

科海故事博览

KEHAI GUSHI BOLAN

(旬刊·1993年创刊)

2025年8月第22期(总第611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

编辑部主任：张琳玲

编辑：周 墨 官慧琪

运营：李瑞鹏 张娅玲

外联：秦 强 吴彩云

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8月5日

定价：人民币15元

版权声明：

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

目录Contents

科技博览

- 001 面向电子产品的点胶加固工艺与可靠性研究
..... 孔晓刚, 杨晓平, 项艳丽, 白 刚, 原 勇
- 004 电特征分析与机器学习助力数控铣床异常检测
..... 马志勇, 程 旺, 郑海波
- 007 基于光谱技术的土壤重金属污染快速检测方法研究
..... 刘 巍
- 010 水利工程堤坝复合混凝土防渗与加固施工技术研究
..... 张文峰
- 013 微生物诱导碳酸钙沉积技术加固历史建筑砖石结构研究
..... 王晨超
- 016 高效液相色谱—质谱联用技术在土壤有机污染物分析中的应用
..... 孙 健

智能科技

- 019 智能建筑中弱电智能化系统的设计研究
..... 宋 文, 赵亭华, 刘贤蒙, 辛 倩
- 022 LiDAR 技术在水文与水资源工程中的应用研究
..... 刘娟娟
- 025 BIM 技术赋能装配式钢结构建筑施工管理的应用研究
..... 邢海霖
- 028 机械电气一体化技术在智能制造中的应用与优化研究
..... 王雷远
- 031 建筑电气设备能耗偏高问题与节能改造技术应用分析
..... 沈晓萌, 赵晶晶
- 034 基于电力工程技术的超高压输电线路运行管理优化分析
..... 徐 亮, 史现奇, 杨 政

应用技术

- 037 建筑工程检测中的水泥检测要素探讨
..... 李 柯, 左盼盼

目录Contents

040	改扩建高速公路路基施工技术要点分析	刘文兵
043	装配式机电安装技术在建筑工业化中的应用	孙乃冉, 岳园松
046	预制装配式建筑外墙防水关键技术应用分析	孙海波
049	绿色施工技术在道路桥梁工程中的应用探讨	李建强
052	混凝土施工技术在道路桥梁工程施工中的应用	娄光勇
055	软基加固施工技术在市政道路施工中的应用研究	季 托, 郝建名
058	帷幕灌浆技术在水库工程水闸防渗处理中的应用研究	李丽红

科创产业

061	水厂水机设备低压电气设计分析	张 勇
064	脱硫运行优化系统的设备管理研究	张长弓, 刘承让, 申 镇
067	一种电杆表箱安装紧固件的设计研制	杨 勇, 吴 峰, 周飞杨, 上官贝贝
070	BIM 技术在暖通空调施工设计中的应用研究	张瑞峰, 张 朋
073	冶金工程中金属材料的热处理工艺分析	李锦涛, 郑雯婕
076	绿色建筑全寿命周期建设工程管理和评价体系分析	杨晓容
079	交叉学科融合背景下技术产权制度与科技成果转化效率的耦合研究	杨佳莹, 牟宗宾, 刘小瑞, 周宗博, 杨宇婷

技术管理

082	高层建筑施工技术难点与对策分析	许超志
085	环氧彩砂地坪施工的质量控制和通病处理	李 庚
088	建筑给排水管道防渗漏施工技术要点研究	牟洪羽, 周士义
091	建筑工程中深基坑支护施工技术与管理策略	史晋皖
094	土木工程中房建工程质量问题与控制策略探究	黄 平
097	公路路基施工技术及路基压实质量的控制措施	赵 鹏
100	市政给排水施工中的非开挖顶管施工技术要点研究	汤 兵
103	高标准农田水利工程节水灌溉技术应用与发展趋势	陶舟杰

科学论坛

106	10 kV 配网电力工程的标准化施工研究	蒲海平
109	电力工程中变电站施工技术的应用研究	张高峰
112	绿色建筑对城市可持续发展的影响研究	罗志勇
115	疏浚施工中港口与航道通航安全保障措施研究	董辰宏
118	水轮发电机定子一点接地原因分析与处理研究	刘志超
121	天然气长输管道山地陡坡段施工技术的应用研究	张 祥, 梁 鹏, 鲁 浩, 杨张虎
124	精细化工反应釜机械密封失效原因分析与安全改进措施	杨琪瑛, 闫佳佳

面向电子产品的点胶加固工艺与可靠性研究

孔晓刚, 杨晓平, 项艳丽, 白 刚, 原 勇

(内蒙动力机械研究所, 内蒙古 呼和浩特 010010)

摘 要 电子设备向小型化、高性能方向发展, 元器件的集成度提高, 对其稳定性要求也逐步提高。点胶工艺是施加底填环氧胶、UV 胶、导热胶等材料, 在产品表面进行填充、灌封、滴胶等操作, 从而实现加固、密封、绝缘、防潮、防震、导热等功能。在高温、高湿等复杂场景下, 点胶加固既能提高元器件的机械稳定性, 防止外力导致的结构松动和引脚脱焊, 又能有效减少信号干扰, 提升电子产品的整体性能和安全性。本文针对面向电子产品的点胶加固工艺与可靠性展开探讨, 旨在为提升产品质量提供有益参考。

关键词 电子产品; 点胶加固工艺; 元器件; 引脚脱焊

中图分类号: TN6

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.22.001

0 引言

电子产品的芯片处理器与主板之间的焊接并非绝对牢固, 在长期使用或遭受跌落、冲击、挤压等外部应力作用时, 焊点可能会松动, 导致设备运行不稳定甚至失效。而点胶工艺能有效提高芯片的抗震抗摔性能, 还能减少引脚脱焊、松动等常见故障, 提高整体可靠性。在智能手机、可穿戴设备等高度集成化的电子产品中, 点胶技术的应用已成为行业标准。同时, 点胶材料还能提供防尘、防潮、绝缘等附加保护作用, 进一步提升电子产品的耐久性。

1 电子产品点胶加固的基础理论

1.1 点胶加固的概念与原则

点胶加固是指在电子元器件与基板等结合部位施加胶黏剂进行固定和封装, 以增强机械支撑并提高环境防护能力。胶黏剂固化后形成附加的机械连接, 能够分担焊点或引脚所承受的应力, 防止元件松动或焊点开裂。举例来说, 对电解电容、大型连接器等较大型或较重的元件施加胶水锚定, 可防止其在振动或跌落中松动断裂; 对 BGA、CSP 等高密度封装芯片进行底部填充或角部加固, 可缓解热循环引起的焊点应力, 使器件在手持设备等需经受跌落实验的应用中稳定可靠^[1]。

为确保电子元器件的可靠固定, 需遵循以下点胶加固规范: 对于轴向引线器件, 单根引脚承重超过 0.070 N 时需进行固定; 非轴向引线器件在承受超过 0.035 N 载荷或采用侧装 / 倒装方式时同样需要点胶处理。大尺寸、高重量组件 (如功率电感、中央处理器及可编程逻辑芯片等) 以及可能因机械应力产生位移的元件都必须实施加固措施。此外, 通过缩短引脚长度来增

强分立器件的机械强度, 采用贴装焊接与点胶相结合的方式。在严苛振动或冲击环境下工作的电路组件, 可考虑采用整体硅橡胶灌封工艺提升结构稳定性。

1.2 点胶材料的分类与性能分析

在电子产品制造中, 点胶材料的选择直接决定了加固效果与产品的可靠性。不同类型的点胶材料在性能上各有优势, 需根据具体应用场景进行选择。环氧树脂 (Epoxy) 是目前电子封装领域应用最广泛的点胶材料之一, 能牢固附着于 PCB、芯片等电子元器件表面, 提供高强度的机械加固作用。固化后可承受较高的温度, 适用于需要高温工作环境的电子产品, 同时能够抵抗酸碱、溶剂等化学物质的侵蚀, 适用于恶劣环境中的电子产品。

硅胶即使在极端温度条件下 (-50 ℃至 200 ℃), 仍能保持良好的弹性, 不易开裂, 能长期抵御紫外线、湿气和氧化作用, 特别适用于户外电子设备。同时, 适用于高冲击、高振动的应用场景, 如汽车电子、可穿戴设备等, 特别适用于高频电子电路的封装。但硅胶类点胶材料的固化时间较长, 机械强度相对较低, 且与某些塑料和金属表面的粘附性较弱, 因此在应用时常需额外的底涂处理或搭配其他结构胶使用。

聚氨酯点胶材料因其良好的综合性能, 固化后形成韧性较强的保护层, 能有效抵抗湿气、油污及部分溶剂的侵蚀。这一材料可在较宽的温度范围内保持稳定性能, 适用于柔性电路板 (FPC) 等应用场景。但聚氨酯材料的固化过程受湿度影响较大, 可能出现固化不完全或气泡等问题, 因此在点胶工艺中需要严格控制环境条件^[2]。

1.3 影响点胶加固质量的关键因素

点胶加固质量受材料、工艺参数及环境等多因素影响。选对胶种是关键,不同胶黏剂性能差异大,如环氧胶强度高但脆,热循环或冲击下可能传递应力致焊点失效;硅酮胶柔软有弹性,可吸能但强度有限,不宜固定重型器件。振动冲击为主的设备中,可用增韧环氧或丙烯酸胶平衡强度与韧性,有时还会综合运用多种材料,如BGA芯片用环氧底填、大型电解电容旁用硅胶加固。点胶时,胶层厚度要适中,需均匀铺展、充满间隙,无中断或气泡。过高温度可能使胶开裂或粘接界面受损,过长时间则降低效率并引入热应力,需在性能和效率间取得平衡。

2 电子产品点胶加固工艺分析

2.1 点胶加固工艺流程

1. 点胶前处理。在点胶前,需要对待粘接表面进行清洁预处理,除灰尘、油污、氧化层和焊接残留物等。如果杂质未清除,可能会导致胶层附着不良或产生界面缺陷。因此,常采用溶剂清洗、等离子体清洗等方法净化表面,必要时还会使用底胶来提高胶黏剂对低表面能材料的附着力。此外,控制元件和PCB表面的平整干燥也很重要,避免潮气或溶剂残留影响胶水固化^[3]。

2. 胶黏剂点胶。根据元件尺寸、胶材性质和加固要求选择适当的点胶方式。常见的点胶方式主要有针式点胶和喷射点胶两大类。针式点胶是接触式点胶,借助针头或针管将胶液按设定轨迹挤出并沉积在目标位置上。在微电子封装和Mini/Micro LED封装中,经常采用细针头进行逐点点胶,以形成高精度的三维胶点或胶线。喷射点胶是非接触式点胶,利用高速电磁阀或压电驱动装置将胶液以液滴形式“喷”出,无需针头接触表面即可完成施胶。因为省去了Z向接触动作,喷射点胶速度极快,可在极短时间内连续喷出胶点。

为确保电子元器件的稳固安装,点胶加固需根据不同结构采取差异化处理。对于水平安装的无护套圆柱形器件,胶体应覆盖本体长度的50%~100%和高度25%~50%,同时保持顶部可见;带护套的同类元件则需控制胶体高度在25%~50%范围内,并严格避免胶液污染引线封装区及焊盘。垂直安装的矩形元件需施加高度50%~100%、长度50%~100%的胶体,同样需避开关键电气连接部位。当多个矩形元件并排垂直安装时,两端的元件需按独立安装标准处理,而中间相邻元件的间隙则应充分填充胶液以保证整体结构强度。所有点胶操作均需在保证机械稳固性的前提下,避免对元器件的电气性能和可视检查造成影响。

2.2 胶黏剂固化工艺

1. 热固化。加热使胶黏剂发生化学固化反应。环氧树脂等多采用热固化,一般需在一定温度下保持数分钟到数小时不等,胶层才能完全固化并达到高性能。在典型SMT工艺中,底部填充环氧胶常在涂布后送入烘箱于125℃固化30~60分钟;而一些改性快固化胶可以在更短时间内完成。比如某单组分环氧胶在150℃下约2~3分钟即可完全固化定型。

2. 光固化。利用紫外线或可见光引发胶黏剂中的光引发剂,使胶液在数秒内固化。光固化主要针对丙烯酸酯类或改性环氧类胶黏剂,常用于需要瞬时固化的场合。固化速度极快,如某UV胶在波长405 nm、强度250 mW/cm²光照下约15秒即可完成固化。同时,光固化方便实现自动化,仅需在点胶后增加一道UV照射工序就可以实现^[4]。

2.3 点胶加固工艺要点

1. 线缆加固工艺。为确保线缆安装的可靠性,推荐采用GD-414胶进行固定处理。在敷设过程中需注意以下要点:线缆布置不宜出现未固定的大跨度走线,尤其要避免仅依靠分线焊点作为支撑。实际操作时,应将游离的线缆紧贴结构件侧壁或其他相邻部件进行布线,并使用胶粘剂实现可靠固定。导线焊接后,需在距焊点15~20 mm范围内的邻近结构件或PCB处设置首个固定位,后续每隔20~30 mm采用GD-414胶进行分段点胶固定,以保持线束结构的整体稳定性。

线缆的固定可采用多种方式,如锦丝线捆扎、聚四氟乙烯薄膜包裹或热缩套管定型,但应避免使用尼龙扎带。在点胶操作前,可借助纸胶布临时固定线束位置,确保其贴合底面或侧壁,待胶体固化后移除临时材料。针对半刚性电缆,需沿结构件表面敷设,并在靠近腔体等部位以GD-414胶按20~40 mm间隔加强固定。此外,同一区域的射频电缆需进行互连固定,以消除振动导致的位移风险。另外,对于走线环境较为复杂的部位,如靠近机箱壁、支撑杆、支架以及结构件的棱角、凸台或尖角区域,需采取二次绝缘和保护措施,防止导线因摩擦或应力集中而损伤^[5]。

2. 连接器加固工艺。对于各类D型连接器的接端,采用GD-401胶进行点胶加固,其点胶长度一般控制在10 mm至15 mm。在点胶过程中,必须保证产品处于水平状态,避免因垂直放置导致硅橡胶渗透至接端,进而影响插头与座的顺利配合。为防止此类问题,也可先在插头上安装一只匹配的插座,在插头接线端完成点胶作业,并待硅橡胶完全凝固后再将插座取下。

同时,紧固件安装完毕后,在连接器尾部也应点一圈 GD-414 胶进行加固,确保整体连接的牢固性。

3. 紧固件加固工艺。紧固件的加固主要分弹垫的使用和紧固件自身的胶固防松工艺两部分。一方面,装配在产品上的弹垫必须符合相关标准(如 QJ2963.2 《专用弹簧垫圈·标准型不锈钢弹簧垫圈》),且每只弹垫仅限使用一次,返修时拆下的弹垫不再重复使用。正装紧固件时,需要在线程处点 222 胶,同时在紧固件与安装面之间点 GD-414 胶(通常点半圈,且应注意避免覆盖产品表面标识的红漆),而所有螺母与螺钉结合处也应完整点上一圈 GD-414 胶。另一方面,对于如某些电源模块正面若加装弹垫可能引起短路、背面可能存在盲孔或其他构件干涉等因结构限制无法安装弹垫的特殊场合,则不能采用通用工艺。在此情况下,一般需在线程上点 222 胶后,在螺纹与螺母结合处点上一圈 GD-414 胶防松。如果这一工艺仍不适用,则建议在线钉螺纹上点用 DG-3S 环氧胶进行防松加固,以确保紧固件在振动及其他机械应力下的稳固性。最后,紧固件在安装前应先用定力矩扳手进行复查,确认紧固到位后,再在连接器尾部点一圈 GD-414 胶,进一步提高整体结构的可靠性。

3 点胶加固工艺优化与可靠性提升策略

3.1 点胶材料优化策略

材料的改进是提升点胶加固可靠性的途径之一。在胶黏剂中引入纳米填料是近年来提高材料性能的有效方法。纳米材料典型尺寸 1~100 nm,如纳米二氧化硅、氧化铝、纳米纤维、石墨烯等,小于胶体网络的尺度,能够均匀分散并在低填充量下显著改变胶黏剂的宏观性能。少量纳米填料后有助于提升胶层的机械强度、耐久性和尺寸稳定性均有提升。纳米增强环氧体系的疲劳寿命和抗冲击性能明显改善,同时热膨胀系数(CTE)和固化收缩率降低,硬度和韧性均有所提高。当前一些商业化产品已采用纳米填料技术,如纳米硅填充的底部填充胶可在保持低黏度便于点胶的同时,提供高填充度以降低 CTE,从而减轻热循环中对焊点的拉扯。

此外,电子器件可靠性对胶黏剂材料提出了更高的要求,如更低的热膨胀失配、更强的界面附着力等。为此,材料研发人员一方面在化学结构设计方面降低胶黏剂本身的热胀冷缩特性,例如开发低 CTE 树脂,其固化后 CTE 接近 PCB 基材,从源头上减少热循环造成的应力。另一方面,提升胶黏剂对各种难黏基材,在胶黏剂配方中加入偶联剂、黏结增进剂等,可以在

固化时于界面形成化学键或强极性相互作用,从而提高界面结合力。

3.2 点胶工艺优化策略

除了材料本身外,不断优化点胶加固的工艺过程也是提高可靠性的重要途径。合理的点胶路径设计和参数设置可确保胶黏剂精确且充分地施加,从而实现最佳加固效果并避免缺陷。在 PCB 布局和元件模型确定后,应规划每个需要加固元件的点胶路线。例如:对矩形芯片进行角胶加固时,可采用“四角点胶留一缺口”的路径设计——在芯片四角各打一点胶,唯独留出一角不点胶,以给热胀冷缩留出空间,有助于避免胶层约束导致的焊点过度应力。而对于长条形连接器,可沿其两侧连续打胶形成胶梁,并在中部加间隔胶点防止局部应力集中。路径确定后,需实验微调点胶参数使胶形达到设计要求,包括针头行进速度、出胶压力/速度、胶阀开闭时序等,找到最佳速度匹配出胶量。

4 结束语

合理的点胶加固能够有效提升产品的机械强度、抗振抗冲击能力及环境适应性。随着电子制造向高精度、高可靠性和智能化发展,点胶加固技术也在不断地优化。未来,纳米增强复合材料、低温快速固化技术、智能化点胶系统和自动化质量检测技术将进一步推动点胶工艺的精确性和效率。同时,在绿色制造理念的引导下,环保型胶黏剂与可循环点胶方案将成为行业发展的重要方向。技术人员对点胶加固工艺进行持续创新与优化,将在电子产品制造中发挥更大价值,助力行业可持续发展。

参考文献:

- [1] 陈艳,王宣,代少君,等.电力网络设备 CCGA 加固工艺可靠性测试[J].自动化技术与应用,2025,44(04):111-115.
- [2] 屈云鹏,张小龙,李逵,等.温循与振动条件下三种加固方式的 BGA 焊点可靠性评估[J].半导体技术,2023,48(12):1137-1144.
- [3] 王海超,彭小伟,郭帆,等.航天电子产品 CCGA 加固工艺可靠性分析[J].焊接学报,2022,43(07):102-107,119-120.
- [4] 王顺,张瑞锋,王连春,等.板卡元器件点胶加固工艺自动化的实现[J].自动化博览,2020(11):68-70.
- [5] 廖希异,邓丽,高振奎.表面贴装元件粘胶加固工艺质量优化[J].微电子学,2021,51(02):240-245.

电特征分析与机器学习助力数控铣床异常检测

马志勇, 程 旺, 郑海波

(山东法因数控机械设备有限公司, 山东 济南 250100)

摘 要 电特征分析是一种强大的工具, 它利用机器的电压和电流信号来推断其健康状况。电特征分析可以作为预测性维护工具, 用于在早期检测数控铣床常见故障, 从而防止灾难性故障和生产中断, 并延长设备使用寿命。本研究提出了一种将电特征分析和机器学习应用于数控铣床工作状态监测和健康状况评估的新方法, 实验结果表明了该方法的有效性。

关键词 异常检测; 状态监测; 健康状况评估; 机器学习; 数控铣床

中图分类号: TP3; TG54

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.22.002

0 引言

在工业系统中, 设备突然发生故障可能引发诸多严重问题。一方面, 会导致昂贵的停机时间成本, 打乱正常的生产节奏, 造成巨大的经济损失; 另一方面, 故障还可能对周围设备造成损坏, 甚至对操作人员构成安全威胁^[1]。因此, 对工业系统的可靠性和可用性的要求与日俱增。

为确保设备有效运行、避免过早出现故障, 持续监测机器的健康状况至关重要。因为一旦设备发生故障, 不仅会扰乱生产线, 还会带来高昂的维修成本。在电气设备故障诊断领域, 振动分析和声发射是较为常用的方法, 然而, 这两种方法存在明显弊端, 它们在操作复杂性以及所使用传感器的成本方面都相对较高。

电特征分析是一种极具优势的故障检测手段, 它通过捕捉设备的电源信号, 如电流、电压等, 并对这些信号进行分析, 从而实现对设备故障或早期故障的有效检测。电特征分析可作为预测性维护工具, 在设备出现常见故障的早期阶段就及时发现问题, 进而预防可能出现的昂贵灾难性故障和生产中断情况, 延长设备的使用寿命^[2]。与传统故障诊断方法相比, 电特征分析只需监测电流和电压信号, 大大减少了所需安装的传感器数量, 而且仅需接入电源线路, 无需直接接触设备, 就能在不干扰设备正常运行的前提下完成诊断和预测分析工作。因此, 电特征分析是一种可实现在线甚至远程监测的、真正意义上的无侵入式检测方法。本文重点介绍经验模态分解在计算机数字控制铣床状态监测和健康状况评估方面的创新性应用。

1 实验设备与数据采集系统

案例研究机器对象是 3 轴的哈斯迷你铣床, 该机器主要规格数据见表 1 所示。

表 1 机器主要规格数据

规格	值	规格	值
最大主轴转速	6 000 Rpm	Z—轴行程	254 mm
最大切削进给速度	12.7 m/min	表大小	305*914 mm
轴功率	5.6 kW	最大重量	227 kg
X—轴行程	406 mm	输入最低电压	220 V
Y—轴行程	305 mm	输入最高电压	440 V

由于哈斯迷你铣床使用的伺服电机控制器频率限制在 30 kHz, 根据奈奎斯特准则建议以信号最高频率的两倍收集数据^[3], 确定 60 kHz 为可能的频率下限。由于数据来自 7 个通道, 因此需要 420 kHz 的最大串行频率来处理多路数据采集系统。考虑到这一点, 选择 70 kHz 的采样频率。数据采集系统使用 Raspberry Pi 4B 数据处理平台, 选择它是因为它有两个内置的 USB3.0 端口、数字 IO、四核和高频 CPU, 选择 USB-1608GX 进行数据采集, 1608GX 的显著特性包括其最大串行测量频率为 500 kHz, 电压扫描范围为 ± 10 V, 以及通过专有的函数库进行通信。更高的频率允许所有 7 个通道以两倍于铣床估计的最高频率进行采样。该工厂的机械图由 4 个电流输入和 4 个电压输入构成。

模式识别一种基于过程历史的方法被用于进行数据分析: 一个数学模型, 它解释了测量输入和输出之间的关系, 是在大量的历史过程数据的基础上进行训练的^[4]。这个模型必须是描述性的, 从数据中提取知识, 并且必须是预测性的, 以便进行预测。在工程领域, 基于过程历史的方法是指模式识别方法。这种方法涉及将由可测量表征的模式分类为有限数量的类别称为标签, 按照以下步骤进行: (1) 通过适当的测量设置

进行数据收集；(2) 从收集的数据开始进行特征提取；(3) 特征选择：对特征进行筛选以识别出最重要的特征；(4) 分类器设计：分类器的训练；(5) 对所开发的分类器的系统评估。

2 数据分析与模型构建流程

2.1 数据采集策略

这台机器被编程以三个方向执行一系列动作：(1) 沿 X 轴从坐标 (0, 0, 0) 移动到坐标 (10, 0, 0)，进刀量为 300 英寸 / 分钟 (指令 X10)；(2) 沿 Y 轴从坐标 (0, 0, 0) 移动到坐标 (0, 10, 0)，进刀量为 300 英寸 / 分钟 (指令 Y10)；(3) 以 300 英寸 / 分钟的进刀量沿 Z 轴从坐标 (0, 0, 0) 移动到坐标 (0, 0, 10) (指令 Z10)；(4) 沿 X 轴从坐标 (0, 0, 0) 移动到坐标 (-10, 0, 0)，进刀量为 300 英寸 / 分钟 (指令 X-10)；(5) 沿 Y 轴从坐标 (0, 0, 0) 移动到坐标 (0, -10, 0)，进刀量为 300 英寸 / 分钟 (指令 Y-10)；(6) 沿 Z 轴从坐标 (0, 0, 0) 移动到坐标 (0, 0, -10)，进刀量为 300 英寸 / 分钟 (指令 Z-10)；(7) 主轴以 7000 转 / 分钟的转速旋转 (S7000M03)；(8) 主轴以 6000 转 / 分钟的转速旋转 (S6000M04) 持续五秒。

通过采集系统，收集了每次操作中与机器电流相关的数据，以表征其电特征。这些数据包括三相电流和中性电流。对于每个动作，总共记录了 500 次重复 ($r=500$)。此外，还在机器闲置时进行了数据采集，以表征基线噪声。

2.2 特征提取方法

处理在实验活动期间收集的数据，以提取和综合信号中的信息内容，信息内容通过显著特征的生成来表示。在执行时间序列特征提取的整合技术中，检测两个时间序列相似性的技术被广泛使用。这些技术包括计算时间序列与参考信号在希尔伯特空间中的距离作为相似性的度量^[5]。为了消除不太重要的频段，进行了初步的数据处理。信号滤波的方法包括识别最重要的信号频段，并创建带通滤波器来消除最不重要的频段，实际上这种技术提供了关于信号的频率内容以及如何随时间变化的信息。

所有信号的频谱图显示，最有趣的频段是 0 至 15 千赫兹之间的频段，因此设计了一个数字低通滤波器来截断高于 15 千赫兹的频率。在分析的特征提取技术中，选择了多维动态时间规整，因为它允许对不同长度的非相位信号进行比较。参考向量是通过每个动作的获取向量的均值生成的，分析结果总结在一个矩阵中，其中 $p=8$ 是通过多维动态时间规整提取的相似性

指标的数量， $n=r \times p$ 。这些为每个获取向量提取的相似性指标被用作特征来发展分析。另外，添加了一列以提供每行的标签。该标签是一个索引，表示与每行相关联的操作。

2.3 特征筛选优化

提取的特征经过处理，以选择更相关的特征，或者一个候选特征子集。通过这种方式，可以加快数据挖掘算法，提高预测准确性，并增加可理解性。相对于这个阶段，可以使用两种方法：一种是生成新特征作为已存在特征的组合，例如主成分分析和线性判别分析；另一种是通过优化目标函数来识别最佳特征子集，例如顺序前向选择和顺序后向消除。

通过使用最小冗余最大相关性算法对这两种技术的结果进行了比较，该方法通过最大化与目标变量的相关性，同时最小化所选变量之间的冗余来迭代扩展所选解释变量的集合。需要注意的是，已对每个特征的数据进行了初步标准化。

原始数据需要 4 个特征来解释，而通过主成分分析或线性判别分析处理后的数据分别只需要 2 个和 3 个特征。鉴于此，继续对通过主成分分析处理后的数据进行分析至关重要。详细来说，通过对数据应用主成分分析，在保证 92% 的信息含量的同时，将特征数量从 8 个减少到 2 个成为可能。

2.4 分类器设计与训练

处理后的数据用于训练一个能够确定向量标签的分类器，而向量标签是事先未知的。监督学习被用于完成这一任务。它指的是两种方法：参数化方法，涉及对分布形状的假设的制定，并从训练集中估计关键参数，然后使用贝叶斯规则；非参数化方法，利用训练集中包含的信息进行分类：这种方法基于相似输入将产生相似输出的假设。属于第一种方法的技术更简单，不需要大型数据集；属于第二种方法的技术需要大型数据集，但能确保更高的灵活性和性能。由于在案例研究中，有大量的数据可用，但没有先验知识，因此选择了参数化方法。基于非参数方法的主要技术包括：支持向量机 (SVM)、人工神经网络 (ANN)、k 近邻 (k-NN)、随机森林 (RF)、集成方法。通过对数据矩阵实现 (k-NN)、线性支持向量机 (L-SVM)、二次支持向量机 (Q-SVM)、三次支持向量机 (C-SVM)、随机森林和人工神经网络来训练分类器。对每种技术的性能进行了测试，在训练阶段使用了交叉验证方法以消除过拟合的风险。

用于比较模型的性能指标是预测的准确性，其计

算方式为正确预测的数量与总预测数量的比率。表2总结了第一次比较不同分类器预测的准确性。只有那些在此次评估中报告准确率为100%的模型才被纳入系统评估阶段。

表2 第一次比较不同分类器预测的准确性

模型	精度
数据矩阵实现	100%
二次支持向量机	100%
三次支持向量机	100%
随机森林	98.61%
人工神经网络	97.22%
线性支持向量机	92.12%

2.5 系统综合评估

系统评估是通过另一项实验活动进行的,其中为每个动作收集了100次重复数据。为了与第一个数据集对比,这个新数据集也经过了标准化和主成分分析。第二次比较的结果总结在表3中。基于支持向量机的两种分类器结果证明比基于k近邻的分类器具有更高的准确性。由于监督机器学习模型具有度数更低的核函数,结果证明其在其他因素相同的情况下,计算时间更短,因此监督机器学习模型被选为模型。

表3 第二次比较不同分类器预测的准确性

模型	精度
数据矩阵实现	98.61%
二次支持向量机	97.22%
三次支持向量机	92.12%

3 分类器在工业应用中的关键环节

3.1 机器状态实时检测

为了在工业环境中应用该分类器,它需要能够实时进行信号分析。这需要一个算法,当所检测的电流发生改变时,能够激活分类器。这种改变将由一系列异常值表示,这些异常值与机器的正常工作条件和空闲状态相关的工作条件相比是不正常的。

为了开发激活算法,决定使用机器学习来创建异常检测模型。这些异常数据块是实时信号的一部分,作为输入提供给先前训练好的分类器,以确定它们的标签。这些算法应用于与空闲机器相关的采集数据。结果是一个模型的训练,该模型能够区分空闲和异常行为。为了减少误报,创建了异常数据识别模型,以便它们能够检测到持续时间至少半秒的异常数据块。

测试是通过将模型应用于先前获取的每个动作的

数据来进行的。用于比较模型的性能指标是检测的准确率,计算为正确检测数量与总检测数量的比率。LOF的准确率为91%,OCSVM为88%,而IF为89%。基于这些结果,LOF是被选择的模型。

3.2 设备健康状况评估

在开发了用于识别机器实时状态的分类器和模型之后,就可以对信号中的异常进行识别了。机器状态检测功能识别待分类信号部分并触发模式识别;模式识别使识别出的信号部分能够确定其参考动作;最后,健康状况评估功能确定机器在正常运行条件下是否存在异常。

在案例研究中,健康状况评估包括两个阶段:第一阶段是相似性检测,由多维动态时间规整进行,用于检测获取的向量与特定动作相关的参考向量之间的相似性;第二阶段是异常值检测,基于图基的栅栏法。模型验证包括向获取信号的一个子集中引入人工异常,以测试系统准确检测偏差的能力。用于比较模型的性能指标是异常值检测的准确率,计算为正确检测数量与总检测数量的比率。结果显示准确率为97%。

4 结束语

电特征分析和机器学习应用于数控铣床工作状态监测和健康状况评估,机械状态检测功能的估计准确率为91%,模式识别功能的估计准确率为98%,健康状况评估功能的估计准确率为97%。即使在工业环境中以如此简单的形式应用这样一个系统,也可以通过减少故障的发生频率和严重程度以及提高机器的可用性来节省大量成本。所提出的方法的主要优势之一是,即使是较旧的设备也能轻松配备所需的数据采集设备,从而实现具有成本效益的诊断和预测系统,而无需昂贵和复杂的硬件基础设施。

参考文献:

- [1] 余国瑞,曾学淑,崔欢欢.人工智能在数控加工程序优化中的应用分析[J].机电产品开发与创新,2024,37(05):124-126,130.
- [2] 朱翔.基于多种机器学习算法的铣刀磨损故障监测[D].合肥:安徽大学,2020.
- [3] 余捷.哈斯科技扎根PPM[J].制造技术与机床,2013(09):13-14.
- [4] 李康举.数控铣床切削稳定性研究[D].沈阳:东北大学,2011.
- [5] 徐博,唐浩,严家霖,等.基于希尔伯特半张量压缩感知的亚采样率采集技术[J].信号处理,2024,40(10):1846-1854.

基于光谱技术的土壤重金属污染快速检测方法研究

刘 巍

(中化地质矿山总局吉林地质勘查院, 吉林 长春 130000)

摘 要 土壤重金属污染危害生态环境和人们的健康, 快速检测其含量尤为重要。本文综述了传统光谱技术(AAS、ICP-MS、NIRS、XRF)和新型技术(拉曼光谱、太赫兹光谱)在土壤重金属检测中的应用, 探讨了技术联用及样品前处理优化。实验表明, 拉曼和太赫兹光谱技术检测快、操作简便、适合现场应用, 虽精度略低, 但应用前景广阔。

关键词 光谱技术; 土壤重金属污染; 快速检测; 原子吸收光谱法

中图分类号: X53

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.22.003

0 引言

土壤重金属污染主要源于工业排放和化肥农药使用, 具有高毒性、难降解和生物累积性, 危害人体健康^[1]。传统检测方法操作繁琐、耗时且无法现场快速检测。光谱技术作为快速、无损的检测手段, 近年来在土壤重金属检测中备受关注, 但传统光谱技术仍有不足。新型拉曼光谱和太赫兹光谱技术为检测提供了新思路。本研究综述光谱技术在土壤重金属检测中的应用, 探讨其联用及优化方法, 并验证拉曼和太赫兹光谱技术的效果。

1 光谱技术原理与土壤重金属检测的关联性

1.1 光谱技术的基本原理

光谱技术基于物质与光的相互作用, 用于分析成分和结构, 分为原子发射光谱和分子吸收光谱^[2]。原子发射光谱是原子从高能态跃迁到低能态时发射特定波长光子的现象, 能量满足:

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

其中 E 为光子能量, h 为普朗克常数, c 为光速, λ 为波长。不同元素的特征光谱线可用于定性和定量分析。分子吸收光谱是分子吸收特定波长光子使电子跃迁, 主要集中在紫外和可见光区域, 吸收强度可用于分析分子结构和成分^[3]。光谱技术通过吸收和发射特性确定物质的化学成分和结构。

1.2 土壤重金属的光谱特征

土壤中重金属(如铅、镉、汞、砷)具有独特光谱特性, 可用于检测分析。例如: 铅(Pb)特征吸收波长为 283.3 nm, 镉(Cd)为 228.8 nm, 汞(Hg)为 253.7 nm。但土壤有机质和矿物成分会干扰光谱信号。

为准确识别重金属信号, 可通过主成分分析(PCA)处理光谱数据, 分离重金属信号与土壤基质干扰。

2 现有基于光谱技术的土壤重金属检测方法概述

2.1 原子吸收光谱法(AAS)

原子吸收光谱法(AAS)基于气态基态原子对特定波长光的吸收作用来测定元素含量。其原理符合比尔定律:

$$A = \varepsilon \cdot c \cdot l$$

其中 A 是吸光度, 表示光被吸收的程度; ε 是摩尔吸光系数, 与物质的特性有关; c 是待测元素的浓度; l 是光程长度。AAS 灵敏度高(如铅检测限可达 0.01 $\mu\text{g/L}$), 选择性好, 操作简便, 适合常规分析。但其缺点是样品前处理复杂(如酸消解耗时 2~4 小时), 存在基体效应需校正, 且无法进行原位检测。

2.2 电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)

电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)利用高频感应耦合等离子体将样品加热至高温(约 6 000~10 000 K), 使被测元素电离成带电粒子, 通过质谱仪分离和检测不同质量数的离子, 其信号强度与元素浓度成正比, 符合公式:

$$I = k \cdot c$$

其中, I 是离子信号强度, k 是仪器常数, c 是元素浓度。ICP-MS 可同时测定多种元素, 如铅(Pb)、镉(Cd)、汞(Hg)、砷(As)等, 检测限低至纳克/升(ng/L)甚至更低(如铅检测限可达 0.001 ng/L), 线性范围宽, 适用于高、低浓度样品分析^[4]。然而, 该方法设备昂贵, 运行成本高, 且样品前处理复杂, 需将土壤样品消解为溶液, 过程繁琐耗时(见表 1)。

表1 ICP-MS检测部分重金属的性能参数

重金属元素	检测限 (ng/L)	线性范围 (ng/L)	精密度 (RSD,%)
铅(Pb)	0.001	0.01 ~ 1 000	0.8
镉(Cd)	0.0 005	0.005 ~ 500	1.0
汞(Hg)	0.0 002	0.002 ~ 200	1.2

2.3 近红外光谱法(NIRS)

近红外光谱法(NIRS)基于物质对近红外光(波长700~2 500 nm)的吸收特性,通过测量样品吸收光谱分析成分和性质^[5]。其原理是分子中化学键振动(如C-H、N-H、O-H等基团)在近红外区域产生吸收,可据此建立定量模型预测成分含量。NIRS快速、无损,适合原位检测,几分钟内完成分析,无需样品前处理。但检测精度低,土壤重金属检测限通常在mg/kg级别(如铅约10 mg/kg),且受土壤基质干扰大,需大量标准样品建立适用性有限的复杂模型。

2.4 X射线荧光光谱法(XRF)

X射线荧光光谱法(XRF)通过X射线照射样品,激发原子产生特征X射线荧光,荧光强度与元素含量成正比,XRF无损检测,可同时测定多种元素,包括重金属和轻元素,对铅(Pb)等重金属的检测限低至1 μg/g。但对轻元素检测灵敏度低,设备体积大、成本高,且土壤基质会干扰荧光信号,需校正模型消除影响^[6]。AAS、ICP-MS、NIRS和XRF检测限对比如图1所示。

3 基于光谱技术的土壤重金属污染快速检测方法创新研究

3.1 新型光谱技术的应用探索

近年来,拉曼光谱与太赫兹光谱技术在土壤重金属检测中显现出巨大潜力。拉曼光谱基于拉曼散射效应,原理为:

$$\Delta\nu = \nu_{\text{激发}} - \nu_{\text{散射}}$$

其中 $\Delta\nu$ 是拉曼位移,与分子振动模式相关,可用于

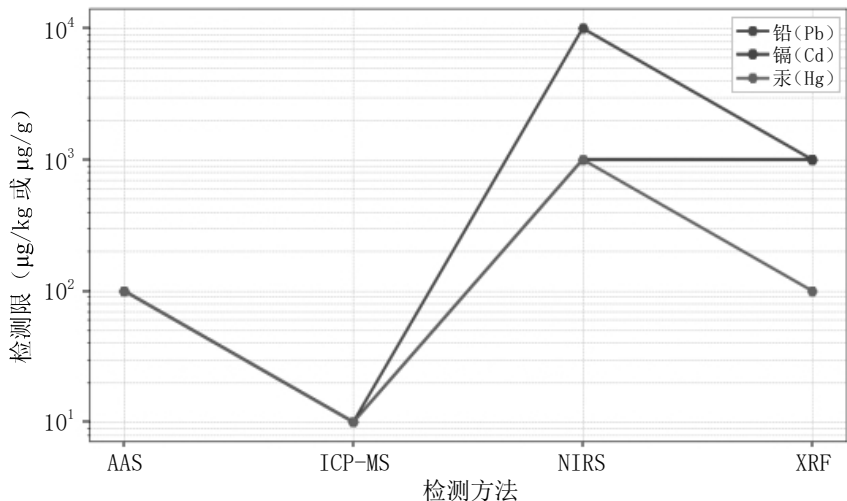


图1 AAS、ICP-MS、NIRS和XRF检测限对比

成分识别与定量分析。该技术无损、灵敏度高且快速,如能检测土壤中铅(Pb)的特征拉曼位移,检测限1 mg/kg,仅需5分钟^[7]。太赫兹光谱技术利用0.1~10 THz的太赫兹波与物质相互作用,原理为:

$$I_{\text{透射}} = I_{\text{入射}} \cdot e^{-\alpha \cdot d}$$

其中 $I_{\text{透射}}$ 是透射光强度, α 是吸收系数, d 是样品厚度。该技术可检测重金属离子与土壤基质相互作用的特征吸收峰,汞(Hg)检测限0.5 mg/kg,仅需10分钟。这些技术提供丰富信息,克服了传统方法的局限性。

3.2 光谱技术与其他技术的联用

光谱技术结合化学计量学方法如偏最小二乘法(PLS)和支持向量机(SVM),可显著提升土壤重金

属检测的准确性与可靠性。PLS通过公式:

$$Y = XB + E$$

其中, Y 是重金属含量矩阵, X 是光谱数据矩阵, B 是回归系数矩阵, E 是残差矩阵。建立光谱数据与重金属含量的定量关系,降维提取关键成分。SVM利用核函数将数据映射到高维空间,通过公式:

$$f(x) = \sum_{i=1}^n \alpha_i K(x, x_i) + b$$

其中, α_i 是拉格朗日乘子, (x, x_i) 是核函数, b 是偏置项。寻找最优分类超平面,处理非线性关系。此外,光谱技术与传感器技术联用,开发微型化光纤光谱传感器,可实现土壤重金属的实时、原位监测,具有便携性优势。

3.3 样品前处理方法的优化

为了提高土壤重金属检测效率, 研究者们探索了简化样品前处理的策略, 如微波消解和超声提取。微波消解利用微波能量快速加热样品中的酸, 加速消解过程, 具有快速 (10 ~ 20 分钟)、高效和环保等优点。超声提取则利用超声波的空化作用快速释放样品中的重金属, 具有快速 (5 ~ 10 分钟)、高效和无损等优势。此外, 研究者们还开发了无需样品前处理的光谱检测方法, 如拉曼光谱技术和太赫兹光谱技术, 通过建立校正模型 (如偏最小二乘法 PLS 和支持向量机 SVM), 可直接对土壤原样进行原位检测, 消除土壤基质干扰, 提高检测准确性。

4 实验研究与结果分析

4.1 实验设计

本研究选取了涵盖不同污染程度 (低、中、高)、质地 (砂土、壤土、黏土) 和有机质含量 (0.5% ~ 5%) 的代表性土壤样本, 以确保实验结果的广泛适用性。样本采集自多个受重金属污染的农田和工业区域, 具体信息见表 2。实验采用拉曼光谱技术和太赫兹光谱技术两种创新性光谱检测方法。拉曼光谱仪的激发波长为 785 nm, 光谱分辨率 1 cm^{-1} , 检测范围 $100 \sim 3\,200\text{ cm}^{-1}$; 太赫兹光谱仪的频率范围为 $0.1 \sim 2.5\text{ THz}$, 光谱分辨率 0.01 THz , 检测范围 $0.1 \sim 10\text{ THz}$ 。实验中, 拉曼光谱样品置于玻璃皿中, 激发光功率 100 mW, 积分时间 10 s, 扫描次数 3 次; 太赫兹光谱样品置于聚四氟乙烯样品池中, 激发光功率 50 mW, 积分时间 20 s, 扫描次数 5 次。

表 2 土壤样本基本信息

样本编号	污染程度	土壤质地	有机质含量 (%)	主要重金属 (mg/kg)
S1	低	砂土	0.8	Pb: 20, Cd: 0.5
S2	中	壤土	2.0	Pb: 50, Cd: 1.5
S3	高	黏土	3.5	Pb: 120, Cd: 5.0
S4	低	壤土	1.2	Pb: 15, Cd: 0.3
S5	中	黏土	2.8	Pb: 60, Cd: 2.0
S6	高	砂土	0.9	Pb: 100, Cd: 4.5

4.2 数据采集与处理

光谱数据采集范围为拉曼光谱 $100 \sim 3\,200\text{ cm}^{-1}$ 、太赫兹光谱 $0.1 \sim 2.5\text{ THz}$, 分辨率分别为 1 cm^{-1} 和 0.01 THz , 每个样品重复测量 3 次取平均值。数据处理包括: 平滑处理 (移动平均法, 窗口大小 5 个数据点)、去噪处理 (小波变换, Daubechies 小波, 分解层数 3) 和归一化处理, 公式:

$$X_{\text{归一化}} = \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}$$

其中, X 是原始光谱数据, $X_{\min}$ 和 $X_{\max}$ 分别是光谱数据的最小值和最大值。特征提取中, 拉曼光谱选择 $1\,000 \sim 1\,500\text{ cm}^{-1}$ 的特征拉曼位移, 太赫兹光谱选择 $1.5 \sim 2.0\text{ THz}$ 的特征吸收峰。定量模型采用偏最小二乘法 (PLS) 和网格搜索优化的支持向量机 (SVM), 通过交叉验证确保模型准确性和可靠性。

4.3 结果分析与讨论

实验结果表明, 拉曼光谱对铅 (Pb) 的检测限为 1 mg/kg , 检测时间为 5 分钟, 定量分析精度为 95%; 太赫兹光谱对汞 (Hg) 的检测限为 0.5 mg/kg , 检测时间为 10 分钟, 定量分析精度为 93%。与传统方法 (如 AAS) 相比, 拉曼和太赫兹光谱技术具有更快的检测速度 (5 ~ 10 分钟 vs. 2 ~ 4 小时)、更低的总体成本 (无需样品前处理) 和更简便的操作 (适合现场快速检测), 尽管检测精度略低于传统方法 (93% ~ 95% vs. 98%)。然而, 实验中存在光谱信号干扰和模型预测误差等问题, 如土壤中的有机质和矿物成分对拉曼信号的干扰, 以及水分和有机质对太赫兹信号的吸收。

5 结论

本研究综述并验证了拉曼光谱和太赫兹光谱技术在土壤重金属检测中的应用。结果表明, 这两种技术检测快速 (5 ~ 10 分钟)、无需复杂前处理且适合现场应用, 虽精度略低于传统方法, 但已满足快速筛查需求, 应用前景广阔。未来可进一步优化光谱技术与其他技术的联用, 完善校正模型, 以提高检测精度并降低干扰, 推动土壤重金属污染检测技术向更高效、便捷的方向发展。

参考文献:

- [1] 侯铁璐. 土壤重金属污染监测与风险评估技术研究 [J]. 中文科技期刊数据库 (全文版) 自然科学, 2025(01):43-46.
- [2] 霍秀意. 重金属污染源的环境检测与土壤修复 [J]. 中文科技期刊数据库 (全文版) 自然科学, 2025(01):185-188.
- [3] 赵虎. 土壤重金属检测方法 & 污染治理技术研究 [J]. 山西化工, 2024, 44(11):115-117.
- [4] 罗智明, 朱俊华. 土壤重金属检测与污染修复技术分析 [J]. 中文科技期刊数据库 (全文版) 自然科学, 2024(06):200-203.
- [5] 卮玉楠, 童林林. 环境监测中土壤重金属污染快速检测技术的创新 [J]. 中文科技期刊数据库 (文摘版) 工程技术, 2024(11):115-118.
- [6] 李新民, 刘桀佳. 农田土壤重金属污染快速检测及修复方法研究 [J]. 环境科学与管理, 2021, 46(02):128-133.
- [7] 洪碧圆, 徐振坤, 王志勇, 等. 某尾矿库土壤重金属污染情况检测与环境风险评估 [J]. 分析仪器, 2024(02):67-73.

水利工程堤坝复合混凝土防渗与加固施工技术研究

张文峰

(南雄市水库灌区工程管理服务中心, 广东 韶关 512000)

摘要 水利工程项目是捍卫国家水资源安全的有力防线, 更是经济社会可持续发展的关键保障, 但在长时间的运行中, 常常会遇到渗漏带来的严峻挑战。针对渗漏问题, 堤坝复合混凝土防渗与加固是一种行之有效的施工技术, 具有重要的应用价值。本研究阐述了堤坝防渗加固的重要性, 分析了水利工程堤坝渗漏的主要原因, 对相关施工过程进行了详细介绍, 并进行了相应的实验分析, 以期相关的水利工程建设施工提供经验借鉴。

关键词 水库工程; 堤坝复合混凝土; 防渗与加固施工技术

中图分类号: TV64

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.22.004

0 引言

水利工程在防洪减灾、农业灌溉、水力发电及航运等多个关键领域发挥着举足轻重的作用。然而, 大坝渗漏等问题时常阻碍水利工程的稳定运行, 影响其效益的充分发挥。复合混凝土作为一种高性能的新型材料, 在堤坝防渗与加固方面展现出了卓越的优势。因此, 对该技术的研发与应用, 对保障水利工程的安全运行具有重要的意义。

1 水利工程堤坝防渗加固的重要性

堤坝是水利工程中不可或缺的要素, 对于充分发挥水利工程综合效益起着决定性作用。堤坝不仅肩负防洪、拦沙的基本职责, 还承担着供水等重要使命, 其安全状况直接影响着周边民众的生命与财产安全, 为了维护堤坝的结构完整性和稳定性, 采取有效的堤坝防渗手段尤为关键。堤坝复合混凝土防渗与加固施工技术能够显著提升堤坝的防渗能力, 确保水利工程的稳定性。同时, 堤坝复合混凝土防渗与加固技术还能降低水利工程蓄水过程中的水损失, 提高水系统的整体效能, 为稳定调配水资源提供坚实的保障。此外, 堤坝周边的生态环境, 如天然湿地、沙漠或农田等, 确保了生态平衡和生物多样性。强化堤坝的防溢能力, 将地下水和地表水的污染程度降到最低, 减少周边土壤污染和地下水渗漏, 从而保障生态环境的稳定与健康发展。边坡防渗加固同样不容忽视, 它能增强堤坝的结构稳定性, 有效抵御水压、水锤以及地震等外力作用。这不仅能提升堤坝的抗震性能和安全性, 还能使其更好地应对极端气候条件和地质灾害带来的挑战。

通过防渗加固, 可以延缓堤坝的老化进程, 减少损失, 延长其使用寿命。

2 水利工程堤坝渗漏的主要原因

水利工程的堤坝渗漏问题是一项复杂且严峻的挑战。堤坝出现渗漏的原因是多方面的, 主要包括以下几个方面: (1) 地质因素。部分地区的地质构造繁杂, 存在着如软弱土层、断层以及裂隙等地质现象。这些地质因素极易导致堤坝产生渗漏情况。(2) 设计施工存在缺陷。设计不合理或是施工质量未达到相应标准, 如防渗层材料挑选不合理、施工工艺不规范等, 都会造成堤坝防渗的能力降低, 进而引发渗漏问题。(3) 河流冲刷与地下水位上升。河流长时间的冲刷作用会对堤坝的迎水面造成破坏, 致使防渗层遭受损害, 从而引发渗漏。地下水位上升会加大堤坝的渗透压力, 促使渗漏的过程加快。(4) 自然灾害与人为破坏因素。地震、洪水等自然灾害以及人为破坏都会给堤坝带来极为严重的冲击与破坏, 使堤坝的结构失去稳定性, 防渗性能也随之下降^[1]。

3 堤坝复合混凝土防渗与加固施工

3.1 防渗墙

防渗墙构筑有两个关键步骤, 即槽孔开挖和混凝土浇筑, 具体构造如图1所示。在槽孔开挖环节要依据准确的设计图纸还有详实的地质勘探资料, 对槽孔的位置及规格精确设定。通过专业的挖掘设备以及工艺技巧保证槽孔的形状与尺寸能够精准契合预设的标准。在此期间, 将槽孔底部的松散土壤、碎石等杂质

全部清除干净是极为重要的,这能为混凝土和地基之间具备强大黏结力以及高度密实性筑牢稳固基础。混凝土浇筑属于构筑防渗墙的另外一个关键环节。制备高性能复合混凝土材料的关键在于精心挑选材料,并严格按照工程设计要求的配比进行精确拌合。通过采用先进的搅拌与振捣工艺,可以大幅提高混凝土的均匀度和密实度。在灌注混凝土至槽孔的过程中,需运用科学合理的振捣技术,以确保混凝土能够充分且紧密地填充槽孔,并与地基紧密结合,从而打造出坚固耐用、防渗性能优异的墙体结构^[2]。

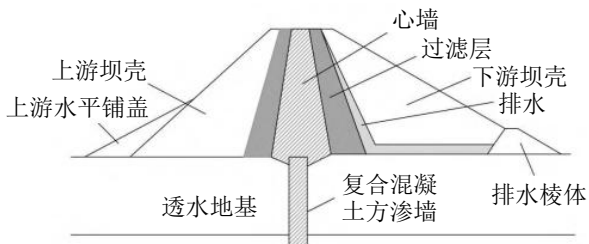


图 1 堤坝复合混凝土防渗墙示意图

严格依照设计图纸开展放线作业,保证槽孔位置准确。对堤坝的地质构造以及水文特征加以分析,要以科学合理的方式设定防渗墙的深度以及厚度。基础准备阶段必须全方位清理并且整平基础的表面,要保证上面没有任何异物残留,而且还要均匀地涂刷防水漆。钢筋的绑扎作业要绑扎牢固可靠。模板的选择及安装必须保证足够的刚度和强度,确保防渗墙形状的规整性和尺寸的精确性。浇筑环节要严格把控混凝土的分布情况以及密实度,防止出现诸如蜂窝、麻面等缺陷,保证混凝土均匀且致密。完成浇筑工序后要要及时开始养护,养护期限届满后,要妥善拆除模板^[3]。

3.2 灌浆孔设置

本工程灌浆孔采用双排布孔方案,能够在很大程度上提升灌浆孔的密度,还可以依照堤坝实际呈现出的形态以及渗漏方面的具体情况,灵活地对灌浆孔的深度、间距加以调整。在对堤坝土体的实际情况展开全面且细致的评估之后,为了更有效地提升堤坝防渗性能,将相邻灌浆孔的距离精确调整至 3 m,并采用了干法造孔技术来实施双排布孔作业,进而对堤坝的裂缝以及空隙实现有效的封堵与加固。通过实施双排布孔的布置方案,能够构建出一个既紧凑又高效的灌浆孔网络。该方案赋予了我们依据堤坝的具体形态和渗漏情况灵活调整灌浆孔深度和间距的能力,进而实现对灌浆范围和深度的精确掌控,显著增强加固成效(见图 2)。并通过干法造孔技术在作业中实施了双排布孔,

有效避免了堤坝遭受水和其他液体的侵蚀。每次造孔作业完成后,都会立即开展孔道清理工作,彻底清除碎石、杂物等,以保障孔道的顺畅。同时,还会对每个孔实施严格的质量检查,不但要平整光滑,更不能有积水出现在内外表面,确保之后的灌浆作业的顺利进行。

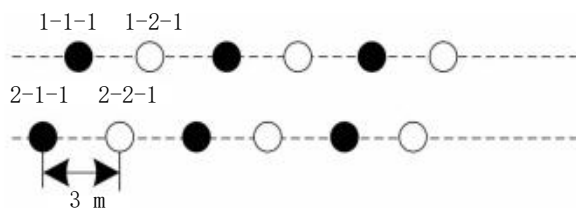


图 2 灌浆孔布设示意图

3.3 劈裂帷幕灌浆

根据水利劈裂原理,针对质量不良或者有隐患的土坝,劈裂帷幕灌浆技术利用钻孔和加压灌浆的方法构成新的防渗墙体。灌浆材料选择要充分考虑堤坝的地质特性、施工条件等因素。通常情况下,灌浆材料有水泥浆、水泥砂浆以及化学浆液等。对于这些材料的选择,应当依照它们各自的流动性、凝结所需要的时间、所能达到的强度等一系列关键性能指标来进行确定,确保其能够满足工程施工要求,具体材料规格如表 1 所示。

灌浆施工前,要严格依照设计图纸来明确钻孔具体位置以及需要达到的深度,运用专业的钻孔设备进行作业操作。灌浆环节运用合适的灌浆设备以及相应的工艺,把灌浆材料精准地灌注到裂隙里。注浆用的材料是能够较为充分地对土体的孔隙、裂隙加以填充的,这样可以有效地阻拦地下水的渗入,让施工环境始终维持在干燥的状态^[4]。

表 1 劈裂灌浆施工材料规格参数

序号	材料	规格
1	水泥	强度等级高于 32.5 级的硅酸盐水泥
2	骨料	确保细度模数 2.4 ~ 3.0 的河砂、粗砂或者中砂
3	外加剂	确保减水剂、引气剂、缓凝剂的高效性
4	复合掺合料	粉煤灰和矿渣粉
5	钢筋	HRB500 级钢筋,直径不宜小于 10 mm
6	防水剂	TY4-1G 甲基硅酸钠

4 实验分析

4.1 实验准备

实验紧紧围绕A水利工程项目来开展,这个项目里水库坝址以上的集雨面积达到了 198 km^2 ,其总库容量更是多达 $1\ 102\text{ km}^3$ 。为了满足实验需求,从这个工程中挑选了6个颇具代表性的堤坝段落,把它们当作研究的样本,并且依次给编号,从DB-01#一直到DB-06#。为了保证实验可以顺利地开展下去,准备了充足的核心材料,还配备了水压试验装置、渗透试验装置以及加固设备等必要的工具。在实验开始之前,针对堤坝的基础部分展开了细致入微的预处理工作,如清除杂物、表面整平等,以此来确保基础部分既平整又清洁。接着,严格依照实验方案进行操作,充分地搅拌复合混凝土,并且精准地把控质量以及配合比。在铺设的过程当中,依照复合混凝土防渗与加固施工技术的流程来进行。为了能够进一步提升防渗的性能,在混凝土的表面铺上了一层聚乙烯薄膜,然后使用热风枪加热,让它能够紧密地贴合起来。

4.2 结果分析

本研究针对6个堤坝段落开展了水压试验工作,其间还研发制作出了多种不同配比的复合混凝土样品。在实验室中,努力还原贴近真实的施工环境,每一种复合混凝土样品都一一经过了完整且严格规范的水压测试相关流程。在测试进行的过程中,逐步缓缓增加水压大小,并详细记录下每个样品在特定水压之下的渗水量具体数据信息。深入地剖析了渗透系数和防渗性能二者之间存在的紧密联系,针对不同的技术方案所呈现出的防渗效果实施了综合全面的对比评估分析。渗透系数作为用以衡量防渗性能的关键指标参数,数据必须准确无误。渗透系数的计算公式具体如下所示:

$$K=q \times d \times \Delta p / L \quad (1)$$

式中, q 代表的是渗透流量, d 代表的是堤坝段落的厚度; Δp 代表的是堤坝两侧存在的压力差; L 代表的是堤坝段落的长度。依照水压试验得出的结果,进行每个堤坝段落计算。把所提出的堤坝复合混凝土防渗与加固施工技术设定成实验组,与此同时,把高压喷射防渗技术以及河道堤岸防护工程施工技术分别设定成对照组1和对照组2。经过对这三种技术在实施之后堤坝段落渗透系数所发生的变化进行细致的对比。对比实验的结果明确展示了堤坝段落DB-01#至DB-06#中,实验组与对照组在渗透系数上的显著差异。具体而言,实验组的渗透系数稳定维持在较低的 0.48×10^{-6}

至 $0.60 \times 10^{-6}\text{ cm/s}$ 范围内。相比之下,对照组的表现大相径庭:对照组1的渗透系数在 1.12×10^{-6} 至 $1.33 \times 10^{-6}\text{ cm/s}$ 间波动,而对照组2的波动范围更宽,达到 1.49×10^{-6} 至 $2.01 \times 10^{-6}\text{ cm/s}$ 。这一显著差异主要归因于实验组所采用的复合混凝土防渗墙设计。该设计凭借出色的水流阻隔能力,显著增强了堤坝的防渗性能。此外,实验组还在堤坝两岸坡段实施了双排布孔策略,通过密集的灌浆孔网络,进一步加固了堤坝的防渗屏障,不仅优化了灌浆效果,还实现了对灌浆范围和深度的精准控制,从而进一步增强了堤坝的稳定性。引入劈裂灌浆技术后,实验组堤坝在稳固性和防水性能方面均实现了显著提升。相比之下,堤坝段落DB-01#至DB-06#中的对照组1与对照组2,其渗透系数并未呈现明显差异,普遍保持在 1.12×10^{-6} 至 $2.01 \times 10^{-6}\text{ cm/s}$ 这一相对较高的范围内。这一结果归因于对照组继续沿用了传统的堤坝防渗技术和施工方法,因此其防渗效果相对有限。综上所述,针对堤坝段落DB-01#至DB-06#,本研究提出的复合混凝土防渗与加固施工技术展现出了卓越且显著的成效,其性能明显优于传统技术^[6]。

5 结束语

在处理水库工程堤坝渗漏问题方面,复合混凝土防渗以及加固施工技术展现出了显著优势。运用合理、科学的防渗加固措施,能够在最大程度上提升堤坝的抗渗性能,同时也能增强其承载能力,进而保证水库工程稳定安全地运行。未来,要持续不断地对复合混凝土防渗以及加固施工技术展开深入研究,推动其在技术层面实现创新以及发展,全方位提升堤坝防渗加固施工技术的整体效能。

参考文献:

- [1] 王积功. 水利工程施工中堤坝渗漏原因以及防渗加固技术研究[J]. 河南科技, 2020, 39(25): 60-62.
- [2] 卜祥禹, 马建强. 水利工程施工中堤坝防渗加固技术分析[J]. 建筑技术开发, 2020, 47(15): 99-100.
- [3] 王攀生. 河道堤岸防护工程施工技术在水利工程中的应用分析[J]. 水上安全, 2023(05): 170-172.
- [4] 徐晓兵, 韩小凡, 邓彪, 等. 渠式切割水泥土连续墙(TRD)在赣江某综合整治工程中的应用[J]. 建筑结构, 2023, 53(10): 144-151.
- [5] 李涛. 水利工程堤坝防渗与加固技术研究: 评《水利工程施工技术》[J]. 人民黄河, 2023, 45(04): 168.

微生物诱导碳酸钙沉积技术加固 历史建筑砖石结构研究

王晨超

(山东港通工程管理咨询有限公司, 山东 烟台 264000)

摘要 历史建筑作为文化遗产的重要载体, 承载着地域历史与人文记忆。然而, 受风化、腐蚀、地震等外界因素影响, 其砖石结构普遍存在风化、开裂、松散等劣化问题。传统加固方法如灌浆、封闭剂及外加材料, 往往存在破坏原貌、二次损伤及材料不兼容等问题, 因此寻求一种既能提高结构强度, 又不干扰文物本体的加固技术尤为重要。而微生物诱导碳酸钙沉积技术 (简称 MICP) 凭借微生物诱导生成碳酸钙沉积以填充裂隙、提高孔隙率、增强整体结构的能力, 逐渐成为文化遗产保护领域的研究热点, 不仅可控制沉积位置与规模, 还具有良好的可逆性与可调节性, 为砖石结构的可持续加固提供了新思路。因此, 本文对微生物诱导碳酸钙沉积技术在历史建筑砖石结构中的应用进行了研究, 以期对相关人士提供参考。

关键词 微生物诱导碳酸钙沉积; 历史建筑; 砖石结构; 加固

中图分类号: TU74

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.22.005

0 引言

随着全球文化遗产保护意识的不断提升, 历史建筑的保存与修复逐渐成为建筑学、文物保护学以及材料工程等多学科交叉关注的重要议题。砖石结构历史建筑作为历史文明与地方文化的重要物质载体, 以其独特的结构形制、材料风貌和工艺技法在各地广泛分布。然而, 由于年久失修、自然风化、环境侵蚀以及人为干扰等因素影响, 这些建筑往往存在结构松散、砖石剥落、缝隙扩张、承载能力下降等严重的劣化问题。传统的修复方法如有机树脂灌浆、水泥注入、表面封闭等技术虽然在一定程度上可以实现加固, 但普遍存在材料不相容、密闭性过强、透气性受限以及对原构件造成二次损伤等缺陷, 难以满足当代文物保护“最小干预、可逆性、真实性”的原则要求。基于微生物诱导碳酸钙沉积技术的加固方法, 通过引入特定菌株, 利用其代谢产物诱导碳酸钙在砖石裂缝、孔隙等位置沉积, 从而实现结构的原位加固与内部密实化。

1 微生物诱导碳酸钙沉积技术原理

微生物诱导碳酸钙沉积技术 (简称 MICP) 是一种基于微生物代谢作用实现碳酸钙矿物沉积的生物矿化手段, 广泛应用于岩土加固、古建筑保护、裂缝修复等领域。从技术角度来看, MICP 的核心在于通过选用具有特定代谢机制的微生物 (如产脲菌) 在特定条件下诱

导局部环境发生物理化学变化, 从而促使碳酸钙沉淀在孔隙、裂隙等目标区域, 实现结构强化与致密化^[1]。

在技术实施过程中, MICP 主要通过向处理介质中引入可控的微生物群体, 并为其提供适宜的营养源 (如尿素和钙源) 以启动代谢活动。微生物在其生长过程中能够显著调节局部 pH 值并释放离子态中间产物, 这些变化共同营造出一个有利于碳酸钙沉淀生成的微环境。随着沉积过程持续进行, 碳酸钙逐渐覆盖微生物细胞表面, 并在结构孔隙、微裂纹中形成稳定、连续的矿物沉积, 进而提高材料整体密实度与抗压性能。该技术的优势在于沉积过程缓慢可控, 不会引发瞬时应力集中或热效应, 适用于脆弱或敏感材质的砖石结构。此外, 所形成的碳酸钙沉积物具有良好的结构稳定性和与原始材料的物理化学相容性, 既能强化结构, 又不影响其透气性和外观。微生物本身可作为自适应模板, 在复杂环境中自我复制与扩散, 使得沉积过程具有一定的自组织能力与适应性, 提升了施工灵活性和环境适应性。

2 微生物诱导碳酸钙沉积技术在历史建筑砖石结构中的应用价值

2.1 在保障文物真实性与完整性方面的优势

历史建筑作为不可再生的文化遗产, 其砖石结构往往具有高度的历史价值与艺术性。因此, 在实施任

何加固或修复工程时,必须优先考虑材料与结构的“真实性”与“可逆性”。传统加固方法如环氧树脂或聚合物注浆,虽然短期内能够提供一定强度提升,但其化学性质往往与原有砖石不兼容,容易引发物理应力集中、色差破坏或二次劣化。而 MICP 技术以微生物为核心诱导因子,通过温和、渐进的方式在砖石孔隙与裂缝中沉积碳酸钙,这种沉积物在成分与结构上高度接近原始材料,可最大限度保持建筑原貌^[2]。同时,该技术在拆除、不大面积接触文物表层的前提下,通过注入或渗透方式完成结构加固,极大地减少了施工过程对文物本体的干扰。此外, MICP 过程具有一定的可逆性与可控性,微生物活性可在特定条件下终止,沉积层亦可通过物理方式清除,符合当前文物保护“最小干预”与“可逆性修复”的国际原则。

2.2 在提高砖石结构耐久性与抗劣化性能方面的贡献

历史建筑砖石结构通常面临雨水侵蚀、冻融循环、风化剥蚀、盐分迁移等多重劣化因素,尤其在南方湿润气候与北方干寒环境中更为显著。MICP 技术在结构加固的同时,能够有效提升砖石材料的耐候性与结构稳定性,其机理在于碳酸钙沉积物能够填补材料内部的微裂缝与孔隙,降低材料的整体渗透性与吸水率,从而抑制水分及盐类离子的侵入,延缓风化进程。此外,碳酸钙沉积物在微观层面具有良好的结晶结构,能够作为骨架将砖石颗粒之间重新“胶结”,显著增强其抗压强度与结构完整性。相较于无机灌浆或表面涂层类技术, MICP 沉积物在不同湿度与温度环境下依然具备较强稳定性,不易发生粉化或剥落,从而保证加固效果的长期有效性。特别是在风化砖石较为严重的历史遗存中, MICP 可作为“结构内部自愈”的技术路径,使加固不仅停留于表层处理,更实现从微观结构到整体力学性能的同步提升,这对于提高砖石建筑的使用寿命与延长其保护周期具有重要现实意义。

2.3 在实现绿色可持续建筑保护理念中的价值体现

当前文化遗产保护理念日益强调生态友好与可持续性,而 MICP 技术恰恰符合这一发展方向。其整个加固过程以可再生微生物为“材料源”,所需营养液主要由简单的有机物和无机盐组成,生产过程低能耗、无高温高压或有毒物质介入,基本不会对施工区域环境造成污染,相较传统化学加固技术具有更低的碳足迹与更高的环境兼容性^[3]。同时, MICP 能够在常温常压下运行,施工过程对周边环境影响极小,特别适用

于人口密集、文化敏感区域的历史建筑修复工程。此外, MICP 可根据微生物的特性进行“智能调控”,如通过调节营养液成分控制沉积速率,或通过基因工程改造提升其沉积效率与环境适应能力,为实现加固技术的高适应性与定制化创造了可能。该技术还具备良好的经济适应性,在中低成本条件下便可实施,尤其适用于资金有限的中小型遗产项目。

3 微生物诱导碳酸钙沉积技术加固历史建筑砖石结构的方法

3.1 表面喷涂法:适用于表层风化或细小裂缝结构的浅层修复

表面喷涂法作为 MICP 技术在历史砖石结构里较为基础且安全的应用途径之一,主要借助低压喷涂设备把含有微生物以及诱导营养液的复合液体均匀地喷洒在砖石表面,促使微生物渐渐附着并于表层微裂隙中定殖生长,诱导碳酸钙沉积,以此实现表面致密化以及结构加固,这种方法格外适用于那些表面风化、颗粒脱落或者存在毛细裂缝的古建筑结构,可有效地提升抗风化能力以及抗渗性能。之后运用喷涂设备以交叉角度多次喷涂菌液与营养液混合体系,每次喷涂都要保持湿润时间最少 24 小时,以便利于微生物活动,一般建议每天喷涂 1~2 次,持续 5~7 天,依据沉积效果可适当延长周期,为了提高诱导效率,可以在喷涂液中添加低浓度钙源以及缓冲剂,让碳酸钙沉积过程更加趋于稳定。喷涂法的最大优势在于不会破坏原结构,适用于无法进行深层干预的历史遗存,它的缺点是加固深度有限,碳酸钙大多沉积在表层 1~3 毫米的范围之内。

3.2 裂缝注入法:针对结构裂缝与接缝缺陷的定向修复技术

裂缝注入法是 MICP 技术于砖石结构里实现“定点加固”的关键方式,主要运用于历史建筑中出现的较宽裂缝或者砖石接缝开裂的情况,其技术思路是借助低压注浆设备把菌液和营养液交替注入裂缝内,促使微生物在裂缝内部定殖并且诱导碳酸钙沉积,逐渐填充并封闭结构缺陷,达成裂缝闭合以及强度恢复。操作流程首先要对裂缝给予清理,除掉松散颗粒和杂质,以此提升注入液渗透效率,接着运用注射针管顺着裂缝方向设置多个灌注口,分层次开展菌液注入,注入之后,要间隔 6~12 小时补充营养液,并且维持湿润环境利于微生物持续代谢,整个加固过程周期一般是 7~14 天,

依据沉积情况可进行阶段性检查,保证沉积均匀、裂缝闭合完整。和传统裂缝封闭方法相比,MICP 注入法更具柔性 with 适应性,其沉积物可精准分布在裂缝内部,形成致密“生物矿物胶结层”,并且与周围材料有良好物理兼容性,该方法避免使用不透气、易老化的有机材料,在长周期历史环境中更稳定可靠^[4]。

3.3 毛细渗透灌注法:用于砖石材料内部孔隙加固与整体密实化处理

毛细渗透灌注法作为一种内部加固技术,通过砖石材料自身的毛细孔隙系统,促使微生物液体自然渗透进去,在其内部形成碳酸钙沉积,这种方法主要针对砖石结构内部存在微细孔道、粒间孔隙较为松散或者受盐蚀风化影响程度较重的区域,它可以在不损坏建筑表面的情况下提高砖体或砌体的整体性。

在技术执行阶段,首先把微生物培养液注入砖石表面,通过自然渗透或者加压渗透的方式让其进入砖体内部,等微生物附着稳定之后再定期补充营养液,以此促进碳酸钙结晶的形成。这依靠材料孔径、含水率以及微生物活性之间的动态平衡,在施工之前要依靠 X 射线扫描、红外热成像等技术获取砖石孔隙结构信息,可科学设定注入量与频率。为提高沉积效率,可以使用不同黏度的营养液来调节渗透速度,并且通过控制 pH 值、 Ca^{2+} 浓度等参数精准调控结晶速率,整个渗透周期一般是 10 ~ 21 天,可以多轮循环使用来提高沉积厚度,沉积完成后,依靠低压热风干燥或者自然通风的方式去除多余水分,防止结晶物破裂。该方法的优势在于其“无痕式”加固能力,可对砖石结构的整体孔隙网络进行原位强化,有效减少渗水通道、提高抗冻性与耐盐蚀性能,其可结合微生物智能识别材料裂隙的特性,实现靶向沉积,提升加固效果的精细度和针对性。

3.4 生物膜定向诱导法:以“生物膜工程”为基础的可控沉积方法

生物膜定向诱导法是近些年在 MICP 研究中逐渐发展起来的一项先进技术,其凭借引导微生物于砖石表面或者内部形成稳定的生物膜结构,实现碳酸钙沉积的定向控制。生物膜由微生物分泌的胞外聚合物即 EPS 构成,可作为碳酸钙沉淀的模板以及诱导位点,提高沉积的粘附性和空间稳定性。该方法的技术路径主要有三步:首先是微生物筛选与驯化,挑选能在砖石表面形成致密生物膜的菌株;其次是引导定向附着,根

据微调菌液流速、温度湿度等条件,让微生物在特定位置附着并形成膜层;最后是在膜层内进行 MICP 反应,通过提供钙源和营养物质诱导碳酸钙均匀沉积于生物膜支架中^[5]。

和传统 MICP 技术不一样,生物膜当作介质强化了沉积过程的可控程度,而且可提升结晶的力学结合力,在实际应用中,技术人员可借助显微观察、激光共聚焦成像等技术,动态监测膜层结构的形成以及沉积物分布,实现精细化加固。这种方法适合用于需要对砖石表面图案、浮雕或者铭文等精细构件进行保护的场景。相较于直接喷涂或者注入,它对表面微观特征的干扰是最小的,可在极小尺度上兼顾加固与保护,生物膜还有“自修复”潜能,在遭受破坏后可再生并继续诱导沉积,拥有一定智能响应能力^[6]。

4 结束语

微生物诱导碳酸钙沉积技术作为一种融合生物工程与材料科学的新兴加固技术,正在逐步改变传统历史建筑砖石结构修复的技术范式。其以低干扰、高相容性和可持续性为核心优势,在文化遗产保护这一高度敏感且多维度的应用领域中展现出独特价值。无论是通过表面喷涂、裂缝注入,还是通过毛细渗透与生物膜定向诱导,MICP 均体现出对结构微环境的精准适应与生态融合能力,为历史建筑的“非破坏性”加固提供了切实可行的技术路径。在当前文物保护理念日益向绿色化、可逆性、智能化转型的背景下,MICP 不仅是一种材料修复技术,更代表着文化遗产工程从“修旧如新”向“延寿固本”过渡的技术转向。

参考文献:

- [1] 刘忠,肖水明,刘飞飞,等.微生物诱导碳酸钙沉积固化建筑渣土抗风蚀扬尘影响因素的试验研究[J].工业建筑,2022,52(11):71-78.
- [2] 王露.微生物诱导碳酸钙沉积对水泥基材料的表层改性机制[D].武汉:武汉大学,2021.
- [3] 孙道胜,许婉钰,刘开伟,等.MICP 在建筑领域中的应用进展[J].材料导报,2021,35(11):11084-11091.
- [4] 葛鑫.不同灌浆方式对 MICP 固化沙漠风积沙的影响研究[D].南京:东南大学,2021.
- [5] 张海丽,徐品品,刘数华,等.胶结方式对微生物诱导碳酸钙沉积的影响[J].生物学杂志,2020,37(05):85-89.
- [6] 赵程程.微生物诱导碳酸钙沉积修复混凝土裂缝的试验研究[D].济南:山东建筑大学,2015.

