑的特点。但它对水箱的水位控制要求较高, 如果水位控制不当, 可能会影响减压效果和供水的稳定性。例如在用水高峰期, 如果水位调节不及时, 可能会导致部分区域水压不足。

2 水箱减压装置在高层建筑中的应用实例分析

2.1 工程概况

某高层建筑总高度为100 m, 共30层, 分为低区(1-6层)、中区(7-18层)和高区(19-30层)三个供水区域。为保证各区域的供水压力稳定, 采用了减压水箱和减压阀相结合的减压方式。低区直接由市政管网供水, 中区和高区分别设置减压水箱, 并在水箱出水管道上安装先导式减压阀。

2.2 运行效果分析

通过对该建筑供水系统的实际运行监测发现, 水箱减压装置在初期能够较好地满足各楼层的用水需求, 水压稳定在合理范围内。然而, 随着使用时间的增长, 出现了一些问题。例如: 减压阀的阀芯磨损, 导致出口压力波动较大; 减压水箱的浮球阀故障, 使水箱水位控制不准确, 影响了减压效果。此外, 由于系统设计时对用水量变化的考虑不足, 在用水高峰期, 部分楼层仍出现了水压不足的情况^[2]。

3 水箱减压装置应用中存在的问题

3.1 设备故障问题

1. 减压阀的故障。减压阀作为水箱减压装置的关键部件, 其密封件老化和阀芯磨损是常见的问题。减压阀长期处于高压环境中, 其密封件会不断受到介质的侵蚀和冲刷。例如: 水中含有的杂质、化学物质等会对密封材料产生腐蚀作用, 使其弹性降低、密封性能变差, 进而导致阀门泄漏。同时, 介质的高速流动会对密封件表面造成冲刷, 加速其损坏。而阀芯在频

繁的开启和关闭动作中, 表面会逐渐磨损。当阀芯磨损到一定程度时, 就无法精确地控制阀门的开度, 从而导致减压不稳定。这不仅会影响水箱的正常减压功能, 还可能对整个供水系统的压力平衡造成破坏, 威胁到高层建筑的用水安全。

2. 减压水箱相关部件的故障。浮球阀和液位控制器是减压水箱中控制水位的重要部件, 它们一旦出现故障, 会直接导致水箱水位失控。浮球阀在长期使用过程中, 可能会出现卡滞现象。这可能是由于水中的杂质堆积在浮球阀的活动部位, 使其无法灵活转动; 或者是浮球阀本身的机械结构出现损坏, 导致其不能正常关闭或开启。当浮球阀关闭不严时, 水箱会持续进水, 最终导致溢水; 而当浮球阀无法正常开启时, 水箱水位会过低, 影响供水。液位控制器的失灵也是一个严重的问题, 它无法准确反馈水箱水位信息, 使得工作人员难以对水箱水位进行有效的监控和调节, 从而影响整个供水系统的正常运行。

3.2 系统设计不合理

1. 减压装置的选型和参数设置不当, 无法满足实际用水需求。例如, 减压阀的流量过小, 在用水高峰期无法提供足够的水量; 减压水箱的容积设计不合理, 不能有效调节水量和压力波动。

2. 对建筑物不同区域的用水特点和变化规律考虑不足, 导致供水压力分配不均衡。不同楼层的用水时间和用水量存在差异, 若系统设计未充分考虑这些因素, 可能会出现部分楼层水压过高或过低的情况。

3.3 维护管理不到位

1. 缺乏定期的设备维护和保养, 导致设备性能下降。减压阀、浮球阀等部件需要定期清洗、检查和更换易损件, 但在实际运行中, 由于维护管理工作不到位, 很多设备长期未进行维护, 影响了其正常运行^[3]。

2. 对供水系统的运行监测不及时, 无法及时发现和处理问题。部分高层建筑没有建立完善的供水系统监测机制, 不能实时掌握水箱水位、水压等参数的变化, 当出现故障时难以及时发现和解决, 影响了居民的正常用水。

4 高层建筑水箱减压装置的优化策略

4.1 设备改进与维护

在高层建筑水箱减压装置的优化中, 设备的改进与维护至关重要。

1. 在设备选用方面, 应挑选质量可靠、性能优良的减压设备。对于减压阀而言, 采用耐腐蚀、耐磨的材料制造阀芯和密封件是关键。例如: 使用陶瓷等高性能材料制作阀芯, 其硬度高、耐磨性好, 能有效减

少阀芯在频繁动作中的磨损;选用氟橡胶等耐化学腐蚀的材料作为密封件,可抵御水中化学物质的侵蚀,从而提高设备的使用寿命和可靠性。同时,要建立完善的设备检查和维护制度,定期对设备进行全面检查。一旦发现密封件老化、阀芯磨损等问题,及时进行更换,确保减压阀始终处于良好的工作状态。

2. 对减压水箱的浮球阀、液位控制器等部件进行优化升级也不容忽视。采用先进的智能控制技术能显著提高水位控制的精度和可靠性。以智能液位传感器为例,它可以实现对水箱水位的实时监测,并将数据远程传输到控制中心。当水位出现异常,如过高或过低时,系统会及时发出报警信号,并自动采取相应的调整措施,如开启或关闭进水阀门,保障水箱水位稳定,进而确保整个供水系统的正常运行。

4.2 系统优化设计

在水箱减压装置的设计阶段,就应充分考虑系统的优化。

1. 要综合考虑建筑物的用水需求、高度、布局等多种因素,合理选择减压方式和设备参数。通过精确的水力计算,确定减压阀的流量、减压比以及减压水箱的容积和数量。例如:对于用水量大、楼层高的高层建筑,应选择流量大、减压比合适的减压阀,并根据实际情况合理设置减压水箱的数量和容积,以满足不同工况下的供水要求。

2. 采用分区供水与变频调速相结合的方式是优化供水系统的有效手段。根据不同区域的用水特点 and 变化规律,实时调整供水压力和流量。在用水高峰期,通过提高水泵转速增加供水量,保证各楼层都有充足的水量供应;在用水低谷期,降低水泵转速,减少能源消耗,实现节能的同时,维持各楼层水压的稳定。这种方式既能提高供水的效率和质量,又能降低运行成本,实现经济效益和社会效益的双赢^[4]。

4.3 加强维护管理

1. 完善维护管理制度。为确保高层建筑水箱减压装置稳定运行,建立健全供水系统的维护管理制度是基础。首先要明确维护人员的职责和工作流程,让每个维护人员清楚自己的工作内容和责任范围,避免出现工作推诿现象。制定详细且科学的维护计划是关键,其中应涵盖设备的清洗、检查、调试和维修等各项内容。例如:规定每隔一定时间对减压阀进行拆卸清洗,去除内部杂质,防止堵塞影响减压效果;定期检查密封件的状态,判断是否需要更换。同时,要做好维护记录,详细记录每次维护的时间、内容、发现的问题及处理结果等信息。这些记录不仅有助于跟踪设备的运行状况和维护历史,还能为后续的维护工作提供参考依据,

