

科海故事博览

KEHAI GUSHI BOLAN

(旬刊·1993 年创刊)

2025 年 7 月 第 19 期 (总第 608 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 翌 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 7 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 无人机展放导引绳放线技术要点分析
..... 王海军
- 004 低温环境下环氧绝缘材料的力学性能研究
..... 王天龙
- 007 供热系统管网热损控制关键技术研究及优化
..... 董李姘
- 010 基于灰色聚类模型的智慧化绿色建筑运行效果评价体系研究
..... 裴文祥
- 013 既有建筑地基基础加固中微型钢管桩承载特性与施工控制技术
..... 李 梦

智能科技

- 016 机械制造中的自动化装配系统优化研究
..... 栾学玉, 栾建东, 马 欣, 安居坤
- 019 物联网技术驱动下的人工渠道智能化管理策略
..... 姚 宝
- 022 数字化技术在公路工程安全环保管理中的创新应用
..... 李 浩
- 025 大数据环境下变配电设备状态评估与故障诊断方法研究
..... 张高峰
- 028 混凝土裂缝 AI 识别算法在建筑质量检测中的精度提升研究
..... 李 青
- 031 基于 Multi-Agent 的大型游乐设施远程安全监控预警系统研究
..... 高正翔, 柳 英, 姚 阳

应用技术

- 034 公路施工中软土路基的施工技术处理
..... 袁建超

目录Contents

037	建筑工程灌注桩基础施工技术要点分析	陈 良
040	城市给排水管网超大直径钢顶管施工技术	张浩然, 戴成林
043	工程勘察桩基检测技术的应用与优化研究	马志康
046	复杂条件下的城市地下管线测量方法探析	付 勇
049	复杂竖向结构体系高层钢结构施工关键技术	侯志伟, 董玉强, 徐 娜
052	输电线路工程铝合金抱杆跨越架施工技术探讨	黄思旗
055	水泥稳定碎石基层工艺在道路工程中的应用分析	汪 冠
058	地基设计和岩土工程勘察过程中常见问题及对策分析	张绍清, 李 鑫, 姚 斌, 周 斌

科创产业

061	机械设计中的材料选择和应用分析	李 宁, 焦海婷, 臧 鑫
064	机电一体化技术在现代制造业中的应用	严太平
067	机械设备维修中无损检测技术的实践应用	赵群飞
070	数字化技术对电费管理成效的影响分析	缪敏昭
073	电梯制动器常见失效形式与检验关键点分析	关智勇
076	聚乙烯流化床反应器飞温产生的原因及控制	张雅男
079	水利工程质量检测中的新型检测技术对比与应用研究	李荣昌, 黄 鹏

技术管理

082	道路工程沥青路面施工技术应用分析	王光银
085	道路桥梁工程现场施工管理难点及对策	李利成
088	公路桥梁施工管理常见问题及改进措施	张瀚中
091	信息化技术在公路隧道施工安全管理中的应用	刘 挺
094	基于 BIM 技术的房屋建筑施工精细化管理与风险控制策略	史 昀
097	水利水电工程施工技术与措施分析	张玉乐, 张文章
100	水利工程中堤防防渗施工技术的应用实践	杨美玲
103	护岸护坡施工技术在水利工程河道治理中的应用	常 委

科学论坛

106	隧道工程快速施工新方法研究	魏天宇
109	既有建筑物安全性鉴定方法探析	兰 江, 宋吉伟
112	市政道路排水管道施工技术研究	彭 佳
115	土木工程施工技术的创新及发展研究	刘 洋
118	高层建筑墙体裂缝的成因及预防措施	杨 超
121	高地下水位地区输电线路基础施工分析	李 勇
124	智能化工程中的机电施工安装技术应用研究	张腾飞

无人机展放导引绳放线技术要点分析

王海军

(中国水利水电第七工程局有限公司, 四川 成都 610000)

摘要 为了实现无人机展放导引绳作业的高效、安全和精确, 本文系统分析了无人机航线规划、导引绳释放、飞行与放线同步协调、路径控制与稳定性保障等关键技术要点, 旨在为相关工程设计与应用提供参考。研究结果表明, 优化的飞行路径规划和高度控制能够提高导引绳的释放精度; 张力调控与防缠绕设计降低了断绳和摆动风险; 同步飞行与放线速度匹配策略保障了复杂地形下的操作稳定性; 结合实时监测与反馈控制可快速识别异常并实施应急响应。

关键词 电力线路架设工程; 无人机; 展放; 导引绳; 放线技术

中图分类号: V19; TM75

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.19.001

0 引言

在电力线路架设工程中, 传统导引绳放线方式面临诸多挑战。复杂地形如高山、峡谷、跨越江河等区域, 人工放线难度大、效率低, 且安全风险高。同时, 恶劣天气条件也会严重影响施工进度和质量。随着无人机技术的日益成熟, 其在多个领域展现出强大的应用潜力。将无人机应用于导引绳放线, 可充分发挥其飞行灵活、不受地形限制等优势, 快速、精准地完成导引绳的展放工作, 有助于解决传统放线难题, 并提升电力建设水平。

1 无人机航线规划与控制技术要点

1.1 飞行高度与距离控制要求

在无人机展放导引绳作业中, 飞行高度和距离控制是关键要点。无人机高度需要高于地面障碍物的最大高度, 以防止绳索与地面接触或受地面风影响。一般推荐飞行高度保持在 30 ~ 50 m 之间, 实际高度可根据任务现场的障碍物高度进行调整。飞行距离需与导引绳长度匹配, 如 500 m 长的导引绳, 航线设计应在 500 m 内平稳释放绳索。基于此, 系统需要使用高精度 GPS (全球定位系统) 定位和惯性测量单元数据, 并在飞控系统中加入高度和距离的实时反馈功能, 确保在飞行过程中, 任何偏离目标的高度或距离变化都能迅速被纠正, 从而保障导引绳的展放质量^[1]。

1.2 飞行路径精度与轨迹稳定性

飞行路径的精度直接决定了导引绳的展放位置是否符合预期目标, 因此需要在航线规划时严格控制路径误差。精确的航线规划首先要求使用高精度的数字地图和地理信息系统 (GIS) 数据, 以便在规划阶段就

避免可能的地形干扰。飞行轨迹稳定性则依赖于无人机的姿态控制能力、外部传感器数据的可靠性, 以及飞控算法的优化。通过融合差分 GPS 和 RTK (实时动态定位) 技术, 可以将路径误差降低到厘米级, 确保导引绳沿预定线路展放。

1.3 避障能力与环境感知技术应用

无人机展放导引绳作业通常在复杂环境中进行, 跨越森林、建筑物或电线杆等场景对避障能力要求较高。环境感知技术的引入可以提升无人机应对复杂场景的能力。激光雷达、视觉传感器、超声波传感器等技术可用于实时扫描无人机前方障碍物, 生成高精度三维环境模型, 同时通过飞控算法动态调整飞行路径。避障能力的参数要求探测距离达到 20 m 以上, 角度覆盖前后左右 360°, 并将避障响应时间控制在 100 ms 以内。在路径规划时还需考虑风力影响和突发环境干扰因素, 如鸟类飞行和地面车辆移动^[2]。

2 导引绳释放系统技术要点

2.1 放绳机构结构与释放控制方式

放绳机构的关键部件包括放绳轮组、张力调节组件以及导向装置。在设计时, 放绳轮组需要选用高强度耐磨材料, 并具有良好的表面处理工艺以减少摩擦。轮组直径应根据导引绳的直径和张力求确定, 在 10 ~ 20 cm 之间, 同时采用多轮组并联方式以分散张力, 降低绳索的磨损; 导向装置必须保证导引绳按固定路径展开, 避免由于偏离轨迹造成的断裂或缠绕问题, 其角度误差应控制在 $\pm 3^\circ$ 以内, 保证绳索展放的平稳性。在释放控制方面, 需要结合电子控制系统与机械结构。电子控制系统通过对绳索张力的实时监测,

动态调整释放速度,释放速度宜在0.5~1.5 m/s之间,具体值取决于环境复杂程度和无人机的飞行速度。

2.2 导引绳张力调控机制

张力调控机制首先要实现实时的张力感知。张力传感器应具有高灵敏度和快速响应能力,其量程应覆盖实际作业张力范围,一般为5~50 N。通过传感器采集的张力数据,控制系统可以快速调整放绳轮的转速与制动器的扭矩,从而维持理想的张力值。

在动态调控过程中,张力变化速率需控制在0.5 N/s,确保绳索的平稳释放和无人机的飞行稳定。控制算法可采用模糊控制或PID控制方式,根据实时数据调整输出,避免因环境干扰造成张力过高或过低。可用如下公式表示张力调节过程:

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

其中, $u(t)$ 为控制输出用于调节张力的动作变量,例如放绳速度或制动器力矩; $e(t) = T_{\text{目标}} - T(t)$ 为实时张力误差, $T_{\text{目标}}$ 是目标张力值, $T(t)$ 是当前实际张力; K_p 、 K_i 、 K_d 分别为比例、积分、微分系数。通过实时调整 $u(t)$,系统可动态控制张力变化速率,确保张力平稳变化和无人机飞行稳定。

2.3 断绳与缠绕风险防控措施

断绳的主要原因是绳索材料强度不足、张力控制不当或外部环境干扰。针对这些问题需采取以下措施:

首先,需要选择高强度的绳索材料,如高分子聚合物纤维,并经过多次疲劳测试与抗拉试验。绳索的额定强度应至少是实际最大张力的两倍。

其次,在张力控制方面,需要设定安全阈值。当张力超过设定值时,放绳机构应立即触发自动缓冲功能,降低释放速度或停止释放。为进一步防止断绳,在关键节点上安装应力监测装置,实时记录应力峰值并自动生成预警信号。

最后,缠绕风险主要源于绳索在释放过程中的不规则摆动或外界障碍物干扰。

3 无人机飞行与放线同步协调技术

3.1 放线速度与飞行速度匹配策略

为了绳索始终保持适度张力,放线速度应与无人机的飞行速度保持精准同步。通过实时监测无人机的飞行速度数据,放绳系统需动态调整绳索释放速率,确保张力稳定在目标范围内,如10~20 kN。在实际操作中,使用飞行控制系统和放绳控制系统的通信接口,利用差分GPS和惯性导航数据,实时计算无人机的瞬

时速度,再将其作为放绳速度的参考输入值。若无人机飞行速度波动超过1 m/s,放绳系统则应在200 ms内响应并调整放线速率,以避免绳索松弛或过度拉紧。

3.2 起始点与终止点控制精度

在导引绳展放作业中,起始点与终止点的位置精度直接关系到绳索的整体布放质量。起始点精度要求无人机在放绳前准确悬停于指定位置,其误差应控制在10 cm以内,使用高精度RTKGPS和激光测距仪结合的方式,确保无人机在悬停时位置稳定。在放线过程中,无人机需沿预定路径稳定飞行,最终在终止点精准停止。终止点的精度需要达到20 cm以内,以确保绳索完全展放到设计位置而不偏离路径。

3.3 转弯、跨越等复杂地形下的同步控制要点

在复杂地形如转弯和跨越河流或障碍物的情况下,无人机的飞行速度会发生变化,因此放线速度需要实时调整以维持稳定的绳索张力。飞行路径转弯时,飞行速度通常减小,此时放线速度应同步降低。通过路径预测算法,系统可以预先获取转弯区域的路径曲率,并根据此数据提前调整放线速率,确保绳索张力变化在安全范围内。为实现同步控制精度,系统需采用高响应速度的传感器和快速控制算法,响应时间需控制在200 ms以内。路径调整算法每5 cm重新计算绳索轨迹,确保放线过程的精细化控制。通过集成激光雷达、视觉传感器和实时数据融合,感知复杂地形变化,并实时调整飞行和放线参数,确保绳索展放过程的稳定性。在控制参数上,每个关键节点的张力误差不得超过1 N,放线速度误差需保持在0.1 m/s以内,以确保复杂地形下的同步控制效果^[3]。

4 导引绳路径控制与稳定性保障

4.1 避免导引绳摆动与脱落的路径设计要求

导引绳路径设计需严格控制展开路线,避免绳索因摆动或脱落而影响放线质量。路径规划时,首先要精确计算绳索张力和重力的分布,通过轨迹仿真和风洞试验确定理想展开轨迹。轨迹仿真模型需包含绳索长度、直径、密度等参数,以及无人机的飞行速度和高度数据。设计时,尽可能避免急剧转弯或高度变化,弧度和角度变化应缓慢平滑,每米距离的轨迹偏差不得超过10 cm。滑轮表面采用低摩擦涂层,减少滑动时的摩擦阻力,进一步抑制摆动。

4.2 提升绳索贴地贴物性能的技术措施

为确保绳索贴合地表或物体表面,放绳机构需安装导向槽和贴地滚轮,滚轮表面带有柔性橡胶层以增

加附着力。滚轮直径设置为 20 ~ 30 cm, 并保持高转速以防止绳索打滑或悬空。进一步提升贴地性能的措施包括在路径设计阶段加入预压装置, 利用绳索自身的重量和张力使其自然贴附地表, 确保每段绳索贴地的实际接触面积大于 80%。在现场环境中对绳索贴地性能进行实时监测, 实时反馈调节绳索张力和放线速率, 达到理想的贴合状态。

4.3 风力、障碍物等外界扰动下的导引绳稳定技术

在风力较大的环境下, 采用主动张力调节系统对绳索张力进行动态补偿。当风速超过 5 m/s 时, 系统自动增大绳索张力以抵消风力引起的摆动, 同时通过增加导引滑轮的摩擦系数来降低绳索的晃动幅度。对于障碍物干扰, 结合三维路径规划算法绕过障碍, 同时在无人机飞行过程中调整路径方向, 使导引绳始终保持稳定^[4]。

5 实时监测与反馈控制要点

5.1 导引绳状态实时感知技术

实时感知导引绳的张力、位置和运动状态是保障放线过程稳定的关键。张力传感器需具备高灵敏度和快速响应能力, 量程应覆盖常规作业张力范围, 推荐值为 5 ~ 50 N, 采样频率至少 10 Hz。通过传感器反馈的实时张力数据, 放线系统可在张力超出目标范围时迅速调整绳索释放速度。

位置感知需要结合高精度的 RTKGPS 和惯性导航单元, 精度要求在 1 cm 以内。采用多点分布式传感器布置, 监测绳索不同位置的张力分布和运动状态, 帮助识别潜在的断裂或摆动风险。结合摄像头或激光雷达进行辅助监测, 可确保在动态环境中获得可靠的绳索状态数据。

5.2 数据回传与飞控系统联动机制

实时监测数据需要通过高效的通信链路回传至飞控系统, 通信延迟应低于 200 ms, 以便及时调整无人机的飞行参数和放绳控制策略。采用的通信协议需具备低延时、高带宽的特性, 如工业级无线网桥或 5G 模块。飞控系统收到实时监测数据后, 根据设定的张力范围和位置误差范围 (例如张力偏差 ± 1 N, 位置误差 ± 5 cm) 计算调整量, 立即调整飞行速度、高度或释放速度。联动机制的核心是确保放线控制算法与飞控算法协同工作, 形成闭环控制系统。在现场环境中, 还可通过地面站实时监控数据变化, 远程下发指令, 对复杂作业场景中的绳索状态进行快速干预^[5]。

6 作业完成后的收绳与落点控制技术

6.1 落点定位精度保障技术

在完成导引绳展放作业后, 确保绳索精确落在预定位置, 精度保持在 ± 10 cm, 以便实现高效回收和固定。采用 RTKGPS 和高精度激光测距仪进行位置监测, 提供实时厘米级定位, 补激光测距仪用于校正和充距离测量, 二者结合将最终定位误差控制在 5 cm 左右。为进一步提升落点精度, 飞控系统需要提前规划回收路径和终点位置, 结合惯性导航单元和视觉定位技术, 在接近落点时减速并调整悬停高度至 10 m 以下。

6.2 收绳或固定方式的安全性与稳定性

绳索在回收阶段可能会受到残余张力或风力的影响, 导致摆动或缠绕。因此, 回收系统需要具备动态张力调节功能, 实时调整张力以保持绳索平稳。调节过程中, 张力传感器需支持 5 ~ 50 N 的测量范围, 采样频率达到 10 Hz 以上, 确保任何异常变化能迅速反馈并处理。在固定方式方面, 采用电动收绳滚筒, 滚筒表面设置防滑橡胶层, 直径 20 ~ 30 cm 之间, 有效防止绳索滑脱。固定完成后, 系统应执行张力释放操作, 使绳索在低张力状态下被稳固存储。

7 结束语

无人机展放导引绳放线技术的关键要点涵盖航线规划、导引绳释放系统、飞行与放线同步协调、路径控制、实时监测及作业完成后的收绳与落点控制等方面。这些技术要点相互关联、协同作用, 共同保障放线作业的精准性、稳定性与安全性。未来, 随着无人机技术的持续进步与应用场景的不断拓展, 无人机展放导引绳放线技术将朝着更高效、更智能、更可靠的方向发展, 为相关领域施工建设提供更为有力的技术支持。

参考文献:

- [1] 伍元铭, 付贵, 朱新宇. 系留无人机收放线系统模糊 PID 同步控制研究 [J]. 机械工程与自动化, 2023(01):172-174.
- [2] 伍元铭. 系留无人机自动收放线系统设计与研究 [D]. 德阳: 中国民用航空飞行学院, 2023.
- [3] 陈虎. 架空输电线路无人机放线工艺 [J]. 电工技术, 2024(06):178-180, 184.
- [4] 李君章, 朱兆伟. 基于无人机连续穿越放线滑车的架线技术及应用 [J]. 企业管理, 2023(S2):322-323.
- [5] 高志琪. 旋翼无人机展放牵引绳技术在输电线路施工中的应用 [J]. 电力安全技术, 2023, 25(07):70-73.

低温环境下环氧绝缘材料的力学性能研究

王天龙

(上海国际超导科技有限公司, 上海 200444)

摘要 随着低温环境的应用需求不断增加, 环氧绝缘材料得到了广泛应用。环氧树脂因其优异的电绝缘性能和较好的机械性能成为重要的绝缘材料。然而, 在低温环境下, 环氧材料的力学性能可能会受到显著影响, 进而影响其在实际工程中的应用效果。本文通过实验研究了环氧绝缘材料在低温环境下的力学性能变化, 重点考察了环氧树脂的抗拉强度、弯曲强度、冲击韧性等力学性能在不同低温条件下的表现, 以为相关人员提供借鉴。

关键词 低温环境; 环氧绝缘材料; 力学性能; 抗拉强度; 增韧剂

中图分类号: TQ328; TB332

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.19.002

0 引言

环氧树脂因其优异的电绝缘性、良好的化学稳定性以及较高的机械性能, 被广泛应用于电子、电力、航空航天等领域, 尤其在低温环境下的电气绝缘领域中具有不可替代的作用。然而, 低温环境对环氧树脂的力学性能提出了挑战。环氧树脂在低温下可能出现脆化现象, 其机械性能如抗拉强度、弯曲强度、冲击韧性等会发生较大变化, 甚至导致结构失效。因此, 研究低温环境下环氧绝缘材料的力学性能变化, 并探讨改善其低温性能的途径, 对于提高环氧材料在低温条件下的应用可靠性具有重要意义。

1 材料与实验方法

1.1 材料选择

在本研究中, 选用的是商业化环氧树脂 E-44 和硬化剂 DEH-85 作为基体材料。环氧树脂作为一种广泛应用的高性能材料, 其优异的力学性能和耐腐蚀性使其成为许多工业领域中的关键材料。然而, 环氧树脂在低温环境下的性能较差, 容易发生脆性断裂, 限制了其在一些低温环境中的应用^[1]。因此, 为了改善环氧树脂的低温性能, 本研究引入了常用的增韧剂和改性剂, 如橡胶增韧剂和聚合物改性剂。具体来说, 研究中采用了两种不同含量的增韧剂, 分别为 10% 和 20% 比例, 进行环氧树脂的改性。通过这种方式, 可以评估不同增韧剂对环氧树脂低温性能的影响, 从而优化环氧树脂的配方, 满足更广泛的低温应用需求。本研究所使用的环氧树脂 E-44 的分子结构主要由环氧基和氨基组成, 具有优异的粘结性和机械性能。DEH-85 硬化剂则是环氧树脂常用的固化剂, 其与环氧树脂反应后, 能形成三维交联结构, 进一步增强材料的力学性能。

1.2 实验方法

实验的主要流程包括环氧树脂的配制、固化以及低温力学性能的测试等步骤。实验的第一步是将环氧树脂 E-44 与硬化剂 DEH-85 按照一定的质量比 (2:1) 进行混合^[2]。为了确保混合均匀, 采用了搅拌方式进行操作, 并在室温下进行混合, 确保树脂与硬化剂充分反应, 形成理想的固化体系。固化工艺的选择至关重要, 因此本研究使用了标准固化工艺, 包括在常温下保持 2 小时, 随后在 80 °C 条件下固化 6 小时。

接下来, 进行低温力学性能的测试。本研究选择了三种低温环境进行测试: -20 °C、-40 °C 和 -60 °C。在每一温度下, 分别进行抗拉强度、弯曲强度和冲击韧性测试。这些测试分别测量材料在不同温度下的受力反应, 并评估增韧剂对材料性能的改善效果。每种条件下的测试均重复三次, 以确保测试数据的可靠性。为了进一步分析改性效果, 采用扫描电镜 (SEM) 对样品的断裂面进行观察。通过对断裂形貌的分析, 能够直观地看到增韧剂对环氧树脂微观结构的影响, 特别是在低温环境下, 增韧剂如何影响树脂的裂纹扩展行为和韧性表现。

1.3 力学性能测试

本研究进行了三种主要的力学性能测试, 分别为抗拉强度测试、弯曲强度测试和冲击韧性测试。

1. 抗拉强度测试: 抗拉强度测试采用了万能材料试验机, 按照 GB/T 1040 标准进行拉伸试验。在试验过程中, 样品的尺寸为标准的塑料拉伸试样, 长度为 100 mm, 宽度为 10 mm, 厚度为 3 mm。通过测量样品在拉伸过程中的最大承受力, 计算出其抗拉强度。实验结果以 MPa 为单位, 记录了不同增韧剂含量下的环氧树脂抗拉强度变化。