高效液相色谱—质谱联用技术在土壤有机污染物分析中的应用

孙 健

(中化地质矿山总局吉林地质勘查院, 吉林 长春 130000)

摘 要 本研究探讨了高效液相色谱—质谱联用技术(HPLC-MS)在土壤有机污染物分析中的应用,介绍了HPLC和MS的基本原理,强调了联用技术的高灵敏度、高选择性优势,分析了土壤中主要有机污染物的种类、特性及其环境行为,详细阐述了样品前处理、仪器参数优化和定量定性分析方法。通过多环芳烃和甲基汞的检测案例,验证了HPLC-MS在土壤有机污染物分析中的高效性和准确性。结论表明,HPLC-MS技术为土壤环境监测、污染风险评估提供了有力工具,对保障生态环境安全和公共健康具有重要意义。

关键词 高效液相色谱—质谱联用; 土壤有机污染物; 样品前处理; 定量定性分析; 环境监测

中图分类号: X53

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.22.006

0 引言

随着工业化和农业现代化不断发展,土壤有机污染问题日益严重,威胁生态环境和人类健康。因此,准确检测土壤有机污染物成为研究重点。高效液相色谱—质谱联用技术(HPLC-MS)因其卓越分离能力、高灵敏度及选择性,成为分析此类污染物的有效工具。该技术能分离复杂样品,并通过质谱提供分子结构信息,实现精准定性与定量。本文探讨HPLC-MS在土壤有机污染物分析中的应用,涵盖基本原理、样品前处理、参数优化及实际案例,旨在展示其在此领域的重要价值。

1 高效液相色谱—质谱联用技术的基本原理

1.1 高效液相色谱(HPLC)

高效液相色谱—质谱联用技术基于样品组分在固定相与流动相间的相互作用差异实现分离。其核心在于色谱分离机制,通过分配、吸附、排阻或亲和作用,使组分在色谱柱中的滞留时间不同,从而分离。固定相多为固体或多孔凝胶,流动相为液体溶剂,其化学性质和颗粒大小影响分离效果。样品注入后,流动相携带其通过色谱柱分离,随后进入检测器。色谱柱类型包括反相、正相、离子交换、体积排阻和亲和色谱柱,根据分析物性质和分离目标选择。检测器如紫外—可见光、荧光、质谱、电化学和示差折光检测器,各自基于不同原理,提供灵敏、准确的分析^[1]。

1.2 质谱(MS)

质谱技术通过电离样品并分离带电离子,获取分子质量信息,广泛应用于各领域。其核心部件包括离

子源、质量分析器和检测器。电离方式多样,如电喷雾电离(ESI)适用于极性化合物和生物大分子,能生成多电荷离子,特别适合大分子检测;大气压化学电离(APCI)则适用于中等极性小分子,主要产生单电荷离子。质谱检测器类型丰富,飞行时间质谱(TOF)以高分辨率和快速扫描著称,适合复杂样品分析;四极杆—飞行时间质谱(Q-Trap)结合四极杆和离子阱优势,实现高灵敏度定量和定性分析;轨道离子阱质谱(Orbitrap)提供高分辨率和高精度,适用于广泛的目标和非目标分析。

1.3 联用技术的优势

HPLC-MS联用技术,融合HPLC的卓越分离能力与MS的高灵敏度、高选择性检测,成为强大的分析工具。HPLC将复杂样品中的各组分包罗万象地梳理开来;而MS通过离子化和质量分析,揭示出每一分子的秘密。这种分离与检测的协同作用,使得HPLC-MS在复杂基质中也能精准捕捉目标化合物,实现定性定量的精准分析。无论药物代谢研究、环境污染物检测还是食品安全把关,HPLC-MS均展现独特魅力,轻松应对强极性、难挥发、热不稳定化合物,让复杂样品的分析变得简单而高效,为科学研究和日常检测提供了强有力的支持^[2]。

2 土壤有机污染物的种类与特性

2.1 主要有机污染物

土壤有机污染物主要包括农药残留、多环芳烃、持久性有机污染物如多氯联苯等。农药残留来自农业化学农药,其迁移受土壤类型、pH值影响,对健康和

生态有潜在危害。多环芳烃源自化石燃料不完全燃烧,水溶性低,挥发性高,毒性随苯环增多而增强。持久性有机污染物如多氯联苯,具持久性、生物富集性,能长距离迁移,对健康和生态危害严重。此外,全氟化合物、抗生素等新兴污染物随工业化和城市化发展逐渐引起关注,其特性和毒性因化合物性质和土壤条件而异,对公共健康和生态系统构成潜在威胁。

2.2 污染物的化学特性

土壤有机污染物的化学特性深刻影响其环境行为。极性与非极性决定了它们与土壤的相互作用方式,极性化合物通过氢键和静电作用与土壤官能团相连,非极性化合物则依靠疏水效应与有机质结合。分子量和结构复杂性进一步塑造了它们的迁移和降解轨迹,高分子量和复杂结构使得污染物更易滞留在土壤中,如多环芳烃的苯环数量越多,其降解难度和吸附能力也随之增加。稳定性与降解特性则反映了污染物的持久性,多环芳烃和多氯联苯等因共轭结构和高氯化程度而难以降解,而含活泼官能团的化合物则更易受到环境因素的影响^[3]。

2.3 污染物在土壤中的行为

有机污染物在土壤中的行为复杂多变,吸附与解吸过程直接影响其迁移、转化和生物可利用性。土壤有机质含量、pH 值、离子强度及温度等因素共同决定了污染物的吸附能力,而解吸则控制着污染物的再次释放。挥发性有机污染物(VOCs)的迁移性受其挥发性和土壤特性影响,通过扩散和对流在土壤中移动,其迁移性还受土壤颗粒大小、孔隙度和湿度的影响。降解途径包括光化学降解、化学氧化还原反应和生物降解,不同途径产生的转化产物可能具有不同的化学性质和毒性,如某些多环芳烃的降解产物可能更具毒性和生物累积性。

3 HPLC-MS 在土壤有机污染物分析中的应用方法

3.1 样品前处理

在土壤有机污染物分析中,HPLC-MS 的应用需严格样品前处理。采集代表性土壤样品后,装入干净容器,标明信息,尽快分析或低温保存。提取方法多样,索氏提取效率高但耗时,超声提取时间短、效率高,加速溶剂提取则快速高效且溶剂少。净化技术亦不可少,固相萃取、液液萃取和凝胶渗透色谱分别通过吸附洗脱、溶剂分配和分子量分离实现净化富集。最后,样品需浓缩定容,通过氮吹浓缩、旋转蒸发等方法提高浓度,定容时确保溶剂纯度与 HPLC 流动相兼容,为后续分析奠定基础。整个流程环环相扣,旨在确保分析结果的准确性和可靠性^[4]。

3.2 仪器参数优化

仪器参数优化对确保分析准确性至关重要。色谱条件方面,采用甲醇、乙腈与乙酸铵水溶液作为流动相,如甲醇与 0.1% 乙酸铵水以 80:20 比例混合,实现有效分离。流速控制在 0.3 mL/min,平衡分离效率与保留时间。柱温设定在 35 ~ 40 °C,优化分离效果及峰形对称性。在质谱参数上,电喷雾离子化电压 3 500 V 确保高效电离,锥孔电压 400 V 提升检测灵敏度。采集模式可根据需求选择,全扫描模式适用于未知物筛查和鉴定,SIM 模式针对已知化合物提高灵敏度和选择性。MRM 模式在串联质谱中,通过监测特定母离子和子离子对,进一步强化定量分析的准确性和灵敏度。

3.3 定量与定性分析

在分析过程中,定量与定性方法各显神通。标准曲线法通过绘制已知浓度标准溶液的响应值曲线,简单快捷地确定污染物含量,尤其适用于大批量样品。而内标法则巧妙地加入内标物,利用响应比值校正仪器波动和基质效应,确保定量精准。定性分析双管齐下,保留时间匹配与标准品对比,初步锁定目标;质谱特征离子分析则深入揭示化合物结构,两者结合,定性更准确。专业软件如 MassHunter、Xcalibur 等更是锦上添花,自动处理数据,识别峰位,提取特征,计算结果,生成报告,同时应对多组分和复杂样品,让分析既高效又准确^[5]。

4 HPLC-MS 在土壤有机污染物分析中的应用案例

4.1 多环芳烃(PAHs)的检测

多环芳烃,这类源自化石燃料不完全燃烧的土壤常见有机污染物,因其致癌、致畸、致突变性,对健康与生态构成重大威胁。为此,HPLC-MS 技术通过加速溶剂萃取高效提取土壤中的 PAHs,利用高效液相色谱实现精准分离,结合质谱检测深入定性与定量。在色谱图中,PAHs 色谱峰清晰分明,保留时间各异,轻松区分目标化合物;质谱图则通过精确的质荷比和特征离子碎片,揭示 PAHs 分子质量信息,进一步确认结构。标准曲线法定量显示,部分土壤 PAHs 超标,警示污染严峻。如图 1 所示,此分析高效精准。

4.2 甲基汞的检测

甲基汞是一种毒性极强的汞化合物,可通过食物链富集,对人类神经系统构成严重威胁。为精准检测其含量,我们采用了 HPLC-ICP-MS 技术。通过化学提取法从土壤中提取甲基汞,随后利用高效液相色谱进行分离,确保甲基汞与其他汞化合物的色谱峰完全分离,从而保证检测准确性。结合电感耦合等离子体质谱进行检测,不仅能提供甲基汞的精确质量信息,还

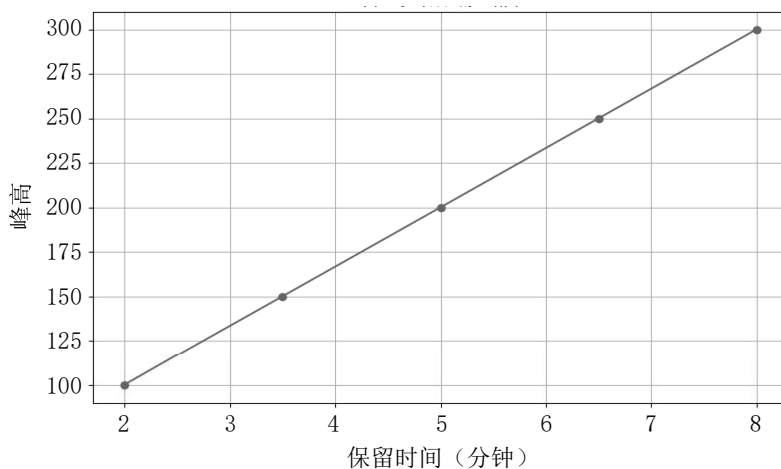


图1 多环芳烃的色谱图

能通过特征离子明确确认目标化合物。在定量分析环节,采用内标法测定土壤中甲基汞的含量。结果显示,部分土壤样品中的甲基汞浓度显著高于背景值。所附甲基汞质谱图(见图2)进一步展示了HPLC-ICP-MS技术的高效与精准,为土壤环境监测提供了有力支持。

5 结束语

高效液相色谱-质谱联用技术(HPLC-MS)在土壤有机污染物分析中表现卓越,具有广泛的应用前景。该技术融合了高效液相色谱的分离能力与质谱的灵敏度和选择性,是复杂土壤样品中有机污染物精准识别

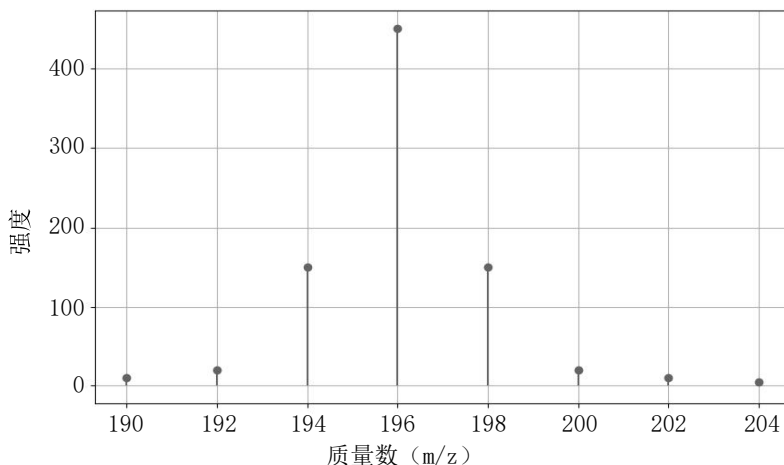


图2 甲基汞的质谱图

和定量分析的理想工具。优化前处理、仪器参数和数据分析方法后,HPLC-MS在多环芳烃、甲基汞等检测中成果显著,揭示了土壤污染的严重性和风险。随着技术进步和方法完善,HPLC-MS将在土壤监测、风险评估及治理措施制定中发挥更大作用,为保障生态环境安全和公共健康提供坚实的技术支撑。

参考文献:

[1] 任晋,蒋可,徐晓白.土壤中莠去津及其降解产物的提取及高效液相色谱-质谱分析[J].色谱,2004,22(02):147-150.

[2] 马健生.土壤有机污染物前处理方法综合对比研究及概述[C]//第九届全国地质与地球化学分析学术报告会暨第三届青年论坛会议论文集,2014.

[3] 佟玲,黄园英,张玲金,等.土壤中持久性有机污染物分析的前处理方法[J].岩矿测试,2008,27(02):81-86.

[4] 吴春华,刘晓达.土壤中有有机污染物的高效分析技术探索[C]//第三届环境监测与预警技术大会论文集,2023.

[5] 孙敬.高效液相色谱-质谱联用测定土壤中氨基酸的方法研究[D].沈阳:东北大学,2006.

智能建筑中弱电智能化系统的设计研究

宋 文, 赵亭华, 刘贤蒙, 辛 倩

(山东有鸿智能科技有限公司, 山东 济南 250100)

摘 要 随着智能建筑、物联网、云计算等新兴技术的不断发展, 弱电智能化设计也在不断丰富和完善。在智能建筑中, 弱电智能化系统作为其核心组成部分之一, 具有连接各种智能设备、实现信息传输和数据处理的重要功能。因此, 对弱电智能化系统的设计分析尤为重要。本文介绍了智能建筑和弱电智能化系统的概念, 阐明了弱电智能化系统在智能建筑中的应用价值, 并对智能建筑中弱电智能化系统的设计要点进行了分析, 旨在为相关设计工作者提供参考。

关键词 智能建筑; 弱电智能化系统; 楼宇自动化控制系统; 综合布线系统; 照明控制系统

中图分类号: TM76; TU2

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.22.007

0 引言

在当今科技不断发展的时代, 智能建筑已经成为现代城市发展的重要标志之一。随着人们对舒适性、便利性和能源效率的需求不断提升, 智能建筑的设计与应用也越发受到关注。而在智能建筑的设计中, 弱电智能化系统作为支撑其功能的重要组成部分, 扮演着至关重要的角色。

1 智能建筑与弱电智能化系统概述

1.1 智能建筑

智能建筑是一种利用先进技术与智能系统实现高效、智能化管理与运营的建筑模式, 其融合了建筑设计、信息技术、能源管理等多领域知识, 旨在提升建筑的可持续性、舒适性和安全性。智能建筑通过感知、分析和响应环境的能力, 实现对建筑内外环境的实时监测和调节, 从而最大限度地降低能耗、提高资源利用效率。同时, 智能建筑还可以通过数据分析和预测, 实现建筑管理和运营的优化。

1.2 弱电智能化系统

弱电智能化系统是指在建筑、工程或设施中利用低电压、低电流进行数据传输、控制和监测的智能化系统。其传输方式的典型代表是以太网、RS-485 等, 这类传输方式不仅安全可靠, 而且成本低廉, 易于安装和维护, 弱电智能化系统具有自动化、智能化、信息化的特点。系统通过智能算法进行分析处理, 能够实现对建筑物的自动控制和智能化管理。

2 弱电智能化系统在智能建筑中的应用价值

弱电智能化系统在智能建筑中扮演着至关重要的角色, 其应用价值体现在多个方面。首先, 弱电智能

化系统提升了智能建筑的安全性。通过智能感应器、监控摄像头等设备, 弱电系统可以实现对建筑内外环境的实时监测与控制, 及时发现异常情况, 如火灾、漏水等, 并能通过自动化系统及时响应, 减少事故发生的可能性, 保障建筑及其内部人员的安全。其次, 弱电智能化系统有助于提高智能建筑的节能环保水平。通过智能控制系统对照明、空调、供暖等设备进行精细化管理, 能够根据实时环境参数和人员活动情况进行智能调节, 最大限度地降低能耗。同时, 弱电系统还可以实现对能源的监测和管理, 为建筑主体提供数据支持, 帮助其优化能源利用, 降低能源浪费, 实现节能减排的目标。最后, 弱电智能化系统能够提升智能建筑的舒适度和便利性。通过智能化的安防系统、门禁系统、智能家居控制系统等, 居住者可以实现远程监控、智能化控制, 轻松实现对建筑内各项设备的管理和控制, 提升居住舒适度。同时, 弱电系统还能与智能手机、智能穿戴设备等智能终端相连接, 实现信息互通, 为居住者提供更便捷的生活体验。此外, 弱电智能化系统还为智能建筑的运营管理提供了便利。通过对建筑设备的远程监控和故障诊断, 能够及时发现并解决问题, 减少人力资源和时间成本。

3 智能建筑中弱电智能化系统的设计要点

3.1 楼宇自动化控制系统设计

楼宇自动化控制系统通过整合各种弱电智能化系统, 实现对建筑内部设备、能源利用以及安全管理等方面的智能化控制。该系统的设计要点有: (1) 集成性设计: 楼宇自动化控制系统需要能够集成各种弱电智能化系统, 如照明控制、安防监控、门禁系统等,

实现统一的管理与控制。(2) 智能化调度: 基于传感器数据、预设场景等信息, 系统能够智能调度楼宇内部设备的运行, 实现能源的高效利用和舒适度的提升。

(3) 网络通信技术: 采用先进的网络通信技术, 实现系统内部各个子系统之间的互联互通, 以及与外部系统的联动与控制。(4) 安全保障: 在系统设计中要考虑安全性, 包括数据传输的加密与防护、系统的稳定性与可靠性等方面, 确保系统运行的安全可靠。(5) 可扩展性与灵活性: 考虑到建筑使用的变化性, 系统需要具备一定的可扩展性与灵活性, 能够方便地根据需求增减设备或调整控制策略。(6) 用户体验: 在系统设计中应考虑用户的体验和便利性, 提供直观易用的界面, 让用户能够方便地进行操作与管理^[1]。(7) 节能环保: 设计应考虑节能环保因素, 通过智能化控制实现能源的有效利用, 减少能源浪费, 降低对环境的影响。(8) 故障监测与自愈功能: 系统应具备故障监测和自愈功能, 能够实时监测设备运行状态, 发现故障并及时采取措施进行修复, 确保系统的稳定运行。

(9) 数据分析与优化: 对系统运行数据进行收集、分析和挖掘, 通过数据驱动和优化策略, 不断提升系统的性能和效率。

3.2 综合布线系统设计

综合布线系统是支撑弱电智能化系统运行的基础设施。该系统的设计要点有: (1) 拓扑结构规划: 根据建筑物的结构特点和功能需求, 设计合理的综合布线拓扑结构, 常见的包括星型、环型和混合型等, 需要结合实际情况进行选择。(2) 布线路径规划: 合理规划布线路径, 考虑到弱电设备的位置、通信需求以及安全因素, 避免布线交叉、干扰和损坏, 确保信号传输稳定可靠。(3) 线缆选材与规格: 根据信号传输距离、传输速率和抗干扰能力等要求, 选择合适的线缆材料和规格, 如光纤、双绞线等, 以确保数据传输质量和稳定性。(4) 接头与连接器设计: 合理设计接头和连接器, 确保连接稳固可靠, 降低信号衰减和干扰, 提高综合布线系统的整体性能。(5) 地线系统设计: 设计良好的地线系统, 保证系统的接地良好, 降低电磁干扰和静电积累, 提高系统的稳定性和可靠性。(6) 标准与规范遵循: 严格遵循相关标准和规范, 如 TIA/EIA、ISO/IEC 等, 确保综合布线系统设计符合行业标准, 保证系统的稳定性和兼容性。(7) 未来扩展考虑: 考虑到建筑物的未来发展和扩展需求, 预留一定的布线空间和接口, 便于后续系统的升级和扩展, 延长系统

的使用寿命。(8) 安全与保密性: 加强对综合布线系统的安全防护和保密措施, 采取加密、认证等手段保护数据的安全性, 防止信息泄露和网络攻击^[2]。

3.3 照明控制系统设计

照明控制系统是弱电智能化系统中至关重要的组成部分。该系统的设计要点有: (1) 传感器选择与布局: 照明控制系统的核心是传感器, 包括光照传感器、运动传感器等, 在设计中需根据建筑结构与功能区域确定传感器的类型和数量, 并合理布局以确保覆盖范围和精度。(2) 智能调光调色: 采用可调光、可调色的 LED 灯具, 并结合智能控制算法, 实现按需调节照明亮度和色温, 以提高舒适度和节能效果。(3) 分区控制与场景模式: 将建筑空间划分为不同的区域, 并根据不同的使用场景设定不同的照明模式, 如会议模式、办公模式等, 通过智能控制系统实现自动切换和调节。

(4) 联动与集成: 照明控制系统应与其他智能系统进行联动与集成, 如与空调系统、安防系统等, 实现智能化的整体管理与控制。(5) 人性化操作界面: 设计直观、易用的操作界面, 包括 APP 控制、触摸面板等, 使用户能够方便地调节和控制照明系统^[3]。(6) 数据监测与分析: 引入数据采集与分析技术, 实时监测照明系统的运行状态和能耗情况, 为优化管理和节能提供数据支持。(7) 应急处理机制: 设计应急灯光自动切换与备用电源供电机制, 确保在突发情况下建筑内部照明能够正常运行^[4]。

3.4 安防监控系统设计

安防监控系统可以实现对建筑物内外环境的实时监控和管理。该系统的设计要点有: (1) 摄像头布局与选型: 摄像头的布局应覆盖建筑物的关键区域, 包括入口、走廊、楼梯等。选择高清晰度、夜视能力强的摄像头, 并考虑其对光线、防水等环境因素的适应能力。(2) 监控区域划分: 将建筑物划分为不同的监控区域, 根据需求设置不同的监控级别和权限, 如公共区域和私人区域可以设置不同的监控权限, 保障用户的隐私。(3) 智能识别技术应用: 利用人脸识别、车牌识别等技术, 实现对人员和车辆的身份识别和追踪, 以提高安全性和管理效率, 减少人为操作的烦琐。

(4) 报警与应急响应机制: 建立完善的报警系统, 能够及时发现异常情况并进行报警; 同时, 配备应急响应机制, 包括联动控制、警报通知等, 提高应对突发事件的能力。(5) 数据存储与管理: 采用可靠的存储设备, 确保监控数据的完整性和保密性, 并配备合适

的数据管理系统,方便数据的查询和分析。(6)网络安全与防护:建立健全网络安全机制,保护监控系统不受网络攻击和恶意入侵;采用加密技术、防火墙等手段,确保监控数据的安全传输和存储。(7)远程监控与管理:实现远程监控和管理功能,用户可以通过手机、平板等设备随时随地对建筑物进行监控和管理,提高安全性和便利性。(8)系统集成与扩展:安防监控系统应与其他智能化系统进行集成,如门禁系统,实现信息的共享和交互,提高整体系统的综合性能;同时,要考虑系统的可扩展性,以应对未来需求的变化和扩展。

3.5 门禁系统设计

门禁系统不仅保障了建筑物的安全性,也直接关系到用户的便捷性和管理效率。该系统的设计要点有:

(1)安全性考量:门禁系统的首要任务是确保建筑物的安全,因此设计时需要充分考虑各种安全漏洞,并采取相应的技术手段加以防范,如采用多重身份验证、防破坏设计等。(2)智能化管理:门禁系统应具备智能化管理功能,能够实现对人员进出的精确监控和管理,包括实时监测人员进出记录、自动化权限分配、远程监控等功能,以提高管理效率。(3)多元化认证方式:为了适应不同场景和需求,门禁系统设计应支持多种认证方式,如密码、指纹、人脸识别、身份卡等。(4)联网互联:现代智能建筑通常是一个复杂的系统集成体,门禁系统设计要与其他智能系统进行联网互联,实现信息共享和智能化协同,以实现更高级别的安管理和智能化控制。(5)数据保护与隐私保密:门禁系统设计中应重视用户数据的保护和隐私保密,采取合适的加密技术和权限管理措施,确保用户数据不被非法获取或滥用。(6)应急处理机制:在紧急情况下,门禁系统应具备有效的应急处理机制,如一键开启紧急通道、自动报警等功能,以保障人员生命安全。(7)易维护与升级:门禁系统设计应注重易维护性和升级性,采用模块化设计和标准化接口,方便系统的日常维护和升级,保证系统长期稳定运行。

3.6 通信网络系统设计

通信网络系统是弱电智能化系统的核心组成部分。该系统的设计要点有:(1)网络拓扑结构设计:根据建筑物的规模、布局和功能需求,设计合理的网络拓扑结构,包括星型、树型、环型等,以确保数据传输的高效性和稳定性。(2)网络设备选型:选择适合建

筑规模和通信需求的网络设备,包括交换机、路由器、网关等,考虑设备的性能、可靠性和扩展性,以满足不同场景下的通信要求。(3)网络接入点规划:合理规划网络接入点,包括有线和无线接入点,覆盖建筑物各个区域,确保用户能够随时随地接入网络,实现智能化控制和管理。(4)网络安全防护:加强对通信网络的安全防护,采取防火墙、入侵检测系统、加密技术等手段,保护网络数据的机密性和完整性,防止网络攻击和数据泄露。(5)带宽管理与优化:根据建筑物内部各个区域的通信需求,合理管理和优化网络带宽资源,确保关键业务的优先传输,提高网络的使用效率和性能表现。(6)通信协议与标准:严格遵循通信协议和标准,如 TCP/IP、IEEE802.11 等,确保不同设备之间的兼容性和互操作性,降低系统集成和运维成本^[5]。(7)故障监测与恢复:建立健全的故障监测与恢复机制,及时发现和处理网络故障,提高系统的可靠性和稳定性,保障智能建筑系统的正常运行。(8)远程管理与监控:搭建远程管理与监控平台,实现对通信网络的远程监控和管理,包括设备状态监测、流量统计、故障诊断等,提高系统的运维效率和响应速度。

4 结束语

弱电智能化系统在智能建筑中的应用不仅提升了建筑的安全性、节能环保水平,也提升了居住者的舒适度和便利性,同时为建筑的运营管理提供了便利。在实践中,弱电智能化系统的设计需重点把握楼宇自动化控制系统、综合布线系统、照明控制系统、安防监控系统、门禁系统以及通信网络系统等关键环节的设计。

参考文献:

- [1] 陈毅聪.智能化建筑弱电系统设计与应用[J].工程机械与维修,2022(06):250-252.
- [2] 刘雨薇.弱电智能化系统的应用及发展趋势研究[J].智能城市,2022,08(08):39-41.
- [3] 贺鹏飞.智能化建筑弱电系统设计与应用研究[J].中国建筑金属结构,2022(06):93-95.
- [4] 张杰.智能建筑弱电系统的分析探究[J].中国设备工程,2021(08):189-190.
- [5] 夏秀林.弱电智能化系统的新发展及其设计要点分析[J].电子测试,2021(08):118-119.

LiDAR 技术在水文与水资源工程中的应用研究

刘娟娟

(西安黄河工程建设咨询有限公司, 陕西 西安 710000)

摘要 激光雷达 (Light Detection and Ranging, LiDAR) 技术作为主动式遥感技术, 具备高密度点云采集与三维地形重构能力, 正逐步应用于水文过程分析与水资源工程管理中。LiDAR 技术可精准扫描河道剖面提取高密度断面结构信息, 构建三维监测网格动态捕捉坝体形变, 生成流域三维模型刻画地形坡向与水文结构, 提取坡面侵蚀特征构建水土流失演化图层, 捕捉水面扩展轨迹反演洪水演进参数分布。本研究围绕 LiDAR 技术在水文与水资源工程领域中的典型应用展开系统研究, 论证了 LiDAR 技术与水文模型的深度耦合机制, 以期智慧水利体系构建提供理论依据与技术参考。

关键词 LiDAR 技术; 水文信息; 三维建模; 点云处理; 水资源工程

中图分类号: TV21; TP7

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.22.008

0 引言

随着流域开发强度不断提升与极端气象事件频发, 水文与水资源工程在空间感知、精准监测、动态评估等方面面临更高要求。传统测绘方式在数据分辨率、作业效率、环境适应性等方面存在明显局限, 难以支撑复杂地形条件下的高精度建模与高频次监控^[1]。LiDAR 技术以其主动探测、高密度点云、立体成像等特性, 在水利工程调查、河流地形重构、水体边界识别等方面展现出强大潜力^[2]。本文基于激光雷达技术原理与处理流程, 围绕水文与水资源工程中的典型场景展开研究, 探索其在智慧水利体系构建中的优化路径与应用价值。

1 LiDAR 技术概述

LiDAR 基于激光主动探测原理, 通过测定激光脉冲从发射到返回所经历的时间差, 实现对目标表面三维空间坐标的高精度测定。该技术发源于二十世纪中叶, 伴随激光器稳定性提升、惯性导航系统成熟以及高性能 GPS 集成的逐步完善, 已由早期航空侦察拓展至高精度地理信息获取、水利工程监测、地质灾害预警等多个工程领域。标准 LiDAR 系统由激光发射器、扫描单元、接收器、计时模块和点云处理平台构成, 各子系统协同运行, 可实现地形结构的高密度、非接触式建模^[3]。图 1 为 LiDAR 技术基本原理示意图, 展示激光脉冲自发射单元经扫描装置辐射至目标面后产生反射信号, 由接收器接收并送入计时模块完成距离计算,

进而形成空间点云数据。该过程具备高度自动化特性, 适用于获取大范围、复杂环境下的高分辨率空间信息, 在各类工程场景中展现出显著的精度优势与时效价值。

2 水文与水资源工程现状分析

水文与水资源工程是一门综合性学科, 旨在研究水循环过程、水资源的开发、利用与保护, 以及相关水利工程的规划、设计、施工和管理。其核心功能在于通过科学调度和工程措施, 确保水资源的可持续利用, 满足防洪、供水、灌溉、发电等多方面需求, 维护生态平衡, 促进社会经济发展^[4]。当前我国水资源面临严峻挑战, 时空分布不均的问题突出。根据国家统计局数据, 近十年来, 我国可供利用的淡水资源总量约为 2.8 万亿 m^3 , 占全球水资源的 6%, 居世界第四位。实际可供利用的淡水资源仅为 1.1 万亿 m^3 , 且南方水资源丰富, 北方相对匮乏, 导致区域性供需矛盾加剧。全球气候变化加剧水资源短缺问题。截至 2020 年, 我国冰川面积已缩减至约 4.6 万 km^2 , 相较 1960 年至 1980 年的约 5.9 万 km^2 , 减少约 26%, 对水资源供给和生态环境造成不利影响。在水利工程建设方面, 我国持续推进重大项目^[5]。数据显示, 2021 年我国完成水利建设投资 7 576 亿元, 150 项重大水利工程累计开工 62 项, 南水北调东、中线一期工程累计完成设计单元完工验收 146 个, 占全部设计单元的 94.2%^[6]。然而上述工程也引发对生态环境影响和移民安置等问题的关注, 亟需在工程规划与实施中加强科学评估和监测。

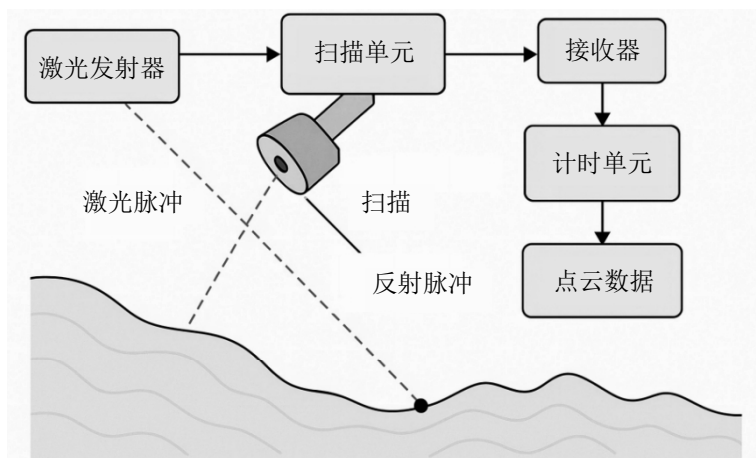


图 1 LiDAR 技术基本原理示意图

3 LiDAR 技术在水文与水资源工程中的具体应用

3.1 河道断面快速测绘

河道断面测绘获取连续、精细、结构明确的空间数据,以支持水文参数提取与水力建模。激光雷达系统具备高频三维扫描能力,适应复杂地貌条件,常部署于固定翼或旋翼无人机平台,沿河道布设航迹实施连续测线。激光束在扫描镜引导下覆盖目标区域,发射时间、姿态参数与空间坐标同步记录,构建带有索引属性的点云数据集。断面测绘方案依据河道形态设定扫描密度与投射角,结合坡度与岸坡变化控制点云分布结构。接收器捕获返回脉冲信号,结合高精度惯性测量单元(Inertial Measurement Unit, IMU)与差分全球导航卫星系统(Global Navigation Satellite System, GNSS)解算出三维坐标信息。断面轮廓提取采用垂向窗口分析与曲率聚类方法识别点群集中方向,构建断面结构线集。多回波数据用于区分水面、地物与障碍物反射特征,点云分类算法提取岸线与裸地交界。浅水区段应用绿色激光波段,基于蓝绿波反射强度阈值提取水下点群,补全断面结构。原始点云完成滤波、配准与误差剔除处理后,导入断面建模模块生成矢量断面线,并与高程基准对齐,完成地理编码转换。多期测绘数据可构建断面时序数据库,基于点云差异分析河床冲淤趋势与断面结构变化。快速测绘流程以参数控制、处理自动化与结构识别算法为核心,构成连续化断面建模链条。

3.2 水库坝体形变监测

以立体空间稳定性捕捉为核心,其作业逻辑依赖于高频面状扫描与点位变异量化。激光雷达系统配置高精度姿态解算模块与动态坐标记录单元,形成以空

间节点为基础的时间序列模型。飞行平台选取低空低速载体,以螺旋路径环绕坝体布设航迹,生成连续多角度数据截面。在扫描过程中,激光束以固定波长在目标表面建立瞬时反射响应,扫描镜阵列控制发射角度、频率与步进节律,反射信号被接收单元记录为空间散点阵列。点云数据未经分层处理即表现出显著表面结构特征,对应坝面材质、构造缝、表皮剥蚀等物理形态。高密度数据集通过点位拟合与误差调控机制,建立连续曲面模型,用于坝面初态空间描述。不同测期的数据需在控制基准下完成全结构配准,运算过程中采用刚性变换+局部非刚性差分匹配策略,分区提取偏移量。坝肩、溢洪道、基础交界区等应力集中区域作为高灵敏点云聚焦窗口,构建局部三维动态监测域。反复测量间的微位移行为可通过法向变化分析与曲面内差统计模型识别形变趋势。结构单元间的缝隙边界由点云切线偏移行为捕捉,用于识别张拉、沉降或剪切迹象。扰动期系统转入高频模式,动态记录形变过程,实时更新曲面状态。测区数据节点全部标注时间属性,统一导入状态数据库,用于支撑坝体全生命周期结构行为追踪与历史趋势建模。

3.3 流域三维建模分析

基于多尺度地貌集成策略,激光雷达系统采集高密度空间点云数据构建地形框架。飞行平台沿主河道及一级支流布设测线,在冲积区、阶地带、丘陵交错区设交叉航向,完成连续覆盖。激光束以固定频率发射,回波信号由接收器转换为空间坐标。点云数据经姿态解算、轨迹同步与误差校正处理后,进入模型预处理阶段,执行高度归一、回波分层与地物分类操作,提取裸地点集。数字高程模型构建采用多分辨率

曲面拟合与剖面插值策略,依据坡向、水文边界与断面结构重建地貌表面。岸坡剧烈或边界模糊区域,利用回波强度差值与梯度分析识别边界结构。三维建模按河谷切割深度与地貌类型划分子区,分别进行网格重构与节点加密。地表层叠区域采用纹理特征聚类提取主成分,并结合高差信息构建多层体元单元。植被密集与噪点区域,执行滤波剔除与空洞重建处理,提升表面连续性。整体模型融合数字高程模型(Digital Elevation Model, DEM)、数字表面模型(Digital Surface Model, DSM)与水文边界线数据,执行拓扑统一运算,建立流域内部的高程、坡度、流向三重因子空间组合关系。用于集水区边界线提取的区域,以激光扫描高程变化率为输入,接入分水线算法提取次级流域结构。模型完成后以标准 TIN 或 B-rep 格式输出,便于后续接入水文模拟系统或作为参数输入源。针对高动态变形区段可建立时序点云叠加模型,反映流域地貌演化过程,支撑流域尺度建模更新机制。

3.4 水土流失动态评估

依托高精度激光雷达点云构建时序地形模型,测区选取坡度剧烈与地貌复杂区域,实施多期航测,控制飞行高度、扫描重叠率与脉冲频率,生成连续点云序列。数据经惯性导航与卫星定位系统解算,完成统一坐标框架下的三维结构对齐。坡面结构提取采用局部曲率识别与多方向梯度矩阵分析,定位沟蚀起点、面蚀集中区与剥蚀过渡带。多期点云变化检测基于体素偏差匹配法,追踪微地形单元高程差异与地表响应结构。裸露区域通过回波层级筛选机制剔除植被干扰,提取稳定反射面进行侵蚀深度运算。空间差分运算融合高程变化阈值与反射强度趋势分析,识别侵蚀热点与剥蚀路径。植被密集地段采用反射能量映射构建高风险因子图层,辅助坡面稳定性间接判断。面向流域单元,引入结构划分策略将测区分解为多个空间子区,分别建立坡面因子模型与剥蚀演化图层。高程变化栅格经剖面差积处理转换为体积参数,量化侵蚀速率与流向趋势。动态监测框架中嵌入多期点云配准算法,执行表面边界重叠检测与变化指数提取,捕捉核心区迁移轨迹。输出成果以剖面图、等值图与体积变化图形式表达坡面侵蚀演化过程,接入结构化地形数据库,完成过程建模与区域对比。

3.5 洪水演进参数提取

洪水演进参数提取以时变水位、断面几何、地表阻力与流速场重建为核心任务,激光雷达技术通过高

频扫描与多源点云融合构建精细化输入数据集。激光平台采用倾斜扫描机制捕捉洪泛区边界扩展与河槽开挖变化过程,航测规划围绕水文断面密集分布区设定扇形覆盖路径,动态更新河道地形模型。多期点云在统一参考坐标系下叠加,采用反射强度与高程差值联合分析提取洪水淹没边界线及水面变化轨迹。水流横向扩散特征依据点云高程梯度场计算表面坡向矢量分布,结合流向指标生成流动趋势图谱。局部积水区域以连续面变化函数重建水面演进过程,提取非规则淹没体积与等水深分布参数。岸坡过渡区引入线性断裂识别算法捕捉突变边界,辅助构建不规则断面结构,用于非恒定流计算中断面响应模拟。植被扰动区域采用反射率分类策略剔除非水面回波,提取净水域动态轮廓。底部糙率估算基于地形粗糙因子反演与点云分布密度指标,构建空间阻力分布格局,用于模型参数校正。多期扫描数据构建洪水前后对比序列,提取淹没面积变化率、水头差异带宽与流速剖面演化指标,形成演进全过程参数集合,支撑水文过程高分辨率建模输入标准化。

4 结束语

激光雷达技术在水文与水资源工程中的拓展应用,体现出高精度建模、高频率感知与多尺度融合的多重能力,为复杂地形结构识别与动态过程建构提供稳定支撑。围绕典型任务场景建立的点云处理机制与参数提取流程,形成完整、闭环、面向模型输入的数据体系。未来,基于激光雷达的智能解译、多源协同与全周期监测将进一步推动水利工程管理体系的数字化发展,拓宽其在多场景、多维度中的集成潜力。

参考文献:

- [1] 张雪莲. 水文水资源标准化管理在水利工程中的应用研究[J]. 水利技术监督, 2024(12):205-208.
- [2] 张志林, 王少千. 遥感技术在水文水资源勘测中的创新应用研究[J]. 水上安全, 2025(02):196-198.
- [3] 郑威, 左小清, 李勇发, 等. 融合 InSAR 和机载 LiDAR 技术的滑坡早期识别与分析[J]. 测绘通报, 2024(05):1-6.
- [4] 孙志强, 翟长风. 提高农田水利工程水资源利用效率的策略研究[J]. 农家参谋, 2024(35):75-77.
- [5] 刘玉年, 李万荣, 李素, 等. 沂沭泗直管区水资源监测能力分析[J]. 治淮, 2025(01):10-12.
- [6] 郝黛妮, 白璐. 浅析宝鸡市全口径水利建设投资统计现状及对策[J]. 陕西水利, 2025(01):171-173.

BIM 技术赋能装配式钢结构 建筑施工管理的应用研究

邢海霖

(国舜绿建科技有限公司, 山东 济南 250301)

摘要 在建筑行业不断追求高效、环保、可持续发展的当下, 装配式钢结构建筑作为一种新型建筑形式, 逐渐成为行业发展的重要方向。但装配式钢结构建筑施工管理涉及多个环节和专业领域, 传统的施工管理方式难以满足其对精细化、协同化管理的要求。而在智能化、数字化、共享化发展趋势下, 建筑信息模型 (BIM) 技术有望实现建筑全生命周期的数字化管理, 进一步推动信息共享。本研究围绕 BIM 技术在装配式钢结构建筑施工管理中的应用展开研究, 剖析了装配式钢结构建筑的施工特性、发展现状以及面临的难题。研究结果表明, BIM 技术在优化构件设计、改进施工工艺、强化安全质量管控等方面成效显著, 大幅提升了施工效率与质量, 降低了施工成本, 改善了整体施工效果。

关键词 BIM 技术; 装配式钢结构建筑; 施工管理; 信息化

中图分类号: TP3; TU71

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.22.009

0 引言

装配式钢结构建筑以其工业化生产、现场快速组装的特点, 有效缩短了施工周期, 减少了施工现场的湿作业和环境污染, 提高了建筑的质量和安全性, 但在实际施工管理中仍存在问题。BIM 技术作为一种数字化的建筑管理工具, 通过建立三维信息模型, 整合建筑项目全生命周期的各种信息, 为装配式钢结构建筑施工管理带来了新的机遇。BIM 技术具有信息集成性、可视化、协同性和模拟性等优势, 能够有效解决装配式钢结构建筑施工管理中的诸多问题, 提升施工管理水平, 促进建筑行业的数字化转型。但是, BIM 技术在实际应用中也面临着挑战, 仍有诸多领域有待深入研究。装配式钢结构建筑施工技术 with BIM 技术的融合创新, 将为建筑行业的整体发展注入新动力。因此, 深入研究 BIM 技术在装配式钢结构建筑施工管理中的应用具有重要的现实意义。

1 BIM 技术与装配式钢结构建筑概述

1.1 BIM 技术原理与特点

BIM 技术作为一种基于数字化技术的建筑信息方法, 以三维模型为载体, 整合了建筑项目从规划、设计、施工到运营维护全过程的几何、物理、功能以及管理等各类信息。与传统的 CAD 技术相比, BIM 技术优势明显: 它具有信息集成性, 能把建筑项目不同阶段、不同专业的信息集中存储于统一模型, 实现实时共享

与协同应用, 避免信息孤岛, 如装配式钢结构建筑中设计、施工、运营阶段的相关信息都能整合其中, 方便各方获取使用; 其可视化特点通过三维模型直观展示建筑外观、内部结构和构件关系, 让项目参与方更好地理解设计意图和施工要求, 减少沟通障碍, 施工人员借此可直观了解钢结构构件情况以更好地施工^[1]; 协同性使多专业、多参与方在同一平台协同工作, 实时交流反馈, 提高效率, 减少设计变更和施工冲突。在装配式钢结构建筑施工中, 设计单位、构件生产厂家、施工单位和监理单位等能共同协作解决问题; 模拟性则可对建筑项目施工和运营阶段进行模拟分析, 提前发现潜在问题, 优化施工方案和资源配置, 降低项目风险, 如模拟钢结构构件吊装过程以优化方案。

1.2 装配式钢结构建筑的发展现状与优势

随着建筑工业化进程的不断推进, 装配式钢结构建筑在我国取得了迅猛发展。这种建筑形式是先在工厂预制生产钢结构构件, 再运输到施工现场进行组装连接。它具有诸多显著优势: 在施工效率方面, 由于构件在工厂预制, 现场以组装作业为主, 相比传统混凝土建筑, 施工工期能够缩短 30% ~ 50%; 在质量方面, 工厂化生产运用标准化、自动化的生产工艺, 严格把控构件生产过程, 保证了构件的质量稳定性和精度, 有效减少了现场施工质量问题的发生; 在环保节能方面, 其减少了施工现场的湿作业, 降低了噪声、粉尘等污染, 且钢结构材料可回收利用, 施工过程中产生的建筑垃圾

圾比传统建筑减少约70%，符合绿色建筑发展理念^[2]；在空间布局方面，钢结构强度高、重量轻，能提供更更大的室内空间，如在商业建筑中，可打造大跨度空间，满足多样化的建筑功能需求。

2 BIM技术在装配式钢结构建筑施工管理中的应用价值

2.1 优化施工流程，提高施工效率

BIM技术在建筑施工管理中能够借助先进的数字化模拟手段，对整个施工过程进行高度还原和详细剖析，提前精准发现施工流程中的各类不合理之处，如构件运输路线规划不当、吊装顺序不符合现场实际情况等问题，进而有针对性地进行优化调整。通过建立施工进度计划与BIM模型之间的紧密关联，施工团队可以对施工进度展开实时跟踪和动态管理。一旦施工过程中出现进度偏差，系统能及时发出预警，方便工作人员迅速察觉并采取有效的解决措施，确保项目能够按时交付。以某大型装配式钢结构商业综合体项目为例，在项目前期利用BIM技术模拟施工过程时，发现原计划的构件运输路线会在施工高峰期与城市主干道的交通流产生冲突，造成严重拥堵，极大地影响施工进度。项目团队借助BIM技术提供的分析数据，重新规划了运输路线，有效避开了交通拥堵路段。调整后，施工效率提高了20%，为项目顺利推进提供了有力保障。

2.2 加强质量控制，保障工程质量

装配式钢结构在构件生产阶段，通过BIM模型对构件的设计尺寸、材质等信息进行精确控制，确保构件质量符合要求。BIM模型凭借其强大的数字化功能，对构件的设计尺寸、材质等关键信息进行精确把控。例如：在设计尺寸方面，通过建立三维模型，能够精确到毫米级别，有效避免因尺寸误差导致的后续问题；在材质把控方面，可详细记录和跟踪各类材质的型号、批次等信息，从源头上确保构件质量达标；在施工现场，利用BIM技术对构件的安装位置、连接节点等进行实时监测和检查，及时发现质量问题并进行整改^[3]。例如：在某装配式钢结构建筑项目中，利用BIM技术对钢结构构件的安装进行实时监测，发现部分构件的安装位置存在偏差。通过及时调整，保证了构件的安装质量。同时，通过建立质量追溯体系，将质量信息与BIM模型相关联，实现对质量问题的快速定位和责任追溯，保障工程质量。

2.3 实现协同管理，降低沟通成本

装配式钢结构建筑施工涉及多个参与方，如设计单位、构件生产厂家、施工单位、监理单位等。BIM技

术作为一个协同管理平台，实现了各方之间的信息共享与实时沟通。在项目前期，通过BIM模型进行设计交底，使各方对设计意图达成共识。在施工过程中，各方可以在BIM平台上实时交流施工进度、质量问题、设计变更等信息，及时协调解决问题，避免因信息不畅导致的误解和冲突，降低沟通成本，提高项目整体协同效率。例如：在某装配式钢结构建筑项目中，设计单位通过BIM平台发布了设计变更信息，施工单位和监理单位及时收到并进行了相应的调整，避免了因信息传递不及时而导致的施工延误。

2.4 辅助成本管理，控制项目成本

BIM技术可以对装配式钢结构建筑项目的成本进行精确核算和有效控制。通过BIM模型，能够快速准确地计算出构件的工程量、材料用量等，为成本预算提供可靠依据。在施工过程中，根据实际施工进度和资源消耗情况，实时更新成本数据，与预算进行对比分析，能够及时发现成本偏差并采取措施进行调整。例如：在某装配式钢结构建筑项目中，通过BIM技术发现某一施工阶段的材料用量超出了预算，通过分析原因，采取了优化施工方案、加强材料管理等措施，有效控制了成本，利用BIM技术对施工方案进行优化，合理安排资源，避免资源浪费，降低项目成本。

3 BIM技术在装配式钢结构建筑施工管理中的具体应用

3.1 深化设计阶段的应用碰撞检查

在装配式钢结构建筑项目中，BIM技术在深化设计阶段发挥着关键作用。利用BIM技术对建筑、结构、设备等各专业模型进行整合并开展碰撞检查，能够提前发现并解决设计图纸中的碰撞问题，如管道与钢结构构件、不同专业设备之间的冲突等，进而减少设计变更，避免施工返工，节约时间和成本。例如：某装配式钢结构建筑项目，通过BIM技术的碰撞检查发现100多处碰撞点，及时优化设计避免了返工，节省大量时间和成本，借助BIM技术的可视化和参数化设计功能，可对节点进行优化设计。装配式钢结构建筑的节点设计复杂且关乎结构安全与施工质量，通过建立节点三维模型，能直观展示其构造和连接方式，分析受力性能并优化参数，确保节点满足强度、刚度和施工要求。如项目利用BIM技术对梁柱节点优化设计，经模拟分析确定最优形式和参数，提升了节点承载能力和施工便利性^[4]。除此之外，依据设计图纸和施工要求，BIM技术还可对钢结构构件进行深化设计，在模型中精确确定构件的尺寸、形状、材质、加工工艺等信息，生成详

细加工图纸和清单,通过与数控加工设备集成实现自动化加工,提高加工精度和生产效率,减少人工误差。

3.2 施工进度管理中的应用进度计划制定与模拟

在装配式钢结构建筑施工中,基于 BIM 技术创建施工进度计划模型,能够将施工任务与模型中的构件紧密关联,精确确定各施工任务的开始时间、结束时间和逻辑关系。通过施工进度模拟,能直观呈现施工各阶段的工作内容和资源需求,进而提前发现进度计划中施工顺序冲突、资源分配不均衡等不合理之处,并加以优化调整。例如:某装配式钢结构建筑项目借助 BIM 技术模拟分析发现原施工顺序存在冲突影响部分工作按时完成,调整顺序和优化资源分配后确保了项目顺利进行。在施工过程中,BIM 技术还用于实时采集进度数据,与计划模型对比分析,及时掌握进度偏差情况。一旦出现偏差,通过 BIM 平台发布预警信息,提醒相关人员采取措施,如在项目中发现某施工任务滞后,经分析后增加施工人员、调整施工设备,及时追回进度。依据实际进度动态调整后续施工进度计划,保证项目总工期目标的实现。

3.3 施工质量管理中的应用质量检查与验收

在装配式钢结构建筑施工质量管理中,BIM 技术发挥着关键作用。借助 BIM 技术可制定质量检查计划,清晰明确检查部位、内容和标准。施工时,施工人员利用移动终端设备将施工现场的质量检查数据实时录入 BIM 模型,以此对构件的安装质量、连接节点质量等进行检查验收。一旦发现质量问题,能直接在 BIM 模型上标注,并关联质量问题描述、整改要求和责任人信息,便于对质量问题进行跟踪处理^[5]。例如:在某装配式钢结构建筑项目中,施工人员通过移动终端录入数据时发现一钢结构构件连接节点存在质量问题,经在 BIM 模型标注后及时通知责任人整改,保障了工程质量。此外,BIM 技术还能建立质量追溯体系,将质量信息与构件全生命周期关联。项目交付后若出现质量问题,可借助 BIM 模型快速追溯问题产生的环节和责任人,深入分析原因,为后续项目提供宝贵经验。如某装配式钢结构建筑项目交付后,发现部分区域钢结构腐蚀,经 BIM 模型追溯确定是构件生产时防腐处理不当导致,其分析结果为后续项目质量控制提供了重要参考。

3.4 施工安全管理中的应用安全风险识别与评估

在装配式钢结构建筑施工中,BIM 技术在安全管理方面作用显著。一方面,利用 BIM 技术对施工现场进行三维建模,结合施工工艺和流程,能够识别高处作

业、起重吊装、临时用电等潜在安全风险点,通过评估确定风险等级后制定相应防范措施,如某项目就借此有效降低了安全事故发生概率。另一方面,借助其可视化功能,可制作安全培训资料和交底视频,通过 BIM 模型展示施工现场安全设施布置、危险区域等信息,让施工人员更直观地了解安全要求与注意事项,提升安全意识和自我保护能力,如在某项目中施工人员借此更好地理解安全相关内容^[6]。除此之外,在施工现场安装传感器,将采集的人员位置、设备运行状态等安全数据传输至 BIM 平台,经 BIM 技术分析实现对安全隐患的实时监控与预警,一旦发现人员进入危险区域、设备异常运行等情况,及时发出警报,提醒人员采取措施避免事故。

4 结束语

传统建筑资源利用效率低,绿色、节能、节约成为建筑发展的重要方向。装配式建筑能减少污染、缩短工期,其中装配式钢结构建筑应用价值较高,但在实际施工中,施工人员不能完全掌握施工技术要点,易出现质量问题。BIM 技术与装配式钢结构建筑施工技术的融合不仅能保障施工技术规范合理,通过 3D 仿真模型规避人工误差,还能支撑各阶段施工技术规划,依据模型成果优化方案,保障建筑质量。在实际应用中,要科学建立 BIM 模型,以模型分析结果为依据开展施工。还要做好数据采集,保证数据准确完整;深入分析模型,及时发现并解决问题;结合分析结果设计技术方案;利用 BIM 技术软件监控施工过程,确保施工符合规范。二者融合顺应行业信息化趋势,有助于提升建筑质量和施工效率,推动建筑行业可持续发展,未来有望取得更多突破。

参考文献:

- [1] 谢日升.BIM 技术在装配式钢结构建筑中的应用研究[J].建筑机械化,2024,45(09):125-128.
- [2] 胡继刚.基于 BIM 的装配式钢结构建筑施工新技术与管理研究[J].中国建筑金属结构,2024,23(07):154-156.
- [3] 李卫宏,王丽娜.基于 BIM 技术的装配式钢结构建筑数字化施工技术研究[J].工程建设与设计,2024(13):180-182.
- [4] 任媛.BIM 技术在装配式钢结构建筑中的应用[J].建材技术与应用,2023(05):74-76.
- [5] 王伟汉.装配式钢结构建筑施工中 BIM 技术应用分析[J].散装水泥,2023(04):147-149.
- [6] 苟卫强,于芬,敏辉坤,等.BIM 技术在装配式钢结构建筑设计中的应用研究[J].自动化应用,2025,66(03):265-267,274.

机械电气一体化技术在智能制造中的应用与优化研究

王雷远

(日照德信机械制造有限公司, 山东 日照 276800)

摘要 随着科技的进步和工业自动化的快速发展,机械电气一体化技术已成为智能制造的核心驱动力,融合机械、电子、控制及信息技术实现生产流程智能化。本研究通过分析该技术在智能传感数据采集系统、高级控制自动化平台与信息集成优化领域的应用现状,探讨技术发展趋势。研究表明:加强跨学科合作、推进标准化建设、培养复合型人才及强化安全管理是实现机电一体化技术优化应用的关键策略,能有效提升企业智能制造水平,增强市场竞争力。

关键词 机械电气一体化; 智能制造; 数据采集; 高级控制系统

中图分类号: TH16; TP2

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.22.010

0 引言

在全球制造业快速发展的背景下,智能制造已成为产业升级的关键力量,而机械电气一体化技术则是智能制造的核心组成部分。该技术融合了机械、电子、控制及信息技术,实现了生产过程的自动化、智能化和网络化。目前,机械电气一体化技术在智能制造中的应用广泛,如在智能仓储和物流领域,通过整合机械设备、传感器、自动化控制系统和信息技术,极大地提升了仓储物流设备的自动化水平和效率。本文探讨机械电气一体化技术在智能制造中的应用及优化策略,为相关企业提供实践参考。

1 机械电气一体化技术概述

机械电气一体化技术作为智能制造领域关键支撑体系,融合了机械系统、电子技术及信息处理技术于一体,形成完整技术架构。该技术综合运用机械工程、微电子学、自动控制与软件编程等多学科知识,实现设备间无缝对接与协同操作,打破传统技术壁垒。机电一体化系统具备环境感知与自适应调节能力,能根据生产需求自动优化运行参数,大幅提升自动化水平。这种集成化技术应用显著提高了生产效率,有效降低了运营成本,同时加速了传统制造业向智能化方向转型^[1]。随着物联网、人工智能等新兴技术不断融入,机电一体化应用场景持续扩展,从工业机器人到智能检测设备,从自动化生产线到远程监控系统,已成为现代制造业不可或缺的技术基础;在全球制造业数字化转型浪潮中,机电一体化技术正帮助企业实现生产智能化、管理网络化、服务远程化的战略目标。

2 机械电气一体化技术在智能制造中的应用

2.1 智能传感与数据采集系统

智能传感与数据采集系统在智能制造环境中扮演核心角色,通过机电一体化技术整合高精度传感器与先进微处理器,实现生产全流程关键参数实时监测与数据收集。该系统能精确捕捉温度、压力、振动、位移等多维生产指标,形成完整数据链并进行智能分析处理。例如:江苏某汽车零部件制造企业应用案例展示了该技术实际价值,企业在生产线关键节点部署多层次传感网络,通过分布式布局实现设备运行状态与产品质量参数全面监控,采集数据通过加密无线传输技术实时传送至中央数据处理中心进行多维度分析。系统核心优势体现在设备健康管理方面,采用专业算法分析历史运行数据建立预测性维护模型,通过振动特征、温度变化、能耗波动等前兆信号提前识别潜在故障风险,实现从传统被动维修向主动预防性维护转变;智能传感系统还支持生产参数自适应调整,当检测到加工参数偏离预设标准时自动触发校正程序,无需人工干预即可保持生产稳定性。该技术应用使企业设备故障率降低超过40%,计划外停机时间显著减少,同时产品一次合格率提升15%以上,充分展示了数据驱动智能维护的实际效果。

2.2 高级控制系统与自动化

高级控制系统与自动化应用通过机电一体化平台实现生产设备精确控制与自动化运行,采用复杂控制算法与智能驱动系统确保生产流程稳定高效;现代制造环境中,可编程逻辑控制器与分布式控制单元共同

构建柔性生产架构,支持快速产线调整与多品种定制化生产模式^[2]。上海某电子设备制造企业引入浙江大学与深圳大疆联合研发的机器人控制系统代表行业应用前沿,该系统融合精密机械结构与高级视觉识别技术,通过算法优化实现复杂装配工序自动化处理;系统显著特点在于其精准识别与定位能力,通过多角度高分辨率图像采集设备实时捕捉微小装配误差并动态调整操作参数,保证产品装配一致性与几何精度。智能控制系统还具备自学习功能,能根据历史装配数据持续优化运动轨迹与操作时序,通过不断积累经验提升装配效率与质量水平;系统集成力反馈传感装置,能感知装配过程中的接触力与阻力变化,根据触觉信息调整装配策略,避免硬件损伤同时提高装配成功率。通过控制系统升级,企业装配效率提高约 35%,产品一致性显著改善,不良品率降低近 60%,同时生产线切换时间缩短 70%,展示了智能控制技术在精密制造领域的巨大潜力。

2.3 信息集成与系统优化

信息集成与系统优化通过机电一体化技术构建企业全域数据互联平台,实现生产设备、企业资源规划系统与供应链管理系统无缝对接,打破传统信息孤岛。技术核心在于利用物联网、边缘计算与云平台技术构建统一数据交换标准与接口规范,确保异构系统间信息高效流动与共享。广东某手机屏幕制造商应用华为智能制造解决方案的典型示例清晰展示了集成价值,企业实现从原材料进厂检验到成品出库全生命周期数据采集分析;系统将采购订单、生产计划、设备状态、质量检测与物流配送数据整合至统一可视化平台,通过大数据分析技术挖掘生产瓶颈与优化机会。信息集成系统支持生产决策智能化,通过历史销售数据分析与市场需求预测,自动生成最优生产排程与物料需求计划,动态调整生产资源分配;供应链协同平台实现与上下游合作伙伴实时信息交换,供应商可直接查看生产计划与物料需求,客户可追踪订单生产进度,有效缩短响应时间,降低安全库存水平。通过系统集成与优化,企业实现了生产计划达成率提升 25%,生产周期缩短 40%,库存周转率提高 30%,同时大幅增强了对市场变化的快速响应能力。系统还支持产品全生命周期追溯,通过唯一标识码关联生产全过程参数,为质量问题分析与持续改进提供数据支持。

3 机械电气一体化技术在智能制造中的优化策略

3.1 加强跨学科合作

加强跨学科合作在机电一体化技术发展中具有战略性意义,因技术本身横跨机械工程、电子技术、控

制工程、计算机科学等多个学科领域,单一领域知识难以满足复杂系统开发需求;有效合作模式需建立在相互理解与共同语言基础上,打破传统学科壁垒。企业可与高等院校建立深度产学研合作关系,通过联合实验室、技术研讨会等形式促进知识流动与技术创新,如浙江某智能装备制造企业与浙江大学合作建立“智能制造联合创新中心”,共同攻关柔性生产线关键技术难题,实现技术突破。行业协会可发挥桥梁纽带作用,组织跨企业技术交流活动,促进经验分享与问题协同解决;政府引导的产业创新联盟能整合区域内优势资源,共建公共技术服务平台,降低中小企业创新门槛^[3]。跨国技术合作同样重要,中德智能制造合作项目展示了国际技术交流价值,通过引进先进工业 4.0 理念与技术标准,结合本土制造业特点,形成适应性强的解决方案。跨学科团队组建需特别注重沟通机制建设,定期组织头脑风暴与技术研讨,建立共享知识库与协同工作平台。项目管理采用敏捷方法,通过小步快跑迭代开发降低沟通成本,提高团队协作效率。合作成果转化同样重要,建立科学的知识产权保护与利益分配机制,激励各方积极参与技术创新与应用推广;成功案例表明,开放式创新生态系统能显著提升技术研发效率,加速创新成果产业化进程。

3.2 推进标准化建设

推进标准化建设对机电一体化技术健康发展至关重要,标准体系建设涉及硬件接口、通信协议、数据格式、安全规范等多个层面,直接影响系统兼容性与互操作能力;标准化工作需政府引导、行业推动、企业参与多方协同推进。国家层面应加快顶层设计,构建涵盖基础通用标准、关键技术标准与行业应用标准的完整体系,如国家智能制造标准化总体组牵头制定《智能制造标准体系建设指南》,明确标准化路线图与实施策略。行业协会可组织重点企业参与国际标准制定,增强话语权的同时确保国内标准与国际接轨,避免技术壁垒;龙头企业应积极参与关键技术领域标准讨论,将自身技术创新成果转化为行业共识。标准实施推广同样重要,可通过标准宣贯培训、标准化试点示范等形式提高企业认知度与接受度;建立标准符合性评估与检测认证体系,引导市场规范发展。数据交换标准尤为关键,如 OPC UA 协议在工业通信领域广泛应用,实现不同厂商设备间无障碍数据交互;工业互联网标准框架需覆盖设备层、边缘层、平台层与应用层各环节。标准化工作应具有前瞻性,密切跟踪技术发展趋势,及时启动前沿技术标准研究;标准更新迭

代机制确保标准持续适应技术演进与市场需求。企业可通过标准化管理提升内部协同效率,统一技术语言与工作流程,降低沟通成本;标准化设计方法能提高产品模块复用率,缩短开发周期^[4]。

3.3 培养复合型人才

培养复合型人才是机电一体化技术持续发展核心驱动力,现代智能制造环境需要具备跨学科知识背景与系统思维能力的专业人才,能够理解机械结构原理、掌握电子技术基础、熟悉控制系统设计、应用信息化工具;人才培养体系应覆盖学历教育与职业培训多个层次。高等院校可优化课程体系,打破传统学科界限,设立机电一体化专业方向,增加跨学科选修课程比例;强化实践教学环节,与企业共建实训基地,提升学生动手能力与工程素养。企业内部培训体系同样重要,例如:德国西门子公司实施的“T型人才”培养计划值得借鉴,通过轮岗制度让工程师在专精一个领域基础上拓展相关知识面;建立导师制与知识管理平台,促进经验传承与隐性知识显性化。技术人员继续教育渠道应多元化,可结合在线学习平台与集中面授形式,满足不同层次人才发展需求;鼓励员工参与行业技术交流活动,及时了解前沿技术动态。人才评价体系需突破传统单一学科评价标准,建立多维度能力评估模型,重视解决复杂问题能力与创新思维;薪酬激励制度应与技术创新成果挂钩,激发人才创造潜能。产教融合推动高校人才培养与企业需求无缝对接,如苏州工业园区与多所高校共同开展的“订单式”人才培养项目,学生课程设置直接对接企业岗位需求;国际合作办学引入先进教育理念与课程体系,拓宽人才视野。实践表明,具备多学科背景的复合型人才能更好应对智能制造环境中复杂技术挑战,推动机电一体化技术创新应用。

3.4 强化安全管理

强化安全管理在机电一体化系统应用过程中至关重要。智能制造环境中设备高度自动化与系统高度集成,潜在风险点增多且相互关联;全面安全管理体系应涵盖硬件安全、控制安全、数据安全与运行安全多个维度。设备安全设计遵循安全原则,采用冗余设计与失效保护机制,确保系统在任何异常情况下都能维持安全状态;控制系统应实施严格的权限管理与操作审计,防止未授权访问与误操作导致的安全事故。数据安全同样重要,建立完善的数据备份与恢复机制,实施网络安全分区与访问控制,防止黑客攻击与数据

泄露;工业控制网络应与办公网络物理隔离,减少安全风险。安全风险评估应常态化,定期开展设备设施安全检查与控制系统漏洞扫描,识别潜在安全隐患并及时整改;建立风险分级管控机制,针对不同风险等级制定差异化管控措施^[5]。智能预警系统能实时监测关键设备运行参数,当检测到异常状态时自动触发预警并采取应急措施;建立完善的安全事故应急响应机制,定期组织应急演练,提高突发事件处置能力。员工安全意识培养至关重要,通过安全培训与安全文化建设,提高操作人员的安全意识与应急处置能力;建立安全激励机制,鼓励员工主动发现并报告潜在安全隐患。系统集成商与设备供应商协同确保整体安全,明确各方安全责任边界,建立贯穿项目全生命周期的安全管理流程;安全标准贯标工作应作为基础性工作持续推进,如实施 IEC 61508 功能安全标准与 ISO/IEC 27001 信息安全管理体系,全面提升系统安全性能。

4 结束语

机械电气一体化技术作为智能制造的核心支撑,其应用效果已在多领域得到验证。江苏汽车零部件企业应用智能传感系统使设备故障率降低 40%;上海电子制造商通过高级控制系统提升装配效率 35%;广东手机屏幕厂实现生产周期缩短 40%。结果表明,构建开放创新生态系统、实施统一技术标准、建立多元化人才培养机制与全面安全管理体系将促进机电一体化技术在智能制造领域深度融合与创新发展,为制造业转型升级提供坚实的技术基础。

参考文献:

- [1] 田浩.机电一体化技术在智能制造中的应用研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2023(04):34-35.
- [2] 鄢京.机电一体化技术在智能制造中的应用与实施[J].装备维修技术,2023(03):38-40.
- [3] 孙少勇.机电一体化技术在智能制造中的应用分析[J].Engineering Science Research & Application,2022,03(12):105-106.
- [4] 周加良,方永刚,宣燕红.机电一体化技术在智能制造中的应用[J].科海故事博览,2022(16):19-21.
- [5] 肖赞华.机电一体化技术在智能制造中的应用研究与分析[J].环球市场,2020(07):384.