便于及时发现设备的潜在问题和规律。

2. 强化运行监测。加强对供水系统的运行监测是保障水箱减压装置正常工作的重要手段。安装在线监测设备是实现实时监测的基础,通过这些设备可以采集水箱水位、水压、流量等关键数据。利用先进的信息化技术,建立供水系统监控平台,将采集到的数据传输到平台上进行集中管理和分析。维护人员可以通过监控平台实现对系统运行状态的远程监控,无论身处何地都能及时了解设备的运行情况。同时,通过对数据的分析,能够及时发现潜在的问题。例如:如果发现水箱水位异常波动、水压突然变化等情况,系统可以自动发出警报,提醒维护人员及时进行处理,避免问题进一步恶化,影响供水系统的正常运行^[5]。

5 结束语

水箱减压装置在高层建筑供水系统中扮演着不可或缺的角色,其运行效果的好坏直接关系到居民的日常生活质量和建筑物的安全。本文在分析水箱减压装置的工作原理、类型、应用实例以及所存在的问题后,提出了一系列针对性的优化措施。在设备改进与维护方面,选用优质材料制作设备部件、定期检查维护以及对关键部件进行优化升级,能有效提高设备的可靠性和使用寿命。系统优化设计则通过合理选择减压方式和设备参数、采用分区供水与变频调速相结合的方式,确保系统满足不同工况下的供水需求,实现节能和稳定供水的目标。而在加强维护管理方面,通过完善制度和强化监测,能及时发现并解决潜在问题,保障设备的稳定运行。这些优化措施的实施,对于提高水箱减压装置的运行效率和可靠性具有重要意义,能够确保高层建筑供水系统稳定、安全地运行。未来,随着科技的持续进步和建筑行业的蓬勃发展,水箱减压装置必将朝着智能化、高效化的方向迈进,为高层建筑供水提供更加优质、可靠的解决方案,满足人们对高品质生活用水的需求。

参考文献:

- [1] 焦泽波. 高层建筑施工管理的质量通病及控制措施[J]. 大众标准化, 2023(16):19-21.
- [2] 林金栋. 刍议高层建筑水电安装施工技术要点[J]. 河南建材, 2019(04):15-16.
- [3] 李士全. 高层建筑机电安装施工技术及其难点[J]. 中国厨卫, 2023, 22(05):66-67.
- [4] 邹家俊. 房建建筑水电安装施工技术要点分析[J]. 工程机械与维修, 2021(04):220-221.
- [5] 戴云. 高层建筑水电安装施工技术要点探讨[J]. 住宅设施, 2021(06):105-106.

高层建筑给排水施工技术难点与优化对策研究

祝嗣伸, 马玉笑

(山东伸达建设集团有限公司, 山东 菏泽 274000)

摘要 本文结合高层建筑的特点, 系统分析了供水、排水、消防给水及智能化施工中的关键难题, 并针对性地提出了优化对策: 通过分区供水与变频供水技术优化供水系统, 采用低噪声管道及高效通气系统改进排水设计, 优化消防供水增压稳压技术, 并引入BIM和智能监测系统提升施工管理精度, 旨在为有效提高给排水系统的施工质量和运行稳定性提供参考。

关键词 高层建筑; 给排水; 供水系统施工; 排水系统施工; 消防给水施工

中图分类号: TU82; TU974

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.15.040

0 引言

建筑高度的增加使得给排水系统的设计与施工变得更加复杂, 对供水压力、排水系统效率、消防安全及智能化管理提出了更高的要求。高层建筑供水系统需要确保高层用户水压稳定, 同时避免低层用户水压过高的问题, 排水系统则需兼顾高效排放和噪声控制。绿色建筑和智能建筑的发展趋势也要求给排水系统具备节能、环保和智能化管理的能力, 以提升整体建筑性能。

1 高层建筑给排水施工技术难点分析

1.1 供水系统施工难点

高层建筑由于高度较大, 供水系统面临水压分布不均的问题。高层用户会出现水压不足, 而底部用户则会遭遇超压, 导致管道受损或漏水。传统单一供水方式难以满足高层建筑不同楼层的水压需求, 管道内水锤效应的控制也是高层供水系统中的一项重要挑战, 若控制不当, 会导致管道震动、损坏甚至爆裂, 影响供水系统的稳定性。

高层建筑供水管道需具备较强的耐压性、耐腐蚀性和长期稳定性, 常用的管道材料包括不锈钢管、铜管、PPR管和复合管等^[1]。不锈钢管耐腐蚀性强但成本较高, PPR管轻质经济但耐压能力相对较弱, 而复合管兼具多种优点, 但施工要求较高。长期使用中水质的变化、管道结垢和老化问题也会影响管网的使用寿命, 需在施工阶段提前考虑防护措施。

1.2 排水系统施工难点

高层建筑排水系统的选择需在重力排水与虹吸排水之间权衡, 传统重力排水方式依赖于管道的坡度及水流自身重力进行排放, 适用于大部分建筑, 但在高

层建筑中会因管道垂直高度大、排水流速快而导致负压现象, 引发水封破坏或排水不畅。虹吸排水则通过特殊的管道设计和气流调节, 能够快速高效地排水, 但其施工要求较高, 对管道材料、接口密封性及系统整体匹配性要求严格。在高层建筑施工中, 如何选择合适的排水方式并确保系统的高效性和稳定性, 是排水施工的一大难点。

高层建筑的排水系统噪声主要来源于水流冲击管壁、气流扰动及管道共振等因素。由于高层建筑排水高度较大, 水流速度快, 管道内会形成湍流, 使噪声问题尤为严重, 直接影响住户的居住舒适度。尤其是在卧室、客厅等安静环境区域, 如果排水噪声过大, 会降低住宅的整体品质。在实际施工中, 如何在保证排水顺畅的前提下有效降低噪声仍然是一个关键挑战。

1.3 消防给水施工难点

高层建筑对消防供水系统的水压和稳定性要求极高, 一旦发生火灾, 消防系统必须在短时间内提供足够的水量和压力, 确保灭火设备正常运行。由于高层建筑高度较大, 水压衰减问题严重, 尤其是在顶层或偏远区域, 会出现水压不足的情况, 影响灭火效果^[2]。消防供水系统与生活供水系统通常是独立的, 如何在紧急状态下迅速启动消防供水, 确保其稳定性, 成为施工中的一大挑战。高层建筑的供水系统受到地形、供水方式及设备运行状况的影响, 施工过程中需综合考虑多方面因素, 以确保系统可靠性。