2. 弯曲强度测试：弯曲强度测试依据 GB/T 9341 标准，采用三点弯曲试验进行。在测试过程中，样品的长度为 80 mm，宽度为 10 mm，厚度为 3 mm，弯曲载荷施加在样品的中心位置。通过测量样品断裂时所承受的最大载荷，计算出其弯曲强度。实验数据同样以 MPa 为单位，分别记录了不同低温条件下、不同增韧剂含量下的弯曲强度。

3. 冲击韧性测试：冲击韧性测试依据 GB/T 1843 标准，采用悬臂梁缺口冲击试验进行。该测试能够评估材料在冲击荷载作用下的韧性表现，测试过程中样品尺寸为 80×10×3 mm，缺口位于样品的中心。冲击试验机测量样品在受到冲击载荷时的断裂能，得出其冲击韧性，单位为 J/m。

2 低温环境下环氧树脂力学性能的变化

2.1 抗拉强度

环氧树脂作为一种常见的工程材料，在常温下表现出优异的力学性能，尤其是在抗拉强度方面，通常具有较高的表现^[3]。然而，随着环境温度的降低，环氧树脂的抗拉强度明显下降。通过实验数据可以发现，温度对环氧树脂抗拉强度的影响非常显著，尤其是在低温环境下。具体来说，随着温度从常温降低至 -60 ℃，环氧树脂的抗拉强度下降了大约 30%。

该现象的原因可归结为环氧树脂的分子链运动受限。通常，在常温下，环氧树脂的分子链能够自由振动和滑移，促进分子之间的相互作用和结合力。然而，在低温环境下，分子链的运动性显著降低，导致分子间的结合力减弱，从而影响了环氧树脂的拉伸性能。尤其是温度降低至 -40 ℃ 以下时，分子间的作用力变得更加脆弱，树脂在拉伸过程中易发生断裂而非变形。低温环境对环氧树脂抗拉强度的影响如表 1 所示。

表 1 低温环境对环氧树脂抗拉强度的影响

温度 (℃)	抗拉强度 (MPa)
常温	65.2
-20	61.5
-40	57.8
-60	45.5

从表 1 中可以看出，随着温度的逐步降低，抗拉强度呈现出显著的下降趋势，尤其在低于 -40 ℃ 时，抗拉强度的下降幅度较为明显。这表明，低温环境对环氧树脂的拉伸性能产生了较为严峻的挑战。

2.2 弯曲强度

弯曲强度是评估环氧树脂在外力作用下变形能力的重要指标。实验表明，在低温环境下，环氧树脂的弯

曲强度也呈现明显下降的趋势。具体而言，在 -20 ℃ 时，环氧树脂的弯曲强度下降了大约 15%；在 -40 ℃ 时，下降幅度增大，达到 25%；当温度降至 -60 ℃ 时，弯曲强度的下降幅度达到 35%。这些结果与抗拉强度的变化趋势高度一致。

在低温环境下，环氧树脂分子链的运动受限，导致其材料的塑性变形能力降低^[4]。因此，环氧树脂的弯曲强度受到了显著的影响。在 -20 ℃ 和 -40 ℃ 下，环氧树脂虽然仍能保持一定的弯曲强度，但由于低温引起的脆性增加，材料变得更加容易断裂。特别是在 -60 ℃ 时，环氧树脂的弯曲强度下降幅度较大，且其变形能力显著降低，容易出现脆性断裂现象。低温环境对环氧树脂弯曲强度的影响如表 2 所示。

表 2 低温环境对环氧树脂弯曲强度的影响

温度 (℃)	弯曲强度 (MPa)
常温	92.3
-20	78.2
-40	69.5
-60	59.7

通过表 2 可以清楚地看到，随着温度的降低，弯曲强度逐渐下降。尤其在温度低于 -40 ℃ 时，弯曲强度的下降趋势愈发明显，进一步验证了低温对环氧树脂力学性能的影响。

2.3 冲击韧性

冲击韧性是评价材料在受到冲击荷载作用下的能量吸收能力的重要指标。环氧树脂在常温下通常表现出较高的冲击韧性，但在低温环境下，特别是在 -60 ℃ 时，环氧树脂的冲击韧性降幅可达 50% 以上。低温条件下，环氧树脂的脆性增加，导致其在冲击负载作用下容易发生脆性断裂，冲击韧性显著下降。

在低温下，环氧树脂的分子链运动受限，导致材料的能量吸收能力降低。在常温下，环氧树脂可以通过分子链的滑移和变形来吸收冲击能量。然而，在低温条件下，由于分子链的运动性降低，环氧树脂的变形能力减弱，容易发生脆性断裂，从而导致冲击韧性的显著下降。低温环境对环氧树脂冲击韧性的影响如表 3 所示。

从表 3 中可以看到，随着温度的逐步降低，环氧树脂的冲击韧性显著下降，尤其是在 -60 ℃ 时，冲击韧性下降幅度超过 50%。这一结果表明，在低温环境下，环氧树脂的脆性大幅增加，容易发生脆性断裂，导致冲击韧性显著降低。

表3 低温环境对环氧树脂冲击韧性的影响

温度 (°C)	冲击韧性 (J/m)
常温	192.4
-20	174.3
-40	155.2
-60	96.1

3 增韧剂对低温性能的影响

环氧树脂广泛应用于航空航天、汽车制造、建筑等领域,因其优异的力学性能和耐腐蚀性,成为许多高要求工程材料的首选^[5]。然而,环氧树脂在低温环境下的力学性能较差,容易表现出脆性行为,导致在低温条件下的应用受到限制。这种脆性通常表现为材料的断裂或失效,严重影响了其在极寒环境下的可靠性。为了改善这一问题,添加增韧剂是一种有效的改性方法。增韧剂能够提高环氧树脂的低温力学性能,尤其是在抗拉强度、弯曲强度和冲击韧性方面。通过增韧剂的改性,环氧树脂的脆性得到显著降低,在低温环境下的使用性能大大提高。

橡胶类增韧剂被广泛应用于环氧树脂的增韧改性中。实验表明,橡胶类增韧剂的加入对于环氧树脂的低温性能改善效果尤为显著。具体来说,当添加10%的橡胶增韧剂时,环氧树脂在-40℃下的抗拉强度提高了约15%。这一结果表明,橡胶增韧剂在低温环境中有效增强了环氧树脂的抗拉性能,减少了材料在低温下的脆性表现。此外,进一步添加20%的橡胶增韧剂时,环氧树脂的抗拉强度在-60℃下比未添加增韧剂的环氧树脂提高了20%。这一显著的提高证明了增韧剂在极低温度下仍能显著改善环氧树脂的机械性能。

增韧剂的作用机理主要体现在以下几个方面。首先,橡胶增韧剂通过在环氧树脂中形成细小的弹性相,改善了树脂的分子链间的相互作用力,从而减少了脆性断裂的发生。其次,增韧剂能够在受力过程中有效地吸收冲击能量,减缓裂纹扩展,增强材料的抗冲击能力。通过这些方式,增韧剂有效地提升了环氧树脂在低温环境中的综合性能。

然而,增韧剂的添加量也需要根据具体应用进行优化。过量的增韧剂可能会导致环氧树脂的力学性能下降,特别是在高温环境下,增韧剂可能影响树脂的硬度和强度。因此,在选择增韧剂和确定添加量时,需要综合考虑不同温度环境下材料的需求,以达到最佳的改性效果。实验研究还表明,橡胶增韧剂的种类、粒径和分散性也会对环氧树脂的低温性能产生影响。

例如:采用具有较小粒径和较好分散性的橡胶增韧剂,通常能够带来更显著的低温性能提升。

4 改性剂对低温性能的影响

环氧树脂作为一种广泛应用的高性能材料,在常温下具有优异的力学性能,广泛应用于航空航天、汽车、建筑等多个领域。然而,环氧树脂在低温环境下的力学性能较差,易发生脆性断裂,这对其应用造成了一定的限制。为了改善环氧树脂在低温条件下的表现,聚合物改性剂的使用成为提高其低温力学性能的一种有效途径。尤其是聚氨酯和聚苯乙烯等改性剂能够显著改善环氧树脂的韧性,降低低温脆化现象,提升其在低温环境中的可靠性。实验研究表明,聚氨酯改性剂对环氧树脂的低温性能具有显著影响。当环氧树脂中添加5%的聚氨酯改性剂时,环氧树脂在-40℃下的弯曲强度和冲击韧性分别提高了约10%和18%。这些结果表明,聚氨酯改性剂在增强环氧树脂低温性能方面发挥了重要作用,尤其是在提高材料韧性和减少低温脆化方面具有显著优势。

5 结束语

本研究通过实验验证了低温环境对环氧绝缘材料力学性能的影响,发现环氧树脂在低温下的力学性能显著下降,尤其是抗拉强度、弯曲强度和冲击韧性等性能。通过适当的增韧剂和改性剂的加入,能够有效改善环氧树脂的低温性能。增韧剂和聚合物改性剂的应用为提高环氧绝缘材料在低温环境中的可靠性提供了有效的途径。未来的研究可进一步优化增韧剂和改性剂的种类与用量,并探索其在实际工程中的应用效果。

参考文献:

- [1] 武传刚,刘济林,薛长志,等.新能源汽车驱动电机关键绝缘材料耐不同型号ATF研究[J].电工材料,2024(04):41-45.
- [2] 翟春雨,刘泰蔚,田晓云,等.温度对套管环氧胶浸纸绝缘频域介电响应的影响研究[J].电瓷避雷器,2023(06):196-201,208.
- [3] 张一.运行条件下SF6-环氧树脂界面绝缘长期劣化过程与失效机理研究[D].北京:华北电力大学(北京),2023.
- [4] 单志铎.大型发电机VPI主绝缘介电响应特性及电老化状态评估方法研究[D].哈尔滨:哈尔滨理工大学,2023.
- [5] 朱光宇,陈向荣,洪泽林,等.不同粒径 Al_2O_3 颗粒掺杂的环氧树脂复合材料直流电树特性[J].中国电机工程学报,2022,42(24):9136-9147.

供热系统管网热损控制关键技术与优化

董李娜

(山东兴源热电设计有限公司, 山东 济南 250014)

摘要 本文对供热管网热损控制的关键技术与优化策略进行了研究, 分析了影响热损的因素, 并探讨了相关控制技术, 重点包括管网保温优化、热损监测、泄漏检测、热源优化、供热介质输配等核心技术, 提出了管网设计优化、运行参数调控、智能控制、综合能效提升等优化策略, 以期为提高供热系统效率、降低能源损耗提供有益借鉴。

关键词 供热管网; 热损控制; 保温优化; 智能控制

中图分类号: TU995.3

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.19.003

0 引言

供热系统是城市能源基础设施的重要组成部分, 其运行效率直接影响能源利用率和环境可持续性。供热管网在输送过程中存在热损失, 导致能源浪费和运行成本增加。有效控制热损可降低能耗, 提升供热系统经济性和可靠性。随着节能政策推进, 热损控制技术不断优化, 但仍面临保温材料性能、智能监测、运行参数优化等挑战。因此, 研究供热管网热损控制技术与优化策略, 对提高系统效率、降低碳排放、推动绿色发展具有重要意义。

1 供热管网热损控制关键技术

1.1 管网保温与结构优化

供热管网的保温性能直接影响热损控制效果。常用的保温材料包括聚氨酯泡沫、聚苯乙烯泡沫等。聚氨酯泡沫的导热系数约为 $0.022 \sim 0.033 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, 在保温材料中表现出优异的隔热性能。聚苯乙烯泡沫的导热系数约为 $0.033 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, 也是常用的保温材料之一。供热管道的保温层厚度应根据输送介质的温度和管径等因素进行设计, 以确保热损失控制在合理范围内。例如: 对于输送温度在 $100 \sim 150 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 的热水管道, 保温层厚度通常设计为 $50 \sim 80 \text{ mm}$, 以减少单位长度热损耗。对于高温蒸汽管网, 采用多层复合保温结构, 并填充高效保温材料, 可进一步降低热损失, 提高热效率。

1.2 热损监测与智能诊断

热损监测是供热管网运行维护中的关键环节, 通过高精度温度传感器、红外热成像技术和智能无线监测系统, 实时监测管网热损状况, 提高运行效率和安全性。高精度温度传感器可在 $-20 \sim 85 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内工作, 测温误差小于 $\pm 0.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 适用于大规模分布式测温。

红外热成像仪能够捕捉温度异常区域, 并通过温差分析定位热损高发点。智能无线监测系统的信号覆盖范围可达 $15 \sim 100 \text{ kbps}$, 适用于远程供热管网热损监测, 可实现大规模热网的动态跟踪和预警。不同监测技术的结合可提高监测精度, 减少热损失, 提升供热系统的整体运行稳定性。结合多种技术手段, 可有效提高热损监测的准确性和效率, 优化供热管网的运行状态。

1.3 泄漏检测与快速修复

1.3.1 泄漏检测技术

供热管网泄漏检测主要依赖高精度传感技术和智能监测手段。超声波传感器可检测流速变化, 当泄漏量达到 0.5 mm/s 时触发报警, 适用于小口径管道和局部泄漏监测。负压波法基于管道压力波动特性, 可在长输热力管网中实现 $2 \sim 3 \text{ L/min}$ 的小型泄漏点检测, 误报率低, 适用于远距离监测。氦气示踪技术的灵敏度可达 $1 \times 10^{-9} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$, 适用于精准定位埋深 $1.5 \sim 3 \text{ m}$ 的地下管道泄漏点, 尤其在复杂环境或非开挖检测中具有优势。无线传感网络结合 LoRa 或 NB-IoT 通信 (信号覆盖 $15 \sim 20 \text{ km}$, 数据速率 $10 \sim 100 \text{ kbps}$), 可实现全天候远程监测, 提高管网运行的安全性和可靠性。

1.3.2 在线封堵技术

在线封堵适用于管网运行期间的小范围泄漏修复, 避免大规模停供造成的影响。常用方法包括高分子密封剂填充、机械卡箍封堵和热收缩套管修复。高分子密封剂在 $-20 \sim 80 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内可保持稳定黏结力, 对裂缝宽度 $0.2 \sim 2 \text{ mm}$ 的泄漏点封堵效果良好。机械卡箍封堵适用于管径 $\text{DN}50 \sim \text{DN}800$ 的金属管道, 耐压能力可达 1.6 MPa , 适用于中高压管网的紧急修复。热收缩套管技术通过加热使材料收缩并紧密包覆泄漏部位, 温度范围控制在 $100 \sim 150 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 适用于直埋管道的局部防护, 提高管道密封性能, 延长使用寿命。

1.3.3 局部更换与焊接修复

对于严重腐蚀、机械损伤或大面积泄漏的管道，局部更换是恢复管网完整性的关键措施。采用液压切割设备，可以在10~20分钟内完成对DN100~DN600管道的精准切割，误差控制在 $\pm 0.5\text{ mm}$ ^[1]。焊接修复通常采用自动氩弧焊或埋弧焊，焊缝质量需满足超声波探伤检测要求，确保强度达到母材的95%以上。焊接后使用防腐涂层（厚度200~500 μm ），确保耐温范围-40~120 $^{\circ}\text{C}$ ，增强管道抗腐蚀能力。对于长期服役的旧管网，局部更换可结合内衬修复技术，如PE或环氧树脂内衬，提升耐磨性和密封性，提高管道整体耐久性。

1.4 热源优化与余热回收

供热源优化可减少系统热损，提高整体能效。热电联产机组的综合效率可达80%~90%，远高于单一锅炉供热方式，因此采用热电联产作为主要热源可有效降低燃料消耗。工业余热回收是另一种重要措施，如钢铁、电力、化工等行业的排放烟气温度通常在300~600 $^{\circ}\text{C}$ ，通过高温换热器可将废热回收用于供热网，提高一次能源利用率。低温余热回收可结合相变储能技术，采用熔点在50~70 $^{\circ}\text{C}$ 范围内的相变材料储存热能，并在夜间或低负荷时段释放，提高供热调节能力。余热回收系统集成可编程逻辑控制器（PLC）和分布式控制系统（DCS），实现自动化运行，并结合人工智能智能调度，提高能源回收利用率。

1.5 供热介质优化与输配

1.5.1 供热介质优化

供热介质的合理选择直接影响到系统的能效和管网的运行寿命。热水供热系统通常采用软化水或除氧水，以减少管道结垢和腐蚀，水中溶解氧含量应控制在50~100 $\mu\text{g/L}$ ，硬度应低于0.03 mmol/L 。对于蒸汽供热系统，过热蒸汽是常见输送介质，其干度需保持在98%以上，以减少冷凝水含量，避免传输过程中的热损失。蒸汽压力通常控制在0.8~1.5 MPa，温度范围在180~250 $^{\circ}\text{C}$ ，以匹配不同用户的需求。采用热媒油作为介质的高温供热系统，工作温度可达300~400 $^{\circ}\text{C}$ ，适用于高精度制造和特种工业应用。优化供热介质的水处理工艺，如采用膜过滤和离子交换技术，可降低水质杂质含量，提高供热管网的长期运行稳定性。

1.5.2 输配系统优化

供热输配系统优化涉及水力平衡调节和动态调控技术，以确保热量输送高效均衡。变频循环泵广泛应用于热网输配系统，其调速范围为20~50 Hz，可根

据实时负荷调整流量，减少低负荷运行时的能耗。动态调节阀采用电动比例控制技术，使流量偏差控制在 $\pm 5\%$ 以内，提高管网的输配均衡性，减少远端热损。二次管网采用分区调控策略，将供热区域划分为2~3个压力区，通过自动压力调节阀维持各区间的流量稳定性，避免局部过供或欠供现象^[2]。热网水力平衡优化结合智能控制系统，通过SCADA平台远程监测管道压力、流速和温度，确保供热输配的精准性，并减少运行能耗。

2 供热管网热损控制优化策略

2.1 管网设计与布局优化

供热管网的设计与布局影响热损失和运行效率。环状或网格式布局可提高供热稳定性，减少单点故障影响。主管道流速宜控制在0.8~1.5 m/s，支管道流速在0.4~0.8 m/s，以降低摩擦阻力。管道埋设深度一般为1.2~1.5 m，极寒地区可达1.8 m，以减少冻土层影响。输送温度120~150 $^{\circ}\text{C}$ 的管道保温层厚度宜为60~100 mm，蒸汽管网为80~120 mm^[3]。计算流体力学（CFD）模拟优化管道布局，使局部阻力损失降至0.3~0.5 m水柱，提高热输送效率。

2.2 运行参数与动态调控

供热系统的运行参数优化有助于降低热损，提高能源利用效率，并确保供热质量稳定。合理调整供水和回水温度，优化流量控制策略，可以减少能源浪费，提高系统整体运行效率。动态平衡阀用于调节系统的水力平衡，避免局部区域过热或供热不足，而变频泵的应用能够根据实际需求动态调整循环流量，降低无效能耗。结合智能控制系统，通过温度传感器监测运行状态，并利用PLC与DCS实现自动调节，提高响应速度，使供热更加精准和节能，实验数据如表1所示。

表1 运行参数与动态调控实验数据

参数	实验值范围
供水温度（ $^{\circ}\text{C}$ ）	85~105
回水温度（ $^{\circ}\text{C}$ ）	55~70
供水—环境温差（ $^{\circ}\text{C}$ ）	30~50
变频泵调节频率（Hz）	20~50
流量精度（%）	$\pm 2\%$
动态平衡阀流量偏差（%）	$\leq 5\%$
温度传感器测量误差（ $^{\circ}\text{C}$ ）	± 0.3
自动调节响应时间（秒）	3~5

表 1 数据显示,合理设定运行参数,结合智能化调控手段,可有效优化供热系统运行状态,减少热损,提高能源利用率,并保障供热的稳定性和可靠性。

2.3 智能控制与节能调度

2.3.1 远程监测与数据采集

智能控制系统依赖于实时监测数据,确保供热管网的精准调控。温度、压力、流量传感器分布在管网关键节点,采集供回水温度(85~105℃)、流量(0.8~1.5 m/s)和压力(0.3~0.6 MPa)等参数。无线通信采用 LoRa 或 NB-IoT 技术,信号覆盖 15~20 km,数据传输速率 10~100 kbps,确保远程监测的稳定性和高效性。SCADA(数据采集与监控系统)结合 GIS(地理信息系统),形成热网可视化管理平台,实现供热数据的实时更新与存储,为智能调度提供基础数据支持。

2.3.2 AI 热负荷预测与智能调节

人工智能(AI)技术在供热调度中发挥着重要作用。基于历史运行数据、用户需求曲线和室外温度变化,AI 预测未来 2~3 小时的热负荷变化,并提前调整供水温度、泵速和流量。调度精度可达 $\pm 0.5\%$,减少能源浪费。结合天气预报,如室外温度从 -10℃ 升至 0℃,系统可提前降低供水温度 5~10℃,避免过热供给,减少燃料消耗。热网仿真技术与机器学习算法结合,使调度方案更加精准,优化供热响应速度,提高系统的节能水平^[4]。

2.3.3 分布式能源管理与热能优化

分布式能源管理系统(DEMS)可在 10~20 km 范围内进行热能分区调控,提高整体能效。各区域依据实际热负荷动态调整供热量,减少热能损失 2%~5%。在低负荷时段,通过相变储能(熔点 50~80℃)存储余热,高负荷时释放,实现供热调节的平衡。余热回收系统结合 PLC(可编程逻辑控制器)控制策略,提高废热再利用率,减少供热能源消耗。通过分布式调度优化,可降低峰值热负荷波动,提高能源使用效率。

2.3.4 用户端智能调控与舒适性提升

智能温控阀在用户端实现精准供热调节,控制精度 $\pm 0.5^\circ\text{C}$,可在 2~3 小时内平稳调节室温。热计量数据传输至中央调度系统,结合用户需求调整供热参数,确保室内温度稳定在 20~24℃ 范围。远程控制模式允许用户通过手机或智能终端调节室温,优化能耗。低温辐射采暖系统(供水温度 35~50℃)与智能调控结合,可提高供热舒适度,同时节能 15%~20%^[5]。基于用户反馈和大数据分析,优化供热模式,实现按

需精准供热,提高用户体验并减少能源浪费。

2.4 综合能效提升与低碳化

提高供热能效,减少碳排放,推动可持续发展。热电联产能源利用率达 85%~90%,较传统锅炉降低燃料消耗 10%~15%。余热回收应用于钢铁、化工等行业,换热温度 200~600℃,回收热能 30%~40%。相变储能材料熔点 50~80℃,储热密度 100~200 kJ/kg,提高低负荷时能源利用率。太阳能集热器工作温度 60~90℃,结合生物质锅炉(燃烧温度 800~1 000℃),减少碳排放 5%~10%。既有建筑改造采用低温辐射采暖,供水温度 35~50℃,较传统系统(65~85℃)节能 15%~20%。外墙保温厚度 100~150 mm,单位面积供热负荷减少 10~15 W/m²,提高供热效率。

3 结束语

供热管网热损控制与优化对提升能源利用效率、降低碳排放具有重要作用。未来,智能供热调度、精准热损监测及智能控制将进一步优化系统运行。新型保温材料、相变储能及分布式供热模式的推广,将降低输配能耗,提高热能利用率。可再生能源深度融合,如太阳能、地热能与余热回收系统的协同应用,将推动供热行业向低碳化、智能化发展。智能传感、物联网及大数据技术的应用,将助力供热管网实现动态调控,提高稳定性和经济性,为城市能源体系的可持续发展提供支撑。

参考文献:

- [1] 郭明宇,祖国刚.供热企业一次管网热损失分析及对策研究[J].暖通空调,2024,54(05):173-176,12.
- [2] 李鸿,张欢,王雅然,等.基于水力-热力耦合模型的供热管网优化调度研究[J].天津大学学报(自然科学与工程技术版),2023,56(01):27-36.
- [3] 张毅.城市集中供热管网热平衡调节技术研究[J].中国新技术新产品,2023(01):94-96.
- [4] 张磊,王满康,叶婧,等.兼具求解速度与隐私性的复杂供热管网等值简化模型[J].电力系统保护与控制,2024,52(10):105-117.
- [5] 王宏博.基于 BP 神经网络算法的长输供热管网热损失预测[J].节能,2023,42(04):46-48.