建筑电气设备能耗偏高问题与节能改造技术应用分析

沈晓萌, 赵晶晶

(潍坊昌大公共建筑物业管理有限公司, 山东 潍坊 261000)

摘要 本文针对建筑电气设备能耗偏高的问题, 结合当前节能技术提出智能化控制系统、变频设备应用、高效照明替代等建筑电气设备节能改造技术, 以实际案例对建筑电气设备节能技术节能效果进行探究。研究结果表明, 建筑电气设备节能技术的实际应用能够降低建筑能耗以及建筑运营成本, 提高建筑能效水平, 提升建筑的环境适应性。

关键词 建筑电气设备; 能耗偏高; 节能改造技术

中图分类号: TU85

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.22.011

0 引言

很多建筑由于电气设备老化、管理不科学、设计不合理, 使得建筑电气系统运行效率低下, 能源损耗严重, 增加了建筑的能源使用成本, 依赖外部能源, 不利于绿色建筑和低碳建筑的发展。因此, 对建筑电气设备的能耗研究以及建筑节能改造技术应用的研究是实现建筑节能减排、绿色发展的必然选择。

1 建筑电气设备能耗偏高的原因分析

1.1 设备效率低下

建筑电气设备如空调、电梯等, 使用年限较长后, 如不及时进行维护保养, 就会出现效率降低的现象。在空调系统使用过程中, 滤网、蒸发器等部位会积灰或结成污垢, 造成空气流通不畅, 影响空调制冷或制热效果, 增加空调系统的能耗^[1]。电梯在长时间运行过程中, 如不及时润滑或检查, 就会产生机械故障或运行不顺畅的现象, 增加电梯能耗。许多建筑使用的电气设备, 未按照要求进行及时更换或更新, 也会造成设备老化, 能效下降。

1.2 建筑设计与布局不合理

如果在建筑设计中没有考虑到设备能效问题, 或者空间布局不合理, 往往会导致设备运转的低效率, 增加能耗。例如: 空调系统室外机和室内机的距离太远, 或者通风管道设计不合理, 都会影响空调运行效率。建筑电气中的电梯井道、供暖设备等设计不合理, 也会导致电梯、供暖系统运行过度, 增加能耗。部分建筑在设计时没有考虑到日照、空气流通等环境因素, 导致空调、照明等系统的长时间工作, 增加了能耗。

1.3 管理和运维问题

建筑电气设备能耗高的主要原因之一就是缺乏管理和运维。建筑运营管理过程中缺乏设备维护保养等管理机制, 导致建筑电气设备长期运行后没有得到及时的维护保养, 部分建筑缺乏对电气设备能效的定期检查和评估, 使得设备故障或损耗问题不能被及时发现和解决, 造成能耗浪费。比如建筑内的空调设备, 在夏季长期运行过程中, 由于缺乏管理, 导致其处于低效率运行状态, 造成大量能耗浪费; 还有建筑物内的照明系统、加热系统等设备由于缺乏管理, 长期处于开启运行状态, 也会造成不必要的能耗浪费。

1.4 外部环境因素

外部环境会影响建筑的供热、供冷需求, 如天气情况的变化。冬天天气寒冷, 需要空调和暖气设备保持较长时间才能保证建筑室内温度, 夏季天气炎热, 空调运行较长时间, 能源消耗较高。建筑室内人员的生活习惯也会增加能源消耗, 如空调、照明设备使用时没有根据实际需求进行调节, 造成长时间不必要的运行^[2]。建筑室内人员缺乏节能意识, 经常长时间使用设备, 无节制地使用空调、照明等, 也会增加设备的运行能耗。

2 节能改造技术与应用分析

2.1 智能化控制系统

智能化控制系统通过物联网、人工智能、大数据分析等技术能够实时监测建筑内的电气设备运行情况, 实现能源消耗、舒适度与设备效率之间的平衡, 提高建筑的整体能效, 降低不必要的能耗。智能化控制系

统可以实时监测并调节设备的使用,如智能照明系统可以根据室外光照强度的大小,自动调节室内照明的亮度,还可以根据建筑内人员的行动情况,自动开关照明,当无人时,照明系统会关闭,避免了照明系统的无效浪费,可以大大降低建筑内的无效能耗,延长照明设备的运行时间。通过环境传感器,智能空调系统可以检测室内温度、湿度、人员密度等数据,自动调整空调温度^[3]。如果室内温度过高,智能空调系统会根据监测的数据,自动开启制冷模式。如果室内人员较少,智能空调系统则会关闭或者减少冷气供应,降低风速,避免系统运行。更先进的智能空调系统还能预测建筑内温度变化,提前预判或者调节空调设备,避免冷热需求高峰期的浪费。

2.2 高效节能设备的替代

传统空调在使用过程中,压缩机转速固定,导致能效低下、频繁开关机造成能源浪费。而变频空调可以根据室内温度及载体的变化,动态调节压缩机转速,在需要时才提供恰当的冷量或热量。当室内温度接近设定值时,变频空调会自动降低功率,避免空调系统长期处于高负荷状态,对节能有着非常好的效果。变频空调还可以快速调整温度,当温度瞬时波动时,变频空调能够及时做出调整,使室内温度保持恒定,避免了传统空调大幅度波动造成能源浪费。变频空调与同型号的传统空调相比,节能20%以上是非常理想的节能设备。

传统的电梯以固定频率的电机驱动,电梯运行时需要对电机进行启动和停止,而且在电梯没有乘客时也会有一定的能量消耗。变频驱动技术被应用到电梯系统中,可以根据需要来调整电机转速,优化电梯的加减速过程,避免传统电梯频繁启停造成的能量浪费。变频驱动还能降低电梯运行过程中的能耗,延长电梯的使用寿命,减少机械磨损。

在传统的白炽灯或者荧光灯中,存在能效低、寿命短、更换频繁等缺点,而LED灯光照则是利用半导体技术,将电转化为光,效用的概率比以前的白炽灯或者荧光灯大大提升,能够达到光效比提高数倍的效果,从而在更低的能耗下获得同样的亮度^[4]。相比传统光源,LED灯寿命更长,使用次数减少,维修次数自然也减少。

2.3 建筑外立面与隔热改造

建筑外立面隔热设计可有效提高空调系统的节能效率,降低建筑内外温差。可通过采用高性能隔热玻璃、外墙外保温材料等方式,防止外部环境热量进入室内。例如:采用双层玻璃和低辐射涂层的窗户,可减少热量的传导,降低空调系统负荷。外墙外保温系统是在

建筑外立面添加隔热材料,避免建筑在高温环境中吸收过热,从而达到减轻空调系统负荷的效果。对于外立面的隔热处理还可以采用改变建筑的外立面和结构体系的方式,提高建筑的能耗。例如:给建筑的外立面设置遮阳篷、百叶窗、阳台等设施,可以阻挡夏季过于强烈的日照,减少空调负荷,而在冬季可适当增加日照,使其成为建筑的主要自然采暖,这些设计方式可有效节约空调和采暖设备的使用,减少建筑能耗和碳排放。

2.4 需求响应管理

需求响应管理可以和电力公司或能源管理系统实时互动,协调建筑中各电气设备的运行时间及负荷,建筑电气通过智能化控制系统,依据电力需求、时段、电网负荷等改变建筑中各电气设备的负荷使用情况。高峰时段电气需求时,建筑空调、热水器、电梯等电力需求较大的设备推迟或延迟启停,减少高峰负荷;低谷时段电气需求时,建筑运行中的设备减少高峰负荷,增加低谷负荷。需求响应管理能够使建筑降低最大实有电量需求高峰负荷,起到减少需求侧的负荷需求峰值,减轻建筑对电网的负荷需求紧张的作用,可以保证电力系统的稳定性。在实际需求响应管理实践中,建筑中的空调系统是典型应用场景,智能建筑空调系统可以根据建筑内外的空气温度、湿度以及人员活动情况来调节空调的运行负荷^[5]。当电网负荷较大时,智能建筑空调系统可以推迟或者延迟空调系统的启动,或者将空调温度设定在相对较高的温度来降低空调运行能耗。热水器、照明系统以及其他电气设备等都可以根据需求响应管理策略进行调节,高峰负荷时段内,建筑内的设备会按照需求响应计划自动降低工作强度或者暂停工作运行,等待负荷相对较低的时段再开始工作。

3 实施节能改造技术的建筑案例分析

3.1 某商业办公楼节能改造案例的节能效果

上海市某商业办公楼使用传统的空调系统、照明系统和电梯系统,能耗较大。由于夏季和冬季的温差较大,空调系统和照明系统的负荷较重。建筑管理方决定对该商业办公楼进行节能改造,降低建筑能耗,提高建筑运营效率。该商业办公楼通过物联网相关智能系统,对空调系统、照明系统、电梯系统等进行集中控制,能够根据室内实际温度、湿度、人员数量等环境参数的变化,自动调节空调温度风速、室内灯光照明的亮度。室内照明系统由传统的白炽灯、荧光灯更换为节能的LED照明灯具,空调系统更换为变频空调,电梯系统也采用了变频驱动技术。建筑外立面也采用

了隔热保温层,窗户替换为高性能玻璃,这样可以减少外热量进入室内,降低空调制冷量的需求。通过节能分析,建筑空调系统负荷降低 30%,室内照明能耗降低 40%,改造后建筑物电梯系统运行效率提高 20%,整体建筑能耗降低 35%,约节省 150 000 kW·h 电量,建筑年节省电费约 12 000 元。由于建筑物设备的使用寿命延长,维护费用也随之降低,改造后该项目整体回收期约为 4~5 年。

3.2 某高端住宅小区节能改造

某高端住宅小区包含多个楼栋,建筑总面积约 10 万平方米,空调系统为老旧的中央空调,照明设备陈旧,由于年久设备老化,性能下降,能耗较高,业主及物业顾问决定对小区进行全面节能改造,以提升居住舒适性,降低能耗。在该项目改造中,家庭配置了智能家居系统,通过手机 App 对空调、照明、热水器等进行远程控制,根据室内温度、湿度等自动调节各设备的运行参数。将普通空调换成变频空调,将老旧节能灯和白炽灯换成 LED 灯节能照明。建筑物外围进行保温处理,窗户更换为双层中空玻璃,增加遮阳装置,降低夏季空调使用能耗。节能改造后,该住宅小区能耗整体下降 28%,空调使用能效提高 35%,照明能效提高 45%,建筑空调负荷下降 25%,减少了空调使用时间。据测算,整个住宅小区年节省电力消耗约 2 万 kW·h,节省电费约 160 000 元。改造后的住宅小区,既舒适又节能,年均节能费用可在 3~4 年内回收。

4 建筑电气设备节能改造的实施策略与建议

4.1 前期评估

建筑电气设备节能改造前期,要对建筑中现有电气设备的能效情况进行有效核查,项目团队需要准确掌握建筑能源消耗情况。评估环节涉及能源审计,对设备运行数据、能耗情况、使用习惯等进行全面评估,确认设备是否存在能源浪费的情况,并分析设备节能减排空间^[6]。另外,还要对建筑物使用情况、运行环境等进行评估,如建筑物的朝向情况、空调使用情况、照明使用习惯等。建筑管理方通过数据收集进一步分析不同设备、系统的用能情况。如通过安装智能电表、传感器等设备收集用电情况,结合实时天气、室内人员活动等情况进行针对性分析,为后期节能改造方案的制定提供科学依据。

4.2 设计与实施阶段

基于前期评估结论选择能效提高明显的设备和技术,如将普通空调更换为变频空调,变频空调能根据实时温度需求调节压缩机转速,节约不少能源,采用 LED 光源替换传统荧光灯,不但能节约能源,而且能延

长设备使用寿命。智能照明能针对环境光照度及人员活动情况自动调节光效,最大限度地节约能源。智能空调系统根据室内温、湿度及人员数量等实时数据自动调节运行状况,调节智能空调运行能效。在实施阶段要求项目团队对实施步骤进行详细规划,同时与设备厂家、施工单位沟通,保证方案准确实施,还需要考虑项目预算、工期及项目技术可行性,确保项目改造不低于预算且在预期时间完成。

4.3 监测与维护阶段

节能改造之后,建筑管理者需要进行相关的监测和养护工作,对节能效果进行持续跟踪,确保相关设备始终处于高水平运行状态^[7]。建筑管理人员可以通过智能能源管理系统,对建筑内相关电气设备的不同能效进行实时监督,并进行自动调节和优化。节能设备在长时间使用后,会逐渐降低能效,通过定期养护,可以及时发现设备存在的隐患,确保设备不会出现能效衰减的情况。定期对设备进行养护,除了对设备进行清洁和检修之外,还需要对相关软件和系统进行更新,通过维护和更新来让智能系统维持高效的能效水平。

5 结束语

针对建筑电气设备能耗高的问题,智能化控制系统可以根据实时数据来控制设备运行,进一步减少不必要的能耗。高效的设备替代可以减少设备运行能耗,如变频空调、LED 照明等设备都可以大幅度降低能耗。建筑外立面隔热改造使空调、暖气使用率降低,需求响应管理技术可以通过对设备运行模式进行动态化调控,降低建筑能耗。节能改造还可以提升建筑能效和舒适度,为建筑行业可持续发展提供技术支撑,减少建筑能耗,降低碳排放,推动绿色建筑发展。

参考文献:

- [1] 孔晓兵,富钢.建筑电气节能设计技术创新研究[J].冶金设备管理与维修,2024,42(04):66-67.
- [2] 陈鹏飞.浅谈建筑电气设计中的节能技术应用[J].四川建材,2024,50(03):210-212.
- [3] 徐静.建筑电气设计中的节能技术措施[J].中国住宅设施,2023(09):34-36.
- [4] 闫沛颖.建筑电气设计中的节能技术研究[J].城市建设理论研究(电子版),2023(18):76-78.
- [5] 李士明.建筑电气节能设计及绿色建筑电气技术[J].石材,2023(03):98-100.
- [6] 张弛.建筑电气设备自动化节能技术的研究与应用[J].工程与建设,2023,37(01):340-342,404.
- [7] 肖磊.建筑电气设备自动化的节能技术[J].建筑技术开发,2019,46(09):156-157.

基于电力工程技术的超高压输电线路运行管理优化分析

徐亮, 史现奇, 杨政

(山东鼎拓电气有限公司, 山东 济南 250000)

摘要 在我国特高压电网迅速发展及新能源大范围并网的背景下, 超高压输电线路是电力系统骨干网架之一, 其运行管理水平的高低直接关系到电网的安全稳定及能源转型过程。本文明确了超高压输电线路的运行管理对于保证电网安全、促进新能源消纳、推进智能电网建设具有重要意义, 对目前所面临的技术瓶颈、管理机制缺陷和复杂的外部环境等问题进行了系统分析, 并以现代电力工程技术为依托, 提出了智能化监测诊断、防灾能力增强、运维模式革新、跨区域协同调度以及低碳运行的一系列优化策略, 以期为建设安全、高效、绿色、智能超高压输电系统提供系统技术路径与管理方案, 对于促进新型电力系统建设具有实践参考价值。

关键词 电力工程技术; 超高压输电线路; 运行管理

中图分类号: TM8

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.22.012

0 引言

在当前经济和社会不断发展的时代背景下, 电力的稳定供给对维护国家能源安全、促进经济发展、改善人民生活质量等方面都发挥着不可替代的作用。超高压输电线路是电力传输的“主动脉”, 担负着向负荷中心发电端有效输送大比例尺电力的重任, 它的运行管理水平直接影响电网安全平稳运行。本文对基于电力工程技术下超高压输电线路的优化运行管理策略进行深入探究, 希望能够对促进电网运行管理水平的提高起到有益借鉴作用。

1 超高压输电线路运行管理的重要性

1.1 电网安全稳定的核心保障

在电力系统这一宏大框架下, 超高压输电线路是电力传输的核心。电网的稳定和安全运行与其运行状态有着直接的联系。如果超高压输电线路遭遇故障, 如短路或断线, 不仅可能导致某些特定区域的电力供应出现中断, 影响到居民生活、工业生产以及社会的正常运行, 同时也会引起连锁反应, 导致大面积停电事故的发生, 甚至会严重威胁到整个电力系统运行的稳定性^[1]。从电力系统安全性角度考虑, 超高压输电线路稳定运行可以保持电网电压与频率处于合理区间波动状态, 保证各种用电设备处于正常参数状态, 避免了由于电压异常或者频率偏差等原因造成设备损坏, 引发安全事故^[2]。

1.2 新能源消纳的支撑条件

新型能源, 如风能和太阳能, 展现出明显的间歇性、不稳定性和分散性, 当它们大规模并入电网时, 给电力系统的稳定运作带来了前所未有的考验。超高压输电线路以其容量大、传输距离远等特点为新能源电力提供坚实的物理通道, 使偏远地区风能充足、太阳能资源可以超越地域限制向负荷中心传输以达到能源优化配置。但是, 仅仅依靠物理通道是不够的, 超高压输电线路运行管理水平的高低决定着新能源电力是否能够得到高效稳定消纳^[3]。准确的运行调度可以依据新能源发电实时出力对超高压输电线路输电功率进行合理调度, 避免新能源出力波动造成线路过载或者功率倒送, 保证新能源电力顺利并入主电网^[4]。

1.3 智能化电网发展的必然要求

智能化电网是电力系统今后发展的方向, 其目的是在电力生产、输送、分配以及消费等整个过程中实现自动化、信息化以及智能化, 从而促进电力系统高效、可靠以及灵活运行。超高压输电线路是电力传输过程中的主干网络, 它的运行和管理智能化程度直接决定着智能化电网整体性能的优劣。从信息感知的角度出发, 智能电网系统需要全方位和精确地掌握超高压输电线路的运行状况, 这包括线路的电气特性和机械性能。尽管先进的传感器技术和物联网技术为环境参数等需求提供了解决方案, 但要有效地收集、传递和处理这些庞大的数据, 仍然需要依赖科学和合理的运营

管理策略^[5]。在数据分析和决策中,智能化电网利用大数据和人工智能技术辅助超高压输电线路运行数据分析和挖掘,从而实现故障预警目的、状态评估与优化调度的功能。这些都需要运行管理有较强的数据处理能力与智能决策机制,并能依据分析结果对线路运行方式与维护策略进行适时的调整。

2 超高压输电线路运行管理存在的问题

2.1 技术层面的问题

在监测技术方面,虽然目前已经广泛采用各种传感器来实时监测线路电气参数、机械性能等,但是监测数据在准确性与完整性方面仍然有所欠缺。一方面,传感器会受到高温、低温和强电磁干扰等环境因素的影响,这些因素都会使测量误差变大甚至数据丢失,使运行人员很难得到真实可信的线路状态信息。另一方面,由于监测系统数据融合能力受限,对不同种类传感器所采集到的数据很难实现高效整合及综合分析,不能对线路故障诊断及状态评估等工作进行全面准确地支撑。就诊断技术而言,尽管以大数据与人工智能为基础的故障诊断方法已经有所发展,但是对超高压输电线路这类复杂系统进行故障特征提取与模式识别仍然是一个难题。线路故障种类繁多,主要有雷击、污闪及风偏,各故障产生机理及表现形式均不相同,已有诊断模型很难准确地捕捉到故障细微特征,造成故障诊断准确率与及时性不高,常常是出现故障后才可事后分析,不能做到提前预警与预防性维修。

2.2 管理机制的缺陷

在超高压输电线路的宏观运行管理框架内,管理机制的不足是系统内部潜在的障碍,这大大限制了管理效率的最大化。从组织架构层面来看,现行管理体系条块分割严重,各部门职责边界不明确,处理线路运行复杂问题时易相互推诿和协调不畅。例如:在设备检修和线路运行调度中,由于缺乏高效的沟通协调机制而使得检修计划和运行需求很难准确匹配,这不仅会影响线路可靠运行,还会增加不必要的运行维护成本。从制度建设方面来看,尽管已经制定出一系列管理规章制度,但是有些制度内容老旧,针对性不强,很难适应超高压输电线路迅猛发展的新情况。如对新技术、新设备应用管理没有明确规范与引导,使新技术推广与应用受到制约,不能充分挖掘新技术对提高线路运行管理水平的潜能。

2.3 外部环境挑战

在超高压输电线路治理的宏伟蓝图上,来自外部环境的挑战犹如汹涌的大潮,源源不断地冲击线路安全平稳运行的防线。自然环境、极端气候事件频繁发

生成了一个严峻的考验。台风肆虐、大风裹大雨,会造成相间短路和绝缘子闪络;暴雨诱发山洪和泥石流容易冲刷杆塔基础导致线路倒塌;冰雪灾害又会引起线路覆冰和线路荷载的增大,造成导线的断裂和杆塔的形变。另外,地质灾害如地震、山体滑坡等都会对线路设施产生毁灭性的破坏,并且这些灾害突发性和破坏力都很强,对线路运行管理造成很大的影响。

3 基于电力工程技术的优化策略

3.1 智能化监测与诊断技术应用

在电力工程技术繁荣发展的今天,将智能化监测和诊断技术运用到超高压输电线路的运行和管理之中,犹如给线路的安全平稳运行装上一双“智慧之眼”。通过在输电线路关键部位部署高精度传感器网络,能够实时、全面地采集线路的电气参数(如电流、电压、功率因数)、机械性能(如杆塔的倾斜度、导线的张力)以及环境参数(如温度、湿度、风速等),形成海量且多维度的监测数据。在先进无线通信技术的支持下,这些数据被迅速而稳定地传送到监控中心中,从而为之后的分析和决策奠定了扎实的数据基础。在诊断技术方面,依靠大数据分析、机器学习和深度学习前沿算法对获取的监测数据深度挖掘和智能分析。通过学习和建模历史上的故障数据,该系统可以自动识别线路运行中的异常模式,提前预警可能的故障风险,实现从“事后处理”到“事前预防”的重大转变。如通过使用卷积神经网络来分析线路绝缘子的红外图像,可以准确地识别绝缘子的细微缺陷,并及时识别如污闪、损坏等潜在故障,这极大地增强了故障检测的精确度和时效性。

3.2 防灾与抗干扰能力提升

在超高压输电线路这一复杂的运行管理系统中,提高防灾和抗干扰能力是确保线路安全可靠运行的中心要务,电力工程技术的改革为其提供了坚实的支持。面对自然灾害频繁发生所带来的各种挑战,气象预测和灾害预警等先进技术已经成为防灾第一道防线。通过整合多源气象数据并利用高精度的数值天气预报模型及人工智能算法可以实现台风、暴雨、冰雪极端天气的准确预报,预先评估它们对输电线路影响的范围及程度,以便有针对性地制定防灾策略。同时,基于地理信息系统(GIS)的灾害风险评估模型,综合考虑线路地形、地质、植被等因素,精准识别线路的高风险区域,实现灾害风险的精细化评估与动态监测。在抗干扰技术上,为解决电磁干扰,研究开发出一种新型电磁屏蔽材料及滤波技术,从而有效地减小线路周边电磁场对信号传输造成的扰动,确保监测数据准确、稳定。针对雷电干扰问题,对线路防雷设计进行优化,

利用新型避雷器、避雷线以及其他防雷装置与雷电定位系统相结合,以达到实时监测预警雷电活动情况,及时做好防护措施以降低雷击跳闸事故发生率。

3.3 运行维护模式创新

在超高压输电线路的运行管理演变过程中,以电力工程技术为依托,不断向纵深融合和延伸,逐渐构建起智能化、协同化和精细化新型运行维护模式。该模型将数字化平台作为中心枢纽,集成线路实时监测数据、设备运行参数、气象环境信息多源数据、利用大数据分析及人工智能算法深度挖掘并智能决策,实现了线路运行状态全方位、精准化的感知和评价。通过建立一个故障预测模型,可以提前评估线路可能出现的故障风险,并据此制定个性化的维护方案,从而实现从“定期检修”到“状态检修”的转型,这不仅能有效地降低运营成本,还能提升设备的使用效率。在协同维护中,突破部门壁垒、构建跨专业跨区域协同工作机制。采用物联网技术及移动通信技术实现运维人员、设备、材料等实时信息交互及协同作业。如在故障抢修时,利用智能调度系统对周边资源进行快速配置,做到抢修队伍、物资设备准确投放,减少抢修时间和提高应急响应速度。同时加强与气象和地质部门的合作,实现灾害预警信息共享和防灾前准备,形成综合协同防护体系。

3.4 跨区域协同与调度优化

以先进电力工程技术为依托,建立跨区域协同运行机制是必然要求。通过搭建统一信息共享平台将各地电网实时运行数据、负荷预测信息和设备状态参数集成在一起,以达到高效流通和精准共享,破除地区间信息壁垒,奠定协同决策数据基础。运用大数据分析及人工智能算法对跨区域电力供需形势做出精准预测和动态评估、预先预判潜在电力缺口或者过剩问题,从而为跨区域电力调度工作提供科学依据。在进行调度优化的过程中,采用了如混合整数线性规划、粒子群优化算法等先进的优化技术,全面地考虑了跨区域输电线路的传输能力限制、电力市场交易规则,不同发电成本等诸多因素,制定了跨区域最优电力调度方案。通过优化调度策略使电力资源得到较大规模的优化配置、提高电力资源利用效率、减少发电成本。同时加强地区间协调、构建跨区域应急协调机制,当遇到突发故障或者极端天气紧急情况时能快速启动应急预案,统筹各地电力资源共同解决电力供应危机,确保电网安全平稳运行。

3.5 绿色低碳运行策略

在电力工程技术深度革新的基础上,绿色化运行体系建设需要在能源高效利用、碳排放精准管控和生

态友好型建设方面多维度协同发展。在能源高效利用水平上,依靠先进智能电网技术对电力供需进行实时准确匹配和动态平衡。通过布设高精度负荷预测系统和分布式能源接入管理平台集成区域风、电、光伏等可再生能源间歇性出力特征,结合储能装置灵活调控能力对跨区域电力调度策略进行优化,降低能源供需错配造成的弃风和弃光,提高可再生能源消纳比例。同时,通过采用先进的输变电设备节能技术,如使用低损耗变压器、高效导线等,可以降低输电过程中的能量损耗,从而提高能源传输的效率。在碳排放精准管控中,构建了全生命周期碳排放监测评估体系,实现了超高压输电线路规划设计、设备制造、建设施工至运行维护等各环节碳排放量化分析。以大数据分析和人工智能算法为基础,对不同运行条件下碳排放趋势进行了预测,并制定了有针对性减排措施。如通过对线路潮流分布的优化来降低输电损耗,间接减少碳排放等;用新型环保材料代替传统的高碳排放材料是从源头上降低碳排放的。生态友好型的建设理念强调,在进行输电线路的规划和建设时,必须充分考虑到生态环境的保护需求。通过结合地理信息系统(GIS)和遥感技术,对线路路径的生态敏感性进行了评估,从而避免了生态敏感区域,降低了对自然生态系统的影响。

4 结束语

智能化监测及诊断技术的运用为线路运行管理工作提供了有力的技术支撑,实现了线路运行状态实时监控及精准诊断,切实提高了故障预警及处理效率。通过提高防灾及抗干扰能力、采用先进预测预警技术、优化防雷防冰设计及新电磁防护手段、提高线路抵御自然灾害及电磁干扰能力,可确保线路平稳运行;创新运行维护模式,在数字化平台支持下,运维管理智能化、协同化、精细化,运维效率与质量得到提升,运维成本得到降低。

参考文献:

- [1] 张森.浅析电力工程及其输电线路设计与施工的技术问题[J].电力设备管理,2024(12):223-225.
- [2] 彭志刚.电力工程输电线路的施工技术探讨[J].科学与信息化,2024(08):70-72.
- [3] 郭丹丹.电力工程输电线路施工技术的探讨[J].门窗,2024(09):76-78.
- [4] 杜旭伟.电力工程建设中输电线路施工质量技术控制[J].电力设备管理,2024(04):168-170.
- [5] 刘建军.电力工程输电线路施工技术[J].电脑爱好者(普及版)(电子刊),2021(10):1829-1830.

建筑工程检测中的水泥检测要素探讨

李 柯, 左盼盼

(山东魅元工程质量检测有限公司, 山东 济南 250000)

摘 要 在建筑工程的质量管控中, 水泥的性能好坏直接关系到工程的安全性和耐久性。本文对水泥检测要素体系和质量控制路径进行了系统论述。首先, 说明了水泥检测对于工程质量控制的核心地位, 并强调它对于保证材料合规性与结构稳定性具有重要价值。其次, 构建了水泥检测的关键技术要素体系, 包括表观质量、物理性能、化学组分检测指标, 并分析了现代检测方法(如细度、标准稠度用水量、安定性)的技术要点。最后, 提出了设备标准化管理、环境参数控制、人员培训和数据信息化处理等水泥检测质量改进的系统化路径, 以期优化检测流程、保证数据的准确性提供理论依据和实践参考。

关键词 建筑工程检测; 水泥检测; 表观质量检测; 物理性能检测; 化学组分检测

中图分类号: TU7

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.22.013

0 引言

提高水泥检测质量是水泥行业研究的重点。但在目前的水泥检测工作中还存在着对检测设备的管理不够规范、对检测环境参数的把控不够严格、检测人员的专业技能欠缺、检测数据的处理效率较低等问题。这些问题极大地影响着水泥检测结果的准确性, 继而给工程质量带来潜在威胁。针对上述问题, 本文提出一套系统化提高水泥检测质量的方法, 旨在通过优化管理、强化控制、提高技能以及信息化处理来提高水泥整体检测质量。

1 水泥检测在建筑工程质量控制中的核心作用

水泥作为建筑工程的基础建筑材料, 其质量好坏直接影响着建筑物结构安全、使用寿命和整体性能。在建筑工程施工期间, 混凝土、砂浆等关键部分广泛使用水泥, 水泥性能是否稳定可靠对整个工程质量具有重要意义。水泥检测可以及时地发现水泥材料存在的强度不够、安定性不佳等质量问题, 避免这些可能出现的问题给工程进度与质量带来负面影响^[1]。通过试验, 可保证所用水泥满足有关标准、规范的要求, 从而为项目的顺利实施提供了强有力的保证。另外, 水泥的检测也有利于施工方案与流程的优化。通过深入认识水泥性能, 施工人员可结合实际情况对混凝土配比、施工方法等进行调整, 进而提升工程质量与施工效率^[2]。

2 水泥检测的关键技术要素体系

2.1 表观质量检测

表观质量检测是以观察水泥外观特征为主对水泥质量状况进行初步判定, 这一环节对后续检测工作有

着重要的指导作用。在表观质量检测方面, 重点研究水泥颗粒形态、颜色和杂质含量特性。颗粒形态能体现水泥研磨程度及均匀性, 对水泥活性、水化速度及强度发展等特性有显著影响。颜色可以提供关于水泥的烧制温度和成分构成的初步数据, 这对于评估水泥的成熟水平非常有帮助。但杂质含量直接影响水泥纯净度及使用效果, 杂质过多会造成混凝土性能降低, 甚至造成工程质量问题。表观质量检测中需要使用专业检测设备与手段, 如显微镜、电子秤等来保证检测结果准确可靠^[3]。

2.2 物理性能检测

水泥物理性能检测对评价水泥质量至关重要。物理性能检测包括水泥细度、标准稠度耗水量、凝结时间、体积安定性和强度几个方面。细度检测作为水泥颗粒尺寸的一种量度, 对水泥水化速率及强度发展有着直接的影响。标准稠度所用的水量是水泥与水混合后流动性的一个反映, 也是衡量水泥性能的关键指标。凝结时间指水泥由加水搅拌至开始凝结并充分凝结的时间, 与混凝土施工时间及强度增长有关^[4]。体积安定性检测的目的是评价水泥硬化后是发生膨胀还是收缩, 对避免结构裂缝及变形有着重要的意义。而强度检测是水泥物理性能检测的核心内容, 直接决定混凝土结构承载能力与耐久性。在物理性能检测过程中, 必须按照严格的检测标准及操作规程来保证结果准确。

2.3 化学组分检测

化学组分检测主要关注水泥中主要氧化物(有硅酸三钙、硅酸二钙、铝酸三钙以及铁铝酸四钙等成分)的含量, 以及可能存在的有害成分(如游离氧化钙、

三氧化硫)的含量。这些化学组分含量对水泥水化反应速率、强度发展、体积变化和耐久性等都有直接影响。如硅酸三钙、硅酸二钙等水泥主要水化成分其含量高低决定水泥强度等级及硬化速度^[6]。铝酸三钙和铁铝酸四钙对水泥早期的强度起到了关键作用,但如果它们的含量过高,可能会影响水泥的体积稳定性。水泥硬化后,游离氧化钙的出现可能会引起体积的增大,从而可能导致结构性的裂痕。三氧化硫含量过高会影响水泥和骨料粘结力和混凝土耐久性。在化学组分的检测中,通常使用X射线荧光光谱分析和化学滴定等先进技术,这些方法可以提供高度精确和灵敏的检测数据。在检测时,要求对实验条件进行严格把控,以保证数据准确、可比。同时,检测人员要具有专业的化学知识与较高的实验技能,能对检测结果进行准确的判读与分析,从而为水泥质量控制提供科学依据。

3 现代水泥检测方法体系

3.1 细度检测技术

在现代水泥检测方法体系下,细度是水泥重要物理性能指标之一,与水泥水化速率、强度发展和混凝土工作性能有直接联系。细度检测技术的发展主要依靠先进的设备和手段,如激光粒度分析仪和沉降法。激光粒度分析仪是应用激光散射原理测量颗粒与激光散射角度从而测定颗粒粒径分布的仪器,它具有测量快速和准确等优点。沉降法则是通过观察液体中水泥颗粒的沉降速率来计算其粒径大小的,这种方法操作简单,适合于大规模样本的快速筛选。另外,也有一些传统方法如筛分法,尽管操作比较烦琐,但是在特定的条件下仍然有其应用价值。在实践中,细度检测技术需要从检测目的、样品特性和实验室条件等方面来考虑。对要求高精度测量的小批量生产试样,优先选用激光粒度分析仪;但对批量较大的样品进行快速筛选时沉降法效率较高。同时,在测试过程中需要对实验条件进行严格把控,如样品预处理、分散剂选择及用量、测量环境温湿度等,才能保证测试结果准确性、可比性。

3.2 标准稠度用水量测定

标准稠度用水量指水泥净浆在标准稠度状态下需要的最小用水量,该指标的确定对了解水泥需水性、水化速率和强度发展情况等性能非常重要。通常使用维卡仪法来测定标准稠度所需的水量,这种方法是通过测定水泥净浆在特定环境下的渗透阻力来确定其稠度状况。试验时,需要准确称取水泥样品并按指定配

比加水拌合,然后用维卡仪检测拌合水泥净浆贯入情况。通过调整用水量,直至找到使水泥净浆达到标准稠度状态(一般定义贯入阻力达一定数值)的最小用水量,即为该水泥的标准稠度用水量。在进行试验时,需要对试验条件如搅拌时间、搅拌速度、环境温度及湿度进行严格把控,才能保证试验结果准确可靠。与此同时,实验人员操作技能、判断标准及设备校准状态等都会影响实验结果,所以,需要强化实验人员培训,保证实验操作规范准确。

3.3 安定性检测

水泥的安定性就是指水泥硬化时体积变化是否均匀,如果水泥安定性不佳,就会在硬化之后出现膨胀或者收缩等现象,从而造成混凝土结构出现裂缝,变形乃至损坏等问题,极大地影响了工程的质量与安全。安定性检测常用的方法是雷氏夹法或者试饼法。雷氏夹法就是用专用雷氏夹盛装配制水泥净浆,硬化后测夹子张开度,以判断水泥安定性。试饼法则涉及将水泥净浆加工成规定大小的试饼,并在硬化之后仔细观察试饼是否出现了翘曲或开裂等不良现象。两种方法各有优缺点:雷氏夹法具有操作简单、结果直观等特点,适合批量大的样品快速筛选;采用试饼法则可以更清晰地展现水泥固化后的体积变动特性,这对于评估水泥的稳定性中的微小差异是非常有帮助的。在进行试验时,需要对试验条件进行严格把控,如对水泥进行采样、配制、养护等,这样才能保证试验结果准确、可靠。与此同时,实验人员操作技能、判断标准及设备校准状态等都会影响实验结果,需要强化实验人员培训,保证实验操作规范准确。另外,对检测结果不正常或者怀疑安定性差的水泥样品要重新检测或者用其他手段核查,保证检测结果准确。

4 水泥检测质量提升的系统化路径

4.1 检测设备标准化管理方案

在提高水泥检测质量的系统化路径中,检测设备作为水泥质量检测的直接工具,其精度、稳定性和可靠性直接影响到检测结果的准确性和可信度。制定完善检测设备标准化管理方案对促进水泥检测质量的提高具有十分重要的意义。首先,需要定期校准并保养所有检测设备,以保证它们在测试期间一直处于最佳工作状态。校准工作要按照国家有关标准、规范执行,以保证检测设备测量精度满足要求。其次,建立一套完整的设备保养记录,对每一次校准,保养所需时间、内容和结果都进行详细的记载,以跟踪设备性能变化

情况,发现问题并及时解决。另外,该计划强调检测人员专业培训与技术考核并重。检测人员要熟练掌握检测设备操作方法及注意事项,掌握其性能特点及局限性,并能对检测结果进行准确判读与分析。通过经常性技术培训与评估,检测人员专业技能与综合素质不断提高,保证检测工作规范准确。

4.2 检测环境参数控制要点

环境参数的检测主要涉及温度、湿度、振动和电磁干扰等多个方面,这些变量都有可能对检测设备的工作性能以及检测结果的准确性造成不良影响。

第一,温度与湿度控制是关键。水泥检测一般要求温度、湿度保持不变,避免因环境因素造成误差。实验室内应安装温湿度控制系统以保证检测区域温湿度控制在设定范围。同时要定期对温湿度数据进行监控与记录,做到及时发现偏差、改正。

第二,振动控制是不容忽视的一环。振动会对检测设备正常工作产生干扰,从而影响测量结果精度。实验室应该远离振动源或者在实验室中采取有效措施进行减振,如设置减振台和采用减振垫来降低振动对于检测设备造成的影响。

第三,电磁干扰是必须重视的。现代的检测设备通常含有电子元件以及传感器等,对于电磁环境是比较敏感。实验室在有效采取电磁屏蔽措施降低电磁干扰对检测结果影响的前提下,要合理规划和布置大型电磁设备,远离检测区域。

4.3 检测人员专业技术培训体系

在提高水泥检测质量的系统化路径中,检测人员是检测活动的直接实施者,其专业技能、知识储备及操作规范性等直接关系到检测结果是否准确。这一培训体系涉及水泥化学和物理性能基本知识、检测设备运行和保养、检测标准理解和实施、数据处理和分析方法等诸多方面。检测人员经过系统的理论学习和实践操作可以对水泥检测全流程有一个完整的把握,其中包括样品制备、实验操作以及结果记录和报告编写。另外,在培训体系中还应重视对检测人员进行不断教育和技能更新。在检测技术不断进步,标准不断更新的今天,检测人员要想在专业技能上保持前沿性,就必须不断地学习到新的知识与技术。为此,要定期举办专业培训、研讨会及技术交流活动等,并请行业专家讲学、交流检测技术最新动向及研究成果,以提高检测人员的专业素养及技术水平。同时,建立检测人员考核机制,将培训成果和实际工作表现有机结合,

定期考核检测人员专业技能,保证检测人员具有胜任岗位要求的专业能力。

4.4 检测数据信息化处理流程

在提高水泥检测质量的系统化路径中,检测数据是水泥质量检测工作的直接产出,处理过程的高效性、准确性与可追溯性对保证检测结果可靠具有重要意义。检测数据信息化处理流程要覆盖数据采集、存储、分析、报告生成等整个过程。首先在数据采集阶段需要保证检测设备自动化、智能化,并通过集成传感器及智能控制系统实现对检测数据实时、精确地采集。同时制定统一数据格式与标准以保证数据一致性与可比性。数据存储阶段使用云存储或者数据库管理系统对检测数据进行集中存储与高效管理。通过权限设置及数据加密技术保证数据安全性及隐私保护。在数据分析阶段采用先进算法与模型对检测数据深度挖掘与分析,并提取出关键信息,为水泥质量评价提供科学依据。同时搭建数据分析结果可视化展示平台以方便检测人员对数据特征及趋势进行直观了解。

5 结束语

通过对提高水泥检测质量关键路径的系统分析,着重阐述检测设备标准化管理、检测环境参数控制、检测人员专业技术培训体系和检测数据信息化处理流程等方面对提高水泥检测工作质量的重要意义。这些措施的落实不仅能够提高试验的准确性与稳定性,也能够提高试验效率,从而为水泥质量控制工作提供强有力的支撑。未来需要对检测方法及技术进行持续优化及完善,才能满足水泥行业持续发展及检测技术进步的需求。

参考文献:

- [1] 胡程. 建筑工程水泥检测的要素分析[J]. 建材发展导向, 2024, 22(10): 26-28.
- [2] 黄宽. 建筑工程混凝土原材料中水泥检测技术[J]. 建筑与装饰, 2024(17): 169-171.
- [3] 王漓. 建筑工程中无机非金属材料水泥与混凝土的检测[J]. 工程技术研究, 2024, 09(14): 127-129.
- [4] 宋婉棠. 浅析建筑工程中的材料检测问题[J]. 建筑发展, 2024, 08(01): 7-9.
- [5] 王秋懿. 建筑工程检测中水泥检测的要素探讨[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2024(25): 94-96.

改扩建高速公路路基施工技术要点分析

刘文兵

(安徽拓鑫建设集团有限公司, 安徽 合肥 230031)

摘 要 高速交通需求的增长使得早期设计的高速公路通行能力和服务水平难以适应当今需求。设计之初受限于技术、资金及预估不足, 现需扩大车道数量, 提高承载力, 增强路基稳定性和生态可持续性。针对这些挑战, 研究改扩建高速公路路基施工技术, 确保工程质量、延长使用寿命、促进行业可持续发展尤为关键。本文探讨了确保交通畅通与新建路基稳定连接的关键技术, 提出了现场管理控制措施, 并针对改扩建工程挑战提出了优化建议, 以期为相关人员提供参考。

关键词 高速公路; 改扩建; 路基施工

中图分类号: U415

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.22.014

0 引言

目前, 如何确保我国改扩建高速公路工程安全、高效、稳定地运行至关重要。其中, 路基工程对高速公路整体稳定性与耐久性有着直接影响。因此, 本文深入探讨改扩建高速公路路基施工技术要点, 以期能够为提高工程质量、降低整体施工过程中的风险与未来的维护成本提供有益借鉴。

1 工程概况

某高速公路工程长度设定为 5.465 公里。为了适应交通流量的需求, 公路需要拓展为双向八车道的设计, 每小时速度达到 120 公里。工程采用了整体式的路基设计, 宽度由 28 米增加至 42 米。在实地调查中发现, 软土在项目全程广泛分布, 其厚度介于 0.7 米至 5.0 米, 深度为 3.6 米至 12.2 米; 地下水位介于 1.8 米至 7.2 米, 平均为 3.6 米。由于该地区的分离式立交桥所产生的净空高度无法满足未来发展的规划, 故不得不提高高速公路主线的高度, 其中高达 92.31% 的路段需要提升, 且最大升幅达到 5.433 米。

2 改扩建高速公路路基施工技术要点

2.1 准备工作

第一, 在完成各个设计交桩点的标立之后, 及时向设计单位反馈控制点的最新信息至关重要。需要对整个工程区域进行精确的复测工作, 对结构物位置进行考虑, 同时根据重要等级采取相应的加密措施, 建立精密的公共测量控制网, 这不仅要求保护控制点的成果得到妥善维护, 还要做到定期复查。例如: 每三个月一次的定期复测, 确保数据的准确性与可靠性。

为此, 应设立易于识别的用地界标, 应适时将复查的数据按照既定程序上报, 这些数据将直接作为土方工程量调整以及结算的依据。

第二, 在路基施工阶段, 详细记录施工过程中各个方面的管理方法尤为关键。在充分理解既有的原地面复测结果与路基结构细节的基础上, 施工者需要将路基工作区域细致地划分为多个区域, 并按标准确定每个区域的层高与分层。按照 20 厘米的分层厚度原则进行路基填筑, 并同步记录每层压实情况及相关检查数据的影像资料。文件的建立与整理过程应保证资料的系统性与完整性, 确保可以提供给后期计量审核与验收使用。

第三, 针对技术实施层面, 除了遵循施工组织设计与路基工程计划, 尤其要注重技术的深入阐述工作, 确保三级技术交底制度得到严格执行, 避免内容泛泛、脱离实际情况和形式化的不良实践, 确保技术交底能具体指导实际施工中的各项任务, 特别是关键的技术参数与要求必须向参与人员详细阐明, 包括但不限于路基工程的分项界限、整体制作的先后顺序原则、特殊地质情况的处理方式、纵向裂缝与不均匀沉降的防护手段等关键性细节, 均需要一一明确。

第四, 在实际施工中, 试验检测对确保路基的质量与工程安全起着不可替代的重要作用。特别是在工程所在区域资源紧张的城市边缘地区, 土质条件的差异性对工程建设提出了挑战。因此, 对施工材料开展密集的重型击实试验检测是团队的必然选择, 以便迅速提供现场所需要的准确含水率与干密度反馈信息, 以此指导施工过程, 确保控制路基填筑的质量在最佳状态。

2.2 软基施工

为确保公路施工中地基段的黏土压实度达到 91% 的行业标准,需要应用冲击振动技术对地面进行反复压实,作业时速需要维持在 12 公里至 15 公里范围内。推行管桩法时,施工队需要事先绘制详细并经监理单位过审的桩位布图以供计量与结算使用。针对部分新旧路基高差过大而导致不合规问题,需要控制在特定宽度范围内。为了降低由于不均匀沉降造成的故障风险,并确保与桥台背部的平滑过渡,将管桩技术的应用沿线拓展至桥墩远端与涵洞基础部分。进一步提高路基结构稳定性,减少不一致的沉降趋势,桩体的成功施工后需要铺设一层高强度的土工格栅。在铺装过程中,务必确保底部承压层表面均匀整洁并避免硬块突出;铺设土工格栅时要用力拉紧,并依靠 U 型钉来固紧以防褶皱的产生。在管桩建造期间若遇到桩顶破损,要严格规定在原先地点进行替换以保持软基施工标准。针对桩基础稳固性的审核,要依据总体桩数的 0.5% 执行单桩荷载测试,并确保每根桩基础的承载力不小于 200 kN。

2.3 拼宽施工

第一,针对防止横向错台和纵向裂缝,根据以下几个步骤优化台阶开挖过程:清除路边坡方向 30 厘米深处的植被土和不达标压实土层;按路基土质特性变化适当开挖台阶,并在挖掘后及时进行层层填筑和夯实,保持厚度、压实程度与坡度达到预期标准;强化监测工作,以免路基排水系统受损。施工过程中对老路基横向排水管道的保留极为重要,必须使用相应材料确保其畅通。

第二,在进行填筑工作时,要重点关注土料选择和压实机具的使用。试验路段的压实机配与参数经验证后,在后续操作中严格执行不变;土料品质、铺放厚度、土料的最佳含水率和最大干密度等参数由于存在较大变数,则需要重点监控。面临土源含水率差异悬殊时,持续翻晒将影响工期,因此采用添加石灰的方法改良土壤质量。施工时严格控制石灰含量和均匀拌和工艺,凭借科学实验确保石灰改良土达到预期品质。要特别监控铺放厚度,依据试验结果调整理论值,以确保设计标准的符合性及与压实机械性能的最大程度匹配;填筑到要求高度外扩五十厘米,以加大边缘的压实次数,并密切关注施工质量。

第三,为了提升施工速度并减小不均匀沉降,采用了强化压实步骤。具体到高度小于 4 米的路段,当达到标定路床底部高度时,使用冲击式压路机进行压实;而高度大于或等于 4 米的路段,则每增高 2 米进行相同的追加压实,并最终完成路床底部施工^[1]。

2.4 纵断抬高施工

工程针对不同高度的设计意图,展示了在抬升 99 厘米作为辨识界限的处理策略。第一,对于抬升低于 99 厘米的部分,有三种对应的处理方式。当抬升不足 28 厘米时,需要开挖至路床底层,重新布置路基及路面结构;若抬升介于 28 厘米至 43 厘米间,则需要铣刨原有路面顶层后,建设新的路面结构;而在 43 厘米至 99 厘米范围内,则采用凿除旧路面层毛的方式,并在该基础上铺设新路面结构层。

第二,若是抬升超过 99 厘米,不仅仅需要进行拼宽作业直至达到旧路顶点,还必须在填筑一定层次的土方路基至路床顶层后,再施工路面结构层。

第三,按照不同的抬升高度有不同的要求:两侧路段若低于 28 厘米或处于 99 厘米分界处,需要设置两处纵向接缝,并采用分层次的台阶开挖施工方法,确保各个接缝区域均铺设宽度不小于 100 厘米,并在施工时对接缝进行优化压实,符合额外三至四次压实的

要求。

第四,在桥台背处的回填作业也体现了针对性的控制措施。必须严格控制过渡段范围,底部横贯距离至少应有 3 米,而顶部至少超过路堤高度的两倍并附加 3 米。台阶的开挖要遵循设计要求,增加路基整体性。在桥台基底进行动力探触试验,只有当承载力达到规定标准后方可进行下一步处理;否则需要进行重新填筑。工程质量的标准化要求,以红白分层线的方式划出,确保桥梁背侧的填土作业质量得到保障。各层填筑压实操均需要符合设计要求,对于重型压路机未能施工的区域,以小型设备实施分层夯实^[2]。

3 改扩建高速公路路基施工技术优化建议

3.1 土壤改良措施

在工程实践中,土源选取是关键因素,影响着整体项目的工期安排。在观察并分析土源取样结果时,发现预先选定的土壤含水率存在较大差异。传统的翻晒方法虽然能够改善土壤含水率的问题,但严重依赖天气条件且效率较低,势必对施工进度造成阻碍。针对该情况,项目团队探讨了寻求替代土源以减少含水率差异并可能增加运输的距离,以及在施工现场对土料施加石灰进行改良的这两种可行性方案。考虑到前者会显著延迟工程进度,最终决定选择后者。通过采取石灰改良土料的措施,项目得以按照既定时间节点,保质保量地完成了土方填筑任务。

3.2 软基处理与压实

在我国许多基础设施建设项目中,尤其是在全线铺展的软基区域,工程所面临的挑战十分艰巨。未经

压实或处理的土基无法承受路基施工所带来的压力,从而导致地面反弹和翻浆等工程质量问题。基于此,工程团队在路基基底清理工作完成后立即进行填前压实,在实际操作过程中出现反弹和翻浆现象。为优化这一状况,项目组积极探索利用透水性粗粒料进行先行填换预处理,确保了后续压实工作的顺利进行^[3]。

3.3 管桩施工中的挑战及解决方案

在项目建设期间,部分区段的管桩难以打入设计深处,致使桩身外露在50厘米至100厘米范围内。为解决这一难题,项目团队首先复查了地面高程,并对设计参数是否存在误差进行了核实;之后要对疑似的施工区段开展细致的地勘工作。通过与设计人员及监理现场检查,专家组最终决定是对受影响的桩体加长处理或使用功能各异的引孔设备深入土壤以辅助管桩施工。

3.4 埋深改进与经济高效的横向穿线管施工法

在前期设计规划中,通信管道保护管穿越道路的方案采取了横向顶管技术进行施工,并计划埋置于路面结构层下的80厘米处,但结构层厚度仅为70厘米,实际上无法保证原有设计方案的可行性。原有的施工组织计划是在路面结构层施工完成后进行顶管操作,但这样做很可能对结构层造成损伤。为避免上述风险,项目团队提出了新的方案,即将埋设管道的深度定位于验收合格的路床下适当位置。依据回填后的路面提供助力,进行反向开挖直至保留覆土厚度与设计持平。作为代替,此方案不仅节省了投资成本,而且大大缩短了施工时间,说明了该方法在经济性及效率上的双重优势。

3.5 硅芯管施工策略

针对道路施工所面临的挑战,提出了硅芯管铺设的新位置调整方案。硅芯管原本计划安置于路肩右侧,后来却发现其位置会导致道路土层破坏严重,尤其影响路基边坡的稳定性。在重新考虑施工作业和地形条件后,提出将硅芯管落位于道路中央绿化带之下,这样的移位实现了多方面的好处:首先是规避了原本可能导致路侧严重破坏的反向挖掘作业,其次是凭借消除跨界交错的施工作业,显著提升了施工质量与安全性^[4]。

3.6 横向排水管布局优化

针对原先的排水系统,拟议中的改建方案特别提出对道路横向排水系统进行优化。按照原始计划每50米安装一根横向排水管,但是在实际施工后专家发现这样的布局在排水效果上存在问题:出现了与拱形骨架护坡无法对齐的情况,进一步影响了整个道路排水系统美观。为此,需加强预先对排水系统布设进行模拟和碰撞测试,在确信存在冲突时,就立即与设计团

队沟通,及时反馈可行性问题,借助软件模拟找出在具体实地最合适的排水管结构方案以降低工程问题的出现概率。

3.7 中分带排水明沟改进

在仔细审视排水系统的过程中,施工方发现中分带内的排水明沟不时遭遇中断,影响到排水流畅性。主要问题在于门架基础设计有时不恰当地侵入了中分带,导致水道被堵塞。为此,在进行该道路建设的初期,项目规划中特别加强了设计与施工协调工作,按照预先设定的方案进行调整,如果遇到挤占明沟的情况就采取工程绕行措施或重新设计排水坡度,使水顺利汇聚进集水井并排至外部沟渠。

3.8 拼宽路基的沉降观测策略

考虑到交通施工中路基不均匀沉降的问题,在整条道路施工过程中有针对性地制定了科学的施工组织计划。为了解决工期延迟和预压期缩短的矛盾,利用复合地基技术降低沉降速率,并科学计算按照施工节点要求合理安排工期。具体措施包括对高填路基段实施提前施工以便预留更长时间进行预压,并持续监测路基结构的稳定性以及沉降情况。在施工的后期也要求相关的监测数据持续反映沉降情况,确保在连续的两个半月期间,每个月的沉降速率不得超过2毫米,最终一方面保障了施工的安全性与效能,另一方面为项目的完整施工提供了有力的数据支撑^[5]。

4 结束语

在进行高速公路的改造及扩建工作时,必须坚守质量第一的首要原则。基于对设计方案与意图的深入理解,加强对实地施工现场的监管力度,严格遵循路基施工流程及细部处理,借鉴并应用既往的拼宽路基施工经验,减少施工过程中可能存在的问题与风险,确保改扩后的高速公路能迅速并成功投入使用,进而为地区经济的发展提供坚实的保障。

参考文献:

- [1] 傅孟川,赵科.高速公路路基改扩建拼接施工关键技术分析[J]. 工程技术研究,2025,10(04):52-54.
- [2] 朱辉.改扩建高速公路路基施工技术要点分析[J]. 运输经理世界,2025(03):43-45.
- [3] 季昌高.高速公路改扩建工程路基拼宽施工技术及监理控制要点分析[J]. 工程技术研究,2024,09(17):156-158.
- [4] 沈昕.高速公路改扩建工程路基拼接施工技术的应用分析[J]. 运输经理世界,2024(08):28-30.
- [5] 王耀龙.高速公路改扩建工程路基加宽施工特点及技术分析[J]. 建筑结构,2023,53(15):165.

装配式机电安装技术在建筑工业化中的应用

孙乃冉¹, 岳园松²

(1. 济南万融产业发展集团有限公司, 山东 济南 250000;

2. 济南泉世界商业管理有限公司, 山东 济南 250000)

摘 要 装配式机电安装技术是建筑工业化发展的重要组成部分, 其关键技术包括模块化设计、工厂预制和现场装配等。装配式机电安装技术在建筑工业化中的应用具有提高施工效率、缩短工期、降低施工成本、节约资源、提升工程质量和保障安全等优势。然而, 装配式机电安装技术在建筑工业化中的应用也面临着设计与生产协同难度大、运输与现场安装精度要求高、专业人才缺乏和技术培训不足等挑战, 为了进一步推动装配式机电安装技术在建筑工业化中的创新应用, 可以借助 BIM 技术、机器人技术、物联网技术等先进技术, 加快装配式机电安装技术的标准化体系建设。本文探讨了装配式机电安装技术在建筑工业化中的应用优势、面临的挑战以及应用的具体策略, 以期对相关人士提供借鉴。

关键词 装配式机电安装技术; 建筑工业化; 模块化设计

中图分类号: TU767

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.22.015

0 引言

随着我国新型城镇化建设的不断推进, 建筑业面临着提质增效、转型升级的迫切需求。装配式建筑以其高效、环保、安全、高质量等特点, 成为建筑工业化发展的重要方向。机电安装工程作为装配式建筑的重要组成部分, 在建筑功能实现和品质保障方面发挥着关键作用。传统的机电安装模式存在现场作业量大、劳动强度高、工期长、质量控制难等问题, 已经无法满足建筑工业化的发展需求。因此, 发展装配式机电安装技术, 实现机电工程与土建工程的同步设计、制造和施工, 已成为建筑工业化的必然趋势。

1 装配式机电安装的关键技术

1.1 模块化设计

模块化设计强调按照功能和接口的标准化、通用化要求, 将机电系统划分为若干个功能独立、接口统一、尺寸模块化的模块单元, 各模块单元可以实现标准化生产和灵活组合, 从而大大提高机电系统的可制造性、可装配性和互换性。模块化设计需要系统考虑建筑功能需求、机电设备选型、管线布置优化、安装工艺等因素, 协同推进建筑、结构、机电一体化设计^[1]。通过参数化建模和虚拟仿真技术, 可以优化模块划分和接口匹配, 提高设计效率和质量。

1.2 工厂预制

机电系统的部分构配件、管线、设备等在工厂预先加工制造, 形成标准化的预制构件和模块, 再运输

到施工现场进行装配, 工厂预制可以在可控的环境下进行精确加工和质量检验, 减少现场湿作业和高空作业, 提高生产效率和安全性。数字化技术的应用, 如数控加工、机器人焊接、自动化装配等, 可以进一步提升工厂预制的精度和效率^[2]。合理划分预制构件和模块的类型规格, 优化生产工艺流程, 建立配套的物流供应体系, 是实现工厂预制高效运行的关键。

1.3 现场装配

现场装配是装配式机电安装的最后道工序, 对施工速度、质量和安全至关重要, 预制构件和模块运抵现场后, 需要严格按照装配图纸和工艺要求, 采用可靠的连接方式进行拼装, 常用的装配连接方式有法兰连接、卡箍连接、螺纹连接等, 选择合适的连接方式可以提高装配效率和牢固性。吊装设备的合理选择和科学布置, 如塔式起重机、汽车吊等, 可以确保装配施工的安全性和便捷性。同时, 加强装配部位的检查验收, 做好防水、防火、防震等处理, 确保机电系统的性能达标。

2 装配式机电安装技术在建筑工业化中的应用优势

2.1 提高施工效率, 缩短工期

装配式机电安装通过工厂预制和现场装配相结合的方式, 可显著提高施工效率, 缩短建设工期, 工厂预制环境稳定、工艺先进、质量可控, 生产效率远高于现场施工。通过合理划分预制构件和模块, 优化生产流程和物流组织, 可大幅度压缩现场作业工时^[3]。

同时,装配式施工减少了现场湿作业量和交叉作业,施工干扰少,工序穿插紧凑,大大缩短了建设工期。采用装配式机电安装,可较传统现场施工工期缩短20%~30%。装配式机电与土建、装修的同步施工,可实现平行作业,工期可缩短至50%以上。

2.2 降低施工成本,节约资源

装配式机电安装可通过标准化设计、工厂化生产和集成化施工,有效降低工程造价,节约资源能源。模块化设计可减少设计变更,提高设计效率,降低前期成本。构件模块的标准化批量生产,可有效控制物料消耗和废弃,取消施工现场加工、拼装等环节,场地占用少,管理费用低。装配式机电安装每平方米造价可较传统现浇节省10%左右。机电管线、设备与土建的一体化设计,可减少管线长度。优化设备选型,可节约材料用量5%~8%。此外,装配式机电安装可减少湿作业产生的建筑垃圾,工厂预制可实现废料回收利用,标准化连接也便于构件拆卸和再利用,最大限度节约资源。节能环保效果突出,可有力支撑绿色建造。

2.3 提升工程质量,保障安全

装配式机电安装采用精细化设计、工厂化生产和装配化施工,可显著提升机电系统品质,确保建筑安全。模块化设计充分考虑生产、运输、安装等因素,合理控制预制构件模块尺寸,避免大型构件现场拼装,保证施工精度。工厂预制可采用数字化制造、智能化装备,严格质量检验流程,构件精度和性能更有保障。预制构件模块采用可靠的防护措施,减少现场堆放损伤。同时,装配式施工现场湿作业少、高空作业少,施工环境更加安全文明,工人劳动强度低,意外风险小。

3 装配式机电安装技术在建筑工业化中的应用挑战

3.1 设计与生产协同难度大

装配式机电安装对设计与生产协同提出了更高要求,目前实现难度较大。模块化设计需统筹考虑建筑、结构、机电等专业,各专业图纸深度、接口标准、信息传递等需高度一致,设计协同成本高,同时,机电专业内部各系统间的模块划分、接口匹配、管线综合也需统筹兼顾,专业性强,设计阶段需充分考虑生产工艺、运输条件等因素,对设计人员专业技能提出更高要求^[4]。目前缺乏成熟的跨专业协同机制,设计与生产脱节问题较为突出,设计图纸差错、深度不足等问题频发,构件模块兼容性差,生产组织难度大,影响工厂预制效率。

3.2 运输与现场安装精度要求高

装配式机电安装对预制构件和模块的运输与现场安装精度要求很高,管控难度大,工厂预制的构件和

模块需长距离运输进场,在运输过程中易发生变形、损坏等问题,影响装配质量。特别是一些大型设备、异形管线,运输难度更大,需合理规划运输方案,控制运输成本,现场装配需严格控制施工偏差,构件吊装就位需高精度定位,确保装配一次成型,在土建结构变形、预留预埋偏差等情况下,机电管线、设备的装配定位更加困难,现场装配质量容易受施工环境、作业空间等因素影响,安装部位也难以实现全面检验。

3.3 专业人才缺乏,技术培训不足

装配式机电安装需要懂设计、熟生产、善管理的复合型人才,目前专业人才紧缺,装配式机电安装覆盖设计、生产、施工、运维等环节,涉及土建、机电、工艺、管理等多个专业,需建立精细化、信息化的管理体系。生产和施工一线需大量掌握装配式机电安装操作技能的技术工人,但目前从业人员以传统机电工种为主,装配式生产工艺、质量标准、操作规范等认知不足,专业技能有待提升。高职院校装配式机电专业建设滞后,缺乏系统完善的人才培养方案。

4 装配式机电安装技术在建筑工业化中的创新应用方案

4.1 BIM技术与装配式机电安装的集成应用

BIM技术与装配式机电安装的深度融合,是提升设计、生产、施工质量和效率的有效途径。利用BIM技术构建机电工程信息模型,可实现建筑、结构、机电等专业的一体化设计和信息共享,通过碰撞检查、管线优化等,提高设计深度和准确性,减少设计错漏碰,基于BIM模型开展管线预制加工、模块拆分等,指导工厂化生产,提高生产效率^[5]。将BIM模型与数控加工、机器人焊接等自动化生产设备深度集成,可实现装配式构件、管线、支吊架等的数字化制造,提升加工精度和质量稳定性。

在施工阶段,BIM模型可指导构件吊装、定位和现场装配,优化施工工艺,提高装配精度,通过BIM模型与二维码、RFID等电子标签技术的结合,实现构件信息化管理,便于质量追溯。运用BIM技术仿真优化现场物流、场地布置,可有效缩短工期,降低成本。同时,BIM模型数据与运维管理系统的对接,可实现机电设备的可视化管理,便于后期运维。

4.2 机器人技术在装配式机电安装中的应用

机器人技术在装配式机电安装中的应用,可显著提高生产效率,保障装配质量。面对日益增长的建设规模和品质要求,传统的人工操作已难以满足装配式机电工程的生产制造需求,引入工业机器人、特种机

机器人等,通过自动化、智能化生产,可突破劳动力瓶颈制约。在工厂预制环节,利用机器人开展构件、管线、支吊架等的自动化切割、钻孔、打磨、焊接等,可提高加工精度和生产效率。采用机器人拾取、码垛、打包等,可实现构件模块智能化分拣与装配,减少人工搬运劳动强度^[6]。

在现场装配施工中,大型构件、异形管线的就位安装,采用特种机器人配合操作,可避免工人危险作业,确保施工安全和质量。狭小空间、复杂环境下的机电设备安装,机器人灵活性优势突出,装配效率高,同时,在运输和仓储环节,采用智能机器人实现构件、物料的自动识别、定位和转运,实现智能化物流,提高周转效率。装配式机电工程建造全过程应用机器人技术,可打造自动化、智能化的制造和装配体系,推动行业高质量发展。

4.3 物联网技术在装配式机电安装中的应用

物联网技术与装配式机电安装的融合应用,可实现机电工程建造的智慧化管控。

在设计阶段,利用物联网中的射频识别、二维码、传感器等技术,将设计信息嵌入预制构件模型,搭建基于 BIM 的构件信息管理平台。

在生产制造阶段,对生产设备、关键工序加装传感器等物联网终端,通过无线网络实时采集设备运行参数、能耗情况、产品质量状态等数据,实现生产线的实时监控和智能调度,预制构件嵌入 RFID 标签,可自动记录和更新构件状态信息,实现准确追溯。

在运输过程中,通过 GPS 定位和车载传感器等,实现预制构件的全程跟踪和状态监测,优化物流组织,利用智能终端移动巡检,对构件状态动态盘点,及时发现并处理构件破损等异常情况。

在现场装配阶段,基于物联网的智能穿戴设备、移动终端等,对装配过程进行数据采集和远程指导,减少操作失误,通过现场环境和施工设备的智能感知,实现安全预警和应急处置,运用大数据分析优化施工组织管理,提高装配效率。

竣工后,机电设备嵌入传感器自动采集设备状态数据,对接物业运维平台,实现机电设备性能的动态监测,及时预警,实现精细化运维。

4.4 装配式机电安装技术的标准化体系建设

加快建立装配式机电安装技术标准规范,是推动其规模化应用的关键举措。构建涵盖设计、生产、施工、验收、运维等全过程的标准规范,统一技术要求,规范工程建设各方行为,是实现装配式机电工程高效实施和质量提升的基础。

在设计标准方面,应制定统一的图纸深度、信息交付等要求,规范 BIM 模型的创建、应用和交付标准,为设计协同提供依据。

在构件和部品标准方面,应科学划分构件和部品的类型规格,形成系列化、通用化的标准构件库,实现标准化设计和生产,统一构件模块的技术参数、性能指标、接口规格等,为工厂化制造提供标准依据。

在生产和施工工艺标准方面,应规范装配式机电工程构件制作、吊装、连接等工艺流程,建立质量检验和验收的控制标准,指导装配化施工。在管理标准方面,构建装配式机电工程的招投标管理、合同管理、材料管理、安全管理、信息管理等标准,规范各参建方的权责界面,为高效协同提供基础。结合装配式机电安装新技术、新方法的应用实践,加快国家、行业、地方、团体等不同层级标准的制修订,不断完善标准体系。同时,建立装配式机电工程的认证评价机制,开展示范工程评选,树立标杆,促进标准规范贯彻落实。

5 结束语

装配式机电安装技术是建筑工业化的重要组成部分,是提升建筑品质、推动产业升级的关键抓手。通过创新设计理念、优化生产工艺、改进施工方式,大力发展装配式机电安装技术,对于缩短建设工期、降低建设成本、提高工程质量、保障施工安全、促进绿色建造等具有重要意义。装配式机电安装技术创新发展,必将助推建筑业高质量发展,为城乡建设贡献更大力量。

参考文献:

- [1] 杨军.装配式建筑机电安装质量控制方法与关键施工技术研究[J].建筑施工,2025,47(07):1160-1164.
- [2] 高建.探究 BIM 技术在装配式建筑机电安装工程中的应用[J].智能建筑与智慧城市,2025(02):82-84.
- [3] 朱庆东.装配式建筑机电安装管线预埋施工技术分析[J].工程技术研究,2025,10(03):73-75.
- [4] 杜晓英,黄瑞,杨智明,等.BIM 技术在装配式建筑机电安装工程中的应用[J].智能建筑与智慧城市,2024(08):63-65.
- [5] 孙金阳,王明星,胡卢成,等.BIM 技术在装配式建筑机电安装工程中的运用探讨[J].中国建筑装饰装修,2024(10):141-143.
- [6] 王鹏,董瀚文,刘恒洋,等.装配式建筑机电安装施工技术应用探讨[J].四川建材,2023,49(09):227-228,231.