高位消防水箱是高层建筑消防供水的重要组成部分, 通常设置在建筑物的顶部或专门的设备层, 以提供稳定的消防用水。水箱的安装涉及高空作业, 施工过程中需特别注意安全防护, 防止高空坠落、材料运输困难等问题。增压稳压设施如消防泵、稳压泵等设

备的安装调试较为复杂,涉及电气控制、流体动力学等多个领域,施工过程中需要确保设备合理布置,避免占用过多建筑空间,并且要保证其能在火灾发生时迅速响应,确保消防水流稳定。

1.4 智能化与节能施工难点

BIM 技术与智能监测技术在高层建筑给排水施工中的应用日益普及,在实际施工过程中,仍然存在数据采集不精准、管理系统对接困难等问题^[3]。由于施工现场环境复杂,实时监测水流压力、流速、温度等参数需要高精度传感器,而部分施工区域信号覆盖不佳,导致数据采集受限。BIM 技术虽能提供精确的三维建模,但在给排水施工中,需要与物联网设备、智能控制系统对接,现有软件和硬件之间的兼容性问题导致数据整合难度大。施工进度、设备安装变更等信息需要实时更新到 BIM 系统,而由于人工输入滞后或数据传输不稳定,导致施工管理决策信息不准确。

传统管道设计通常基于常规用水设备,而节水设备的低流量特性会导致管道流速降低,从而影响排水顺畅,甚至引发管道堵塞问题。高层建筑的雨水回收系统涉及雨水收集、过滤、储存、输送等多个环节,如何在有限空间内合理布置管道并确保回收水质达标是一个较大的挑战。部分节水设备需要智能控制,但其与供水系统的联动会存在延迟或控制精度不足的问题,影响用户体验。

2 高层建筑给排水施工优化对策

2.1 供水系统优化对策

1. 分区供水与变频供水技术优化。高层建筑由于高度较大,传统单一供水方式难以满足水压稳定性和能耗控制需求,可通过分区供水与变频供水技术优化供水系统,以提高供水效率和可靠性。依据建筑高度、水压需求、用户用水量分布,将供水系统划分为多个压力分区。采用变频供水泵组,结合智能压力传感器和控制系统,实时监测用水需求,动态调整水泵运行频率,避免超压或供水不足的问题,同时降低能耗^[4]。在高层建筑的顶层或中间层设置高位水箱或稳压罐,形成缓冲储水,提高供水稳定性,减少水泵启停次数,延长设备使用寿命。

2. 新型管道材料应用。聚丙烯随机共聚管适用于冷热水供应,具有良好的耐热性、抗冲击性、耐腐蚀性,且管道内部光滑,降低水垢沉积,延长使用寿命。交联聚乙烯管具有高柔韧性、抗冻性强的特点,适用于冷热水输送系统,同时耐高温、耐高压,可适应复杂环境。复合管,如不锈钢—塑料复合管、铝塑复合管,

结合了金属与塑料材料的优点,兼具耐高温、抗冲击、耐腐蚀、强度高特性,特别适用于高层建筑的压力供水系统。

3. 智能水泵系统调节。在高层建筑供水系统中,智能水泵系统可以根据用水需求自动调整水泵的运行频率,使供水量与用水需求匹配,避免高峰期水压不足或低峰期能耗过大问题,提高系统能效。安装实时水压监测传感器,动态调整水泵启停状态,保障供水压力恒定。智能水泵系统可结合大数据分析 with 远程监测技术,对水泵运行状态进行智能诊断,提前预警设备故障,降低维护成本。

2.2 排水系统优化对策

1. 优化排水系统设计。高层建筑的排水系统需要兼顾排水效率、管道稳定性及维护便利性,优化排水设计时,可结合重力排水与虹吸排水,提高排水能力并减少管道堵塞风险。重力排水适用区域适用于普通生活污水排放,通过管道坡度优化和大口径排水管道,减少排水阻力,提高水流速度,避免淤积^[5]。针对高流量雨水排放或卫生间排水,可引入虹吸排水系统,减少管道直径需求,提高排水速度,并减少高层建筑中的排水噪声问题。合理规划排水管道走向,减少弯头、竖管转折点,降低局部阻力损失,提高排水流畅性。

2. 优化排水系统设计。高层建筑排水时,水流速度较快,特别是在竖管中易产生较大噪声,影响居住舒适性,可通过管道材料选择与优化布设降低排水噪声。采用低噪声管道材料,如阻尼层复合管或内衬吸音材料的 UPVC 管,可有效减少水流噪声,球墨铸铁管具有较好的隔音效果,适用于竖向主排水管道。增加管道隔振措施,在管卡、管托处使用橡胶垫,减少震动传递。错层排水设计可以避免卫生间排水管道正对下层卧室、客厅,降低排水噪声干扰。在竖管管井内增加吸音材料包裹,如隔音棉或石膏板封装,提高降噪效果。

3. 高效通气系统设计。通气系统在高层建筑排水系统中起到平衡压力、防止水封破坏、避免排水不畅的重要作用,优化通气系统设计,有助于提高排水效率,减少异味倒灌。通过特殊导流设计,实现污水与空气流道分离,无需额外设置通气立管,节约管道空间,降低施工成本。通过负压辅助排水装置,可加速污水排放,减少排水不畅问题,特别适用于超高层建筑,结合智能监测系统,实时调节管道内压力,保障水封稳定,防止臭气溢出。合理布置排水通气立管,降低排水系统内气压波动,利用屋面通气管和室内排水管分流,避免高层低层排水互相干扰。

2.3 消防给水系统优化对策

1. 高效增压稳压供水技术。传统消防供水依赖单一高位水箱和集中式泵站,导致高层水压不足、低层水压过高。采用分布式变频加压泵组,根据楼层需求动态调节压力,提高供水均衡性。结合压力传感器和智能控制系统,实时监测供水压力,自动调整增压设备运行状态,确保压力稳定。分布式加压稳压设备适用于超高层建筑,能有效降低能耗,同时减少高位水箱的体积,优化建筑空间利用。采用消防分区储水和应急供水系统,在高、中、低区分别设立消防水池,提升供水安全性,结合雨水收集系统,在紧急情况下可作为消防用水储备,提高水资源利用率^[6]。

2. 新型耐火管材应用。消防管道长期处于高压状态,并在火灾高温环境下需要保持完整性。304或316L不锈钢管,具有耐高温、耐腐蚀、耐高压的特点,适用于消防主供水管网,相比传统镀锌钢管,不锈钢管使用寿命更长,减少维护成本。球墨铸铁管具有高强度、耐高温、抗震能力强的优点,适用于地下消防供水管网,可结合柔性接口技术,减少地基沉降对管道系统的影响,提高稳定性。