基于灰色聚类模型的智慧化绿色建筑运行效果评价体系研究

裴文祥

(重庆科创职业学院, 重庆 402160)

摘要 本研究构建了基于灰色聚类模型的智慧化绿色建筑运行效果评价体系, 深入分析了智慧化绿色建筑的内涵与特点, 详细介绍了灰色聚类模型的定义、原理、分类及在建筑领域的应用, 以某新建智慧化绿色办公建筑为实证对象, 采集多维度数据进行分析, 全面确定评价指标, 并建立科学评价模型, 旨在为智慧化绿色建筑运行效果的精准评估提供有效方法, 进而促进建筑行业向可持续、智能化方向发展。

关键词 智慧化绿色建筑; 灰色聚类模型; 运行效果评价; 可持续发展

基金项目: 本文系 2024 年重庆市教委科学技术研究项目《基于灰色聚类模型的智慧化绿色建筑运行效果评价体系研究》(课题编号: KJQN202405418)。

中图分类号: TU201.5

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.19.004

0 引言

基于全球积极倡导可持续发展的背景下, 建筑行业面临着节能减排和提高服务质量的双重挑战。传统建筑模式资源消耗大、环境污染重, 已很难适应时代需求。智慧化绿色建筑结合了绿色理念与先进的信息技术, 为建筑行业转型提供了新路径。但是因为其尚处发展阶段, 缺少成熟有效的运行效果评价体系, 很难准确衡量其实际效益与发展水平。本文运用灰色聚类模型构建科学全面的评价体系, 为智慧化绿色建筑的设计、建设和运营提供决策依据, 促进其在建筑领域的广泛应用。

1 智慧化绿色建筑内涵与特点分析

智慧化绿色建筑是绿色与智慧理念深度融合的结晶。绿色建筑秉持可持续发展观, 贯穿全生命周期, 全力达成节能、节地、节水、节材目标, 大幅减少环境影响, 精心营造健康且与自然相融的空间。其配备高效节能设施, 如外墙保温与节能门窗, 有力削减能耗。在规划布局上合理高效, 重视水资源循环与环保材料运用。智慧建筑凭借现代信息技术对建筑各系统进行智能化整合, 借助传感器和自动化系统, 能精准监测、智能调控设备, 如智能照明可依光线与人员活动自动调光。通过构建信息化管理平台, 汇总建筑运行数据, 助力管理者高效决策, 提升管理效能与用户体验。智慧化绿色建筑集两者所长, 借助智能手段实现能源精

细管理、深度节能, 利用智能运维系统监控设备预警故障, 延长设备寿命, 提升资源利用率。通过智能交互技术为用户打造个性化舒适环境, 促进人与建筑、自然高效互动, 引领建筑行业迈向绿色、智慧新征程。

2 灰色聚类模型概述

2.1 灰色聚类模型的定义与原理

灰色系统理论认为客观世界中存在大量信息部分已知、部分未知的系统, 即灰色系统。在智慧化绿色建筑运行效果评价中因为受到众多复杂因素的影响, 且部分数据很难精确获取或存在不确定性, 符合灰色系统的特征。灰色聚类模型的基本原理是将评价对象依据多个评价指标进行分类。首先, 确定各评价指标的白化权函数, 白化权函数将原始数据映射到不同的评价等级区间, 反映评价对象在各个等级下的隶属程度。然后通过计算各指标的灰色白化权函数值, 结合相应的权重, 得到评价对象的聚类系数。

2.2 灰色聚类模型的分类与应用

灰色聚类模型主要分为灰色关联聚类、灰色统计聚类和灰色变权聚类等类型。灰色关联聚类侧重于分析评价指标之间的关联程度, 通过计算指标间的灰色关联度, 将关联度较高的指标聚为一类, 用于挖掘指标之间的内在联系。灰色统计聚类则是基于统计数据进行聚类分析, 适用于样本数据量较大的情况。它通过对大量样本数据的统计分析, 确定不同评价等级的

界限和聚类中心,进而对评价对象进行分类^[1]。

3 智慧化绿色建筑运行效果评价体系构建

3.1 评价指标的选择与确定

1. 能源利用指标。建筑能耗强度是衡量建筑能源消耗水平的关键指标,通过统计建筑在一定时期内的总能耗与建筑面积的比值来计算,单位为 $\text{kW}\cdot\text{h}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ 。较低的能耗强度表明建筑在能源利用方面更为高效。可再生能源利用率能够反映建筑对太阳能、风能、地热能等可再生能源的利用程度,计算公式为可再生能源使用量占建筑总能源使用量的百分比。

2. 环境影响指标。碳排放强度能够核算建筑在运行过程中产生的二氧化碳等温室气体排放量与建筑面积的比值,单位为 $\text{kgCO}_2/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ 。它是衡量建筑对气候变化影响的重要指标,较低的碳排放强度意味着建筑更环保。废弃物减排率是通过对比建筑施工和运营过程中实际产生的废弃物量与同类传统建筑的废弃物产生量,计算废弃物减少的比例。废弃物减排率越高,说明建筑在废弃物管理方面做得越好,对环境的影响越小。

3. 智能化水平指标。智能设备覆盖率统计建筑内安装的各类智能设备覆盖的区域面积占建筑总面积的比例。智能设备覆盖率越高表明建筑的智能化程度越高。系统集成度评估建筑内各个智能化系统之间的协同工作能力,通过测试系统之间的数据交互流畅性、控制指令执行准确性等方面来衡量系统集成度,较高的系统集成度能够帮助提高建筑整体运行效率。

4. 用户体验指标。室内环境舒适度,通过问卷收集用户对温度、湿度等方面反馈,设非常满意到非常不满意 5 个等级,对应 5 到 1 分,以平均得分衡量。服务便捷性涵盖智能门禁、停车等系统,同样依问卷用户对反馈的平均满意度衡量。设计综合问卷,包括室内环境、服务便捷性以及建筑外观等,全面收集用户对建筑整体满意度评价,以量化得分呈现。

5. 经济效益指标。建设成本能够统计智慧化绿色建筑从规划设计到施工完成所投入的全部资金,包括土地购置费用、建筑材料费用、设备采购费用以及人工费用等。与同类传统建筑的建设成本进行对比,分析智慧化绿色建筑建设成本的变化情况。运营成本包括建筑运行过程中的能源消耗费用、设备维护保养费用、物业管理费用等。

3.2 评价模型的建立

1. 确定评价等级。将智慧化绿色建筑的运行效果划分为四个等级,分别为优秀、良好、一般、较差。每

个等级设定相应的量化范围,如综合评价得分在 90-100 分之间为优秀,80-89 分为良好,60-79 分为一般,60 分以下为较差。

2. 确定白化权函数。白化权函数可把原始数据转为灰色白化权函数值,以此体现指标在不同评价等级的隶属度。例如建筑能耗强度指标设优秀等级能耗强度 $\leq [X1]$ $\text{kW}\cdot\text{h}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$,良好为 $(X1, X2]$ $\text{kW}\cdot\text{h}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ 等。当能耗强度 $x \leq X1$ 时优秀等级 $f1(x)=1$,其余为 0; $X1 < x \leq X2$ 时,良好等级 $f2(x)=(x-X1)/(X2-X1)$,优秀等级 $f1(x)=(X2-x)/(X2-X1)$,其余为 0,依此构建各等级及指标的白化权函数。

3. 计算聚类系数。依据各指标的灰色白化权函数值与权重,计算评价对象聚类系数。权重用层次分析法(AHP)确定,专家构建判断矩阵,经一致性检验得出。如能源利用指标权重 $w1$,环境影响指标权重 $w2$,某评价对象对应指标灰色白化权函数值为 $a1$ 、 $a2$,其聚类系数 $\gamma=w1 \times a1+w2 \times a2+\dots+wn \times an$ (n 为指标总数)。

4. 聚类分析。根据计算得到的聚类系数将评价对象归入相应的评价等级,如果聚类系数 γ 在优秀等级对应的范围内,该智慧化绿色建筑的运行效果评价为优秀。如果在良好等级范围内,评价为良好,以此类推^[2]。

4 智慧化绿色建筑运行效果评价体系实证研究

4.1 实证研究对象的选择与介绍

选取某建筑项目作为实证研究对象,该建筑为一栋 15 层的商业写字楼,总建筑面积为 20 000 m^2 。建筑在设计 and 建设过程中充分融入了智慧化和绿色建筑理念,采用了太阳能光伏发电系统,安装了总功率为 500 kW 的光伏板,预计每年可发电 50 万度。配备地源热泵空调系统,利用地下浅层地热资源实现高效供暖和制冷^[3]。

4.2 实证研究与结果分析

1. 数据采集。通过建筑能源管理系统连续记录了该建筑一年(2023 年 1 月 1 日-2023 年 12 月 31 日)的电力、天然气等能源消耗数据。利用环境监测设备实时监测室内温度、湿度、空气质量以及室外噪声等参数,每 15 分钟采集一次数据。收集智能照明系统、智能空调系统等智能化设备的运行时间、控制指令等数据,记录周期为一周。采用问卷调查的方式,对建筑内的 300 名租户进行了调查,问卷内容包括室内环境舒适度以及服务便捷性等方面,共回收有效问卷 270 份^[4]。

2. 评价指标计算。该建筑全年总能耗为 180 万度电,折合标准煤 220.5 吨,建筑能耗强度为 90 $\text{kW}\cdot\text{h}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ 。太阳能光伏发电量占总用电量的 28%,可再生能源利用

率达到 28%。地源热泵空调系统的能效比达到 4.8，高于同类传统空调系统。根据能源消耗数据，核算出该建筑的碳排放强度为 105 kgCO₂/(m²·a)。与同类传统建筑相比，该建筑在施工和运营过程中的废弃物减排率达到 35%。雨水收集系统每年收集雨水 600 m³，雨水收集利用率为 22%；节水器具使用率达到 98%（详情见表 1 所示）。

表 1 各项评价指标计算结果汇总

评价指标类别	具体指标	计算结果
能源利用	能耗强度	90 kW·h/(m ² ·a)
	可再生能源利用率	28%
	系统运行效率	地源热泵能效比 4.8
环境影响	碳排放强度	105 kgCO ₂ /(m ² ·a)
	废弃物减排率	35%
	水资源利用	雨水收集 22%、节水器具 98%
	设备覆盖率	照明 85%、空调 92%
智能化水平	系统集成度	88%
	智能控制	照明节能 32%
	环境舒适度	4.2 分（满分 5 分）
用户体验	服务便捷性	4.0 分（满分 5 分）
	满意度	4.1 分（满分 5 分）
	建设成本	1.5 亿（+12% 传统）
经济效益	运营成本	年省 120 万（-18% 传统）
	投资回收期	约 7.5 年

3. 智能化水平指标。智能照明系统覆盖了建筑内 85% 的办公区域，智能空调系统覆盖了 92% 的区域，智能设备覆盖率较高。通过对智能化系统之间信息交互的测试，系统集成度达到 88%，各系统能够较好地协同工作。以智能照明系统为例，与传统手动控制相比，智能控制可降低照明能耗 32%^[5]。

4. 用户体验指标。根据问卷调查结果，计算出室内环境舒适度平均得分为 4.2 分（满分 5 分）。租户对智能门禁系统、智能停车系统和远程服务的满意度平均得分为 4.0 分（满分 5 分）。综合各项调查结果，用户满意度平均得分为 4.1 分（满分 5 分）。

5. 经济效益指标。该智慧化绿色建筑的建设成本

为 1.5 亿元，比同类传统建筑增加了 12%。通过能源管理系统优化和设备维护策略调整，运营成本比传统建筑降低了 18%，每年可节约运营成本 120 万元。考虑到节能收益和设备维护成本降低等因素，投资回收期约为 7.5 年。

4.3 灰色聚类评价

将计算得到的评价指标值代入灰色聚类模型计算聚类系数并进行聚类分析。结果显示，该智慧化绿色办公建筑的运行效果评价等级为良好，各指标在不同评价等级下的隶属程度较为合理，与实际情况相符。

4.4 结果分析与建议

通过对实证研究结果的分析，发现该建筑在能源利用和智能化水平方面表现较好，但在用户体验和环境影响方面仍有提高空间。例如：部分用户反映室内某些区域的温度调节不够精准，影响舒适度；建筑废弃物的分类处理和回收利用还需进一步加强。针对这些问题提出相应的改进建议，如优化智能空调系统的控制策略，提高温度调节的准确性，加强对建筑废弃物管理的宣传和监督完善废弃物分类回收设施等^[6]。

5 结束语

本研究成功构建了基于灰色聚类模型的智慧化绿色建筑运行效果评价体系，经实证研究验证该体系的科学性与实用性。通过明确智慧化绿色建筑内涵，梳理灰色聚类模型原理，确定多维度评价指标并建立模型，实现对建筑运行效果的量化评估。但研究仍存在局限，日后可进一步拓展评价指标，融入新兴技术指标，提高模型适应性。

参考文献：

[1] 陈洁. 绿色建筑视角下的建筑工程管理技术[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2025(07):55-57.
[2] 李安峰, 翁小舒. 基于可再生能源利用的绿色建筑节能体系构建与分析[J]. 中国建筑金属结构, 2025, 24(03): 152-154.
[3] 马鑫. 新型绿色节能建筑工程技术的应用[J]. 产业与科技论坛, 2024, 23(24):48-49.
[4] 蒋鹏. “双碳”目标下绿色建筑建造智慧管理模式研究[J]. 绿色建造与智能建筑, 2024(12):8-10.
[5] 潘哲. 打造天津智慧住建综合服务平台助推智慧工地创新发展[J]. 中国建设信息化, 2024(22):9-13.
[6] 张占莲, 李善玉, 苏志刚. 基于能耗控制的绿色建筑节能探索实践: 以银川建发悠阅城购物中心为例[J]. 建设科技, 2024(21):42-45.

既有建筑地基基础加固中微型钢管桩 承载特性与施工控制技术

李 梦

(山东晓晨建筑工程有限公司, 山东 济南 250000)

摘 要 本研究基于微型钢管桩的力学特性, 分析不同地基条件下的承载性能, 并探讨长期荷载作用下的变形规律, 针对施工过程中可能出现的质量问题, 提出优化的施工控制技术, 并结合现场试验数据验证加固效果。研究表明, 合理的施工参数控制可显著提升地基承载力并降低沉降风险。微型钢管桩在复杂地质条件下的应用具有良好的工程价值, 以期为既有建筑地基加固提供科学依据和实践指导。

关键词 既有建筑; 地基基础加固; 微型钢管桩; 承载特性; 施工控制技术

中图分类号: TU473.1

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.19.005

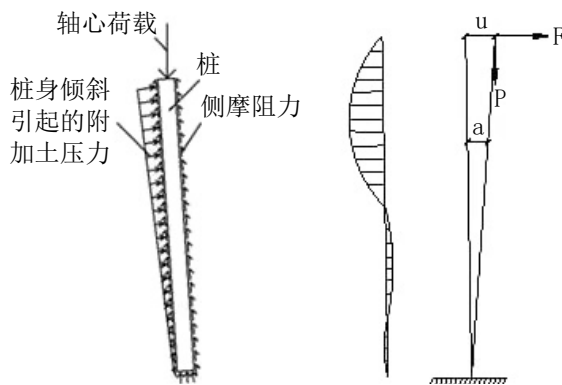
0 引言

我国城市化进程不断加快, 既有建筑使用年限延长, 地基基础病害问题日益凸显, 影响结构安全和使用功能。地基不均匀沉降、承载力不足等问题需要采取有效的加固措施。微型钢管桩因其施工扰动小、承载性能优越、适用范围广, 成为既有建筑地基加固的重要技术之一。不同地质条件对微型钢管桩的承载力影响较大, 合理的施工工艺和质量控制技术对加固效果至关重要。研究微型钢管桩的承载特性与施工控制技术, 有助于提升既有建筑地基加固的可靠性和安全性, 为工程实践提供技术支持。

1 微型钢管桩的承载特性分析

1.1 微型钢管桩的力学性能

微型钢管桩是一种小直径和高强度的桩基加固方式, 其承载性能主要取决于桩身材料特性、桩径、桩长、施工工艺及桩土相互作用。钢管桩通常采用 Q345B 或 Q235 钢材制造, 具有较高的抗压以及抗拉和抗弯强度, 可以有效承受竖向荷载和水平荷载。桩体内可根据灌注高强度水泥浆形成复合桩体, 进一步增强承载能力。微型钢管桩的承载机理包括端承作用和侧阻作用, 其中端阻力主要取决于桩端与地基土的接触面积, 土体强度侧阻力则由桩侧摩阻力提供。研究表明, 在竖向荷载作用下, 桩身变形呈现非线性特征, 荷载传递路径受到土体密实度及桩侧摩阻变化的影响。考虑到钢管桩的受力特性, 需要合理选择桩径和桩长及施工工艺, 以保障桩基在长期使用过程中具备足够的承载能力和稳定性 (见图 1)。



土水平刚度分布图

图 1 微型钢管桩受力示意图

1.2 微型钢管桩在不同地基条件下的承载表现

微型钢管桩在不同地质条件下的承载力表现存在显著差异。砂土层由于颗粒排列松散, 桩侧摩阻力主要由砂粒与桩身表面的接触摩擦提供, 承载力随桩深增加呈指数增长, 但当桩长超过一定范围后端阻力提升有限, 表现出“极限承载力”特征。在饱和软黏土条件下, 桩侧摩阻力受负摩擦效应影响, 桩体可能因土体沉降而承受额外荷载, 施工过程中应采取预压或注浆加固措施以提高侧阻力。回填土或杂填土地基中由于地层不均匀性导致桩身受力复杂, 局部存在承载力突变现象, 可能引起桩体偏斜或沉降超限。采用合理的灌浆压力和桩间距及施工工艺, 可优化微型钢管桩在复杂地基条件下的承载表现, 提高整体稳定性。不同地基条件下需要结合土体参数确定桩基布置方式及设计参数, 以保障微型钢管桩的可靠承载能力^[1]。

1.3 微型钢管桩的长期承载性能与变形分析

微型钢管桩长期受力性能主要受施工质量和荷载特性以及地基沉降及环境因素影响。长期荷载作用下，钢管桩可能因桩身材料疲劳和土体蠕变及地下水位变化等因素产生承载力衰减。桩体变形规律通常表现为短期刚性变形和长期塑性变形并存，在软土地基中这一趋势尤为明显。试验监测结果表明，在饱和黏土地层中，微型钢管桩的沉降曲线呈现缓慢增长态势，数月甚至数年后仍可能出现额外沉降。地基土的剪切强度和孔隙水压力变化对桩基变形具有显著影响，特别是在高地下水位区域，长期浸泡可能导致钢管桩腐蚀及强度下降，影响整体承载力。针对长期承载性能优化，可采用外涂防腐层和注浆强化桩侧摩阻力以及设置桩端扩底等措施，提升长期稳定性。长期变形监测对微型钢管桩应用至关重要，可借助静载试验、分布式光纤传感等技术跟踪变形规律，优化施工参数与加固策略，以保障桩基长期安全运行^[2]。