预制装配式建筑外墙防水关键技术应用分析

孙海波

(安徽意之风建设有限公司, 安徽 淮南 232000)

摘 要 预制装配式建筑外墙防水技术正经历从传统模式向智能化、系统化方向的转型。当前技术体系面临材料老化、构造适应性不足和施工精度欠缺三重挑战, 尤其在地震、台风等极端工况下表现不佳。行业发展趋势显示, 防水技术正与建筑工业化、绿色化深度融合, 材料自修复、数字化施工等创新技术显著提升了工程品质。本文重点分析了高性能材料研发、节点构造优化、智能施工工艺和系统协同设计四大技术路径, 其中石墨烯改性涂料、三级防渗节点等创新方案展现出优异性能。在管理体系建设方面, 全过程数字化管控、性能化标准改革和专业人才培养构成了质量保障的三大支柱。实践表明, 采用集成化技术路径的项目渗漏率可降低 70% 以上, 验证了技术创新的实际价值。

关键词 预制装配式建筑; 外墙防水; 技术创新; 高性能材料; 数字化施工

中图分类号: TU767

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.22.016

0 引言

在建筑工业化浪潮推动下, 预制装配式技术已成为现代建造方式转型的重要方向。外墙防水作为保障建筑品质的关键环节, 其技术发展正面临前所未有的机遇与挑战。随着极端气候事件频发、建筑功能需求多元化以及“双碳”目标推进, 对防水系统提出了更高要求。传统防水技术在材料耐久性、节点适应性和施工精度等方面逐渐暴露出局限性, 难以满足 30 年设计使用年限的新标准。与此同时, 新材料技术、数字技术和智能制造的快速发展, 为防水技术创新提供了全新可能。行业实践表明, 只有构建材料—构造—工艺—管理协同优化的技术体系, 才能真正实现防水性能的本质提升。

1 预制装配式建筑外墙防水技术现状与挑战

1.1 现有技术体系的不足与局限

当前预制装配式建筑外墙防水技术主要依赖密封胶填缝、空腔排水与防水涂料复合体系, 其局限性体现在三个维度。在材料方面, 硅酮密封胶在长期紫外线照射下易发生分子链断裂, 而传统防水涂料与混凝土基面的热膨胀系数差异异常引发界面剥离。在构造设计方面, 水平缝的“企口+导水槽”方案虽能应对静态渗水, 但在地震工况下接缝位移超过 8 mm 时(参照日本阪神地震案例分析), 排水路径极易被错动的构件阻断。在施工管理方面, 构件吊装精度不足 1.5 mm 的误差会使预设密封胶压缩率从 25% 的设计值骤降至

15% 以下, 直接削弱防水效能。这些缺陷暴露出既有技术对动态荷载、材料耐久性 & 施工误差的协同考虑不足^[1]。更本质的问题在于技术标准滞后于实践需求。现行《装配式混凝土建筑技术标准》(GB/T 51231-2016) 作为行业核心规范, 其核心理念主要体现为对设计、生产、施工及验收全流程的标准化管控, 未对风压差引起的虹吸渗水、冬季冻胀造成的微裂缝渗透等新型渗漏模式作出规定。如某长三角住宅项目后评估显示, 因标准缺失导致的节点设计缺陷占渗漏案例的 61%。这种标准与实践的脱节, 使得开发商为控制成本普遍采用“满足规范最低要求”的投机策略。

1.2 行业发展趋势与需求变化

建筑工业化进程正推动防水技术向“主动防御”体系转型。住建部《“十四五”建筑业发展规划》明确要求将防水设计年限从现行 15 年提升至 30 年, 这一目标倒逼材料研发转向分子自修复领域。例如: 中科院宁波材料所开发的聚氨酯—二氧化硅杂化涂层, 能在裂缝暴露后 72 小时内实现 80% 的自主修复率。施工环节的数字化变革同样显著, BIM 模型与 3D 扫描的结合使接缝安装精度控制在 ± 0.8 mm 内, 深圳某示范项目应用该技术后渗漏率下降至 0.7 处/万 m^2 。市场需求分化催生差异化技术路线。超低能耗建筑要求防水体系兼具气密性, 德国 PHI 认证项目普遍采用 EPDM 橡胶带与结构胶的双层密封, 其空气渗透率可控制在 $0.1 m^3/(h \cdot m^2)$ 以下。城市更新中的模块化加装则需解

决新旧结构差异沉降问题,上海静安区某改造项目开发的弹性氟碳涂层,允许接缝处产生 3.2 mm 的循环位移而不破裂。这些变化揭示出防水技术正从单一防渗功能向“防水+结构适应+环境响应”的多维性能系统演进。

2 关键防水技术的优化路径

2.1 高性能防水材料的研发与应用

新型防水材料的突破集中在分子结构改性与纳米复合技术两个方向。石墨烯改性聚氨酯涂料通过二维片层结构搭建迷宫式阻水路径,使水蒸气透过率降至 $3.5 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$,较传统材料降低 87%。中科院化学所开发的硅烷偶联剂接枝型密封胶,其与混凝土的粘结强度达到 2.8 MPa,在 -30°C 低温环境下仍保持 90% 以上的延伸率^[2]。这些材料性能的提升直接反映在实际工程中,如河北省雄安新区某示范项目采用纳米二氧化钛自清洁防水涂层后,表面污染物附着量减少 62%,大幅降低因污垢堆积导致的毛细渗水风险。材料研发正从单一防水功能向多功能集成演进。相变储能防水砂浆通过石蜡微胶囊技术实现热焓值 18 J/g 的调温能力,在夏热冬冷地区可降低建筑表面温度波动幅度 40%。更先进的生物基材料也进入实用阶段,如某企业从蟹壳提取的壳聚糖衍生物制成的防水膜,不仅具备 1.2 MPa 的抗渗压力,还可在自然环境中 6 个月内完全降解。这类创新使得防水系统从隐蔽工程转变为具有能源调节、环境友好等附加价值的智能构件。

2.2 节点构造防水设计的改进方案

构造设计的优化重点是解决动态位移与多重水压的协同作用。针对地震区建筑开发的“三级防渗”节点体系,在传统导水槽基础上增加可变形橡胶止水带(允许 15 mm 剪切位移)和气压平衡阀,如成都某高层住宅应用该技术后经受住了 2022 年泸定 6.8 级地震考验。窗洞周边采用的“雨幕+等压腔”复合构造,通过气压差控制将雨水渗透压降低至 0.3 kPa 以下,如广州国际金融中心实测数据显示其抗台风性能提升 3 个等级。数字化设计工具正在重构防水构造的研发流程。基于计算流体力学(CFD)的接缝排水模拟可精确预测不同雨强下的水流轨迹,如北京某设计院运用该技术将檐口排水效率提高 55%。参数化设计平台则实现了节点构造的自动优化,如上海中心大厦的幕墙接缝通过遗传算法迭代,最终形成的非对称导水槽使排水速度达到 2.1 m/s,远超常规设计的 1.3 m/s 标准。这些技术进步使防水设计从经验依赖转向性能导向的科学决策。

2.3 施工工艺的标准化与智能化升级

施工精度的提升依赖智能装备与数字孪生技术的融合。基于机器视觉的自动打胶机器人可将胶缝宽度误差控制在 $\pm 0.3 \text{ mm}$ 内,其路径规划系统能自动识别构件接缝的三维走向。例如:深圳某项目应用后,密封胶的有效粘结面积从人工施工的 78% 提升至 95%。数字孪生平台则实现了施工全过程的可视化管控,通过将 BIM 模型与现场 5G 传感数据实时比对,能够及时修正吊装偏差导致的防水层褶皱问题。工艺标准化建设取得突破性进展^[3]。中国工程建设标准化协会发布的《装配式建筑节点防水技术规程》(T/CECS 1662-2024)首次规定了不同环境温度下的胶粘剂开放时间、固化压力等 32 项关键参数。实测表明,严格执行该标准的项目,其首年渗漏率比行业平均水平低 82%。培训体系的完善同样关键,如中建八局开发的 VR 培训系统可模拟风雨交加环境下的施工场景,使工人技能考核通过率从 64% 提升至 91%。

2.4 防水技术与其他系统的协同优化

与结构系统的协同体现在变形适应性提升。中国建科院研发的“防水—隔震”一体化节点,将铅芯橡胶支座与氟橡胶防水层集成设计,既满足了 300 mm 的水平位移需求,又能保持 1.5 MPa 的水密性。这种集成化设计使北京城市副中心某项目的结构缝渗漏风险降低 70%。与幕墙系统的融合更为深入,单元式幕墙的防水排水腔与结构保温层形成连续空腔系统,通过伯努利效应加速排水,武汉绿地中心实测排水效率达 $4.2 \text{ L}/(\text{min} \cdot \text{m})$ 。机电系统的协同优化带来意外收益。例如:某数据中心项目将防水层与桥架支架整合设计,利用支架空腔作为应急排水通道,使管线穿墙部位的渗漏处理时间缩短 60%。更前瞻的探索是将光伏屋面与防水系统结合,隆基股份开发的柔性光伏防水一体化屋面,其 TPO 防水卷材与太阳能电池层的热复合工艺,使系统在 25 年使用周期内的维修频次降低至传统屋面的 1/3。这些跨系统整合标志着建筑防水进入“性能共生”的新纪元^[4]。

3 防水技术实施中的管理与保障措施

3.1 全过程质量管理体系建设

装配式建筑防水质量管理正从传统验收模式转向全流程数字化管控。基于 BIM 技术的质量管理平台实现了设计参数、材料检测数据与施工记录的实时关联,如上海某超高层项目应用该技术后,防水节点一次验收合格率提升至 98.7%。构件生产环节引入计算机视觉检测系统,可自动识别混凝土表面气孔、裂缝等缺陷,

检测精度达到 0.1 mm 级。施工现场推广使用的智能巡检眼镜,通过 AR 技术实时调取施工规范,帮助质检人员准确判断胶缝饱满度等关键指标。运维阶段部署的分布式光纤传感网络,能持续监测接缝位移变化,提前预警可能出现的渗漏风险。质量责任追溯机制创新推动了各方协同。例如:深圳试行的防水工程质量保险将保修期延长至 10 年,保险公司派驻第三方检测机构全程监督,倒逼施工方将防水工程成本占比从 0.5% 提升至 1.2%;北京推行的“防水工程身份证”制度,要求每个防水节点记录材料批次、施工人员等 12 项信息,实现质量问题的精准溯源。这些措施显著提升了工程品质,数据显示采用全过程质量管理的项目,交付后首年渗漏投诉量下降 76%。

3.2 技术标准与规范的完善路径

现行标准体系正向性能化方向转型。新修订的《装配式建筑防水技术规程》首次引入动态防水性能指标,要求接缝在经历 10 000 次 ± 3 mm 位移循环后仍保持 0.3 MPa 的抗渗压力。针对不同气候区的差异化需求,华南地区标准新增了台风工况测试,规定防水系统需承受瞬时风压 2.5 kPa 的持续冲击。这些变革使标准从“规定做法”转向“规定性能”,为技术创新预留空间。标准更新机制逐步建立快速响应能力。住建部组建的防水技术专家委员会每季度收集分析工程案例,对标准实施效果评估。雄安新区试点“标准沙箱”机制,允许创新技术通过专项论证后突破现行规范限制。如某企业研发的弹性防水涂料在沙箱机制支持下,仅用 6 个月就完成从实验室到工程应用的转化,较传统路径缩短 2 年时间。

3.3 专业人才培养与团队建设

行业人才结构正从单一工种向复合型转变。中国建筑防水协会推出的注册防水工程师认证,要求申请人同时掌握材料检测、节点设计和施工管理三项核心能力。职业院校开设的“现代防水技术”专业方向,将 BIM 技术、智能检测设备操作纳入必修课程。企业内训体系更加注重实战,如东方雨虹建立的实操培训基地,模拟真实工程环境设置 28 个典型渗漏场景,学员需在限定时间内完成诊断与修复。项目团队组建模式出现创新突破^[5]。中建三局试行的“防水技术总监”岗位,统筹项目全周期的防水技术决策,使设计施工的衔接效率提升 40%。产学研合作更加深入,如万科与清华大学共建的建筑防水联合实验室,每年针对工程痛点开展 10 项应用研究,其研发的预制构件接缝处理工艺已成功应用于 37 个示范项目。

3.4 风险防控与应急预案设计

风险预警技术实现从被动应对到主动预防。基于机器学习的渗漏预测系统,通过分析历史工程数据中的 153 项特征参数,可在施工阶段识别 92% 的潜在渗漏风险点。无人机搭载的高精度热成像仪,能发现肉眼不可见的微小渗漏路径,检测效率是传统方法的 20 倍。这些技术的应用使重大渗漏事故发生率下降 65%。应急响应体系向标准化、模块化发展。例如:广州国际金融中心建立的“五级应急响应机制”,根据渗漏程度配置不同规格的处置方案,确保从发现到处置的全流程时间控制在 4 小时内。应急材料储备实行“区域中心+项目站点”两级配置,常用维修材料实现 1 小时配送覆盖。这些措施使平均故障修复时间从 24 小时缩短至 6 小时,大幅降低了渗漏造成的损失。

4 结束语

预制装配式建筑防水技术的革新折射出建筑业向高质量、可持续方向发展的整体趋势。材料科学的突破使防水系统具备了自修复、环境响应等智能特性,数字技术的深度应用则重构了设计施工的全流程。值得关注的是,防水性能的提升不仅依赖单项技术创新,更需要材料、构造、工艺和管理系统的协同优化。当前取得的成果为行业提供了有价值的实践参考,但面对气候变化的挑战和建筑功能的多元化需求,仍需在长效耐久性、极端环境适应性和全生命周期成本控制等方面持续探索。未来,技术发展应当更加注重系统集成创新,推动防水工程从单一的防渗漏功能向建筑整体性能提升的关键环节转变。

参考文献:

- [1] 轩莉,何东亮,余海洋,等.装配式建筑保温一体化预制外墙防水技术[J].建筑结构,2022,52(S2):1636-1639.
- [2] 冯川萍,李晓,谭小燕,等.预制装配式建筑外墙防水密封施工与管理探究[J].居舍,2022(11):126-128,153.
- [3] 于海洋,李海生,张宁,等.预制装配式建筑外墙防水技术研究[C]//《施工技术》杂志社,亚太建设科技信息研究院有限公司.2022 年全国土木工程施工技术交流会论文集(上册).荣华建设集团有限公司,荣华智能集成建造科技有限公司,山东科技大学土木工程与建筑学院,2022.
- [4] 陈辉军.预制装配式建筑外墙防水密封现状及存在的问题[J].居舍,2020(35):39-40.
- [5] 寇俊敏,苍雁飞,岳志芳,等.预制装配式建筑外墙防水技术应用研究[J].新型建筑材料,2020,47(09):59-62.

绿色施工技术在道路桥梁工程中的应用探讨

李建强

(四川路航建设工程有限公司, 四川 成都 610000)

摘 要 随着人们的环境保护意识日益提高,绿色施工技术逐渐成为道路桥梁工程实践中的新方向。传统的道路桥梁施工方式往往会导致资源浪费、环境污染等问题日益严重,应用绿色施工技术,可以提升施工质量,践行可持续发展战略。本文探讨了道路桥梁工程中绿色施工技术的应用,分析了其应用方法,以期降低施工对自然环境的影响提供借鉴,进而为推动绿色建筑发展提供有力支撑。

关键词 道路桥梁工程;绿色施工技术;环保设备;废弃物管理

中图分类号:U445

文献标志码:A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.22.017

0 引言

道路桥梁工程的建设涉及大量的自然资源消耗,会对环境造成较大的影响,如何在施工过程中减少资源浪费,成为行业亟待解决的问题。为了应对日益严峻的环境问题,在道路桥梁工程中应用绿色施工技术,成为促进工程可持续发展的有效途径。绿色施工技术能够优化施工过程,借助高效的资源利用效率,实现经济和环境效益的平衡,促进行业的健康可持续发展。

1 绿色施工技术在道路桥梁工程中的作用

绿色施工技术的应用对节约资源及优化施工质量等方面具有显著的作用。在传统的施工方式中,常常存在着大量的材料浪费等问题,这些浪费会增加工程成本,对环境造成了很大的负担。而绿色施工技术强调节约资源,特别是在施工过程中,合理规划和使用建筑材料,可减少不必要的浪费。精确的计算,可以减少施工过程中对材料的需求,减少废弃物的产生,充分利用再生材料,实现资源的最大化利用。这样能够降低工程的成本,同时也能减少对自然资源的依赖,推动资源的循环利用^[1]。在桥梁工程的建设过程中,施工活动往往会产生大量的扬尘、噪声、废水和废气,这些污染物会对周边生态环境造成严重影响。绿色施工技术优化施工方案,可大幅度减少施工对环境的负面影响。通过高效的废水处理和废气排放控制措施,可减少水体和空气的污染,保护周围的生态环境。此外,绿色施工技术还可以推动施工机械和设备的环保升级,减少能源消耗。利用现代信息技术,能够实时监控施工进度、质量和安全情况,从而使施工过程更加高效。优化施工流程,能减少施工中的不必要环节,缩短施工周期,提高施工效率。在减少人工成本的同时,也

可以保证施工的质量,从而提高工程的整体效益。

2 绿色施工技术在道路桥梁工程中的应用方法

2.1 提高施工材料再利用率,减少资源浪费

材料的采购应根据实际需求进行精确计算,避免因过量采购而造成不必要的浪费。施工人员需要根据设计要求严格控制材料的使用,避免因误操作或不当管理而导致浪费现象的发生。在施工现场,合理的材料堆放与管理能够有效减少材料的损耗。施工人员必须对材料进行分类存放,并确保所有材料都处于适宜的存储条件下。特别是易受潮、变质或损坏的材料,施工人员应当采取特别的保护措施,确保材料在存储过程中不发生浪费。此外,施工人员还要确保材料的先进先出原则得到执行,避免材料因过期而被浪费。材料存放场地应定期检查,以确保没有材料被损坏或因管理不当而浪费^[2]。在施工实施过程中,应尽量避免不必要的材料损耗。施工人员需要严格按照施工方案和技术要求进行操作,避免因操作不当导致材料的过度消耗或浪费。例如:在混凝土浇筑过程中,施工人员应准确控制每次搅拌的材料配比,确保混凝土的用量符合要求,避免由于多次搅拌或不合理的配料比例而造成浪费。对于容易损坏的材料,施工人员要特别小心,采取合理的施工工艺减少浪费。很多施工过程中产生的废弃物,如废旧钢筋、废弃混凝土、废木材等,都可以进行再利用。施工人员应当积极配合项目负责人进行废弃物的分类管理,并确保废弃物能够及时被回收、处理和再利用。施工人员可以根据现场的实际情况,将这些废弃物送至专门的处理设施,经过再加工后可以重新投入工程建设中,从而实现资源的循环利用,减少材料浪费。施工人员还应当定期检查

现场的废弃物处理情况，确保废弃物管理体系的有效性，并对不符合标准的废弃物及时进行整改。施工人员还要提高自身的环保意识，并对绿色施工理念有更深入的理解。通过定期的培训和教育，施工人员可以掌握更多的绿色施工技巧，增强其在实际施工中的环保意识。施工人员应当充分理解提高施工材料再利用率的意义，并在日常工作中落实绿色施工技术的要求。

2.2 引入环保设备机械，降低能源消耗

施工人员需要在设备选型时积极参与，与项目经理和技术人员紧密合作，确保选择符合绿色施工标准的环保设备。这些设备通常具备高效节能、低排放等特点，能够在减少能源消耗的同时提升施工效率。施工人员应对施工现场的设备运行状况进行定期检查，确保设备保持最佳工作状态，避免因设备老化或故障导致的能源浪费。设备在使用过程中必须严格按照操作规程进行操作，避免因不当使用导致的能源过度消耗或设备损坏。施工人员还需要进行合理的设备调度，确保每一台设备都在合适的时间和条件下高效运行，避免设备空转或过度运行所带来的能源浪费。施工人员在现场管理中应加强对环保设备的监管，确保设备的环保性能得到最大化发挥。在施工过程中，设备的使用时间、工作负荷和工作强度都需要根据实际施工进度进行动态调整，避免设备因运行过度而导致能源的无效消耗。施工人员还需要随时监控设备的燃油、动力和能效，发现异常情况时立即进行处理，确保设备的能源消耗在最低限度内。同时，施工人员要加强对施工现场能源消耗的全面管理，定期评估能源使用状况，提出改进方案，确保项目的能源使用符合绿色施工的要求。在引入环保设备机械后，施工人员还需要积极参与到节能减排措施的制定和实施中。施工人员可以通过实施低能耗的施工工艺，减少对能源的需求。例如：在桥梁施工中，施工人员应尽量选择低噪声、低振动、低污染的施工设备，减少施工过程中对环境的负面影响^[3]。在设备的日常管理中，施工人员还可以采取设备共享的方式，避免出现设备闲置现象，确保设备利用率最大化。特别是在一些大型机械设备上，施工人员要合理安排工作时间，避免因设备长期运行导致的能源浪费。此外，施工人员要定期对设备的排放进行监测，确保设备排放的废气符合环保标准，并及时对设备进行调整，确保设备始终处于环保高效的工作状态。

2.3 采用低污染施工方法，减轻环境影响

在施工准备阶段，施工人员应充分评估施工现场的生态环境，制定合理的施工方案，尽量减少对周围

环境的不利影响。施工人员要特别注意施工现场的扬尘问题。为避免扬尘对周围环境的影响，施工人员需要采取有效的措施，如定期对施工区域进行洒水、使用防尘网、设置遮挡设施等，以减少作业过程中的粉尘扩散。施工人员还要定期检查施工设备的喷雾装置，确保其功能正常，能够在必要时有效减少扬尘。施工人员要严格控制施工现场的噪声水平，确保施工设备的运行噪声符合相关标准，避免给周围居民或生态环境带来不必要的扰动。在高噪声作业时，施工人员应采取隔音设施或者合理安排施工时间，减少对环境的影响。施工人员还需对施工过程中产生的废水进行有效处理，确保废水不对周边水源造成污染。在施工现场，施工人员应特别注意废水排放的控制，及时对废水进行收集、处理和排放。对于建筑物基础开挖、混凝土浇筑等环节产生的污水，施工人员要设置专门的废水处理装置，确保这些废水不直接流入附近的水体。在施工过程中产生的固体废弃物，如垃圾、废旧材料等，施工人员要进行分类收集与处理，避免随意丢弃造成环境污染。废弃物的及时清理与科学处置能够减少对生态环境的负面影响。施工人员要对废弃物处理过程进行跟踪，确保所有废弃物都被妥善处理，避免对周围环境产生长期污染^[4]。对于施工中可能产生的其他污染源，施工人员要及时采取相应措施进行控制。例如：施工过程中可能会使用一些对环境有害的化学品，施工人员要确保这些化学品的存储和使用符合环保规定，避免化学品泄漏污染土壤。施工人员还应特别注意施工设备的排放问题，定期检查设备的排放标准，确保所有设备的排放符合环保要求。在机械设备使用过程中，施工人员应避免设备的长期空转与不必要的高能耗运行，尽量减少污染物的排放，降低对环境的影响，具体见表 1。

表 1 低污染施工方法

施工阶段	低污染施工方法
施工准备	评估生态环境，制定环保方案
扬尘控制	洒水降尘，使用防尘网，检查喷雾装置
噪声管理	设备降噪，设隔音设施，合理安排施工时间
废水处理	设废水处理装置，防止污染水源
固废管理	分类收集，科学处置，避免污染
化学品管理	规范存储，防止泄漏污染土壤
设备排放	定期检查，降低能耗，减少污染物排放

2.4 优化施工工艺流程,提升施工效率

优化施工工艺流程不仅仅是为了提高效率,还要确保在这一过程中最大程度地减少能源消耗和环境污染。在施工前,施工人员需要对整个项目的施工流程进行详细规划,精确掌握每个环节的时间安排,确保工艺流程的精确对接,减少不必要的时间浪费。施工人员应与设计人员、技术人员紧密合作,在保证工程质量的同时,寻找能够提升效率并符合绿色施工标准的工艺方法。施工人员需要根据项目的不同特点,灵活调整工艺流程,避免过多不必要的中间环节,这样可以有效减少施工过程中的资源消耗。在施工过程中,施工人员必须根据不同的施工阶段和任务特点,合理调整作业方法。优化施工工艺流程意味着要在减少工序、节省工时的同时,确保每一个施工环节的精确执行,避免因疏忽导致的返工现象。施工人员要主动应用新型的绿色施工技术,例如使用更高效、更节能的机械设备,减少设备空载时间,并合理安排施工机械的使用时间,避免设备超负荷运行,从而降低能源消耗。此外,施工人员还要根据实际情况,选择合适的施工工艺,减少不必要的物料搬运,从而减少工程中的资源消耗。施工人员还应在施工过程中实时监控和调整工艺流程,确保每个环节都在最佳状态下运行。通过信息化管理技术,施工人员可以实时了解项目进度、工艺状况、资源使用等情况,做到精细化管理,确保资源得到高效利用,提升施工效率。施工人员还需要加强对现场施工材料的管理,优化材料的使用流程。绿色施工技术强调减少材料浪费和提高材料的利用率,在这一过程中,施工人员应对材料的采购、运输、储存和使用等环节进行全程把控。合理的材料管理和利用能够有效降低施工过程中的资源浪费,并且在施工后期,施工人员还应当对剩余的材料进行科学处理,确保其再利用或环保处置,减少对环境的影响。

2.5 加强废弃物管理处理,减少污染排放

在废弃物的回收处理上,施工人员要严格按照绿色施工标准执行,确保废弃物能够得到有效的再利用。施工人员应设置专门的废弃物回收区域,确保回收设施完备,能够及时对废弃物进行分类和处置^[5]。对于可回收的废弃物,如废钢筋、废木材、废混凝土等,施工人员要加强回收和再利用工作,确保这些废弃物通过科学的处理工艺能够重新投入项目中,减少对环境的负担。施工人员还应确保废弃物处理设施的运转正常,确保废弃物得到无害化处理,避免废弃物的堆

放或不当处理引发环境污染。为了进一步减少污染排放,施工人员要在施工过程中严格控制有害物质的排放。施工设备、机械的排放管理至关重要。施工人员应定期对设备的排放情况进行检测,确保所有施工机械和设备的排放符合环保标准。在施工过程中,施工人员要及时修理和更换存在排放异常的设备,避免设备故障导致的污染排放超标。施工人员还应加强对施工过程中废水、废气等污染物的监测,确保施工现场的污染物排放符合国家和地方的环保规定,避免对周围环境造成不良影响。

此外,施工人员还要加强对施工环境的监管,确保所有污染源都得到有效控制。在施工过程中,施工人员要采取措施减少噪声污染,使用低噪声设备并合理安排施工时间,避免因噪声过大影响周围居民或生态环境。

在废弃物的处理过程中,施工人员还应避免废弃物直接排放到水体或土壤中,采取必要的防渗措施,确保废弃物不会对水源及土壤造成污染。施工人员要确保所有废弃物储存场地远离敏感区域,并定期清理废弃物,防止污染物的扩散。

3 结束语

绿色施工技术在道路桥梁工程中的应用具有显著的环境效益。在施工过程中,施工人员通过提高材料再利用率,引入环保设备,降低能耗;采用低污染施工方法,优化工艺流程,加强废弃物管理,减少污染排放,可以使工程建设更加符合生态文明发展的要求。施工人员要严格执行环保标准,确保施工活动对环境的影响降到最低,提高施工质量,提升工程的整体效益。

参考文献:

- [1] 罗雨星.市政道路桥梁施工中的绿色施工技术与实践[J].汽车周刊,2024(12):147-148.
- [2] 陆亮亮.基于绿色施工背景下的道路桥梁施工技术探究[J].建材发展导向,2024,22(19):53-55.
- [3] 胡彦超.绿色施工技术在道路桥梁施工中的应用分析[J].建筑技术开发,2024,51(08):105-107.
- [4] 刘海斌.绿色施工技术在道路桥梁施工中的应用[J].运输经理世界,2024(17):57-59.
- [5] 张华.绿色环保理念在公路工程道路桥梁施工中的技术运用分析[J].智能建筑与智慧城市,2024(05):131-133.

混凝土施工技术在道路桥梁工程施工中的应用

姜光勇

(安徽来六高速公路开发有限公司, 安徽 滁州 239000)

摘 要 道路桥梁工程作为区域经济协同发展的重要载体, 其施工质量直接影响交通网络的可靠性与安全性。混凝土作为此类工程的核心材料, 其施工技术的科学性与规范性成为保障结构耐久性的关键因素。本文选取安徽省某大体积筏板混凝土道路桥梁工程作为研究对象, 系统性地分析了原材料优选、配比优化及温度场控制等关键技术。通过引入双掺技术(粉煤灰与矿粉复合掺和), 结合聚羧酸高性能减水剂的应用, 显著降低水泥水化热并提升抗裂性能; 同时, 基于热力学方程构建混凝土出机与浇筑温度预测模型, 实现温差裂缝的精细化管控。研究结果表明, 优化后的 C45P8 混凝土配比使水化热峰值降低, 浇筑温度误差控制在极小范围内, 有效保障了筏板结构的整体性。

关键词 道路桥梁工程; 混凝土施工技术; 原材料预选; 配比设计

中图分类号: U445

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.22.018

0 引言

在城镇化进程中, 混凝土施工质量的控制是决定道桥工程全寿命周期性能的关键因素。实证研究表明, 材料性能、施工工艺与环境因素的综合控制是确保工程质量的核心要素, 而混凝土材料的应用技术在其中扮演着至关重要的角色。若在施工过程中未严格遵守水胶比控制、振捣密实度、养护周期等技术规范, 将极易引发蜂窝麻面、结构裂缝等典型病害^[1]。此类质量缺陷不仅影响铺装层的平整度指标, 还会显著降低结构的耐久性, 为后期运营带来潜在的安全风险。因此, 对现代混凝土施工技术体系进行系统研究, 对于实现道桥工程质量目标具有重要的工程实践价值。

1 工程概况

某项目作为一项规模宏大的道路桥梁建设工程, 其施工过程中全面采用了混凝土材料作为主要建筑材料。在施工材料的选择以及施工技术的应用方面, 该项目团队始终严格遵循并执行国家相关法律法规和行业标准的要求, 确保每一个环节都符合国家的规范和标准, 从而保障工程的质量与安全。无论是材料的采购、检验, 还是施工技术的研发、应用, 都体现了对国家有关要求的坚定贯彻和落实。具体情况如表 1 所示。

表 1 项目混凝土技术要求表

强度等级	抗渗等级	筏板厚度	所属类别
C45	P8	2.4 m	大体积

2 工程施工技术要点

2.1 混凝土原材料预选及配比设计

2.1.1 原材料预选

在骨料品质管理领域, 项目团队实施了双重粒径控制策略: 选用级配均匀的中砂作为细骨料, 其细度模数严格控制在 2.3 ~ 3.0 的区间内; 对于粗骨料, 则实行泥含量双指标管理, 确保含泥量 $\leq 2\%$ 、泥块含量 $< 1\%$ 。特别值得注意的是, 细骨料的品质控制标准相较于粗骨料提升了 50%, 其中含泥量及泥块含量分别控制在不高于 1% 和 0.5%。在外加剂的选择上, 采用了环境适应性优选法, 创新性地应用了 LN-2 型聚羧酸高性能减水剂。该材料在工程实践中展现了突出的技术优势: 在保持低于 2% 的低掺量的同时, 实现了超过 18% 的减水效率, 并且将坍落度的经时损失控制在 10 mm/h 以内^[2]。这种材料特性不仅满足了工作性要求, 还使得混凝土 28 天抗压强度提高了 15% ~ 20%。在掺合料体系构建方面, 遵循了国家标准与工程特性双重标准, 形成了四元复合增强系统: 42.5 级硅酸盐水泥满足 GB175 标准; 抗裂膨胀剂遵循 JC476 规范; I 级粉煤灰符合 GB/T1596 要求; S95 级矿粉达到 GB/T18046 标准。实践证明, 该材料体系可使混凝土的密实度提高 12% ~ 15%, 氯离子扩散系数降低至 $1.5 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ 以下, 显著提升了结构的耐久性能。工程应用数据表明, 经过优化的混凝土材料体系在综合成本上节约率达 8.3%, 具有显著的技术经济效益。

2.1.2 配比设计

混凝土作为具有优异适配性的工程复合材料，可通过精准调控水胶比及掺合料配比实现力学性能与施工环境的匹配。在道桥工程施工时，技术人员需根据结构荷载特征、环境侵蚀等级及工艺实施条件，对拌合物组分进行动态优化。以案例为依托，构建了材料性能多目标优化体系，针对筏基大体积浇筑特点，重点攻克泵送工艺适应性、结构耐久性保障及温控防裂三大技术难点，创新采用双掺技术对传统 C45P8 混凝土进行改性^[3]。具体技术路径包括：（1）以粉煤灰—矿粉复合体系替代 30% 水泥用量，利用火山灰效应提升后期强度发展；（2）引入缓凝型聚羧酸减水剂，实现水化放热峰值的延时调控；（3）通过骨料级配优化降低孔隙率，形成致密微观结构。结果表明，改良后的混凝土体系呈现显著技术优势：胶材水化热峰值降低 42%，28 d 抗压强度提升至 52.3 MPa，氯离子扩散系数控制在 $1.8 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ 以下。特别是双掺体系的二次水化反应使 90 d 强度增长率达 122%，有效解决了大体积混凝土强度倒缩问题。表 2 所示的工程配合比方案经现场验证，完全满足结构设计要求的 C45 强度等级和 P8 抗渗等级，成功规避了温度应力导致的表面龟裂现象。

2.2 混凝土各环节温度处理

在混凝土施工过程中，温度场的动态变化直接影响工程结构质量，其中，水泥水化反应产生的热量与外界环境温差形成的综合热效应尤为关键。对于大体积混凝土结构而言，若未实施有效的温控措施，材料内部积聚的热能将导致两方面严重后果：一是引发材料劣化和结构开裂；二是造成工程表观质量缺陷与力学性能衰减，最终危及整体结构的安全服役性能。基于此，本工程在实施阶段建立了全过程温度监控体系，通过热力学仿真与实测数据对比分析，形成了以下计算内容。首先，进行了混凝土出机温度的计算，该计算主要考虑了原材料温度、搅拌过程中产生的热量以及环境温度等因素，确保混凝土在出机时的温度符合施工要求，避免因温度过高或过低对混凝土性能产生不利影响。其次，进行了混凝土浇筑温度的计算。浇筑温度是影响混凝土内部温度场分布的关键因素之一。通过精确计算浇筑温度，并结合实际施工条件，制定了

合理的浇筑方案，确保混凝土浇筑过程中的温度控制得当，有效避免了因温度变化引起的结构开裂等问题。

2.2.1 混凝土出机温度计算

在混凝土工程的施工过程中， T_0 这一参数被定义为混凝土混合料的出机温度。为了确保混凝土的质量和性能，必须精确控制这一温度。在能量守恒定律的科学指导下，混合原材料在搅拌过程中会释放出一定的能量，这些能量转化为热量，进而为混凝土混合物提供必要的热量支持。基于这一物理原理，工程师们可以推导并确定相关的计算公式，从而对 T_0 进行精确的计算。具体而言， T_0 的计算过程严格遵循一系列特定的方程式，这些方程式综合考虑了原材料的热特性、环境温度以及搅拌过程中的能量变化等因素，确保计算结果的准确性和可靠性：

$$T_0 \Sigma WC = \Sigma T_1 WC$$

T_0 为混凝土拌合物出机温度， $^{\circ}\text{C}$ ； W 为混凝土半成品材料的质量总和， kg ； C 为混凝土半成品材料的比热数值， $\text{KJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ； T_1 为混凝土半成品材料的原始温度， $^{\circ}\text{C}$ 。

根据预先设定的运算公式，紧密结合半成品混凝土建材所特有的材料配置情况，将混凝土半成品所涉及的各种具体数值逐一细致地代入相应的方程式中，随后进行系统而严谨的数学运算处理，以确保最终结果的准确性和可靠性。这一过程不仅需要精确的数据输入，还需要对混凝土材料的特性有深入的理解，以确保运算结果的实用性和有效性。通过这种方式，可以更好地掌握混凝土半成品的质量和性能，为后续的施工和使用提供坚实的数据支撑。具体运算过程如下：

$$T_0 = \Sigma T_1 WC / \Sigma WC = 11.4 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

2.2.2 混凝土浇筑温度计算

将在搅拌和浇筑过程中， T_j 表示温度，指的是混凝土半成品出机后，根据工程流程，完成浇筑之后的温度。根据施工现场的资料及历史施工记录来看，计算 T_j 的数值可使用下列公式：

$$T_j = T_0 + (T_q - T_0) \cdot (A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n) + K_b$$

T_j 代表混凝土拌合物浇筑温度， $^{\circ}\text{C}$ ； T_q 代表施工环境外界温度， $T_q=3$ ，单位 $^{\circ}\text{C}$ ； $(A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n)$ 代表混凝土混合物处理之后在每个施工流程中出现的温度损失系数，根据实际，将其视为取值恒定，其中，

表 2 筏基底板 C45P8 混凝土配合比

C45P8 混凝土配合比	水	水泥	粉煤灰	矿粉	膨胀抗裂剂	砂	碎石	聚羧酸高性能减水剂
单方材料用量 (kg/m^3)	165	241	75	79	27.5	730	1 095	7.85

$A_1=0.032$,指的是混凝土混合物出机之后装、卸、运输各一次的温度损失总和; A_2 代表运输过程中的温度损失值,运输时间用 τ 来表示,其恒等于50,单位用min来表示, θ 表示使用不同运输工具产生的影响,恒等于0.0042,由此得到公式 $A_2=\theta\tau$; A_3 代表浇筑过程中的温度损失值,浇筑时间用 τ 来表示,其值恒等于15,单位为min,由此得到公式 $A_3=0.003\tau$;在浇筑过程中,泵送设备的加温系数用 K_b 来表示,其值恒等于0.4。根据上述公式,结合施工时间安排,案例中使用的是筏板C45P8混凝土,浇筑时间确定在11月下旬,计算发现,案例中的混凝土出机温度围绕11.4℃上下变化,但变化的幅度不大;搅拌后的混凝土混合物从装运到浇筑,其温度在8.9℃浮动变化。凭借精准温度数据,案例中的道路桥梁工程的强度、寿命都能得到精准把控,最大限度发挥混凝土施工技术在工程建设中的作用。

3 混凝土施工质量控制措施

3.1 混凝土原材料预选及配比设计控制

在混凝土原料优选阶段,需重点把控集料品质参数,针对砂石材料的洁净度指标,须限定泥质成分与杂质比例,优选物理性能与色泽均匀的中砂,并依据级配标准精确调控细度模数,确保粗细骨料的含泥量及泥块含量符合规范限值;结合新型化学外加剂的应用,科学配入高性能减水剂与复合掺合料,使拌合物各项性能指标全面满足国标GB/T 50080要求,从而显著改善混凝土的密实性、力学强度及抗侵蚀能力;针对配合比设计环节,需综合考虑结构特征与环境条件,建立水胶比、胶材用量与矿物掺合料的动态平衡体系,通过现场勘查结合多阶段质量检测,构建材料性能与施工需求的适配机制^[4]。创新采用矿物复合双掺工艺,引入优质粉煤灰与矿渣微粉,在降低水泥用量的同时有效控制水化热峰值,实现混凝土结构抗裂性能与服役寿命的协同提升。

3.2 混凝土各环节温度处理控制

在混凝土工程实施过程中,需建立全过程温控管理体系以保障材料性能稳定,依据热力学能量守恒原理,对搅拌站出料阶段的混合料温度进行科学推导,保证其初始温度满足工程规范要求;基于现场环境监测数据与既往施工数据库,对入模阶段的混凝土温度实施动态测算,通过优化运输调度方案、改进泵送管道保温措施等方式,确保从运输车辆卸料至模板入仓全流程的混凝土温度梯度符合标准;值得注意的是,环境温度与入模温度的耦合效应,建立温度补偿数学

模型,采用智能化温控装置实时调节结构体表温差,从而有效抑制水化热异常导致材料性能劣化及裂缝产生现象^[5]。

3.3 施工过程中的质量控制

在砼结构作业全周期实施精细化管控,有效保障混凝土浇筑工艺的规范应用。依据核准的工序安排和技术指标组织生产,重点把控模板支护、配比计量及振捣养护等关键工序的工艺标准;在此基础上强化作业面动态管理,通过巡检制度保障机械设备和作业人员的安全状态;运用智能传感装置对坍落度、入模温度、养护湿度等核心指标实施动态监控,建立质量预警机制确保结构性能达标的同时,建立涵盖原料追溯、过程参数、检测结果的工程日志体系,运用信息化手段实现质量数据的可追溯管理。需要重点关注的是,需定期组织产业工人开展标准工法轮训与VR安全演练,通过岗位技能认证制度持续提升作业班组的技术素养,从而构建起全员参与的质量保证体系。这套多维度的管控方案能显著提升大体积混凝土结构的实体质量,为桥梁承台、墩柱等关键部位的耐久性提供可靠支撑^[6]。

4 结束语

在道路桥梁工程建设中,混凝土作为核心建筑材料,其工艺水平的优劣直接决定了工程实体的品质。基于此,施工企业应充分认识到工艺创新的关键作用,通过系统开展材料配比研究、施工参数优化等专项研究,结合智能养护、裂缝控制等创新技术的工程实践,推动施工过程向标准化、科学化方向发展,进而有效保障工程主体结构的耐久性能,提升工程整体质量水平,保障项目全生命周期效益。

参考文献:

- [1] 练育峰.论混凝土施工技术在市政路桥施工中的应用[J].城市建设理论研究(电子版),2023(05):68-70.
- [2] 王洪宇.浅谈混凝土施工技术在道路桥梁工程施工中的应用[J].科学技术创新,2022(25):74-77.
- [3] 张金凯.混凝土施工技术在道路桥梁工程施工中的应用分析[J].科技风,2020(29):100-101.
- [4] 同[3].
- [5] 安西艳.混凝土施工技术在道路桥梁工程施工中的应用[J].运输经理世界,2020(03):97-99.
- [6] 刘玉刚.高性能混凝土技术在道路桥梁工程施工中的应用[J].黑龙江科学,2020,11(10):102-103.

软基加固施工技术在市政道路施工中的应用研究

季 托, 郝建名

(中国市政工程中南设计研究总院有限公司, 湖北 武汉 430014)

摘 要 软土地基压缩性强、强度低、渗水性差, 易导致路面沉降、裂缝等病害, 影响道路使用安全。软基加固施工技术作为解决软土地基问题的关键技术, 在市政道路施工中得到广泛应用。本文研究了排水处理法、预应力管桩法、强夯加固法、土工编织物应用等多种软基加固施工技术, 分析了各技术的原理、适用条件及效果。研究表明, 合理选用软基加固技术可有效提升软基承载力与稳定性, 为市政道路施工提供质量保障, 确保道路安全运行。

关键词 软基加固施工技术; 道路施工; 排水处理法; 预应力管桩法; 强夯加固法

中图分类号: U416

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.22.019

0 引言

软土地基问题是市政道路施工中常见的地质挑战, 其特性易导致路面沉降、裂缝等病害, 影响道路使用安全。随着城市化的推进, 对市政道路建设质量的要求越来越高, 软基加固技术成为解决这一问题的关键。本文研究多种软基加固技术, 分析其原理、适用条件及效果, 以为市政道路施工提供有效的技术参考。

1 软基加固施工技术概述

1.1 软土地基特性分析

软土地基的物理力学性质与病害类型对道路工程的稳定性与耐久性具有显著影响。具体而言, 软土具有高压缩性(因含水量高、孔隙比大, 在外荷载作用下易发生显著压缩变形, 进而导致道路沉降不均)、低强度(抗剪强度低且承载力不足, 难以满足道路结构对地基的要求, 易引发结构破坏)及差渗水性(渗透系数小, 排水固结缓慢, 长期固结过程中易产生次生沉降, 影响道路平整度)等特性; 而常见病害类型则主要包括沉降(软土地基在荷载作用下压缩变形, 导致路面高程降低, 形成不均匀沉降, 引发道路开裂、积水等问题)、裂缝(软基不均匀沉降导致路面结构应力集中, 形成横向、纵向或网状裂缝, 严重时可导致路面功能失效)和失稳(软土地基抗滑能力不足, 在车辆荷载或地震作用下易发生侧向滑动, 导致道路边坡坍塌或整体失稳)^[1]。这些特性与病害的存在, 使得软土地基处理成为市政道路施工中的关键环节。

1.2 软基加固施工技术分类

针对软土地基高压缩性、低强度、差渗水性等特性, 需采用针对性加固技术以提升其承载力与稳定性。以下为常见软基加固技术的原理、适用条件、优势及局限性分析: (1) 排水处理法通过设置竖向排水体(如砂井、塑料排水板)与水平排水层, 加速软土中孔隙水排出, 缩短固结时间, 从而提升地基强度; 其适用于高含水量、低渗透性的软土地基, 尤其适合深层软土处理, 具有固结效率高、成本可控(材料成本低且施工工艺成熟)、适用范围广(可结合预压法联合使用)等优势, 但需配合堆载预压或真空预压, 施工周期较长, 且对排水系统维护要求较高; (2) 预应力管桩法利用预应力混凝土管桩的高强度特性, 通过桩土相互作用将荷载传递至深层稳定土层, 提升地基承载力; 其施工流程包括场地平整与测量定位、管桩预制或采购、静压或锤击法沉桩、接桩与截桩处理、桩顶处理与承台施工, 具有高承载力(单桩承载力可达数千吨)、施工效率高(机械化程度高)、抗变形能力强(桩身刚度大, 可有效控制沉降与差异沉降)等优势, 但施工噪声与振动较大, 需采取降噪措施, 且对场地平整度要求高; (3) 强夯加固法通过重锤自由下落产生的冲击能, 使软土颗粒重新排列, 孔隙体积减小, 土体密度与强度提升; 其适用于浅层软土(厚度 ≤ 5 m)处理、松散填土或杂填土地基加固、湿陷性黄土及饱和粉土等特殊土质改良, 具有施工简便(设备轻便、操作灵活)、成本低廉(材料与设备投入少)及环境友

好（无化学污染）等优势，但对深层软土加固效果有限，且施工振动可能影响周边建筑物；（4）土工编织物应用通过土工编织物（如土工格栅、土工布）的隔离、排水、加筋作用，改善土体结构，提升整体稳定性；其作用机制包括隔离不同土层、防止混合污染，作为水平排水通道加速软土固结，以及限制土体侧向变形、提升抗剪强度，具有材料轻便（运输与铺设方便）、适应性强（可与其他加固技术结合使用）及耐久性好（抗老化、抗腐蚀）等优势，但需与土体紧密结合，铺设质量影响加固效果，且对施工工艺要求较高^[2]。

2 软基加固施工技术原理与适用性分析

2.1 排水处理法

排水处理法作为软土地基加固技术之一，其技术原理在于通过设置竖向排水体（如砂井、塑料排水板）与水平排水层，形成三维排水网络，进而加速软土中孔隙水的排出，缩短固结时间；其核心机制涵盖竖向排水体插入软土层提供垂直排水通道以降低孔隙水压力，水平排水层铺设于软土层顶部或底部作为水平排水通道将竖向排水体汇集的孔隙水排出地基，以及孔隙水排出后软土颗粒重新排列、土体密度增加、抗剪强度与承载力提升的固结效应^[3]。从适用性分析来看，该技术适用于高含水量、低渗透性的软土地基，深层软土处理（深度 $>5\text{ m}$ ）以及需要快速固结的工程（如工期紧迫的市政道路），具有固结效率高（通过排水体加速孔隙水排出，缩短固结周期，一般可缩短50%以上）、成本可控（材料成本较低，施工工艺成熟，适合大面积应用）及环保性（无需化学药剂，对环境无污染）等优势，但也存在需配合堆载预压或真空预压导致施工周期较长（通常需3~6个月）、对排水系统维护要求较高（需定期检查排水体是否堵塞或损坏）等局限性。为进一步优化该技术，可结合真空预压技术提升固结效率，采用新型排水材料（如复合排水板）提高排水性能，以及在软土层中设置水平排水盲沟增强排水效果。

2.2 预应力管桩法

预应力管桩法凭借预应力混凝土管桩的高强度特性，通过桩土相互作用将荷载传递至深层稳定土层，以此提升地基承载力；其核心机制体现在三个方面：一是在管桩制作过程中施加预应力，提高桩体的抗弯、抗压性能；二是管桩沉入软土后，桩侧与桩端阻力共同承担上部荷载，形成复合地基；三是荷载通过管桩传递至深层土层，减少软土层变形。从适用性角度分析，

该技术适用于深层软土（深度 $>10\text{ m}$ ）或承载力要求高的工程、高荷载道路（如快速路、桥梁引道）以及需要严格控制沉降与差异沉降的工程，具备高承载力（单桩承载力可达数千吨，满足高荷载需求）、施工效率高（机械化程度高，单桩施工速度快，约1小时/根）和抗变形能力强（桩身刚度大，可有效控制沉降与差异沉降）等优势，但也存在施工噪声与振动较大（需采取降噪措施）、对场地平整度要求高（需提前进行场地处理）以及成本相对较高（尤其是长桩施工）等局限性。为进一步优化该技术，可采用静压沉桩技术减少噪声与振动，结合后注浆技术提高桩端承载力，以及在软土层中设置碎石桩或水泥搅拌桩，形成复合地基，从而进一步提升加固效果^[4]。

2.3 强夯加固法

强夯加固法通过重锤（质量10~40吨）从10~40 m高度自由下落产生冲击能，使软土颗粒重新排列、孔隙体积减小、土体密度与强度提升；其核心机制涵盖冲击能传递（产生冲击波）、土体密实（冲击波使软土颗粒重新排列，孔隙水排出，土体密实度增加）以及强度提升（土体密实后，抗剪强度与承载力显著提升）。从适用性来看，该技术适用于浅层软土（厚度 $\leq 5\text{ m}$ ）或松散填土、湿陷性黄土和饱和粉土等特殊土质改良，以及需要快速加固的工程（如应急抢险），具有施工简便（设备轻便，操作灵活，无需复杂工艺）、成本低廉（材料与设备投入少，适合大面积加固）和环境友好（无化学污染，对周边环境影响小）等优势，但也存在对深层软土加固效果有限（一般有效加固深度不超过8 m）、施工振动可能影响周边建筑物（需采取隔振措施）以及夯击能控制要求高（过大的夯击能可能导致土体液化）等局限性^[5]。为进一步优化该技术，可采用分层强夯技术逐步提升加固深度，结合排水处理法在强夯前设置排水层以加速孔隙水排出，以及在夯击区设置隔振沟减少对周边建筑物的影响。

2.4 土工编织物应用

土工编织物（如土工格栅、土工布）凭借隔离、排水、加筋作用改善土体结构、提升整体稳定性；其核心机制体现为隔离作用（防止不同土层混合，避免污染土体）、排水作用（作为水平排水通道，加速软土固结）以及加筋作用（限制土体侧向变形，提升抗剪强度）。从适用性角度而言，该技术适用于软土层与填土层交界处、需要控制沉降与差异沉降的路段以及边坡防护与路基加固等场景，具备材料轻便（运输与铺设方便，施工效率高）、适应性强（可与其他加固技术如填土、

排水结合使用)和耐久性好(抗老化、抗腐蚀,使用寿命长)等优势,但也存在需与土体紧密结合(铺设质量影响加固效果)以及对施工工艺要求较高(需避免土工编织物破损或移位)等局限性。为进一步优化该技术,可采用双向土工格栅提升加筋效果,在土工编织物表面设置砂垫层增强排水性能,并结合监测技术实时评估土工编织物的加固效果。

3 软基加固施工技术效果分析

3.1 承载力提升

在软土地基加固技术对比与理论计算方面,排水处理法通过加速软土固结提升地基有效应力,进而提高承载力,在竖向排水体(砂井、塑料排水板)与水平排水层结合下,理论计算软土固结度可达 80% 以上,承载力提升幅度为 1.5 ~ 3 倍,如某沿海道路工程采用塑料排水板加固后,现场实测承载力从 45 kPa 提升至 120 kPa,与理论计算结果(115 kPa)高度吻合;预应力管桩法通过桩土相互作用将荷载传递至深层稳定土层显著提高地基承载力,其单桩承载力理论计算公式为 $Q_u = Q_{sk} + Q_{pk} = u \sum q_{sik} l_i + q_{pk} A_p$ (其中 Q_{sk} 为侧阻力, Q_{pk} 为端阻力, u 为桩周长, q_{sik} 为侧阻力特征值, l_i 为桩长分段, q_{pk} 为端阻力特征值, A_p 为桩端面积),现场实测某桥梁工程采用该技术后复合地基承载力特征值从 80 kPa 提升至 280 kPa,满足设计要求;强夯加固法通过冲击能夯实土体提升土体密实度与强度,理论计算表明其加固后地基承载力与夯击能、夯击次数及土体含水量密切相关,如某湿陷性黄土地采用该技术后承载力从 60 kPa 提升至 180 kPa,与经验公式预测值(170 kPa)一致;土工编织物应用通过加筋作用限制土体侧向变形间接提升承载力,理论计算土工格栅加筋后地基承载力提升幅度为 10% ~ 30%,某路基工程采用该技术后现场实测承载力从 70 kPa 提升至 95 kPa。在现场实测数据验证方面,承载板试验通过现场静载试验获取地基承载力特征值,结果显示排水处理法、预应力管桩法、强夯加固法的加固效果显著优于未处理地基;动力触探试验通过标准贯入试验(SPT)或圆锥动力触探试验(CPT)评估土体密实度,结果显示强夯加固法与排水处理法对土体密实度的提升效果最为明显^[6]。

3.2 稳定性增强

在软土地基加固效果评估方面,从抗剪强度与变形模量变化来看,加固后软土内摩擦角与黏聚力显著提高,例如排水处理法使软土内摩擦角从 5° 提升至

15°,黏聚力从 10 kPa 提升至 30 kPa,预应力管桩法通过桩土相互作用形成复合地基,抗剪强度提升幅度达 2 ~ 4 倍;同时加固后土体压缩性降低,变形模量显著提高,如强夯加固法使软土变形模量从 5 MPa 提升至 20 MPa,预应力管桩法复合地基变形模量可达 50 ~ 100 MPa。在长期稳定性评估方面,通过沉降观测评估加固效果,例如某高速公路工程采用排水处理法后,工后沉降量从 30cm 降至 5 cm,满足设计要求(≤ 10 cm),预应力管桩法加固后工后沉降量几乎为零;通过极限平衡法或有限元分析评估边坡稳定性,例如某填方路基工程采用土工编织物加筋后,安全系数从 1.2 提升至 1.8,满足规范要求(≥ 1.3)。在环境影响评估方面,强夯加固法施工噪声达 100 dB 以上,振动可能影响周边建筑物,对土体扰动最大,可能导致液化,还可能破坏周边植被;预应力管桩法施工噪声约 80 dB,振动较小,对土体扰动较小,需占用一定场地;排水处理法与土工编织物应用无噪声污染,对土体扰动最小,对生态环境影响较小^[7]。

4 结束语

通过对多种软基加固施工技术的分析和研究,证实了合理选用加固技术对提升软土地基承载力和稳定性的重要作用。各种软基加固施工技术在实际应用中展现了显著的加固效果,为市政道路施工提供了可靠的质量保障。未来,软基加固技术将在市政道路建设中发挥更大的作用,确保道路的安全、稳定运行。同时,还需关注施工过程中的环境影响,采取有效措施减少对周边环境和生态的影响。

参考文献:

- [1] 付丽.软基加固施工技术在市政道路施工中的应用[J].住宅与房地产,2021(34):206-207.
- [2] 叶炳煊.软基加固技术在市政道路施工中的应用[J].江西建材,2021(11):247-248.
- [3] 马晓晓.软基加固施工技术在市政道路施工中的应用探究[J].中国设备工程,2023(11):254-256.
- [4] 王志建.基于软基加固的市政道路施工技术研究[J].工程技术研究,2023,08(19):20-22.
- [5] 王慧孜.基于软基加固技术的市政道路沥青混凝土路面施工方法[J].广东建材,2023,39(06):87-89.
- [6] 王伟年.软基加固施工技术在市政道路施工中的应用研究[J].工程技术研究,2024,09(20):57-59.
- [7] 梁玮.软基加固施工技术在市政道路施工中的应用[J].交通科技与管理,2023(19):155-157.

帷幕灌浆技术在水库工程水闸防渗处理中的应用研究

李丽红

(南雄市水利水电技术与水土保持监测中心, 广东 韶关 512000)

摘 要 帷幕灌浆技术是水库工程水闸防渗处理中极为关键的技术。本文对帷幕灌浆技术的基本原理进行了简要阐述, 并结合工程案例, 对帷幕灌浆技术在水库工程水闸防渗中的应用实践展开具体分析, 通过案例实践验证了帷幕灌浆技术所具有的防渗效果。研究结果表明: 运用帷幕灌浆技术能够明显地减少水库的渗漏量, 有力地提升水闸的防渗能力, 进而保障水库工程安全、稳定地运行。

关键词 水库工程; 帷幕灌浆; 水闸防渗; 渗透坡降

中图分类号: TV66

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.22.020

0 引言

水库工程是水利基础设施中极为关键的核心构成部分, 它在水资源分配调控、防洪抗旱、水电能源开发以及助力农业生产等诸多方面, 对推动经济发展和维护社会稳定具有重要意义。然而, 伴随水库工程运行年限持续增长, 水闸防渗问题越来越突出, 这给水库安全稳定运行带来了严峻的威胁。面对这样的难题, 帷幕灌浆技术成为水闸防渗的重要解决途径, 它能够精确地把浆液灌注到岩体或者土层所存在的裂隙之中, 进而形成一道具备连续性的防水屏障。

1 帷幕灌浆技术概述

1.1 帷幕灌浆技术基本原理

帷幕灌浆技术属于一种工程工艺方法, 其关键就在于要把浆液灌注到岩体或者土层所存在的裂隙或孔隙里面, 以此形成连续不断的阻水帷幕。这样的阻水帷幕能够在很大程度上降低渗流量, 同时还能对渗透压力起到明显的缓解作用。帷幕的顶部是和混凝土闸底板或者坝体紧紧连接在一起的, 而其底部则会延伸到相对来说不透水的岩层当中, 如此便形成了一道极为坚固、难以被破坏的防水屏障, 进而能够有效地将地下水在地基中的渗透隔绝开来或者使其有所减少。除此之外, 水库帷幕和下游的排水系统相结合, 可使得渗透水流对闸坝所产生的扬压力得以降低, 从整体上提升工程的安全性能^[1]。

1.2 帷幕灌浆技术的分类

依照防渗帷幕的灌浆孔具体排数, 帷幕灌浆技术主要分为两排孔帷幕和多排孔帷幕两种类型。当面临

地质状况颇为复杂并且水头比较高的情形时, 一般会选用三排或者更多排孔的帷幕, 以此来强化防渗效果。除此之外, 针对灌浆孔底部能否深入不透水的岩层中, 这项技术可以进一步细分出封闭式止水帷幕与悬挂式止水帷幕。对于封闭式止水帷幕而言, 它的灌浆孔底部会深入不透水岩层中, 进而构建完整且高效的防渗体系; 而悬挂式止水帷幕的灌浆孔底部却不会深入不透水岩层当中, 形成一种呈悬挂式的防渗屏障, 主要适用于某些特定的地质环境以及工程建设要求。

1.3 帷幕灌浆技术的材料选择

水泥是帷幕灌浆技术中最关键的胶凝材料。在一些特殊应用场景中, 也会采用高分子化学溶液。例如: 砂砾石灌浆更多地会选用水泥粘土浆液, 通过这种方式来让灌浆的效果得以增强。所选用的水泥品质必须符合相关的标准, 比如《通用硅酸盐水泥》(GB 175-2023) 标准, 只有这样才能保证灌浆材料在质量以及性能方面都能够达到最为理想的状态。另外, 灌浆时所用到的砂应是质地坚硬的天然砂, 如果采用人工砂, 砂的粒径、细度模数等这些关键参数全部都要满足特定的技术要求, 以此来确保灌浆工程整体质量, 能够实现预期设定的目标^[2]。

2 水闸防渗处理的特点

首先, 水闸所处的地质条件以及水文条件存在着各种差异, 在制定防渗处理方案的时候要根据工程实际情况, 在设计阶段开展详细的地质勘察工作以及水文分析工作, 确保所采取措施既能有效又具有针对性。其次, 水闸防渗处理包含了水平防渗、垂直防渗这两

类主要的技术手段。水平防渗大多是依靠铺设高效的防渗材料得以实现的,而垂直防渗则涉及灌浆作业、建造防渗墙等诸多不同的方法。在挑选这些技术的时候,要综合考虑工程的实际情况以及防渗的具体需求。最后,水闸防渗处理施工必须严格依照设计规范以及技术标准来进行。在施工期间,需要施行严格的质量控制措施与监测措施,这样能及时发现并妥善处置潜在的风险,从而保证防渗效果符合预期。此外,维护管理的重要性也不可忽视^[3]。

3 帷幕灌浆技术在水闸防渗处理中的应用

3.1 工程概况

某水库工程地处山区,主要发挥着灌溉、防洪以及发电等诸多功能。随着运行年限的不断增长,水库大坝出现了严重的渗漏问题。为了妥善解决大坝所存在的渗漏问题,确定采用帷幕灌浆技术来开展水闸防渗处理工作。此水库大坝的坝基是花岗岩,其颜色呈现出灰白、灰绿直至灰黑色等不同色调,具有中至粗粒的结构特征,其地质条件复杂,这对帷幕灌浆施工提出了较高要求。

3.2 水闸防渗设计

3.2.1 水平防渗设计

针对特定的地质条件,在闸室上游所处的河床区段规划设计出了一段长度达到 15 米、厚度为 0.6 米的钢筋混凝土铺盖。为了提升结构的整体稳定性,在铺盖的上游端以及下游端均修筑了坚固的齿墙。除此之外,在铺盖和闸室底板相互连接的部位,设置了效能

颇高的止水构件,并且细致地布置了纵向分缝,从而可以较为灵活地去应对可能会出现的结构变形情况。闸室自身顺着水流方向的长度达到了 12.5 米,而其总宽度则是 50.5 米。闸室的底板运用的是厚度为 1.4 米的钢筋混凝土结构形式,并且在其上游端与下游端均设置了齿墙,以此让整体的稳固程度得以进一步提升。与此同时,在闸室前段的底部还额外增设了灌浆帷幕,该帷幕深入到了弱风化泥质粉砂岩层当中。防渗的纵向布置情况可参照图 1 所示。

3.2.2 闸基防渗设计方案

该帷幕是沿着闸轴线进行布局的,而且还朝着闸室的两端分别延伸出去了 10 米,这样能在很大程度上降低绕闸渗流量。帷幕轴线的总长度达到了 96 米,很好地满足了防渗方面的需求。左岸帷幕深度处于 0.5 米至 1.0 米这个范围;闸室段以及电站厂房段帷幕深入地下 1.0 米至 6 米处;右岸帷幕深度被设定成 2.0 米至 2.5 米。同时,灌浆帷幕的厚度也受到了严格把控,将其限定在 30 厘米,以此来保障其具备良好的防渗效能。在此次工程当中,运用了单排灌浆孔的布置形式,把孔间距合理设定为 1.5 米,并且依照三序原则来开展布置以及后续的加密操作,从而让灌浆效果能够达到预期^[4]。

3.2.3 闸肩防渗设计方案

水闸的两岸闸肩自上往下由素填土、砂卵石层以及强风化泥质粉砂岩共同组成。素填土所具有的渗透系数为 3.28×10^{-3} 厘米/秒,而砂卵石层的渗透系数则达到了 2.60×10^{-3} 厘米/秒,让防渗面临极大

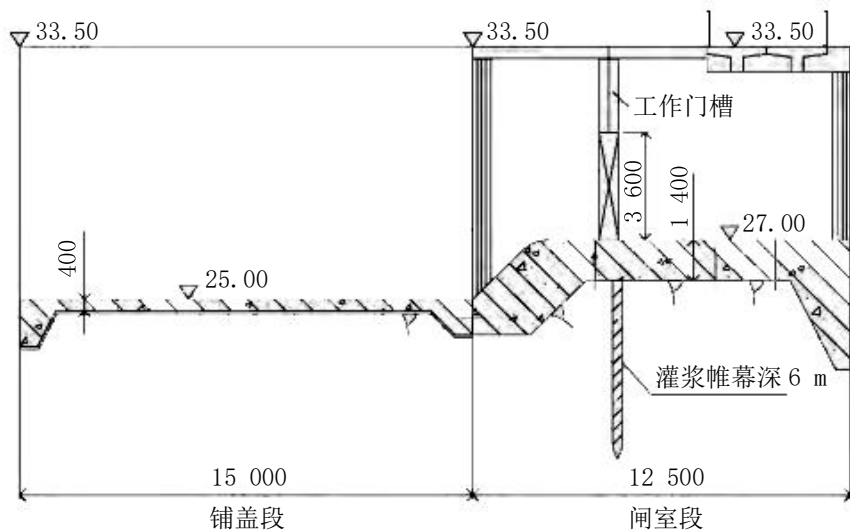


图 1 水闸防渗纵向布置

的挑战。为了能够切实有效地减少闸肩出现的渗流情况,运用黏土来进行回填操作。与此同时,在左岸闸肩所在的区域还实施了充填灌浆方面的处理,其施工的范围精准地处在闸轴线桩号0~010米至0~020米这个区间之内。在该区域中,设置了两排呈梅花形分布的灌浆孔,将排距和孔距限定在1米的范围,目的就是确保灌浆作业完成之后所具备的密实程度以及防渗的实际效果。每一排灌浆孔在施工的时候都需严格遵循两序的原则,这样是为了让灌浆的质量能够达到最佳的状态。所采用的充填灌浆材料主要就是黏土,并且还掺入了占比为10%的水泥,通过这种方式来强化它的防渗性能。最后,左右岸的截渗堤高程都达到了30.8米的高度,长度为9.2米。

3.3 帷幕灌浆施工方案

依照工程实际状况以及设计规范方面的要求,制定了帷幕灌浆施工的具体方案。将灌浆孔精准地布置在大坝上游的坝坡区域,将孔间距设定成2米,所有的孔径一律为91毫米,并且孔的深度必须穿透坝体,一直延伸到坝基基岩之下合适的深度位置。为了让孔洞的精度以及深度都能够符合标准,运用了高效能的回转式钻机来开展钻孔作业。在钻孔作业完成之后,对钻孔以及存在的裂隙进行全方位的冲洗操作,以此来保障后续灌浆作业能够达到应有的效果。灌浆材料优先选用了质量良好的普通硅酸盐水泥和天然砂。制浆环节,针对配料比例以及搅拌质量都进行了极为严格的把控,从而确保灌浆材料具备优异的性能。在灌浆工艺方面,采用的是自下而上的分段灌浆方法,同时对灌浆过程的压力与速度都进行了精细的调控,以此来保证灌浆能够达到均匀且密实的程度^[5]。

3.4 防渗效果分析

3.4.1 改进阻力系数法

在水闸抗渗稳定计算方面,采用了改进阻力系数法。该方法的突出优势在于它能够把极为复杂的地下轮廓区域较为精准地划分成多个相对而言较为简单的段落。针对每一个细分出来的段落,都是凭借流体力学当中已有的精确解,来确切地确定其阻力系数。最后,对各个分段的阻力系数进行科学合理的整合,从而得出高精确性的计算结果。

3.4.2 计算流程及结果剖析

执行计算任务期间,针对灌浆帷幕和齿墙,都进行了较为合理的简化处理,并且依据科学的方式把闸

基轮廓细致地划分成了14个段落。这些段落大体上能够归纳为三种比较典型的形态,也就是进出口段、内部呈现垂直状态的段落以及水平走向的段落。选取了水闸处于正常运行的工况当作此次研究重点,同时还较为精确地对各个分段所产生的水头损失情况以及角隅位置对应的水头值展开了细致的计算工作。

1. 闸底板水平段渗透坡降:

$$J_x = \frac{h'_o}{L} = \frac{0.47}{7.216} = 0.065 \quad (1)$$

2. 出口渗透坡降:

$$J = \frac{h'_o}{S'} = \frac{0.71}{2.1} = 0.338 \quad (2)$$

设计当中极为关键的一点在于要精准无误地调控闸底板水平段的渗透坡降,确保其数值能够稳稳地维持在0.065至0.091这一理想的区间范围之内;同时,要保证出口段的渗透坡降也能保持在0.325至0.390的合理范围内。经过全面计算以及严谨分析后,最终所呈现出来的结果表明,闸底板水平段以及出口段的渗透坡降都十分完美地符合既定的规范标准。所以,该水闸的设计符合相关规定要求,具备较高的防渗性能,能够切实有效地规避渗透变形这类问题的产生。

4 结束语

帷幕灌浆技术在水库工程水闸防渗处理领域具有显著优势。通过采用科学的施工工艺和严格的质量控制措施,该技术能够构筑一道连续且致密的防渗屏障,大幅度削减渗流量,并有效减轻渗透压力。帷幕灌浆技术之所以受到广泛推崇,归因于其出色的适应性、显著的防渗效果、灵活的施工方式以及卓越的耐久性,这些特性为水库工程的安全稳定运行提供了坚实的保障。

参考文献:

- [1] 宋志华. 水利水电工程施工帷幕灌浆施工技术应用研究[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2024(03): 33-36.
- [2] 于鹏新, 于潇霏. 水库大坝基础渗漏处帷幕灌浆施工技术处理[J]. 黑龙江科学, 2024, 15(24): 149-151, 155.
- [3] 陈济美. 帷幕灌浆施工技术在 reservoir 大坝除险加固工程的应用研究[J]. 水上安全, 2024(24): 157-159.
- [4] 胡玉豪. 水库工程施工中的灌浆技术分析[J]. 科技资讯, 2024, 22(21): 156-158.
- [5] 李龙. 水库除险加固工程大坝帷幕灌浆施工技术问题与解决方案的研究[J]. 水上安全, 2024(22): 148-150.

水厂水机设备低压电气设计分析

张 勇

(合肥市兴农水利勘察设计院有限公司, 安徽 合肥 230000)

摘 要 随着现代化水厂建设的不断推进, 水机设备的电气设计日益受到重视。低压电气设计作为水机设备的重要组成部分, 其合理性和可靠性直接关系到设备的正常运行和水厂的生产效率。本文从安全性、可靠性、经济性、灵活性等方面阐述了水机低压电气系统的设计原则; 从变压器选型、配电设备确定、线路布置等方面确定设备的选型与配置; 从低压电动机保护、低压进线总开关保护、故障处理等方面分析了线路的保护与故障处理。在此基础上, 通过对某水机低压电气设计实例的分析, 探讨了低压电气设计在水机设备中的应用及其重要性, 旨在为类似工程提供有益的参考。

关键词 水机; 低压电气设计; 设备选型; 线路布置

中图分类号: TU991

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.22.021

0 引言

随着现代化水厂建设的不断推进, 水机设备的电气设计日益受到重视。低压电气设计作为水机设备的重要组成部分, 其合理性和可靠性直接关系到设备的正常运行和水厂的生产效率。低压电气系统作为水机设备的核心组成部分, 不仅影响着设备的运行效率, 还直接关系到设备的安全性和可靠性^[1]。本文以某水机低压电气设计实例为研究对象, 深入剖析其设计思路和实施过程, 以期为提高水厂水机设备低压电气设计水平提供参考。

1 水机低压电气设计原则

(1) 安全性。首要原则是确保电气系统的安全运行。这意味着设计需充分考虑电气事故和火灾等安全隐患的预防, 采取必要的安全措施, 以保障人员和设备的安全。(2) 可靠性。设计要减少故障和停机时间, 从而保障水厂的连续生产。(3) 经济性。在满足安全性和可靠性的前提下, 设计应致力于降低电气系统的投资和运行成本。通过合理的设备选型、优化系统结构和布局等方式, 实现经济效益的最大化^[2]。(4) 灵活性。设计需考虑电气系统的扩展和升级需求。随着水厂规模和发展需求的不断变化, 电气系统应具备足够的灵活性, 以适应未来发展的需要。

2 设备选型与配置

2.1 变压器选型

根据水厂的负荷计算结果, 我们选用了一台 S11-M1000/10 油浸式电力变压器。该变压器的负荷率为 65.2%, 联结组别为 Dyn11。这种选择确保了变压器能够满足水厂的电力需求, 并保持高效运行。

2.2 配电设备

我们在送水泵房附近设置了变配电间, 负责厂区各工段设备的用电。变配电间内采用单层布置, 结构清晰, 便于管理和维护。其中包括高压开关室、低压开关室、电容器室、控制室、变压器室和值班室。每个房间都配备了相应的电气设备, 确保电力供应的稳定性和安全性^[3]。

2.3 线路布置

高压线路采用电缆引入变配电间高压侧, 这种布置方式减少了线路损耗, 提高了电力传输效率。低压配电系统采用单电源单母线的结线方式, 以满足出线回路数量多的需求。这种设计确保了电力分配的灵活性和可靠性。

3 线路保护与故障处理

3.1 低压电动机保护

为确保低压电动机的安全运行, 要安装短路保护装置, 确保线路不因短路被烧毁; 同时, 安装过负荷保护装置, 在双重保险下, 确保电动机一旦出现短路, 便能立即切断电源, 防止故障扩大。过负荷保护装置则能在电动机长时间过载运行时发出报警或切断电源, 避免电动机因过热而损坏。

3.2 低压进线总开关保护

低压进线总开关是电气系统的重要组成部分, 其保护至关重要, 需设置过载延时保护装置和短路速断保护装置。过载延时保护装置能够在电流超过额定值时延时动作, 给系统一定的缓冲时间, 同时防止因瞬时过载而误动作^[4]。

3.3 故障处理

完善的故障处理机制是确保水机设备正常运行的关键。故障处理机制应从上报到修复形成一条完整的故障处理链条，第一时间解决问题。一旦发生电气故障，立即报告并启动故障诊断程序，迅速定位故障原因。随后进行故障修复，确保设备尽快恢复正常运行。同时，还应加强故障预防工作，定期检查电气设备，及时发现并处理潜在故障隐患。

4 实例分析

4.1 项目概况

项目电源来自现有泵站 10 kV 输电线路的“T”接。泵站负荷等级为三级，配备 1 台 1 250 kVA 主变压器，支持 4 台机运行。0.4 kV 机压侧单母线接线，10 kV 侧线路一变压器组单元接线，主变高压侧有负荷开关，机压侧有断路器。电动机软启动，无功补偿集中自动。配备自动化和视频监控系统。泵站控制系统由主控制层和现地控制层构成，视频监视系统将图像传输至视频服务器。泵站防雷接地设计符合规程，接地电阻值不超过 1 Ω。该泵站主要满足农业灌溉需求，供电负荷等级为三级。采用 10 kV 高压系统接入，新建高压架空线路 200 m，电力系统接入、输电线路及电力调度与通信由当地供电部门负责。项目遵循设计原则和设备选型方案，电气系统运行安全可靠，确保了生产效率。

4.2 电气主接线

本站装有 4 台卧式离心泵，与之配套的异步电机型号为 YX4-355L2-4。电站的 10 kV 电源进线采用架空

线进线，进线处设断路器，站内 10 kV 采用单母线接线。配置 1 台主变，可带本站全部负荷。主变高、低压侧均设断路器。

4.3 电动机起动方式和无功补偿方式

电动机起动压降的计算是按系统最小运行方式和机组最不利的运行组合形式，即已有 2 台机组投入运行，第 3 台机组直接起动来进行计算的，本阶段暂未获得系统运行资料，为了降低机组启动对当地电网的影响，保证电机启动时对电网冲击减小。故本站电动机起动方式采用软起启动。以《供电营业规则》《功率因数调整电费办法》为依据，根据功率因素要求，做好无功功率补偿设计。一般来说，以母线集中补偿为主，选用 2 块 GCS 型无功功率补偿屏，将 3 台电机功率因数由分别由 0.87 提高到 0.95 左右，总的补偿容量为 500 kvar。

4.4 站用电

本站设备使用 AC380/220 V 电压供电，站用配电屏为真空泵、检修排水泵及照明等负荷供电。配置 1 台站用变压器，容量选择基于三种最大站用负荷运行方式：（1）4 台机组运行；（2）1 台机组检修，其余运行。负荷计算见表 1，选择 80 kVA、10.5/0.4 kV 的 SC18-80/10 型变压器。变压器高压侧通过熔断器接 10 kV 高压母线，低压侧通过双电源自动切换装置 ATS 接站用配电屏。0.4 kV 母线也通过 ATS 接配电屏，作为另一路电源。两路电源通过 ATS 切换，确保重要负荷供电可靠性。

表 1 站用电负荷统计表

序号	设备名称	台数	单台设备参数				参加计算负荷容量			
			功率 (kW)	功率因数 (cos Φ)	效率 (η)	容量 (kVA)	全部运行		一台机检修、 其余运行	
							台数	容(kVA)	台数	容量(kVA)
1	行车	1	12.00	0.75	0.85	18.82	1	23.53	1	18.82
2	渗漏泵（一用一备）	2	7.50	0.85	0.85	10.38	1	10.38	1	10.38
3	检修排水泵	3	5.50	0.85	0.85	7.61	3	22.84	3	22.84
4	砂轮机	1	0.55	0.75	0.75	0.98	—	—	1	0.98
5	手电钻	1	0.43	0.75	0.75	0.76	—	—	1	0.76
6	交流弧焊机	1	1.10	0.75	0.75	19.00	—	—	1	19.00
7	充电设备	1	—	—	—	5.00	1	5.00	1	5.00
8	厂房照明	1	—	—	—	20.00	1	20.00	1	20.00
合计							7	81.75	10	97.78
计入负荷率 0.75、同时率 0.75，网络损失系数 1.05 时合计							7	48.28	10	57.75

4.5 短路电流计算及主要电气设备选择

1. 短路电流计算。在供电系统资料不足的情况下,将电网看作一个无穷大的系统,计算中基准容量取 $S_j=100\text{ MVA}$,基准电压取 $U_j=U_p$,即电网的平均额定电压。电动机采用有关电动机厂家样本上提供的技术参数。线路长度按 5 公里计列时,短路电流计算结果见表 2。

表 2 短路电流计算结果

短路点编号	短路点基准电压 (kV)	基准电流 I'' (kA)	短路电流有效值 I'' (kA)	三相短路冲击电流 i_p (kA)	三相短路全电流最大值 I_p (kA)	短路容量(MVA)
d-1	10.5	5.499	7.045	10.637	17.933	128.1
d-2	0.4	144.338	17.42	26.176	41.643	12.1

2. 主要电气设备选择。泵站运行时,主变压器带 4 台 200 kW 电动机,功率因数 0.87,电动机效率 0.95,单台电动机视在容量 241.98 kVA。4 台机及站内负荷总容量 967.93 kVA,加上站用负荷 48.3 kVA,选用 1 台 SC(B)18-1250/1010 $\pm$ 2(2.5%/10.5kVD,yn11Ud%=6.0 型变压器。为确保电气设备安全可靠,依据《导体和电器选择设计规程》,10 kV 侧选用 KYN28A-12 型高压开关柜,配固封式真空断路器和 LZZBJ9-10Q 型电流互感器,主母排为 3(TMY-80 $\times$ 10);0.4 kV 侧选用 GCSS 抽屉式低压配电屏,配框架断路器和 SDH-0.66 型电流互感器,主母排为 TMY-3(125 $\times$ 10)+1(80 $\times$ 8)。

4.6 电气设备布置

本站厂房分为主厂房和副厂房,主厂房内安装 4 台异步机组,作一列布置。副厂房布置在现有主厂房出水侧,布置有 10 kV 配电装置室、低压配电装置室、中央控制室、电气二次及网络设备室等。主变压器为带外壳干式变压器,型号为 SC(B)18-1250/10,高压侧电源采用高压电缆引入,低压侧由主变压器向低压配电装置室接出。10 kV 配电装置室布置主变、站变和 5 块 KYN28A-12 型高压开关柜,低压配电装置室布置 10 块 GCS 型低压配电屏;电气二次及网络设备室布置有直流电源屏、公用 LCU 屏、机组 LCU 屏等设备;中央控制室布置集控台、液晶拼接屏等设备。

4.7 过电压保护及防雷接地

1. 在直击雷防护方面,针对主体厂房、辅助厂房及启闭设备机房等建筑,在顶部采用环状接闪装置作为接闪主体,利用外围承重柱内主筋作为引下线,将泵房基础及建筑底板内钢筋网络作为自然接地装置,形成复合式防雷接地网络,确保接闪装置、引下导体

与接地体间电气通路完整可靠,防范直击雷对电气设备的物理损坏。

2. 对于雷电波侵入风险,在主备电源 10 kV 进线终端杆装置、10 kV 母线配电装置等关键位置配置金属氧化物避雷器组,通过多级防护策略抑制沿输电线侵入的雷电冲击波,保障变压器等重要电气设备安全。

3. 为防止真空断路器操作时产生瞬态过电压损害设备绝缘,我们在负载侧安装了专用过电压吸收装置,并配合 RC 缓冲回路和避雷器,构建了多维度的过电压防护体系。通过综合接地系统,我们建立了全站统一的接地网络,整合了不同电压等级和功能系统的接地需求,采用热浸镀锌扁钢和角钢构成三维立体接地架构,并利用自然接地体实现低阻抗网络,合理配置了保护接地和工作接地。本方案严格遵循 D 级防护技术要求,通过多级防护体系、等电位连接和接地系统优化,形成了完整的雷电防护系统^[5]。

5 结束语

合理的低压电气设计能够有效提高水机设备的安全性和可靠性,降低投资和运行成本,为水厂的现代化建设提供有力保障。未来,随着科技的不断进步和水厂需求的不断变化,低压电气设计将不断面临新的挑战 and 机遇。因此,我们应持续关注低压电气设计领域的发展动态和技术创新,不断提高设计水平和实施能力,为水厂的可持续发展贡献更多力量。

参考文献:

- [1] 陶育宝.水厂自动化控制系统中 PLC 的应用[J].大众标准化,2023(10):167-169.
- [2] 位翔洋.电气自动化控制系统在水厂的应用[J].现代工业经济和信息化,2022,12(12):121-123.
- [3] 李柯强.基于 PLC 的取水泵站综合自动化系统研究与设计[D].银川:北方民族大学,2023.
- [4] 陈天顺.电气自动化控制系统在水厂的应用[J].集成电路应用,2020,37(11):154-155.
- [5] 赵潇然,汪力,李阔,等.供水系统水泵机组节能改造方法与工程实例[J].给水排水,2022,58(02):1-5,12.