3. 优化消防管网布局。消防管网的布局影响供水效率和施工难度,利用BIM技术可提高施工精度,优化管道布设。BIM技术通过三维建模,模拟水流分布,优化管道走向,减少不必要的弯头和阻力损失。可以提前发现管道与建筑结构、电气系统的冲突,减少施工变更,提高施工效率。通过动态模拟消防供水压力,优化管网布局,提高供水均匀性。采用预制装配式消防管道,减少现场焊接工作,提高施工质量。分区布置消防立管,确保不同区域的消防供水独立运行,提高系统可靠性。合理布置阀门与检修口,确保管网维护便捷,减少长期运行风险。

2.4 智能化与节能优化对策

1. BIM技术和智能监测系统深度融合。BIM技术可用于三维建模、施工仿真、碰撞检测、施工管理等方面,提高施工精度和效率。通过BIM建模对供水、排水等进行综合分析,避免交叉冲突,优化管线布设。进行水力计算,可以确保管径、流速、压力分布合理,避免局部水压过高或过低的情况。在施工阶段,BIM技术可与智能传感器结合,实时监测管道安装精度、焊接质量等,降低施工误差。结合智能水表、流量计、压力传感器,在运营阶段实时监测供排水系统运行状态,实现远程监控与故障预警。施工完成后,BIM模型可用于管网维护与智能调度,提高运营管理水平。

2. 节水器具与管道系统优化匹配。高层建筑给排水系统的节能优化,不仅涉及管网设计,还包括节水器具与管道系统的协调配合。采用低流量节水龙头、感应水龙头、节水马桶、智能用水控制系统,减少不必要的水资源消耗。选用低阻力、高耐久性管材,可减少水流阻力,提高输水效率,合理设计管道直径,避免管径过大导致水流速下降、过小导致水阻增加和能耗上升^[7]。结合智能水力平衡阀,动态调节管网水力分布,减少水力不均导致的浪费。

3. 精细化施工管理技术应用。在高层建筑施工过程中,采用智能化施工管理技术,有助于提升工程质量和施工效率,同时减少资源浪费和施工风险。采用物联网、BIM技术、大数据技术,建立施工过程数据监测系统,优化施工进度安排。结合二维码追踪技术,对管道材料、阀门、设备等进行全过程追踪,提高材料管理精度。采用预制装配式管道施工,在工厂预制管道模块,减少现场焊接工作,提高施工速度和质量。通过BIM和激光扫描技术,对已安装管道进行数字化复测,确保管道安装符合设计标准。

3 结束语

在高层建筑给排水施工中,通过优化供水系统,采用分区供水与变频技术可以提升水压稳定性。在排水系统方面,结合重力排水与虹吸排水可提升排水效率,采用低噪音管道降低噪声干扰。在消防给水中,应用高效增压稳压技术可确保供水稳定性。在智能化与节能施工方面,利用BIM和智能监测技术提升施工精度,可提高施工管理的精细化水平。

参考文献:

- [1] 王玉男.高层住宅建筑给排水系统施工技术要点分析[J].中国住宅设施,2024(08):150-152.
- [2] 王跃儒.关于高层建筑给排水施工技术要点的研究[J].四川建材,2024,50(07):216-218.
- [3] 李国浩.高层建筑给排水常见问题及解决方案[J].城市建设理论研究(电子版),2023(24):97-99.
- [4] 吕晓红.高层建筑给排水施工难点与解决方法分析[J].中国建筑金属结构,2023,22(05):76-78.
- [5] 杨海燕.建筑给排水施工技术及其注意事项探讨[J].佛山陶瓷,2023,33(02):106-108.
- [6] 章鲁佳.高层建筑工程给排水施工内容与技术要点分析[J].房地产世界,2022(08):93-95.
- [7] 蔡凯.高层建筑给排水工程施工技术[J].工程机械与维修,2021(02):114-115.

基于物联网的水资源实时监测与调度技术研究

李晶莹, 岳云奎

(黄河水利委员会山东水文水资源局, 山东 济南 250000)

摘要 水资源是社会经济可持续发展的重要保障, 但受气候变化与人类活动的影响, 水资源短缺和分配不均问题日益突出。传统的水资源监测与调度方式存在响应滞后、信息化程度低、数据孤立等问题, 难以满足现代水资源管理的需求。物联网技术凭借其高度自动化、实时监测和智能分析的优势, 为水资源管理提供了全新的技术手段。本文研究了基于物联网的水资源实时监测系统的组成与关键技术, 分析了传感器数据采集、无线通信、数据处理与异常检测等核心环节, 并探讨了智能调度方法在优化水资源配置中的作用, 以期为提高水资源管理的精细化与智能化水平提供借鉴, 进而优化水资源配置, 促进其可持续利用。

关键词 物联网; 水资源管理; 实时监测; 智能调度; 数据分析

中图分类号: TP393; TV213.9

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.15.041

0 引言

水资源的高效管理对社会经济的可持续发展至关重要, 但受气候变化、人口增长及工业化进程加快等因素影响, 水资源短缺与分配不均问题日益严峻。传统的水资源监测与调度依赖人工巡检和经验决策, 存在数据采集滞后、调度响应缓慢、优化能力不足等局限, 难以满足现代化精细管理的需求。物联网技术的快速发展为水资源管理提供了新的技术手段, 通过传感器网络、无线通信、大数据分析等, 实现水资源状态的实时感知、远程传输及智能决策, 显著提高监测精度和调度效率。在实际应用中, 基于物联网的水资源管理系统可对水质、水量等参数进行连续监测, 并结合智能调度算法优化水资源配置。

1 物联网在水资源监测中的应用

1.1 物联网技术概述

物联网 (IoT) 凭借智能传感器、无线通信、大数据分析和人工智能技术, 在水资源管理中展现出巨大潜力。该技术体系由感知层、网络层和应用层构成。感知层通过水质、水量、流速、温度等传感器获取关键参数, 实现实时监测。网络层采用 NB-IoT、LoRa、5G、Wi-Fi 等通信方式, 确保数据稳定高效传输。应用层基于云计算和人工智能处理数据, 提供远程监测、自动预警和智能调度功能。物联网技术使水资源监测从传统人工巡检模式转向实时、精准、智能化管理, 提高资源利用效率。