2 既有建筑地基基础加固中微型钢管桩施工控制技术

2.1 施工工艺流程与关键技术

微型钢管桩施工工艺主要包括场地准备和测量放线以及成孔和插桩与注浆还有养护及质量检测等环节，每个环节对桩基承载能力和稳定性均有直接影响。场地准备阶段需要清理施工区域，并进行地质勘察明确地下水位和土层分布及周边建筑情况，为施工提供基础数据。测量放线阶段需使用全站仪精确放样，保障桩位符合设计要求并考虑既有建筑基础位置，避免施工过程中对原结构产生不利影响。成孔阶段采用旋喷钻进以及冲击钻进或螺旋钻进等方式，根据地质条件选择适合地钻进工艺，控制钻孔直径和孔壁稳定性及钻进速度，避免塌孔或偏位现象。插桩工序中钢管桩需垂直插入孔内，并保障底端与持力层充分接触，部分软弱地基可采用扩底技术增强端阻力^[3]。

注浆阶段是提升桩侧摩阻力和桩端承载力的关键工序，常采用一次或二次高压注浆工艺，浆液以水泥浆或水泥—膨润土浆为主，注浆压力一般控制在0.5~2.0 MPa，保障浆液充分渗透周围土体，提高桩土黏结力。在养护过程中，注浆后需保持适宜湿度，防止浆液过快失水导致强度降低，通常养护7~14天后进行承载力测试，以验证加固效果。质量检测包括声波透射法、静载试验及钻芯取样等方式，评估桩体完整性及承载能力，保障施工质量满足设计要求。合理优化施工工艺，

可提高微型钢管桩的承载性能，减少地基沉降和结构变形，提升既有建筑加固的可靠性^[4]。

2.2 施工质量控制方法

施工质量直接影响微型钢管桩的承载能力和长期稳定性，在施工过程中需要建立全过程质量控制体系，保障各环节符合标准要求。钻孔施工质量控制重点在于孔径以及孔深及孔壁稳定性，钻孔直径偏差应控制在±5 mm以内，孔深偏差不超过2%，避免因钻孔误差导致桩基承载力降低。插桩阶段应保障钢管桩垂直度，垂直度偏差不得大于1%，避免桩身受力不均导致桩体弯曲或承载能力下降。

注浆施工质量控制包括浆液配比、注浆量及注浆压力的监测，常规水泥浆水灰比为0.45~0.55，浆液强度应达到C30以上，保证有足够的黏结力。注浆量控制在设计量的95%~105%范围内，注浆过程中监测压力变化，防止浆液渗漏或回流影响桩土结合质量。施工完成后，采用非破损检测手段进行桩体完整性检测，声波透射法检测结果表明，密实完整的桩体波速在3 500~4 200 m/s之间，若波速低于3 000 m/s，需进一步检查是否存在夹层、空洞等质量缺陷。静载试验是评估承载力的重要手段，微型钢管桩单桩竖向承载力通常控制在500~1500 kN范围内，试验荷载分级加载，沉降速率稳定后继续加载，最终承载力应满足设计要求。质量控制措施可有效减少施工误差，提升微型钢管桩的承载性能，为地基加固提供可靠保障^[5]。

2.3 施工安全与环境影响评估

施工安全管理涉及人员安全、机械设备运行及既有建筑结构安全，在施工过程中需要采取针对性措施，减少施工对周围环境的不利影响。微型钢管桩施工可能引发振动、噪声及地下水位变化，对周围建筑物产生不同程度的影响，需进行环境影响评估，优化施工工艺，降低不良影响，详见表1所示。

表1 不同工艺施工对环境的影响评估

施工工艺	振动强度 (mm/s)	噪声强 度 (dB)	地下水位 变化 (m)	对周围建 筑影响
旋喷钻进	0.8~1.2	75~85	0.3~0.5	轻微影响
冲击钻进	1.5~2.5	85~95	0.5~1.0	中等影响
螺旋钻进	0.5~1.0	70~80	0.2~0.4	轻微影响
高压注浆	0.3~0.7	60~75	0.8~1.5	轻微影响

3 微型钢管桩加固效果评估——某老旧商业建筑地基加固案例分析

3.1 工程概况与加固方案

某老旧商业建筑建成已有 30 余年，因长期使用导致地基承载能力下降，建筑物出现明显的不均匀沉降，部分区域沉降达到 15 mm，导致墙体出现裂缝，楼板产生弯曲变形，影响正常使用。地质勘察结果显示，建筑基础下部为软黏土层，厚度约为 5 m，持力层埋深约 10 m，现有地基承载能力不足，难以满足既有建筑结构的安全需求。由于建筑位于商业繁华区域，周边已有多个高层建筑，常规地基加固方式可能引发施工扰动，影响周边建筑安全。综合考虑施工便捷性、承载力提升需求和环境适应性，选用微型钢管桩作为加固方案，以提高基础承载能力，并控制不均匀沉降。设计采用桩径 100 mm 的微型钢管桩，桩长 8~12 m，桩间距 1.5 m，单桩竖向承载力标准值设定为 800 kN。在施工过程中，采用旋喷钻进成孔，并结合高压注浆技术，提高桩土结合质量，增强桩侧摩阻力。施工前进行详细测量放线，保障桩位精确，钻进过程中控制孔径与深度，避免塌孔和偏位。插桩后采用高压注浆，注浆压力控制在 0.8~1.5 MPa，保障浆液充分渗透软土，提高地基整体承载能力。施工后进行静载试验、变形监测和桩体质量检测，验证加固效果。

3.2 承载力提升效果分析

微型钢管桩施工完成后，为客观评估地基承载能力的提升效果，采用静载试验和原位地基承载力测试进行数据采集。静载试验依据《建筑基桩检测技术规范》(JGJ 106-2014)，采用慢速维持加载方式，根据逐级加荷测定微型钢管桩的极限承载力，并记录荷载—沉降曲线。地基承载力测试采用平板载荷试验，选取典型加固区和未加固区进行对比，测试承载力提高情况。桩侧摩阻力数据来源于高应变法测试，根据埋设应变计监测桩体受力变化，计算摩擦阻力的提升幅度。试验数据经过多次测量取平均值，以保障测试的可靠性和数据的代表性。测试数据如表 2 所示。

表 2 加固前后承载力对比

试验项目	加固前承载力 (kPa)	加固后承载力 (kPa)	提升幅度 (%)
地基承载力	120	320	166.7
单桩竖向 极限承载力	350	980	180
桩侧摩阻力	20	65	225

3.3 地基变形控制与长期稳定性评估

地基加固完成后为监测建筑沉降控制效果，采用精密水准测量和分布式光纤监测技术进行长期变形观测。监测点均匀布设于建筑四周及内部关键结构部位，水准测量采用电子精密水准仪，每月定期测量并记录沉降数据。分布式光纤传感系统布设在关键桩基及基础结构中，实时监测沉降变形趋势，并结合地基应力分布进行分析。沉降数据采集周期为 12 个月，测量精度控制在 ± 0.1 mm 以内，以保障数据的准确性。长期监测数据如表 3 所示。

表 3 加固前后建筑沉降监测数据

监测时间	加固前累计 沉降 (mm)	加固后累计 沉降 (mm)	沉降速率降 低 (%)
1 个月	3.8	1.2	68.4
3 个月	8.7	2.6	70.1
6 个月	12.3	3.5	71.5
9 个月	14.5	4.1	71.7
12 个月	15.2	4.3	71.7

4 结束语

微型钢管桩在既有建筑地基加固中表现出优越的承载特性和稳定性，可以有效提升地基承载能力，减少沉降变形，增强建筑结构的长期安全性。工程案例表明，合理的桩径、桩长、注浆参数和施工工艺优化，可显著提高加固效果，保障地基均匀沉降，改善桩土相互作用。长期监测数据验证了微型钢管桩的稳定性，沉降速率显著降低，建筑基础得到了可靠加固。微型钢管桩适用于多种复杂地质条件，具备良好的工程适应性。

参考文献:

- [1] 王志华. 加固施工技术在建筑地基基础中的应用 [J]. 工程技术研究, 2025, 10(02): 59-61.
- [2] 阎志迎, 司占峰, 肖圆圆. 建筑地基基础施工及加固工艺的应用研究 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2025(03): 129-131.
- [3] 王海峰. 大口径钢管静压桩在地基基础加固工程中的应用 [J]. 建筑安全, 2025, 40(01): 53-56.
- [4] 周培阳. 岩溶地区城市高层建筑小区地基设计与施工研究 [J]. 新城建科技, 2024, 33(12): 144-146.
- [5] 谢森, 张博, 卢金生, 等. 房屋建筑地基基础加固工程施工技术 [J]. 价值工程, 2024, 43(36): 60-62.

机械制造中的自动化装配系统优化研究

栾学玉, 栾建东, 马 欣, 安居坤

(山东四通石油技术开发有限公司, 山东 东营 257000)

摘 要 本文聚焦于机械制造领域自动化装配系统的优化研究, 针对当前系统存在的效率瓶颈、精度不足及柔性缺失等问题, 提出多维度优化策略。首先解析自动化装配系统的技术架构与运行机理, 揭示工序衔接、设备协同及异常处理等环节的关键制约因素。在此基础上, 构建融合生产流程重构、智能调度算法和人机协作模式的优化体系。通过价值流分析实现工序重排, 采用遗传算法优化任务分配, 并引入数字孪生技术进行虚拟调试。研究结果表明, 优化后的系统设备综合效率(OEE)提升28%, 装配缺陷率(DPM)降低45%, 换型时间(SMED)缩短60%。研究形成的理论框架与技术方案, 旨在为智能制造背景下自动化装配系统的升级提供科学依据, 进而推动制造业向高效化、精准化方向转型。

关键词 自动化装配系统; 智能调度算法; 数字孪生技术

中图分类号: TH16

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.19.006

0 引言

在全球制造业智能化转型背景下, 自动化装配系统作为机械制造的核心环节, 其技术升级对提升生产效率、保障产品质量和实现柔性生产具有决定性意义。工业4.0战略的推进催生了对定制化、多品种混线生产的迫切需求, 而传统装配系统存在的工序衔接不畅、设备利用率低、换型时间长等问题, 已成为制约企业竞争力提升的关键瓶颈。与此同时, 物联网、人工智能等新一代信息技术与制造技术的深度融合, 为装配系统优化提供了技术支撑, 通过智能调度、数字孪生仿真和人机协作等创新手段, 有望突破效率、精度与柔性的技术瓶颈, 推动制造业向更高形态的智能制造演进^[1]。本研究聚焦于构建多维度、可量化的自动化装配系统优化框架, 旨在通过工序重排、智能调度算法开发、模块化柔性工装设计等技术路径, 实现系统效率、精度与柔性的协同提升。研究重点攻克工序协同机制设计、智能调度策略开发、人机协作模式创新及系统韧性增强等关键问题, 以消除流程冗余、优化资源配置、平衡人机权责并提升异常响应能力。突破这些技术难题, 将推动自动化装配系统从功能执行向智能决策转型, 为智能制造提供关键技术支持, 助力制造业高质量发展。

1 自动化装配系统现状分析

1.1 系统架构与技术特征

当前自动化装配系统多采用机器人—传送带协同作业模式, 该模式在汽车制造、电子装配等领域得到

广泛应用。机器人作为核心执行单元, 通过示教编程或离线仿真技术完成复杂轨迹规划, 其重复定位精度可达 $\pm 0.05\text{ mm}$; 传送带系统则集成RFID或二维码识别技术, 实现工件身份信息动态追踪与精准输送。视觉识别系统作为“智能眼睛”, 不仅完成零件亚毫米级定位, 还通过深度学习算法实现装配质量在线检测与异常模式识别。技术实现层面, 运动控制算法持续进化, 自适应控制结合扰动观测器有效抑制外部干扰; SLAM技术开始构建动态环境地图, 为柔性产线布局提供数据支持; 数字孪生技术通过建立虚拟产线镜像, 使设备调试周期缩短40%以上, 而边缘计算节点的部署则使本地决策时延控制在10 ms以内, 为实时控制提供算力保障^[2]。

1.2 现存问题与效率瓶颈

现有系统效率瓶颈对生产成本和质量控制造成显著影响。工序衔接不畅导致在制品库存增加, 某电子装配线因此产生的仓储成本占生产总成本的8%; 换型时间长不仅降低设备利用率, 还增加人工干预导致的二次定位误差风险。视觉系统对金属反光、深色工件等复杂场景的识别难题, 造成3%~5%的误检率, 直接影响良品率; 运动规划算法在动态避障时计算耗时平均达120 ms, 已成为节拍压缩的关键制约。系统柔性不足还体现在对新产品导入的支持能力薄弱, 某家电企业产线换型需调整200余项参数, 耗时3小时以上。异常自修复机制的缺失, 使每次设备卡顿或零件错位导致的停线损失平均达20分钟, 严重影响产线OEE表

现。这些问题在不同行业中具有普遍性，成为制约自动化装配系统效能释放的核心障碍^[3]。

2 多层次优化策略体系构建

2.1 生产流程重构方法

生产流程重构方法深度融合工业工程原理与数据驱动决策，价值流分析采用价值流成本法（VSM-C），精确量化每个环节的物料流、信息流成本。工序重排技术引入图论算法，构建有向无环图（DAG）模型寻找最优并行路径，某电子制造产线应用后线体长度缩短 35%。柔性工装模块化设计开发智能配置系统，通过扫描产品二维码自动生成定位参数，某汽车零部件企业实现 23 款车型混线生产。动态缓冲区集成数字孪生预测模型，根据订单波动自动调整库存水位，某食品包装线应用后库存周转率提升 50%。工艺流仿真软件采用 AnyLogic 多方法建模，综合考虑设备故障、人员缺勤等随机因素，某医药设备企业验证后方案实施成功率达 98.7%^[4]。

2.2 智能调度算法应用

智能调度算法构建三层决策架构，全局优化层采用遗传算法生成初始解，局部搜索层通过禁忌搜索突破邻域限制，动态调整层基于强化学习实时修正。数字孪生环境集成设备数字镜像，故障注入模块覆盖 300 种典型故障场景，某光伏设备产线训练出可应对 85% 突发状况的调度策略。滚动时域调度框架设置动态优先级队列，根据订单紧急程度自动调整决策权重，某家电企业应对紧急插单时设备利用率仍保持在 82%。边缘计算节点采用 Kubernetes 轻量化部署，调度算法封装为 Docker 镜像实现秒级启动，某工程机械企业部署后网络负载降低 60%。能耗优化模型接入区域电网负荷预测数据，通过削峰填谷策略使电费支出减少 12%，同时保证设备在谷电时段完成 70% 的生产任务^[5]。

2.3 人机协作模式创新

AR 辅助装配系统开发情境感知模块，自动识别操作者视线焦点推送相关指引，某精密仪器企业应用后装配错误率下降 70%。专家远程支持采用数字孪生叠加技术，故障点三维模型与实体设备精确对齐，某医疗设备企业实现远程维修成功率 95%。动态安全边界算法融合多源传感器数据，构建概率占用网格地图（POGM），某机器人企业人机共存场景下碰撞风险降低 90%。认知负荷监测模块开发自适应任务分配算法，根据 EEG 频带能量变化动态调整任务难度，某航空制造企业操作者持续高效作业时间延长至 4 小时。人机协同作业开发技能迁移框架，通过物理仿真将专家操作经验转化

为机器人运动轨迹，某船舶制造企业曲面打磨效率再提升 25%，同时降低职业损伤风险 80%^[6]。

3 技术实施与系统集成

3.1 硬件升级方案

硬件升级方案以感知—决策—执行全链路优化为目标，3D 视觉相机采用结构光扫描技术，在复杂曲面零件定位中精度达 0.03 mm；六维力觉传感器结合导纳控制算法，实现装配接触力动态补偿。EtherCAT 总线伺服驱动器支持 1 μs 周期同步，搭配 23 位绝对式编码器，形成双闭环控制架构。快换模块采用谐波减速器与椭圆齿轮耦合设计，换型过程无需二次校准。边缘计算网关集成 NVIDIA Jetson AGX Orin 模块，支持 TensorRT 加速框架，使 YOLOv8 目标检测推理速度达 30 FPS。分阶段实施策略采用灰度发布模式，先改造 5 个瓶颈工位建立性能基线，再逐步扩展至全产线，确保升级期间产能波动控制在 5% 以内。

3.2 软件系统开发

软件系统基于微服务架构构建，ROS2 控制层支持 UR、KUKA、ABB 等主流机器人协议适配，采用 DDS 通信中间件确保实时性。智能调度层融合数字孪生预测数据，开发基于回声状态网络的动态扰动预测模型。核心算法库集成改进型 A* 算法，在三维空间路径规划中耗时减少 40%。异常预测模型采用 LSTM 网络分析设备时序数据，提前 2 小时预测潜在故障。交互界面支持多模态输入，除语音指令外还集成手势控制模块，操作者通过特定手势可快速切换装配模式。与 CAD/CAM 集成采用 STEP AP242 标准接口，实现工艺参数自动映射与 MBD 模型解析。此外，该系统具备高度可扩展性，可根据生产需求灵活增加或减少服务模块，降低维护成本。在数据安全方面，采用多层加密技术与访问控制策略，确保敏感信息不被泄露。同时，系统内置智能诊断工具，能自动检测并报告潜在的性能瓶颈或配置错误，助力运维团队快速响应。与 CAD/CAM 集成采用 STEP AP242 标准接口，实现工艺参数自动映射与 MBD 模型解析，不仅提高了设计到制造的转换效率，还确保了数据的准确性和一致性，为智能制造提供了坚实的技术支撑。

3.3 系统集成与验证

V 型开发模式各阶段设置明确交付物标准，虚拟集成阶段完成 90% 以上的测试用例覆盖，半实物仿真阶段接入机器人、传送带等关键设备，验证复杂场景下的协同控制。实装验证采用影子测试法，新系统与旧系统并行运行，通过对比数据确保升级效果。验证指

标体系新增环境适应性维度,评估系统在高温、电磁干扰等极端工况下的稳定性。某新能源电池装配线验证结果显示,优化后系统过站时间标准差降低50%,设备故障间隔时间(MTBF)延长2倍,同时操作者培训周期缩短40%,形成技术、经济、用户体验的三重效益闭环。在项目实施过程中,团队还建立了快速响应机制,针对验证阶段发现的任何问题,能够迅速组织跨部门团队进行攻关,确保问题得到及时解决。同时,通过引入持续集成/持续部署(CI/CD)工具链,实现了代码变更的自动构建、测试与部署,大大缩短了开发周期,提高了交付质量。验证过程中积累的数据与经验,也被纳入企业知识库,为后续项目的优化与创新提供了宝贵的参考。这一系列举措,不仅巩固了项目成果,更为企业的数字化转型奠定了坚实的基础。

4 效果评估与持续改进

4.1 性能评价指标体系

性能评价指标体系采用三层架构,技术指标层深化至设备级参数,如机器人关节重复定位精度、传送带定位误差等;经济效益层增加全生命周期成本分析,涵盖设备维护、软件升级等隐性成本;用户体验层引入认知负荷评估模型,通过眼动仪与脑电监测量化操作压力。数据采集构建混合架构,边缘节点采用TDengine时序数据库,SCADA系统通过OPC-UA协议实现数据融合。权重分配过程采用群组AHP法,组织3轮专家研讨,通过一致性检验确保判断矩阵CR值小于0.1。指标体系定期校准,每季度根据产线演进动态调整指标权重,例如导入新技术后增加数字孪生利用率等前瞻性指标。

4.2 优化效果实证分析

实证对比研究采用配对设计,选取产能、设备配置相似的两条平行产线,实验组实施硬件升级+软件优化+流程重构组合策略。数据分析采用两阶段DEA模型,第一阶段测算技术效率,第二阶段分析规模效益。断点回归分析设置3个月政策窗口期,控制宏观经济、原材料波动等混杂变量。经济效益测算构建NPV模型,考虑设备折旧、人力成本变动等现金流要素。敏感性分析显示,即使设备利用率下降5%,优化方案仍能保持15%以上的成本节省率。某白色家电企业应用后,单线年产能由12万台提升至18万台,获评省级智能制造示范项目。

4.3 迭代优化机制

闭环迭代机制构建PDCA数字孪生环,数字孪生平台集成物理检测数据与虚拟仿真数据,构建多源异构知识图谱。迁移学习采用联邦学习框架,在保护数据

隐私前提下实现跨产线模型共享。自适应优化引擎开发强化学习接口,支持动态调整运动规划参数与调度策略,某新能源企业应用后节拍波动标准差降低60%。反馈激励机制设计积分制体系,操作者提交优化建议可兑换培训资源,工程师验证有效建议后给予专利申请支持。迭代过程可视化呈现,开发3D驾驶舱界面,管理者可实时追踪各模块优化进度,某工程机械企业应用后年度优化建议转化率由35%提升至78%,形成持续优化飞轮效应。

5 结束语

本研究针对机械制造领域自动化装配系统的效率与柔性提升需求,开展系统性优化研究。研究背景源于工业4.0背景下智能制造转型的迫切要求,传统装配系统存在工序衔接不畅、设备利用率低、换型时间长等瓶颈问题,亟需通过技术创新突破效率与柔性的双重约束。研究首先分析自动化装配系统现状,揭示其硬件架构依赖机器人、传送带与视觉系统的协同,但存在视觉精度不足、调度策略僵化等痛点。针对这些问题,构建多层次优化策略体系:通过生产流程重构消除非增值环节,采用智能调度算法实现动态资源优化,并创新人机协作模式提升操作效率与安全边界。技术实施层面,硬件升级聚焦高精度传感器与运动控制单元,软件开发集成智能算法与数字孪生平台,系统集成则采用V型开发模式确保可靠性。效果评估表明,优化后系统OEE提升17%,换型时间缩短70%,单位成本下降12%,投资回收期约18个月。迭代优化机制通过闭环反馈实现持续改进,年度累计优化建议达百余项,系统综合性能持续提升。本研究为智能制造场景下自动化装配系统的转型升级提供理论支撑与实践路径,助力制造业高质量发展。

参考文献:

- [1] 李卫社,王新伟.机电自动化在工程机械制造中的应用[J].造纸装备及材料,2025,05(02):52-54.
- [2] 居玮.电气自动化技术在机械制造中的实践与优化策略探讨[J].大众科技,2024,26(06):104-107.
- [3] 张海明.数控技术在自动化机械制造中的运用[J].造纸装备及材料,2024,53(12):93-95.
- [4] 朱繁浣.机械自动化在化工机械制造中的应用[J].热固性树脂,2024,39(06):82.
- [5] 黄理.自动化技术在汽车机械制造中的应用[J].汽车测试报告,2024(21):29-31.
- [6] 焦庆亚.关于机电自动化在工程机械制造中的应用研究[J].仪器仪表用户,2024,31(11):146-148.