脱硫运行优化系统的设备管理研究

张长弓，刘承让，申 镇

(云南滇东雨汪能源有限公司, 云南 曲靖 655507)

摘要 现如今,环境问题愈发突出,环保要求也更加严格。脱硫运行优化系统是工业领域生产设备中的常用技术,为降低能源资源消耗,减少污染排放,提高设备运行效率,需加强对脱硫运行优化系统的设备管理。本文阐述了脱硫运行优化系统的设备类型与特点,并结合实际情况,从节能环保、智能化管理、安全管理三个方面提出了可行性措施,旨在为解决脱硫运行优化系统设备运行问题提供参考。

关键词 脱硫运行优化系统; 设备管理; 节能环保; 智能化管理; 安全管理

中图分类号:TQ05

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.22.022

0 引言

脱硫运行优化系统的设备是工业生产中不可缺少的一部分。该类设备长时间处在高温高湿、强腐蚀的运行环境中，导致老化速度不断加快，故障频率逐渐提高，维修成本也因此不断增加。为改善这一情况，生产企业应在脱硫运行优化系统设备中引入自动化、智能化技术，构建完善的设备管理体系，实现对设备的智能化、节能化、安全化管理，确保设备运行的经济效益与环境效益。

1 脱硫运行优化系统的设备概述

1.1 主要设备

1.1.1 吸收塔

吸收塔是脱硫系统运行的核心部分。二氧化硫进入吸收塔后，会与其中的吸收剂产生化学反应，从而达到脱硫的最终目的。喷淋塔、填料塔、鼓泡塔是脱硫系统中常用的吸收塔类型。其中喷淋塔是通过喷嘴雾化吸收剂，实现与含硫的烟气全面接触，进而提高化学反应效率，因此，该类吸收塔的应用最为广泛；而填料塔中则填充着特殊的填料，有助于扩大与气体、液体之间的接触面积，在提高脱硫效率方面有着重要作用；鼓泡塔能使烟气与吸收剂接触后产生鼓泡，有助于强化实际传质效果^[1]。

1.1.2 浆液循环泵

浆液循环泵的主要功能是将吸收塔底部存在的浆液输送到塔顶的喷淋装置中，以此促使浆液在塔内实现循环流动，进而加强吸收剂与烟气之间的充分接触、融合。浆液循环泵本身的扬程较高、流量较大，可为脱硫系统的正常运行提供更大的助力。不过，该设备

输送的浆液具有腐蚀、磨损的特性，所以对于循环泵泵体的材质要求非常高。

1.1.3 除雾器

除雾器通常安装在脱硫系统中吸收塔的顶部位置，其功能是有效去除脱硫烟气中存在的液滴。如果没有将脱硫后烟气中的液滴去除，就会浪费掉吸收剂，同时也有一定可能对后续使用的设备造成腐蚀影响，进而缩短整个设备的使用期限。因此，除雾器在脱硫系统的稳定运行、减少二次污染等方面能够发挥重要作用。

1.1.4 氧化风机

在脱硫系统运行过程中,内置氧化风机向吸收塔内部鼓入空气,通过氧化反应,促使亚硫酸盐变为硫酸盐,不仅能够加快脱硫速度,还能提高脱硫产物的整体品质,方便后续石膏脱水与处理工作的有序开展。

1.2 设备特点

1.2.1 运行环境相对恶劣

脱硫设备通常应用于工业生产，其生产环境具有高温高湿特点，而且该设备在长期运行过程中，会接触到浓度、湿度较高的二氧化硫以及腐蚀性较强的浆液，容易使设备表面产生腐蚀、磨损等问题，导致设备的使用寿命大大降低。例如：在脱硫系统中，吸收塔设备内壁长期与酸性浆液相接触，容易增加局部腐蚀穿孔的概率；脱硫系统中的浆液循环泵处在运行状态时，其叶轮会呈现出高速旋转的状态，同时也会遭受到浆液中固体颗粒的冲刷，进而对叶轮造成比较严重的磨损。

1.2.2 能耗高

脱硫系统中的浆液循环泵、氧化风机等多种主要设备, 具有较大的功率, 因此, 在实际运行中会消耗

大量电能, 容易造成脱硫设备能耗增大, 同时也会降低生产效益。生产企业需加大对设备能耗的重视度, 并将降耗作为脱硫设备管理的重要任务^[2]。

1.2.3 自动化控制要求高

脱硫系统的运行需要多种设备协调配合, 其中还涉及高复杂性的脱硫工艺流程, 若想使其安全、稳定运行, 则需对不同设备的运行参数予以精准控制, 进而提高脱硫效率与效果。例如: 脱硫系统中的吸收塔设备处在运行状态时, 需针对其液位、浆液 pH 值、烟气流量、二氧化硫浓度等多项参数进行动态化、实时化监测, 并结合脱硫系统的整体运行需求, 及时做好参数调整。因此, 脱硫系统的运行对自动化控制有着较高的要求。

2 脱硫运行优化系统的设备管理措施

2.1 节能环保管理

2.1.1 调整运行参数

针对脱硫运行优化系统的设备进行管理时, 生产企业可采用调整脱硫设备运行参数这一措施, 提高脱硫效率, 降低设备能耗, 进而提升设备的节能效果。为了更好地控制脱硫设备参数, 可引入人工智能技术、大数据技术, 针对脱硫系统构建完善的数字化模型, 借助该模型对脱硫系统中各项设备的运行状态进行实时模拟。同时还要结合实际情况, 预测分析运行状态变化趋势, 以此实现对设备运行参数的自动化、精细化控制, 保证脱硫系统及相关设备的运行效果。管理人员利用数字化技术调整脱硫设备运行参数时, 还应注意对其他相关参数予以联动优化, 以免单一的参数调整影响其他设备的运行状态, 确保整个脱硫系统的运行效率。除此之外, 在管理脱硫设备时, 管理人员也要结合生产环境的电负荷变化情况, 合理调整脱硫系统运行模式, 如在低负荷时段, 可根据监测情况选用合适的节能运行模式; 在高负荷时段, 则要基于监测数据, 选用确保脱硫效率的运行模式^[3]。

2.1.2 优化工艺流程

生产企业若想增强脱硫系统及相关设备的管理效果, 在加快脱硫速度的同时, 减少有害物质的排放, 就应结合实际, 科学优化现有的脱硫工艺流程, 以此提高脱硫系统的整体运行性能, 实现对能源资源的充分利用。在具体的优化过程中, 相关工业企业可探索海水脱硫、半干法脱硫等新型的脱硫工艺技术, 并根据生产需求及具体情况, 选择最佳的工艺路线, 改善脱硫运行流程, 提高脱硫系统的节能效果。另外,

在优化脱硫系统时, 生产企业还可采用模块化设计方式, 以便结合脱硫系统运行需求, 灵活调整工艺流程, 减少资源浪费。若要强化脱硫系统的环保效果, 生产企业还可将脱硫工艺与除尘、脱硝等环保技术相融合, 以加强对脱硫系统中不同污染物的协同治理, 降低脱硫系统的整体运行成本。

2.1.3 节能技术改造

为增强脱硫系统的节能效果, 减少不必要的资源消耗, 生产企业可引进合适的节能技术, 优化改造现有的脱硫设备, 从而降低脱硫过程中的能耗。例如: 针对传统的异步电机, 可采用高效节能的永磁同步电机予以替换, 以此提升电机的运行效率, 降低实际能耗。与异步电机相比较而言, 永磁同步电机的运行效率可提升 3% ~ 8%, 而且该电机还具有较高的功率因数、较大的启动转矩等多项优势, 在优化脱硫系统及相关设备运行方面有着重要作用。另外, 在脱硫设备改造中, 生产企业还可应用综合节能技术, 如将永磁电机与变频技术相结合, 进一步强化整个脱硫系统的节能效果。在脱硫设备的节能改造过程中, 生产企业应引进新型、环保材料, 需注意材料应具备轻量化、高强度特点, 以降低设备的整体重量, 减少设备能耗^[4]。

2.1.4 定期清理维护

在管理脱硫设备时, 生产企业需做好设备的清理维护工作, 避免影响设备运行效率, 提高能源利用率。例如: 针对除雾器应进行定期清理, 以免在脱硫设备运行中出现堵塞情况, 保证烟气能顺利排出, 避免因除雾器堵塞增大系统阻力, 导致风机能耗增多。此外, 在面对吸收塔、浆液管道等脱硫设备时, 管理人员还应进行仔细检查, 并做好防腐处理, 对于存在腐蚀、磨损部位, 要及时对其进行修复, 保障脱硫设备的使用寿命, 从而降低设备更新换代成本。

2.2 智能化管理

2.2.1 智能化监测诊断

针对脱硫设备进行管理时, 生产企业可应用传感器、物联网、大数据技术等, 构建完善的智能监测系统, 加强对脱硫设备运行的全程化、智能化、实时化监测与诊断, 有效规避脱硫设备的运行故障, 确保生产效率与产品质量。在具体的应用过程中, 生产企业可在脱硫设备关键位置安装传感器, 通过该装置全面采集设备振动、温度、压力等多项参数, 然后将这些数据上传到智能监测系统。借助大数据分析算法, 对相关数据进行深入挖掘分析, 科学预测设备运行过程中可能会产生的故障问题, 以便在第一时间发出预警, 提

醒管理人员及时对设备进行检查与维修,以防设备突发故障。此外,为增强对脱硫设备的智能化监测管理,生产企业还可引入深度学习算法技术,实现对脱硫设备运行状态的精准预测及诊断,推动设备管理从事后维修逐渐朝着预测性维护的方向转变^[5]。

2.2.2 自动化操作修复

为进一步提高脱硫设备的管理效率,降低脱硫设备故障的影响程度,生产企业应强化脱硫设备的自动化操作功能与故障修复功能,提高系统的运行安全性与可靠性。基于此,生产企业可引进模糊控制、自适应控制等算法,结合实时监测数据,自动调整设备原有的运行参数,促使设备运行达到最佳状态。此外,在脱硫设备维护工作中,生产企业还可应用清洗机器人、巡检机器人等先进机器人技术,助力完成高难度的脱硫设备操作任务,确保设备操作的安全性,同时也能提高脱硫设备的自动化管控水平。另外,生产企业还应加强研发设备故障自愈系统,在该系统运行过程中,一旦检测到脱硫设备运行异常,就能自动启动修复程序,根据异常情况对脱硫设备的运行参数予以适当调整,或切换备用脱硫设备,帮助生产企业缩短停机时间,降低其生产经济损失。

2.2.3 模型化分析优化

生产企业通过建立专门的数学模型,能实现对脱硫设备的科学模拟分析,保障设备的正常运行。在脱硫设备管理过程中,可利用数学模型针对吸收塔内的气液传质、化学反应、浆液循环等过程有效建模,分析脱硫设备各项运行参数在脱硫效率、能耗等方面的影响程度,以此为基础制定出最佳的设备运行方案。与此同时,管理人员还要利用模型预测控制技术,适当优化调整设备运行参数,提高脱硫设备的智能化管控水平。

2.3 安全管理

2.3.1 建立安全管理制度

安全管理制度可规范指导脱硫设备管理工作,提高管理效果,保障设备运行安全。因此,生产企业应建立健全的安全管理制度,制定各项脱硫设备的规范操作守则、维护检修机制,明确设备的具体操作要点、注意事项、维护检修流程及方法等,要求管理人员严格按照规范制度管理、维护脱硫设备,以此减少设备运行安全问题。例如:针对进入吸收塔等有限空间开展作业的人员,应要求他们提前做好通风换气、气体检测工作,确认空间内部安全无误才允许进入作业。

此外,生产企业也要制定安全管理责任机制,对于负责脱硫设备安全管理的部门、岗位人员,应详细指出其承担的具体职责及任务,而且要定期检查安全管理任务的落实情况,一旦发现问题,就要追究负责人责任,树立其工作责任意识^[6]。

2.3.2 加强安全风险防控

脱硫设备在生产运行过程中,会受到多种因素的影响,产生潜在的安全隐患,一旦处理不当,就会引发安全风险。因此,生产企业应针对脱硫设备加强安全风险防控,构建完善的安全风险防控机制,搭建事前、事中、事后的安全风险防控模式。以吸收塔为例,该设备在运行过程中可能会产生浆液泄漏的风险,为避免出现这一风险,管理人员可在塔体周围设置围堰,并配置应急收集装置,有效避免泄漏出来的浆液污染到周围环境。同时,还要定期检查与维护脱硫设备,提前消除潜藏的安全风险。若该设备已出现浆液泄漏风险,生产企业就要及时安排专业人员,针对具体情况采取合适的解决措施,并详细记录解决过程。解决完设备泄漏问题后,管理人员应进行总结反思,并建档保存,为以后的风险防控提供借鉴。

3 结束语

脱硫运行优化系统的设备管理具有复杂性、系统性的特点。在开展设备管理工作时,须从环保节能、智能化、安全化等多方面着手,引进先进的数字化、智能化技术,制定科学合理的管理策略。通过多种措施,提高设备管理的效率,使设备运行更加高效,进一步提升生产企业的整体效率与效益,并保护周围的生态环境。

参考文献:

- [1] 严开宇. 火电厂脱硫系统智能优化管理探究[J]. 电力设备管理, 2021(05):109-110,126.
- [2] 李庆华, 刘东波, 郑红旗. 脱硫运行优化系统在燃煤电厂的应用[J]. 电力设备管理, 2022(16):240-242.
- [3] 李笑寒. 火电厂脱硫系统热控设备改造及优化[J]. 电力设备管理, 2024(04):250-252.
- [4] 牛磊, 杨智, 王德生, 等. 发电厂脱硫系统智能优化管理分析[J]. 集成电路应用, 2024, 41(07):184-185.
- [5] 郭云翔. 火电厂脱硫系统智能优化管理分析[J]. 电力设备管理, 2021(07):139-140,157.
- [6] 张陈超. 脱硫中氧化再生系统的优化设计探讨[J]. 华东科技(综合), 2021(08):1.

一种电杆表箱安装紧固件的设计研制

杨 勇, 吴 峰, 周飞杨, 上官贝贝

(国网江苏省电力有限公司泗洪县供电分公司, 江苏 宿迁 223900)

摘 要 电杆表箱是电力系统中用于安装电表及相关设备的重要装置, 其固定方式直接影响设备的运行安全、稳定性和维护便利性。传统的电杆表箱固定方式(如螺栓固定、抱箍固定等)存在安装复杂、易受环境影响、维护不便等问题。本文针对电杆表箱安装不规范、安装难及安装用时长的问题, 设计了一种用于电杆上的表箱安装紧固件。该表箱安装紧固件运用工字型固定架、开口卡槽、可调节卡箍、紧固螺栓、拔插式可调铰链等模块组件构成, 提前将零部件模块组装, 现场根据实际安装高度及杆径调节安装即可。研究表明, 模块化表箱安装紧固件使表杆上表箱安装更为快捷、规范, 大大降低了人力成本, 提高了安装效率及安全性。

关键词 电杆表箱; 抱箍; 电杆卡扣; 调节部件

中图分类号: TM75

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.22.023

0 引言

电杆表箱作为电力计量与分配的关键设施, 广泛分布于各类供电线路沿线。其稳固安装不仅关系到电力设备的正常运行, 更关乎供电可靠性与安全性。宿迁市泗洪县农村地区 90% 的农业生产用电户为新型农业的种植灌溉及鱼塘口自动化作业用电。这些用电场景多处于远离村庄且缺少合适建筑固定电表箱的位置, 只能将电表箱安装于电杆上。传统抱箍式固定方式在长期实践中暴露出一些局限性, 当前普遍采用的铁丝缠绕和横担安装固定方式存在如安装复杂、对电杆适配性不足、在恶劣环境下易松动等问题, 需创新解决方案以保障农业电力供应的稳定与安全^[1]。

1 现有电杆表箱固定方式的问题剖析

1.1 传统抱箍固定方式

传统抱箍固定直接将电表固定在电杆上, 是操作较为简易、成本较为低廉的传统固定手段^[2]。由于电表箱底部为平面, 电杆呈圆柱形, 二者几何形状的天然差异使得接触面积小且贴合度极差。安装过程需人工多次调整抱箍位置、拧紧螺母, 且高空作业难度大, 耗费大量人力和时间, 尤其在大规模电网改造项目中, 严重拖慢工程进度。当遭遇户外常见的大风天气时, 风对电表箱产生的侧向力无法均匀分散, 极易导致电表箱歪斜。长期受此不平衡外力作用, 固定用的铁丝会逐渐松动, 电表箱稳固性每况愈下, 甚至出现脱落风险, 不仅影响电力正常计量与输送, 还对周边人员、牲畜及农业设施安全构成潜在威胁。不同电杆材质(如木质、混凝土、钢制)直径各异, 传统抱箍规格相对固定,

难以实现快速、精准适配, 常需现场二次加工或更换抱箍, 增加成本与施工复杂性。

1.2 横担安装方式

横担安装方式是在电杆上安装一个特制支架, 然后将表箱挂在支架上^[3], 表箱与电杆之间有一定的空间, 便于线路的接入和检修, 此种固定方式虽在一定程度上提升了电表箱的稳定性, 但其弊端同样显著。一方面, 横担及配套零部件的采购增加了材料成本, 运输、仓储等环节也额外耗费资源; 另一方面, 在电杆上安装横担操作复杂, 施工人员需高空作业完成组装、调试, 难度大且效率低。安装后电表箱向一侧伸出距离较长, 在狭窄的田间小道等农业作业区域, 容易与过往行人、农机发生刮擦碰撞, 既破坏环境美观, 又埋下安全隐患。以上常见的电杆表箱的安装方式长期面临诸多棘手难题。不规范的安装现象屡见不鲜, 不仅影响美观, 更可能埋下安全隐患; 安装过程艰难, 作业人员需耗费大量体力与精力应对复杂多变的现场状况; 耗时过长则直接拖慢工程进度, 增加人力与时间成本投入。为了从根本上破解这些困境, 研制了一款采用模块化弹性抱箍与自锁式紧固组件相结合的新型紧固方式。

2 新型电杆表箱安装紧固件的设计与组成

2.1 总体架构

为解决上述难题, 研制出一种稳定性高, 操作简单和成本较低的电表箱安装紧固件^[4], 它由表箱连接部分、电杆卡扣和紧固部分、调节部件三大关键模块构成, 各模块遵循模块化设计理念, 便于预制生产与现场快速组装。

2.2 表箱连接部分

1. 工字型固定架：设计可伸缩或可旋转的调节机构，适应不同直径的电杆和表箱尺寸。工字型固定架是表箱连接的核心骨架，其尺寸设计极具灵活性，依据市场上不同型号电表箱的规格差异，可进行便捷的组装调节。在支架的上、中、下三个区域，各精准布局4个安装孔，这些孔通过适配螺栓与电表箱背面紧密相连，确保表箱与固定架形成稳固整体。

2. 开口卡槽：位于工字支架正面上部和下部的下开口卡槽，是实现模块化插接的关键结构^[5]。其尺寸与卡扣紧固部分的突出模块严丝合缝，便于二者快速精准对接。开口卡槽中间设计凹形卡槽，对应模块组件底部凸型槽，二者相互咬合进一步强化连接稳定性。卡槽中间巧妙安置弹簧限位销，采用自锁螺母或防松垫片，防止紧固件因振动或外力松动。当与突出模块组件卡槽对接至预定位置时，弹簧自动触发，将销子弹出并嵌入限位孔，锁定连接，防止工字型固定架在卡槽内随意滑动。

2.3 电杆卡扣和紧固部分

1. 抱箍主体设计：通常抱箍由两个半圆组成，材质多为不锈钢或热镀锌钢，以确保在户外环境下的耐腐蚀性。该部件中间部分设计一个尺寸与工字支架上的开口卡槽相吻合的突出模块与其模块化插接，该半圆的一端用铰链连接另一半半圆相连接，当该半圆与圆柱形电杆卡合时可将另一半半圆通过铰链转动闭合用一根螺栓紧固即可安装完毕。同时抱箍内侧设计有自适应橡胶垫层，其材质具有高弹性、耐候性，能紧密贴合电杆表面，自动适应电杆的微小不规则形状，提高初始安装稳定性。

2. 可调节卡箍及配套结构：突出模块组件底部卡槽与工字型固定架通过卡槽将表箱固定在模块组件上，组件上不设计一定的弧形以贴合电杆的形状，弧形组件内圈分布上下通孔用于将可调节卡箍用插销固定在模块组件上。卡箍设置材质是由有一定弹性的钢带，螺栓紧固后能与电杆紧密贴合，卡箍下部与插拔式可调节铰链相连，通过插销将铰链固定在模块组件弧形孔的不同位置起到调节直径大小的目的以此适应非标准电杆或老旧电杆表面不平整时的电杆，卡箍上部一侧设通孔、一侧配螺母，便于螺栓紧固操作。

可调节卡箍是适配不同杆径的关键，通过灵活的调节机制，无论是纤细还是粗壮的电杆，都能实现紧密贴合，极大地拓展了紧固件的适用范围。紧固螺栓犹如“安全锁”，进一步加固各组件之间的连接，让

整个装置在户外复杂环境下经受住风雨、震动等考验。

2.4 调节部件

考虑到实际应用中电杆直径的多样性，在紧固件中间增设调节器至关重要。它能根据不同电杆直径动态调整紧固程度，确保安装稳固，避免表箱发生位移、晃动，导致表箱内电气元件受损，接线松动，进而引发计量不准、停电故障等问题，威胁供电网络稳定运行。

紧固螺栓采用镀锌铁质材料，兼具防锈与高强度特性，其紧固、拆卸部分设计为内角螺丝，需专用工具操作，有效防盗。插拔式可调铰链依电杆粗细精准定位，调节内圆直径，保障适配性。该自锁装置防止松动，大大缩短安装时间，同时确保高空作业时紧固的可靠性。

3 新型安装紧固件的安装方法

一种电杆上表箱的安装装置，包括工字型固定架、开口卡槽、突出模块组件、可调节卡箍、紧固螺栓、拔插式可调铰链。

3.1 工字型固定架安装

施工起始阶段，取出工字型固定架，将其平稳放置于操作台面。使用配套螺栓，精准穿过固定架4个角上的预留孔位，然后小心拧入电表箱背部对应孔中，过程中确保表箱背部与固定架紧密贴合，无间隙、无偏移，形成坚实一体，为后续步骤奠定基础。

3.2 表箱与突出模块组件连接

完成工字型固定架与表箱固定后，将固定好的表箱工字架背面凸出卡槽对准突出模块组件的凹形卡槽，缓慢、平稳插入。操作人员需注意力道与方向，确保插入精准到位。此时，卡槽中间弹簧限位销自动发挥作用，弹出销子锁定连接，表箱牢牢固定于突出模块组件之上，二者融为一体，避免位移。

3.3 可调节卡箍位置调整

在进行此步骤前，施工人员需借助测量工具仔细测量电杆粗细。依据测量数据，灵活操控插拔式可调铰链，将可调节卡箍精准固定在与电杆规格最适配的位置，如同为电表箱挑选合身“铠甲”，保障后续安装稳固、安全。

3.4 电杆卡箍紧固

待可调节卡箍位置调整完毕，操作人员双手握住卡箍开口处，轻轻向两边撑开，使其开口足以环抱电杆。将卡箍套入电杆后，迅速取出紧固螺栓，依次穿过卡箍上部通孔，拧紧螺母，严格按照规定扭矩操作，确保卡箍与电杆紧密贴合。

4 新型安装紧固件的工艺特点

新型电杆表箱紧固件设计具有以下应用优势。

4.1 突破电杆形状限制

新的电杆表箱固定装置不同于传统安装方式中电杆形状对表箱安装的束缚,无论电杆是笔直的圆柱体,还是锥形,都能通过其独特的弧形设计与调节部件实现适配,确保表箱安装的稳固与美观。

4.2 安装高度自由调节

表箱在电杆上的安装高度不再是困扰施工人员的难题,凭借其可调节的设计特性,既能满足低位置安装便于日常维护检修的需求,又可实现高位置安装以规避田间机械作业、动物破坏等干扰因素,适应性极强,满足了不同场景下的电力安装需求。

4.3 广泛的适用范围

通用性卓越,适用于各种类型的电杆独立安装电表箱场景,如大规模农田灌溉区、密集鱼塘养殖带或是分散的蔬果种植园等农业用电领域中电杆独立安装表箱场景。

4.4 便捷高效的现场操作

摒弃传统安装方式的繁琐流程,现场操作简易直观。未经复杂电力安装培训的新手,经简单指导后即可上手。当抵达安装现场后,施工人员只需依据电杆的实际高度,轻松调节安装位置,再结合电杆的直径对可调节卡箍进行适配性调整,就能迅速完成表箱的安装固定。整个安装过程快速流畅,大幅节约安装时间,加速农业电力设施铺设进程,为农业生产及时供能。

4.5 美观与安全并重

从外观上看,摒弃了铁丝缠绕的凌乱与横担安装的突兀,表箱通过圆弧形固定结构与电杆自然融合,整体造型美观大方,与周边农业环境相得益彰。同时,结构稳定可靠,有效避免了因铁丝缠绕导致的表箱倾斜甚至脱落等安全隐患,为电力运维和周边人员、设施的安全提供了坚实的保障。

4.6 结构稳固耐用

各个部件之间紧密配合,协同工作,规范统一的安装流程与稳固可靠的连接方式,全方位提升了安装的安全性,可有效规避因安装不当引发的线路故障、表箱坠落等风险,为电力系统的平稳运行筑牢根基。

5 实例验证

在宿迁市泗洪县某农村电表改造项目中,前期采用传统抱箍式固定,施工进度缓慢,且因表箱松动引

发多起停电抢修事件。中期采用抱箍式固定表箱,遇到不同直径的电杆,抱箍式表箱固定方式通过选用不同规格的抱箍,能快速适配电杆直径从 150 mm 到 300 mm 的变化,同时安装耗时仅为 4 分钟。施工效率显著提升,平均每日安装数量从 20 个增至 60 个。

同时,对抱箍式电杆表箱进行了抗风测试。在大风雷雨天气,经过专业仪器测量,表箱的晃动幅度仅为 5 mm,远低于安全限值。这是因为抱箍紧紧环绕电杆,能提供均匀的抱紧力,且通过合理的连接构件,使表箱与电杆形成一个稳定的整体结构,有效抵御强风等外力。后续运行监测显示,表箱稳定性大幅提高,因固定问题导致的故障近乎为零,有力保障了当地电力供应可靠性。

6 结束语

在农业电气化蓬勃发展的浪潮中,改进型抱箍式电杆表箱固定方式通过创新设计与优化安装工艺,有效解决了传统方式的诸多问题,在安装效率、稳定性、适应性等关键指标上优势明显,经实际工程验证切实可行。随着电力技术发展与电网建设需求增长,改进型抱箍式电杆表箱固定方式有望得到更广泛的应用,进一步推动电力设施安装向标准化、高效化发展,为电力系统安全稳定运行筑牢基础。同时,还可解决电杆表箱安装不规范、难安装及安装耗时久的困境,为农业电力设施安装提供更优方案。未来,随着农业技术持续创新与电力需求动态变化,仍需密切关注电杆表箱安装领域的新问题,不断改进此类紧固件,优化材料选型,降低成本;结合智能监测技术,实现抱箍状态实时感知,提前预警松动等隐患;拓展应用场景至更多特殊电力设施安装领域,持续为农业发展提供有力的电力保障。

参考文献:

- [1] 陈晨,张伟.农村电网电杆表箱安装现状及优化策略[J]. 电力工程技术前沿,2023,10(03):56-62.
- [2] 刘阳,王燕.电杆表箱传统抱箍固定方式的缺陷分析与改进方向[J]. 电气设备安装与维护,2022,15(02):33-39.
- [3] 赵辉,孙晓.横担式电杆表箱安装的问题及优化方案探讨[J]. 电网建设与应用,2024,08(01):45-51.
- [4] 李华,周明.新型电杆表箱安装紧固件的研发与应用前景[J]. 电力技术创新与实践,2023,07(04):22-28.
- [5] 郭强,吴琼.模块化电杆表箱连接结构的设计与性能分析[J]. 电气连接技术研究,2025,09(01):12-18.

BIM 技术在暖通空调施工设计中的应用研究

张瑞峰，张 朋

(临清市第一建筑工程有限责任公司，山东 临清 252600)

摘 要 建筑信息模型 (BIM) 技术作为一种新兴的数字化建筑信息模型技术，在暖通空调施工设计中展现出显著的优势。本文探讨了 BIM 技术在暖通空调施工设计中的应用，分析了其如何提升设计效率、优化设计方案、减少资源浪费，并确保施工质量和安全性。通过对 BIM 技术的定义、特点及其在暖通空调施工设计中的应用进行分析，旨在为推动暖通空调行业技术进步与发展提供技术参考。

关键词 BIM 技术；暖通空调；施工设计

中图分类号: TU2；TP3

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.22.024

0 引言

随着信息技术的快速发展，BIM 技术在建筑行业中的应用日益广泛。BIM 技术作为一种集设计、施工、运维于一体的综合性管理技术，通过将建筑工程项目中的各类信息数据作为基础，创建三维建筑模型，实现对建筑工程的数字化仿真模拟。在暖通空调施工设计中，BIM 技术的应用能够显著提升设计效率，优化设计方案，减少资源浪费，并确保施工质量和安全性。本文从 BIM 技术的定义、特点及其在暖通空调施工设计中的应用等方面展开探讨，以期为促进暖通空调行业发展提供有益的技术参考。

1 BIM 技术概述

BIM 技术，即建筑信息模型技术，是一种应用数字信息技术，以三维建筑模型为核心，集建筑设计、施工、运维等全生命周期所需信息于一体的系统管理技术。它通过将建筑物的几何形状、材质、属性、成本等信息，以及设计、施工和运维等阶段的信息整合到一个模型中，实现了建筑信息的集成和共享。BIM 技术的核心特点是三维可视化、信息化和协作化。三维可视化使得建筑物的形状、空间结构和内部构造得以直观地展示，方便设计人员、施工人员和业主进行沟通和理解。信息化则体现在 BIM 模型包含了建筑物的各种详细信息，这些信息可以被用于建筑设计、施工、运维等各个阶段，提高工作效率和决策水平。协作化则是指 BIM 技术可以使建筑项目各参与方在同一个平台上共享信息，协同工作，避免信息孤岛和重复劳动，提高项目整体效率。在建筑设计阶段，BIM 技术可以进行三维模型建立、参数化设计、资源管理和碰撞检测等，提高设计质量和效率。在工程施工阶段，BIM 技术可以进行施工模拟、

进度管理、资源调度和施工现场管理等，优化施工流程，提高施工效率，降低建造成本。在建筑运营管理阶段，BIM 技术可以用于设备维护、能耗分析、空间管理和维修管理等，提高设施管理的效率，延长建筑物使用寿命。此外，BIM 技术还具有预测施工结果、支持可持续设计和提高安全性等优点。通过 BIM 模型，可以在施工前模拟施工过程，预测施工中可能出现的问题，提前制定解决方案，减少施工过程中的变更和返工。同时，BIM 技术可以模拟建筑物的能耗、环境影响等，支持设计师进行可持续设计，降低建筑物的环境足迹。在施工安全方面，BIM 技术可以识别施工中的安全隐患，制定相应的安全措施，提高施工安全性^[1]。

2 BIM 技术在暖通空调施工设计中的作用

2.1 优化设计方案

传统的暖通空调设计过程往往依赖于二维图纸，设计师需要在脑海中构建三维空间模型，这不仅耗时耗力，还可能导致设计上的偏差和遗漏。而 BIM 技术的引入，彻底改变了这一状况。BIM 技术通过创建三维建筑模型，使得设计师能够直观地看到暖通空调系统在建筑空间中的布局和走向。这种直观性极大地降低了设计错误的风险，同时使得设计师能够更容易地识别和解决设计冲突。例如：通过 BIM 模型，设计师可以清晰地看到管道与建筑结构之间的空间关系，从而避免管道穿越承重墙或梁等不允许的位置。此外，BIM 技术还提供了碰撞检测功能，能够自动检测管道、设备等之间的冲突，进一步减少设计错误。在优化设计方案方面，BIM 技术还提供了强大的模拟分析功能。设计师可以利用 BIM 软件对暖通空调系统进行模拟运行，分析系统的能耗、温度分布、湿度控制等性能指标。

通过这些分析,设计师可以更加准确地评估设计方案的效果,从而做出更加合理的调整。例如:通过模拟分析,设计师可以优化管道布局,减少管道长度和弯头数量,从而降低系统能耗和成本。同时,BIM 技术还可以帮助设计师优化设备选型,选择更加高效、节能的设备,提高系统的整体性能。

2.2 提高设计效率

首先,BIM 技术提供了丰富的设计工具和库资源,设计师可以直接调用库中的管道、设备等元素,快速构建出三维模型。这些工具和库资源不仅减少了设计师的绘图工作量,还提高了设计精度和一致性。其次,BIM 技术实现了设计信息的实时共享和协同设计。设计师可以在同一个 BIM 模型上进行工作,实时查看和修改设计信息,避免了传统设计方式中的信息孤岛和重复劳动。这种协同设计方式不仅提高了设计效率,还促进了团队成员之间的沟通和协作。此外,BIM 技术还提供了强大的设计审查和审批功能。设计师可以将设计成果提交给相关部门或专家进行审查和审批,审查人员可以直接在 BIM 模型上进行标注和修改,大大提高了审查和审批的效率和准确性。这种数字化的审查和审批方式不仅减少了纸质文件的传递和存储成本,还加快了审批流程,缩短了项目周期^[2]。

2.3 减少资源浪费

首先,BIM 技术可以帮助设计师准确计算暖通空调系统的负荷和能耗。通过模拟分析,设计师可以了解系统在不同工况下的运行状况,从而合理确定冷热源设备的容量和数量。这种精确的负荷计算不仅避免了设备选型过大或过小导致的能源浪费,还提高了系统的运行效率和稳定性。其次,BIM 技术可以优化管道布局和设备配置。通过调整管道走向、减少弯头数量、优化设备选型等措施,可以显著降低系统能耗和运行成本。同时,BIM 技术还可以提供能耗监测和数据分析功能,帮助运营管理人员实时了解系统能耗状况,及时发现和解决能耗异常问题。此外,BIM 技术还有助于减少施工材料的浪费。通过精确的模型计算和材料清单生成功能,设计师可以准确计算所需材料的种类和数量,避免了传统设计方式中因估算不准确而导致的材料浪费。同时,BIM 技术还可以提供材料采购和库存管理建议,帮助施工单位优化材料采购计划和库存管理流程,进一步降低材料成本。

2.4 提升施工质量和安全性

首先,BIM 技术可以帮助施工人员更好地理解设计意图和施工要求。通过查看三维模型,施工人员可以

清晰地看到管道、设备等元素的布局和走向,了解施工过程中的关键节点和注意事项。这种直观性不仅提高了施工人员的理解能力,还减少了因误解设计意图而导致的施工偏差。其次,BIM 技术可以提供施工模拟和碰撞检测功能。通过模拟施工过程,施工人员可以提前发现潜在的施工冲突和安全隐患,从而制定相应的预防措施和解决方案。这种预防性的工作方式不仅提高了施工安全性,还减少了因施工偏差而导致的返工和成本增加。此外,BIM 技术还可以提供实时的施工进度监控和质量管理功能。通过实时更新 BIM 模型中的施工进度信息,施工人员和管理人员可以及时了解施工进度和质量状况,及时发现和解决施工过程中的问题。这种实时的监控和管理方式不仅提高了施工效率和质量水平,还增强了项目的可控性和可追溯性。同时,BIM 技术还可以提供施工过程中的材料管理和成本控制功能,帮助施工单位优化资源配置和成本控制策略,进一步提高施工质量和经济效益^[3]。

3 BIM 技术在暖通空调施工设计中的具体应用

3.1 供暖系统设计

BIM 技术在暖通空调施工设计中的首要应用之一是供暖系统设计,供暖系统作为建筑能源管理的重要组成部分,其设计的合理性和效率直接关系到建筑的舒适度和能耗水平。在供暖系统设计中,BIM 技术提供了三维建模的功能,使得设计师能够直观地看到供暖管道在建筑空间中的布局。这种直观性不仅有助于设计师更好地规划管道走向,避免与建筑结构或其他系统发生冲突,还能确保供暖系统在实际运行中的高效性和稳定性。通过 BIM 模型,设计师可以精确计算供暖管道的长度、直径和材质等参数,从而确保供暖系统的流量和压力满足设计要求。此外,BIM 技术还提供了供暖系统模拟分析的功能。设计师可以利用 BIM 软件对供暖系统进行模拟运行,分析系统的能耗、温度分布和舒适度等指标。这种模拟分析不仅有助于设计师优化供暖系统的设计方案,还能提前发现潜在的问题,如管道堵塞、热损失过大等,从而采取相应的措施进行改进。在供暖系统的施工阶段,BIM 技术也发挥了重要作用。通过 BIM 模型,施工人员可以清晰地看到供暖管道的安装位置和连接方式,从而确保施工过程的准确性和高效性。同时,BIM 技术还可以提供施工进度监控和质量控制的功能,帮助施工单位及时发现和解决施工过程中的问题,确保供暖系统的施工质量。

3.2 冷热源设计

冷热源的选择和配置直接关系到系统的能耗、可靠性和经济性。BIM 技术在冷热源设计中的应用,为设计

师提供了更加科学、合理的设计手段。在冷热源设计中, BIM 技术提供了丰富的冷热源设备库, 包括各种类型的冷水机组、热泵、锅炉等。设计师可以直接从设备库中选择合适的冷热源设备, 并将其添加到 BIM 模型中。这种设备选型的方式不仅提高了设计效率, 还能确保所选设备满足系统的性能和能耗要求。此外, BIM 技术还提供了冷热源系统模拟分析的功能。设计师可以利用 BIM 软件对冷热源系统进行模拟运行, 分析系统的能耗、能效比和稳定性等指标。通过模拟分析, 设计师可以优化冷热源设备的配置和参数设置, 从而提高系统的整体性能和能效水平。在冷热源设备的施工阶段, BIM 技术也提供了重要的支持。通过 BIM 模型, 施工人员可以清晰地看到冷热源设备的安装位置和连接方式, 从而确保施工过程的准确性和高效性。同时, BIM 技术还可以提供设备调试和运行维护的指导, 帮助施工单位更好地掌握冷热源设备的运行状况和维护要求^[4]。

3.3 管道综合设计

管道系统的布局和走向不仅影响系统的运行效率和稳定性, 还关系到建筑的美观性和安全性。BIM 技术在管道综合设计中的应用, 为设计师提供了更加全面、细致的设计手段。在管道综合设计中, BIM 技术提供了三维建模和碰撞检测的功能。设计师可以利用 BIM 软件创建管道系统的三维模型, 并对其进行碰撞检测, 以确保管道系统在实际运行中不会与其他系统或建筑结构发生冲突。这种碰撞检测的方式不仅提高了设计精度, 还能及时发现和解决潜在的问题, 避免施工过程中的返工和成本增加。此外, BIM 技术还提供了管道系统模拟分析的功能。设计师可以利用 BIM 软件对管道系统进行模拟运行, 分析系统的流量、压力和温度等指标。通过模拟分析, 设计师可以优化管道系统的布局和参数设置, 从而提高系统的运行效率和稳定性。在管道系统的施工阶段, BIM 技术也发挥了重要作用。通过 BIM 模型, 施工人员可以清晰地看到管道系统的安装位置和连接方式, 从而确保施工过程的准确性和高效性。同时, BIM 技术还可以提供施工进度监控和质量控制的功能, 帮助施工单位及时发现和解决施工过程中的问题, 确保管道系统的施工质量。

3.4 设备配置与优化

合理的设备配置和优化不仅能够提高系统的性能和能效水平, 还能降低系统的运行成本和维护成本。BIM 技术在设备配置与优化中的应用, 为设计师提供了更加科学、合理的设计手段。在设备配置与优化中, BIM 技术提供了设备选型和参数设置的功能。设计师可

以根据系统的需求和性能要求, 从设备库中选择合适的设备, 并设置相应的参数。这种设备选型和参数设置的方式不仅提高了设计效率, 还能确保所选设备满足系统的性能和能耗要求。此外, BIM 技术还提供了设备性能模拟分析的功能。设计师可以利用 BIM 软件对设备进行模拟运行, 分析设备的能耗、能效比和稳定性等指标。通过模拟分析, 设计师可以优化设备的配置和参数设置, 从而提高设备的性能和能效水平。在设备配置与优化的施工阶段, BIM 技术也提供了重要的支持。通过 BIM 模型, 施工人员可以清晰地看到设备的安装位置和连接方式, 从而确保施工过程的准确性和高效性。同时, BIM 技术还可以提供设备调试和运行维护的指导, 帮助施工单位更好地掌握设备的运行状况和维护要求。在设备运行过程中, BIM 技术还可以提供实时的数据监测和分析功能, 帮助运营管理人员及时发现和解决设备故障或性能下降的问题, 确保系统的稳定运行^[5]。

4 结束语

BIM 技术在暖通空调施工设计中的应用具有显著的优势和广阔的发展前景, 可优化设计方案、提高设计效率、减少资源浪费、提升施工质量和安全性, 为暖通空调行业发展提供有力的技术支持和保障。然而, BIM 技术的应用也面临着技术、人才和数据等方面的挑战。为了推动 BIM 技术在暖通空调施工设计中的广泛应用和发展, 需要加强技术研发和人才培养工作, 提高设计人员的专业技能和综合素质; 同时, 还需要加强数据管理和共享机制的建设, 提高数据的质量和可用性。未来, BIM 技术将在暖通空调施工设计中发挥更加重要的作用, 为建筑行业的数字化、信息化发展做出更大的贡献。

参考文献:

- [1] 钟雨帆.BIM技术在暖通空调设计中的应用初探[J].江苏建材,2022(04):35-37.
- [2] 董晓然.BIM技术在暖通空调施工设计中的应用研究[J].住宅与房地产,2021(31):105-106.
- [3] 邹文峰.BIM技术在暖通空调施工中的应用探讨[J].低碳世界,2020,10(08):104-105.
- [4] 周少军.BIM技术在暖通空调设计中的应用研究[J].绿色环保建材,2020(03):100,102.
- [5] 宋丹辉.BIM技术在暖通空调设计中的应用探讨[J].数字技术与应用,2020,38(02):85-86.

冶金工程中金属材料的热处理工艺分析

李锦涛¹, 郑雯婕²

(1. 山东海亮奥博特铜业有限公司, 山东 聊城 252600;

2. 银川能源学院, 宁夏 银川 750100)

摘要 在冶金工程中, 金属材料的热处理工艺是一种关键技术, 其目的是通过精确控制金属材料的热加工参数, 实现最大效益和预期性能。本研究针对不同金属材料进行了综合的热处理工艺分析, 包括淬火、回火、正火和退火等常用热处理方法, 并详细研究了每种工艺下材料微观结构的变化、性能优化及其应用场景, 还系统地研究了热处理工艺参数(如温度、冷却速度、处理时间)对材料性能的影响规律, 以期在冶金工程中金属材料的热处理提供理论参考。研究表明, 热处理工艺能够显著提高金属材料的硬度、强度和耐磨性, 同时也能改善材料的塑性和断裂韧性。

关键词 冶金工程; 热处理工艺; 金属材料; 微观结构; 工艺参数

中图分类号: TG15

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.22.025

0 引言

在冶金工程中, 金属材料的热处理工艺起着至关重要的作用。热处理工艺可以通过控制材料的热加工参数, 改变其微观结构, 从而改善其宏观性能。最为常用的热处理方法包括淬火、回火、正火和退火等, 这些方法通过调整热处理温度、冷却速度等参数, 能在保证金属材料硬度和强度的同时, 改善其塑性和韧性, 增强其使用性能。然而, 热处理工艺的研究不仅是对单一材料的热处理参数和效果的研究, 更是对不同金属材料在同一处理条件下微观结构和性能之间关系的一种深入挖掘。通过这种方式, 我们可以更好地理解金属材料的物理性质, 更准确地预知和控制金属材料的性能。然而, 尽管热处理工艺的研究及其在冶金工程中的应用取得了显著的成果, 但其实际应用中仍存在许多问题需要解决。因此, 本研究通过深入剖析热处理工艺和材料性能之间的关系, 旨在为实际工程应用提供有益参考。

1 热处理工艺的基本理论

1.1 金属材料和冶金工程基础概念辨析

金属材料和冶金工程是材料科学与工程领域中的两个基础概念^[1]。金属材料主要指由金属元素或以金属元素为主的合金材料, 因其具有优异的导电性、导热性、高延展性及机械强度, 被广泛应用于工业生产和日常生活中。常见的金属材料包括钢铁、铝、铜及其合金等。

冶金工程是一门研究金属提取、精炼、加工及性能优化的工程学科, 涉及从矿石到成品金属材料的整个生产过程。冶金工程技术包括矿物冶炼、冶金热处理及金属加工等多个方面, 通过控制工艺参数提升材料性能, 满足特定应用需求。

在冶金工程中, 金属材料的热处理工艺尤为重要。热处理工艺通过调整热加工参数, 如温度、冷却速度及保温时间, 调控金属材料的微观结构和性能, 从而实现其硬度、强度、塑性及韧性的优化。理解金属材料的基本特性与冶金工程的基本过程, 是研究和应用热处理工艺的前提, 为后续的工艺分析和改进提供理论支持和实践基础。

1.2 热处理工艺的主要类别及其特点

热处理工艺的主要类别包括淬火、回火、正火和退火等。淬火是将金属加热到适当温度后迅速冷却, 以获得高硬度和强度的过程。回火是在淬火后进行, 通过适当的加热和冷却, 降低金属的脆性, 提升韧性和塑性。正火是将金属加热到高温并自然冷却, 改善机械性能和微观结构均匀性。退火是将金属缓慢冷却至室温, 消除内部应力, 提升塑性和韧性。每种工艺针对不同需求, 优化金属材料的性能表现^[2]。

1.3 热处理工艺的基本步骤和流程

热处理工艺的基本步骤和流程通常包括预处理、加热、保温和冷却四个主要阶段。预处理是清洁和准备金属材料。加热阶段是将金属材料加热到规定温度,

以改变其内部结构^[3]。保温是保持金属材料在该温度下一段时间，使其内部结构均匀转变。冷却则依据工艺要求进行不同速度的冷却，常用冷却方法包括油冷、水冷和空气冷等方式，这一过程决定了材料的最终性能，例如硬度、强度和韧性等。每一步骤对于最终材料的性能优化至关重要。

2 常用热处理方法的详细解析

2.1 淬火方法的原理和作用

淬火是金属材料热处理过程中常用的一种方法，其主要目的是通过快速冷却来调整材料的微观结构，从而提高材料的硬度和强度。淬火原理基于奥氏体向马氏体转变的机制，当金属加热至特定温度并保持一段时间后，迅速冷却至低于临界温度，这种快速降温促使奥氏体结构转变为马氏体结构。马氏体是一种硬而脆的相，淬火后的材料硬度大幅提升。淬火过程中产生的内应力可能导致材料的脆性增加，需结合回火等后续处理来改善材料的综合性能。淬火工艺在冶金工程中广泛应用于钢铁和合金工具的强化处理，能够显著提升其耐磨性和抗疲劳性能。通过优化冷却介质、冷却速度和淬火温度等参数，可以有效控制淬火效果，提高材料性能和寿命。

2.2 回火工艺的应用和效果

回火工艺在冶金工程中的应用主要针对经过淬火处理的金属材料，通过控制加热温度和保温时间，达到减轻或消除淬火应力的目的，从而调节材料的硬度、韧性和内应力。回火后的金属材料晶粒结构更为均匀，减少了脆性现象，增强了综合力学性能。回火工艺通常应用于制造高韧性要求的部件，如高强度钢丝、机械零件和工具等，能够显著提高其使用寿命和可靠性。回火处理温度、时间和冷却方式的合理选择对最终材料性能有决定性影响，是优化金属材料使用性能的重要手段。在实际生产中，针对不同的材料和具体应用条件，需要精确调整回火参数以实现预期的性能目标。

2.3 正火与退火方法的对比分析

正火与退火方法在热处理工艺中具有重要地位。正火是将金属加热至高于临界温度，在空气中冷却，以细化晶粒，改善力学性能和消除内应力。退火是将金属材料加热到适当温度，保持足够时间后缓慢冷却，目的是降低硬度、增加塑性和韧性、改善加工性能。正火通常用于改善材料的均匀性，而退火更偏重于改变材料的物理性能和工艺性能。两者在实际应用中各有优势，选择时需根据具体需求进行权衡。

3 热处理过程中的微观结构变化

3.1 热处理对金属晶体结构的影响

金属材料的热处理过程中，其晶体结构发生显著变化，这直接影响材料的性能。热处理通过温度和时间控制，改变金属的晶格排列和相态分布，例如在高温下，引起原子扩散速度加快，促进晶粒的生长或细化。通过淬火，金属内部会形成马氏体，这是由于快速冷却导致的高温固溶体向低温状态的转变，形成具有高硬度和强度的结构。回火则在一定程度上缓解了马氏体内部的应力，导致铁素体和渗碳体结合体的形成，使材料具有良好的韧性。正火处理均匀化晶粒，改善不均匀的内部缺陷，从而提高材料的机械性能。退火则使晶体结构达到一种热力学平衡状态，降低材料硬度，增加塑性。通过控制这些热处理过程，金属材料的强度、硬度、塑性及其他性质能够被优化，适应不同的工程应用需求。

3.2 材料硬度强度以及耐磨性的微观改变

在金属材料的热处理过程中，微观结构的变化对材料的硬度、强度及耐磨性具有显著影响。热处理引发内部晶体结构的调整，通过相变或相界限的重新安排，增强了材料的抗变形能力。淬火工艺能够快速形成马氏体结构，使得金属在微观层面上产生显著的应变硬化效应，提升了硬度和强度^[4]。回火处理进一步优化了淬火后的组织结构，使残余应力得到释放，增强了材料的韧性和耐磨性。热处理使金属细化晶粒组织，通过减少晶粒尺寸有助于分散应力集中^[5]。在此过程中，过渡相、析出相的形成和分布对抗磨性提升具有重要作用，使得热处理后的金属材料在复杂环境中表现出优异的性能。这种性能的提升是通过精细调控热处理条件实现的。

3.3 考虑材料塑性和断裂韧性的微观变化

热处理对金属材料塑性和断裂韧性的微观变化主要体现在晶粒大小和分布、析出物形态及分布等方面。温度和冷却速率的不同会导致晶粒形成与长大，影响晶界数量和形态，从而改变材料的延展性和韧性。细小均匀的晶粒结构有助于提高塑性和断裂韧性，而不均匀或过大的晶粒则易引发脆性断裂。析出物的形态、尺寸和分布也显著影响材料的韧性，通过控制热处理参数可以优化材料的综合力学性能。

4 关键热处理工艺参数对金属性能的影响

4.1 温度对金属材料性能影响的规律

温度是影响金属材料性能的一个关键参数。在热处理过程中，通过对温度的精确控制，可以改变材料

的微观结构,从而实现性能的优化。在较高的温度下,金属内部的原子扩散加快,有助于形成更加均匀的合金组成和细化晶粒结构,提升材料的强度和硬度。温度过高可能导致晶粒粗化,降低材料的塑性和韧性。低温处理则倾向于保留材料的原有结构,可能增强抗腐蚀性及韧性。在不同的金属材料中,由于每种材料的物理化学性质不同,适宜的热处理温度亦不同。例如:钢材的退火和回火温度通常高于铝合金,因为钢材的合金元素及相变特性要求更高的温度来达到期望的性能。通过科学合理地调整热处理温度,可以有效提高金属材料的综合性能,为冶金工程的发展提供坚实的技术支持。

4.2 冷却速度对材料性能和微观结构的影响

冷却速度是热处理工艺中影响金属材料性能和微观结构的关键参数之一。较快的冷却速度通常导致金属材料内部形成大量的马氏体,显著提高材料的硬度和强度,但可能降低塑性和韧性。相反,较慢的冷却速度则易于生成稳定的铁素体和珠光体组织,有助于改善材料的韧性和塑性,但硬度和强度可能会有所下降。冷却速度对材料相变的影响受控于析出相的类型和分布,这直接关系到材料的宏观性能。冷却速度的选择应考虑材料的具体用途及工作环境,确保在满足性能要求的最小化可能产生的内部应力和变形。优化冷却速度能有效平衡材料的机械性能和使用寿命,提升其不同工程领域的适应性。

4.3 处理时间对金属材料性能的影响规律

处理时间对金属材料的性能影响显著。从微观结构角度,延长处理时间使晶粒尺寸增大,导致材料强度和硬度下降;反之,短时间处理可能造成不均匀的组织结构。不同材料对处理时间的敏感性各异,在具体操作中需根据材料特性和预期性能进行优化调整。合适的处理时间能够在保证材料强度和硬度的同时优化其塑性与韧性,进而提升材料的综合性能。

5 热处理工艺在冶金工程中的应用实践与展望

5.1 热处理工艺在冶金工程中的典型应用

热处理工艺在冶金工程中的应用非常广泛,其关键在于优化金属材料的性能,以满足不同工程需求。淬火工艺普遍应用于高强度钢铁材料的制造中,通过快速冷却,使钢材获得高硬度和高强度,常用于刀具、轴承和弹簧的生产。回火工艺在机械零件的制造过程中也占有重要地位,经过淬火后对材料进行回火处理,可以明显改善材料的韧性和抗冲击性能,使其更适合在复杂机械环境中工作。

在航空航天领域,正火和退火工艺同样至关重要。

正火处理可减少铸造和焊接过程中产生的内应力和晶粒粗化问题,使材料获得均匀和优良的综合性能。这对飞机发动机部件以及重要结构件的稳定性和可靠性有显著影响。退火则广泛用于有色金属及其合金的处理,通过延长加热和缓慢冷却,材料的塑性明显提升,有助于后续的冷加工和机加工。热处理工艺的精准应用极大地推动了冶金工业的进步,带来了多样化需求下的材料解决方案。这些成功案例展示了热处理技术对材料性能优化的显著效果,为行业的发展提供了具体实践和坚实的基础。

5.2 热处理工艺面临的主要挑战和研究方向

热处理工艺在冶金工程中面临诸多挑战和研究方向。不同金属材料的复杂组分和结构要求精确的热处理控制,否则可能导致缺陷或失效。在实际应用过程中,均匀性和稳定性是制约其应用和优化的重要因素。随着新型金属材料的不断涌现,传统热处理工艺可能不足以满足其特定性能需求,推动了对新工艺、新技术的研究。未来研究需聚焦开发智能热处理技术,利用计算机模拟及人工智能,实现对复杂热处理过程的精准控制和优化。

6 结束语

对冶金工程中金属材料的热处理工艺进行研究和分析,结果证实了热处理工艺能够显著提高金属材料的硬度、强度和耐磨性,同时也能够改善材料的塑性和断裂韧性。但是,热处理工艺参数(如温度、冷却速度、处理时间)对材料的性能也有影响。由于材料种类众多,各自工艺参数不同,具体应用需根据实际情况来选择。未来研究可进一步扩展至更复杂的热处理工艺场景,以全面优化金属材料的性能参数,推动冶金工程领域的发展。

参考文献:

- [1] 陈振.金属材料热处理工艺与技术分析[J].市场周刊·理论版,2020(56):188.
- [2] 吴炳琬,安亚中,李建华.金属材料热处理工艺及技术[J].化工管理,2023(21):137-140.
- [3] 吴冬,邱野.金属材料热处理工艺解析[J].中国科技期刊数据库工业A,2020(01):232,234.
- [4] 朱胜君,丁小九,李国忠,许晓红,蔡燮鳌.刍议金属材料热处理工艺解析[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2020(12):168-169.
- [5] 汪延.金属材料热处理工艺及发展探究[J].中国科技期刊数据库工业A,2021(09):156.

绿色建筑全寿命周期建设工程管理和评价体系分析

杨晓容

(荣县拓新实业有限公司, 四川 自贡 643100)

摘 要 绿色建筑全寿命周期管理及评价体系贯穿于从建筑设计到拆除的全过程, 其核心是以资源节约、环境保护和可持续发展为原则, 融合科学管理技术, 利用系统化的评价方法对建筑性能进行分析。本文主要探讨了绿色建筑全寿命周期建设工程管理措施, 梳理操作路径中的关键节点, 并分析了其工程评价体系, 探讨了如何在绿色建筑全寿命周期建设工程中实现可持续绿色发展, 以期为推动绿色建筑从理念转化为实践路径、提升行业绿色管理水平提供借鉴。

关键词 绿色建筑; 全寿命周期建设; 工程管理; 评价体系

中图分类号: TU723

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.22.026

0 引言

绿色建筑全寿命周期的工程管理和评价体系以可持续发展理论为基础, 其关注点在于建筑生命周期内的资源利用效率、生态环境适应性和社会经济效益。其中, 管理过程注重对动态系统的控制, 利用规范化措施提高工程质量。评价体系的理论依据则强调对建筑功能与环境影响之间关系的深刻理解, 通过定量与定性方法相结合, 揭示建筑在各阶段的价值。因此, 绿色建筑理论的研究可为工程实践提供方法论指导, 对评价标准进行探讨, 可为促进建筑行业朝向环境友好的方向发展提供有益参考。

1 绿色建筑全寿命周期建设工程管理措施

1.1 规划设计: 因地制宜, 智能优化

在绿色建筑规划设计阶段, 数据采集与分析是基础环节。设计人员可利用卫星遥感系统、气象站设备和地质勘探工具获取区域地形、气候等信息, 并利用 CFD 和 Ladybug 插件优化建筑选址, 确保自然通风的最佳效果^[1]。在材料选择方面, 借助 Athena Impact Estimator 和红外热像仪对建材的碳排放、热性能和循环利用率进行评估, 以确定绿色性能最佳的方案。数字化建模则可以利用 BIM 平台和 TRNSYS 工具, 实现设计方案的精细化分析, 并结合 TensorFlow 预测能源需求, 优化能源管理设计。协作平台如 Navisworks 可整合多学科设计, 环境监测传感器则能动态反馈施工信息, 确保设计方案与实际条件一致。针对可再生资源, 光伏模拟工具 PVWatts 可优化太阳能发电系统布局,

而雨水收集优化工具 SWMM 能够提升降水利用效率, 同时 Tekla Structures 等模块化建筑设计工具可促进材料的循环利用。

1.2 绿色施工: 节能减排, 环保先行

在施工阶段, 施工人员可利用变频塔式起重机和能耗监控系统优化设备功率输出, 智能照明系统则可利用光感应器调节场地亮度减少电力浪费, 同时, 绿色混凝土搅拌设备可以精准计量并配置除尘系统降低粉尘排放。减排措施主要包括: (1) 喷雾降尘设备结合颗粒物监测传感器动态控制扬尘扩散; (2) 智能洒水车按需规划洒水路径; (3) 移动式破碎机与分选设备处理建筑垃圾将其转化为再生材料; (4) 空气净化设备通过静电捕集和活性炭过滤减少有害气体排放。另外, 水资源管理可利用废水回收装置(沉淀池与过滤系统)和模块化储水罐, 利用沉淀、过滤处理清洗废水及收集雨水, 用于降尘和车辆清洗^[2]。针对环保材料管理, 管理人员需采用二维码或 RFID 标签追踪建筑材料的来源, 以确保材料低碳环保, 装配式施工技术可用预制构件减少现场废弃物, 自动焊接机器人还能提高施工精度并减少焊渣产生。结合 BIM 平台与多参数传感器网络, 施工人员还能整合施工数据动态调整方案, 实时监控资源与污染指标, 确保全过程符合绿色施工标准。

1.3 运营使用: 智能管控, 节能增效

在运营使用阶段, 绿色建筑能源管理依托智能能源管理系统(EMS)和智能电表, 以实时采集电、水、

气等数据,并结合 AI 优化算法动态调整空调、电梯和供暖设备的运行功率。光伏发电系统能够利用高效逆变器和储能装置优化发电与用电切换,提高可再生能源利用比例^[3]。同时,温湿度传感器、二氧化碳监测器与中央空调系统联动可实现环境调节,动态调整送风量。智能窗户系统能够根据外部风速和空气质量监测,调节自然通风强度,减少设备依赖。而智能照明可结合光感应器与人流传感器,自动调节区域开关状态,非工作时间通过定时模块关闭照明电路,避免浪费。设备维护可使用预测性维护系统、振动检测仪和热成像仪实时监测运行状态,结合 AI 算法预警故障并远程诊断,确保设备稳定高效。对于废水与废热管理,废水回收系统可将中水处理用于冲厕或绿化,余热回收设备则能够将空调废热用于热水或供暖。

1.4 维护更新:持续优化,绿色升级

绿色建筑在维护更新阶段,设备诊断可以利用振动检测仪、热成像仪和超声波泄漏检测仪实时监测水泵、电梯等关键设施运行状态,结合远程诊断平台分析数据并生成预警,精准定位故障点。而设备更新可采用:(1)空气源热泵替代传统供暖系统,实现高效能源转换;(2)智能 LED 照明系统结合自动调光模块优化能耗;(3)再生制动电梯通过制动能量回收减少耗电量。对于建筑围护结构的优化,维护人员可使用无人机热成像检测外墙保温性能,发现热损失区域并修复,同时利用高压水枪清洁光伏板还能维持高效发电^[4]。除此之外,BIM 系统与能耗管理平台结合,可以记录设备历史数据并监测能源使用,为维护人员动态提供优化建议。之后,废弃设备与材料可以利用分拣回收系统分类处理,其中,金属再加工、混凝土经移动式破碎机能够加工为再生骨料,用于地基建设。

1.5 拆除再生:分类回收,循环利用

在对绿色建筑拆除时,拆除人员拆除前可利用 BIM 系统和 3D 激光扫描设备创建建筑数字化档案,结合材料追溯系统明确可回收资源的位置,以此优化拆除顺序。在拆除过程中,拆除人员需要采用液压剪、破碎锤和高效切割机根据材料特性精准操作,避免二次破坏。喷雾降尘设备则可结合扬尘监测系统抑制粉尘扩散,而高效降噪设备能够利用声波阻隔技术降低噪声影响^[5]。对于分类回收,拆除人员可使用磁选机以及涡电流分离装置回收金属材料,用移动式破碎机和筛分机处理混凝土废料,制成再生骨料用于道路建设。对于木材,拆除人员则可使用高速切片机制成木片或再生板材,对于塑料,拆除人员可将其熔融重塑机制备新型构件,

而玻璃可通过粉碎筛分系统加工为玻璃砂,电线剥皮机可分离铜芯与塑料外壳供后续利用。在拆除后的运输环节,运输人员可使用 GPS 定位系统优化算法提高效率,利用废料管理平台追踪资源流向。在施工现场,施工人员可使用扬尘监测设备、围挡和防护网保护周边环境。与此同时,移动式分拣站在初步分类后,再生利用中心可以对废料进行再加工并记录回收率,确保资源进入闭环循环,实现绿色拆除的全面目标。

2 绿色建筑全生命周期建设工程评价体系

2.1 规划阶段:立足生态,注重长远

在规划阶段,绿色建筑全生命周期评价体系以生态适配性、资源节约性和长远经济性为核心。生态适配性可通过 ENVI-met 和 GIS 平台评估建筑选址对区域生态系统的影响,优化布局以减少干扰。资源节约性则利用 EnergyPlus 预测未来能耗,结合太阳能辐射分析工具设计光伏系统,提高清洁能源利用效率。SWMM 能够模拟雨水收集与排放方案,优化水资源循环利用。而长远经济性还需结合土地利用分析工具评估开发与绿地配置平衡,提出高效资源配置方案。空间功能可利用 Pathfinder 优化建筑动线,调整分区以契合使用需求。该阶段评价流程包括数据收集、模型分析、方案对比和综合评分。GIS 与气象平台可采集区域生态数据,并结合 BIM 平台动态模拟布局。而多目标优化算法能够对方案进行量化分析,结合 LEED 或中国绿色建筑标识等标准完成综合评分。

2.2 设计阶段:因地制宜,节能优先

绿色建筑全生命周期评价体系在设计阶段可利用气候适应性设计、节能性能评估、自然资源利用和功能空间优化,实现因地制宜和节能优先的目标。例如:针对气候适应性设计,当区域年平均风速超过 3 m/s,且主导风向稳定时,设计人员应利用 CFD 模拟评估建筑群体布局,使其可以形成自然通风通道,减少机械通风需求。对于日照条件,当全年日照小时数超过 2 000 小时且辐射强度高于 800 W/m²,可结合 PVWatts 评估光伏板安装角度与面积,将太阳能转化率提升至 18% 以上。在节能性能评估中,当区域夏季最高温度超过 35 ℃,EnergyPlus 模拟结果显示制冷负荷占全年能耗的 45% 以上,建筑设计应利用 DIVA 评估外遮阳装置,将室内热增益减少 25%。同时,当冬季最低温度低于 0 ℃且模拟采暖负荷占 30% 以上,应选择导热系数低于 0.03 W/(m·K) 的保温材料,并评估墙体与屋顶隔热性能,降低采暖能耗。自然资源利用方面,当年降雨量大于 800 mm,SWMM 模型模拟显示雨水年回收率可达

50% 以上时, 应设计雨水收集与回用系统, 用于绿化灌溉与冲厕, 减少市政供水需求 20% 以上。

2.3 施工阶段: 科学施工, 绿色践行

绿色建筑施工阶段的评价体系主要以资源利用率、能耗控制和环境影响管理为核心, 采用科学的指标和工具实现资源节约与环境友好。资源利用率控制可通过建筑材料追踪系统和自动计量装置, 评估材料使用情况。例如: 当混凝土实际废料率超过 5%, 系统可触发警报并调整材料配比参数; 钢筋切割余料比例超过 2% 时, 自动优化切割方案, 减少废料产生。能耗管理则依托能耗监控系统, 当设备连续运行超限时, 系统可评估运行周期, 以降低峰值用电。同时, 环境影响控制可利用扬尘监测设备评估颗粒物浓度, 如当 PM_{2.5} 超 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 喷雾降尘系统会自动加大强度。废弃物管理可利用分类回收系统与破碎筛分设备, 评估废料的剩余价值, 并将混凝土废料加工为再生骨料, 当废料堆积量超上限, 该设备会自动启动破碎流程实现再利用。该阶段评价流程主要依靠物联网传感器采集数据, 施工信息化平台生成分析报告。BIM 平台能够结合优化算法模拟施工过程, 动态调整资源分配与能耗策略。

2.4 运营阶段: 智能监测, 效能最优

在运营阶段, 绿色建筑全寿命周期的评价体系以智能监测和效能优化为核心, 利用实时数据采集, 实现能源利用、环境质量和设备运行的综合优化。以上海中心大厦为例, 上海中心大厦智能能源管理系统采用了分布式电表监测各区域用电, 当楼层用电超出每日预算 15% 时, 系统会评估总用电量, 并减少非关键设备运行。环境质量监测集成了温湿度、PM_{2.5} 和 CO₂ 传感器, CO₂ 浓度超过 1 000 ppm 时, 新风系统会评估当前 CO₂ 浓度, 并自动调节风量至 800 ppm 以下。湿度控制系统也能实现动态评估, 加湿或除湿设备可保持湿度在 45% 至 60%。

2.5 维护阶段: 高效管理, 持续发展

绿色建筑全寿命周期评价体系在维护阶段主要依靠对设备性能、资源利用和环境质量的综合管理, 确保建筑的长期稳定运行。设备维护采用预测性维护系统, 利用振动检测仪与热成像仪监控电梯、水泵等设备状态, 并结合远程诊断平台评估潜在问题并生成维修建议。设备日志则会记录运行时长与故障频率, 定期评估监测设备以确保数据准确性。资源利用优化可利用能耗监控系统动态分析建筑用电与空调负荷, 调整运行时间。同时, 水循环监测装置实时监控中水系统与雨水收集池的处理效率, 维护过滤装置与管道连接处的密封性, 避免资源浪费。对于环境质量保障,

维护人员可以利用空气质量检测仪监测室内 PM_{2.5}、CO₂ 和 VOC 浓度, 当系统评估 CO₂ 浓度升高或 PM_{2.5} 超标时, 新风系统需加大运行频率并定期更换滤网, 避免室内空气污染。对于绿化系统, 湿度传感器与土壤检测设备可以评估灌溉数据, 调整喷灌频率和水量, 以确保绿植健康生长, 同时还能避免用水浪费。

2.6 拆除阶段: 资源回收, 循环再造

绿色建筑全寿命周期评价体系在拆除阶段以资源回收与循环再造为核心, 借助材料分类、废弃物处理和环境影响控制, 最大化资源价值并降低环境负担。评价目标包括高效资源回收与再利用, 利用科学管理实现建筑材料精准分类以及循环处理, 减少废弃物的填埋。材料评估与回收是核心内容, 其中, 混凝土可破碎为再生骨料, 金属经磁选与熔炼可以实现循环利用, 而木材能够处理为再生板材或生物质燃料, 塑料和玻璃可以制备为新型建材。同时, 环境影响评估需要纳入粉尘、噪声和废水的评价范围, 扬尘控制系统可以动态调节喷雾强度, 降低粉尘扩散。降噪设备则针对拆除高噪声区域设置隔音屏障, 减小噪声对环境的干扰。而废水处理系统能够评估施工现场的污染水体, 并对其进行沉淀与过滤处理, 确保排放水质符合环保标准。对于评价流程, 拆除前, 拆除人员可利用建筑信息建模系统评估材料分类方案, 明确优先回收对象。

3 结束语

绿色建筑全寿命周期的管理和评价体系为实现可持续发展目标提供了系统支持。通过规划、设计、施工、运营及拆除各阶段的科学评价和管理, 建筑项目在资源利用、环境保护和经济效益方面实现了动态平衡。每个阶段的评价体系以明确目标和科学指标为基础, 利用精细化的实施流程构建全局性的优化框架。未来, 随着技术的发展与管理方法的创新, 这一体系将在应对环境挑战和推动绿色转型中展现出更大的潜力。

参考文献:

- [1] 沈绵鑫. 绿色建筑全寿命周期建设工程管理和评价体系分析 [J]. 陶瓷, 2023(12):204-206.
- [2] 吴超. 论绿色建筑全寿命周期建设工程管理和评价体系 [J]. 中国招标, 2023(07):173-176.
- [3] 朱从澍. 绿色建筑全寿命周期建设工程管理和评价体系分析 [J]. 居业, 2023(06):188-190.
- [4] 高传玉. 绿色建筑全寿命周期建设工程管理和评价体系研究 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2023(16):53-55.
- [5] 王旭. 绿色建筑全寿命周期建设工程管理和评价体系分析 [J]. 价值工程, 2022, 41(03):52-54.