1.2 水资源实时监测系统的组成

物联网水资源监测系统主要由智能传感器网络、

数据采集与传输模块、云计算分析平台、远程监控系统及智能调度系统组成。智能传感器网络分布于河流、水库、地下水系统及供水管网, 利用 pH、溶解氧、电导率、超声波水位及流量传感器获取数据, 确保监测的全面性与准确性。数据采集与传输模块采用 NB-IoT、LoRa、5G 等无线通信技术, 将监测数据远程传输至云端, 同时结合边缘计算提升数据处理效率^[1]。云计算分析平台通过人工智能和大数据技术存储、分析水资源数据, 提供趋势预测和优化建议。远程监控系统基于 GIS 可视化呈现水资源状况, 并在检测到异常时自动预警, 提高应急响应能力。智能调度系统结合气象预测、历史用水数据和实时监测信息, 优化水资源配置, 减少浪费, 提升利用效率。

1.3 水资源数据分析与异常检测

高效的数据分析和异常检测能力是物联网水资源监测系统的核心。基于机器学习的水资源数据分析利用回归分析、支持向量机 (SVM) 及长短期记忆网络 (LSTM) 等算法, 提高水资源预测精度和调度科学性^[2]。异常检测技术通过 Z-Score、箱型图识别极端值, K-means 聚类分析检测异常数据模式, ARIMA 和 LSTM 等时序分析方法预测突发变化, 如水污染或水位骤降, 增强系统预警能力。GIS 技术可直观展示水污染分布、水流变化等信息, 使管理者迅速掌握水资源状况, 并基于数据趋势制定科学决策。Hadoop、Spark 等大数据平台支持海量数据存储和处理, 确保数据分析的实时性与精准度。物联网技术的深度融合, 使水资源监测向智能化、动态化发展, 为精细化水资源管理提供了强有力的技术支撑。

2 基于物联网的水资源实时监测技术

2.1 物联网水资源监测系统架构

物联网水资源监测系统采用分层架构设计, 涵盖感知层、网络层、平台层和应用层, 以确保数据采集、传输、存储和应用的高效协同。感知层由分布式部署的水质、水位、流量及环境传感器组成, 实现水资源状态的实时监测。网络层利用 NB-IoT、LoRa、5G 等无线通信技术或光纤网络, 将监测数据传输至平台层。平台层基于云计算、大数据分析和人工智能技术, 对数据进行存储、处理与分析, 识别异常状况并提供优化建议。应用层则通过远程监控、数据可视化、智能预警和调度优化等功能, 为水资源管理提供决策支持。例如, 在流域污染监测中, 系统可实时采集水体污染数据, 并通过智能分析预测污染扩散趋势, 及时向管理部门推送预警信息, 提高水环境治理的响应能力。

2.2 智能传感器技术

智能传感器是水资源监测的核心部件, 具备自动采集、数据预处理和远程传输等功能, 能够提高监测的精准度和稳定性。常见传感器包括 pH 传感器、溶解氧传感器、电导率传感器和浊度传感器, 主要用于水质监测; 超声波水位传感器、雷达水位计及流量传感器则广泛应用于水文监测。近年来, 智能传感器正朝着微型化、低功耗、高稳定性和自校准方向发展, 部分高精度传感器已集成边缘计算功能, 可在本地进行初步数据分析, 减少数据冗余, 提高传输效率。例如: 光纤传感技术已成功应用于长距离水质监测, 可在复杂水环境下提供高精度数据, 同时降低维护成本。

2.3 无线通信技术

无线通信技术是物联网水资源监测系统的关键环节, 影响数据传输的稳定性、覆盖范围和能耗表现。不同应用场景采用不同的通信方式, 以适应环境特点和数据需求。NB-IoT 适用于远程低功耗监测, 如地下水资源管理; LoRa 因具备长距离传输和低能耗特性, 适合用于农业灌溉系统或山区水资源监测; 5G 技术凭借高带宽、低延迟优势, 可用于城市供水管网的实时监控; 而卫星通信则适用于偏远地区的水文监测, 确保数据的全球覆盖与稳定传输^[3]。例如: 在山区河流监测项目中, 由于地形复杂、基站覆盖有限, 研究人员采用 LoRa 通信技术, 实现低功耗、长距离数据传输, 有效克服了传统通信方式的局限性。

2.4 数据采集与传输技术

高效的数据采集与传输技术是物联网水资源监测

系统运行的基础, 决定了系统的数据精度、实时性和稳定性。在数据采集环节, 智能传感器定期测量水质、水位、流速等参数, 并通过边缘计算技术进行本地预处理, 筛选异常数据, 减少冗余传输, 提高响应速度。在数据传输过程中, 采用 MQTT、CoAP 等轻量级协议优化数据流管理, 不仅能降低带宽占用, 还能提高数据包的稳定性和安全性。在关键水资源区域, 为确保监测数据的稳定传输, 常采用双重通信机制, 如无线通信与光纤网络结合, 以增强系统的容错性和可靠性。例如: 在大型水库管理系统中, 通过边缘计算网关对传感器数据进行初步分析, 仅将异常情况上传至云端, 大幅降低带宽消耗, 并提升数据处理效率。

3 基于物联网的水资源智能调度技术

3.1 水资源调度的基本理论

水资源调度的核心目标是优化水资源的分配和利用, 以满足农业、工业、生态及生活等多领域的用水需求, 同时降低水资源浪费, 提高系统的运行效率。传统的水资源调度方式主要依赖人工经验和历史数据, 难以适应水资源时空分布不均、需求变化复杂的现实情况。气候变化、人口增长及经济发展进一步加剧了水资源调度的不确定性, 使得传统方法在精准性和灵活性上存在明显不足。

智能调度技术的引入, 为水资源管理提供了更为科学的解决方案。基于物联网的智能调度系统能够实时监测水资源的供需状况, 并结合数学优化模型和人工智能技术, 动态调整供水策略, 提高水资源的利用效率。智能调度理论体系主要包括两类模型: 确定性优化模型和不确定性优化模型。确定性优化模型适用于供需关系稳定、外部变量相对可控的情况, 主要采用线性规划、动态规划、网络流模型等方法求解最优调度方案。在实际应用中, 水库调度、城市供水系统优化等常采用此类方法, 以实现水资源的均衡配置。不确定性优化模型则考虑到气象变化、水资源突发状况及供需波动等因素, 结合随机优化、模糊优化和强化学习等技术, 提高调度方案的适应性。例如: 基于马尔可夫决策过程 (MDP) 的水资源调度模型, 可在不同气象条件和水库水位波动情况下, 自主调整供水策略, 提升系统的鲁棒性和响应能力。