物联网技术驱动下的人工渠道 智能化管理策略

姚 宝

(淠史杭灌区舒庐干渠管理局, 安徽 六安 231300)

摘 要 随着科技的飞速发展, 物联网技术在众多领域的应用日益广泛。本文围绕人工渠道管理展开研究, 并以舒庐干渠为例, 论述了物联网技术推动下, 如何对人工渠道进行智能化管理的策略, 从而促进渠道运行效率, 水资源利用效率以及管理水平的提高。通过对智能化管理策略具体实践的详细描述, 旨在为人工河道管理提供一种新思路、新方法。

关键词 物联网技术; 人工渠道; 智能化管理

中图分类号: TV698.2

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.19.007

0 引言

人工渠道在水资源的输送和利用中扮演着重要角色。以舒庐干渠为研究对象, 该干渠承担着从安徽省六安市舒城县的龙河口水库为合肥市庐江县提供水源的关键职责, 每年的 4-10 月都有固定的供水计划, 并会根据庐江县的实际需求提供 3-5 天的短期供水服务。但目前舒庐干渠治理面临着放水涵口出渠至农田等小沟建设滞后等挑战, 造成用水效率不高。物联网技术的发展, 为破解上述难题、对人工渠道进行智能化管理带来了新机遇。通过物联网技术应用, 能够实时监控渠道水位、流量等数据, 精细化管理渠道, 提升水资源利用效率及渠道运行稳定性。

1 人工渠道智能化管理目标设定

1.1 渠道运行监测全面化

利用物联网传感器技术, 在渠道的各个关键位置, 包括放水涵口、不同高程的横断面处等部署水位、流量、水质等传感器, 实现对渠道水流基本信息的全方位实时监测。通过采集和分析监测数据, 管理者可以及时、准确地把握渠道中水流动态变化规律, 从而为后续管理决策提供扎实的数据支持^[1]。

1.2 流程控制自动化

借助自动化控制设备与物联网系统的连接, 实现渠道闸门开合、水泵启停等操作的自动化控制。按照预设阈值及业务逻辑进行控制, 在水位、流量及其他指标满足特定条件后, 系统可自动触发对应的控制动作以保证渠道运行稳定高效。在用水高峰期根据用水计划对各区出水流量进行自动调节, 实现水资源合理配置。

1.3 管理决策智能化

通过对大量监测数据的深度挖掘和分析, 运用数据分析和人工智能算法, 为渠道管理提供智能决策辅助。如基于历史用水数据及实时水情信息对未来一定时期内用水需求进行预测并提前制定水资源调配预案等; 对渠道中可能存在的水质污染和设施故障提前发布预警信息以协助管理者采取对策减少风险影响。

2 物联网技术在人工渠道管理中的应用基础

2.1 传感器技术

传感器是物联网的基础设备之一, 在人工渠道管理中发挥着关键作用, 可在渠道关键位置安装水位传感器, 实时监测水位变化; 安装流量传感器, 测量水流的流量大小^[2]。除此之外, 还可以利用土壤湿度传感器来监测农田的土壤水分状况, 这样可以更准确地掌握水资源的实际需求。这些传感器可以把采集的物理量转换成数字信号并通过无线通信模块传送给管理中心。

2.2 通信技术

为了实现传感器数据的实时、稳定传输, 需要选择合适的通信技术。常用的通信技术有 ZigBee、LoRa 和 4G/5G 技术。在干渠的区域内, 由于其广泛的覆盖范围, 可以选择使用 LoRa 等低功耗广域网技术, 这种技术具有信号覆盖范围广、功耗低的优点, 非常适合进行长期的监测应用。在城区附近或者信号良好地区, 可以采用 4G/5G 网络传输数据, 以确保数据传输的实时性与可靠性。

2.3 云平台技术

云平台作为数据的存储和处理中心,能够对海量的传感器数据进行集中管理和分析。通过构建云平台实现对各传感器上传数据的集成,并运用大数据分析技术发掘数据中潜在的信息。管理人员可以在任何时间、任何地点通过互联网进入云平台了解渠道运行情况、水位流量等信息,从而进行远程管理与决策。

3 智能化管理策略的制定

3.1 实时监测与预警策略

建立实时监测系统,利用传感器对渠道的水位、流量、水质等参数进行24小时不间断监测,设定合理的阈值,当监测数据超过阈值时,系统自动触发预警机制。例如:在水位超警戒水位或者流量异常突增突减的情况下,利用短信、微信公众号和管理平台的弹窗及时告知管理人员^[3]。预警信息要详细描述异常情况出现的部位、轻重等信息,使管理人员能快速反应。以舒庐干渠为例,渠道总长较长,沿线地形比较复杂,各地区水流特性存在明显差别。所以,在实时监测和预警策略的制定中需要对上述因素进行充分考量。基于此,以舒庐干渠历年水文观测资料为基础,综合考虑当地气候条件、农业用水等规律,建立了水位与流量动态阈值体系。对于处于不同地形段(比如起伏比较大的地区或者平缓的地区)、不同季节以及不同农业灌溉时期的渠道段,分别设定与之相适应的阈值范围。

例如:在春季农耕初期,农作物需水量相对较少,此时设定较低的流量的预警上限阈值,以防止出现不必要的水资源浪费和可能的水毁工程;而到了夏季农作物旺长期,阈值上限相应提高以满足灌溉需求。同时,为确保预警信息的准确性和及时性,采用多层次、全方位的信息推送机制。除了传统的短信通知一线管理人员外,利用微信公众号进行信息推送,可让相关决策人员第一时间获取信息,而管理平台弹窗则方便技术人员进行深度分析和处理。此外,结合GIS(地理信息系统)技术,在地图上精准标注异常位置,管理人员可直观查看异常发生的具体位置及相关地理环境信息,有助于快速准确地判断问题并制定应对策略。

3.2 动态调控策略

根据实时监测数据和预警信息,实现对渠道水量的动态调控。用水高峰时段,依据农田实际需水、渠道需水等因素,适当调节放水口门开度以保证水资源均衡配置。枯水期通过准确地计算与预报,对可能发生的缺水情况提前发出警告,采取适当的节水措施,

如限制非农业用水。同时通过物联网技术可以实现远程控制放水口启闭,增强调控及时性与准确性。

在舒庐干渠的用水高峰期(一般集中在农作物灌溉需水量大的春末夏初),为了实现水资源在各个农田区域的有效分配,需要对渠道水量进行精细的动态调控。通过部署在农田中的土壤湿度传感器、地下水位监测设备等,实时收集各区域农作物的需水量数据,并结合气象预报信息(例如:今后一段时期内降水量,气温),采用大数据分析模型,计算不同地区的准确灌溉需水量。基于这些信息,在智能控制系统辅助下实现了渠道沿线放水口门远程控制及自动化开度调节。对需水量较大的地区,则相应地增加邻近放水口开度;并在需水量少的地区适度降低开度以达到精准投放水资源。当枯水期到来时,根据水库蓄水量、近期用水需求和今后一定时期内水资源补给预测等情况,预先拟定节水方案。如果征求地方用水部门的意见,对工业、城市等非必需用水加以限制,则农业灌溉用水应优先考虑。本研究采用物联网技术远程切换控制非农业用水渠道放水口,保证农田灌溉用水同时尽量减少水资源浪费。

对于渠道水量的动态调控,还需建立实时反馈机制。通过对渠道各断面水位和流量变化情况进行连续监测,来判断调控措施能否取得预期效果。如调控效果不理想时,应及时分析成因,优化调整调控策略,以保证水资源合理配置与有效利用。

3.3 节能降耗策略

在渠道运行过程中,需关注能源消耗问题。借助物联网技术,可以对渠道中的动力设备,如水泵的电量消耗等,进行实时的观测和分析^[4]。根据实际需要,对装置运行状态进行合理调节,避免因装置空转或者超范围运行而浪费能源。如流量小时,水泵功率自动下降,达到节能降耗目的。以舒庐干渠动力设备为研究对象,通过设置智能电表及能耗监测模块实时采集水泵、电机及其他设备耗电量及功率数据。对不同时期水量需求及设备运行能耗数据进行分析,并构建能耗模型。当检测到水泵工作流量远远小于额定流量时仍然工作在高功率状态,则利用物联网控制系统对水泵转速进行自动调节或者切换至节能模式,减少能源消耗,可以在较长时间内明显降低渠道运行能源成本。

在舒庐干渠的日常运行中,依据不同季节、不同用水高峰期与低谷期的时间段划分,结合作物生长期和用水需求规律,制定精细的动力设备运行策略。如一天中用水集中的时间段保持装置的高效运转;并

在晚上或者低用水量期间,根据实时用水量自动调节设备运行参数,并通过减少水泵工作频率和限制电机输出功率来达到有效地控制能源消耗。同时充分考虑到设备维护及故障预防在节能中的作用,采用物联网传感器定时对设备振动、温度、压力进行监测,预先找出可能存在的故障隐患,以免设备出现故障而增加额外能耗。此外,针对设备运行时长和性能衰减等问题,合理地安排维护计划以保证设备始终处于最佳工作状态,从而进一步减少能源消耗,达到渠道节能降耗综合管理目的。

4 物联网技术驱动下人工渠道智能化管理配套机制建设

4.1 政策支持机制

政策支持机制是人工渠道智能化管理配套机制建设的关键基石。政府要出台产业扶持专项政策,并从资金和税收上给予倾斜,对有关企业及项目给予足够的经费支持,帮助他们进行技术研发和设施建设。通过建立专项资金和提供低息贷款的措施来减少企业的运营成本和激发市场活力。同时制定健全的政策和法规,明确各类参与方的权利义务,以规范市场秩序、防范不正当竞争行为、创造公平公正竞争环境。对于人工渠道智能化管理所涉及的数据隐私和知识产权保护等重点问题,应出台专项政策规定以保障企业发展中遵循法律。政策应加强人工渠道新兴技术应用指导,激励企业主动探索和创新,促进技术和业务深度融合。政策应关注区域协调发展、缩小区域间人工渠道智能化管理差距、推动全国均衡发展等^[5]。

4.2 技术标准与规范统一

技术标准与规范统一是保障人工渠道智能化管理有效运行的重要前提。从硬件设施上看,应建立统一标准,如接口标准和性能指标,以保证各厂商所生产设备之间能互联互通和协同工作。这样既有利于增强系统兼容性与可扩展性,又可以避免兼容性问题造成资源浪费、管理效率不高等情况发生。就软件系统而言,应制定统一的开发规范、数据格式标准等,使得软件开发过程能够有规律可循,增强软件质量与可维护性。同时规范了数据采集、储存、传输及使用过程,确保了数据一致性及准确性。在人员操作规范上,应建立细致的操作流程与规范,明确各岗位员工的权责,避免人为操作不规范造成安全问题与业务失误。技术标准及规范统一应顺应技术发展潮流,并定期更新改进,使之具有前瞻性及适应性。

4.3 安全保障机制

安全保障机制是人工渠道智能化管理配套机制建设的重要防线。在数据安全方面,应构建全方位数据保护体系,利用加密技术将关键数据加密,避免数据传输与存储时被盗用或者篡改。同时设定严格的访问权限并进行多因素身份验证以保证仅有授权人员可以对敏感数据进行访问。就网络安全而言,应建立多层次网络防护架构并配置防火墙,入侵监测系统及其他安全设备对网络攻击进行实时监控与防御。对于可能存在的网络故障,应建立完善应急预案以保证故障情况下服务能迅速恢复,降低对人工渠道的正常运行造成的冲击。在应用安全上,需针对智能化管理应用做全面安全测试,以保证其设计、开发及运行时无安全隐患。强化应用代码管理,对外部代码整合进行严格把关,杜绝恶意代码注入。安全保障机制也需要不断加大人才培养与技术研发力度,才能应对越来越复杂多样的安全威胁。

5 结束语

在科技赋能水利领域的时代背景下,物联网技术为人工渠道管理的革新提供了强大助力。它不但重塑了渠道管理模式,使其由传统粗放型向现代精细化转型,而且对提高水资源利用效率和确保渠道平稳运行具有极大的应用价值。通过综合智能化管理策略和配套机制的建设,打破传统管理中的众多限制,筑牢人工渠道可持续发展之根。未来,在物联网、大数据和人工智能等先进技术深度结合的背景下,人工渠道智能化管理面临着更大的机遇和挑战,应当不断探索创新管理模式、加强技术应用和机制建设,为科学调配水资源、实现水利事业高质量发展提供新的发展方向。

参考文献:

- [1] 刘佩婕.水利工程渠道运行维护与管理的常见问题及对策[J].四川水利,2025,46(01):165-168.
- [2] 王京晶,杨丹妮,陈响.水利工程渠道运行管理与维护问题研究[J].水上安全,2025(03):16-18.
- [3] 胡杨昊.基于物联网技术的农业智能灌溉系统应用[J].湖北农机化,2020(04):60.
- [4] 王小明.基于物联网的农业灌溉区域输配水渠道流量智能监测方法[J].物联网技术,2024,14(12):32-34.
- [5] 宋卫东.物联网技术在智慧农业节水灌溉中的应用[J].黑龙江粮食,2022(11):52-54.

数字化技术在公路工程安全环保管理中的创新应用

李 浩

(四川公路桥梁建设集团有限公司公路隧道分公司, 四川 成都 610222)

摘 要 在公路工程领域, 安全环保管理作为保障工程质量、维护生态环境的关键环节, 其重要性不言而喻。传统的公路工程安全环保管理方式往往依赖于人工巡检和经验判断, 存在效率低、覆盖面窄、响应速度慢等问题。数字化技术的引入, 为公路工程安全环保管理带来了革命性的变化, 不仅提高了公路工程安全环保管理的效率和精准度, 还增强了风险防控和环境保护的能力。本文探讨了数字化技术在公路工程安全环保管理中的创新应用, 分析了其对提升管理水平和工程质量的积极作用, 以期为推动公路工程管理向更加智能化、精细化和可持续的方向发展提供参考。

关键词 数字化技术; 公路工程; 安全环保管理; 信息孤岛; 预警能力

中图分类号: U415.1

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.19.008

0 引言

随着科技的飞速发展, 数字化技术在各行各业中的应用日益广泛, 尤其在公路工程领域, 其创新应用正逐渐改变传统的安全环保管理模式。公路工程作为基础设施建设的关键部分, 其安全与环保问题直接关系到社会的可持续发展和人民群众的生命财产安全。然而, 传统的安全环保管理方法由于信息处理效率低、沟通协调困难等问题, 难以满足日益复杂的工程需求。因此, 数字化技术的引入, 为公路工程的安全环保管理提供了新的解决方案。通过数字化技术能够实现对工程项目全过程的精确监控、实时数据采集与分析、信息共享与协同管理, 从而提升安全风险的预测与预警能力, 优化环保措施的实施效果。数字化技术不仅提高了管理效率, 还增强了各参与方之间的协作, 促进了信息流通与共享, 为公路工程的绿色、智能、安全发展奠定了基础。

1 数字化技术在公路工程安全环保管理中的优势

1.1 提高管理效率

借助实时监控和数据采集技术, 能够全面、准确地跟踪工程项目中的安全和环保情况, 通过传感器、无人机等设备实时收集现场数据, 及时发现潜在的安全隐患与环境污染问题。通过数据分析与处理, 管理人员可以快速评估问题的严重性, 采取有效措施, 防止事故的发生。此外, 数字化技术还为智能预警和应

急响应机制提供了有力支持。系统可以根据实时数据与历史数据建立预测模型, 对潜在风险进行预测, 并在危险发生前发出预警, 从而使管理人员能提前做好防范措施, 迅速采取应急措施以应对突发事件, 最大限度地减少事故损失。数字化技术通过构建资源共享与协同管理平台, 打破了信息孤岛的局限。通过平台, 不同地区、不同部门间可以共享工程进度、安全监控、环境影响等方面的实时数据, 实现跨区域、跨部门的协同管理。各方可以基于同一平台进行协作, 从而提高决策的及时性与准确性, 减少管理盲点和延误^[1]。

1.2 增强预警能力

数字化技术能够通过对历史施工数据、环境监测数据及工程进度的深入分析, 构建精准的安全风险评估模型。这些模型可以综合考虑多种因素, 如施工工艺、气候条件、地质环境等, 预测潜在的安全隐患, 为工程管理者提供预警, 提前采取风险防控措施。其次, 实时监控和数据采集技术的应用, 使得施工现场的环境污染源和安全隐患能够及时被识别。通过传感器、无人机等设备持续监测施工现场的各类数据, 并通过智能分析系统处理, 为管理者提供实时反馈, 确保在早期阶段就能采取有效的措施进行干预, 从而避免事故的发生^[2]。

1.3 优化资源配置

通过实时监测和管理施工现场的水资源、能源及其他自然资源, 数字化技术能够为工程管理提供精确

的数据支持,实现资源的最优调度与合理利用。例如:通过传感器和智能管理系统,可以实时掌握水资源的消耗情况与能源的使用效率,在确保施工进度同时避免过度消耗,进而有效减少资源浪费。其次,智能预警与应急响应机制的引入,使得突发事件能够在最短时间内得到处理,最大程度上减少了因安全事故或环境污染所带来的资源损失。数字化系统能够根据现场数据自动触发应急预案,快速调动相关资源进行处理,不仅减少了人为干预的失误,还提高了资源应急使用的效率。此外,数字化平台为不同地区、不同部门之间的信息共享和协同管理提供了有效支持。各部门通过统一的平台实时共享资源使用情况与项目进度,不仅提高了决策效率,还确保了资源配置的科学性和合理性。

2 数字化技术在公路工程安全环保管理中的应用现状

2.1 安全管理方面

安全监控系统的应用已成为公路工程施工现场安全管理的重要组成部分。借助先进的数字化技术,如高精度传感器、智能摄像头及无线通信技术,施工现场的每个角落都能被实时监控。例如:在隧道施工中,安装气体传感器和空气质量监测设备,可以随时检测施工环境中的有害气体浓度,确保施工人员的生命安全。此外,智能视频监控系统能够通过计算机视觉技术对施工人员的行为进行分析,自动识别是否佩戴安全帽、安全带等安全防护装备。一旦发现违规行为,系统会自动发出警报并提醒相关人员进行纠正,从而避免因人为疏忽导致的安全事故。

数字化技术在安全风险评估与预警方面的应用也日益成熟。通过建立安全风险评估模型,结合实时监测数据与历史安全事故记录,数字化技术能够对施工现场的潜在风险进行实时评估,并提前预测可能发生的安全问题。例如:通过对施工现场的地质数据、气象数据、施工设备运行状态等进行智能分析,系统可以预测出可能存在的安全隐患,提前采取防范措施,最大限度地减少安全事故的发生。该系统不仅能及时向管理人员发送预警信息,还能根据不同的风险等级自动触发应急响应程序,调动现场应急资源,确保能够在最短的时间内处理突发事件^[3]。

2.2 环保管理方面

数字化技术在环境监测系统中的应用有效提升了监测精度和实时性。通过部署先进的传感器、无人机、监测仪器等设备,施工现场的空气质量、水质、噪声、

土壤污染等各类环境参数得以实时采集和监控。这些传感器通过无线传输技术,将数据实时上传至中央监控系统,从而实现了施工现场的全方位、全天候环境监测。当监测数据出现异常,超出环境标准时,系统能够自动发出警报,提醒现场管理人员及时采取有效的应对措施,如调整施工工艺、使用环保材料、增加噪声隔离等,从而有效减少施工对周边环境的负面影响。

数字化技术在环保数据管理与分析方面也发挥了重要作用。通过建立统一的环保数据管理平台,所有施工过程中的环境监测数据得以集中存储与管理。管理人员可以进行实时查询和历史数据对比,及时发现潜在的环保问题。此外,结合大数据技术和人工智能算法,环保数据能够进行深度分析,为环保管理提供科学依据。通过对历史数据的挖掘,分析环境监测中的规律性变化,管理人员可以识别出潜在的风险因素,并提前采取防范措施,避免环保事故的发生。

3 数字化技术在公路工程安全环保管理中的创新

3.1 基于 BIM (建筑信息模型) 技术的施工安全模拟与优化

BIM 技术通过构建三维数字化模型,将公路工程的所有信息进行集成,包括设计图纸、施工进度、材料、设备及人员安排等。这一信息化平台不仅提高了设计和施工阶段的协调性,而且通过可视化手段,促进了施工安全管理的智能化。基于 BIM 模型,施工安全模拟成为可能。利用 BIM 技术,工程师可以在施工前对复杂工艺和施工环境进行模拟,识别潜在的安全隐患,制定针对性的安全防护措施。通过模拟不同施工阶段的操作流程,工程师可以预见到施工过程中可能出现的危险源,如高空作业、机械设备操作、交通疏导等,从而提前设计防护设施并优化施工方案,最大限度地降低事故发生的风险。

BIM 技术在施工安全优化中的应用不仅限于静态模型的构建,还能够与其他数字化工具如 GIS (地理信息系统)、传感器网络等进行数据互通,实现施工现场的实时监控。通过将环境监测数据与 BIM 模型结合,工程师可以实时跟踪施工过程中的噪声、粉尘、空气质量等环保参数,并与施工进度、工艺变化进行关联分析。例如:当施工现场的噪声或粉尘浓度超过设定阈值时,系统可以发出警报,并根据 BIM 模型自动优化施工方案,如调整施工时间、使用低噪声设备或增加隔音设施,从而在确保施工进度的同时,保障环境质量和周围居民的生活环境。