交叉学科融合背景下技术产权制度与科技成果转化效率的耦合研究

杨佳莹¹, 牟宗宾², 刘小瑞³, 周宗博², 杨宇婷⁴

(1. 吉林省科技开发交流中心, 吉林 长春 130000;

2. 吉林省科技创新研究院, 吉林 长春 130000;

3. 吉林省知识产权保护中心, 吉林 长春 130000;

4. 吉林省科技创新研究院有限公司, 吉林 长春 130000)

摘 要 在交叉学科融合发展的背景下, 科技成果转化呈现出多元复杂的特征, 传统技术产权制度在适配与效率提升中暴露出诸多问题。本文围绕技术产权制度与科技成果转化效率的耦合关系展开研究, 分析交叉学科带来的成果属性变化与转化困境, 梳理现有制度在成果归属、利益分配与契合机制中的运行特征, 进一步探讨制度因素与转化效率之间的耦合路径, 结合典型领域实践表现, 提出优化耦合关系的制度策略, 以期提升交叉成果转化效率提供理论参考。

关键词 交叉学科; 技术产权制度; 科技成果转化; 耦合机制

中图分类号: G31

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.22.027

0 引言

随着科技创新日益呈现跨界交融趋势, 交叉学科成为推动原始创新与重大科技突破的重要力量。相较于传统学科, 交叉研究往往在知识融合、资源协作与成果表达形式方面更加复杂, 对成果转化的制度环境提出更高要求。技术产权制度作为连接科研活动与市场机制的重要纽带, 其科学性与适应性直接影响科技成果的转化效率。在此背景下, 深入研究制度设计与成果转化之间的耦合关系, 对于落实创新驱动发展战略、提升国家科技治理能力具有重要的意义。

1 交叉学科融合背景下科技成果转化的新特征

1.1 交叉学科的内涵及其融合发展动因

交叉学科并非简单的学科叠加, 而是在不同知识体系相互渗透的过程中形成的新兴领域, 其本质在于打破传统学科壁垒, 通过逻辑体系与研究方法的重组, 引导新的研究范式诞生^[1]。随着国家创新体系的不断完善和科技问题复杂程度的加剧, 传统单一学科已难以独立支撑关键领域的核心突破, 在这一背景下, 人工智能与生命科学、材料科学与环境工程、信息技术与医学等交叉领域逐渐兴起。高等院校与科研机构纷纷设立交叉研究平台, 推动资源、人才、技术的高频流动, 为知识融合创造制度与空间上的基础条件。这

一趋势不仅推动了原始创新的活跃, 也使得科技成果的边界变得更加复杂, 传统的科研评价与管理体系在此背景下暴露出适应性不足的问题。

1.2 科研成果的多元特性与转化复杂性

交叉学科产生的科技成果往往体现出多技术路径融合、多主体参与及多形态呈现的特征, 这种成果形态的不确定性直接影响其后续的价值评估、知识产权归属与产业转化路径。在实际科研活动中, 交叉型项目往往包含多个研究环节与并行技术流程, 其产出形式不仅局限于可专利的技术成果, 还包括数据集、算法模型、工程集成方案等, 这类成果难以适用单一标准进行界定。更重要的是, 成果从形成到转化往往涉及多个利益相关方, 在没有明确的制度保障下, 产权划分、价值认定和利益分配均存在较大争议。交叉研究成果由于学科归属模糊, 往往面临转化责任不明、审批机制不清、技术通道不畅等现实困境, 使得原本具备高应用潜力的创新成果滞留在实验室阶段^[2]。

1.3 交叉背景下成果转化效率面临的关键困境

在交叉学科驱动的科研体系中, 成果转化效率受制于多个层面的结构性障碍。一方面, 科研组织结构以学科为主线, 资源配置、绩效考核与激励机制大多基于传统学科逻辑, 导致交叉成果在评估与激励环节

缺乏制度支撑；另一方面，现有科技成果转化流程标准化程度较高，难以适应交叉成果路径多样、成果形态非标准化的特征。此外，交叉学科团队往往具有多领域背景，缺乏统一的管理语言与合作模式，在转化过程中协调成本上升，技术方案的对接效率低下。再加上政策导向与行业支持尚未完全覆盖交叉创新领域，产业化平台在识别、吸纳和孵化交叉科技成果方面机制不健全，这些因素叠加作用，显著抑制了交叉学科科技成果向产业应用的转化效率。

2 技术产权制度的结构体系与适配性问题

2.1 技术产权制度的核心要素与运作机制

技术产权制度并非单一法律工具体系，而是科技成果从创造到价值实现过程中形成的复合性制度安排，涵盖权属认定、产权登记、市场流通、收益分配与侵权救济等环节。在现行科研管理体系中，技术产权运作多依附于国家职务发明体制及高校、科研机构主导的成果管理模式。制度设计强调成果来源的法定归属，强化单位对科研产出的所有权控制，并将处置权回归机构科研管理部门，由其决定许可或转让的方式与对象。这一机制在传统单一技术路径下具有效率，但面对跨学科知识交汇、开放式协同创新的实际需求，制度往往无法适配新型合作模式和复杂成果形态，导致其运行效率与科研现实之间出现结构性错配，进而阻碍成果的快速转化与落地^[3]。

2.2 成果归属与收益分配中的制度设计难点

交叉学科背景下的科技成果多由多学科团队协作完成，涉及多个机构与平台，这种成果生成机制与产权制度中单一归属逻辑之间存在显著张力。目前以单位为核心的产权确认与分配基础，难以应对成果权属模糊、知识贡献难以量化的情境，从而引发归属争议与收益分配矛盾。例如：在人工智能与临床医学交叉研究中，算法与临床数据的协同产生往往无法界定核心创新归属，专利申请与成果登记阶段容易延误甚至搁置。现行制度对非专利类成果如数据集、平台工具等缺乏明确权属界定，使大量成果难以进入产权登记体系。同时，收益分配机制对团队贡献结构缺乏细致表达，仅依单位排序或行政审批进行分配，难以激发协作活力，进而削弱团队的持续合作动能。

2.3 技术产权制度与交叉科研活动的契合度分析

制度与科研模式的适配度直接决定成果转化的边界，而现行产权制度仍建立在线性科研流程与行政归属原则之上，其对交叉科研中非线性合作结构和去中

心化创新路径的响应能力较为滞后。在技术形成阶段，交叉科研通常经历多轮试验与协同，成果形态动态演进，技术成熟度分层推进，而制度要求成果必须稳定成型才能确权，这与交叉成果“边形成边转化”的实际路径严重脱节。交叉团队普遍缺乏产权意识与流程配合机制，研究人员更重视学术发表，产权事务常依赖机构主导，一旦制度无法识别非传统成果形态，就会导致确权滞后、价值沉没，最终削弱科研组织对交叉合作的投入意愿，制约整体成果转化生态的活力。

3 技术产权制度与科技成果转化效率的耦合机制

3.1 制度因素对转化效率的作用路径

科技成果的转化效率并非单一技术问题，而是产权制度安排与成果特性互动作用的系统结果。制度因素介入转化过程的各个环节，从权属确认到价值实现，构成了完整的治理链条。在交叉学科情境中，制度对转化效率的影响路径呈现出多维扩展，一方面表现在成果确权环节中，产权归属制度的明确程度决定成果能否顺利进入市场化阶段，若归属模糊，合作主体间将陷入权利冲突，直接延误技术推进节奏。另一方面，制度对转化过程中的资源配置效率具有决定性影响，例如：许可使用制度的灵活性与收益分配机制的透明度，将影响研究人员及机构参与转化的意愿，从而改变成果从实验室走向市场的动力结构。在交叉学科体系中，技术路径与产业落地高度依赖对接机制，若产权制度未能形成与合作复杂性相匹配的支撑结构，将导致资源错位、转化延迟，最终表现为成果效率的系统性下降^[4]。

3.2 制度与效率耦合系统的动态关系解析

技术产权制度与成果转化效率之间并非单向因果关系，而是一个相互制约、动态演化的耦合系统。产权制度在确权、激励与治理层面塑造转化环境，而成果转化的成效反过来也会推动制度的演进与调整。在交叉学科中，这一耦合关系的动态特征尤为明显。由于技术更新速度快、成果形态不断重构，制度对新型成果的回应力成为衡量其适配性与效率贡献的关键指标。若制度能实现对交叉成果特征的及时识别与规则响应，转化效率将呈现出正向增长趋势，反之，若制度响应滞后或适配失调，则可能造成成果流转机制紊乱，形成“制度滞后—效率下降—成果沉积”的负向循环。因此，制度与效率之间的耦合关系不仅要求制度具有静态的适用性，更要求其具备动态的反馈机制与演化能力，使产权制度能够跟随交叉成果生态的变化不断优化自身结构，维持成果转化系统的协调稳定。

3.3 典型交叉领域中的耦合问题与表现特征

在多个技术融合密集的先进领域中,技术产权制度与转化效率之间的耦合问题已表现出具有代表性的结构性特征。在人工智能与医疗健康交叉应用领域,算法模型与医学数据的混合成果难以以传统专利或著作权进行清晰确权,导致多方主体在转化初期陷入权属争议,制约成果进入临床或商业化流程。在材料科学与环境治理的融合领域,新材料成果往往尚未达到成熟的标准化形态,即被产业链需求推动进入快速转化环节,此时若产权制度未能对低成熟度成果建立弹性确权机制,将造成成果在投入与收益之间脱节,打击研究方持续参与意愿。在这些典型案例中,产权制度未能与复杂成果结构形成高效匹配,表现出法律适用模糊、确权流程僵化、治理主体责任不清等突出问题,这些症状本质上源于制度设计滞后于转化实践,导致成果从知识资源向经济资源转化的效率受阻,形成交叉领域中“制度疲软—成果沉积”的结构性耦合失衡^[5]。

4 优化产权制度与转化效率耦合关系的路径探索

4.1 完善成果归属与权利共享机制

构建适用于交叉科研成果的权属机制,需要在成果形成前、中、后期设置协同确认的节点机制。在项目立项阶段,应引导各参与单位签署知识产权预协议,明确各方在成果形成过程中可能承担的知识、资源与数据贡献,并设定阶段性评估机制,由项目秘书组或第三方平台定期组织对技术贡献进行初步量化,为后续确权提供佐证。在成果申报阶段,可引入“多元贡献要素权重登记表”制度,将算法贡献、实验设计、数据整合等非传统发明行为纳入确权依据,并辅以专家评审与合同文件支撑,在成果登记系统中进行联合署名备案。转化前阶段则应依托高校或科研机构知识产权管理中心设立协同确权通道,提供分项确权审查与权益比例建议服务,防止因权属不清导致成果冻结。上述机制能够在组织与制度层面为交叉成果确权提供流程化、标准化支持,有效缓解产权归属模糊问题。

4.2 构建跨学科激励与协同转化机制

提升转化效率需打破以项目制为基础的激励封闭性,转向基于“团队—成果—市场”链条的全流程激励结构。首先,在项目推进期,应设立动态激励账户,按阶段成果产出情况分批释放绩效预算,并通过研发日志与同行评议制度调整奖励权重,鼓励团队成员主动记录技术贡献。其次,在转化执行期,可引入“技术入股+现金激励”并行机制,允许核心技术人员以

成果作价入股成果转化公司或运营主体,分享转化长期收益。在科研平台层面,应推动成果转化考核指标并入绩效评价体系,明确将技术许可次数、成果市场反馈、行业认定情况作为科研职称评审与团队评价的重要指标。为保障这些激励措施落地,可由科技管理部门牵头设立“协同激励实施细则”,针对跨学科团队制定专项转化配套文件,使激励制度具备行为引导力与组织落实力。

4.3 推进政策支持与平台支撑的联动改革

要增强转化生态系统的联动,需从政策、平台和专业队伍三方面建立协同机制。在政策上,科技部门应设立专项计划,支持关键环节的高潜力成果,提高制度效率。在平台建设方面,应建立联合中心,整合多方资源,提供包括技术评估在内的转化服务。在队伍建设上,通过培育计划培训交叉理解能力的产权人才,提升其专业服务能力。通过这些措施,形成内外联动、资源集中的高效转化支撑体系,解决科研成果与市场需求脱节的问题。

5 结束语

制度与效率之间的耦合关系决定成果转化成效。在科技创新体系持续优化的背景下,技术产权制度也应持续向高适配性、高响应性的方向优化,强化对交叉学科复杂成果结构的制度支撑能力。通过推动确权机制弹性化、激励体系多元化、平台服务精准化,逐步构建起动态协调、高效运作的转化生态。尤其在数据密集型、算法驱动型等新兴交叉领域,应探索产权规则与行业实践的深度融合路径,提升成果快速落地能力与知识价值实现水平,为国家创新能力的持续提升提供坚实的保障。

参考文献:

- [1] 李娜琳. 高校科技成果转化效率与区域产业结构的耦合发展研究 [D]. 西安: 长安大学, 2023.
- [2] 林国海, 宋晓敏. 构建高效科技成果转化服务体系提升科技成果转化效率 [J]. 厦门科技, 2023(05): 16-18.
- [3] 郭文娟, 肖海金, 王博. 基于 DEA 模型的科研院所科技成果转化效率测度分析: 以中国科学院为例 [J]. 科技管理研究, 2023, 43(15): 73-81.
- [4] 赵娜. 科技政策对科技成果转化效率的影响研究 [D]. 沈阳: 沈阳工业大学, 2023.
- [5] 方中秀, 汪海粟. 知识产权制度对中国制药产业技术进步的影响: 来自外商直接投资视角的实证研究 [J]. 南京财经大学学报, 2021(02): 99-108.

高层建筑施工技术难点与对策分析

许超志

(肥西县乡建工程有限责任公司, 安徽 合肥 230000)

摘要 为探究高层建筑施工技术难点及应对之策, 本文分析了高层建筑结构设计、施工、工艺、设备、高空作业安全等方面的技术难题, 针对高层建筑存在结构设计复杂、施工工艺与设备要求高、高空作业安全管理难度大等问题, 提出了可通过加强结构与施工协同、引进先进设备与技术、强化高空作业安全管理等对策, 以期为解决高层建筑施工中的技术难题、提升施工质量与安全性提供借鉴。

关键词 高层建筑; 结构设计; 施工质量; 施工管理; 高空作业

中图分类号: TU974

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.22.028

0 引言

随着城市土地资源日益紧张, 高层建筑作为高效利用空间的建筑形式, 在城市建设中被大量采用。其建设规模和高度不断攀升, 对施工技术提出了更高的要求。然而, 高层建筑结构设计极为复杂, 需兼顾多种荷载与变形因素; 施工工艺与设备需具备高精度、高效率; 高空作业安全风险也显著增加。这些技术难点若无法突破, 不仅会阻碍工程进度, 还可能危及建筑质量与人员安全, 亟待深入研究并制定切实可行的解决方案。

1 高层建筑施工中的主要技术难点

1.1 结构与施工技术难点

1.1.1 高层建筑结构设计的复杂性

高层建筑因其层数多、高度大等特点, 在竖向荷载及水平荷载作用下, 结构的受力情况尤为明显。在垂直方向上, 由于自重过大, 建筑物内人员和设备的活荷载等对结构的承载力提出了较高的要求。在水平方向上, 动载荷如风荷载和地震动成为结构设计的主控因子, 因此对其抗侧移刚度要求较高。另外, 建筑形态不规则, 底层大空间商业与上层住宅相结合等多个功能分区, 使结构受力体系更为复杂, 需要将框架、剪力墙、筒体等多种结构形式有机结合起来, 既能保证结构的安全性, 又能满足建筑的功能要求, 设计过程中需要考虑的因素很多, 相互关联, 这就大大增加了设计的难度。

1.1.2 结构施工中的技术挑战

在高层建筑结构施工时, 钢筋混凝土的施工质量把控是关键难题。随着建筑高度增加, 混凝土泵送高

度提升, 对混凝土的配合比、可泵性要求极高, 要保证混凝土在长距离泵送过程中不离析、不堵管, 且到达浇筑部位后能均匀密实成型。在钢筋工程方面, 大量粗直径钢筋的连接工艺要求严格, 如机械连接的接头质量需精准控制, 确保连接强度与可靠性。模板工程同样面临挑战, 高层结构的竖向构件多, 模板的安装、拆除难度大, 且要保证模板体系在多次周转使用中的稳定性与精度, 以保障结构尺寸准确, 施工过程中任何环节的偏差都可能影响整体结构性能。

1.2 施工工艺与设备的技术难点

1.2.1 施工工艺的高要求

高层建筑施工工艺需满足高精度与高效率双重目标。以基础施工为例, 深基坑开挖深度大, 周边环境复杂, 对基坑支护工艺要求严格, 要保证在开挖过程中基坑边坡稳定, 不影响周边建筑与地下管线安全。主体结构施工时, 垂直运输工艺至关重要, 材料、构配件的吊运要高效有序, 避免因运输延误影响施工进度。装饰装修阶段, 外墙施工工艺需兼顾美观与耐久性, 如幕墙安装要保证密封性能与整体平整度, 各施工阶段的工艺衔接紧密, 任何一个环节出现问题都可能导致质量缺陷或工期延误, 对施工工艺的精细化管理与执行能力提出极高要求。

1.2.2 施工设备的技术要求

施工设备要适配高层建筑的特殊需求。塔吊作为主要垂直运输设备, 需具备大起升高度、大起重量与良好的回转性能, 以满足不同施工阶段材料吊运需求, 其安装、拆卸与附着技术复杂, 要确保在高空作业中的稳定性与安全性。施工电梯需保证高速运行时的平稳性与可靠性, 满足大量人员、小型材料快速上下运

输^[1]。混凝土泵送设备要能将混凝土输送至百米甚至数百米高度,要求泵送压力高、输送量稳定,设备的易损件更换与维护也需便捷高效,否则设备故障将严重影响施工进度,且设备的选型、布置与使用都需结合建筑特点与施工流程精心规划。

1.3 高空作业的安全技术难点

1.3.1 高空作业的安全管理难度

高层建筑的大量作业处于高空,人员分散在不同的楼层和工作面上,安全管理难度大。建筑工人由于长期在高处作业,会产生一定的心理压力,从而使他们的注意力无法集中,增加了安全事故的危险性。多个工种的交叉作业,如外墙和室内装修同时进行,如果不能很好地协调管理,很容易引起物体撞击等事故。另外,高空作业受天气因素影响明显,大风、暴雨、大雾等恶劣天气更易导致作业环境恶化,如何合理安排施工进度,保证安全生产,对安全管理体系的完善和执行能力提出了严峻的挑战。

1.3.2 安全防护设施的不足

现有安全防护设施在高层建筑施工中存在一定局限性。传统的安全网虽能阻挡部分坠落物体,但对于高层施工中可能出现的小物件高速坠落防护效果有限。外脚手架作为主要防护与操作平台,随着建筑高度增加,其自身稳定性面临挑战,且脚手架的搭设、拆除过程存在安全风险,部分老旧脚手架材料可能存在强度不足等问题。吊篮等高空作业设备的安全防护装置若存在设计缺陷或维护不当,也易引发安全事故^[2]。在超高层建筑中,因建筑高度过高,现有的消防设施难以满足快速灭火需求,安全防护设施的升级与完善迫在眉睫。

2 高层建筑施工中的应对对策

2.1 加强结构设计与施工技术的协同工作

2.1.1 提高结构设计合理性与可操作性

在高层建筑结构设计阶段,设计团队应充分考虑施工实际情况。一方面,运用先进的结构分析软件,对建筑结构进行精细化模拟,全面考量竖向与水平荷载组合,确保结构受力计算准确无误,从根源上保证设计的合理性。例如:对于复杂的不规则建筑造型,通过建立三维模型,精确分析不同部位的受力特性,优化结构布置。另一方面,设计图纸要具备良好的可操作性,详细标注构件尺寸、连接方式等关键信息,为施工提供清晰指导。同时,设计人员应与施工团队密切沟通,根据施工现场的地质条件、材料供应以及

施工设备等因素,对设计方案进行适当调整。比如,若施工现场周边场地狭窄,大型机械设备停放与材料堆放受限,设计时可考虑采用装配式结构,减少现场湿作业,提高施工效率,使设计方案既能满足建筑功能与安全要求,又契合施工实际,降低施工难度与成本。

2.1.2 优化施工工艺与施工技术

施工单位需不断优化施工工艺与技术,以应对结构施工挑战。在混凝土施工方面,研发高性能混凝土配合比,添加合适的外加剂,提高混凝土的可泵性与和易性,确保其能顺利输送至高层浇筑部位,同时保证混凝土的强度与耐久性。采用先进的混凝土浇筑技术,如分层浇筑、二次振捣等,保证混凝土密实度。在钢筋施工中,推广先进的钢筋连接技术,如套筒灌浆连接,提高连接质量与效率,减少现场焊接作业,降低安全风险。模板工程则可选用新型模板材料与体系,如铝合金模板,其具有重量轻、强度高、周转次数多等优点,安装与拆除便捷,能有效保证结构构件的尺寸精度。此外,引入信息化管理手段,利用BIM技术对施工全过程进行模拟,提前发现施工工艺中的问题并优化,实现施工工艺与技术的高效协同,提升施工质量与进度。

2.2 先进施工设备与技术的引进与应用

2.2.1 引进自动化施工设备

为了大幅度提高高层建筑的施工效率和质量,必须积极引进自动化施工设备。以自动塔吊为例,它配备了先进的传感器和算法,可以精确定位吊装材料,减少人为误差。在提升过程中,提升速度、角度等提升参数可以根据施工进度自动调整,以适应不同施工阶段的需要。在超高层建筑基础施工阶段,采用自动塔式起重机,可以快速精确地吊装大量的钢筋和模板;在主体结构施工阶段,可随建筑物高度的增加而自动调整吊装参数,保证了物料的安全、稳定吊装。自动混凝土泵送设备也扮演着重要的角色,它利用传感器实时监控一些关键参数,如泵压和坍落度等^[3]。当泵压不正常或混凝土坍落度超标时,自动调整泵送速率,使混凝土连续、稳定地输送,有效地防止了堵管等问题。这种优势在超高层建筑的泵送施工中尤为突出,它可以保证混凝土能顺利输送到百米乃至百米高空。外墙的施工采用了自动化的幕墙安装设备,在机械臂的帮助下,精确地安装了幕墙板,其安装精度和速度都大大提高。

2.2.2 应用现代化施工技术

现代化施工技术在高层建筑施工中具有不可替代

的重要地位。预制装配式施工技术便是典型代表,在工厂预先制作建筑构件,如预制混凝土梁、板、柱及预制墙板等。构件在工厂标准化生产,严格控制质量,保证尺寸精度与性能指标。生产完成后运输至现场组装,有效缩短施工周期,减少施工现场湿作业,降低对周边环境的影响。以装配式住宅建设为例,大量预制构件在工厂流水线上生产,现场简单组装,施工速度大幅提升,同时减少施工现场粉尘、噪声污染^[4]。3D打印技术在建筑领域的应用也逐渐兴起,其可打印复杂建筑构件,实现建筑造型多样化。通过3D打印,能将设计师创意精准转化为实体,突破传统施工技术在造型上的限制。并且3D打印过程可根据设计需求精确控制材料用量,减少材料浪费。利用智能监测技术,在建筑结构关键部位布置传感器,如应变片、位移传感器等,实时监测结构变形、应力等参数。

2.3 强化高空作业的安全管理与防护措施

2.3.1 制定科学的高空作业安全方案

施工单位结合高层建筑特点,制定科学、详尽且极具可操作性的高空作业安全方案是重中之重。首先,对不同施工阶段高空作业风险进行全面、深入评估,涵盖作业环境、施工工艺、设备使用等各个方面。在作业环境评估中,仔细分析施工现场周边地形地貌、建筑物分布及天气条件对高空作业的影响;施工工艺评估:针对主体结构施工、外墙装修、设备安装等不同环节,分析各工艺操作过程潜在安全隐患;设备使用评估:检查塔吊、施工电梯、吊篮等设备运行状况、维护记录及安全装置有效性^[5]。例如:在幕墙安装阶段,精准分析吊篮运行轨迹是否与其他施工区域交叉,周边建筑物风力状况对吊篮稳定性影响等可能引发的风险。根据评估结果制定针对性强的安全措施,明确各岗位人员职责,详细规定作业流程与操作规范。设置专人负责高空作业区域安全巡查,巡查人员需经专业培训,熟悉各类安全隐患识别与处理方法,定期检查设备安全性能,包括设备结构完整性、制动系统可靠性、安全防护装置有效性等。合理安排施工进度,充分考虑天气因素,避免在恶劣天气条件下进行高空作业。遇大风、暴雨、大雾等极端天气,及时停止作业,并采取相应防护措施,如对塔吊等设备锚固加固、对吊篮固定等。通过科学安全方案,确保高空作业安全有序进行,最大程度降低安全事故发生概率。

2.3.2 提升安全防护技术

提升安全防护技术是保障高空作业安全的核心所在。研发新型安全网,采用高强度、耐冲击材料制作,

如高强度聚乙烯纤维、芳纶纤维等,优化网体结构,增加网眼细密程度与韧性,提高对小物件高速坠落防护能力。通过大量模拟实验,不断改进安全网设计,确保在复杂工况下有效拦截坠落物体。对外脚手架进行升级,采用新型脚手架体系,如盘扣式脚手架。盘扣式脚手架搭设简便快捷,相比传统脚手架,节点连接更牢固,稳定性更强。配备先进防坠落装置,如自动锁止式安全挂钩、水平生命线系统等,在脚手架拆除过程中,利用智能拆除设备,如自动拆除机器人,按预设程序拆除作业,降低拆除风险。对于吊篮等高空作业设备,安装高精度安全监测系统,通过传感器实时监测设备运行状态,包括吊篮倾斜角度、运行速度、钢丝绳受力情况等。一旦出现异常,如吊篮倾斜超规定角度、运行速度过快或钢丝绳断裂,系统立即报警并自动采取制动措施,防止事故发生。加强超高层建筑消防设施建设,配备高效消防救援设备,如高层消防直升机停机坪,确保火灾发生时消防直升机迅速到达现场救援;安装高压远程消防水炮,其射程远、喷射流量大,能有效扑灭高层建筑高处火灾。通过这些全方位安全防护技术提升措施,切实保障高空作业人员的生命安全,显著提升高空作业整体安全防护水平。

3 结束语

高层建筑施工面临结构设计复杂、施工工艺与设备要求高、高空作业安全风险大等难题。当前,通过加强结构设计、施工协同、引进先进设备技术以及强化安全管理防护等措施,已取得一定成效,施工质量与安全性得以提升。未来,随着科技持续进步,更多先进技术与设备将应用于高层建筑施工,施工管理也将更加智能化、精细化,有望进一步攻克技术难点,推动高层建筑施工行业迈向更高水平,为城市建设贡献更大力量。

参考文献:

- [1] 喻卫华,马春景.某超高层建筑深基坑设计与施工技术[J].特种结构,2025,42(01):114-118,125.
- [2] 宫钦寿.高层房屋建筑工程施工技术要点分析[J].建设机械技术与管理,2025,38(01):118-120.
- [3] 申唐,董利.高层住宅建筑施工中防渗漏技术的应用分析[J].居舍,2025(06):56-59.
- [4] 吴琼.高层建筑自密实混凝土施工技术探讨[J].建筑技术开发,2025,52(02):37-39.
- [5] 马传普.超高层建筑中爬架与爬模混合支模施工技术的探讨[J].四川水泥,2025(02):117-119.

环氧彩砂地坪施工的质量控制和通病处理

李 庚

(中国华西企业股份有限公司, 四川 成都 610000)

摘 要 环氧彩砂地坪凭借出色的美观度和耐用性, 在工厂车间、展馆以及医院等场所使用越来越普遍。但这种地坪对施工工艺要求极高, 稍有不慎就会出现各种质量问题。目前常见的问题包括地面起鼓、表面出现小孔、材料不凝固、出现裂纹以及颜色不均匀等情况。基于此, 本文提出了建立透气型底涂体系、实施洁净舱封闭管理、精准控制固化反应条件、调节施工热湿环境以及统一材料参数的解决办法, 以期控制质量与通病处理提供参考。

关键词 环氧彩砂; 地坪施工; 质量控制; 通病处理

中图分类号: TU712

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.22.029

0 引言

《绿色建筑评价标准》(GB/T 50378-2019) 第 4.2.5 条明确规定: “地坪工程应选用环保耐久材料, 施工过程须控制基层含水率不超过 4%, 确保粘结强度达到 1.5 MPa 以上。” 此条款直接指向环氧彩砂地坪施工中的核心质量控制要点。在实际工程中, 混凝土基层含水率超标引发的空鼓问题已成为行业普遍痛点, 而固化剂配比偏差造成的黏结失效更是质量事故的主要诱因。

1 环氧彩砂地坪施工的通病问题

1.1 基层含水率超标导致地坪鼓包

地面水分过多是造成环氧彩砂地坪起鼓的主要原因。当基层里的水汽无法顺利排出时就会在封闭的地坪内部不断聚集, 最终破坏涂层与地面的结合力, 在潮湿环境中持续产生的水蒸气压力会使表层材料隆起出现明显的鼓包现象。很多施工问题其实源于前期检查不到位。若忽视严格检测地面含水量或者没有考虑环境湿度的影响, 后续很容易出现各种质量问题, 稍不注意就会导致地坪涂层脱离基层形成难以修复的鼓包缺陷^[1]。而且地坪系统还会因失稳出现鼓胀, 既影响观感, 又把整体承载力削弱至临界点, 对后续使用安全构成威胁。

1.2 施工粉尘污染造成表面针孔

表面针孔问题源自涂层覆盖前未清除的微细颗粒、漂浮粉尘或空气夹杂物在固化过程中产生的局部空隙, 这类空洞虽细微, 却会破坏面层的致密性与光洁度。同时, 针孔的存在使得涂膜不再连续, 湿气、腐蚀物还有杂质容易沿孔隙渗透至底部, 引发后期鼓泡或涂层失稳。除视觉影响外, 还会削弱地坪的密封性能与抗渗能力^[2]。该类缺陷一般都是在竣工验收后短期内

不易察觉, 却在长期使用过程中慢慢地显现。针孔生成的本质是施工环境洁净度不足引发的“隐形污染”, 这种不可逆的微观瑕疵, 映射出环氧系统对粉尘控制的高度依赖。

1.3 固化剂配比失准影响树脂固化

固化剂的配比偏差对树脂成膜反应的影响非常大, 倘若比例过低则反应速率迟缓地坪表面长期处于粘滞未干状态, 附着力和硬度均无法达到应有标准; 若比例过高, 则反应放热剧烈易形成内部脆化降低弹性与延展性, 致使面层后期出现开裂或粉化现象。与此同时, 固化剂在化学反应中的催化与连接作用也是不可忽视的, 配比不当直接干扰涂层的交联结构形成, 使涂膜功能性与耐久性全面受损^[3]。

1.4 应力释放受限引发结构裂缝

当地坪承受外部作用时, 混凝土收缩、温差变化或基础下沉都可能引发内部应力集中, 若无法及时释放, 这些应力会从基层薄弱处向上延伸, 最终在地面形成明显裂痕。此类裂缝既破坏地坪结构的整体性, 又会影响防水防污性能, 并且裂纹处容易藏污纳垢, 增加清洁难度, 同时影响美观度和使用体验。

1.5 施工参数差异引发色彩不均

原材料批次间的色度差异、树脂与固化剂配比波动、混合搅拌时间不一致等因素都会让最终成膜效果出现区域性色差, 虽然这种色彩偏差不会直接影响地坪的物理性能, 但在强调视觉整体性的商业空间中会降低装饰品质的呈现效果。从材料特性来看, 环氧树脂体系的固化反应对配比精度极为敏感, 微小的计量偏差就可能改变成膜物的光学特性, 造成不同施工区段出现肉眼可辨的色泽差异。

2 环氧彩砂地坪施工的质量控制和通病处理策略

2.1 严控基层含水率, 采用透气型底涂防鼓包

混凝土基层内的水分在温度变化驱动下容易形成动态渗透压, 当这种压力超过材料结合强度时, 必然导致界面剥离。透气型底涂技术经过构建选择性渗透屏障, 它独特的微孔结构就能定向扩散水分子, 同时阻隔液态水渗透, 进而既维持了涂层的完整性, 又为水汽排放提供了有效通道。此外, 该技术经过调控分子级别的结构, 解决了传统防水层与透气性不可兼得的矛盾^[4]。在实际应用中, 严控基层含水率一方面预防了鼓包缺陷, 另一方面更提升了地坪系统对基层变形的适应能力, 使整体结构具有更好的耐久性。特别对于环氧彩砂这类厚层地坪, 透气系统有效避免了砂层底部积聚水分, 保证装饰层与功能层能够长期稳定结合。

施工人员在施工前, 需要用电容式水分仪来网格化检测混凝土基层, 并且测点间距不大于2 m, 重点排查管道周边及低洼区域。若检测值超过3%时, 就要启用热风干燥设备进行强制脱水, 热风温度控制在50~60℃区间, 持续处理至含水率达标。对于无法彻底干燥的基面, 施工人员可选用双组分水性环氧透气底涂, A组分树脂与B组分固化剂按4:1质量比机械搅拌3分钟, 静置熟化5分钟后辊涂施工。接下来第一道底涂用量控制在0.2 kg/m², 使用十字交叉法保证能完全覆盖基面微孔。然后, 间隔4小时后施作第二道, 用量增至0.3 kg/m², 重点处理检测出的高含水区域。每道涂层施工后施工人员需使用露点仪监测结露风险, 当表面温度与露点温差小于3℃时暂停作业。待到透气层完全固化后, 再用拉拔法测试粘结强度, 只有标准值不低于1.5 MPa方可进行彩砂层施工。在环氧彩砂混合阶段, 施工人员应添加3%~5%的硅烷偶联剂提升骨料与树脂的界面结合力。摊铺完成后, 用带加热功能的抹平机在40℃条件下进行二次压实, 促进残留水分借助底层透气系统排出。养护期间保持环境通风, 相对湿度维持在65%以下, 避免面层固化过快导致透气通道封闭。质量验收阶段除常规检查外, 施工人员还应用红外热成像仪扫描全场, 温差超过2℃的区域需钻孔取样验证层间结合状况。

2.2 净化施工环境, 实施封闭管理消针孔

悬浮颗粒物在树脂固化过程中形成的微观干扰源, 会破坏高分子链的有序排列, 造成局部应力集中, 而封闭管理能借助空间分隔切断污染传播路径, 并建立物理隔离屏障, 进而在源头消除异相成核点, 保障树

脂体系能均匀固化^[5]。此外, 气流组织设计应采用层流送风模式有效引导颗粒物沉降, 在解决表面针孔问题的同时, 更提升了材料界面的结合强度, 使地坪获得更优的机械性能。与此同时, 封闭环境下还可以精准调控施工参数, 为环氧彩砂这类高装饰性地坪提供理想的成型条件, 并且这也是保证地坪表面质量的关键技术突破。

施工人员开始施工的时候, 先用彩钢板搭建全封闭作业舱体, 接缝处粘贴PE密封条确保气密性, 同时入口设置双层风淋室且风速不低于20 m/s, 当人员更衣换鞋后只有经过15 s风淋除尘才能进入。与此同时, 舱内安装FFU层流送风单元, 顶部布置HEPA高效过滤器, 洁净度达到ISO8级标准。地面预铺防尘地垫, 每日施工前用吸尘车进行全场的清理。材料搅拌区单独隔离, 配备负压除尘装置, 搅拌机加装防溅罩。环氧树脂在注入施工区域前, 需经100目滤网过滤, 过滤压力保持0.3~0.5 MPa。施工期间施工人员可启用粒子计数器进行监测, 当 $\geq 0.5 \mu\text{m}$ 粒子数超过35 200个/m³时自动启动备用净化机组。镭涂工序在层流环境下进行, 作业面风速控制在 $0.45 \pm 0.1 \text{ m/s}$, 避免气流扰动引起二次扬尘。每道涂层间隔期间, 都要用微湿拖把清洁地面, 湿度控制在40%~50%RH区间。固化阶段保持正压环境, 压差值维持在10~15 Pa, 防止外部污染空气渗入。施工人员验收时使用200 W斜射灯检查, 灯管与地面成30°角, 在3 m距离内观察不到明显散射光点为合格标准。

2.3 精确计量配比, 优化固化条件保反应

环氧树脂之所以会发生固化反应, 是因为环氧基团与活性氢原子的化学计量结合, 其摩尔比偏差超过 $\pm 2\%$ 就会让分子网络结构有缺陷。在环氧彩砂地坪体系中, 树脂扩散非常容易受到石英砂骨料的物理限制, 其局部区域容易产生固化不均匀现象。温度每升高10℃, 反应速率常数增大2~3倍, 但超过临界温度后副反应加剧, 交联密度反而下降。同时, 湿度因素对胺类固化剂的影响也非常明显, 这是因为水分子的竞争反应会消耗活性氢, 由此使得实际参与交联的官能团数量减少。环氧彩砂混合物的凝胶时间与粘度变化呈非线性关系, 在转化率达到60%时会出现明显的流变拐点, 这个临界状态对施工窗口期的确定具有决定性意义, 过早或过晚操作都会影响最终力学性能。

施工人员需要使用精度达 $\pm 0.1\%$ 的电子秤校准配料系统, 按环氧树脂:固化剂=4:1的质量比精确称量, 然后把原料置于 $23 \pm 0.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 恒温房预处理24小时, 保证材料温度均衡性。之后用转速 $300 \pm 10 \text{ rpm}$ 的螺旋

搅拌机混合 5 分钟,混合均匀度需达到 99% 以上。并且输送管道还要全程保温,温度维持在 25 ± 1 °C 恒温状态。摊铺作业时,施工班组使用激光测厚仪实时监控,把 3 mm 设计厚度的误差控制在 ± 0.15 mm 范围内。镟涂工序中保持镟刀与地面呈 45° 夹角,行进速度控制在 $0.8 \sim 1.0$ m/min。初凝阶段覆盖 0.1 mm 厚 PE 薄膜,搭接宽度保持 100 ± 5 mm。固化期间施工人员可借助红外加热系统进行检测,保证基面温度维持在 30 ± 2 °C,并且每 60 分钟测量一次表面阻抗,当数值达到 $(1.0 \pm 0.2) \times 10^{-8}$ Ω 时启动梯度降温程序,降温速率严格控制在 1.5 °C/h。

2.4 调节温湿环境,协同固化过程缓应力

环氧彩砂地坪在固化阶段产生裂缝的主要诱因是温度与湿度变化引发的材料体积变形。当环境温湿度波动较大时,基层与涂层因热膨胀系数差异会产生不同步的伸缩现象。树脂基体与石英砂填料的热传导性能有明显差别,石英砂导热系数约为树脂的三倍,这种差异会导致热量在材料内部传递不均形成局部应力集中区。固化反应本身会释放热量,若环境温度过高会加速反应进程使体系过早失去流动性;湿度过大则会引起树脂吸湿改变交联网络的形成过程。多种因素共同作用,容易在界面处形成微裂纹并随着应力积累扩展为可见裂缝。

施工前需提前开启环境调控设备不少于 24 小时,使作业区域温度稳定在 $21 \sim 23$ °C 之间,空气相对湿度调整至 45% ~ 55%。紧接着用红外测温仪检测基层表面温度在 ± 2 °C 以内,配料阶段用带有温控功能的搅拌设备把混合温度精准维持在 22 ± 0.5 °C,以促使各组份均匀融合。随后,将已混合的材料经保温输送管送至施工区域,避免在运输过程中产生温差。作业区域以 $4 \sim 6$ m² 为单位分区,且在各单元之间预留缓冲区域以减少因固化速率差异而引发的局部应力集中问题。进行镟涂作业时需要选用恒温保持在 26 °C 的专用刮刀,并将刮涂角度调整为 35° ,以增强材料的铺展均匀性。初凝材料阶段可加盖专用透气膜,稳定表层湿度至 60% ~ 65% 的适宜范围。施工结束后用三维扫描设备全面检测整体地坪检验其平整度和结构精度是否达标,全部温度、湿度和尺寸变化信息需如实记录至施工日志,为后续复查技术提供完整资料。

2.5 统一材料参数,协调工艺节奏稳色彩

环氧彩砂地坪中出现的色差问题,多源于不同批次材料参数偏差或分段作业工艺节奏不一致。固化体系中微小的配比差异、树脂粘度波动或颜料分散性变

化,均可能在表现层面形成视觉断层。另外,材料在不同时间段混配,若温度、湿度或搅拌时间存在偏移,就会使同一色号涂层在反射率、饱和度及透明度上产生差异。树脂颜料颗粒间的光学干涉效应进一步放大这种视觉不连续,使色彩偏差肉眼可见。

为减少色差风险,施工人员须提前准备充足且同批次的原材料,配料前统一置于 23 ± 1 °C 恒温房内 24 小时以上,保证材料状态一致,然后搅拌环节用数控定时装置,每次操作时间控制在 5 分钟以内,搅拌转速维持在 300 ± 10 rpm,避免局部剪切不均影响色彩稳定性。接下来,配比完成后材料需要经三级静置过滤系统处理,去除气泡与颜料团聚体,增强色彩均匀性。摊铺环节由自动刮涂设备完成,每个作业单元覆盖面积控制在 5 m² 内,单元边缘设置色彩融合带,避免拼接色差。刮涂厚度稳定在 2.0 ± 0.2 mm,配合镟刀角度 $30^\circ \sim 45^\circ$ 调节,控制流动方向统一。最终用分光测色仪逐点检测 ΔE 值,确保整场施工色差控制在 1.5 以内。

3 结束语

环氧彩砂地坪是衡量建筑品质的重要指标,要做出优质地坪必须严格把控每道工序,保证基层坚实、层间结合紧密、表面均匀。打造高品质地坪,既要保证底层结构稳固,又要使各涂层完美黏合,同时色彩还应一致。只有规范操作、控制精准,才能避免空鼓、开裂等问题,因而经验丰富的施工团队与科学的工艺标准缺一不可。底层强度是基础,中层粘接力是保障,从材料配比到现场操作,每个环节都至关重要。只有高标准施工,才能实现既耐用又美观的地坪效果。

参考文献:

- [1] 张敬,吴永红.某汽车装配车间环氧地坪薄涂施工过程质量影响因素分析及控制措施的研究[J].江西建材,2025(01):295-297.
- [2] 陶祥,胡彩芳,葛翱翔,等.低粘度超支化聚醚环氧树脂改性水性环氧地坪涂料研究[J].热固性树脂,2024,39(06):26-31,36.
- [3] 沈仕国.浅谈防腐耐磨防尘环氧自流平技术应用:远东股份宜宾智能产业园建设项目(一期)为例[J].四川建筑,2024,44(05):212-213.
- [4] 陈树志.TWY 水性硬化地坪系统在停车场项目中的应用分析[J].安徽建筑,2024,31(10):35-36.
- [5] 刘钦,王燕,熊俊.快速固化水性环氧厚涂型底漆的制备及性能研究[J].涂层与防护,2023,44(03):13-18.

建筑给排水管道防渗漏施工技术要点研究

牟洪羽, 周士义

(临清市第一建筑工程有限责任公司, 山东 临清 252600)

摘要 随着建筑行业的快速发展和人们生活质量的不断提高,建筑给排水管道系统的施工质量越来越受到重视,给排水管道系统的防渗漏施工是确保建筑正常使用功能和延长使用寿命的关键环节。本文探讨了建筑给排水管道防渗漏施工技术要点,通过分析施工材料的选择、施工工艺的控制、防水措施的应用等,提出了有效的防渗漏施工策略,以为促进建筑工程的质量提升提供参考。

关键词 建筑给排水管道; 防渗漏施工; 施工材料; 施工工艺; 防水涂料

中图分类号: TU990.3

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.22.030

0 引言

建筑给排水管道作为建筑物的“血脉系统”,其防渗漏性能直接影响建筑使用功能与结构安全。当前建筑工程中,管道渗漏问题已成为质量通病,既造成水资源浪费,又易引发结构腐蚀、霉菌滋生等次生问题。随着建筑功能复杂化和用水需求精细化,传统防渗漏技术面临新的挑战。本文基于工程实践,系统分析管道渗漏的成因机理,从材料性能、工艺控制、防水技术等维度,探讨防渗漏施工的关键技术要点。研究聚焦施工全过程的精细化管控,旨在构建科学有效的防渗漏技术体系,为提升建筑品质提供技术参考。

1 建筑给排水管道防渗漏施工概述

在给排水系统的施工过程中,防渗漏措施的有效实施不仅能够确保系统的正常运行,还能延长系统的使用寿命,降低后期的维护成本。给排水管道防渗漏施工涉及多个方面,包括施工材料的选择、施工工艺的控制、防水技术的应用以及排水系统的设计与优化等。首先,施工材料的质量是防渗漏的基础。优质的管道材料、密封材料以及附件能够显著提高系统的耐腐蚀性和密封性,从而减少渗漏的风险。因此,在施工过程中应严格把控材料的质量,确保所选材料符合相关标准和要求。其次,施工工艺的控制也是防渗漏施工的关键。在施工过程中,应严格按照施工规范和操作流程进行,确保每个施工环节都符合质量要求。这包括管道的切割、连接、安装以及调试等各个环节,都需要精细操作,以确保系统的完整性和密封性。此外,防水技术的应用也是防渗漏施工的重要手段。通过涂抹防水涂料、使用防水卷材等措施,可以在管道外壁形成一层致密的防水层,有效防止水分渗入管道内部。

同时,防水技术的应用还能提高管道的耐腐蚀性和使用寿命。最后,排水系统的设计与优化也是防渗漏施工不可忽视的一环。合理的排水系统设计能够确保水流畅通无阻,减少积水现象,从而降低渗漏的风险。在设计过程中,应充分考虑建筑物的使用功能、人员流动情况以及环境条件等因素,确保排水系统的实用性和可靠性^[1]。

2 建筑给排水管道渗漏的原因分析

2.1 施工材料质量问题

首先,管道材料本身的质量问题不容忽视。一些厂家为了降低成本,采用劣质原材料生产管道,导致管道壁厚不均匀、强度不足、耐腐蚀性差等问题。这些质量问题在管道使用过程中会逐渐显现,如管道开裂、变形、穿孔等,进而引发渗漏。其次,密封材料的质量同样重要。密封材料是连接管道各部件的关键,其质量和性能直接影响管道系统的密封性。如果密封材料质量不佳,如弹性不足、耐腐蚀性差、易老化等,那么在管道运行过程中,密封部位可能会出现松动、开裂、脱落等现象,导致水液渗漏。此外,管道附件如阀门、接头等也是影响管道渗漏的重要因素。这些附件的质量、规格和性能必须满足设计要求,否则在使用过程中可能会出现泄漏、堵塞等问题。

2.2 施工工艺不当

首先,管道连接工艺不当是常见的渗漏原因。在管道连接过程中,如果连接部位的清洁度不够、密封材料填充不足或填充不均匀、连接紧固力不够等,都可能导致连接部位密封不严,进而引发渗漏。其次,管道安装工艺不当也可能导致渗漏。在管道安装过程中,如果管道走向不合理、坡度不满足设计要求、管

道支架安装不牢固等,都可能导致管道在运行过程中产生位移、变形等问题,从而影响管道的密封性和稳定性。此外,焊接工艺也是影响管道渗漏的重要因素。在焊接过程中,如果焊接温度、焊接速度、焊接材料等参数控制不当,可能导致焊缝出现裂纹、夹渣、未熔合等缺陷,进而引发渗漏。

2.3 设计缺陷

设计缺陷可能源于对建筑物使用功能、环境条件、人员流动情况等因素的考虑不足,或者对管道系统的运行原理、材料性能等缺乏深入了解。首先,设计不合理的管道布局和走向可能导致水流不畅、积水现象严重,从而增加管道渗漏的风险。例如:管道在墙角、吊顶等隐蔽部位转弯过多、坡度不足,可能导致水流受阻,产生水锤效应,进而损坏管道或连接部位。其次,设计不合理的管道容量和数量也可能导致渗漏问题。如果管道容量不足,无法满足建筑物的排水需求,那么在高峰期可能出现水流拥堵现象,增加管道破裂或渗漏的风险。同时,如果管道数量不足,可能导致单个管道承受过大的压力,同样容易引发渗漏。此外,设计缺陷还可能体现在对管道材料、密封材料以及附件的选择和配置上。如果设计过程中未能充分考虑材料的性能、规格和兼容性等因素,可能导致在实际使用过程中出现材料不匹配、性能不足等问题,进而引发渗漏^[2]。

2.4 使用和维护不当

首先,使用不当可能导致管道系统承受过大的压力或负荷,从而引发渗漏。例如:在管道上随意悬挂重物、在管道附近进行挖掘或打钻等作业,都可能对管道造成损坏或导致其位移、变形等问题。其次,维护不足也可能导致管道渗漏。给排水管道系统在使用过程中需要定期进行清洁、检查和维修。如果维护不及时或不到位,可能导致管道内部积聚污垢、堵塞等问题,进而影响管道的正常运行和密封性。同时,如果管道连接部位或密封材料出现老化、磨损等问题而未及时更换或修复,也可能导致渗漏。此外,用户在使用过程中的不当操作也可能导致管道渗漏。例如:在用水过程中未关闭水龙头、使用不当的清洁剂等,都可能对管道系统造成损害或影响其正常运行。同时,如果用户对管道系统的结构和性能缺乏了解,可能在使用过程中误操作或误判管道状态,从而引发渗漏问题。

3 建筑给排水管道防渗漏施工技术要点

3.1 施工材料的选择

首先,管道材料的选择至关重要。常见的管道材料包括金属管道(如铜管、镀锌钢管)、塑料管道(如

PPR、PVC、PE等)以及复合管道等。金属管道因其良好的强度和耐腐蚀性,常被用于需要承受较高压力和温度的应用场景。然而,金属管道易受腐蚀影响,特别是在潮湿或腐蚀性环境中,需要采取额外的防腐措施。塑料管道则以其轻便、易安装、耐腐蚀和低成本等优点,广泛应用于住宅和商业建筑的给排水系统中。不同类型的塑料管道具有不同的性能特点,如PPR管道具有优异的耐热性和耐久性,适合热水供应系统;PVC管道则因其良好的化学稳定性和抗老化性能,常用于冷水系统和排水系统。复合管道则结合了金属和塑料的优点,既具有金属管道的强度和刚性,又具备塑料管道的耐腐蚀性和易加工性,是高端建筑给排水系统的优选材料。其次,密封材料的选择也不容忽视。密封材料是连接管道各部件的关键,其质量和性能直接影响到管道系统的密封性和稳定性。常见的密封材料包括橡胶密封圈、聚四氟乙烯(PTFE)密封带、O型圈等。在选择密封材料时,应考虑其耐腐蚀性、耐热性、耐寒性以及弹性等性能。同时,密封材料的规格和尺寸也应与管道系统的要求相匹配,以确保连接部位的紧密性和稳定性。此外,随着技术的进步,一些新型密封材料如纳米密封材料、自愈合密封材料等也逐渐应用于给排水系统中,这些材料具有更高的密封性能和更长的使用寿命。在选择施工材料时,还需考虑材料的环保性和可持续性。随着社会对环保意识的增强,越来越多的建筑项目开始注重使用环保材料,以减少对环境的影响。因此,在选择给排水管道材料时,应优先选择符合环保标准和可持续发展要求的材料,如可回收材料、无毒无害材料等。这不仅有助于减少环境污染,还能提高建筑项目的整体形象和竞争力^[3]。

3.2 施工工艺的控制

正确的施工工艺不仅能提高管道系统的密封性和稳定性,还能减少施工过程中的浪费和安全隐患。因此,在施工过程中,必须严格遵守施工规范和操作流程,确保每个施工环节都达到设计要求。首先,施工前的准备工作至关重要。在施工前,应对施工现场进行详细的勘察和测量,确保管道布局和走向符合设计要求。同时,对所需的施工材料和设备进行清点和检查,确保材料质量合格、设备完好可用。此外,还应制定详细的施工方案和应急预案,以应对可能出现的各种问题和风险。在施工过程中,应严格控制管道的连接工艺。管道连接是给排水系统中最容易出现渗漏的环节之一,因此必须采用正确的连接方式和密封材料。常见的连接方式包括焊接、螺纹连接、法兰连接和承插

连接等。在选择连接方式时,应根据管道材料的类型、规格和使用环境进行综合考虑。同时,在连接过程中,应确保连接部位的清洁度,避免杂质和污垢影响连接效果。对于需要密封的部位,应使用合适的密封材料,如橡胶密封圈、聚四氟乙烯(PTFE)密封带等,以确保连接部位的紧密性和稳定性。在安装管道时,应严格控制管道的坡度和支架的设置。管道的坡度对于排水系统的顺畅运行至关重要。如果坡度设置不当,可能导致排水不畅或水患等问题。因此,在安装管道时,应根据设计要求合理设置管道的坡度。同时,支架的设置也直接影响到管道的稳定性和安全性。支架应设置在管道的弯曲处、接头处以及重要节点处,以确保管道在运行过程中不会因外力作用而产生位移或变形。在施工过程中,还应加强质量检查和验收工作。对每个施工环节进行严格的检查和验收,确保施工质量符合设计要求和相关标准。对于发现的问题和隐患,应及时进行处理和整改,避免留下安全隐患。同时,还应建立施工记录和档案,以便后续维护和管理。此外,施工工艺的控制还应注重施工人员的培训和管理。施工人员的技术水平和操作规范直接影响到施工质量。因此,在施工前,应对施工人员进行系统的培训和教育,提高他们的技术水平和安全意识。在施工过程中,还应加强对施工人员的监督和管理,确保他们严格遵守施工规范和操作流程。

3.3 防水涂料的应用

首先,防水涂料的耐水性、耐腐蚀性以及耐候性是关键指标。这些性能决定了涂料在长期使用过程中能否保持稳定的防水效果。其次,涂料的附着力、弹性以及固化时间也是不可忽视的因素。良好的附着力能确保涂料与管道表面紧密结合,不易脱落;而一定的弹性则有助于抵抗管道因温度变化或外力作用产生的微小变形;较短的固化时间则能提高施工效率。在应用防水涂料时,施工细节同样重要。施工前应确保管道表面清洁、干燥,无油污、灰尘等杂质,以保证涂料与管道的良好结合。涂刷时,应遵循均匀、无遗漏的原则,确保每个角落和缝隙都得到充分覆盖。对于特殊部位,如管道接头、法兰连接处等,应给予额外的关注,采用多层涂刷或特殊处理方法,以增强这些部位的防水性能。此外,涂料的涂刷厚度和层数也应根据涂料的性能和管道的使用环境进行合理调整。值得注意的是,防水涂料并非一劳永逸的解决方案。随着时间的推移,涂料可能会因老化、磨损等原因逐渐失去防水效果。因此,定期对管道进行检查和维护,

及时修补或更换受损的涂料层,是保持管道防渗漏性能的关键^[4]。

3.4 排水系统的设计与优化

在设计排水系统时,应充分考虑建筑物的使用功能、布局特点以及环境条件。根据建筑物的实际需求,合理确定排水管道的走向、坡度以及排水口的数量和位置。同时,排水管道的材料选择也至关重要,需确保管道具有良好的耐腐蚀性和耐久性,以适应长期潮湿、腐蚀性强的使用环境。排水系统的优化则侧重于提高系统的排水效率和节能性能。通过优化管道布局和走向,减少水流阻力,提高排水速度,从而确保排水系统在高峰期也能保持顺畅运行。此外,采用节能材料和设备,如节水型便器、雨水回收系统等,有助于降低排水系统的能耗,实现绿色建筑的目标。在排水系统的设计与优化过程中,还需充分考虑后期维护 and 管理的便利性。例如:在管道系统中设置便于检查和维修的检修口和阀门,以便及时发现并处理问题。同时,采用智能化监控和管理系统,实时监测排水系统的运行状态,提前预警潜在故障,提高系统的可靠性和安全性^[5]。

4 结束语

建筑给排水管道防渗漏施工技术是保障建筑整体质量和满足居民生活需求的关键。通过加强施工材料的选择、施工工艺的控制、防水措施的应用以及排水系统的设计与优化等,可以有效提高给排水管道的防渗漏性能,延长建筑的使用寿命。未来,随着建筑技术的不断发展和创新,建筑给排水管道防渗漏施工技术也将不断完善和优化,为建筑工程的质量提升和居民生活质量的改善做出更大的贡献。

参考文献:

- [1] 刘宝新.建筑给排水管道防渗漏施工技术要点探讨[J].新城建科技,2023,32(23):148-150.
- [2] 陈玄坊.建筑给排水管道防渗漏施工技术要点探讨[J].佛山陶瓷,2023,33(11):37-39.
- [3] 张蔚.浅析建筑给排水管道防渗漏施工技术要点探讨[J].建筑技术开发,2022(S1):189-191.
- [4] 李丽雄.建筑给排水管道施工中防渗漏技术要点研究[J].散装水泥,2021(03):95-97.
- [5] 常泉珏.建筑给排水管道防渗漏施工技术要点研究[J].建材与装饰,2018(50):9-10.

建筑工程中深基坑支护施工技术与管理策略

史晋皖

(安徽柘鑫建设集团有限公司, 安徽 合肥 230031)

摘要 城市化进程的加速使越来越多的人口向大城市流动, 对住房和其他城市设施的需求急剧增加, 为满足城市发展需求, 高层建筑、地下建筑这类高效利用土地资源的工程项目数量越来越多, 而与之对应的深基坑工程的规模与深度也快速增加。建筑深基坑施工需要考虑到既有的建筑、地下管线等多重因素, 对其支护技术提出了更高要求。与此同时, 软土地基、高水位地层等复杂地质情况也必须作为一项重点因素加以考虑。本文从深基坑支护的施工管理核心策略出发, 针对当前深基坑支护施工的技术性问题, 探讨施工技术的具体优化策略, 以期为促进现代化城市建设提供参考。

关键词 建筑工程; 深基坑支护技术; 刚性支挡结构; 柔性支护体系; 复合型支护技术

中图分类号: TU47

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.22.031

0 引言

我国的深基坑支护技术已形成以地下连续墙、复合土钉墙、桩锚联合支护等为主体的综合性体系, 并朝着智能化、绿色化的方向不断发展。尤其是 GPS、光纤传感和物联网等智能数字技术的引入, 大幅度提高了深基坑支护施工的变形与应力的实时监测能力。但技术标准区域化不足、施工管理粗放、监测数据滞后等问题依旧存在, 并严重影响深基坑工程的整体施工质量。基于此, 加快优化深基坑支护技术, 完善支护施工的管理策略具有重要的现实意义。

1 深基坑支护技术的分类

深入了解深基坑支护技术的类型是工程实践中正确选择合适的支护技术的重要前提。当前比较常见的支护技术体系可划分为刚性支挡结构、柔性支护体系、复合型支护技术以及特殊地质条件下的专项技术四大类型, 每种技术适配的综合地质条件、环境约束、经济性 & 施工可行性等条件存在一定的差异。

1.1 刚性支挡结构

排桩支护与地下连续墙是刚性支挡结构的典型代表, 也是工程实践性最为常见的两种刚性支挡结构。排桩支护通过灌注桩或预制桩构建出一道连续墙体, 能够满足严格的墙体控制需求。地下连续墙也具有较高的刚度和较强的防渗性, 能够满足复杂水文环境中工程的支挡要求^[1]。但这类技术对施工精度要求较高, 在现代工程项目中普遍使用 BIM 建模对墙体厚度与支撑布置进行优化。

1.2 柔性支护体系

柔性支护体系通常以土钉墙和锚杆技术为主。土钉墙以原位土体加固形成复合结构的模式成本较低, 但受到地质条件的较大限制, 这种方式仅适用于黏土或密实砂土地层, 并且开挖深度通常一般不超过 12 m。锚杆支护通过在岩土体中钻孔、安装锚杆并施加预应力, 以增强岩土体自身稳定性和承载能力, 一根锚杆的抗拔力最高可以达到 500 kN, 而且能够更好地适应周边已经存在建筑物的工程, 但在使用这一技术时, 需要做好注浆密实度控制和变形监测, 避免水土流失导致结构失效。

1.3 复合型支护技术

复合型支护技术是将不同的支护结构组合到一起, 使支护结构能够同时满足不同的功能性需要。比如 SMW 工法桩同时具备止水功能和良好的受力特性, 这种支护技术能够很好地适应软土地区的工程建设需要。桩锚联合支护使用排桩承担侧向压力, 以锚索提供拉力, 实现深层土体荷载的平衡^[2]。复合型支护技术明显具有更强的适应性, 但其应用技术要求也是最高的, 需要借助三维数值模拟验证结构的协同性, 确保支护技术能够满足工程的质量要求。

1.4 专项支护技术

在一些特殊地质和特殊环境的深基坑工程施工中, 往往需要采用专项技术。在淤泥质土层使用高压旋喷桩加固, 通过二次注浆提升桩体密实度; 对于富水砂层, 则通过使用止水帷幕配合降水井, 如沿海地区常用的三重管旋喷桩构建的连续防渗墙。除此之外, 在深度

超过 30 m 的超深基坑中,开始广泛地使用智能化监测技术、斜桩撑技术等新型技术,能够实时跟踪锚索应力衰减,对支撑布置进行整体优化。

2 深基坑支护施工管理核心策略

深基坑支护施工管理的核心目标是保证施工整体质量和施工效率,确保工程能够保质保量地如期交付,并做好施工过程中的风险防范,减少乃至杜绝安全事故的发生。而要达到这一系列目的,需要将科学、精细的管理贯穿工程的整个周期,通过多维度协同控制,优化复杂环境下的风险防控。

2.1 前期设计优化

深基坑支护施工的全过程管理必须包括工程建设开始之前的前期准备。在工程施工开始之前,组织专家团队对支护方案的可行性展开论证,结合三维地质模型与BIM技术模拟支护方案的施工过程和最终效果,确保支护结构设计的各项参数能够与工程范围内的地质条件、周边建筑物荷载以及地下管线的分布情况相匹配。在此基础上,进一步编制包含支护形式、排水系统、开挖顺序的完整专项施工方案,针对施工范围内存在的软土、高水位等特殊地质条件制定差异化技术路线,降低地下水渗透引发的坍塌风险。

2.2 施工过程动态控制

深基坑支护施工是一项复杂的系统性工程,系统内部的各个环节和分支系统相互关联和影响,必须要严格遵循分层分段、先撑后挖的施工原则。在施工过程中,参照智能监测设备提供的数据,对施工参数进行实时调整^[3]。可以使用GPS与光纤传感器对支护结构的位移、土体应力等具体数据进行连续监测,当某一项数值的变化速度超过预警阈值时,立即启动应急预案,暂停开挖作业并强化支撑,将支护结构变形控制在合理范围内。对于关键工序质量要提出更高的标准,如对锚杆注浆密实度进行超声波检测验证、地下连续墙接头处采用高压旋喷桩二次止水等,要确保支护结构的防渗性能达到设计标准。

2.3 风险与生态问题管控

生态问题实际上已经成为现代工程建设过程中的重要风险点之一,和安全事故、工期延误等传统工程风险类型一样,生态风险也会影响工程质量,提高工程施工成本,最终影响工程的综合效益。针对深基坑支护施工可能存在的安全、生态等风险,要建立从预防到响应再到处理的三级管理体系。预防环节要求施工单位做好速凝剂、钢板桩等应急物资的储备,并做好塌方、管涌等紧急事件的处理预案。响应环节则要求提高施工单位的巡查和反应能力,将风险巡视和预

警责任落实到个人,进而提高风险处理措施的效率。

2.4 强化施工队伍建设

深基坑支护施工队伍建设可以从技术强化和人员素养提升两个方面入手。现代化智能技术为深基坑支护施工提供了高效便捷的新工具,施工方要提高对BIM+GIS协同平台的使用能力,实现支护结构动态模拟与进度可视化,并结合无人机巡检快速识别基坑边坡裂缝等隐患。针对施工的参与人员,通过专项培训提升施工人员对新型材料的认识,提高对智能设备的操作熟练度,并建立技术交底、过程监督和成果验收全过程管理模式,避免由于人为的操作失误导致工程出现质量缺陷。

3 当前深基坑支护施工技术与管理中存在的问题

3.1 设计阶段的理论与实践脱节

深基坑支护设计是保证工程进度顺利推进,工程质量达到预期的重要前提。但许多施工单位完全忽视了施工前设计的重要性,存在勘察数据不精准、计算模型简化过度等问题。一些施工单位由于对地质勘探深度不足,而为了节省时间,盲目地套用相似工程的地质参数,直到施工推进时才发现支护结构的设计与实际地质条件并不匹配,这类问题不仅会导致工期延误,严重时甚至有可能引发局部坍塌事故。由于缺乏对工程建设全过程的影响因素的全面考量,导致在施工过程中设计的变更频繁。同时,施工单位缺乏动态调整机制,如在复杂城区施工时,没有及时地获取地下管线的最新分布情况,导致支护方案被迫不断地调整,不仅增加了成本与工期压力,还留下了更大的安全隐患。

3.2 施工过程质量控制薄弱

深基坑支护施工对整个工程建筑的质量影响非常关键,必须要做到对施工环节的层层把关和严格审查。但当前一些深基坑支护施工单位存在一定的材料把关不严、工艺执行偏差等问题,由此导致的钢筋强度不足、混凝土配比失准等问题屡见不鲜,直接影响了支护结构承载力。而在施工的关键工序,如土方开挖施工上,没有严格地遵循“分层分段”原则,经常出现超挖的问题,大大增加了边坡的失稳风险,一旦因此出现支护桩位移超限,就不得不临时追加支撑^[4]。

3.3 智能化监测与风险预警滞后

一些深基坑支护施工单位还在使用传统的监测手段,过于依赖人工进行数据采集,而人工采集的一大缺陷就是时效性差、精度不足。例如:当前在许多深基坑支护施工中普遍使用的全站仪等间断式监测,并不能及时地捕捉支护结构的动态变形。同时,还有部

分施工单位存在明显的风险防控体系碎片化,虽然制定了应急预案,但却没有认真演练,一旦真的爆发风险,响应和处理速度都远远达不到预期。

3.4 环境保护与绿色施工短板

绿色生态理念是现代工程项目施工的基本遵循,也是建筑行业发展转型的必然要求。深基坑支护施工中还存在突出的泥浆排放、噪声污染等问题。为了降低成本,有些深基坑工程没有配置泥浆循环系统,直接将泥浆排放到周边的环境中,最终进入附近的水源,造成大面积的水体污染。还有一些工程没有使用低噪音设备,高强度的施工振动引发邻近建筑墙体开裂。此外,新型环保材料的应用率不足,大部分深基坑支护施工仍然依赖传统钢材,也是导致深基坑工程施工的资源消耗与碳排放居高不下的重要原因。

3.5 管理体系与人员素质瓶颈

许多深基坑支护施工项目都将工程管理的重点放到了工程的进程调度上,而忽视了对各施工部门内部的精细管理,导致部门之间的协同效率低下,设计、施工、监测三方信息共享不畅,导致现场施工与设计方案频繁发生冲突。人员培训体系不健全也暴露出当前一些深基坑工程中的管理问题,部分施工人员对智能设备缺乏了解,甚至出现注浆压力设置错误等低级失误,增加了大量的施工纠错成本。

4 深基坑支护施工技术与管理的优化策略

4.1 推动支护施工设计精细化

施工设计是深基坑支护施工的首要环节,也是基础性的环节。需要施工设计人员依托三维地质模型与 BIM 技术构建数字化设计平台,整合地质勘察、周边环境及荷载参数,通过有限元分析模拟支护结构受力状态,改变传统支护施工的粗放式、经验化设计模式。针对软土、高水位地层等一系列复杂地质条件,积极推动如玻璃钢复合材料、再生混凝土桩风新型材料的应用,以更好性能的材料优化支护结构,提升支护结构的抗渗性与耐久性^[5]。

4.2 施工过程全流程管控

施工过程的全流程管控需要提高施工单位的动态调整能力,完善施工过程的质量追溯体系。在施工时,要严格遵循施工设计方案的施工顺序和各工序的施工要点,结合物联网平台实时采集工程数据,实现施工参数的智能纠偏。在地下连续墙接头防渗处理、土钉注浆等关键工序中,引入超声波检测、高压旋喷技术等新型施工技术,严格审查并不断优化施工品质^[6]。同时,要在工程项目中建立健全风险防范体系,做好

应急物资的储备,完善常见风险点和安全事故的应急机制和处理方案,并做好日常培训和演练工作。

4.3 提高智能化监测水平

要充分利用现有的智能化工具,以完善的信息数据推动项目工程的风险防控能力的提升。在深基坑支护施工中积极推广光纤传感、三维激光扫描和无人机巡检技术,实时把握支护结构、地下水位的变化,并设置自动触发预警,以 AI 算法分析监测数据,提高风险防范的时效性。同时,进一步完善 BIM+GIS 协同管理平台,整合设计、施工与监测数据,动态优化支护方案。

4.4 贯彻绿色生态施工理念

要将绿色生态施工理念贯穿于项目建设部全过程。在施工环节,应当尽量采用泥浆循环系统与低噪声设备,减少泥浆排放与振动污染。积极推广再生混凝土桩、碳纤维锚杆等环保材料,结合地下连续墙泥浆零排放技术,降低资源消耗与碳排放。

4.5 强化施工队伍建设

要充分重视施工参与人员的素质提升,将人员管理作为工程管理体系建设的重点内容。主动引进第三方质量检测机制,建设动态化信息管理系统,针对施工过程中存在的人员操作不规范问题,开展智能设备与新型工艺的专项培训,提升施工人员的技术熟练度。

5 结束语

深基坑支护施工是现代建筑工程的重点环节,关系到城市发展的质量。因此,要进一步优化建筑施工中深基坑支护的施工技术与管理策略,以数据为核心驱动,融合精准设计、智能施工、实时监测与绿色创新,构建覆盖勘察、设计、施工、运维的全生命周期管理体系,推动深基坑工程向安全、高效、可持续方向发展。

参考文献:

- [1] 他德龙.住宅建筑施工中深基坑支护的施工方法及管理措施[J].居舍,2024(12):41-44.
- [2] 柯桂斌.建筑施工中深基坑支护的施工技术与管理[J].城市建设理论研究(电子版),2023(32):120-122.
- [3] 汤兵.建筑施工中深基坑支护的施工技术与管理[J].广东建材,2023,39(11):111-113,48.
- [4] 宋茂兴.建筑工程施工中深基坑支护施工技术管理研究[J].居舍,2023(30):65-68.
- [5] 火贤昌.建筑施工中深基坑支护的施工技术与管理[J].居舍,2022(14):72-74.
- [6] 魏奇斌.探究建筑工程施工中深基坑支护的施工技术措施[J].四川水泥,2021(07):246-247.