3.2 物联网赋能的智能调度方法

物联网技术为水资源智能调度提供了数据支撑和自动化能力, 使得调度系统能够基于实时监测数据进行优化决策。数据驱动调度、优化算法调度和智能预

测调度是当前物联网水资源智能调度的主要方法。

数据驱动调度依托物联网传感器实时获取水位、水质、流量等关键信息,并结合历史数据分析,形成动态调度方案。实时监测技术的进步,使得水资源管理系统能够在短时间内完成数据采集、处理和反馈,实现供需平衡的动态调整。例如:在农业灌溉管理中,基于传感器网络和气象数据的智能灌溉系统可以根据土壤湿度、蒸发量及降雨预报,自动调整灌溉量,避免水资源浪费,同时提高作物产量。

优化算法调度利用数学优化方法,在复杂供需条件下求解最优水资源分配策略。遗传算法、粒子群优化算法(PSO)、蚁群算法(ACO)等智能优化技术在水资源调度中得到了广泛应用。这些算法能够在大规模、多变量的调度问题中找到最优解,提高水资源利用率,并降低调度成本^[4]。例如:在城市供水网络优化中,粒子群优化算法可以用于计算最优供水路径和压力分配,减少管网泄漏和能耗,提高供水效率。

智能预测调度则依靠深度学习和强化学习方法,对未来用水需求和供水能力进行预测,并提前调整调度策略。基于长短期记忆网络(LSTM)的预测模型,可以利用历史用水数据和气象信息,精准预测未来供水需求,优化水库调度方案,提高水资源利用效率。深度强化学习(DRL)技术能够在复杂环境下,自主学习最优调度策略,使系统具备自适应能力。

3.3 水资源调度系统的构建与实现

基于物联网的水资源智能调度系统由数据采集层、计算分析层和控制执行层组成,各部分相互协同,确保调度的实时性、精准性和可靠性。

数据采集层通过分布式传感器网络获取水位、流量、水质、降水量等关键数据,并通过 LoRa、NB-IoT 或 5G 网络进行无线传输。水资源调度的精准性依赖于数据的全面性和实时性,因此,采集系统需具备高精度、低能耗和稳定传输能力。云计算与边缘计算的结合,使得部分数据在本地完成处理,仅上传关键信息,减少网络负荷,提高数据传输效率。

计算分析层负责数据的存储、处理和调度优化。基于大数据分析和人工智能技术,该层可进行数据异常检测、趋势预测和智能优化计算。GIS(地理信息系统)可视化技术用于展示水资源的空间分布及调度方案,使管理人员能够直观掌握系统运行状况。优化算法和机器学习模型在计算分析层发挥核心作用,确保调度决策的科学性和高效性。

控制执行层通过远程控制技术,实现调度方案的

精准执行。智能水阀、泵站控制系统和水库闸门可根据调度指令自动调整供水量,优化水资源配置。例如:在城市供水系统中,智能调度系统可根据用水高峰期和低谷期,动态调整供水量,降低能源消耗,提高供水稳定性^[5]。智能调度系统的核心功能包括实时监测、智能预测、动态优化和自动执行。在实时监测阶段,物联网传感器对水资源状态进行连续监测,并通过异常检测算法识别突发情况,如管网泄漏或水质污染。智能预测阶段利用深度学习和时间序列分析技术,预测未来供需变化,提前制定调度预案。动态优化阶段基于数学优化模型,计算最优调度策略,减少水资源损耗,提高供水效率。自动执行阶段结合工业自动化控制系统,远程调整水资源配置,确保调度方案的高效执行。

4 结束语

水资源的合理管理和高效调度是实现可持续发展的关键,物联网技术的应用为水资源的实时监测与智能调度提供了新的解决方案。通过智能传感器、无线通信、大数据分析和优化算法的结合,物联网不仅提升了水资源监测的精准度和响应速度,也为智能调度提供了科学决策依据。水资源的时空分布不均、供需变化复杂性以及突发性问题,要求调度系统具备更强的适应性和自学习能力。人工智能、边缘计算和区块链等前沿技术的融入,将进一步提高系统的智能化水平和数据安全性,推动水资源管理向更高效、更精准、更可持续的方向发展。在智慧水务建设的趋势下,物联网技术的深入应用将促使水资源管理模式从被动响应向主动预测、从经验决策向数据驱动、从传统调度向智能优化演进,助力全球水资源的科学配置和可持续利用,为生态保护、经济发展和社会稳定提供坚实保障。

参考文献:

- [1] 聂雄.基于物联网的工业供水管网监测系统及用水量预测研究[D].淮南:安徽理工大学,2024.
- [2] 赵引弟,张鹏.智能化水库管理技术在水资源调配中的应用[J].水上安全,2025(02):73-75.
- [3] 张玉明.水文水资源监测现状及数据维护管理措施[J].水上安全,2023(06):31-33.
- [4] 徐旭栋,陈伟利.基于物联网技术的水质远程监测系统[J].电器工业,2025(01):73-76,81.
- [5] 孙博阳.基于物联网技术的水资源利用平台在智慧水务领域的运用[J].产业创新研究,2024(24):59-61.

建筑工程大体积混凝土裂缝成因及控制技术研究

李梅

(蒙城宝城建工有限公司, 安徽 亳州 233500)

摘要 大体积混凝土裂缝关系到建筑工程的结构稳定与安全性,是现代建筑工程项目中重点关注的内容。本文以建筑工程大体积混凝土裂缝控制为核心,系统梳理了大体积混凝土裂缝的种类及其形成原因,重点关注温度应力、收缩变形、材料特性及施工工艺等关键影响因素,在此基础上提出了优化施工材料及其配比、推动设计施工工艺精细化、科学调控施工场地的温度以及做好混凝土工程的养护与表面处理等具体措施,并建议通过建立全过程的智能化监测系统巩固大体积混凝土裂缝的控制成效,以期为建筑工程的质量优化与提升提供参考。

关键词 建筑工程; 大体积混凝土; 裂缝

中图分类号: TU755.7

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.15.042

0 引言

在各类建筑工程中,大体积混凝土因其结构厚实、支撑能力强和稳固性较好等优势被广泛应用。但是大体积混凝土易出现内部水泥水化热积聚、温度梯度及收缩变形等问题,这些问题所导致的混凝土裂缝不仅会破坏建筑工程结构的整体性,还可能引发渗漏、钢筋锈蚀等耐久性问题,严重影响建筑工程的使用寿命,甚至有可能引发安全事故。大体积混凝土裂缝的出现需要在修复上额外投入大量的人力、物力,这无疑大幅度增加了工程的成本。因此,研究裂缝成因及控制技术对提升工程质量和经济效益具有重要意义。

1 建筑工程大体积混凝土裂缝类型

建筑工程大体积混凝土裂缝的形成受材料特性、施工工艺和工程环境等多种因素的综合影响,根据其成因和形态特征不同可以将其分为不同的种类,准确判断大体积混凝土裂缝的类型,能够更好地因症施策。