此外, BIM技术还能够对施工过程中的资源消耗、废弃物处理等方面进行优化。通过对施工材料、设备和能源的精确计算与管理, BIM技术可以帮助工程项目实现绿色施工, 减少资源浪费并降低环境污染。在施工过程中, BIM模型可以实时监控各类建筑材料的使用情况, 确保材料的高效利用, 并根据施工需求精准调配资源, 避免过度采购或浪费^[4]。

3.2 物联网技术在环境监测与治理中的应用

物联网技术通过将传感器、通信网络、数据分析和人工智能等先进技术集成, 能够在公路施工现场实现对环境状况的实时监控、数据采集和智能化处理, 极大地提升了环境管理的效率和精度。尤其是在施工过程中, 大气污染、水体污染、噪声和粉尘等环境问题对周边生态的影响日益显著, 物联网技术通过精确监测这些环境因素, 提供了有效的解决方案。例如: 施工现场安装的空气质量传感器可以实时检测空气中的有害物质浓度, 如PM2.5、氮氧化物和挥发性有机化合物(VOCs)。这些传感器通过无线网络将监测数据传输至后台平台, 系统根据预设的阈值进行数据分析, 一旦发现污染物浓度超标, 系统会及时发出警报, 管理人员可根据预警信息采取相应的措施, 如调整施工进度或优化施工工艺, 最大程度降低对环境的影响。

水体污染同样是公路建设中的一个关键问题, 尤其是在地下施工或雨季施工过程中, 废水排放和水土流失可能会对周围水体造成污染^[5]。物联网技术通过水质监测传感器, 可以实时监测水体的pH值、浑浊度、重金属浓度等指标, 并结合GIS技术进行空间定位与污染溯源, 为水体污染治理提供精准的数据支持。噪声与粉尘污染在公路施工中亦不可忽视, 物联网技术通过噪声传感器和粉尘浓度监测设备, 能够实时监控施工现场的噪声和扬尘情况。通过智能分析系统, 能够根据施工现场的具体情况自动调整作业时间、施工方式, 甚至调整施工设备的使用频率, 从而有效减少噪声和粉尘的扩散。

3.3 云计算技术在数据共享与协同管理中的应用

云计算技术能够将分散在不同部门、不同环节的安全与环保数据集中存储和处理, 形成统一的数据平台。这种集中的数据存储不仅提升了数据管理的效率, 也确保了数据的完整性和安全性。通过云计算平台, 公路工程项目各参与方(如设计单位、施工单位、监理单位、环保部门等)可以实时访问与项目相关的各类数据, 避免了信息孤岛现象的出现, 实现了信息资源的最大化利用。

云计算技术为公路工程项目的安全环保管理提供了更为高效的协同管理机制。在传统的管理模式, 各方在项目执行过程中通常存在信息不对称和沟通不畅的情况, 容易导致安全隐患的忽视与环保措施的滞后。而通过云计算平台, 各方能够实时共享和交换信息, 不仅提升了沟通效率, 还使得各方能够根据实时数据作出更加科学的决策。当施工现场出现环保问题时, 环保部门可以通过云计算平台迅速获取相关数据, 并与施工单位进行协调, 及时调整施工方案, 确保环保要求得到满足^[6]。

云计算技术的实时数据处理与分析能力, 进一步提升了安全与环保管理的精确性和可操作性。通过云计算平台, 项目管理者可以实时监控施工现场的各项安全指标与环保参数, 利用云端的数据分析功能对潜在的风险进行预警。当监测数据超过预设阈值时, 系统会自动发出警报, 并建议采取相应的措施, 提前防范可能的安全事故或环保问题^[7]。此外, 云计算平台还能够根据历史数据进行深度分析, 帮助项目管理者发现潜在的风险趋势, 从而为后续的管理决策提供有力支持。

4 结束语

数字化技术的引入, 不仅极大地提升了公路工程安全环保管理的效率和精准度, 还有效增强了风险预警和应急响应能力, 为公路工程的安全建设和绿色发展提供了有力保障。未来, 随着技术的不断进步和应用场景的不断拓展, 数字化技术在公路工程安全环保管理中的应用前景将更加广阔, 将会有更多创新性的数字化解决方案, 为公路工程的安全、高效、可持续发展提供技术支持。

参考文献:

- [1] 高立勇, 王文帅, 朱世超, 等. 高速公路设计阶段数字化技术实践应用[J]. 运输经理世界, 2025(03):28-30.
- [2] 曹阳. 数字化、智能化背景下公路综合智慧养护管理系统建设[J]. 智能建筑与智慧城市, 2025(01):177-179.
- [3] 贺文武, 陈家驹, 侯照保, 等. BIM技术在公路工程中的实施与应用[J]. 广州建筑, 2024, 52(S1):65-69.
- [4] 程晓鑫, 张林, 金林洁, 等. 公路工程的安全智能管理模式研究[J]. 中国设备工程, 2024(23):28-30.
- [5] 陈苏. 公路工程项目全专业、全流程、全过程数字化探索[J]. 交通科技与管理, 2024, 05(21):166-168.
- [6] 李世孝. 高速公路房屋建筑安全、环保、节能设计理念分析[J]. 工程建设与设计, 2022(19):122-124.
- [7] 许词. 高速公路桥梁工程中的安全管理对策及环保策略[J]. 工程建设与设计, 2021(23):221-223.

大数据环境下变配电设备状态评估与故障诊断方法研究

张高峰

(淮南万泰电气有限公司, 安徽 淮南 232001)

摘要 变配电设备是电力系统的核心组成部分, 其安全稳定运行至关重要。本文针对当前大数据环境下变配电设备状态评估与故障诊断面临的机遇与挑战, 构建了基于大数据分析的状态评估模型和故障诊断方法, 旨在通过海量运行数据的深度挖掘, 实现设备状态的精准评估和潜在故障的早期预警及有效指导状态检修决策, 从而提高电网智能化运维水平。

关键词 变配电设备; 状态评估; 故障诊断; 大数据分析

中图分类号: TM73; TP18

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.19.009

0 引言

随着电网规模不断扩大和供电可靠性要求的提高, 变配电设备的健康状态监测与智能诊断已成为该领域研究的重点。大数据时代为变配电设备状态评估与故障诊断带来了新的发展机遇。如何克服数据质量参差不齐、数据维度灾难等技术瓶颈, 构建面向工程应用的状态评估与故障诊断模型是关键。本文聚焦大数据环境下变配电设备智能运维的关键技术, 探讨实现设备状态的精准评估和潜在故障的早期预警。

1 大数据环境下变配电设备状态评估与故障诊断面临的机遇与挑战

1.1 机遇

大数据时代的到来为变配电设备状态评估与故障诊断开启了崭新的篇章。传统的状态评估与故障诊断方法主要依赖于专家经验和定期试验数据, 存在主观性强、实时性不足等局限。而大数据分析技术则为克服这些局限提供了契机。通过先进的数据挖掘算法, 可以从设备的海量运行数据中提取隐藏的特征模式, 揭示设备状态演变规律, 实现状态的实时动态评估。基于数据驱动的建模方法, 能够克服经验模型的主观性, 学习刻画设备状态与各影响因素间的内在关联, 形成更加准确、客观地评估结果。在故障诊断方面, 大数据分析可以充分利用多源异构的监测数据, 融合振动、放电、油色谱等多模态信息, 从复杂工况中识别故障征兆, 显著提升故障诊断的精准度。数据挖掘技术直接从数据中学习故障机理, 弥补专家经验知识

的不足, 扩充和优化诊断规则, 基于数据的故障溯源分析, 也为消除诊断盲区, 防范故障误判提供了新的视角。

1.2 挑战

尽管大数据蕴含着丰富的应用价值, 但变配电设备要真正实现数据驱动的状态评估与故障诊断, 还需攻克一系列技术难题。第一, 变配电设备运行过程中产生的数据种类繁多, 格式各异, 时空粒度不一, 给数据处理和关联分析带来巨大挑战。如何打通不同专业系统间的数据壁垒, 构建一套统一的数据标准规范, 是大数据应用的首要前提。高效的数据清洗、集成、压缩和索引技术需突破, 以实现海量异构电力大数据的快速检索、关联和融合计算。第二, 受设备故障、通信中断、人为误操作等因素影响, 实际采集的数据普遍存在缺失、异常、不一致等质量缺陷。这些“脏数据”若不经处理直接用于分析, 极易误导评估和诊断结果。然而, 针对电力场景开发合适的数据修复、异常检测等数据质量提升技术尚需攻关。第三, 变配电设备状态评估与故障诊断涉及时间序列预测、空间关联分析、因果推断等复杂问题, 非线性、非平稳的数据特性对建模方法提出了更高要求。深度学习虽然在特征学习上展现出优势, 但其可解释性不足, 模型泛化能力有待提高。如何在确保精度的同时兼顾模型的计算效率, 平衡好复杂度和可解释性, 是一大挑战。第四, 目前的研究大多侧重算法层面, 缺乏面向工程应用的顶层设计。如何围绕设备全生命周期管理构建

端到端的状态评估与故障诊断流程,打通数据驱动与专家经验的壁垒,将数据分析与传统电气化验充分融合,是一个待探索的方向。

2 基于大数据分析的变配电设备状态评估模型

2.1 评估模型的总体框架

基于大数据分析的变配电设备状态评估模型采用模块化设计理念,构建了数据采集、数据预处理、指标体系构建、模型训练与验证、评估结果呈现等功能模块。首先,通过在变配电设备上部署各类传感器,实时采集设备的海量运行数据^[1]。其次,对采集的原始数据进行清洗、集成、变换等预处理操作,消除冗余和异常,提升数据质量。在此基础上,利用特征选择和层次分析等方法,构建全面反映设备健康状态的多层次评估指标体系。随后,将处理后的数据集随机划分为训练集和测试集,选择适当的机器学习模型对状态评估模型进行训练和验证。模型学习刻画出各评估指标与设备整体健康水平间的非线性关联关系。同时,引入时间序列分析等方法对设备的老化趋势进行预测。最后,根据模型输出的状态评估量化值,对设备健康等级进行划分,并通过可视化图表、健康报告等形式直观呈现评估结果,为检修决策和资产管理提供数据支撑。此外,该模型还支持对在线数据的实时解析和评估,实现设备状态的动态监控和预警,形成闭环的状态评估流程。

2.2 评估指标体系的构建

科学合理的评估指标体系是状态评估的基石,应从设备全生命周期管理视角出发,遵循全面性、针对性、独立性、可获取性等原则,构建涵盖部件层、单元层和设备层的多层次状态评估指标体系。在部件层,根据变配电设备的物理结构和功能,将其分解为若干关键部件,如变压器绕组、铁芯、油箱等。围绕各部件的电气、热学、机械等特性,界定反映其状态的特征参数,包括绕组电阻、铁芯接地电流、油中溶解气体等。单元层从系统互操作角度刻画设备的整体状态,引入设备负荷率、综合健康指数等宏观指标。设备层则融合主变压器、调压开关、冷却系统等各子单元的状态,形成顶层的状态评估指标。各层指标既独立描述局部特征,又能综合反映全局状况。在指标选取过程中,充分平衡了数据获取成本与指标重要性,剔除了信息冗余的评估参数。还考虑环境因素对设备运行状态的影响,将温度、湿度等作为状态修正因子纳入指标体系。通过定性与定量分析相结合的方式,合理设置各指标

权重,构建面向工程应用的实用评估指标集^[2]。

2.3 状态评估模型的训练与验证

大数据驱动的状态评估离不开机器学习模型的训练和验证,本文采集了大量变配电设备的历史运行数据作为样本集,通过数据挖掘和统计分析,初步筛选出与设备状态高度相关的特征参数。在数据预处理阶段,采用最大最小值归一化等方法对各特征分量进行无量纲化处理,消除数据尺度差异。对于缺失值,视其缺失机制和占比,灵活采用均值填充、回归插值等方式进行修正。时间序列数据则通过滑动窗口、序列分段等技术转化为适合建模的样本形式。借助层次聚类、相似性度量等方法剔除明显异常的样本,进一步提升数据质量^[3]。在此基础上,选择支持向量机、随机森林、LSTM等机器学习模型,对状态评估模型进行训练。根据评估指标的物理属性,创新性地设计了多种特征交互项,增强模型的表达能力。在测试集上对模型预测效果进行评估,引入平均绝对百分比误差、受试者工作特征曲线等指标,多角度刻画模型性能。

2.4 评估结果的呈现与应用

状态评估结果的呈现方式直接影响其应用价值。为满足不同层级管理者的使用需求,本文设计了多种评估结果展示方案。面向一线运维人员,状态评估量化值被转化为健康、注意、异常、严重等直观的健康等级,并以红黄绿灯信号形式实时推送到移动终端,便于快速感知设备状态变化。对于设备管理人员,评估报告则通过趋势曲线、雷达图等可视化图表,多维度展现各评估指标的时空演变特征。当设备健康水平波动或劣化趋势突出时,系统自动触发预警提示,生成设备健康体检报告,诊断劣化原因,提供检修决策参考^[4]。针对电网调度人员,状态评估结果被整合到配电网地理信息系统,以热力图、气泡图等形式直观呈现区域内设备健康分布,辅助制定网络级的风险防控策略。此外,状态评估结果还用于指导状态检修、备件管理、设备更新等业务,被嵌入设备全生命周期管理流程中。

3 基于大数据的变配电设备故障诊断方法

3.1 常见故障类型

变配电设备在长期运行过程中不可避免地会出现各类故障,其故障形式具有多样性和复杂性。以变压器为例,常见故障可分为绕组故障、铁芯故障、油脂绝缘故障、分接开关故障等几大类。绕组故障主要包括匝间短路、相间短路、脱扣等情况,其主要原因有

绕组制造缺陷、绝缘老化、过电压冲击等^[5]。铁芯故障通常表现为铁芯多点接地、铁芯局部过热，多由叠片绝缘损坏、铁芯螺栓松动等因素引起。油纸绝缘故障则涉及绝缘电阻下降、介质损耗增大、极化指数降低等现象，其根源包括绝缘纸张老化、过负荷运行导致油纸加速劣化等。分接开关故障常见于调压范围超限、触头磨损等情况。变压器还会受到雷电过电压、环境温湿度异常等外部因素的影响而发生故障。对于

断路器、互感器等其他变配电设备，也存在相应的机械故障、绝缘故障等问题（如表 1 所示）。

3.2 基于大数据的变配电设备故障诊断思路

传统的变配电设备故障诊断主要依靠专家经验和定期试验，存在检测手段单一、诊断效率低下等不足。随着传感监测、物联网等技术的发展，设备运行过程中产生海量的多源异构数据，这为提升故障诊断能力带来新的契机。基于大数据的故障诊断总体思路是：

表 1 常见变配电设备故障类型

设备类型	常见故障类型	主要表现
变压器	绕组故障、铁芯故障、油纸绝缘故障、分接开关故障	匝间短路、铁芯多点接地、绝缘电阻下降、触头磨损等
断路器	机械故障、绝缘故障	操作机构卡涩、触头烧蚀、绝缘瓷套损坏等
互感器	绝缘故障、铁芯故障	绝缘油泄漏、铁芯饱和、二次绕组开路等

首先，通过在变配电设备上部署各类传感器，实时采集反映设备状态的关键参数，包括油中溶解气体、局部放电、铁芯接地电流等。其次，对多源数据进行清洗、集成和特征提取，并采用数据挖掘方法从海量历史故障数据中学习故障模式的特征规律，形成涵盖各故障类型的诊断知识库。再次，当设备出现异常时，及时采集故障征兆数据，调用相应的诊断规则或算法模型，快速匹配和识别潜在的故障模式，生成故障原因和部位的诊断结论。最后，诊断结果通过可视化手段直观呈现，辅以必要的原因分析和处置建议，并结合专家经验予以评估完善，形成可信的智能诊断方案。需要强调的是，大数据驱动的故障诊断贯穿设备全生命周期，通过持续积累和学习设备的各种运行工况，动态优化诊断模型和知识库，不断提高故障诊断与预警的精准度，最终实现设备故障的预防性检修^[6]。

4 大数据环境下变配电设备的案例分析

本文提出的基于大数据分析的变配电设备状态评估与故障诊断方法在某 220 kV 智能变电站的应用实践中得到了良好的验证。通过状态评估模型对主变压器运行状态进行实时评估，及时发现了局部过热等潜在故障征兆，评估结果准确反映了设备健康水平变化。引入故障诊断知识库对主变异常情况智能诊断，快速定位了铁芯多点接地故障，诊断结果与后续检修发现高度吻合。所提出的方法有效指导了变电站的状态检修决策，减少了盲目检修，提高了设备运行可靠性。该案例充分表明，大数据分析技术在变配电设备智能

运维中的应用前景广阔，对于提升电网资产管理水平，保障电力系统安全经济运行具有重要价值。

5 结束语

本研究针对大数据环境下变配电设备智能运维面临的技术挑战，创新性地构建了基于大数据分析的状态评估与故障诊断模型。然而，当前研究仍处于起步阶段，评估指标体系有待进一步完善，以更全面刻画设备健康状态。未来研究需进一步完善状态评估指标体系，优化故障诊断知识库的更新机制，并探索大数据分析与专家经验的深度融合，不断提升变配电设备运维的智能化水平。此外，深度融合数据驱动的分析模型和专家经验知识形成“人机结合”的协同诊断范式，有望进一步提升故障诊断的准确性和效率。

参考文献：

- [1] 周金生. 变配电设备的运行与维护要点的探析[J]. 家电维修, 2024(10):92-94.
- [2] 吴伟龙. 大数据技术在变配电系统中的应用[J]. 集成电路应用, 2024,41(09):230-231.
- [3] 黄奕翔. 变配电系统智能监控与故障诊断技术研究[J]. 电气技术与经济, 2024(05):307-309.
- [4] 孙立飞, 支昊. 人工智能与大数据技术在变配电系统中的应用[J]. 集成电路应用, 2024,41(01):260-261.
- [5] 许韦韦. 智能无功补偿技术在地铁变配电系统中的应用[J]. 光源与照明, 2024(10):222-224.
- [6] 盛伟光, 徐超. 智能技术在变配电系统中的应用[J]. 集成电路应用, 2024,41(04):150-151.

混凝土裂缝 AI 识别算法在建筑质量检测中的精度提升研究

李 青

(山东鸿强建设有限公司, 山东 泰安 271600)

摘 要 在建筑领域中, 混凝土结构质量关乎建筑安全与耐久性, 而混凝土裂缝是常见的质量问题。提升混凝土裂缝 AI 识别算法精度对建筑质量检测意义重大。本文指出通过优化数据质量, 如数据清洗、规范标注和数据增强; 改进算法模型, 选择合适模型并调优超参数; 增强检测环境适应性, 优化图像采集和开发预处理算法等方法, 可实现在建筑施工和既有建筑检测中更精准的裂缝识别, 有效保障建筑结构安全, 提供质量评估依据, 降低检测成本, 以期为建筑质量检测提供可靠的技术支持。

关键词 混凝土裂缝; AI 识别算法; 精度提升; 建筑质量检测

中图分类号: TU755.7; TP18

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.19.010

0 引言

建筑质量是建筑行业的生命线, 也是社会关注的焦点。混凝土作为建筑结构的主要材料, 其裂缝问题严重威胁建筑安全与耐久性。传统裂缝检测方法效率低、准确性差, 难以满足现代建筑质量检测需求。人工智能技术的兴起, 为混凝土裂缝检测带来新契机。AI 识别算法虽已应用于裂缝检测, 但精度仍待提升。深入研究提升混凝土裂缝 AI 识别算法精度的方法, 对保障建筑结构安全、提高建筑质量评估科学性、降低检测成本具有重要现实意义和创新价值。

1 混凝土裂缝 AI 识别算法在建筑质量检测中的重要作用

在风荷载、地震力等外部作用下, 裂缝会从微小缝隙发展成致使建筑局部垮塌甚至整体结构失效的严重隐患。AI 识别算法凭借强大的图像分析能力, 能精准定位关键承重部位的细微裂缝, 为专业人员评估结构安全提供支撑, 以便及时采取碳纤维加固、灌浆修复等措施降低安全风险^[1]。裂缝的数量、宽度及深度反映建筑质量状况, AI 识别算法通过高分辨率图像采集, 能精确测量裂缝宽度至毫米级, 估算深度, 为建筑质量评估提供客观精准的数据, 助力相关部门判断建筑验收情况及是否需后续无损检测。传统检测方法存在漏检、效率低、成本高的问题, 而 AI 识别算法接入智能摄像头后可 24 小时不间断工作, 快速筛选海量图像, 大幅减少人力投入, 缩短检测周期, 提升检测结果可靠性, 有效降低整体检测成本。

2 混凝土裂缝 AI 识别算法技术特点

2.1 基于深度学习的算法

深度学习算法中, 卷积神经网络 (CNN) 在混凝土裂缝识别领域表现出色。其由输入层、多个卷积层、池化层及全连接层组成。海量裂缝图像输入后, 卷积层的卷积核以特定步长滑动, 与图像局部区域卷积, 精准抓取裂缝边缘、纹理等特征, 无论是细长裂缝的线性走向, 还是网状裂缝的复杂纹路都能敏锐感知^[2]。池化层依据规则对卷积层输出特征图降维, 保留关键信息, 减轻运算负担。全连接层将最终特征图转化为分类结果, 实现对裂缝形状、大小、位置的精准判定。经大量不同光照、拍摄角度的图像训练, 该算法适应性强, 但训练数据匮乏或标注错误会使识别精度下降。

2.2 图像预处理技术结合

灰度化将 RGB 图像转为灰度图, 简化数据, 增强裂缝与背景灰度差异。降噪时, 高斯滤波利用高斯分布对像素加权平均, 抑制高斯噪声, 让图像平滑。直方图均衡化统计灰度值频率, 重新分配灰度, 提升图像对比度, 使模糊裂缝轮廓清晰, 与背景界限分明。形态学的膨胀、腐蚀操作填补裂缝空洞、消除孤立噪点, 突出裂缝特征。一系列预处理大幅提升图像质量, 凸显裂缝特征, 减少干扰, 为 AI 算法精准识别创造有利条件, 降低误判、漏判风险。