土木工程中房建工程质量问题与控制策略探究

黄 平

(佳邦建设集团有限公司广西分公司, 广西 南宁 530200)

摘 要 房屋建筑工程作为土木工程的重要组成部分, 其质量水平直接关系到建筑物的安全性、功能性与使用寿命。在实际施工过程中, 各类质量问题层出不穷, 如混凝土结构强度不足、构件裂缝、防水系统失效、施工组织混乱等, 严重制约了工程整体品质的提升。本文在系统归纳房建工程常见质量问题的基础上, 从结构施工、防渗处理、装修机电与施工管理等维度剖析成因机制, 进一步提出切实可行的质量控制策略。对策内容涵盖施工前策划、材料与工序控制、现场管理、信息化监控与制度保障等多个环节, 构建出一套系统、科学的质量控制体系, 以期为房建工程质量管理提供有益参考。

关键词 土木工程; 房建工程质量; 装饰装修; 机电安装

中图分类号: TU712

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.22.032

0 引言

随着建筑行业规模的持续扩大, 房屋建筑工程在城市基础设施建设中发挥着日益关键的作用。然而, 房建工程质量问题频发已成为制约行业健康发展的严重隐患。这些问题涵盖从结构层面的混凝土强度与钢筋布置, 到防水、装修乃至机电安装等多个环节, 往往具有隐蔽性强、成因复杂、影响深远的特点。工程质量一旦出现缺陷, 不仅可能导致建筑物功能性下降, 甚至存在安全风险。因此, 建立一套科学、高效、全流程的质量管理体系尤为必要。当前, 对房建工程质量问题的研究多聚焦局部案例或单一环节, 缺乏对问题类型系统归纳与对整体设计的研究。本文以系统化视角对常见质量问题进行分类解析, 进而提出多维度的综合性控制策略, 以期为工程质量保障提供理论参考。

1 房建工程中主要质量问题的类型及成因分析

1.1 结构施工阶段常见质量问题

结构作为房建工程的骨架, 其稳定性和耐久性深受施工阶段工艺细节的影响。在混凝土施工过程中, 水灰比调配不合理是一个容易被忽视的问题。混凝土拌合物的稠度若掌握不当, 不仅影响浇筑时的流动性, 还会直接影响成型后的结构强度。而在养护阶段, 如果未按标准持续保湿或控制温湿度, 混凝土早期失水, 将产生内部缺陷, 进而降低抗压性能。此外, 钢筋的绑扎与埋设作为构件受力的核心环节, 对施工精度提

出更高要求。若出现钢筋位置偏移或保护层厚度不足, 会在使用过程中削弱结构整体受力路径, 诱发局部破坏。同样地, 在未充分振捣或忽略温度控制的情况下, 墙体与楼板中往往易形成裂缝, 表现为线状分布或角部开裂, 这类裂缝通常预示着结构内部受力或变形控制存在问题。结构问题往往不是单一因素作用的结果, 更易在多因素交织中形成隐患^[1]。

1.2 防渗与防裂系统存在缺陷

建筑物的防水系统如同人体的皮肤, 直接承担着环境隔离和功能保护的任务。然而, 在房建施工中, 屋面与地下室的防水层常因施工操作不规范而成为渗漏的首发部位。防水材料虽已趋向多样化与复合型, 但其性能发挥高度依赖铺设工艺的完整性与缝隙处理的严密性。若在搭接、节点收口、变形缝处理等部位疏忽细节, 很可能在后期出现局部积水或渗透, 给使用者带来持续的隐患。与此同时, 厨卫空间由于使用频率高、给排水管线密布, 其防水工程对材料性能和施工范围要求更为严格。一旦在前期施工中未延展防水层至墙面规定高度, 或防水涂层厚度不足, 将在后续使用中因地面潮气或渗液导致墙体发霉、饰面脱落等问题。另外, 个别项目在材料选用环节偏向低成本选择, 加之工期压缩因素影响, 进一步加剧了防水系统的失效风险, 使得功能区防护成为质量控制中的敏感区域。

1.3 装饰装修与机电安装质量问题

在房建工程整体交付前,装饰与机电部分往往直接影响使用舒适度和功能可靠性。在饰面工程中,空鼓、脱落现象的发生多数与基层处理不充分有关。当基层含水率未达到施工标准,或腻子与粘结剂选材不当时,即使初期贴合良好,也难以抵抗后期热胀冷缩及材料老化带来的黏结退化。而门窗系统作为内外分隔的重要构件,其安装精度影响密封性、开启灵活度及使用寿命。如果在放线阶段测量不准确,或在安装过程中忽略框体水平度与垂直度,往往会在交付后表现为缝隙过大、关合不严、风雨渗透等问题。同样地,机电安装中最容易被忽略的便是隐蔽管线的布局与编号管理。在没有统一标准指导下进行的线路铺设,常导致布线混乱、后期维修困难,甚至可能存在交叉干扰与消防隐患。这些问题表面看似轻微,但在长期使用中会逐渐积累为不容忽视的功能性障碍^[2]。

1.4 施工组织与管理层面的问题

质量管理不仅体现在技术层面,也深深植根于施工组织制度的落实情况。在实际项目执行中,管理责任划分模糊时常导致关键节点缺乏有效监督。有的项目中存在多方参与却未建立统一协调机制,使得质量问题在被发现时已错过最佳修复窗口。尤其在大量项目中,若缺乏系统性的巡检与复核程序,问题往往因交叉作业频繁、责任边界不清而被掩盖。此外,施工人员的专业能力直接关系到现场执行的准确性。一线工人在未经培训或管理不到位的情况下进入施工现场,很难完全按照图纸和工艺要求作业,容易形成“看图施工”与“经验施工”混杂的局面。而在资料管理环节,项目归档、签证流程、质检记录等若未严格执行,很难实现后期质量溯源与责任界定,使整个项目质量控制体系处于低效甚至失控状态。与技术相比,组织体系的完整性和执行力更容易被忽视,却是所有工程质量的深层基础。

2 房建工程质量控制的系统性对策

2.1 前期策划阶段的质量预控措施

在工程正式开工前,质量的第一道防线即已形成。施工图设计阶段的审核与会审程序往往被误认为是形式化流程,实则是避免施工与设计断裂的关键环节。图纸中的错漏碰缺若不在会审阶段得到纠正,将在施工中引发连锁问题。因此,有必要组织设计单位、施工单位与监理方联合开展图纸会审,逐一排查技术矛盾与节点冲突,提前制定施工深化方案,减少施工阶

段的反复修改。同时,技术交底的落实程度直接影响到现场操作的标准化水平。项目部应按照施工组织系统逐级展开交底,从项目经理到班组工人,每个层级都要明晰施工方法、质量标准与安全要求,并将交底过程形成文件归档。在技术文件准备上,应同步完成技术交底资料、工艺说明与操作指引,使质量管理真正融入施工前期的技术管理链条当中^[3]。预控措施的完善,不仅有助于减少后期质量纠偏成本,更能引导施工向规范化、标准化的路径发展。

2.2 材料与工序质量控制措施

工程材料的质量稳定性是工程实体质量的直接基础。在材料进场环节,应坚持“一批一检”的验收原则,并设置重点材料的抽检比例红线,尤其针对钢材、水泥、防水卷材等关键品类,须联合第三方检测机构进行成分与性能检测。除原材料以外,构配件、预制构件等半成品的加工过程也应纳入监控范围,避免存在不合格构件滥用的可能。针对易引发质量问题的关键工序,如混凝土结构浇筑、防水层施工等,项目部需设置样板先行制度,在正式大面积作业前,组织关键岗位进行样板段试施工。样板段完成后应邀请相关管理人员、施工代表、监理工程师联合评审,并根据评审意见修正施工参数与技术细节。样板制度不仅是一种质量控制手段,也是一种技术沟通的桥梁,有利于统一操作理解,明确施工边界与验收标准。此外,对于成品保护材料和施工封闭区域,也需制定相应的物料管控清单与进场登记制度,降低因材料缺陷或管理失当造成的隐蔽质量隐患。

2.3 施工现场技术与管理控制

施工阶段的质量控制离不开多层次的技术检验与过程监督。项目应构建“自检—专检—复检”三层质量检查系统,将施工班组自查与现场管理人员的过程复核有机结合,最大程度提升问题发现的即时性与响应速度。在具体操作上,应为不同工种、不同作业段设立质量责任标识,对关键环节如钢筋绑扎、模板安装、混凝土浇筑等,配置质量控制节点卡,以表格化方式记录操作情况并实施现场签字制度。同时,施工日志与各类施工记录文件的管理需规范化。每一施工工序的关键技术参数、检测结果与验收意见应按时间顺序完整记录,便于未来质量追踪和责任倒查。施工现场在推行精细化管理的同时,还应强化过程中的协调控制。对于多工序交叉作业的项目,应设置现场指挥协调岗,合理调配资源,防止不同工序因交接不当而引

发质量冲突。此外,临时施工设施的设置与施工用电、供水布置也应依据标准化布置图统一执行,减少现场因管理混乱带来的工艺偏差^[4]。

2.4 信息化与技术工具辅助质量管控

随着建筑信息技术的快速发展,信息化手段正在逐步介入传统的质量控制流程,并展现出较高的适应性与实用性。BIM技术在施工阶段的深入应用,可在项目实施前进行模型模拟,对可能存在的结构冲突、管线重叠与空间协调问题进行提前识别与调整。在施工过程中,利用BIM模型进行施工进度与质量节点的联动管理,可使各参与方实时掌握施工动态,并根据反馈进行精准排布。此外,智能监测设备的布设也为施工质量带来了更多可量化的数据支持。混凝土养护传感器可以实时传输湿度、温度等参数,为后期强度评估提供依据;结构应变监测系统则能捕捉受力构件的微小变形,预判结构异常趋势。这些设备不仅提升了检测的精度,也扩展了管理的视野,使工程质量监控从“看得见”延伸至“预判得出”。信息化系统的接入也为施工资料的归档、数据的管理与报表的生成带来便捷,在提升管理效率的同时,亦增强了项目过程的透明性与可追溯性。

2.5 人员管理与制度保障措施

工程质量的最终体现,离不开每一位施工参与者的操作素养与责任意识。在施工组织中,应建立完善的人员持证上岗机制,将关键工种如焊接、电气、吊装、防水等列为专项培训与定期考核范围,依照技能等级分类配置施工任务。新入场工人应接受岗前教育,明确操作标准与质量要求,并在考核合格后方可安排实际作业。在管理层方面,则需设立技术与质量分工明确的责任体系,细化至每一项施工内容的具体责任人。对于施工质量的失误,不仅要分析技术原因,更要回溯至制度落实与人员执行的全过程。此外,应同步推行质量责任追溯制度,将每一道施工环节的操作与检查结果以实名形式记录归档,并与绩效考核挂钩。在质量事故处理机制中,建议引入责任认定、损失评估、整改执行三位一体的闭环处理流程,使责任归属明确、整改路径可循。通过制度化手段唤起各级人员对工程质量的参与感和使命感,是提升整体质量水准的有效方法之一。

2.6 建立健全质量评价与激励体系

质量管理的持续有效运转,需依赖科学合理的评价机制与有力的激励制度作为支撑。在工程推进过程

中,应设立定期质量评估机制,按施工节点对工程实体质量进行评分,并结合问题整改时效和反馈质量进行综合排名。评估结果可用于分包单位绩效考核,也可作为项目内部奖惩依据。与此同时,为提升各施工队伍的质量主动性,有必要建立“工程质量红黑榜”制度,定期公示表现优良与问题突出的作业单位,形成典型引导与负面警示的双重效应。在此基础上,还可探索将质量绩效结果与合同付款、续签合作挂钩,使激励政策更具引导力与执行力。质量问题的出现往往具有阶段性,但评价与监督却需保持稳定性与连续性。通过制度化的评价反馈机制,使管理由事后控制逐渐过渡到事前激励,为质量体系运行注入持久动力,也有助于在施工队伍中形成主动追求高标准施工的良好氛围^[5]。

3 结束语

房建工程作为土木建设体系中的关键环节,其施工质量不仅关系到建筑物的使用性能,也影响着城市发展的整体品质。房建工程质量问题的表现虽各有不同,但在成因上往往具有阶段性、系统性与管理层次的综合特征。应围绕施工结构、装修机电、防渗系统以及施工组织等多个方面,对典型问题进行归类与分析,并据此提出贯穿施工全过程的控制策略。从前期设计策划、原材料与工序管理,到信息化工具辅助与制度性保障机制,多个维度共同构建完整的质量管控体系。在实践中,将工程管理嵌入项目全过程,构建以技术数据、标准规范与责任制度为核心的联动机制,是提升工程质量的可行路径。房建工程质量控制不应视为孤立的技术环节,而应作为一种贯穿工程全生命周期的管理理念。在标准化、信息化与专业化不断提升的背景下,推动质量管理向系统性、数据化方向发展,为未来房建工程的高质量发展提供更为稳固的支撑。

参考文献:

- [1] 鲁锦妍,吴鑫.土木工程中房建工程质量问题与控制策略探究[J].中国住宅设施,2023(11):1-3.
- [2] 张鹏.土木工程中房建项目工程质量保障措施探讨[J].居舍,2023(32):169-172.
- [3] 凌冲颖.土木工程中房建项目工程质量保障措施探讨[J].城市建设理论研究(电子版),2023(12):43-45.
- [4] 刘志强.土木工程中房建工程质量问题与控制策略探究[J].居舍,2022(15):132-135.
- [5] 刘军.土木工程中房建项目工程质量保障措施[J].科技创新与应用,2020(35):114-115.

公路路基施工技术及路基压实质量的控制措施

赵 鹏

(四川三江交通建设工程有限公司, 四川 宜宾 644000)

摘 要 路基是公路结构的根基, 其施工技术和压实质量对于公路的整体稳定性、耐久性和使用寿命具有重要的影响。本文深入探讨了高速公路路基施工技术和路基压实质量的重要性、公路路基施工技术的基本原理与前期准备、公路路基施工技术及路基压实质量控制措施, 旨在为公路工程建设提供有益的技术参考, 确保公路路基施工质量和压实效果达到预期标准, 进而确保公路安全运行并延长其使用年限。

关键词 高速公路路基施工技术; 路基压实质量; 路基表面处理技术; 软土基处理

中图分类号: U416

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.22.033

0 引言

公路作为国民经济的重要基础设施, 其建设质量和安全性对于促进经济发展、维护人民生命财产安全意义重大。路基作为公路结构的基础部分, 承受着路面带来的荷载, 并将其分散到地基中, 因此路基的施工质量和压实程度直接关系到公路的整体稳定性和使用寿命。随着交通流量持续攀升以及车辆载荷日益加重, 对公路路基的施工技术和压实质量提出了更高的要求。本文对公路路基施工技术及路基压实质量控制措施进行详细探讨, 以期为推动公路工程建设提供有价值的技术借鉴。

1 高速公路路基施工技术和路基压实质量的概述

高速公路路基施工技术和路基压实质量是确保公路安全、稳定、耐久的关键要素。路基作为公路的支撑结构, 承受着车辆载荷及自然环境要素的双重影响, 因此其施工技术和压实质量直接关系到公路的整体性能和使用寿命^[1]。在施工过程中, 路基施工技术的选择和应用至关重要。合理的施工技术能够确保路基的稳定性, 提高其承载能力, 减少后期维护和修复的成本。同时, 路基压实质量也是不可忽视的一环。压实质量的优劣直接影响到路基的密实度、强度和稳定性, 继而影响公路的整体性能与使用安全程度。伴随交通流量持续增长与车辆载荷不断加重, 对高速公路路基的施工技术和压实质量提出了更高的要求。因此, 在高速公路建设中, 务必着重关注路基施工技术与压实质量的把控, 采用先进的施工技术, 加强压实质量的监测和评估, 确保公路路基的施工质量和压实效果达

到预期标准。这不仅能够保障公路的安全运营, 还能延长公路的使用寿命, 为经济社会的持续进步提供坚实的保障。

2 高速公路路基施工的基本原理与前期准备

2.1 路基施工基本原理

高速公路路基施工是一项复杂而精细的工程, 其成功实施依赖于一系列科学原理的支撑。这些原理主要涵盖土壤力学原理、材料科学原理以及结构力学原理^[2]。土壤力学原理涉及了土壤的承载力和变形特性, 为理解路基在承受车辆荷载时的行为提供了坚实的理论基础。材料科学原理则聚焦填料的物理和化学性质, 以及这些性质如何影响路基的整体稳定性和耐久性。此外, 结构力学原理在路基结构的设计中发挥着关键作用, 它确保了路基结构能够承受预期的荷载和环境条件, 为公路的安全运营提供了有力保障。

2.2 前期准备工作

在高速公路路基施工之前, 进行充分的前期准备工作至关重要。这包括地质勘察、设计规划、材料采购与检验、施工队伍组建与培训等^[3]。地质勘察旨在了解施工区域的地质条件, 为设计提供准确的地质参数。设计规划则根据地质勘察结果和交通需求, 制定详细的施工方案。材料采购与检验确保所有使用的材料符合设计要求, 并具有足够的稳定性和耐久性。施工队伍组建与培训则确保施工团队具备必要的技能和知识, 能够高效、安全地完成施工任务。此外, 施工前还需制定详细的安全管理计划和环境保护措施。安全管理计划旨在预防施工过程中的安全事故, 保护施

工人员的生命财产安全。环境保护措施则旨在减少施工对周边环境的影响,保护生态环境和自然资源。

3 公路路基施工技术 & 路基压实质量的控制措施

3.1 高速公路路基施工技术控制措施

3.1.1 路基表面处理技术

路基表面处理技术作为高速公路建设中的关键环节,对保障路基的稳固性与持久性发挥着关键作用。在高速公路的铺设过程中,路基表层的平整程度是影响行车安全及舒适度的关键要素。因此,必须采取一系列科学的平整处理措施,以彻底消除坑洼和裂缝,确保路基表面的平整度误差严格控制在5 mm以内。除了平整处理外,封层处理也是提升路基耐久性的另一项重要技术。通过在路基表面均匀涂刷一层厚度为3~5 mm的封层材料,如沥青、水泥浆等,可以迅速形成一层坚固而致密的保护层^[4]。这层保护层如同一道坚实的屏障,能够有效隔绝水分和空气的渗透,进而显著降低路基遭受侵蚀与损毁的风险。经过封层处理的路基,其抗风化、抗水蚀的能力显著增强,使用寿命也因此得以延长。

3.1.2 公路路基防护

公路路基防护是公路建设和维护中的关键环节,对确保路基的长期稳定性和耐久性至关重要。除了采用多样化的防护策略,如植物防护、工程防护及综合防护外,还需实施一系列细致的维护措施。具体而言,应定期对路基边坡进行精密监测是预防边坡坍塌和滑坡风险的关键。为此,要求每季度至少进行一次全面检查,利用无人机航拍、雷达扫描等先进的监测设备和技术,对边坡的每一个细节进行细致观察,及时发现并处理变形、裂缝等异常情况^[5]。同时,建立一套定期且全面的巡查和检查机制也是必不可少的。从每日的例行巡查,到月度的细致检查,再到年度的综合评估,都要做到严格把关,确保每一项工作都落到实处。通过这些措施,可以及时发现并处理隐藏的安全风险与质量缺陷,为公路路基的长期稳定运行提供有力保障。

3.1.3 软土基处理方式

软土基作为公路建设中屡见不鲜的地质难题,因其承载力低下、易于变形,往往对公路的稳固性与安全性构成极大的威胁。因此,采取科学合理的软土基处理方式尤为重要。在处理软土基时,可根据具体情况采取一系列有效的措施。换填法便是一种常用的处理方式。它通过将软土基部分或全部挖除,然后换填以承载力更高、稳定性更强的优质填料,如碎石、砂砾等,从而有效提升地基的承载能力^[6]。此外,加固

法也是处理软土基的重要手段之一。该方法主要利用注浆加固、钢板桩加固等加固材料和技术手段,对软土基进行深度加固。注浆加固通过向软土基中注入高强度注浆材料,使地基形成一个整体结构,进而大幅提升承载效能与抗变形能力。而钢板桩加固则是通过在软土基周围打入钢板桩,形成一道坚固的屏障,防止地基发生过大变形。

3.1.4 加强路基压实与检测工作

路基压实是提升高速公路路基承载能力和稳定性的核心步骤,其重要性不言而喻。为确保路基达到预期的压实效果,必须采取一系列全面而有效的措施来加强压实与检测工作。首先,应建立一套全面且高效的检测体系,运用先进的检测技术和设备,如核子密度仪、灌砂法等,对路基的压实度、密实度等关键性能指标进行实时、精准的监测与评估^[7]。其次,在施工过程中,应严格把控压实质量,确保压实设备与方法的选择符合实际工况要求,并加强对压实质量的全程控制和监督,确保每一步操作都符合规范标准。此外,还应高度重视施工人员的专业素质提升,通过定期举办培训和技术交流活动,持续更新其知识架构,强化其技术实操水平,为施工质量的稳步提升筑牢更为坚实的根基。

3.2 高速公路路基压实质量控制措施

3.2.1 碾压路基

碾压作为高速公路路基压实的关键步骤,其质量控制至关重要。首先,需根据路基的土壤类型、含水量等特性,选择适宜的碾压设备。例如:对于粘性土壤,振动压路机因其强大的振动力而成为首选,其振幅通常设定在0.5~1.0 mm之间,以确保土壤颗粒间的紧密排列;而对于砂性土壤,轮胎压路机则因其良好的适应性和压实效果备受青睐,其碾压速度一般控制在2~4 km/h。同时,科学设定碾压参数也是确保压实效果的关键。碾压遍数、速度及振幅等参数的设定需根据土壤特性和设计要求进行精确计算,通常碾压遍数不少于6~8遍,以确保每一层路基都能达到预期的压实度^[8]。为确保碾压质量,还需强化过程监测与评估。通过实时监测路基的压实度、均匀性等关键指标,可以及时发现并解决潜在的质量问题。例如:当压实度低于95%时,需立即调整碾压策略,增加碾压遍数或振幅,以确保压实效果满足设计要求。

3.2.2 机械的合理选择

机械的合理选择对高速公路路基压实质量具有决定性影响。在选取压实机械时,需全面考量其性能参数、

适用性、可靠性和稳定性。首先,机械的性能参数需紧密匹配设计要求。例如:振动压路机的振幅通常设定在 0.5 ~ 1.5 mm 之间,频率则在 25 ~ 30 Hz 之间,以确保达到既定的压实标准。这些参数的精确设定,能够确保机械在压实过程中提供足够的能量,使土壤颗粒间达到紧密排列,从而提升压实效果。其次,机械的选择应高度契合路基的土壤类型和压实需求。针对粘性土、粉质土等细粒土,振动压路机因其强大的振动力而成为首选;而对于砂砾土、碎石土等粗粒土,轮胎压路机则因其良好的适应性和压实效果得到广泛应用^[9]。不同类型的压实机械在针对不同土壤类型时,能够发挥最佳的压实效果。此外,机械的可靠性和稳定性同样至关重要。它们确保了压实作业的连续性和高效性,能减少因机械故障导致的停工时间,从而提升整体作业效率。

3.2.3 压实质量的监测和评估工作

压实质量的监测与评估是高速公路路基施工中的关键环节,对于确保路基的整体稳定性和耐久性具有不可替代的作用。为加强这一工作,必须构建一套完善且高效的检测体系,采用如灌砂法、核子密度仪等先进检测技术和设备,对路基的压实度、密实度、强度等核心性能指标进行实时、精准的监测与评估。同时,应建立健全的数据采集、存储与分析机制,通过细致的数据挖掘和分析,及时发现并解决潜在的质量隐患,为施工质量的不断优化提供坚实的支撑。此外,还应注重检测数据的系统化管理与应用,建立健全的数据档案与数据库,便于后续的质量追溯与对比分析。同时,强化质量反馈机制,确保检测结果能够及时反馈至施工现场,以便迅速采取针对性的整改措施^[10]。通过构建闭合的质量管理循环,不断优化施工工艺,提升压实质量,从而全面提升高速公路的建设品质与安全性能,为公路的持久平稳运行提供可靠保障。

3.2.4 控制路基含水量

路基的含水量是决定压实效果的核心要素,过高或过低的含水量都会导致压实效果不佳。因此,于路基施工期间,务必严密把控路基的含水量,确保其在最佳含水率范围内进行压实。在路基施工前,应对路基土进行含水量测定,了解其天然含水量。在施工过程中,需定期对路基开展含水量检测工作,保证含水量被控制在最佳含水率 $\pm 2\%$ 的区间内。若含水量超出标准,应运用晾晒、排水等手段来减少含水量;若含水量不足,则应适度洒水以提升含水量。为了避免因天气原因导致的含水量变化,应选择适宜的施工时段进行路基施工^[11]。例如:在雨季或湿度较大的天气条

件下,应尽量避免进行路基施工,以减少含水量对压实质量的影响。在路基施工期间,需规划并安置恰当的排水系统,以保障雨水能迅速排离,防止积水对路基形成破坏。同时,对于地下水丰富的地区,应采取有效的地下水控制措施,如设置排水井、铺设防水层等,以减少地下水对路基含水量的影响^[12]。

4 结束语

公路路基施工技术和压实质量控制对于确保公路的整体稳定性和使用寿命至关重要。通过采用科学合理的施工技术,如路基表面处理技术、公路路基防护、软土基处理方式以及加强路基压实与检测工作,可以显著提升路基的承载能力和稳定性。同时,严格控制路基压实质量,包括合理选择碾压机械、加强压实质量的监测和评估工作以及控制路基含水量等措施,也是确保路基压实效果达到预期标准的关键。未来,随着技术的不断进步和经验的积累,公路路基施工技术和压实质量控制将得到进一步完善,为公路工程建设提供更有力的技术支撑,保障公路的安全运营,并延长其使用寿命。

参考文献:

- [1] 肖加富.公路路基施工技术与质量的控制措施[J].黑龙江交通科技,2020,43(06):105-107.
- [2] 郭旭.公路路基施工技术及路基压实质量提高方法[J].四川建材,2022,48(10):194-195.
- [3] 陆金霞.公路路基压实施工技术及质量控制研究[J].运输经理世界,2022(32):68-70.
- [4] 汪德旺.浅谈公路路基压实施工技术及质量控制[J].智能建筑与工程机械,2021,03(08):10-12.
- [5] 王琦.公路路基压实施工技术及质量控制分析[J].交通建设与管理,2024(06):88-90.
- [6] 倪行干.公路路基压实施工技术及质量控制研究[J].黑龙江交通科技,2022,45(09):159-161.
- [7] 何静.市政道路路基施工技术与路基压实质量控制分析[J].工程技术研究,2022,07(13):160-162.
- [8] 牟加磊.公路路基施工技术及质量控制措施探讨[J].四川建材,2024,50(11):127-129.
- [9] 张晓燕.公路路基工程开挖施工技术要点及防护措施[J].四川建材,2024,50(11):148-150.
- [10] 唐臻.市政道路路基施工技术要求及质量控制措施[J].科技创新导报,2022,19(16):85-87.
- [11] 许靓洁.市政工程道路路基施工技术与质量控制措施[J].砖瓦世界,2024(11):232-234.
- [12] 李亚刚,刘杨.公路路基施工技术及路基压实质量的控制分析[J].环球市场,2020(03):286.

市政给排水施工中的非开挖顶管施工技术要点研究

汤 兵

(安徽拓鑫建设集团有限公司, 安徽 合肥 230031)

摘 要 传统开挖施工技术往往伴随着对城市交通、环境和既有建筑等其他系统的干扰甚至破坏, 在高密度的城市区域内已经很难适用。考虑到城市燃气、电力、通信等多种管线交错分布的情况, 开挖施工的难度和风险进一步增加。基于此, 非开挖顶管技术作为一种“少扰动、高效率”的施工方式, 逐渐成为市政给排水工程的首选方案。本文通过对市政给排水施工中非开挖顶管施工技术存在的问题进行分析, 并进一步探讨其施工要点与优化路径, 以期为推动市政建设提供有益参考。

关键词 市政给排水施工; 非开挖顶管施工技术; 施工应急管理

中图分类号: TU99

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.22.034

0 引言

非开挖顶管技术在全球范围内已形成较为成熟的应用体系。国外在长距离顶管、智能化设备和复杂地质适应性方面具有显著优势, 而国内则通过实践积累了丰富的经验, 尤其在粉质黏土、砂卵石层等复杂地质条件下的施工技术较为突出。但是, 我国非开挖顶管技术仍面临设备核心部件依赖进口、施工标准化程度不足、复杂地质条件等方面的问题。因此, 进一步深化非开挖顶管技术研究具有有效降低碳排放和生态破坏、降低综合施工成本、推动国产设备研发等多个方面的价值和意义。同时, 随着物联网、BIM等技术的融合应用, 顶管施工将向智能化、数字化方向发展, 进一步发挥其在城市更新中的作用。

1 非开挖顶管施工技术概述

1.1 非开挖顶管施工技术的特点

非开挖顶管施工技术是一种通过液压顶进设备在地下直接敷设管道的施工方法, 这一施工技术最大的优势在于能够避免大规模地表开挖, 仅需少量工作井即可完成管道的铺设、修复或更换^[1]。这一技术的实现利用了岩土钻掘原理, 结合液压推力与平衡控制, 将预制管节逐段顶入土层, 最终形成连续的地下管道系统。从整体上看, 非开挖顶管施工技术具有三方面的独特优势:

(1) 非开挖顶管施工技术具有明显的环保性。非开挖顶管在施工过程对地表扰动极小, 噪声、粉尘的产生量也比较低, 而且由于其不必大面积破坏道路或

植被, 所以在城市核心区、古迹保护区及生态敏感区域的适用性极强。(2) 非开挖顶管施工技术的经济性优势也比较显著。非开挖顶管施工能够通过降低拆迁成本、缩短工期及减少土方运输费用, 大幅度地降低综合成本。(3) 相较于传统顶管施工技术, 非开挖顶管施工技术具有更强的适用性, 它能够穿越复杂地形与障碍物, 如河流、铁路、建筑物基础等, 且能够适用于高地下水位、松散土层、硬岩地层等多种特殊地质条件。

1.2 非开挖顶管施工技术的分类

根据平衡原理和所需要的设备类型不同, 可以将当前主流的非开挖顶管技术分为三类, 在具体的工程实践中, 需要结合具体地质条件与工程需求选择最为合适的技术。

第一类是泥水平衡式, 这一类技术是通过循环泥浆压力平衡开挖面水土压力, 通常应用于砂层、粉细砂层等高地下水位区域及软岩地层, 而其最突出的优势在于泥浆可以携带土渣, 有效地稳定孔壁。

第二类是土压平衡式, 即在土仓内压力与开挖面土体压力构造动态平衡的状态, 这一技术适用于粉质黏土、砂卵石层等松散土层, 借助调节螺旋输送机转速控制出土量, 能够有效防止地表沉降, 在城市密集区的地下管线施工中具有明显的优势。

第三类是机械掘进式, 机械掘进就是适用刀盘式、滚刀式的硬岩掘进机对硬岩地层进行破碎。这一类施工技术虽然掘进效率高、方向控制精准, 但需要使用钢管、复合管高强度管材以承受顶力。

另外,为了确保在特殊场景下施工技术的应用效果,有时需要综合运用辅助技术。例如:通过注入触变泥浆降低管壁摩擦阻力,减少顶力并防止地面沉降;在长距离顶进中分段设置中继间,通过接力顶推解决主顶油缸推力不足问题等。

2 非开挖顶管施工技术要点研究

2.1 非开挖顶管施工技术的前期准备

首先,要做好地质勘测,利用钻探、物探等手段分析施工区域内的水文地质条件,明确土层结构、地下水位和障碍物分布,结合具体的地质条件分析结果,选择合适的施工工艺与设备^[2]。例如:在砂卵石层或高水位区域,选用泥水平衡式顶管机以维持开挖面稳定;在松散土层则优先采用土压平衡式设备,通过调节螺旋输送机转速控制土仓压力。其次,根据工程与施工技术选择合适的管材也是非开挖顶管施工前期准备的重点内容,在选择管材时要充分考虑腐蚀性环境与顶力需求,如污水管道需采用抗腐蚀材料,高压场景下则选用钢管或高强度钢筋混凝土管。此外,在工程施工开始之前,要做好工作井的设计,工作井需要兼顾受力性能与施工便利性。一般情况下,圆形工作井的均匀受力特性要比矩形结构的工作井更好。而支护方案则可以使用钢板桩搭配内支撑或地下连续墙,在洞口设置钢环与橡胶止水圈,能够起到防止水土流失的效果。

2.2 非开挖顶管核心施工工艺

非开挖顶管施工对工艺的精细化要求比较高,这直接关系到工程的安全与质量。要做好贯穿施工全过程的顶进控制,在初始顶进阶段每顶进 0.5~1 米就需要用激光导向仪或全站仪高频测量轴线偏差,及时调整顶进方向,把整体误差控制在最小范围内。在选择纠偏技术时,也需要考虑地质条件,软土层采用挖土校正法,硬岩地层则通过调整千斤顶顶力分布强制校正。

注浆减阻是非开挖顶管施工中降低顶力与地面沉降的关键工艺,在作业时需要同步注入触变泥浆形成润滑套减少管壁摩擦。在穿墙与出洞环节,穿墙阶段需要填埋高强度黏土并设置止水帷幕防止涌水,出洞后及时拆除临时支护并启用止水环,确保接收井结构安全。

非开挖顶管施工还要做好质量控制与检测,建立全过程的动态质量控制体系。在施工中,重点关注管道接口密封性,采用热熔对接或电熔连接工艺,并进行无损检测。在管道贯通后,进行水压试验,试验压力为设计压力的 1.5 倍,金属管稳压 10 分钟、塑料管 1 小时,渗水量需要符合行业标准。除此之外,注浆填

充与沉降监测也是非开挖顶管施工必不可少的一部分,通过管壁注浆孔注入水泥浆填充管外空隙,并采用全站仪实时监测地面沉降,确保周边建筑与管线安全。

针对复杂特质环境或高难度施工要求,还需要制定专项技术方案。例如:在流沙层中增加泥浆黏度,硬岩地层采用滚刀式掘进机并预注浆加固破碎带;穿越既有管线时需提前物探定位,必要时采用微型顶管或曲线顶进技术避让;长距离顶进需要设置中继间,通过分段接力顶推降低主顶系统负荷,间距根据顶力计算确定。

3 市政给排水非开挖顶管施工中存在的问题

3.1 设备与技术短板

我国非开挖顶管施工中最为突出的问题是在高精度导向系统、硬岩掘进刀盘等高端核心设备上比较依赖进口,国产设备在智能化、耐用性及全土质适应性方面都存在一定的不足。核心设备上的精度、质量问题,导致我国当前在砾石层、流沙层等复杂地质上的非开挖顶管施工稳定性不足,工程风险比较高。我国能够完全国产化的非开挖顶管施工设备类型单一,在微型顶管、超大口径顶管等不常见的工况上设备供应能力不足,导致在一些特殊的施工场景中还依赖手掘式技术,机械化水平较低,降低了工程施工效率^[3]。

3.2 非开挖顶管施工技术人才培养问题

非开挖顶管施工的高精度、智能化发展方向,需要施工队伍中具有兼具理论知识与智能化设备操作能力的复合型技术人才。我国在这一行业缺乏系统性培训体系,从业人员多由传统土木工程领域转型,对智能化设备操作、地质风险预判等专项技能掌握上存在一定的不足。

3.3 非顶管施工标准化与规范化不足

我国在非顶管施工上缺乏统一的技术规范和验收标准,尤其在施工工艺、管材质量及注浆减阻等环节存在较大的随意性。以管道接口为例,F 型钢筋混凝土管因制造工艺缺陷常导致渗漏,而内防腐技术尚未普及,就会影响管线使用寿命。中继间技术、泥浆配比等关键工艺也缺乏标准化指导,加剧了施工风险。在具体的施工实践中,存在部分工程因注浆压力或材料配比不当导致地面沉降超标,引发了周边建筑结构损伤^[4]。

3.4 区域发展失衡与环保风险

我国东部沿海地区技术应用水平显著高于中西部,非开挖顶管施工项目量也远远高于中西部地区,西部地区的非开挖顶管施工多出现于西气东输等大型项目中,并且施工中泥浆污染和废弃土方处理明显缺少更加高效、低碳的方法,部分工程仍使用高污染化学注

浆材料,对地下水及土壤生态构成威胁。此外,部分工程缺少对有毒气体的监测和防范意识,没有布置完善的通风措施,井下作业安全风险突出。

3.5 经济性与管理瓶颈

核心设备上对于进口的依赖使当前非开挖顶管施工的成本进一步提高,很多中小型工程和中小型施工单位无法负担先进设备投入。并且,行业还存在一些低水平恶性竞争,部分企业为压缩成本简化工艺,增加了工程质量的隐患。同时,由于施工过程动态监测体系不完善,地面沉降、管道偏移等问题难以及时发现与纠正,也增加了工程后期的维护成本。

4 市政给排水施工中的非开挖顶管施工技术优化路径

4.1 提升施工工艺适应性

针对非开挖顶管施工技术前期准备,建立精细化地质勘查体系,提高选择工艺的适配性。首先,使用地质雷达、三维物探等前期勘测,建立动态地质模型,然后根据地质模型,选择合适的工艺。例如:对于高水位砂层采用泥水平衡技术,同步优化泥浆配比;对于松散土层,可以使用土压平衡技术,通过螺旋输送机调控出土量,有效地控制地表沉降;在溶洞区,则可以采取预注浆填充与反向顶进修复,减少溶洞环境下施工的塌方风险。同时,对其中关键环节的处理工艺,如注浆减阻、中继间技术等进行优化。在注浆作业中,可以应用环保型触变泥浆,形成稳定润滑套,能够大幅度地降低顶力。在长距离顶进作业中,强制设置中继间,按照顶力计算间距,形成分段接力的设计^[5]。

4.2 强化专业性人才培养

通过建立专业化培训体系,强化专业人才的培养。可以建立产学研结合的培训基地,采用理论教学加实践操作的一体化教学模式,在技术培训中心设置系列课程,覆盖设备操作、地质分析、故障排除等多个环节的重点施工内容,培训结束后颁发技术认证证书,形成长效的技术认证机制。

4.3 平衡生态与区域发展关系

在非开挖顶管施工中,积极推动绿色施工技术和绿色材料的应用。例如:使用生物降解泥浆与循环利用系统,减少废弃物排放,以玻璃纤维夹砂管等环保管材替代传统钢筋混凝土管。针对施工过程中产生的泥浆污染区域,通过固化处理、植被修复等措施实施生态修复,并加强对沼气一类的有毒气体的实时监测和防范措施,在井下作业中必须设置通风预案,以保障井下的安全。政府也需要深刻认识到当前非开挖顶管施工技术、设备存在的不平衡问题,需要结合不同

区域的实际情况,找对技术发展方向。东部地区重点发展智能化设备与复杂工艺,中西部地区则先推广低成本技术并积极推动东西部的技术交流与协作,实现高精尖技术的跨区域发展。

4.4 施工应急管理与风险防控

为了确保工程质量和施工过程的稳定,非开挖顶管施工还需要做好管线冲突应急预案和动态施工监测。在施工前通过地质雷达与BIM技术三维建模,预判地下管线交叉点,制定避让方案,突发涌水时启用高强度黏土填埋与止水环。在施工现场部署好全站仪和沉降传感器网络,实时预警地面沉降^[6]。针对施工过程中可能出现的安全和质量风险,建立施工方、设计单位和监理单位的三方联动机制,监测到风险后立即分析其成因,并采取对应的修复措施,必要时可能暂缓施工。加快完善行业规范和质量标准,行业内的龙头企业配合相关部门制定国家层面的统一技术标准,在管道接口工艺、注浆压力范围及验收指标等关键施工工艺上加快制定高标准、严要求的规范。在此基础上,在后续的非开挖顶管施工中,推广动态质量控制体系,实施全过程监测,并建立施工数据追溯机制,确保责任可回溯。

5 结束语

非开挖顶管施工技术具有显著的环保性和经济性优势,减少了传统开挖施工对城市交通、建筑及生态的破坏。其能够穿越河流、铁路、建筑基础等复杂地形,在城市核心区、生态敏感区域及既有管线密集区域有较强的适用性,重视非开挖顶管施工技术的持续优化,能够更好地发挥该对现代化城市更新的支撑作用。

参考文献:

- [1] 张元江.非开挖顶管施工技术在市政给水工程中的应用研究[J].工程技术研究,2025,10(04):79-81.
- [2] 张磊.市政排水非开挖顶管施工技术及其实施要点研究[J].水上安全,2024(24):22-24.
- [3] 靳博文,石磊,梅迎东,等.复杂条件下地下管线非开挖微型顶管技术研究与应用[J].建筑技术,2024,55(24):2966-2969.
- [4] 陈缘缘.市政工程建设中顶管工程技术的应用分析[J].工程技术研究,2024,09(24):54-56.
- [5] 党智军,何聪利,王科科.市政给排水施工中的非开挖顶管施工技术[J].城市建设理论研究(电子版),2024(34):144-146.
- [6] 李永岗.关于非开挖顶管技术在市政给排水管道施工中的应用分析[J].城市建设理论研究(电子版),2024(31):180-182.

高标准农田水利工程节水灌溉技术应用与发展趋势

陶舟杰

(上海南汇水利市政工程有限公司, 上海 201399)

摘要 我国作为农业生产大国, 面临着严峻的水资源短缺问题。高标准农田水利工程作为农业生产的重要组成部分, 在优化水资源配置、提高水的利用效率方面发挥着至关重要的作用。节水灌溉技术的推广应用, 是解决农业水资源浪费问题、提高农业用水效率的有效手段。本文探讨了高标准农田水利工程中节水灌溉技术的应用, 分析了滴灌、喷灌、提水灌溉和自动化节水灌溉等技术的特点与优势, 阐述了其在提升水资源利用率、改善生态环境等方面的重要意义, 以期为推动农业水资源的有效管理提供参考。

关键词 高标准农田水利工程; 节水灌溉技术; 土壤水分监测技术; 农业

中图分类号: S27

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.22.035

0 引言

水资源作为农业生产的基础性资源, 其短缺问题在干旱和半干旱地区表现尤为突出。据联合国粮农组织 (FAO) 统计, 全球约 70% 的淡水资源被农业所消耗, 而这一比例在一些干旱和水资源匮乏的地区更高^[1]。如何高效利用有限的水资源, 成为全球农业生产中的重要课题。随着信息技术和物联网技术的发展, 智能化节水灌溉系统逐渐成为农业灌溉的未来发展方向^[2]。通过集成传感器、数据分析和自动化控制技术, 智能灌溉系统能够实时监测土壤湿度、气候变化等信息, 并根据作物需求自动调节灌溉量和时间, 实现精准灌溉。这不仅提高了水资源利用率, 还减少了能源消耗和环境污染, 推动了农业生产的可持续发展。

1 高标准农田水利工程节水灌溉技术的发展趋势

1.1 智能化和自动化发展趋势

随着信息技术以及智能设备持续取得进展, 高标准农田水利工程当中的节水灌溉技术正朝着智能化以及自动化的方向迈进, 借助对传感器、物联网、云计算以及大数据分析等技术进行整合, 智能化灌溉系统可对土壤湿度、气候变化、作物需求等多方面的信息展开实时监测, 并且依据这些数据自动对灌溉量以及灌溉时间作出调整, 以此保证作物可获取到最为适宜的水分供应^[3]。

智能灌溉系统借助集成先进的传感器技术, 可实时检测如土壤湿度、降水量、风速等环境因素, 自动

开启或停止灌溉, 防止了过度灌溉或者缺水状况的出现, 比如滴灌系统中的湿度传感器可感知土壤的湿润程度, 智能系统会依据土壤的实际需求精准控制每个滴头的水量以及灌溉频率, 依靠云平台, 农民以及管理人员可远程查看灌溉系统的工作状态、获取实时数据, 并且依据预设的算法对灌溉计划作出调整。智能化与自动化的技术发展, 提升了节水灌溉的精确度, 让灌溉过程变得更为高效且便捷。

1.2 综合性节水灌溉技术的集成化发展

当下高标准农田水利工程中的节水灌溉技术正朝着集成化方向发展, 也就是把滴灌、喷灌、微灌等不一样的灌溉技术综合整合起来, 以此来适应不同作物、气候以及地形条件的要求, 这样一种集成化的技术发展态势, 可在更大的范围之内达成节水、增产以及高效管理的目标, 集成化系统覆盖灌溉技术, 还纳入了土壤改良、施肥、气候调控等相关技术, 以此提高整体水资源利用效率^[4]。在集成化发展进程中, 智能灌溉系统与土壤改良技术相互结合, 可以优化水分分布, 提升土壤渗透性, 减少表层水分蒸发, 让灌溉更加均衡高效, 比如将微喷灌与土壤保湿技术相结合, 可使水分渗透到土壤深层, 而不会被蒸发掉, 通过增加有机肥料和土壤改良剂的施用量, 改善土壤结构, 让水分可更有效地在土壤中保持和循环。

1.3 可持续性和环保导向的节水灌溉技术

随着全球气候变化以及环境问题变得日益严峻, 高标准农田水利工程节水灌溉技术在未来的发展趋势

里,会更着重于可持续性与环保性。在可持续发展的要求中,节水灌溉系统要能高效利用水资源,还要把能源消耗、环境污染以及对生态系统的影响考虑进去,未来节水灌溉技术会更关注绿色环保、低能耗以及对环境友好的设计。例如:采用太阳能驱动的灌溉设备,以此来减少传统能源的消耗以及环境污染。

在水资源循环利用领域,水资源回收再利用会成为关键研究方向,经污水处理后的水,借助先进净化技术实现再利用,可用于灌溉非食品作物,也能当作农业灌溉的补充水源。雨水收集储存系统同样会成为节水灌溉技术的一部分,用于储存降水,节约地表水的使用量。在环保导向层面,未来灌溉系统会着重保护土地,防止出现因过度灌溉引发的水土流失或者盐渍化问题。依靠精准控制水分与养分的供应,降低水土污染程度,维护土壤健康状况。

2 高标准农田水利工程节水灌溉技术应用——以上海市祝桥镇祝西村、立新村高标准农田建设项目为例

2.1 工程概述

2023年祝桥镇祝西村、立新村高标准农田建设项目,位于上海市浦东新区祝桥镇,建设总面积达3248亩,其中新增建设面积为1857亩(包含永久基本农田1676亩),提质改造面积为1391亩。项目围绕“节水增效、耕地提质、产能提升”的核心目标,统筹推进灌溉工程、排水工程、田间道路工程和土地平整工程等内容,旨在提升农业综合生产能力和水资源利用效率。

在灌溉工程方面,项目新建泵站1座,翻建泵站1座,改造泵站1座,同时铺设DN160-DN800规格的PE灌溉管道共计20436.5米。通过完善的水利体系建设,实现农业灌溉的智能化与节水化,为区域农业可持续发展提供有力支撑。本项目的实施对优化农村基础设施、促进农田节水灌溉技术推广、提高农田质量及农业生产效益具有重要意义。

2.2 项目节水灌溉技术应用现状

1. 科学布局灌溉系统,提升水资源调配效率。本项目在灌溉工程设计中充分考虑了地形、土壤、水源及作物需水规律,科学布局灌溉水源及输水网络,实现灌溉系统的合理化和高效化。通过新建、翻建和改造泵站各一座,形成多点供水格局,提升了灌溉系统的调水能力和供水稳定性。项目铺设的PE材质灌溉管道总长度达436.5米,涵盖DN160至DN800多个规格,充分满足不同区域灌溉需求。采用地下管道输水方式,有效避免明渠输水过程中产生的渗漏、蒸发和人为浪

费,显著提升水资源利用效率。此外,主干管线采用模块化设计,便于后期管理与维护,提升了系统的可持续运行能力。通过精细化设计与科学配置,保障了农田节水灌溉工程的基础结构完善,为实现精准灌溉和节水高效打下坚实的基础。

2. 采用高效节水灌溉技术,精准控制灌溉用水量。在灌溉方式选择上,项目优先采用了压力管道灌溉模式,配合局部区域滴灌与微喷灌设施,实现农业用水“按需定量”精准投放。压力管道系统在重力或泵压驱动下将水输送至田间末端,相较于传统漫灌方式,可减少70%以上的水量浪费。同时,滴灌与微喷灌设施可直接将水分均匀送至作物根部,有效减少蒸发损耗和表层流失,提高作物水分吸收效率^[5]。此外,灌溉系统配备了阀门控制与分区灌溉设计,根据地块作物类型与需水周期灵活调整供水频次和强度,实现定量、定时、定区灌溉管理。该技术的引入,不仅提升了水资源利用率,也推动了农业用水方式从粗放型向集约型转变,为区域节水型农业发展提供了技术支撑。

3. 引入信息化灌溉调控系统,实现智能化节水管理。项目充分融合现代信息技术与传统水利工程建设,积极推动灌溉系统智能化升级。通过在泵站及管网关键节点安装流量计、水压监测器与电动阀门,实现灌溉系统运行状态实时监测和远程控制。同时,部分区域引入物联网终端设备,结合温湿度传感器与土壤墒情监测系统,动态获取田间环境数据,辅助决策灌溉时长与流量。信息平台可实现对泵站启停、阀门开闭、水量分配的集中控制,减少人工干预,提升运行效率与精准度。该系统不仅优化了水资源调配方式,还有效避免了过度灌溉或灌水不足等现象,有利于作物健康生长。智能灌溉的全面推广,标志着本项目在节水灌溉管理水平上迈向智能化、精细化的新阶段。

4. 注重系统配套与运行维护,保障节水灌溉可持续性。节水灌溉技术的高效运行离不开系统配套与后期管理维护的有机结合。本项目在灌溉系统建设过程中,同步完善了与之配套的排水工程、农田道路以及田块整理工作,形成闭环式的高标准农田水利设施体系。通过田块规范化整理,统一规划进出水口,增强灌溉系统的连通性与灌溉效果。同时,项目明确了灌溉系统的日常运行管理机制,落实到村级水管单位与农户责任人,制定定期巡检与维修制度,确保设备长期稳定运行。对泵站、阀门和管道等关键设施设立技术台账,定期进行检测与保养,有效防范运行故障风险。此外,项目还组织农户开展节水灌溉技术培训,提升其对设备操作与节水理念的认知水平。

3 高标准农田水利工程节水灌溉技术发展中的关键技术

3.1 土壤水分监测与精准灌溉技术

土壤水分监测技术属于高标准农田水利工程节水灌溉中关键的技术种类。精准监测土壤湿度对提升灌溉效率、节约水资源有着关键价值。随着传感器技术和物联网技术不断发展,土壤水分监测技术有了较大进步,借助部署土壤湿度传感器,系统可实时获取土壤的水分状况、温度、pH 值等参数,并且依据作物需求自动调节灌溉量,达成精确控制。土壤水分监测系统一般由土壤湿度传感器、数据采集设备、通信模块以及控制终端构成,湿度传感器依据电容、电阻或张力原理,实时检测土壤的水分含量,再把数据传输到远程数据平台或本地控制系统,供农民或管理人员查看,依据这些数据,系统会自动分析土壤的水分需求,智能调节滴灌、微喷灌等灌溉方式,保证每个区域的水分供应达到最佳水平。借助精确控制灌溉时间和水量,减少了水的消耗,还可以提高作物的生长质量和产量。土壤水分监测技术还可以协助农民及时发现土壤水分不均匀的区域,方便采取针对性改进措施。

3.2 智能化灌溉调度与决策支持系统

智能化灌溉调度与决策支持系统属于高标准农田水利工程节水灌溉技术中的一项关键技术,此项技术融合了气象预报、大数据分析以及人工智能,借助多维度数据的采集与分析,实现灌溉计划的自动化与精细化,提升水资源的利用效率,降低水的浪费情况。智能化灌溉系统依靠集成气象站、土壤水分传感器、作物生长模型以及气候预测数据,可依据实时天气变化、土壤湿度以及作物的生长阶段,自动算出最佳灌溉方案。比如当气象预报说明未来几天会有降雨时,系统会自动对灌溉计划作出调整,防止在降雨时进行灌溉,以此节省水资源,当土壤湿度低于设定值时,系统会马上启动灌溉设备,保证作物生长所需水分有充足的供应^[6]。

智能化灌溉调度系统运用自动化控制与精确决策,较大地提升了灌溉效率。该系统可依据作物生长需求以及气候条件实施科学调度,既能有效节水,又能加快作物生长速度并提高产量,而且此系统能减少人工干预,降低人为错误出现概率,提升灌溉过程的稳定性与可持续性,不过系统初期投资较高,大规模应用时,要构建完善的数据采集、处理及传输系统。

3.3 高效节水灌溉设备与系统集成技术

高效节水灌溉设备与系统集成技术是推动高标准农田水利工程节水灌溉技术发展的关键。基于创新设

计与合理配置,节水灌溉设备能够在确保作物生长所需水分的基础上,实现水资源的最大化利用。设备的高效性不仅体现在水分分配的均匀性上,还体现在节能、环保、自动化等方面。高效节水灌溉设备通常包括滴灌系统、微喷灌系统、智能喷灌系统等。以滴灌系统为例,滴头和管道的设计需要确保水分能够精确地输送到作物根部,同时避免水的浪费。滴灌管道的材质选择、滴头流量的设计、管道的布设方式等都直接影响水分的分布效果。微喷灌系统则适用于大面积农田,它能够以较低的压力提供较均匀的水雾,适合于果园、蔬菜等作物的灌溉。高效节水灌溉设备通过精确控制水流量、压力和灌溉频率,能够大幅提高水的利用效率,减少水的浪费。在设备的选型和系统配置方面,采用高效的过滤装置、压力调节阀和自动控制系统,能够保证灌溉过程的高效性和稳定性。

4 结束语

在现代农业的可持续发展过程中,高标准农田水利工程建设节水灌溉技术的创新与应用起到了至关重要的作用。随着水资源短缺和农业生产需求的不断变化,节水灌溉技术已经从传统的水利管理逐步发展到智能化、集成化、环保化的多维度技术体系。智能化和自动化技术的应用,使得灌溉过程更加精准与高效。土壤水分监测技术的进步则确保了灌溉量与作物需求的动态匹配,极大地提升了水资源的利用效率。与此同时,综合性节水灌溉技术的集成化发展,将灌溉与土壤改良、气候调控等多方面技术相结合,推动了农业生产向更高效、更生态的方向转型。然而,在技术推广与应用的过程中,设备投资、系统维护以及技术普及仍然面临一定的挑战,未来应加强技术创新,促进农业可持续发展。

参考文献:

- [1] 郭耀华. 高效节水灌溉技术在农田水利工程中的运用[J]. 农业开发与装备, 2025(03):104-106.
- [2] 李祥林, 王世尧, 杜杰, 等. 节水灌溉技术在徐州市农业水利工程中的应用[J]. 南方农业, 2025, 19(05):196-198, 202.
- [3] 张新荣. 信息技术在农田水利工程节水灌溉中的应用[J]. 黑龙江粮食, 2025(02):45-47.
- [4] 薄贤波, 汤文豪, 肖宁. 常州市农业水利工程中节水灌溉技术要点[J]. 南方农业, 2025, 19(04):166-168.
- [5] 彭志文. 农田水利工程高效节水灌溉技术的应用要点[J]. 南方农机, 2025, 56(04):177-179, 185.
- [6] 高元蛟. 高效节水灌溉技术在农田水利工程中的应用[J]. 河北农机, 2025(04):135-137.

10 kV 配网电力工程的标准化施工研究

蒲海平

(西北(西安)电能成套设备有限公司, 陕西 西安 710054)

摘要 随着社会经济的不断发展和城市化进程的加快, 电力需求日益增长, 对配电网的安全性、可靠性和稳定性提出了更高的要求。10 kV 配网作为电力系统的重要组成部分, 直接关系到终端用户的用电质量和供电可靠性。然而, 在实际施工过程中, 由于缺乏统一的标准和规范, 导致施工质量参差不齐, 工程进度难以控制, 运营成本居高不下。为解决这些问题, 本文深入研究了 10 kV 配网电力工程的标准化施工流程及其重要性, 探讨了如何通过制定统一标准流程、强化严格质量监控、优化合理资源配置以及实施定期风险评估来提升工程质量、降低成本、提高效率。分析结果表明, 标准化施工不仅能够显著提高施工效率和工程质量, 还能有效降低运营成本, 为电力工程的长期稳定运行提供坚实的保障。

关键词 10 kV 配网; 电力工程; 标准化施工

中图分类号: TN7

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.22.036

0 引言

在全球能源需求不断增长和城市化快速推进的背景下, 电力系统的安全性和可靠性成为社会各界关注的焦点。特别是对于 10 kV 配网电力工程而言, 其作为连接主网与用户之间的关键环节, 直接影响着广大用户的用电体验和生活质量。然而, 传统的施工方式往往存在施工标准不一、管理不规范、资源浪费严重等诸多问题, 这些问题不仅影响了工程的整体质量, 也增加了项目的运营成本和维护难度。标准化施工不仅可以提高施工效率, 确保工程质量, 还能有效降低运营成本, 为企业创造更大的经济效益和社会效益。研究和推广 10 kV 配网电力工程的标准化施工方法, 对于提升整个电力系统的运行水平, 满足日益增长的电力需求具有重要意义。

1 标准化施工对于 10 kV 配网电力工程的重要意义

1.1 提高施工效率

标准化施工在 10 kV 配网电力工程中极大地提高了施工效率。统一的施工标准减少了施工过程中可能出现的不确定性和重复工作, 使得施工人员能够更加专注于执行具体的任务, 而不是花费时间在理解和适应不同的施工要求上。标准化促进了资源的有效配置和利用, 通过优化施工流程中的每一个环节, 减少浪费和不必要的等待时间, 从而缩短了整个项目的工期。此外, 标准化还意味着可以更快地培训新员工, 因为有了一套明确的操作指南, 即使是经验较少的工人也能够迅速上手, 进一步加快了施工进度^[1]。

1.2 确保施工质量

采用标准化施工方法, 可以保证所有工程细节都遵循最佳实践和技术规范, 有效避免了因个人技术差异或操作不当导致的质量问题。这不仅有助于提高工程的整体可靠性, 还能增强系统的稳定性和安全性, 降低运行期间发生故障的风险。标准化施工还有利于后期维护工作的开展, 因为所有的安装、调试过程都是按照既定标准进行的, 这为后续的检查、维修提供了便利条件。最终, 高质量的施工成果能够提升用户满意度, 并且有利于树立企业的良好形象, 促进长远发展。

1.3 降低运营成本

标准化施工对降低 10 kV 配网电力工程的运营成本具有显著作用。由于施工过程遵循严格的质量标准, 减少了因返工、维修等引起的额外费用。标准化促进了材料和设备的最佳使用, 避免了资源浪费, 并降低了采购成本。标准化施工能够提高工程的整体效率, 缩短项目周期, 从而减少人工和其他间接成本。高质量的施工成果降低了未来运营期间的维护成本, 因为初期建设时的高标准直接关系到后期较少的故障率和维护需求。

2 10 kV 配网工程施工标准化流程分析

2.1 施工前准备阶段的标准化

高质量、详细的施工图纸和技术文档是指导工程实施的基本依据。在项目启动初期, 应组织设计单位向施工单位进行详细的技术交底, 确保所有参与人员对设计方案、技术要求以及特殊注意事项有清晰的理解。根据施工图纸和技术规范, 施工单位需制定详尽

的施工方案。完成后的施工方案必须经过内部审核及外部专家评审，确保其科学性、合理性和可操作性，从而为施工提供可靠的指导。

所有进入施工现场的材料和设备都必须符合国家和行业相关标准，并通过严格的进场检验程序。这不仅包括对原材料的质量检测，如电缆的导电性能、绝缘层的厚度等，还包括对设备的功能测试，例如变压器的额定容量、冷却方式等是否满足设计要求。合格的产品才能被允许使用于工程建设中，这是保障工程质量的重要前提^[2]。

2.2 施工过程控制标准化

在架空线路施工中，从杆塔基础施工到杆塔组立，再到导线及地线的架设，每一个步骤都需严格遵循特定的技术标准和操作规程。杆塔基础施工时，必须严格按照设计图纸进行挖掘、浇筑等作业，并保证基础尺寸、混凝土强度等符合要求，以确保杆塔的稳固性。在杆塔组立过程中，要特别注意杆塔的垂直度、水平度以及各部件连接的紧固程度，防止结构不稳定造成的安全隐患。而导线及地线架设时，则应关注导线的张力调整、绝缘子串的安装位置等细节，确保线路的安全运行。

电缆线路施工同样需要严格执行标准化流程，包括电缆沟挖掘、电缆敷设、接头处理等关键环节。在电缆沟挖掘阶段，按照设计深度和宽度开挖，并做好排水措施，防止积水影响电缆性能。敷设电缆时，应注意电缆的弯曲半径不得小于规定值，避免对电缆造成机械损伤；还需确保电缆排列整齐，标识清晰，以便于后续维护。接头处理需要对接头部位进行防水、防腐处理，确保电气连接的可靠性，从而保障整个电缆线路的长期稳定运行。

配电变压器的安装也是一个复杂且关键的过程，涵盖运输、就位、固定、接线、调试等多个步骤。在运输和就位过程中，需采取必要的保护措施，防止变压器受到震动或碰撞而损坏。安装时，根据设计要求正确选择安装位置，并做好接地工作，确保电气安全。调试阶段则需要进行全面的电气测试，如绝缘电阻测量、耐压试验等，验证变压器的各项性能指标是否达标，确保其能够正常投入使用。

2.3 质量验收与资料归档标准化

在工程质量验收方面，应严格按照国家及行业标准进行。这包括对材料设备的质量检查、施工工艺的合规性审核以及最终成品质量评估。每个阶段的工作完成后，都需要经过严格的质量检测，以确认是否符合设计要求和技术规范。例如：在架空线路施工中，需要检查杆塔基础的稳固性、导线的张力调整情况；

在电缆线路施工时，则要验证电缆敷设的正确性和接头处理的质量等。只有当所有检测项目均达到预定标准后，才能进行下一阶段的施工或投入使用^[3]。

要加强资料整理与归档，完整、准确的工程资料不仅是工程质量的证明，也为后续维护、升级提供了重要依据。因此，在整个施工过程中，必须详细记录每一个环节的操作情况，包括但不限于施工图纸、技术交底记录、施工方案、材料检验报告、隐蔽工程验收记录等。这些资料应在工程竣工后及时整理，并按照规定的格式和要求进行归档保存。对于未能通过质量验收的部分，应及时组织相关人员进行复查，明确问题所在，并采取相应的整改措施。整改完成后需再次进行验收，直至满足相关标准为止。

3 配网电力工程标准化施工实践策略

3.1 制定统一标准流程

在配网电力工程中，制定统一的标准流程是确保项目高效、安全实施的基础。通过建立系统化、规范化的操作指南，可以显著提高工程质量，减少施工风险，并为后续维护提供可靠依据。制定标准时，必须严格遵守国家和地方的相关法律法规，如《电力设施保护条例》《电气装置安装工程电缆线路施工及验收规范》等。此外，还应参考最新的行业标准和技术指南，确保所制定的标准不仅符合法律要求，还能反映当前的最佳实践。例如：在设计架空线路的安装标准时，不仅要满足基本的安全距离要求，还要考虑到不同地区可能面临的特殊环境条件（如高风速区域需增强杆塔结构强度），以提升工程的整体适应性和安全性^[4]。

标准要覆盖从项目规划到竣工验收的每一个环节，确保整个施工过程都有章可循，这包括施工图纸的设计与审核、施工方案的编制与审批、材料设备的选择与检验、现场施工的操作规范以及质量验收的标准等。每个步骤都应有详细的规定和执行标准，确保所有参与人员都能遵循同一套规则进行工作。例如：在电缆敷设过程中，需要严格按照规定的弯曲半径和埋深标准进行操作，避免因不当处理导致电缆损坏；而在配电变压器安装时，则需按照设计要求正确选择安装位置，并做好接地工作，确保电气安全。尽管强调标准化，但在实际操作中也必须具备一定的灵活性，以便应对特殊情况或突发事件。在遇到不可预见的地质条件变化时，应及时调整基础施工方案，同时保证调整后的方案依然符合整体标准的要求。

3.2 强化严格质量监控

在配网电力工程中，强化严格的质量监控是确保工程达到高标准、避免潜在风险的关键措施。建立健全的质量监控体系是实现高质量工程的基础，这一体

系应覆盖从原材料采购到最终验收的每一个环节,包括材料设备进场检验、施工过程中的实时监测以及竣工后的全面评估。在材料设备进场时,必须严格按照既定标准进行检测,确保所有使用的材料和设备符合设计要求和技术规范。任何不符合标准的产品都不允许进入施工现场,从而从根本上杜绝了因材料问题导致的质量隐患。对于隐蔽工程(如地下电缆铺设),应在隐蔽前进行全面细致的检查,确保其符合相关标准后再进行下一步施工。

3.3 优化合理资源配置

在配网电力工程的实施过程中,优化合理资源配置是确保项目高效、经济运行的关键因素。通过科学规划和精细管理人力与物力资源,可以显著提升项目的执行效率,减少浪费,并确保工程按时高质量完成。根据项目需求和员工的专业技能进行合理分工,能确保每个岗位都有最合适的人选。在施工准备阶段,需要安排具有丰富经验的技术人员负责施工图纸审核和技术交底工作;而在具体的施工过程中,则应配备熟练的操作工人,以保证施工质量和进度。定期对员工进行培训和考核,不仅可以提升团队的整体素质,还能增强员工的责任感和质量意识,使其更加自觉地遵守各项施工标准^[5]。

在材料选择上,应优先选用性价比高且符合工程质量要求的产品,并尽量与供应商建立长期合作关系,以获得更优惠的价格和服务。对于大型设备和专用工具,可以通过租赁或共享的方式降低购置成本,同时也要注意设备的维护保养,延长使用寿命。另外,在施工现场应设置合理的物料堆放区,按照施工顺序和进度计划有序供应材料,避免因材料短缺或过剩造成的停工或积压问题。有效的物资管理不仅能提高工程效率,还能确保所有使用的材料和设备都符合设计要求,从而保障工程质量。

随着信息技术的发展,越来越多的数字化工具被应用于工程建设中,这些技术不仅有助于提高设计精度和施工效率,还能为资源管理提供强有力的支持。通过BIM技术可以在虚拟环境中模拟整个施工过程,提前发现潜在冲突并进行优化调整;而GIS则可以帮助管理者实时掌握施工现场的情况,及时调配资源,做出更加科学的决策。

3.4 实施定期风险评估

在配网电力工程中,实施定期风险评估是确保项目顺利进行、减少潜在风险的重要措施。通过系统地识别、分析和应对各类风险,可以有效预防问题的发生,保障工程的安全性和可靠性。建立系统的风险识别机制需要从项目的初期规划阶段开始,直至整个施工过程结束,持续不断地对可能出现的风险进行识别。例如:

在设计阶段,需考虑可能影响工程进度的外部因素,如天气变化、地质条件等;而在施工过程中,则应关注操作安全、设备故障等方面的风险。

采用科学的风险分析方法对已识别的风险进行量化评估,确定其可能性和影响程度。定性分析可以通过专家判断、头脑风暴等方式,初步评估各风险事件的可能性及其对项目的影响;而定量分析则利用统计模型、模拟技术等工具,更精确地计算出每种风险的具体数值。针对不同等级的风险,应采取不同的应对策略,如避免、减轻、转移或接受等。对于那些可能导致重大损失的高风险事件,如自然灾害或关键设备故障,应预先制定详细的应急响应方案,包括紧急联络人名单、物资储备位置、备用设备采购渠道等信息。而对于一些低概率但高影响的风险,则可通过购买保险等方式进行风险转移。

4 结束语

10 kV配网电力工程作为电力系统的重要组成部分,其施工质量和效率直接关系到供电的安全性和可靠性。然而,传统的施工方式由于缺乏统一的标准和规范,常常导致施工质量参差不齐、进度难以控制以及运营成本高昂等问题。在此背景下,标准化施工尤为重要,它不仅能够显著提升施工效率和工程质量,还能有效降低运营成本,为电力工程的长期稳定运行提供坚实的保障。研究表明,制定统一标准流程有助于确保每个工程项目都能在相同的框架内高效、有序地进行;强化严格的质量监控可以有效预防和及时发现施工过程中的质量问题,保证工程的安全性和可靠性;优化合理资源配置则能显著提升项目的执行效率,减少浪费,并确保工程按时高质量完成;实施定期风险评估是确保项目顺利进行、减少潜在风险的关键措施。通过这些措施,标准化施工不仅提升了工程的整体质量和安全性,还为后续维护提供了便利条件,减少了未来可能产生的维修需求。

参考文献:

- [1] 梁家耀,邓凯.新时期10 kV配网电力工程的标准化施工分析[J].电工技术,2024(S01):149-151.
- [2] 袁春雷.电力工程施工技术创新与标准化工艺技术探究[J].城市建设理论研究(电子版),2025(08):148-150.
- [3] 杨嘉兴.新时期10kV配网电力工程的标准化施工研究[J].电工技术,2024(S01):200-202.
- [4] 郭菲菲.输配电及用电工程标准化与跨越式发展研究[J].通讯世界,2024,31(03):90-92.
- [5] 冯泽平.电力工程施工技术创新及标准化工艺管理[J].安家,2024(04):49-51.

电力工程中变电站施工技术的应用研究

张高峰

(淮南万泰电气有限公司, 安徽 淮南 232001)

摘要 变电站施工技术水平的高低是制约电力工程质量的关键因素。本文聚焦变电站施工技术环节, 剖析了施工组织管理、技术方案选择、质量控制体系等方面存在的突出问题, 从设备安装、主变压器安装、电缆敷设等环节入手, 并结合工程案例分析, 旨在论证相关措施在保障施工质量、提高施工效率等方面的实际成效。

关键词 电力工程; 变电站设备安装技术; 主变压器安装技术; 电缆敷设技术

中图分类号: TM63

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.22.037

0 引言

变电站是输配电网络的重要组成部分, 其施工质量直接关系到电力系统的安全稳定运行。然而, 由于变电站工程涉及电气、土建、机械等多个专业, 施工环境复杂, 技术要求高, 如何在确保工期的同时实现施工质量的精益求精, 已成为行业亟待破解的难题。随着我国电网建设规模不断扩大, 对变电站的建设质量和运行可靠性提出了更高要求。本文在总结既有研究成果的基础上, 针对变电站施工的关键环节和共性问题提出一套切实可行的施工技术措施, 以期为同类工程提供有益参考。

1 变电站施工的重要性与主要问题

1.1 变电站施工的重要性

变电站施工质量的高低, 与电力系统能否安全、稳定、可靠运行息息相关。变电站作为电力系统中不可或缺的核心枢纽, 在电能传输与分配过程中扮演着至关重要的角色。一方面, 变电站通过变压器变换电压等级, 优化不同电压等级线路间的电能配置, 实现电力资源的合理调度; 另一方面, 变电站内部复杂的一次、二次设备为电网的实时监测、故障诊断和智能控制提供了重要支撑。鉴于变电站自身的重要地位和特殊性, 加强变电站施工管理, 提高施工技术水平, 已成为电力工程建设的当务之急。高质量的施工不仅是变电站投产后平稳运行的前提, 更关乎亿万用户的用电质量, 对整个国民经济的可持续发展具有深远影响。

1.2 变电站施工中存在的主要问题

纵观当前变电站施工领域, 虽然整体管理水平较之过去有了长足进步, 但与电网发展的新要求相比,

仍存在诸多亟待解决的现实问题。一是由于变电站工程专业性强、涉及面广, 施工过程中经常出现多工种交叉作业的情况, 这对施工组织和协调提出了更高要求。二是施工方案缺乏针对性和可操作性, 受传统思维定式影响, 一些施工单位在编制施工方案时, 照搬照抄现成模式, 忽视了对施工现场实际情况的深入调研, 致使方案与现场脱节, 指导意义不强。三是当前不少施工单位质量管理流于形式, 全过程、多角度的质量监督机制尚未建立, 隐蔽工程验收不严格, 质量档案资料缺失等问题不同程度存在, 埋下了安全隐患。对于已经发生的质量问题, 有的单位责任意识淡薄, 未能及时采取有效的纠偏措施, 使小问题演变成大问题, 造成不必要的损失。四是在科技日新月异的今天, 建筑信息模型(BIM)、大数据、物联网等新技术为变电站施工质量提升带来了新的机遇。然而在实际应用中, 很多施工单位受制于观念束缚和技术瓶颈, 创新意识不强, 新技术与传统施工场景的深度融合尚未实现, 难以满足建设高质量、智慧型变电站的新要求。

2 变电站施工技术要点及其应用

2.1 变电站设备安装技术

2.1.1 基础处理与设备就位

变电站设备安装的首要环节, 是做好设备基础的处理和设备的精确就位。作为承载变压器、断路器等关键设备的重要基础, 基础施工质量的优劣直接关系到设备运行的安全性和稳定性。在实际施工中, 基础处理通常采用钢筋混凝土浇筑的形式^[1]。为确保基础强度满足设计要求, 施工人员必须严格控制基坑开挖的深度和尺寸, 并对混凝土的配合比、浇筑时的振捣

密实度进行全过程管控。与此同时，预埋件、地脚螺栓等部件的规格、数量、位置也需要经过反复核查，避免出现偏差。设备就位是在基础施工完成后进行的，这一环节的核心在于控制设备的水平度和垂直度。就位前，安装人员要结合设备的安装要求和基础预留情况，提前做好测量放线工作。利用经纬仪、水平仪等精密仪器，对设备的水平度和垂直度进行实时监测，发现偏差及时调整。如有必要，可使用垫铁、膨胀螺栓等辅助工具，微调设备的安装位置。基础处理和设备就位是一项复杂的系统工程，需要施工人员具备扎实的理论功底和丰富的实践经验。

2.1.2 设备连接与调试

设备就位完成后，专业工程师需要对设备进行连接和调试，使其各项技术参数和运行状态达到设计标准（如表 1 所示）。

表 1 变电站主要设备安装要点

设备名称	安装要点
GIS	严格控制各单元组件间的同心度和导体连接的接触电阻，确保设备外壳的接地可靠性
断路器	检查断路器动、静触头的接触情况，调整合闸线圈的合闸电流和分闸线圈的释放电流
互感器	核对互感器的变比和极性，检查初、次级绕组的绝缘电阻和直流电阻

一是要严格按照设计图纸进行一次、二次回路的连接。一次回路主要指设备高压侧的接线，施工时必须保证接触面清洁、压接牢固、绝缘良好。二次回路是指设备的控制、信号及电源线路，施工中需要对照端子排列图，逐一进行连接，并检查线路的导通性和绝缘性能。在连接过程中，工程师要时刻保持细心严谨的工作态度，防止出现接错线、虚接等低级错误。二是要在设备连接完成后，还需进行一系列的调试工作。例如：对于变压器，通过直流电阻测试判断绕组是否存在断线或短路的情况；对于断路器动作试验促使检查其分合闸性能和机械特性是否满足要求。调试阶段如果发现问题，工程师应分析原因，采取针对性的处理措施。举例来说，如果断路器的动作时间不合格，可能是操作机构存在卡涩，需要进行润滑和调整；如果变压器绝缘电阻不达标，则需要对绕组进行烘干或注油处理。可见，调试是一个复杂的过程，需要工程师具备专业的技术能力和丰富的现场经验^[2]。

2.2 主变压器安装技术

2.2.1 吊装就位

主变压器作为变电站的核心设备，其安装质量直接关系到整个变电站的运行可靠性。在众多安装环节

中，吊装就位是最为关键的一步。鉴于主变压器体积庞大、重量惊人，吊装作业通常采用大型起重设备，如汽车吊、履带吊等。为确保吊装过程的安全平稳，施工单位必须根据变压器的实际参数，合理选用起重设备的型号和容量。在吊装前，专业技术人员要对起重设备进行全面检查，重点关注制动系统、液压系统等关键部件的运行状态，发现问题及时维修或更换。此外，还要对吊装现场进行地质勘察，评估地基的承载能力，必要时采取加固措施。吊装作业开始后，指挥人员应与操作人员密切配合，通过对讲机等通信工具实时沟通。起吊速度要平稳缓慢，严禁急拉猛停，防止变压器产生剧烈摇晃。变压器落位时，技术人员要及时校核设备的位置和姿态，可使用经纬仪、水平尺等工具辅助定位，发现偏差及时调整。待变压器完全落稳后，要对其进行二次找平，确保水平度满足设

计要求。吊装就位是主变压器安装的重中之重，其施工质量直接影响到后续环节的顺利进行。施工单位必须高度重视，精心组织，以高超的技术水平和严谨的工作态度，确保主变压器的平稳就位，为变电站的安全运行奠定坚实的基础^[3]。

2.2.2 油箱注油与密封试验

主变压器就位后，需要对其进行注油和密封试验，以检验设备的绝缘性能和密封性能。在注油前技术人员要对油箱内部进行彻底清洗，去除焊渣、铁屑等杂质，避免影响油质。清洗介质可选用干燥洁净的变压器油，也可使用蒸汽或氮气进行吹扫。清洗完成后，要对油箱进行 24 小时真空干燥，使其达到注油要求的含水量标准。正式注油时选用符合国家标准 25 号变压器油，并使用专业的真空滤油机进行过滤，提高油的洁净度。注油速度要缓慢均匀，避免油流直接冲击绝缘部件，产生气泡或破坏绝缘结构。在注油过程中，技术人员要随时观察油面高度和压力表读数，严格控制在设计范围内。注油完成后，要对油箱进行 24 小时静置，观察是否有渗漏现象。最后对油箱进行密封试验，具体做法是：在油枕顶部注入一定压力的氮气（一般为 0.03 ~ 0.05 MPa），保压 24 小时，观察压力是否

有明显下降。如果发现压力降低,要仔细检查焊缝、法兰等容易泄漏的部位,必要时进行重新焊接或更换密封件。只有通过密封试验,才能确保油箱的气密性满足要求^[4]。

2.3 电缆敷设技术

2.3.1 电缆沟施工

在变电站内部,电缆的铺设通常采用电缆沟的形式。电缆沟施工是电缆敷设的重要前提,其施工质量直接影响到电缆线路的安全可靠。在施工过程中,技术人员首先要对照设计图纸,准确放出电缆沟的位置和尺寸,并进行现场复核,避免与建筑物或其他地下管线产生冲突。其次,在开挖电缆沟时,要严格控制开挖深度和边坡坡度,防止坍塌或超挖。开挖过程中如遇到地下障碍物,要及时向设计单位反映,商讨处理方案。再次,电缆沟建成后进行混凝土浇筑。为保证混凝土强度和耐久性,技术人员要严把原材料质量关,优化配合比设计,并在浇筑过程中采用平仓振捣等措施,提高混凝土的密实度,同时在电缆沟内预埋支架、桥架等附件,为后续电缆铺设创造条件。最后,在回填土方时,分层夯实控制填土厚度避免沉降不均引起电缆沟变形或开裂。电缆沟施工完成后,及时进行验收重点检查沟道尺寸、混凝土强度、预埋件规格等是否符合设计要求。

2.3.2 电缆敷设

电缆沟建成后,施工单位需要对电力电缆进行铺设。电缆是变电站内部连接各种一次设备的重要纽带,其敷设质量直接关系到变电站的供电可靠性^[5]。在实际施工中,技术人员应先对电缆的规格、型号、长度等参数进行复核,确保与设计要求相符。对于交流电缆严格控制每盘电缆的最大长度,避免电容充电电流过大影响系统稳定。其在电缆铺设前对电缆进行绝缘电阻测试和耐压试验,淘汰不合格产品。铺设时按照施工方案确定的排列顺序和位置,将电缆平直地敷设在桥架或支架上,并采用合适的固定方式,如螺旋式绑扎、卡子固定等,防止电缆发生位移或下垂。对于电缆的弯曲部分,严格控制弯曲半径不得小于电缆外径的 12 倍,避免损伤电缆绝缘层或导体。在电缆穿越墙体或楼板时,加装防火封堵材料阻止火灾蔓延。电缆头的制作也是重要环节,技术人员要掌握电缆头的结构特点和制作工艺,确保电缆芯与设备端子可靠连接,并做好绝缘、屏蔽等处理。电缆敷设完成后进行

通电试验,检查电缆能否正常工作,并测试电缆线路的绝缘电阻、泄漏电流等参数,确保满足设计要求^[6]。

3 案例分析

为充分论证本文提出的变电站施工技术措施的可行性和有效性,下面结合我公司承建的某 110 kV 智能变电站项目,对其施工过程进行具体剖析。该工程采用全封闭组合电器(GIS)布置形式,变电容量为 2×50 MVA,施工难度较大。面对复杂的施工环境和严格的工期要求,项目团队通过合理选用吊装设备、精确控制就位偏差,GIS 设备实现了平稳就位,各相间隔距离满足设计要求。此外,电缆沟施工尺寸准确,电缆敷设整齐有序,绝缘电阻满足使用要求。经过 60 天的紧张施工,该工程顺利通过验收并一次性投入运行。实践证明本文总结的变电站施工技术措施具有较强的针对性和可操作性,能够有效指导类似工程的施工实践,值得在行业内推广应用。

4 结束语

立足于变电站工程实际,围绕设备安装、主变压器安装、电缆敷设等关键环节,总结了一套切实可行的施工技术措施。但未来还需在智能设备安装、绿色施工等领域加大技术创新力度,建立更加科学规范的质量管理体系,为打造安全、高效、环保、智能的现代化变电站提供有力的技术支撑。同时,积极探索建筑信息模型(BIM)、物联网等先进技术在变电站施工中的融合应用,不断提升施工的数字化、智能化水平。

参考文献:

- [1] 张思锦.变电站安装施工过程中电气安装技术探讨[J].电站辅机,2024,45(04):23-26,50.
- [2] 罗正旭.变电站电气安装技术重点及施工工艺分析[J].科技资讯,2024,22(22):99-101.
- [3] 俞守君.变电站电气安装技术重点及施工工艺[J].中国高新科技,2024(06):72-74.
- [4] 金庆庆,朱骏鸿.变电站电缆敷设施工技术要点分析[J].电工技术,2024(S2):498-500.
- [5] 伦贺,杭玉宇.变电站施工中 GIS 设备与变压器的安装技术探究[J].中国战略新兴产业,2024(33):139-142.
- [6] 陆海波,牛安.变电站施工中 GIS 设备安装调试技术研究[J].自动化应用,2024,65(S1):357-359,362.