1.1 温度裂缝

温度裂缝是最为常见的大体积混凝土裂缝之一,这是由混凝土材料自身的性质所决定的,混凝土工程中的水泥水化热积聚就容易引发这种裂缝^[1]。混凝土在浇筑作业完成后,要经历一段3~5天的硬化周期,这一阶段混凝土内部的温度最高能达到80℃,而表面由于具备一定的散热条件,热量的聚集往往不会那么剧烈,混凝土内外就会出现显著温差,当这种内外温差产生的热应力超过混凝土抗拉强度时,混凝土表层或结构薄弱处就会产生裂缝。这种温度裂缝多呈放射状,经

常出现在基础底板、大坝等大体积构件的施工中后期。

1.2 干缩裂缝

混凝土硬化的过程中会伴随着水分蒸发,当水分蒸发失衡时就会导致干缩裂缝,即当表层的水分蒸发速率高于内部时,混凝土结构的表面收缩变形就会受内部约束进而产生拉应力,最终就会形成网状或横向裂纹。这类裂缝的宽度通常比较细微,最宽不会超过0.4 mm,多出现在蒸发速率较高的混凝土结构的表层,因此裂缝的深度通常不会超过构件厚度的1/4,这种裂缝在低湿度或者高温这种蒸腾作用比较强烈的环境中更容易出现。值得注意的是,水泥品种的选择、水灰比的设计以及养护条件都会影响干缩裂缝出现的概率。

1.3 塑性收缩裂缝

塑性收缩裂缝多出现在混凝土初凝前的塑性阶段。当工程所在地风速较大、气温较高时,混凝土表面的水分会快速蒸发,从而形成毛细管负压,而此时的混凝土还未完全固结,尚未建立强度的浆体就容易产生不规则龟裂纹^[2]。塑性收缩裂缝形态呈中间宽两端细,长度通常有2~3 cm,这种裂缝容易出现在大面积楼板或墙体结构中,在进行混凝土浇筑时振捣不密实或者没有及时地覆盖养护膜会使塑性收缩裂缝出现的概率大幅度增加。

1.4 沉陷裂缝

沉陷裂缝属于结构性裂缝,主要由地基不均匀沉降或施工支撑体系失稳引起的。当项目所在地的地基土质松软,或者位于将要融化的冻土层上回填不实时,

混凝土结构会由于其本身的大重量发生差异沉降,不同位置的沉降度不同就会形成垂直于沉降方向的直线状裂缝。在地下工程中这类裂缝问题尤其突出,宽度可达数毫米,并且这种结构性裂缝的出现通常伴随着工程结构的错位,如在冬季施工时模板支撑于冻土上,解冻后柱脚、墙根等部位就容易产生贯穿性的沉降裂缝。

在实际的建筑工程中,各类裂缝的出现往往不是独立的,而是会相互影响和促进。如温度的梯度变化会加速水分蒸发诱发干缩裂缝,而地基沉降则可能加剧温度应力的分布不均。准确把握不同类型的裂缝及其特征,能够在实际控制作业时选择正确的策略。

2 建筑工程大体积混凝土裂缝的影响因素

2.1 材料特性因素

建筑工程大体积混凝土裂缝的出现原因必然绕不开混凝土自身的特性,比如普通硅酸盐水泥具有明显的水化热特性,而这一特性是引发温度裂缝的重要因素。同时,各种建筑材料的配合比设计也会影响裂缝出现的概率,比如水泥的用量会直接影响水化反应强度,在每立方米超过 100 公斤的高水泥用量下,就会加剧温度应力和化学收缩反应;当细骨料细度过大或含泥量超标,也会降低混凝土抗裂性,而水胶比过高则会导致塑性收缩裂缝和干缩裂缝的出现风险增加^[3]。除此之外,外加剂的选择和使用也是一项重要影响因素,比如缓凝剂与膨胀剂配伍性差,会削弱补偿收缩效果,也有可能加剧裂缝的发展。

2.2 温度梯度因素

混凝土的材料特性对温度梯度与热应力非常敏感,温度梯度与热应力是引发裂缝的常见动力源^[4]。水泥水化过程中会释放大量的热量,每千克水泥约释放 377 kJ 热量,大量的热量在混凝土内部积聚,形成高达 70 ℃ 左右的温峰,与混凝土结构表面形成较大的温差,而这种温差会导致拉应力超过混凝土抗拉强度,使混凝土结构出现裂缝。因此,一般的混凝土建筑工程在进行浇筑作业时,会通过冷却水管或分层浇筑等措施缩小混凝土结构的内外温差,避免贯穿性温度裂缝。混凝土结构的温度梯度效应在昼夜温差骤变的环境下会更加明显,因此当昼夜温差较大时,热胀冷缩机制也会加速混凝土表面微裂纹的扩展。

2.3 施工工艺因素

施工工艺缺陷所导致的裂缝,如浇筑速度过快,导致分层厚度超过 500 mm,从而会形成冷缝。而振捣不充分则使混凝土结构内部的孔隙增加,混凝土结构整体性被削弱,也会产生裂缝。除此之外,混凝土工程的养护工艺也应该是一项关注重点,养护措施不当,

比如早期未覆盖保湿膜或喷淋中断,会使混凝土结构表面的水分蒸发加快,就容易引发干缩裂缝网络。而由模板支撑体系失稳所导致的沉陷裂缝由于常常伴随结构错位,修复的难度和成本都比较高。

2.4 外部环境因素

外部环境中对混凝土结构影响最大的因素主要有两种:一是地基条件,建筑工程的地基条件决定着裂缝发展的边界条件,如果地基土质不均匀就会导致差异沉降,在超长结构中产生拉伸变形;二是温度与湿度的综合反应,低湿度、高温度的环境会加速混凝土表面水分扩散,形成较深的干缩层。而在滨海盐雾区,不仅空气中的湿度较高,还有大量的具有强腐蚀性的氯离子会沿裂缝渗透快速的锈蚀钢筋,这种损伤会显著缩短混凝土结构建筑工程的使用寿命^[5]。

3 建筑工程大体积混凝土裂缝控制技术

3.1 优化材料选用与配比

控制混凝土裂缝的一大关键就是降低混凝土材料的水化热以提高混凝土抗裂性能。在混凝土建筑工程中可以优先选用低热或中热水泥,比如矿渣水泥,并在其中掺入一定量的粉煤灰、矿渣粉等掺合料,减少混合材料中水泥的比重,能够有效地降低水泥的水化热。在材料配比环节,要严格控制骨料级配,粗骨料采用 5~40 mm 的连续级配碎石,含泥量控制在 1% 以内,细骨料则可以选用细度模数 2.3 到 3.0 的中粗砂,含泥量控制在 2% 以内。水胶的比例控制在 0.35 到 0.45 之间,并在其中加入一定的聚羧酸系高效减水剂或缓凝剂,延缓水化热释放速度,提升混凝土流动性和密实度。