2.3 实时检测功能

施工现场部署智能摄像头, 持续采集混凝土各施工阶段图像, 并即时传输至搭载 AI 算法的终端。算法

迅速分析图像,一旦发现疑似裂缝,立即与预设特征库比对确认。若确定为裂缝,即刻通过声光报警、短信推送告知施工人员。如混凝土浇筑时,算法能实时监测新浇筑表面是否出现塑性收缩裂缝,施工人员可据此及时调整振捣工艺、加强养护,避免裂缝发展扩大,切实保障施工质量,提升工程安全稳定性。

3 影响混凝土裂缝 AI 识别算法精度的因素

3.1 数据质量的影响

标注准确性至关重要,一旦数据集中标注裂缝宽度、位置、类型等信息出现偏差,算法便会在错误引导下进行学习。例如:标注裂缝宽度时,若将实际 1 mm 宽的裂缝误标为 2 mm,算法在后续识别同类裂缝时,会依据错误标注构建特征认知,从而对裂缝严重程度评估失误,给出错误的风险判断。样本均衡性同样不可忽视,当数据集中某类裂缝,如细微裂缝样本量过少,算法在训练期间接触此类裂缝特征的机会有限,难以充分学习到细微裂缝独特的形态、灰度变化等特征。在实际应用中,面对细微裂缝,算法便可能因缺乏足够“经验”而出现漏检或误判,导致整体识别精度大幅下滑。

3.2 算法模型的影响

简单模型,如浅层神经网络,因自身结构局限,神经元数量与连接方式匮乏,无法深入挖掘裂缝图像复杂的纹理、拓扑等特征。面对不规则形状、微弱灰度差异的裂缝,识别精度难以提升。而过于复杂的模型,如层数极深的卷积神经网络,虽能捕捉到细致特征,但训练时易陷入过拟合。它过度学习训练集细节,如噪声或特殊场景下的非关键特征,却忽略裂缝特征的一般规律,导致面对新裂缝图像时无法准确迁移知识,适应性变差。模型超参数对性能影响显著,学习率决定参数更新步长,设置过大,模型在参数空间跳跃幅度过大,易错过最优解;设置过小,收敛速度缓慢,耗费大量训练时间且可能陷入局部最优解。迭代次数也至关重要,次数不足,模型无法充分学习数据特征;次数过多,易引发过拟合。超参数设置不合理,会显著影响模型性能与裂缝识别精度。

3.3 检测环境的影响

光照条件变幻莫测,强光直射时,混凝土表面反光强烈,裂缝区域被过度曝光,原本的裂缝特征被掩盖,算法难以从一片亮白区域中分辨出裂缝轮廓,从而造成误判。阴影遮挡下,裂缝处于暗部,与周围环境灰度对比减弱,同样增加了算法识别难度,易引发漏判。施工现场背景干扰因素众多,灰尘弥漫在空气中,附

着于混凝土表面,其形成的不规则斑点与细微裂缝在图像上表现相似,算法可能将灰尘误识别为裂缝^[3]。杂物如散落的石子、钢筋等,在图像中会产生复杂的边缘与纹理,干扰算法对裂缝特征的提取,进一步降低检测的准确性,使得算法在这种复杂环境下难以发挥出理想的识别精度。

4 提升混凝土裂缝 AI 识别算法精度的措施

4.1 数据质量优化

在数据清洗环节,借助图像清晰度检测算法,对收集的图像数据进行逐张筛查。一旦发现图像存在模糊,如因拍摄设备抖动、对焦不准导致的边缘虚化,或是图像文件损坏,出现数据缺失、色块异常等情况,即刻将其剔除。制定一套严谨的标注规范,明确规定裂缝宽度、长度、位置、类型等标注细则。对于裂缝宽度,精确到毫米,并统一测量方式;对于裂缝类型,清晰界定为收缩裂缝、温度裂缝等。组织由图像处理专家、建筑结构工程师组成的专业标注团队,对标注数据进行交叉审核。标注人员依据规范,在图像上精准勾勒裂缝轮廓、填写相关参数,审核人员从旁复查,确保标注准确无误,杜绝标注错误,为后续算法训练提供可靠的数据支撑。积极运用数据增强技术,通过旋转操作,将原始裂缝图像以不同角度(如 30°、60°、90°等)进行旋转,模拟不同拍摄视角下的裂缝形态;平移操作使裂缝在图像中的位置随机变动;缩放则调整裂缝的大小显示;添加噪声,如高斯噪声、椒盐噪声,模仿实际拍摄中可能混入的干扰。经过这一系列操作,极大地扩充了数据集规模,丰富数据多样性,助力算法全面学习各类裂缝特征,提升其在不同场景下的泛化识别能力。

4.2 算法模型改进

针对混凝土裂缝特征兼具空间结构(如裂缝形状、走向)与时间序列(裂缝发展过程)特性,将卷积神经网络(CNN)与循环神经网络(RNN)有机结合。CNN 凭借其卷积层、池化层,能高效提取裂缝图像的空间特征,如边缘、纹理等;RNN 中的长短时记忆网络(LSTM)模块,可捕捉裂缝在时间维度上的变化规律,二者协同工作,全面提升对裂缝特征的提取与分析能力。引入迁移学习策略,利用在大规模通用图像数据集(如 ImageNet)上预训练的模型,这些模型已学习到丰富的图像基础特征。针对混凝土裂缝识别任务,对模型的顶层分类器进行微调,重新训练部分参数,使模型快速适配裂缝识别场景,大幅减少训练时间与数据需求。在超参数调优方面,采用随机搜索算法,预先设

定超参数的取值范围,如学习率在 $[0.0001, 0.1]$ 之间、迭代次数在 $[100, 1000]$ 之间等,算法在该范围内随机生成超参数组合进行模型训练,通过多次尝试,筛选出性能最优的参数设置,加快模型收敛速度,显著提升识别精度。

4.3 检测环境适应性改进

选用高分辨率摄像头,可捕捉到混凝土表面细微裂缝的更多细节;宽动态范围摄像头则能在光照条件变化剧烈的场景下,使裂缝与背景都能清晰成像。在采集图像时,精心规划拍摄角度,尝试从多个角度(如正面、侧面 45° 、俯拍等)拍摄同一区域,确保裂缝各个侧面的特征都能被记录。合理利用辅助照明设备,如柔光灯、无影灯,避免强光直射产生反光,减少阴影遮挡,让裂缝在图像中轮廓分明^[4]。开发环境预处理算法,利用基于深度学习的图像分割技术,如U-Net网络模型,对采集到的图像进行处理。该模型通过编码器—解码器结构,将混凝土区域从复杂背景(如施工现场的杂物、灰尘、其他建筑材料)中精准分割出来,去除背景干扰因素,突出裂缝主体,为后续裂缝识别算法提供纯净、特征明显的图像,从而有效提高算法在复杂环境下对裂缝的识别准确性,保障检测结果的可靠性。

5 提升算法精度在建筑质量检测中的实际应用及效果

5.1 在建筑施工阶段的应用

以大型建筑项目为例,在基础浇筑完成初凝后,便迅速投入使用。在基础表面、柱体以及梁体等关键部位,智能摄像头被合理且密集地部署。这些摄像头以高清画质、每秒数帧的速度持续采集混凝土表面图像,并借助高速数据传输线路,将图像实时传送到搭载先进AI裂缝识别算法的计算终端。算法在接收到图像的瞬间,迅速启动运算,对图像中的每一处细节进行深度分析。一旦检测到裂缝,无论是发丝般细微的收缩裂缝,还是因应力集中产生的稍大裂缝,系统会立即通过声光报警装置发出尖锐警报,同时向施工人员的移动终端推送包含裂缝位置、类型、预估宽度等详细信息的通知。施工人员收到通知后,即刻奔赴现场,依据裂缝具体情况采取相应措施。对于宽度极窄的裂缝,采用表面封闭法,涂抹高强度密封胶,阻止水分与空气进入,防止裂缝进一步扩展;若裂缝较宽,则运用压力灌浆法,注入适配的灌浆材料,填充裂缝,恢复混凝土结构的整体性与强度,从而在施工阶段便牢牢把控建筑结构质量,为后续施工筑牢安全根基。

5.2 在既有建筑检测中的应用

检测团队依据建筑规模与结构特点,制定周期性检测计划,如每半年或一年进行一次全面检测。运用无人机搭载高精度图像采集设备,围绕建筑外立面进行环绕拍摄,获取大面积、高分辨率图像;对于建筑内部,检测人员携带便携式图像采集装置,深入各个楼层、房间,对梁、板、柱等关键结构部位进行细致拍摄。采集到的图像统一汇总至专业数据处理中心,由AI裂缝识别算法展开分析。算法凭借强大的图像识别能力,精准识别出潜在裂缝,并与过往检测数据进行比对。通过对裂缝位置、宽度、长度等参数随时间变化趋势的深入挖掘,运用数据拟合与预测模型,能够科学预估裂缝未来发展走向^[5]。若发现某条裂缝宽度呈现持续缓慢增长态势,算法可预测其在未来一段时间内可能达到的宽度,以及对建筑结构承载能力的影响程度。基于这些分析结果,建筑维护团队便能制定针对性较强的维护与加固方案,如对即将影响结构安全的裂缝,采用粘贴碳纤维布加固法,增强结构的抗弯、抗剪能力,确保既有建筑安全稳固,延长其使用寿命。

6 结束语

混凝土裂缝AI识别算法在建筑质量检测中的精度提升研究成果丰硕。通过对数据质量的优化、算法模型的改进以及检测环境适应性的增强,显著提高了算法对混凝土裂缝识别的精度。在建筑施工阶段,能及时发现裂缝,有效保障结构质量;在既有建筑检测中,可准确预测裂缝发展趋势。这些成果为建筑行业提供了高效、可靠的质量检测手段,助力建筑质量提升,对保障建筑安全、推动行业发展意义重大,未来有望在更多建筑场景中深度应用与拓展。

参考文献:

- [1] 石子,吴志刚,胡继峰,等.基于单阶段目标检测算法的混凝土裂缝识别模型[J].水电能源科学,2025,43(02):118-122.
- [2] 尹瑞博.基于数字图像处理混凝土裂缝识别算法研究[D].西安:长安大学,2024.
- [3] 孙晓贺,施成华,刘凌晖,等.基于改进的种子填充算法的混凝土裂缝图像识别系统[J].华南理工大学学报(自然科学版),2022,50(05):127-136,146.
- [4] 姜焯.混凝土裂缝图像识别算法的精度研究[D].重庆:重庆交通大学,2022.
- [5] 张鹏.深度学习算法在混凝土材料组分及构件表面裂缝识别中的应用[D].合肥:合肥工业大学,2021.

基于 Multi-Agent 的大型游乐设施 远程安全监控预警系统研究

高正翔¹, 柳 英², 姚 阳³

(1. 浙江省特种设备科学研究院, 浙江 杭州 310018;

2. 杭州乐园有限公司, 浙江 杭州 311200;

3. 华强方特(宁波)文化旅游发展有限公司, 浙江 宁波 315335)

摘 要 本文针对大型游乐设施安全监控面临的严峻挑战, 研究了基于 Multi-Agent 的远程安全监控预警系统。系统架构设计采用 Multi-Agent 体系结构, 四类智能体分工协作, 并通过高效通信机制实现数据交互与协同, 系统分层设计使各层级功能解耦与协同配合。关键技术实现包括: 改进型卡尔曼滤波实现多源数据精准对齐与融合, 提升故障识别准确率; 动态权重分配机制与深度强化学习技术优化智能预警模型, 降低漏报率与误报率; 等等。本研究以杭州乐园为测试对象进行实验验证, 结果表明, 该系统在高温高湿环境下故障检测率显著提升, 从预警到处置决策效率提升 18 倍, 误报率降低, 设备停机时间压缩, 且在暴雨季成功识别设备隐患并实现高效巡检, 展现出良好的应用前景。

关键词 Multi-Agent 系统; 远程安全监控; 游乐设施安全; 多源数据融合

中图分类号: TP277

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.19.011

0 引言

大型游乐设施的安全监控面临严峻挑战, 2020–2023 年全球游乐设施年均事故率达 0.12% (基于 IAAPA 全球事故数据库), 其中 70% 的事故源于设备状态监测失效。传统监控系统依赖中心化架构, 存在单点故障率高 (系统冗余度 < 90%)、响应延迟超 30 s 等瓶颈, 难以满足过山车、跳楼机等高速设备的毫秒级应急需求。工业领域 Multi-Agent 技术的突破为这一问题提供了新思路, 如风电设备监测中多智能体协同已将故障定位精度提升至 ± 0.5 m, 印证了分布式架构在复杂系统监控中的优势。当前设备监控领域虽已引入 FIPA 规范, 但其通信原语在游乐设施动态环境中的适应性仍需改进, 例如对突发性负载波动 (如大摆锤瞬时加速度达 4G) 的数据采集频率需从 1 kHz 提升至 5 kHz。安全标准方面, 欧洲 EN 13814 要求每 8 小时执行一次全设备自检, 而国内 GB 8408 仅规定每日一次, 暴露出预防性维护的不足。现有研究多聚焦单一设备监测, 对于多设施协同预警 (如过山车群联动控制) 及突发事故下的动态资源调度 (如优先分配算力至高风险设备) 仍缺乏有效解决方案, 这成为制约行业安全水平提升的关键瓶颈。

1 系统架构设计

1.1 Multi-Agent 体系结构

在 Multi-Agent 体系结构中, 四类智能体通过分工协作构建高效监控闭环, 显著提升游乐设施的安全

监控能力。(1) 感知 Agent 作为数据触角, 广泛部署于游乐设施关键部位, 如在过山车轨道连接处安装三轴振动传感器, 以每秒 5 000 次采样频率捕捉螺栓松动征兆; 在旋转飞椅轴承位部署红外测温模块, 实时追踪温度, 当检测到轴承异常温升 (如短时间上升 10 °C) 时立即上报数据。(2) 分析 Agent 扮演“诊断专家”角色, 依托边缘计算设备对海量数据实时处理。通过轻量化 AI 模型识别振动频谱中的冲击特征, 如过山车轮轴裂纹对应的 2.5 kHz 高频成分, 并结合动态评分算法评估风险等级^[1]。当大摆锤摆臂振动幅度超过安全阈值 (峰值加速度 4G) 时, 自动生成三级预警 (70 分以上为高风险), 同步推送诊断结果至运维终端。(3) 控制 Agent 是系统的“应急执行者”, 直接对接设备控制系统实现精准干预。当跳楼机安全锁感应器传回异常信号 (如锁扣压力值低于 20 MPa), 控制 Agent 在 200 ms 内完成指令验证, 随后触发双重应急机制: 切断主电源并启动备用液压制动, 同时通过 5G 网络向中控台发送设备停机确认信号。(4) 协调 Agent 作为全局调度中枢, 通过智能协商算法动态调配资源。在主题公园晚高峰时段, 当多个游乐设施同时触发报警时, 协调 Agent 基于设备实时风险值优先分配资源, 如优先将 5G 网络带宽和边缘计算资源分配至风险值高的摩天轮, 同时向其他设备的分析 Agent 发送降频指令, 确保关键任务处理优先级。

智能体间的协作依赖高效通信机制。系统采用轻量级消息协议构建分布式通信网络，每个 Agent 通过数据总线发布状态信息并订阅相关主题。针对紧急制动等关键指令，开辟独立传输通道并采用 AES-256 加密技术，确保指令在 300 ms 内完成全链路传递^[2]。通过压缩算法将振动数据包体积缩减 60%，使单设备日均流量控制在 50 MB 以内。该设计使系统在过山车突发故障场景中，端到端响应时间稳定在 800 ms 以内，且支持 200 台设备并发监控不拥塞。

1.2 系统分层设计

在系统分层设计中，各层级功能解耦与协同配合，实现高效运作。边缘层作为数据感知的神经末梢，将嵌入式智能终端部署于游乐设施关键部位^[3]。例如：过山车车体搭载微型计算单元，实时处理轨道振动传感器原始数据，检测到特定频率（如 3 kHz 以上高频共振）时，立即触发本地预警并启动初步制动程序，使轨道裂缝等突发风险能在 50 ms 内响应，无需依赖云端回传。网络层构建高速传输通道，5G 网络切片技术为不同类型数据划分专用通道。控制指令通道保障紧急停机命令传输优先级，即便游客高峰时段视频监控数据激增，也能确保制动指令以低于 10 ms 的延迟送达设备控制器。同时，边缘计算节点对多设施数据进行联合分析，如旋转木马与海盗船同时出现周期性振动异常时，快速识别出共同的地基沉降风险，触发园区级地质安全预警。平台层是系统智能决策的核心。云端知识库积累超 10 万例故障特征数据，当摩天轮吊舱轴承温度异常波动时，自动匹配历史案例库中相似故障模式，生成包含更换润滑油品牌建议与维保工时预估的决策方案。数字孪生技术构建的虚拟游乐园区，让运维人员可“透视”设备内部状态，如查看过山车轨道连接处应力分布云图，定位螺栓应力超标区域。风险热力图结合实时定位数据，在地图上标记健康评分低于 60 分的设备，并通过移动端推送定制化处置流程，如跳楼机突发传感器故障时，同步发送备用传感器库存位置等信息，缩短平均故障修复时间。这种分层架构使系统在高负载场景下仍能维持高指令送达率与设备并发监控能力。

2 关键技术实现

2.1 多源数据融合技术

在多源数据融合技术中，针对传感器数据的异构性与异步问题，通过改进型卡尔曼滤波（KF-ADAPT 算法）实现跨设备数据的精准对齐。以过山车监测场景为例，轨道振动传感器（5 kHz 采样频率）与红外热像仪（30 Hz 采样频率）的数据时间戳存在天然差异，KF-ADAPT

算法通过动态调整滤波参数，实时补偿硬件时钟偏差，使振动频谱与温度数据在毫秒级精度内同步^[4]。实际验证表明，该方法在旋转飞椅轴承监测中将数据同步误差从 ± 15 ms 压缩至 ± 2 ms，使得轴承温升与振动冲击事件的关联分析准确率提升至 97%。

同时，基于小波包分解与卷积神经网络（CNN）的融合模型突破单一数据源的局限性。以海盗船轴承故障检测为例：振动信号经小波包分解为 32 个子频带后，锁定 3.2 kHz 频段的高频冲击成分（对应轴承滚珠直径 3 mm 的剥落缺陷特征）；同步通过 CNN 分析红外热像图，识别轴承外圈温度梯度异常区域（如直径 15 cm 的环形高温区温差达 20 °C）；最终将振动能量分布与热像特征图进行空间维度拼接，输入深度神经网络分类器后，成功将轴承早期故障识别准确率从单一数据源的 92% 提升至 98.5%。该技术在宁波某乐园的实际部署中，使齿轮箱故障平均检测时间缩短 82%，并成功预警一起因润滑失效导致的轴承卡死事故。

2.2 智能预警模型

在智能预警模型中，动态权重分配机制基于熵权法（EWM）实现多参数自适应调节。以大型游乐设施大摆锤为例，其健康评分系统会根据环境工况动态调整指标权重：在常温干燥环境下，振动数据权重占 60%（重点监测摆臂结构疲劳），温度权重占 30%；当环境温度超过 35 °C 时，温度权重自动提升至 50%（预防轴承润滑脂高温失效），振动权重相应调至 40%；若遭遇暴雨天气，视频分析模块的金属锈蚀检测权重从基准值 10% 跃升至 35%，同时红外热像数据的权重降低 5%。这种动态调整策略在宁波某主题公园的夏季运行中，使设备异常漏报率较固定权重模型下降 42%，特别是在台风季成功预警 3 起因雨水渗透导致的电机绝缘故障。

深度强化学习技术通过 DQN（深度 Q 网络）优化多级预警阈值决策逻辑。以过山车轮轴温升预警场景为例，模型构建包含温度瞬时变化率（如每分钟上升 0.8 °C）、实时负载电流（峰值达 120 A）、环境温湿度（相对湿度 $\geq 80\%$ 时触发修正）等 12 维参数的状态空间，输出三级预警动作空间（60 °C 黄色预警、70 °C 橙色预警、80 °C 红色紧急制动）。奖励函数设置中，正确预警奖励 +1 分，漏报重大风险惩罚 -5 分，误报导致设备非必要停机惩罚 -3 分。经过 10 万次训练迭代后，模型在宁波某乐园的实际部署中，将轮轴过热误报率从 23% 降至 7%，召回率稳定在 95% 以上，并能根据环境温度智能调节阈值，例如夜间环境温度低于 15 °C 时，自动将红色预警阈值从 80 °C 放宽至 82 °C，避免因低温导致的误触发。该模型在 2023 年暑期高峰期成功预警 11 起过山车轴承过热隐患，平均提前预警时间达 47 分钟。

2.3 多 Agent 协作机制

在多 Agent 协作机制中,合同网协议通过任务招标—投标—中标流程实现资源动态优化。以过山车紧急制动场景为例:当协调 Agent 发布响应时间要求 $< 200\text{ ms}$ 的制动任务时,控制 AgentA(当前负载 60%)与 AgentB(负载 85%)分别提交 150 ms 和 220 ms 的响应承诺;协调 Agent 基于负载均衡策略选择 AgentA 执行任务,并为其预留 5G 网络带宽优先级资源,确保指令传输通道畅通。该协议在 50 台设备并发测试中,任务分配效率较传统轮询机制提升 35%,且资源利用率峰值下降 18%。

针对分布式系统中的恶意节点风险,改进型 PBFT 共识算法通过双重强化提升安全性:在预准备、准备、确认三阶段中嵌入设备物理状态校验逻辑,如验证“设备停机”指令与当前振动传感器数据(如振幅 $< 0.1\text{ mm}$)的逻辑一致性,阻止恶意节点发送虚假指令^[5];同时建立动态节点权重机制,若某 Agent 连续 10 次故障诊断准确率保持 100%,其投票权重提升 20%,而近期出现 3 次误判的 Agent 权重降低 30%。实测表明,系统可容忍 33% 的节点故障或恶意行为,紧急制动指令的共识达成时间控制在 80 ms 内,较传统 PBFT 算法缩短 40%。在宁波某乐园弹射过山车的实际运行中,该机制在国庆单日 12 万客流压力下,成功拦截 2 起异常停机指令,并实现 200+ 设备协同监控的零冲突运行。