绿色建筑设计对城市可持续发展的影响研究

罗志勇

(德州市建筑规划勘察设计研究院, 山东 德州 253000)

摘要 绿色建筑设计通过重构建筑与生态系统的交互逻辑,为解决城市扩张引发的资源超载与生态失衡提供了范式转型可能。其核心在于将全生命周期管理理念植入空间营造过程,借助光伏建筑一体化、被动式节能设计等技术,系统性降低人工环境对自然系统的熵增效应。分析结果表明,此类设计模式不仅能够通过碳汇空间优化与微气候调节提升城市生态韧性,更可依托产业链升级形成绿色经济新增长极,并通过社区公共空间活化重构社会关系网络。当前推广阻力主要源于技术本土化适配不足、成本传导机制缺失与政策激励体系碎片化,需通过技术研发、市场培育与制度创新的三重协同机制突破困局。

关键词 绿色建筑设计; 城市可持续发展; 经济效应; 社会效益

中图分类号: TU984; TU2

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.22.038

0 引言

在城市化进程不断加速的当下,城市规模持续扩张。然而,这一发展态势也带来了诸多严峻问题,资源的过度消耗致使城市资源面临超载困境,生态环境失衡现象愈发显著。传统建筑模式在满足人们居住与工作需求的同时,也给自然生态系统带来了极大的压力,高能耗、高污染的特征与可持续发展理念背道而驰。在此背景下,绿色建筑设计以重构建筑与生态系统交互逻辑为核心,将全生命周期管理理念深度融入空间营造过程,为解决城市发展难题提供了全新的思路与范式转型的可能,对推动城市可持续发展具有重要意义。

1 绿色建筑设计对城市可持续发展的积极影响

1.1 对城市环境的改善作用

绿色建筑设计模式通过重构建筑与生态系统的动态平衡关系,让人工环境对自然系统产生积极影响,助力自然系统保持健康活力。其核心在于将建筑视为具有代谢功能的生命体,借助垂直森林系统、生物气候缓冲层等空间干预手段,系统性修复城市破碎化生态基底。例如:光伏幕墙与建筑围护结构的一体化设计,不仅转化太阳能为清洁电力,更通过光学参数调节削弱玻璃幕墙的光污染效应;而模块化雨水花园网络则突破传统排水管道的单向线性模式,形成地表径流滞留—渗透—蒸发的闭环循环,既缓解了市政管网压力,又重建了土壤微生物群落栖息地^[1]。此类设计策略本质上是对城市热力学边界的重新定义,通过建筑表皮的透水系数优化、立体绿化碳汇容量提升等技术创新,

构建具有负反馈调节能力的微气候单元,从而消解混凝土森林的温室效应累积。

1.2 对城市经济的推动作用

绿色建筑模式通过重构建筑业价值链条,催生从材料研发到运维管理的全周期经济范式转型。其经济动能不仅体现于能源支出的显性节约,更在于激活建筑空间作为生产要素的资本化潜能。装配式竹木复合结构替代传统钢筋混凝土体系,推动林业碳汇交易与建材产业的耦合发展,形成从速生林培育到预制构件生产的闭环产业链;而建筑能源管理系统(BEMS)与区块链技术的融合,使分布式能源交易突破物理空间限制,催生建筑产消者(Prosumer)新经济角色。这种转型打破了建筑业依赖规模扩张的路径锁定,转向以技术密度和生态溢价为核心的价值创造模式。更深层的变革在于,绿色建筑认证体系衍生出碳资产核算、绿色金融工具创新等衍生市场,促使建筑全生命周期成本核算从财务维度扩展至环境外部性内部化范畴。

1.3 对城市社会的促进作用

绿色建筑模式通过重构空间生产的社会契约,催化社区治理模式与公民环境意识的协同演进。其社会价值超越物理空间的舒适度提升,更在于创造新型社会关系培育载体。模块化共享中庭设计打破私有产权壁垒,通过可调节隔断系统实现公私领域弹性转换,为社区公共事务协商提供物质载体;而基于建筑性能数据的可视化交互界面,将能耗信息转化为居民行为激励的反馈机制,推动节能实践从技术强制升维为集

体自觉。这种空间民主化进程重塑着城市公民的身份认知——当居民通过参与式设计决定垂直农场的作物种类,或共同维护生态湿地的水质净化功能时,建筑空间转化为环境公民教育的实践课堂。更深远的变革体现在代际公平维度,绿色建筑采用的再生建材与可拆卸结构设计,将建筑拆除过程转化为资源再生的中间环节,这种“建设即储备”的思维消解了当代人对未来世代的环境债务转嫁,重构可持续发展的时间伦理^[2]。

2 绿色建筑设计在城市可持续发展中面临的挑战

2.1 技术瓶颈与研发不足

绿色建筑技术体系面临本土化适配的深层矛盾,其知识迁移过程遭遇气候特征与文化语境的逆向消解。被动式节能技术在北欧寒带气候中的高效运行逻辑,移植至亚热带季风区时暴露出湿热调控失效,双层玻璃幕墙因空气湿度饱和引发冷凝水渗透,导致建筑围护结构性能逆向衰减。建筑信息模型(BIM)与本土营造传统的断裂更为隐蔽,参数化设计工具预设的标准化构件库难以兼容中国传统木构体系的弹性节点特征,造成数字化模型与实体建造的语义断层。更深层的困境在于跨学科技术整合的认知鸿沟,当生态学家主张的垂直绿化系统遭遇结构工程师的风荷载安全计算时,植被根系对混凝土的碳化侵蚀风险往往被美学诉求遮蔽,这种专业壁垒使技术方案沦为妥协产物。技术研发的线性思维模式同样构成障碍,光伏建筑一体化(BIPV)技术过度聚焦光电转换效率提升,却忽视光伏板生命周期终结后的材料解构难题,这种断裂的技术链条暴露出现代工程思维对循环经济范式的理解局限。

2.2 前期建设成本较高

绿色建筑成本困境的实质是传统定价机制与环境外部性内部化的价值错位。装配式钢结构体系虽能降低现场施工能耗,但预制构件厂的固定资产投资却推高了边际成本,在建设规模未达产能阈值时,单位成本反而超越传统现浇混凝土结构。绿色建材市场呈现典型的“柠檬市场”特征,竹纤维复合板等新型材料因缺乏统一性能认证标准,导致优质产品被劣质仿制品挤出市场,采购方被迫支付超额筛选成本。成本传导机制的缺失加剧市场扭曲,建筑运营阶段的节能收益难以通过金融工具贴现到建设初期,全生命周期成本核算在开发商决策模型中仍停留于理论层面。更深层的成本悖论源自空间价值的认知时滞,屋顶光伏系统的潜在售电收益需跨越十年周期方能平衡初期投入,

这与房地产行业快周转的商业逻辑形成根本冲突。

2.3 公众认知和接受度低

绿色建筑推广遭遇社会认知的符号化误读,其技术复杂性被简化为“高科技设备堆砌”的消费符号,公众将地源热泵系统等同于中央空调升级版,忽视其与地质结构的热平衡交互机制。这种认知偏差衍生出行为模式的逆向选择,住户为追求视觉开阔擅自拆除外遮阳构件,导致建筑冷负荷激增,使精密设计的能耗控制系统失效。文化心理层面的抵抗更为隐性,岭南传统骑楼建筑的遮阳通风智慧被幕墙玻璃的“现代性”意象取代,本土生态智慧在技术崇拜浪潮中遭遇集体记忆遗忘。代际认知割裂加剧接受障碍,年轻群体追逐智能家居的即时交互体验,却对建筑围护结构的热惰性优化缺乏感知;老年住户固守自然通风的行为习惯,抵触机械新风系统的空间介入。

2.4 政策法规需进一步完善

现行政策框架存在激励导向与约束机制的动态失衡,LEED认证等国际标准在本地化过程中遭遇制度移植排斥,其权重设置过度倾斜于设备能效指标,忽视地域材料使用率等本土化可持续要素。法规体系的空间治理盲区显现在产权界定层面,建筑立面光伏发电收益在共有产权住宅中的分配规则缺失,引发业主委员会与物业管理方的法律纠纷^[3]。标准更新滞后于技术创新速度,模块化建筑在现行消防规范中仍按传统结构体系审查,可拆卸连接节点的耐火极限测试方法缺失,迫使设计方采用冗余构造抵消制度风险。更深层的制度困境源于监管环节的碎片化,绿色建筑验收聚焦设备安装合规性,却忽视用户行为模式对运营能耗的实际影响,这种“建成即终结”的管控逻辑与全生命周期管理原则形成实质背离。当政策工具无法捕捉建筑性能的动态演化时,制度供给便沦为技术创新的反向制约力。

3 应对绿色建筑设计在城市可持续发展中挑战的策略

3.1 加强技术研发与创新

绿色建筑技术创新需构建本土化知识生产体系,将气候特征与地域文化转化为技术研发的内生变量。为实现这一目标,应积极开展实地调研,采用问卷调查、现场访谈以及定点监测等多元方式,深入分析不同地区的气候数据、地理条件及文化传统。针对亚热带高湿环境,可开发具有梯度孔隙率的呼吸式幕墙系

统,通过毛细管效应调节墙体含水率动态平衡,同步实现热缓冲与防潮功能。跨学科协作机制应突破专业壁垒,建立建筑学、生态学与材料科学的联合实验室,例如将植物蒸腾作用机理引入建筑蒸发冷却系统设计,利用生物智能优化机械制冷能耗^[4]。技术链条的闭环设计需前置考虑材料解构路径,研发竹纤维增强混凝土时预设酸性环境下的生物降解触发机制,使拆除阶段的构件分离转化为资源再生起点。更深层的创新在于重构技术评价维度,将地域文化适应性纳入绿色技术评估框架,参数化设计工具可植入传统民居的穿堂风组织逻辑,使数字模型承载在地性营造智慧。

3.2 降低初期建设成本

成本优化需重构建筑业价值链的协同机制,通过设计端介入实现全产业链降本增效。设计团队应在项目前期与各参与方充分沟通,建立高效的信息共享平台。在设计阶段,运用模拟软件对不同方案进行成本效益分析,选取最优设计。预制构件生产可采用分布式微型工厂模式,依托BIM模型数据共享实现多项目构件标准化复用,降低模具开发边际成本。建材采购环节建立区域性绿色建材认证联盟,制定基于生命周期分析的性能分级标准,破除“柠檬市场”中优质产品被逆向淘汰的困局^[5]。成本分摊机制创新体现在空间权属界定领域,对屋顶光伏系统的产权收益实施动态股权分配,业主按投资比例分享售电收益,开发商则通过能源服务合同锁定长期回报。更深层的成本控制源于建筑空间功能的重构,将地下停车场通风井道整合为地源热泵垂直埋管区,实现结构空间与设备空间的共生利用,消减传统技术体系中冗余空间造成的隐性成本。

3.3 提高公众认知和接受度

公众教育需超越技术参数灌输,构建可感知的生态体验界面。在社区中心设置建筑能耗可视化艺术装置,将实时能源流动数据转化为光影变化,使抽象节能概念具象为感官互动体验。参与式设计机制应嵌入开发流程,组织住户工作坊共同决策垂直绿化植被类型,通过栽种可食用植物激发养护责任意识。文化符号转译策略可激活传统生态智慧,将岭南骑楼冷巷通风原理转化为现代建筑的风道导向板设计,用熟悉的语言消解技术陌生感。代际认知融合需创造交互场景,在老年活动中心布置传统竹编工艺与现代生态建材的对比展陈,通过材料触感对比建立技术演进的

情感联结。更深层的认同培育在于重构空间所有权认知,将外墙光伏板发电量纳入住户能源账户,通过移动端实时反馈个体节能行为对社区微电网的贡献度,使绿色实践转化为可量化的社会资本积累。

3.4 推进政策法规与标准体系完善

政策创新需建立动态适配机制,构建弹性化的标准更新框架。设立绿色建筑技术预见委员会,定期评估新兴技术的法规适用性,例如对模块化建筑连接节点的耐火测试方法进行前瞻性修订。产权制度重构应突破物理空间权属限定,建立建筑立面光伏发电权的分层确权体系,区分建筑所有者与设备投资者的收益分配比例^[6]。激励政策工具需实现精准滴灌,对采用地域材料的项目提高容积率奖励系数,引导开发商主动整合本土资源。监管体系升级应覆盖建筑性能全周期,建立运营阶段能耗数据与设计参数的动态比对标制,对偏离阈值项目启动回溯审查。

4 结束语

绿色建筑设计凭借其在改善城市环境、推动城市经济以及促进城市社会发展等多方面的显著积极影响,已成为城市可持续发展进程中不可或缺的关键要素。尽管当前面临技术瓶颈、成本压力、公众认知不足以及政策法规尚不完善等诸多挑战,但通过加强技术研发创新、降低初期建设成本、提升公众认知和接受度以及完善政策法规与标准体系等一系列策略,这些阻碍有望逐步得到攻克。未来,随着各方持续发力,绿色建筑设计将在城市可持续发展中发挥更为突出的作用,助力城市实现生态、经济与社会的协调共进,迈向更为宜居、宜业的绿色发展新征程。

参考文献:

- [1] 孙希.城市绿色建筑设计对环境可持续性的影响研究[J].佛山陶瓷,2024,34(09):141-143.
- [2] 郭与浮,赵兵兵,牛笑.可持续建筑设计与模拟在城市品位提升中的应用研究[J].建筑与文化,2024(04):291-293.
- [3] 李小锋.绿色建筑技术在城市可持续发展中的应用研究[J].住宅与房地产,2024(05):191-193.
- [4] 张俊星.推行绿色建筑促进城镇化可持续发展[J].新型城镇化,2023(12):83-85.
- [5] 张国伟.可持续发展的城市与建筑设计[J].城市建筑,2021,18(06):128-130.
- [6] 任鲁娜.建筑工程设计中的生态城市与绿色建筑研究[J].新城镇科技,2024,33(03):56-58.

疏浚施工中港口与航道通航安全保障措施研究

董辰宏

(山东省泰安市交通运输局港航铁路机场服务中心, 山东 泰安 271000)

摘要 疏浚施工在改善港口航道通航条件的同时,也会对通航安全产生重大影响。本文分析了疏浚施工给港口、航道通航安全带来的影响,提出了强化安全风险分级管控、优化施工组织管理、加强作业船舶和船员监管、创新水上交通组织等一系列安全保障措施。通过构建完善的安全管理体系,科学制定施工方案,严格落实船舶和人员监管,创新交通组织方式,最大限度地降低疏浚施工对港航通行的影响,保障人民群众的生命财产安全,实现疏浚与通航的互促共赢,以期为促进新时期疏浚行业高质量发展提供参考。

关键词 疏浚施工; 港口; 航道; 通航安全

中图分类号: U6

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.22.039

0 引言

疏浚工程是开发、改善和维护航道、港口水域的重要手段之一。自 20 世纪 50 年代以来,我国疏浚事业取得了长足发展,在保障港口航道通航能力、服务国家重大工程建设等方面发挥了不可替代的作用。当前,随着我国经济社会的发展和对外开放水平的不断提高,尤其是相关国家战略的深入实施,沿海、内河港口建设进入新一轮高潮期,疏浚市场需求旺盛。随着疏浚作业对港口、航道通航环境的影响日益凸显,各类通航事故风险随之攀升,如何在保证施工进度、质量的前提下最大限度地降低疏浚作业对港航通行的不利影响,保障人民群众的生命财产安全,成为摆在疏浚行业面前的一道重大课题。

1 疏浚施工概述

疏浚工程是按规定范围和深度挖掘航道或港口水域的水底泥、沙、石等并加以处理的工程。疏浚工程是开发、改善和维护航道、港口水域的主要手段之一。其主要目的包括:

1. 开发新的港口、码头和航道,为船舶提供足够的水深和宽度。
2. 维护既有航道和港池的水深,清除泥沙淤积,保障通航安全。
3. 扩建港口、航道,提高通航能力,满足日益增长的海上运输需求。
4. 疏通河道,改善河势,防治洪涝灾害,保护两岸居民生命财产安全。

5. 为海岸、海堤、桥梁等水工建筑物提供防冲刷保护。

当前,我国正处于大规模的港口、航运设施建设时期,沿海许多城市都在建设新的港口码头,内河也在大力发展内河航运,疏浚工程项目不断增多。目前全国从事港口与航道疏浚施工的企业已有数百家,至 2022 年,中国总疏浚量将达到 85 亿立方米,市场规模超过 140 亿欧元。中交疏浚、中铁港航、长江航道局等大型国有企业占据着疏浚市场的主要份额,同时也有不少中小型民营疏浚公司活跃在港口、航道建设一线。随着《“十四五”现代综合交通运输体系发展规划》的实施,未来一段时间内港口与内河航运建设将继续保持较快发展,疏浚工程市场前景广阔。

2 疏浚施工中港口与航道通航安全保障的重要性

2.1 疏浚施工对港口通航安全的影响

疏浚施工对港口通航安全影响重大,是港航事业健康发展的关键。施工期间,挖泥船等大型设备的作业不可避免地占用港池、航道空间,使港口水域面积骤减,极易引发船舶拥堵、碰撞等事故。疏浚船舶自身也成了航道上的移动障碍物,使船舶进出港、靠离泊的风险骤增^[1]。此外,施工扰动产生的悬浮泥沙会急剧降低水域能见度,给船舶观察、避让带来极大的困难。种种因素叠加,使疏浚施工水域事故风险远高于正常通航环境。鉴于港口航道的特殊重要性,疏浚施工必须将通航安全放在首要位置。在项目实施过程中,应高度重视各类隐患,采取切实有效的安全保障

措施,在最大程度降低施工对通航环境影响的同时,防患于未然,为“安全、高效、绿色”的港航事业保驾护航。唯有如此,才能实现疏浚工程建设与港口通航安全的双赢,为经济社会发展提供坚实的保障。

2.2 疏浚施工对航道通航安全的影响

航道疏浚施工对通航安全的影响不容忽视。作业船舶繁多、跨度广、时间长,极易干扰过往船舶的正常航行。特别是在水情、地形复杂多变的河海航道施工时,疏浚船舶的频繁移动和变位使通航环境更加复杂,航行风险骤增。疏浚开挖出的淤泥、沙石等若临时堆置在航道内,将直接侵占航道断面,进一步加剧通航安全隐患。此外,疏浚改变了航道水下地形,若疏浚船舶未及时打标示意,极易引发航道阻断、船舶搁浅等事故。鉴于航道的交通运输“大动脉”地位,疏浚施工必须充分评估其对通航安全的影响,将安全保障措施落到实处。疏浚施工组织设计应将安全风险防控作为重中之重,从源头消除事故隐患。施工全过程都应建立航道安全监测机制,及时发现异常情况,采取应对措施,确保船舶通行万无一失。

2.3 加强疏浚施工安全管理的必要性

港口航道是水上运输网络的关键节点,其通航安全直接关系到人民群众的生命财产安全和国家经济社会发展大局。近年来,我国正处于港口航道基础设施建设的高峰期,规模宏大的疏浚工程不断增多。如此频繁、密集的水下作业,对港航通行环境产生了前所未有的影响。各类通航事故风险急剧攀升,给人民群众的生命财产安全带来了严重威胁。面对新形势下疏浚施工与通航安全的突出矛盾,加强疏浚施工安全管理已成当务之急。只有真正将通航安全放在疏浚施工的核心位置,并体现在工程全生命周期的每一个环节,才能从根本上管控事故隐患,消除安全风险。这不仅需要从事疏浚施工的企业严格履行主体责任,更离不开主管部门的有力监管。

3 疏浚施工中港口与航道通航安全保障有效措施

3.1 完善疏浚施工机制,分级管控安全风险隐患

疏浚施工作为一项复杂的系统工程,涉及面广、牵扯环节多,必须构建健全的安全生产管理机制方能有效防范各类事故风险。施工单位应树立安全第一、预防为主的理念,将安全风险管理融入施工全过程各环节。要建立自上而下的安全生产责任体系,严格落实“三管三必须”要求,做到责任层层压实、管理层层到位。针对疏浚作业特点,还应分区分级制定针对性强的风险管控措施^[2]。对重大风险源、关键环节要

严防死守,从技术、管理、应急等多维度系统施治;对一般风险点要强化日常巡查检查,及时消除事故隐患。同时,还要高度重视承包商、供应商等相关方的安全管理,严把施工队伍资质关、现场作业安全关,形成全链条齐抓共管的良好局面。

具体而言,疏浚施工企业应严格执行施工项目安全风险辨识、评估、分级管控制度。项目实施前,要组织有关专家、管理人员和一线员工代表,从水文气象、地质地貌、通航环境等多角度开展全面辨识,运用定性与定量相结合的方法评估各类风险的发生可能性和危害程度,据此将风险划分为重大、较大、一般、低风险等级,形成风险清单。

在此基础上,要从人员、设备设施、作业环境、管理机制等方面制定分级管控措施,明确各级管控的具体要求和评价标准。确需特殊作业的,还要单独制定安全技术措施方案,经论证、审批后严格组织实施。在施工过程中,要定期开展安全风险动态监测,及时更新风险清单,视情调整管控措施。特别是港池疏浚等复杂环境下作业,更要强化现场动态管理,加大巡查检查频次,不间断排查各类隐患。同时,加强对一线作业人员的安全技能培训和应急演练,提高其遵章作业、应急避险的意识和能力,将风险管控措施落实到每个班组、每名员工,确保万无一失。

3.2 优化疏浚施工组织,精细编制通航安全保障方案

设计单位要充分吸收港航管理、海事公安等多部门参与,围绕疏浚作业全流程进行反复优化论证。设计理念应当树立以通航安全为中心,既要满足施工工期、工艺要求,更要将对通航环境影响降到最低。尤其是实施方案中的疏浚船舶布设、作业时段选择、运输航线规划等,都要从最大限度减少对过往船舶干扰的角度去考量,在确保施工安全的同时全力保障港航畅通^[3]。与此同时,对可能发生的船舶碰撞、搁浅等突发情况,还应预先制定应急预案,明确响应处置流程,为打好安全主动仗奠定坚实的基础。

具体到施工组织编制中的通航安全保障,要着重从疏浚作业的时间和空间两大维度统筹考虑。对于时间维度,要尽量选择在通航量相对较小的非高峰时段施工,避开港口船舶密集靠泊、散泊的时间窗口。同时,根据施工强度和通航水域情况,合理安排船舶作业时长,防止过度延长作业时间对通航秩序造成扰乱。在空间维度,则要重点优化作业船舶的布设方案。要综合考虑水深、流速等自然条件,将挖泥船、耙吸船等大型设备布设在远离主航道和港池的区域,最大限

度减少其成为航道障碍物的风险。在航道狭窄、水域开敞有限的情况下,更要强化疏浚作业与通航环境的衔接,必要时可采取交替错时施工等方式,避免因施工船舶长时间占用航道、锚地等引发通航安全隐患。与此同时,要充分考虑运泥船舶的航行路线,尽可能减少其与通航船舶的交汇点,降低事故风险。

3.3 强化疏浚作业船舶安全监管,提升船员安全素质

疏浚作业船舶是施工一线的核心力量,其自身安全状况和船员综合素质直接关系到港航通行秩序能否保持稳定。疏浚施工单位必须将船舶安全和船员管理作为安全生产的重中之重,建立健全安全检查、教育培训等一系列规章制度,为打牢现场安全基础提供有力抓手,在抓好船舶安全“硬件”的同时,更加注重提升船员安全“软实力”,着力打造一支业务精湛、安全意识强、应急能力高的优秀船员队伍,为疏浚施工营造更加安全稳定的内部环境,从根本上降低事故风险,为确保港航通行万无一失提供坚实的保障。

就强化船舶安全监管而言,施工企业要严格落实挖泥船、运泥船等大型设备的“四定”管理,明确各类船舶的定员、定岗、定职责和定操作规程。要结合不同船型的技术特点,制定完善的安全操作规程和检查标准,明确重点部位、关键环节的检查内容和频次,切实将安全监管落到实处^[4]。对于导致重大事故隐患的老旧、病残船舶,要采取限期整改、强制报废等措施,彻底消除安全隐患。同时,要着力加强对船员的教育培训,严格执行持证上岗和安全资格培训制度,定期组织开展业务技能竞赛、应急演练等活动,使其熟练掌握避碰规则、应急处置等方面的知识和技能。要创新培训方式,引入沙盘推演、VR 体验等先进手段,强化船员在复杂环境下的决策能力和实操水平。

3.4 加强水上交通组织管理,强化通航安全服务保障

疏浚施工期间的水上交通组织管理是维护港航通行秩序的重要手段,相关职能部门必须提高政治站位,将责任扛在肩上,切实担负起组织、协调、服务保障等方面的职责。港口、航道主管部门要加强统筹谋划和顶层设计,制定完善的交通组织方案,为疏浚施工与通航活动的有序开展提供基本遵循。要创新管理理念,树立大局意识和服务意识,积极协调疏浚与通航的关系,在保证工程进度的同时最大限度维护过往船舶的通行便利。海事、公安等执法部门则要充分发挥行政监管职能,强化对疏浚水域通航秩序的监视监管,

严厉打击各类违法违规行为,为确保通航安全提供有力支撑。

港口管理部门要充分利用港内外锚地资源为过往船舶提供临时停泊服务,疏导疏浚区船舶压力,降低碰撞搁浅风险。同时,要加强与疏浚施工单位的信息沟通,及时将施工作业计划、航道通航条件等情况告知过往船舶,引导其合理选择航路和靠泊时间^[5]。航道管理部门则要加大巡查频次,利用 AIS、VTS、北斗等现代化设施设备动态掌握疏浚水域通航动态,提前预判航行风险并及时发布航行警(通)告,为过往船舶安全导航提供及时、准确的信息服务。一旦发生搁浅、触碰等险情,要立即启动应急预案,组织人力物力开展救助,最大限度减少事故损失。执法部门则要加大对疏浚施工水域的巡航检查力度,发现船舶违章违法行为要依法从严查处,切实维护通航环境平稳有序。

4 结束语

疏浚施工作为港口航道基础设施建设的重要内容,其安全管理水平的高低直接关系到人民群众的生命财产安全和国家经济社会发展大局。面对新时期疏浚作业日益频繁、港航通行环境更加复杂的新形势,必须以高度的政治责任感和使命感,进一步完善疏浚施工安全风险防控体系,强化施工组织管理,加大船舶和船员监管力度,创新水上交通组织方式,全方位织密织牢港航通行安全防护网。疏浚施工企业作为安全生产第一责任人,要切实强化红线意识和底线思维,坚持安全生产与港航通行两手抓、两不误,严之又严、实之又实地抓好各项工作措施落实,为“疏浚安全”和“通航安全”提供坚实的保障。港航管理、海事公安等职能部门则要勇于担当作为,加强统筹协调、支持服务,为疏浚施工营造良好的外部环境,实现疏浚与通航的互促共赢。

参考文献:

- [1] 余复明.港口航道工程中的护岸及疏浚工程施工工艺探讨[J].珠江水运,2024(24):117-119.
- [2] 廖瑾平.疏浚施工过程中保障港口与航道通航的对策分析[J].珠江水运,2023(10):32-34.
- [3] 廖纪任.港口航道疏浚工程施工技术与分析[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2023(04):59-62.
- [4] 刘广斌.深水航道疏浚施工期通航安全监管技术分析[J].珠江水运,2024(24):54-56.
- [5] 吉增光.疏浚施工中保障航道通航的技术和措施[J].中国水运,2023(06):90-92.

水轮发电机定子一点接地原因分析与处理研究

刘志超

(华电西藏能源有限公司大古水电分公司, 西藏 山南 856200)

摘要 水轮发电机定子一点接地是电力系统中常见的故障类型, 其成因分析与处理对策研究具有重要的工程实践价值。研究表明, 该故障的发生主要源于定子绕组绝缘性能的劣化, 其影响因素可分为内部和外部两个方面: 内部因素包括制造工艺缺陷和材料老化, 外部因素则涉及运行电压波动、过载工况、机械振动以及运维不当等。针对此类故障, 本文建议采取加强运行状态监测、完善设备维护体系以及强化操作人员培训等应对措施, 以期水轮发电机定子接地故障的预防与处理提供有益参考。

关键词 水轮发电机定子一点接地; 故障原因; 定子绝缘性能; 机器维护

中图分类号: TM61

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.22.040

0 引言

水轮发电机作为水能发电系统的核心设备, 其运行性能直接影响电力系统的稳定性和可靠性。定子接地故障作为常见运行障碍, 严重制约设备的正常运行。通过深入分析发现, 此类故障与设备内部构造及外部运行环境密切相关, 受多重因素综合影响, 包括电压波动、工作负荷变化、机械振动以及制造和使用过程中绝缘层损伤等。这些因素相互作用, 显著增加了定子接地故障的发生概率。深入研究并解决此类电力故障, 不仅能为电力系统稳定运行提供技术保障, 还将为电力工程领域的科研与设计工作提供参考。为此, 需要系统分析水轮发电机定子一点接地故障的成因及解决方案, 建立完善的监控维护培训体系, 以提升设备维护质量, 同时提高电力从业人员的专业操作能力。

1 水轮发电机定子一点接地概述

1.1 水轮发电机定子一点接地的定义

水力涡轮发电机静子一点接地故障是指机组运行过程中, 静子绕组与大地之间出现异常导通的电气故障现象, 该故障在电力系统中具有较高的发生率^[1]。故障的核心成因在于静子绕组绝缘材料出现破损或劣化, 导致局部导体与地电位形成通路。这种接地故障会引发电流分布失衡, 进而造成机组运行异常, 严重时可能导致设备完全损坏。更为关键的是, 静子一点接地故障可能危及整个电力系统的安全稳定运行, 并引发连锁性事故。因此, 及时准确地诊断和消除此类故障, 对于保障水力涡轮发电机组的安全稳定运行具有极其重要的意义。

1.2 水轮发电机定子一点接地的影响

水轮发电机内部发生接地故障会对发电设备和电网运行造成严重影响。当定子绕组绝缘损坏时, 电流会通过接地点泄漏, 导致严重的漏电现象, 破坏发电机的正常运行状态。在此情况下, 电气设备可能因突发的电流冲击而损坏, 严重时会造成绝缘材料烧毁和机械部件损毁, 从而增加维修和更换成本。此外, 电流失衡还会危及电网稳定性, 显著提高系统故障风险, 导致供电中断, 严重影响用户的正常生产和生活用电。同时, 定子绕组中相间电压不平衡会明显增加电力系统谐波含量, 降低供电质量。水轮发电机内部接地故障对设备安全和电网稳定构成重大威胁, 必须予以高度重视并及时处理。

1.3 水轮发电机定子一点接地的检测

水力发电机转子一点接地检测是保障发电机稳定运行的关键环节, 主要检测方法包括以下三种: 绝缘电阻率测试用于评估转子线圈对地电阻值, 判断绝缘体完整性; 绝缘介质损耗因数测量通过检测介质损耗角来鉴定绝缘状态, 该方法还能有效发现绝缘老化现象; 局部放电测定则通过电磁信号检测放电位置和强度, 以识别潜在的绝缘缺陷^[2]。这些检测方法能够及时发现转子绝缘问题, 为采取预防性维修措施提供依据, 从而避免重大故障的发生。

2 水轮发电机定子一点接地的故障原因

2.1 内部因素

水轮发电机定子发生单点接地故障的主要内在因素包括电压波动和过载运行。电压不稳定会导致定子

绕组绝缘层承受反复的电压冲击,最终造成绝缘性能完全失效。而过载运行则会引起定子内部温度急剧上升,致使绝缘材料因高温老化而丧失绝缘能力,从而显著增加单点接地故障的发生概率。这些内在问题不仅威胁水轮发电机的安全稳定运行,还会显著缩短设备的使用寿命。

2.1.1 电压不稳

在水力发电机轭铁接地故障分析过程中,必须充分重视电压稳定性问题。电压波动会直接影响电场强度分布,进而改变绝缘材料的电气性能,显著增加电击穿和局部放电风险。此外,电压不稳定还会加速绝缘材料的老化进程,导致轭铁绝缘性能下降,最终引发接地故障。由此可见,维持稳定的电压水平是确保水力发电机安全可靠运行的重要前提条件。

2.1.2 负载过大

过载运行将导致水轮发电机定子绝缘材料热负荷增加,加速绝缘材料的老化与劣化过程,从而显著增加定子绕组发生单相接地故障的概率。此外,过大的电流负载可能引发局部过热现象,加剧绝缘部件承受的机械应力和电气应力,进而促使单相接地故障提前发生。因此,实施定期监测并精确控制运行负载,对于有效预防单相接地故障具有重要的现实意义。

2.2 外部原因

水轮发电机定子发生一点接地故障的外部诱因主要包括生产制造缺陷、运行环境因素以及机械应力影响。具体而言,生产环节若存在原材料质量缺陷或工艺控制不当,将直接导致定子绝缘性能劣化。在设备运行过程中,机械磨损、振动冲击及温度波动等动态因素会持续损害定子绝缘性能。此外,环境湿度、粉尘污染及化学腐蚀等外部条件也会加速绝缘层的老化劣化进程。这些外部因素的协同作用会显著影响设备运行可靠性,因此在设备操作维护过程中必须加强巡检力度,及时发现并处理潜在隐患。

2.2.1 制造缺陷

在制造环节中,由于使用了不合格的绝缘材料或未严格执行工艺标准,导致绝缘性能不达标,最终造成定子一点接地故障的发生。

2.2.2 使用过程中损害

水轮发电机定子一点接地故障的外部诱因通常源于运行过程中的设备损伤。此类损伤主要归因于恶劣的运行环境以及维护保养不及时。在高湿度、高温及粉尘等不利环境因素作用下,发电机绝缘材料会加速老化,导致其绝缘性能显著下降。长期运行条件下,机械部件的磨损与疲劳会显著增加定子绝缘层受损的

风险。此外,过长的维护周期会延误绝缘缺陷的修复时机,从而增大接地故障发生的可能性。因此,实施定期维护与检修是预防此类故障的有效措施^[3]。

3 定子绝缘性能

3.1 定子绝缘性能的介绍

对水轮发电机定子绝缘性能进行系统评估,是确保设备安全运行的关键指标。绝缘材料需具备良好的电流阻隔能力,以保障电力系统的稳定运行。采用先进复合材料技术的水轮发电机定子绝缘材料,展现出优异的电气性能和机械强度特性。该材料需耐受高温、高压及潮湿环境,有效延缓老化进程,满足复杂工况下的长期使用要求。绝缘性能的优劣直接影响发电机的故障率和使用寿命,良好的绝缘性能可有效预防电气故障,降低停机频率,减少维护成本。通过耐压测试、介电强度测试和局部放电测试等专业检测技术,可确保绝缘材料在各种运行条件下发挥应有的保护作用。提升定子绝缘性能对于保障水轮发电机安全稳定运行具有重要价值。

3.2 影响定子绝缘性能的因素

定子绝缘性能受多重因素影响,可归纳为内因与外因两大类。内因主要涉及线圈本体的质量状况、材料选用合理性以及制造工艺的精细程度。若线圈材料不达标或工艺存在缺陷,将直接导致绝缘性能劣化。在外因方面,环境参数与运行条件的影响尤为显著。在高湿、高温或存在化学污染物的环境中,绝缘材料会加速老化。在运行工况方面,设备长期超负荷运行或频繁启停操作会加剧绝缘损耗。此外,机械振动、电压波动以及过电压或欠电压等异常工况,均会对绝缘性能造成损害。内因与外因的协同作用,使定子绝缘系统面临严峻挑战。

3.3 如何提高定子绝缘性能

提升定子绝缘性能的主要途径涵盖材料选择优化、工艺改进及维护策略完善三个方面^[4]。在材料选择方面,应优先考虑具有优异耐温特性、机械强度及绝缘性能的材料,如聚酯薄膜和云母带等,以确保绝缘层的长期稳定性。在工艺改进方面,需精确控制各项工艺参数,重点提升涂覆和浸渍工艺水平,从而保证绝缘层的均匀性和致密性。在维护管理方面,建议建立定期检测机制,实施预防性维护,同时强化操作人员的专业培训,增强其对绝缘保护的重视程度,防止因操作失误导致的绝缘损伤。实施上述措施可有效提升水轮发电机定子的绝缘性能,延长设备使用寿命,降低故障发生率。

4 水轮发电机定子一点接地故障处理策略

4.1 提高监控频率

为提升水轮发电机运行可靠性,建议采取以下改进措施:首先,应增加定子状态监测频次,通过更频繁的检查及时发现潜在问题,防止故障恶化。其次,需配备先进的监测设备,实现对电压、温度、振动等关键参数的实时监控。这些高精度监测装置能够为操作人员提供准确数据,便于快速识别异常状况。此外,可引入智能监控系统,运用数据分析和机器学习算法,对历史及实时运行数据进行深度解析,实现故障预警功能。同时,必须严格执行定期全面检查和性能测试制度。通过实施上述综合措施,不仅能有效延长设备使用寿命,还能显著降低突发故障风险,确保水轮发电机安全稳定运行。加强监控密度有助于及时处理各类运行问题,真正做到防患于未然,从而全面提升发电设备的运行性能^[5]。

4.2 加强水轮发电机的维护工作

加强水轮发电机的维护工作对于预防和解决定子单点接地故障至关重要。完善的维护措施能够有效发现并修复潜在隐患,显著降低故障发生率。具体维护工作应包括:定期检测绝缘性能、紧固电气连接、保持设备清洁、检查机械部件的润滑及磨损情况等。在维护过程中,需重点关注关键部位和易损部件,如线圈绝缘体、电刷和滑环等,确保其处于良好工作状态。建立完整的维护档案,积累运行数据和维护经验,有助于故障分析和趋势预测。采用先进的维护技术和设备,如红外热成像仪、局部放电检测仪等,可显著提升维护工作的精确性和效率。通过实施这些措施,不仅能大幅提高水轮发电机的运行可靠性,还能有效减少定子单点接地故障的发生,为设备的安全稳定运行提供坚实的保障。

4.3 故障处理

水轮发电机定子发生一点接地故障时,需采用系统化、规范化的处理流程,以确保设备正常运行并延长其使用寿命。具体处理步骤如下:

第一步是进行故障诊断与定位。通过配置高灵敏度监测装置,如定子接地保护装置和绝缘监测系统,实时监控定子运行状态。当检测到接地故障信号时,立即触发报警并停机,防止故障扩大。同时采用红外热成像等无损检测技术,全面检查定子绝缘状况,准确定位故障点。

第二步是实施故障修复。确定故障位置后,首先

对定子进行清洁处理,清除积尘和潮气。针对绝缘损坏部位,根据损伤程度采取相应修复措施,如涂覆绝缘漆或更换绝缘材料。修复完成后需进行绝缘性能测试,确保修复质量达标。

第三步是进行性能验证。修复工作结束后,需开展包括绝缘电阻测试和耐压试验在内的全面检测,验证定子各项性能指标符合运行标准。

整个处理过程中应建立完善的故障档案,详细记录故障现象、处理措施及修复结果。这些数据可为后续设备维护和故障预防提供参考依据,同时为技术改进积累经验。通过规范化的处理流程,可有效解决定子接地故障问题,保障设备安全运行和电网稳定供电。该处理方法对日常维护和预防性检修工作具有重要指导意义。

5 结束语

针对水轮发电机定子一点接地故障进行系统分析后发现,故障发生主要与设备绝缘性能及运行环境密切相关。具体而言,电压波动、负载过重、机械振动以及制造或使用过程中的部件损伤等因素均可能引发此类故障。为此,提出了一套综合解决方案,包括加强运行监测、完善设备维护制度以及开展操作人员专业培训等措施。研究成果为预防水轮发电机定子一点接地故障提供了理论依据。然而,受限于样本数据不足,研究未能全面涵盖所有可能的故障影响因素,后续研究需进一步扩展分析范围。目前虽已取得初步成果,但对水轮发电机定子一点接地问题的认识仍需深化。未来,需通过获取更多的实验数据并运用现代分析技术,以提升故障预防和处理的效率与准确性。

参考文献:

- [1] 林静雯,吴晓,丁宇鹏,等.水轮发电机定子一点接地原因分析与处理[J].福建水力发电,2022(01):59-60.
- [2] 陈小龙.水轮发电机转子一点接地故障原因分析与处理[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2021(06):116-117.
- [3] 马志忠,刘凯兵.大型水轮发电机定子接地故障分析及处理[J].水电与新能源,2020,34(06):67-70.
- [4] 董翰宁,董锦川.水轮发电机定子一点接地短路故障原因分析与处理[J].水电站机电技术,2020,43(S1):28-30.
- [5] 邱钰偲,汪金全,严子成,等.某大型水轮发电机定子一点接地故障的定位分析[J].电力设备管理,2022(S1):126-128.

天然气长输管道山地陡坡段 施工技术的应用研究

张 祥, 梁 鹏, 鲁 浩, 杨张虎

(陕西省天然气股份有限公司, 陕西 西安 710016)

摘 要 随着社会经济的发展和人民生活水平的提高, 我国对天然气的需求持续增长。长距离输气管线是我国重要的能源基础设施, 对保障我国能源供给、推动地区经济发展具有十分重要的意义。但在山区大坡度地段, 地质条件复杂, 天然气长输管道作业空间狭窄, 施工难度大, 施工安全风险高。本文针对天然气长输管道山地陡坡段施工过程中面临的挑战, 深入探讨了天然气长输管道山地陡坡段施工技术应用要点, 以为类似天然气长输管道施工提供有益参考。

关键词 天然气; 长输管道; 山地陡坡段

中图分类号: TU990.3

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.22.041

0 引言

长距离输气管线是我国能源输送的中心环节, 其建设和运营事关我国的能源安全, 也直接关系到国民经济的可持续发展。在复杂地形条件下, 管线敷设面临复杂多变的地质结构、有限的施工场地、施工难度大、施工安全风险高等挑战, 传统的建设方式已很难充分满足高效率与环境保护的要求。因此, 在现代化的管线建设中, 探讨天然气长输管道山地陡坡段施工技术具有重要意义。

1 天然气长输管道建设的重要性

长距离输气管道可将天然气从气源高效稳定地输送至终端用户, 提高均衡性。当能源需求发生剧烈变化, 或遇到各类突发事件, 长距离输气管线的平稳运行, 也可有效规避因能源供应紧缺而造成的社会效益与经济效益风险。另外, 长距离输气管线的修建与扩建, 有利于优化我国的能源结构, 缓解地区间的能源供需矛盾。将主气田—地下储气库—用户终端连接起来, 构成满足全国范围内的能量需求传输网络, 进一步提升我国能源资源配置能力, 对保障我国能源安全具有重要意义^[1]。

2 天然气长输管道山地陡坡段施工过程中面临的挑战

2.1 施工地质条件复杂

山区陡坡地区地质环境复杂多变, 施工难度大, 隐患多。首先, 斜坡土体结构不稳定, 对工程建设有

很大的影响。在山区、陡坡地区, 由于土质疏松, 或长时间的降雨, 使土层处于饱和状态, 从而增加了滑坡、泥石流等地质灾害的危险性。另外, 部分坡段岩层有裂缝或断裂, 岩体破碎, 强度低, 这些都会使建设过程中边坡发生不稳定。由于地下水流的复杂性较高, 使得建设的困难程度相对较高。而在大坡度地区, 地下水埋深变化大、水流方向多变, 给工程建设带来了极大的安全隐患。若不能在施工前准确把握地下水流动规律, 则会造成土体软化、边坡失稳, 甚至管线地基下沉, 从而影响管线的建设质量与服役寿命。因此, 必须在工程实施之前, 对其进行详尽的水文地质勘察, 并采取合理的排水及防护措施, 以减少对地下水的不良影响^[2]。

2.2 施工操作空间限制

山区大坡度路段施工场地狭小, 设备布局、人员活动空间受限, 严重制约了工程的柔性 and 效率。由于陡坡地带地势狭小, 导致大型机械装备难于进入, 传统的大规模机械化作业模式在该地区不能完全发挥作用, 导致建设单位不得不选用更小规模的装备, 从而导致建设时间与费用大幅增加。由于山坡上并无充足的仓储和交通设施, 导致建筑物资、设备的装卸与存储面临的困难相对较大。在坡度较大的区域, 物料也会由于自重影响而发生滑动, 导致运输车无法顺利通过, 从而对施工组织的调度产生影响。由于其空间较为狭窄导致管线的焊接与铺设受到限制, 而常规的横

向铺设方法很难实现,需要采用分段铺设、分段焊接的方法,对焊接精度及施工技术提出了更高的要求。在有限的建筑空间内,对各种设备的使用与调试都应进行仔细规划与管理。在选择起重机械时,应考虑斜坡、地形等因素对机械的稳定作用。如果没有合理的空间布局,不但会造成工程进度的延迟,而且会造成管线的定位误差,从而影响到工程的整体质量及以后的运营安全^[3]。

3 天然气长输管道山地陡坡地段施工技术运用要点

3.1 实施精确性地质勘察

现代地质勘探技术的运用,使勘探工作的精度和效率得到了很大提高。在山区陡峭的山区,利用高精度遥感技术,可以获得高精度的地形图像,从而确定可能对工程建设产生影响的地物。激光雷达扫描技术是一种高精度的数字地面模型(DTM),其能为地形的分布、坡度和坡度的变化提供精确的数据支撑。与此同时,三维地质模型的建立也起到了很大的作用。融合遥感、钻井、物探等数据,建立可直接反映地质结构、岩层倾角、地下水流向等重要信息的三维地质模型。在此基础上,设计者可根据工程实际情况,制定更有针对性的施工技术及支护方案。野外勘测是高精度地质勘探工作中不可忽略的一环。在施工过程中,需要经常深入施工现场,对施工中的重点地段进行全面观察、记录、分析。在此基础上,开展多期地质调查,综合分析各时段内的地质变化,分析边坡的稳定性,并提出合理的建设方案。该方法涉及地质、工程力学、环境等多个学科的交叉融合。由于山区陡坡地段的特殊建设情况,在确定施工方案时,必须根据地质勘探成果,避免单纯依靠经验来进行。对于地质勘探成果表明有一定坡度的地区,宜采取定向钻孔和悬铺法等技术,减小边坡的扰动;对于岩体破裂较大的区段,则需在开挖前加以补强或支护。通过工程勘察,为工程项目的实施提供了具体的资料支撑,从而减少工程后期建设的难度与风险。在制定具体的施工工艺措施时,应根据已有的坡度、地形、地层特征等资料,有针对性地进行设计^[4]。

在高边坡地区施工时,应充分考虑坡面对机械、设备运行的影响,并确定合理的设备布局及作业路线;

在边坡稳定性不佳的情况下,为保证边坡的稳定性,必须加强支护结构设计。具体表现在施工工艺的选用上,应因地制宜,灵活调整,不能简单地照搬平地施工的工艺过程;在设备的选择上,选择轻便、灵活、适应能力强的机器;在工程组织方面,要有资深的工程技术人员,全程指导、督导。通过以上几种方法的综合应用,保证了施工工艺与地质条件的良好匹配,从而提高了整个工程的总体质量与安全性。目前我国所采用的天然气长输管道山地陡坡地段施工技术流程如图1所示^[5]。

3.2 优化现有施工工艺

天然气长输管道山地陡坡段施工具有效率高、稳定性好的特点,尤其适用于长距离、大坡度的管线施工。将该段施工区段划分成多个较小的施工区段,按各区段按顺序进行施工并验收,可使施工过程与质量得到较好控制。在工程建设过程中与各标段工程竣工后,对管线焊接质量、埋设深度、回填层的密实度、稳定性等进行了全面的质量检测。当这一区段满足设计要求时,才能进入下一区段。这种方法可以减少因连续施工而引起的质量缺陷的累积,而且一旦出现问题,就可以对施工计划进行相应的调整,从而最大限度地减小对整个工程的影响。

分段式施工也可使各区段采用不同的工序方法。在地质相对稳定的较短区段内,可按常规的铺挖法进行施工;对于复杂、高风险地区,可以采取更为安全的技术手段。在此基础上,提出了“分阶段”的概念,并对各施工单位进行了精细化管理,提高了工程建设的效率与质量。在大坡度地区,基坑开挖范围对边坡的稳定有很大的影响。大范围的开挖会引起边坡的应力再分配,从而诱发滑坡和崩塌等地质灾害。因此,如何减小开挖面,选取更为精细、定域性的操作方法,是优化施工技术的一个关键。定向钻井是解决这一问题的有效方法。对于斜坡、植被、土质等易受影响的地区,采用定向钻井技术,可有效地跨越地层或障碍物,以防止大面积地面开挖引起的水土流失和滑坡。采用定向钻进法,既能减少土方开挖量,又能缩短施工时间,还能减少对周围环境的影响,目前所采用的具体施工工艺技术优化措施如表1所示^[6]。

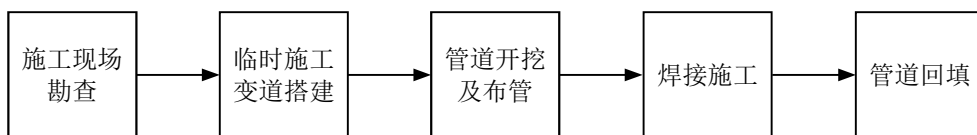


图1 天然气长输管道山地陡坡地段施工技术流程图

表 1 施工工艺技术优化措施

主要技术措施	具体技术内容	应用效果
分段施工	将长距离陡坡段分解为若干短段，每段逐次施工	降低施工质量缺陷积累，确保工程顺利推进
减少大面积开挖	在坡度较大的区域，减少大面积开挖作业	降低滑坡和坍塌风险，减少土方工程量，缩短工期
定向钻进	利用定向钻进技术穿越地下岩层或障碍	缩减开挖量，避免滑坡引发的次生灾害

3.3 合理优化施工设备配置

在山地与陡坡等复杂地形条件下，大型机械的使用受到了限制，应选择适用于狭小、险峻的地形条件的小型履带式挖掘机。可同时引入山地环境监测系统，其具有良好的地形适应能力，以及较高的重心和良好的抓持能力，降低了滑跑的风险。该系统不仅能在陡坡路段安全行驶，而且能在地形复杂的地形条件下进行沟槽开挖、土方回填等精细化作业。采用小型机械设备，可以减少边坡对地基的扰动，降低边坡坍塌的风险，提高施工效率和安全^[7]。山区专用起重机是解决管道吊装、安装等技术难题的一种重要设备。这种起重机通常采用可调式托架结构，以增强框架的稳定度，并能在陡坡道路上起到稳定支撑作用。施工中使用专用斜吊，可安全高效地完成管道的吊装和精确定位，特别是在陡坡地段，其挠性和稳定性能更为突出。在斜井作业中，采用本设备，可以有效地降低常规卷扬机在斜井作业中出现的倾覆事故，提高了整个提升作业的安全性和可靠性。在边坡工程中，边坡支护机具的选用和布置是维持边坡稳定的关键。该产品重量轻，携带方便，可迅速运送到施工现场，并可在极短的时间内完成安装调试。如组合式支架、伸缩式支架等，既方便搬运、拼装，又能根据工程场地的倾斜程度，灵活地调节支架的角度和高度^[8]。施工区域的边坡防护措施是确保施工安全的基础，尤其在山地陡坡地带更为重要。首先，边坡防护网是有效的安全屏障。高强度金属网或复合材料防护网能够覆盖施工区域的关键坡面位置，防止碎石和泥土滑落到施工通道或设备区域，保护施工人员免受滑坡和滚石威胁。其次，在坡面设置防滑装置可显著增强地面附着力，减少机械设备和人员滑动的风险。例如：在陡坡上铺设粗纹防滑垫或安装加固钉板，可以提高车辆和机械的行驶稳定性，避免作业时因地表湿滑引发的设备倾覆事故。临时支护结构是坡面稳定的另一关键措施。通过在高陡边坡上安装钢制或混凝土支护桩，结合横梁或斜撑装置，可以有效支撑坡体，防止边坡下滑。这些支护结构需

在施工期间保持稳定性，施工完成后再逐步拆除或转换为永久性支护设施。在施工过程中，对支护结构的稳定性进行定期检查，确保其在持续施工作业的情况下不会因荷载增加或雨水浸蚀而失效。实时监控技术的应用为安全管理提供了科学依据。安装坡体稳定传感器、雨量计和视频监控设备，能够随时掌握施工区域的地质变化和环境状况，一旦发生异常，系统会及时发出警报，帮助施工管理人员迅速采取应对措施^[9]。

4 结束语

通过对长距离输气管线山区大坡度段施工工艺的研究，重点从地质勘察、分段施工、定向钻孔、合理优化施工设备配置等方面对施工技术运用要点进行了分析。在此基础上，结合工程实践，提出解决方案以应对天然气长输管道山地陡坡施工过程中面临的挑战，在保证管线正常运行的前提下，旨在降低工程施工的风险，进一步提高长距离输气管线山区大坡度段施工质量。

参考文献：

- [1] 杨张虎,徐康.浅析天然气长输管道项目建设施工难点及应对策略[J].中国石油和化工标准与质量,2025,45(06):147-150,153.
- [2] 雷阳.天然气长输管道山地陡坡段施工技术[J].全面腐蚀控制,2023,37(01):97-99.
- [3] 郭望,李斯诺,霍轩.天然气长输管道运行安全风险和预防措施研究[J].石化技术,2025,32(03):327-329.
- [4] 本刊通讯员.陕西天然气长输管道项目加快建设[J].城市燃气,2025(03):42.
- [5] 杨孟.天然气长输管道山地陡坡段施工技术探讨[J].化工管理,2021(03):68-69.
- [6] 李刚,张学彬,刘国柱.天然气长输管道山地陡坡段施工技术研究[J].化工管理,2020(18):167-168.
- [7] 同[3].
- [8] 同[4].
- [9] 杜鑫,解庆生.大口径天然气长输管道隧道穿越深竖井施工质量控制措施[J].凿岩机械气动工具,2025,51(02):151-153.

精细化工反应釜机械密封失效原因分析与安全改进措施

杨琪瑛¹, 闫佳佳²

(1. 山东诚泰安全技术咨询有限公司, 山东 济南 250100;

2. 利华益汇海新材料(天津)有限公司, 山东 东营 257400)

摘要 在精细化工生产流程中, 反应釜是核心设备, 其机械密封性能直接决定生产的连续性、安全性以及产品质量。机械密封一旦失效, 会引发物料泄漏、环境污染、安全事故等严重问题, 给企业造成巨大的经济损失。本文从设备材质、制造工艺、安装精度、工况条件以及介质特性等多个维度, 深入剖析了精细化工反应釜机械密封失效的原因, 并提出了相应的安全改进措施, 以期为相关人员提供有益参考。

关键词 精细化工; 反应釜机械; 密封失效; 密封材料

中图分类号: TH17

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.22.042

0 引言

精细化工生产的产品广泛应用于医药、农药、涂料等多个领域, 为社会发展提供了不可或缺的原材料与产品支持。然而, 在生产过程中常涉及具有易燃易爆、强腐蚀性的化学物料, 这对反应釜机械密封提出了极高的要求。一旦机械密封失效, 物料泄漏到环境中, 不仅会直接污染土壤、水体, 破坏生态平衡, 引发环境危机; 而且, 当泄漏物料属于有毒有害物质时, 还会威胁周边居民的身体健康, 导致急性或慢性中毒事件。此外, 物料泄漏造成的原材料浪费和生产中断, 会大幅增加企业的生产成本, 削弱市场竞争力, 阻碍精细化工行业的可持续发展。因此, 探讨精细化工反应釜机械密封失效原因及安全改进措施具有现实意义。

1 精细化工反应釜机械密封失效原因探讨

1.1 机械密封自身结构问题

机械密封在精细化工反应釜中扮演着至关重要的角色, 其结构设计的合理性直接关乎密封性能与使用寿命。若设计存在缺陷, 密封面比压分布不均的情况便会频繁出现。在实际生产中, 部分精细化工企业的反应釜机械密封动环与静环配合精度欠佳, 在长时间的持续运行过程中, 动环与静环之间的接触压力分布呈现不均匀状态, 局部区域承受着远超正常范围的摩擦力。这就如同道路上某段路面长期承受过重车辆的碾压, 率先出现破损一样, 随着时间的推移, 这些局部区域会遭受严重磨损, 进而破坏密封面的完整性, 导致密封失效, 物料泄漏^[1]。物料一旦泄漏, 不仅会

造成物料损失, 影响生产效率, 而且当泄漏的物料为易燃易爆物质时, 安全隐患便会急剧增加, 泄漏点极有可能成为引发火灾或爆炸事故的导火索。机械密封结构设计的不合理性还体现在密封元件选型与布局方面。例如: 密封弹簧刚度选择不当, 若刚度过强, 会使密封面压力过大, 加速密封元件的磨损; 若刚度过弱, 密封面则无法紧密贴合, 同样容易引发泄漏。此外, 密封腔尺寸若与密封元件不匹配, 会导致密封效果显著降低, 使得机械密封在运行过程中难以达到理想状态, 失效风险大幅增加。

1.2 工艺介质影响

精细化工生产所涉及的工艺介质特性复杂多样, 其中腐蚀性与高粘度特性较为常见, 这对机械密封构成了极大的危害。强腐蚀性工艺介质对于机械密封的密封元件而言, 犹如一场猛烈的“腐蚀风暴”。在使用腐蚀性介质的精细化工产品时, 机械密封的金属部件首当其冲, 强酸性介质具有强大的侵蚀力, 能够快速腐蚀金属部件。以不锈钢材质的密封部件为例, 在强酸性环境下, 金属表面原子会与酸性介质发生化学反应, 逐渐溶解, 致使密封面出现坑洼, 破坏了密封面的平整度, 使得密封元件无法紧密贴合, 进而丧失密封性能^[2]。高粘度介质对机械密封的影响也不容小觑。高粘度介质在机械密封运转时, 会给密封元件施加无数阻力, 如同给密封元件戴上了沉重的“枷锁”, 导致摩擦阻力显著增加。这类似于人在深水中行走时, 会明显感受到水的阻力带来的吃力感。在高粘度介质的作用下, 密封面温度会迅速升高, 而高温环境又会

加速密封元件的老化与磨损,使密封元件的材料性能逐步劣化,例如橡胶类密封件会变硬变脆,塑料类密封件可能会发生变形,最终导致密封性能下降,直至密封失效。此外,一些含有颗粒杂质的工艺介质在机械密封运转时,就像微小的“研磨颗粒”,会进一步加剧密封面的磨损,大大缩短机械密封的使用寿命。

1.3 操作与维护不当

操作人员在设备启动、运行以及停车过程中的操作规范程度,与机械密封的使用寿命密切相关。在某工厂反应釜启动阶段,操作人员未按规定进行缓升温生压速操作,致使机械密封瞬间承受了远超正常范围的冲击载荷,如同遭受重锤猛击一般。这种情况与汽车启动时猛踩油门对传动系统造成的冲击类似,但对机械密封的损害更为严重。机械密封弹簧在过度压缩后,密封面因冲击而受损,受损后的密封面无法再满足原有的密封性能要求,物料泄漏风险显著增加。设备日常维护不到位也是导致机械密封失效的重要原因之一。若未能及时对设备进行检查保养,就如同人体未定期进行健康体检,潜在的问题将难以被发现与解决。在机械密封长期运行过程中,密封面不可避免地会堆积杂质,这些杂质就像“磨料”,会加剧密封面的磨损。若维护人员未能及时清洗密封面,杂质的积累将加速密封面的磨损,最终导致密封失效^[3]。弹簧作为机械密封的关键弹性元件,其弹性会随着时间的增长而逐步下降。如果维护人员未定期检查弹簧弹性并及时更换失效弹簧,当弹簧无法提供足够的弹性力时,密封面将无法紧密贴合,从而引发泄漏。润滑系统对于机械密封的正常运行同样至关重要,若维护不当导致润滑不足,会加速密封元件的磨损,显著增加机械密封的失效风险。

2 精细化工反应釜机械密封安全改进措施

2.1 优化机械密封结构设计

采用先进的机械密封结构对于提升密封性能具有重要意义。平衡型机械密封通过独特的设计,能够有效降低密封面压力,减少磨损。这种密封结构通过对腔内压力的巧妙平衡,使密封面压力分布更为均匀,为密封面提供了均匀受力的保障。在实际使用过程中,其使用寿命得以延长,泄漏风险显著降低。在密封元件的生产过程中,提高制造精度至关重要。严格控制动环与静环的配合公差,从源头上确保密封性能的稳定性。高精度的制造工艺能够保证动环与静环在运行时紧密贴合,有效避免因配合不当而产生的泄漏隐患。在特殊工况下,如高温、高压与强腐蚀等极端环境,对机械密封结构设计提出了特殊要求。此时,需要进

行定制化设计,根据具体工况需求,精准匹配密封元件的材质、尺寸和结构形式,以满足生产需求。在高温高压且强腐蚀性的反应釜中,特殊的密封腔结构设计以及耐高温和耐腐蚀材料的选用,再结合密封弹簧设计的优化,能够有力推动机械密封在恶劣环境下稳定运行,显著提升生产的安全性与可靠性^[4]。

2.2 选择合适的密封材料

根据工艺介质特性选择恰当的密封材料是保障机械密封性能的关键举措。在强腐蚀性介质的工况下,陶瓷、碳化硅等材料展现出优异的耐腐蚀性,可作为密封面制作的理想选择。陶瓷具有极高的化学稳定性,能够有效抵御强酸碱介质的侵蚀,使密封面如同披上了坚固的铠甲。碳化硅同样具备出色的耐腐蚀性能,且硬度高、耐磨性好,在强腐蚀伴有颗粒磨损的工况下表现卓越。在高粘度介质工况下,聚四氟乙烯凭借其良好的自润滑性能,具有更为显著的适用性。聚四氟乙烯材料的低摩擦系数能够有效减少高粘度介质带来的摩擦阻力,降低密封面的磨损,从而延长机械密封的使用寿命。在实际生产中,还需综合考虑工艺介质的温度、压力等因素来选择密封材料。在高温环境下,要求密封材料具备强大的耐高温性能,确保在高温工况下密封材料性能稳定,避免出现变形和老化等问题,从而使机械密封在复杂工况下能够保持良好的密封性能,提高生产的安全性与稳定性。

2.3 加强操作与维护管理

制定详细的操作规程对于规范操作人员的行为至关重要。在设备启动前,要求操作人员对设备进行全面检查,确保机械密封处于良好状态,这就如同汽车驾驶员在行驶前对车辆部件进行检查以确保正常运行一样。启动时,必须严格按照规定的速率缓慢升压升速,避免机械密封承受过大的冲击载荷。在设备运行过程中,操作人员要密切关注设备的运行状态,以便及时发现异常情况。同时,要强化日常维护保养工作,定期对机械密封进行检查,及时发现并处理潜在问题,这类似于给设备定期进行“体检”。定期清洗密封面,防止杂质堆积,减少磨损现象。检查弹簧弹性,及时更换失效弹簧,确保始终能够提供足够的弹性力,保证密封面紧密贴合。维护好润滑系统,为密封元件提供良好的润滑,降低摩擦阻力,延长机械密封的使用寿命。此外,要加强对操作人员的培训,提高其操作技能与安全意识,使其深刻认识到规范操作与维护管理对于机械密封寿命和生产安全的重要性,从人为因素层面降低机械密封失效风险,保障精细化工生产的安全稳定运行。

3 机械密封安全改进措施的实施成效与展望

3.1 机械密封改进措施实施效果

某精细化工企业在实施上述安全改进措施后,取得了显著成效。反应釜机械密封失效现象大幅减少,通过优化结构设计,成功解决了应力集中和摩擦不均的问题,有效延长了密封件的使用寿命。在材料选择方面,采用新型耐腐蚀与耐高温材料,显著提升了密封性能。加强操作与维护管理后,操作流程更加规范,机械密封得到定期检查维护,人为失误或维护不当导致的失效问题得到有效避免。据统计,该企业机械密封的失效次数从每年10次显著减少为2次,因密封失效引发的物料泄漏事故次数也大幅降低。随着泄漏的减少,生产环境的安全性逐步提升,生产效率因停工事故的减少而逐步提高,经济损失也随之降低。同时,物料泄漏的减少降低了对环境的污染风险,符合绿色生产的要求。安全改进措施的实施有力地提升了企业的安全生产水平,经济效益和社会效益逐步显现^[5]。

3.2 机械密封技术展望

随着精细化工行业的快速发展和技术的不断进步,对反应釜机械密封性能的要求也日益提高。未来,机械密封的改进将主要集中在技术创新与智能化管理两个方面。在技术创新方面,需要加大研发投入,开发新型机械密封技术和材料。积极探索具有更高耐腐蚀性、耐磨性和耐高温性能的密封材料,以适应复杂多变的化工生产环境。同时,开展新型密封结构设计的研究,如自适应密封技术,使其能够根据工况变化自动调整密封压力,提升密封的可靠性和适应性。在智能化管理方面,智能化监测手段的应用将成为重点。企业可通过安装传感器和实时监测系统,全面掌握机械密封的运行状态,包括温度、压力、振动等关键参数的变化。借助大数据分析 with 人工智能技术,系统能够对监测数据进行深度分析,提前预警潜在的失效风险,并实现预测性维护,避免突发性故障的发生,进一步提高生产效率,降低维护成本,延长设备使用寿命。在工业互联网快速发展的背景下,机械密封监测数据可集成于企业生产管理系统,实现全流程智能化管理,为精细化工行业的安全高效生产提供有力支持,推动行业可持续发展。为更好地将技术创新与智能化管理落地,精细化工企业需强化人才培养与跨领域合作。一方面,加大对专业技术人才的引进与培养力度,打造一支既懂化工工艺,又精通密封技术和智能化管理的复合型团队。另一方面,深化与科研院校、设备供应商的合作,实现产学研用的深度融合。此外,行业协会应发挥积极作用,制定统一的技术标准与规范,

引导企业有序开展机械密封的改进工作,助力精细化工行业迈向高质量发展新阶段。

3.3 推动行业合作与标准化建设

精细化工领域的安全提升,仅靠单个企业的努力是远远不够的,全行业的协同合作与标准化建设同样至关重要。未来,企业应积极主动地加强技术交流与合作,分享安全改进成果与技术经验,共同攻克机械密封技术难题。可借助行业协会或技术联盟等形式,组织专家团队深入研究机械密封的共性问题,并提出切实可行的应对举措。标准化建设对于提升行业整体安全水平具有重要意义。制定统一的机械密封设计、制造、安装和维护规范,能够明确行业生产行为,减少因标准不统一导致的质量与安全隐患。标准化建设还能为企业的技术研发提供明确的方向和依据,推动行业技术快速进步。在行业合作与标准化建设的双重推动下,精细化工行业的安全水平将得到显著提升,为行业的可持续发展提供有力支撑。

4 结束语

精细化工反应釜机械密封失效问题不容忽视,深入分析失效原因并采取针对性的安全改进措施,对于提升机械密封的可靠性、保障精细化工生产的安全稳定运行具有关键作用。在实际生产中,企业可搭建数字化管理平台,实时监控机械密封的运行参数,实现故障的提前预警。加强对员工的技术培训,提升其对机械密封原理、安装、维护的认知与操作技能,确保每个环节规范执行。同时,积极参与行业交流合作,分享成功经验与技术成果,共同攻克机械密封难题。推动行业标准化建设,统一密封设计、制造与检测标准,规范市场秩序。通过多管齐下,有效降低机械密封失效风险,实现精细化工行业的安全生产与可持续发展,为行业的高质量发展筑牢根基。

参考文献:

- [1] 李煜,李庆生,陆玮.高压反应釜螺紋式快开结构强度分析[J].轻工机械,2024,42(01):98-104.
- [2] 余洋.聚合反应釜搅拌轴机械密封泄漏原因分析及解决方案[J].石油和化工设备,2024,27(11):84-89.
- [3] 牛芳芳.搪瓷反应釜破裂的粘接修复工艺[J].化学与粘合,2020,42(03):231-233.
- [4] 张克非.精细化工反应安全评估方法在高危化工工艺中的应用[D].北京:北京化工大学,2021.
- [5] 丰建国,周生龙,万素萍.基于AI的精细化工生产反应安全风险评估方法[J].化工管理,2024(31):106-109.