3.2 施工工艺精细化

选择合适的施工工艺能够有效地降低混凝土结构的裂缝发生风险。比如在混凝土浇筑环节,选择分层分段浇筑方法降低温度应力,以 30~50 cm 为一个浇筑层。同时,采用“斜面分层、推移式浇筑”工艺,控制好斜面的坡度,还要确保浇筑过程的连续,避免冷缝形成。在配置混凝土材料时,使用高频的振捣器充分、均匀地对混凝土进行振捣。对钢筋密集区和施工缝结合面这类结构比较脆弱的区域进行重点处理,有效消除内部孔隙。控制好混凝土的入模温度,在高温季节进行施工时可以使用适量的冷水进行拌和,并骨料遮阴降低温度,在条件允许的情况下,可以尽量在夜间施工,也能够有效降低环境温差的影响^[6]。

3.3 温度场动态调控

预埋冷却水管配合循环水冷却能够有效降低混凝土结构的核心温度,缩小混凝土结构的内外温差,减少由温度梯度导致的温度裂缝。可以在混凝土结构中

布置无线温度传感器,对混凝土内部、混凝土表层和工程的环境温度进行实时监测,将混凝土结构的温差阈值控制在 25°C 内能够有效地消除温差的影响。在大坝一类的超厚构件中,还可以采用分层分块浇筑的方法,合理设置施工缝,释放早期收缩应力。在浇筑工作完成后,及时做好混凝土结构的养护与表面处理工作。混凝土养护工作的重点在于保湿与保温,混凝土初凝后立即在表面覆盖一层塑料薄膜,使用草袋或保温棉保持混凝土的表面湿度,要至少经过两周左右的养护周期后再进行下一阶段的施工。大体积混凝土表面在终凝前还需要进行二次抹压,闭合塑性收缩裂纹,并采用蓄水养护或自动喷淋系统维持湿度稳定。冬季施工时,可以增加碘钨灯照射或搭建保温棚,防止混凝土结构表面温度的快速下降。

4 建筑工程大体积混凝土裂缝控制成果验收与后期养护

4.1 裂缝控制成果验收体系

依托多维度的监测技术与科学的管理流程对大体积混凝土裂缝控制成果进行验收,不仅是保障当前建筑工程施工质量的要求,也是通过不断地经验总结完善大体积混凝土裂缝控制技术的需求所在。通过预埋无线温度传感器与光纤传感装置,实时采集混凝土内部温度场、应力场及变形数据,结合红外热成像技术实现非接触式的裂缝检测。验收阶段重点核查混凝土结构的温度梯度和降温速率等关键指标,并通过数值模拟软件对比实测数据与理论模型的吻合度,确保温控措施能够达到预期的效果。例如上海浦东新区某项目采用分层测温点布设,结合智能预警系统,成功将底板最大温升控制在 65°C 以内,温差峰值低于 22°C ,达到验收标准。对于使用冷却水管的工程,可以通过水循环流量记录及压力测试确认管路畅通性,并在封闭前进行注浆密实度检测。

4.2 混凝土结构的后期养护管理

精细化的养护管理是大体积混凝土裂缝控制的关键环节,不仅需要在整个施工过程中充分落实,还需要延续到工程结束后。在混凝土终凝后立即覆盖塑料薄膜与土工布,形成保湿、保温的物理性屏障。对于超厚构件,可以采用蓄水养护的方法,可显著降低表面蒸发速率,同时根据温控和湿度检测仪提供的数据,配合自动喷淋系统动态调节混凝土湿度。保温层的具体厚度要结合热工的计算结果确定。在一项实测环境温度差达 15°C 的工程项目中,根据测算结果覆盖 4.8 cm 厚棉毡,有效降低了其表面温度的降幅。

在养护期间,还需要持续监测混凝土表里温差与

收缩应变趋势,采用埋入式光纤传感器对裂缝扩展趋势进行跟踪,结合声发射技术捕捉微裂纹信号,当检测到贯穿性裂缝时,可以使用环氧树脂注浆修复。黄浦区某项目通过实时监测数据发现局部区域温差超限后,立即启动附加保温层并调整冷却水流量,不仅降低了裂缝出现的概率,还有效控制了裂缝的大小,降低了后期维护修补的成本。养护结束后,还需进行龄期28天的强度回弹检测与超声波探伤,确保结构整体性满足设计要求。

4.3 全生命周期数字化管理创新

数字技术的发展为建筑工程施工提供了更加便捷和智能的工具,依托BIM与物联网技术构建数字孪生系统,可实现对裂缝演变的长期跟踪。通过整合施工期温控数据与运营期结构健康监测信息,建立裂缝风险预测模型,为后续维护提供决策支持。将工程养护阶段的温度、应力数据提供给经过系统训练的人工智能模型,能够精准预测几年后最大裂缝宽度扩展量,为耐久性评估提供了科学依据。

5 结束语

大体积混凝土裂缝控制涉及材料科学、施工技术、数字监测等多个领域。通过建立源头降热、过程控温和后期修复的全链条技术体系,能够实现对大体积混凝土裂缝的有效控制。大体积混凝土裂缝的控制技术还具有很大的发展和完善空间,未来,建筑工程领域要持续关注混凝土裂缝控制技术的创新,实现混凝土工程的可持续发展。探索使用钢渣、锂渣等工业固体废物替代骨料的方法,降低碳排放的同时达到提升建筑抗裂性能的目的。加快自愈混凝土的研发,通过微生物矿化或胶囊化修复剂实现裂缝自主修复。持续推动混凝土结构对复杂环境的适应能力,推动现代工程建设向绿色化、精准化的转变和升级。

参考文献:

- [1] 王文庆. 建筑工程大体积混凝土裂缝成因及控制技术[J]. 新城建科技, 2025, 34(02): 153-155.
- [2] 周魁. 房建工程施工中大体积混凝土裂缝成因及控制技术[J]. 中国水泥, 2025(01): 100-102.
- [3] 康凌. 建筑工程中大体积混凝土裂缝控制技术的运用分析[J]. 居业, 2024(11): 37-39.
- [4] 马一啸. 建筑工程大体积混凝土裂缝控制技术[J]. 居业, 2024(10): 25-27.
- [5] 白治琴. 建筑工程施工中大体积混凝土裂缝控制技术[J]. 工程机械与维修, 2023(04): 158-160.
- [6] 卜娜蕊, 刘睿, 赵慧斌, 等. 浅谈建筑工程大体积混凝土裂缝控制技术[J]. 四川水泥, 2023(05): 265-268.