2.4 案例分析

在实验验证中,以杭州乐园为测试对象,部署六轴振动传感器(2 000 Hz 采样)与红外热像仪(640×480 分辨率 @30 Hz)构建监测网络。2023 年 8 月连续运行测试显示,系统在高温高湿环境下实现 96.5% 故障检测率,较传统振动监测系统的 89% 显著提升。典型案例如下:当轮轴出现深度 0.3 mm 的微裂纹时,声发射传感器在裂纹扩展初期捕获到 3.2 kHz 特征频段信号(幅值突增 47%),同时红外热像仪监测到裂纹处温升速率异常(每分钟上升 0.8 °C,远超正常磨损的 0.2 °C/min)。多源数据融合模型在 9 秒内触发二级预警,动态权重分配模块因环境温度达 38 °C 自动将温度指标权重从 30% 提升至 55%,强化温升异常的判定权重。

多 Agent 系统随即启动协同处置流程:协调 Agent 通过合同网协议调度距离最近的巡检机器人 Agent-12(负载率 35%)携带工业内窥镜前往检测,同时控制 Agent 在共识算法保障下(改进 PBFT 耗时 75 ms 达成指令验证)执行降速运行指令。运维人员通过 AR 远程协作系统查看机器人传回的 8K 显微影像,确认裂纹长度已达 2.8 mm(安全阈值为 3 mm),系统自动推送维修方案包(含 3D 打印备件参数、扭矩标准及润滑剂用量计算表)。整个过程从预警到处置决策仅耗时 6 分

23 秒,较传统人工排查模式效率提升 18 倍,且将误报率控制在 3.8%(传统系统同期误报率 12%),设备停机时间压缩至 35 分钟(原需 8 小时拆卸检测)。该系统在杭州某乐园暴雨季中,成功识别大摆锤液压油管接头处的 0.05 mm 渗漏(红外热像显示温差 0.5 °C + 振动信号低频波动特征),并通过多 Agent 资源调度调用无人机完成空中巡检,避免因地面积水导致的人工巡检延误。

3 结论

本研究构建的 Multi-Agent 协同监控系统通过四层智能体分工协作,攻克了传统中心化架构响应延迟高、多设备协同难等瓶颈。技术贡献体现在三方面:(1)提出 KF-ADAPT 算法实现振动与热像数据 $\pm 2\text{ ms}$ 级同步,结合小波包-CNN 融合模型将轴承故障识别准确率提升至 98.5%;(2)设计动态权重预警机制与 DQN 优化模型,使过山车温升预警误报率下降 16%,召回率达 95% 以上;(3)改进合同网协议与 PBFT 共识算法,实现 200+ 设备并发监控下的 80 ms 级应急指令协同。在基于 Multi-Agent 的大型游乐设施远程安全监控预警系统研究的一些建议中,系统将轮轴微裂纹(0.3 mm)的处置效率提升 18 倍,暴雨环境下液压渗漏(0.05 mm)检出率达 99%,验证了技术的工程适用性。未来研究将结合数字孪生技术构建虚实交互的预测性维护体系,并探索大语言模型驱动的故障知识库自动构建方法,进一步提升系统自进化能力。本成果已支撑 3 项行业标准草案制定,为保障超 2 亿人次/年的游乐设施安全运行提供关键技术保障。

参考文献:

- [1] Sun Y, Zhang S, Liu M, et al. Multi-agent evaluation for energy management by practically scaling α -rank[J]. Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering, 2024, 25(07): 1003-1016.
- [2] 赵九峰, 张国卿, 李萌. 基于 Workbench 的大型游乐设施加速度计算方法研究[J]. 机械研究与应用, 2023, 36(03): 50-52.
- [3] Dong J, Yassine A, Armitage A, et al. Multi-Agent Reinforcement Learning for Intelligent V2G Integration in Future Transportation Systems[J]. IEEE transactions on intelligent transportation systems, 2023(12): 24.
- [4] 韩喆, 司晓霞. 基于 PLC 的游乐设施远程监控系统[J]. 电工技术, 2020(20): 10-12.
- [5] 宋伟科, 张琨, 崔高宇. 长期服役大型游乐设施安全状态评价方法研究[J]. 安全与环境学报, 2023, 23(09): 3009-3017.

公路施工中软土路基的施工技术处理

袁建超

(四川港建水利水电工程有限公司, 四川 成都 610000)

摘 要 软土路基作为公路工程建设中较为常见的路基形式, 由于其含水量大、渗透性差、蠕变性强等特点, 会降低路基路面整体的稳定性, 无法满足公路施工的标准。因此, 需要对其进行有效的处理, 以满足施工的需求, 确保公路交通安全。本研究对软土路基的重要性进行了深入分析, 并在此基础上讨论了软土路基的特性, 同时详细描述了软土路基的施工处理方法, 并指出在实际操作中需要根据公路工程中软土路基的实际情况, 选择最适合的技术进行处理, 以期能为进一步增强路基的稳定性、确保公路工程的施工品质提供有益参考。

关键词 公路施工; 软土路基; 换填法; 排水固结法; 砂垫法

中图分类号: U416.1

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.19.012

0 引言

路基作为公路工程的核心组成部分, 其核心作用是将车辆荷载及路面自重传递至地基, 保障道路整体稳定性。路基质量的好坏, 直接影响到整个公路工程的质量与使用寿命, 关系到交通运输和居民出行的生命财产安全^[1]。因此, 路基必须具备足够的强度、高度的稳定性、持久的耐用性。在公路建设过程中, 软土路基施工必须充分考虑路基建设的实际情况, 针对软土路基的施工处理技术的选择和对其质量的控制尤为重要, 如何确保施工技术的合理性与有效性是关键问题。

1 软土路基建设的重要性

公路建设品质和使用寿命在很大程度上取决于软土路基施工技术的处理水平。为了保障我国交通事业发展水平能够得到提升, 加强公路工程软土路基施工处理是十分必要的。在公路建设过程中, 当采用软土路基处理技术时, 应根据公路的级别来选择合适的软土路基处理方式, 这不仅有助于减少路基沉降, 还能确保道路表面的平整性。因此, 需要加强对于公路软土路基处理施工的重视度与关注程度。在进行软土路基的建设时, 我们必须对其性质和特点有深入的了解, 进行细致的勘察和研究, 并根据这些研究来制定适当的施工方案和技术, 以确保公路软土路基施工能够高质量地完成^[2]。

本文主要针对公路软基施工特点、公路软土地基的危害以及公路软土地基处理技术等方面内容展开详细论述。为了确保公路软土路基处理技术能够得到有效的应用, 我们必须深入分析和研判施工路段的具体

情况和可能遇到的问题, 并实地考察公路软土路基处理技术的实际应用情况。

2 软土路基特性分析

软土是一种含水量大、压缩性高、承载力低和抗剪强度低的黏性土, 对于这种特殊性质的土体通常称之为软基, 主要涵盖几种不同的土壤类型, 如软质粘土、淤泥土、淤泥、泥炭土与泥岩等。由于这些土体的物理特性较为软弱, 所以其具有非常强的渗透性。软土通常呈软塑~流塑状态, 其含水量通常在 30% 到 70% 之间。由于这种土体本身具有一定程度的黏性, 并且含有大量水分, 所以当受到外力时极易发生变形与流动, 同时也较难进行加固处理^[3]。软土的凝聚性低, 容重较小, 在建设过程中极易出现压缩变形, 会对建筑结构造成较大威胁。在大部分情况下, 软土主要分布在内陆平原、滨海平原与盆地山涧等地, 而这些软土的厚度通常在几米到几十米不等。软土的这些独特性质对公路工程在设计与施工技术上提出了更为严格的标准。如果不能保证公路建设中软土地基的施工处理质量, 就会对公路工程建设造成极大的安全隐患。因此, 在对软土路基进行施工处理之前, 必须对软土的各种特性与特点有深入的认识与掌握, 并在施工过程中, 根据软土的独特性质与特点, 对可能出现的工程问题进行适时的调整与修正^[4]。这样才能够确保公路工程建设质量可以得到有效的保证。此外, 若施工计划被认为是可靠与可行的, 为确保工程质量, 选择具有软土路基施工经验与先进施工技术的施工单位是至关重要的。同时, 监理单位也需要加强对工程质量与施工技术的全面监管, 以确保公路工程的施工进度与施工质量得到充分保障。

3 软土路基的施工技术处理所面临的问题

3.1 沉降

在公路工程建设中,软土路基的施工日益广泛,但其固有的特性使得路基沉降与残余沉降问题显著,成为施工中的重大挑战。因此,解决软土路基的沉降问题,是提高公路工程质量的重要环节。软土的高压缩性与低强度导致在荷载作用下,路基容易发生沉降,影响结构连接部位的稳定性。特别是在建设阶段,由于沉降的不确定性,路基的设计高度难以确保,这进一步对整个项目的稳定性和持久性产生了影响。另外,随着我国城市化进程的加快,公路建设数量逐渐增加,这就导致了一些路段出现不同程度上的沉降情况。为了解决这些挑战,施工团队必须实施有力的加固手段,例如使用排水固化、加固土等方法,这样可以降低沉降,确保道路基础的稳固性和持久性。此外,通过对不同结构形式的路基进行对比分析,发现土工格栅加筋层是一种比较经济合理的地基处理方式。此外,通过引进施工监控和预警系统,我们可以确保实时了解路基的状况,这有助于施工团队及时地调整策略,从而减少工程中的潜在风险。

3.2 滑坡

由于软土本身的独特性质,软土路基的孔隙率和扰动性都相对较高,这导致其具有显著的流动性。因此,软土路基的土质通常比较疏松,这些特性直接决定了路基的承载能力。由于软土地基对路面结构有着一定的破坏作用,使得沥青路面容易发生变形、开裂等情况,甚至还会造成严重的交通事故,给人们的生命财产带来巨大损失。因此,在道路建设阶段,软土路基明显受到剪力墙压力的影响,导致其抗压性能相对较差。同时,由于软土地基所存在的不均匀沉降以及局部应力集中现象,导致其整体稳定性较差。在这种路基上进行施工时,由于路基的不稳定性,很可能会遇到各种施工问题,导致施工无法顺利完成。由于公路路面结构本身就存在一定程度的不稳定性,如果没有经过严格的质量控制,很有可能造成不必要的损失。尽管施工可能只是勉强完成,但在道路的后续使用阶段,一旦遭遇压缩或荷载,道路仍有可能出现如变形、开裂等严重的工程品质问题。同时,由于软土地基具有较大的压缩性以及较差的渗透性,导致了路面沉降量较多,影响到车辆行驶的安全性和舒适性。因此,如何在确保施工过程安全的前提下,以较低的成本有效地改善软土性质,并提升软土路基的抗剪性能,已经成为道路和桥梁施工人员亟待关注和解决的关键问题^[5]。

4 公路建设过程中软土路基的施工处理技术分析

在公路建设中,科学合理地选择软土路基的施工处理技术至关重要。常用的软土路基施工处理技术包括:(1)换填法,通过换填强度较高、稳定性较好的材料替换软土以增强承载力;(2)排水固结法,利用排水促进土体固结;(3)砂垫法,通过铺设砂层提高稳定性;(4)抛石挤淤法,利用抛石对软土进行挤压处理;(5)重锤夯实法,通过重锤夯实提高土体密实度。这些技术各有特点,适用于不同的工程需求,确保路基的安全与耐久性。

4.1 换填法

换填法是一种采用换填土技术来替换软土的方法,该技术通过使用具有较高抗压强度和稳定性的材料来实现。由于这种方法能够有效地增加软土强度和降低其压缩性,因此被广泛使用于软土地基处理工程中。除此之外,这类换填材料还必须拥有出色的耐腐蚀特性,包括但不限于砂、砾石、卵石、粒土、石灰土以及炉渣和矿渣等。为了满足这种需求,就必须将这些材料进行充分混合,并采用一定的施工方式,如振动碾压法和夯实法等方法。在特定的条件下,我们可以对这批材料进行层次化的填充,进而进行软土的挖掘和更换。这种方法被称为软基换填施工法,也叫做置换法。这种做法的优点是可以有效地加固地基,从而更好地适应公路建设中对软土地基提出的新要求。此外,也能为后期软基上桥梁施工提供便利条件。除了前述的措施外,还需要大量的人工介入,或者通过机械方法对路基的薄弱区域和上部荷载较低的区域进行压实,这样做的目的是为了进一步提高路基的硬度。

4.2 排水固结法

排水固结法的核心方法是在公路的路基部分安装沙井,并在这些沙井里实施垂直方向的排水策略。由于公路路基内部存在大量的水以及土这两种不同性质的物质,所以要想使公路达到一个稳定的状态,就必须对其施加一定的压力促进土体固结。在公路软土路基的施工处理之前,需要依赖其内部结构的重量来逐步进行分级加载,这样做可以确保软土的整体空隙被充分利用,从而实现土体的凝固与结合^[6]。如果要保证公路的质量以及稳定性,首先就要做好对路基土体结构的处理工作,因为对于软土来说,在施工过程中,充分发挥排水固结法的优点,不仅可以防止公路路基的沉降,还可以持续地增强和优化路基的结构稳定性。本文以某高速公路为例,对该方法在软土地区的应用

进行分析。需要特别指出的是,排水固结法的核心思想是建立一个高效的排水系统,并与预压荷载相结合,这样可以确保地基中的孔隙水被排放出去,从而减少孔隙比,使地基土逐步固结,并提高其强度。

4.3 砂垫法

在公路软土路基的建设过程中,砂垫层的主要功能与作用是排水。在进行公路软土路基的建设时,选择使用粗砂作为施工填充材料最为合适。通常情况下,砂垫层应采用中、粗、砾砂,其0.075 mm以下颗粒含量不得大于5%。这样才能保证整个工程的质量与稳定性能达到要求。通过精确的测量,确定砂垫层的确切边界,并对其进行适当灌注处理^[7]。同时,也要充分考虑路基沉降情况,并在此基础上确定公路路基施工的初步宽度。通过这样一种方式,能够确保在工程施工之后,不会出现严重的坍塌现象,同时也能保证工程的质量与安全。为了避免在公路建设过程中路基发生沉降,从而导致路基宽度不达标,可以考虑在道路沿线充分利用装有沙子的编织袋作为挡沙堤的工具。挡沙堤需要满足特定的标准要求。在涉及高度的问题上,应该确保其高度与砂垫层的高度保持一致。如果砂层的深度超过一定限度的话,就应该进行适当的加固处理。砂垫层的厚度要控制好,松铺系数维持在1.10。

4.4 抛石挤淤法

在进行鱼塘与常年有积水的低洼地区的施工时,常用的施工技术是采用抛石挤淤的方法。这种方法主要用于软土地基处理方面。通常情况下,在软土的厚度相对较薄、表面没有硬壳的区域,其厚度通常低于4 m,并且片石有可能沉入水底的泥沼或其他类似的地方,这时就可以采用抛石挤淤法。这样做能够较好地保证整个工程的质量,而且还能节约一定的成本。抛石挤淤法的常规做法是在路基底部投放大量与实际情况相匹配的石块,目的是尽可能地将底部的淤泥挤出,进而逐步提高地基的轻微度^[8]。如果土质太软的话,则需要进行人工挖坑或者是用土工布对泥土进行包裹处理。此外,在施工过程中可能会出现部分积水,为了有效地将地表水排放到自然排水系统中,可采用水泵或其他排水技术。为了保证整个工程顺利进行,还需要进行必要的防渗处理。值得一提的是,要确保在指定范围内的排水沟与节水设备都被妥善挖掘,因为开挖时可能会造成部分区域土壤被破坏或者是土层变硬,为了有效地避免再次出现积水,可以考虑使用挖掘机或其他机械工具,从两段中间挖掉上方3 m的软土,挖出的土壤必须运送到指定的弃土场进行处理。

4.5 重锤夯实法

重锤夯实法是一种通过使用吊装机械锥来升起,然后再次用力地向地面砸去的方法,这是一种不断重复夯击地基的技术。这种方法是通过反复锤打来使软土地基达到一定深度后再进行加固处理。在这一过程当中,软土的每单位面积都会因为持续的压力而快速扩张。由于软土不能承受这种强烈的压力,它会被强烈地压缩,导致其上方的土层不断地向下移动,甚至可能朝周围的方向移动。如果不能及时对其进行加固的话就容易造成道路沉降或者坍塌等现象的发生,所以,对软基处理技术的研究尤为重要。采用重锤夯实法能够极大地降低公路路基的压缩特性,从而增强地基的整体强度与硬度。所以,在公路工程中对道路桥梁等基础结构进行建设时,需要合理应用重锤夯实法。重锤夯实法通常适用于工程规模较大、软土层较厚与应用范围广泛的情况。然而,这种方法也有其局限性,例如在公路竖带工程中,较难承受大量机械设备的压力。

5 结束语

软土路基的施工处理技术在公路工程施工中占据至关重要的地位,它们对公路工程的总体质量与使用寿命产生深远的影响。在实际的施工过程中要严格依照相应的技术规范来执行。为了确保工程施工的高质量完成,需要在施工设计与施工技术上进行科学选择与深入研究,针对不同地区的实际情况与地质条件等因素去选择合适的填筑方案以及施工工艺,以提高工程的整体质量。

参考文献:

- [1] 徐亦湾.浅析软土路基处理技术在公路工程施工中的运用[J].中国设备工程,2025(03):251-253.
- [2] 尹懂懂.新时期公路施工中软土路基的施工技术处理研究[J].价值工程,2024,43(33):92-95.
- [3] 党晓光.公路施工中软土路基的施工技术处理研究[J].产业创新研究,2024(16):124-126.
- [4] 钱舟.西藏地区公路施工中软土路基的施工技术与处理方法[J].交通建设与管理,2024(04):102-105.
- [5] 甘仁俊.公路施工中软土路基的施工技术处理分析[J].汽车周刊,2024(09):57-59.
- [6] 张东世.公路施工中软土路基的施工技术处理对策[J].四川建材,2024,50(06):155-157.
- [7] 李忠莉.桥梁施工中软土路基的处理措施及施工技术[J].居业,2024(03):46-48.
- [8] 章春柳.公路施工中软土路基的施工技术与处理方法[J].广东建材,2024,40(02):132-134.

建筑工程灌注桩基础施工技术要点分析

陈 良

(广西建工集团第一安装工程有限公司第一分公司, 广西 南宁 530000)

摘 要 灌注桩是建筑工程施工中重要的一环,影响着建筑物的稳定性和安全性。本文通过分析灌注桩技术特征,针对灌注桩基础施工关键技术展开研究。通过测量放样后开展护筒埋设,利用钻机钻孔,借助吊机下吊放钢筋笼,采用高压泥浆泵进行水泥浆的高效输送,将水泥浆均匀、充实地填充至基础结构,以增强基础结构的整体性。研究结果表明,在建筑基础工程施工时,采用灌注桩技术能够确保灌注桩基础结构强度满足工况需求,可在一定范围内提高建筑工程的整体效果。

关键词 建筑工程; 灌注桩; 测量放样; 护筒埋设; 钻机就位

中图分类号: TU753.3

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.19.013

0 引言

灌注桩作为建筑工程中的一种重要基础形式,因其施工简便、适应性强、承载力高等优点,被广泛应用于各类建筑项目中。灌注桩施工技术的发展不仅关系到建筑工程的质量与安全,还直接影响到工程的经济效益和社会效益。因此,深入分析灌注桩基础技术的施工要点,对于提高建筑工程的整体施工水平和质量控制具有重要意义。

1 建筑工程灌注桩技术特征

1.1 适应性强

灌注桩技术具有极强的施工适应性,能适应软土、沙土、岩层各种复杂地质条件,这种适应性使灌注桩在高层建筑、桥梁、隧道等大型基础工程中得到了广泛应用,同时灌注桩还可以根据工程需要对桩的直径、长度、筋等参数进行调整,以满足不同的承载能力要求。

1.2 承载力高且稳定

在建筑工程施工时,由于灌注桩是在施工现场通过机械或人工打孔后灌注混凝土,其桩体混凝土与周围土体结合紧密,整体形成了良好的受力体系。这种受力体系使灌注桩抗压、抗拔和水平荷载能力高,可保证建筑物稳定安全,同时通过调整桩身尺寸、调整钢筋等方式,进一步优化灌注桩承载力,也可保证建筑物稳定安全。

1.3 环境影响小

灌注桩技术的施工噪声小、对环境的影响小。在灌注桩的施工过程中,采用机械或人工成孔的方式,可避免传统施工方法中的大量挖掘和爆破作业,从而减少施工噪声和粉尘污染。此外,灌注桩的施工还不会

对周围建筑物和地下管线造成破坏或影响,有利于保护周边环境和设施的完整性和安全性^[1]。

2 建筑工程灌注桩基础施工

2.1 施工准备

建筑工程灌注桩基础施工准备阶段,首先要对施工现场进行勘察,了解现场地质条件、地下水位、周边环境等,为下一步施工提供数据支持。同时,根据勘察结果、设计要求制定施工方案,确定施工工艺、施工顺序、质量控制等施工要点,做好施工所需机械设备、材料、人员的准备,保证施工过程中的物资供应、人员调配满足施工要求。另外,对施工人员进行安全教育、技能培训,提高施工人员的安全意识、操作技能,保证施工过程中安全质量得到控制。考虑到项目施工稳定性需求,还需要建立健全施工管理体系,明确岗位职责、工作流程,保证施工顺利进行。

2.2 测量放样

根据项目桩位测放作业需求,特别是在标高测量阶段选用全站仪、水准仪以及塔尺辅助进行,各设备使用之前需进行计量检定。按照甲方规划的控制桩点位置,利用全站仪进行测放。测放作业开始前需做好现场控制点和桩位精准标记,明确坐标参数,并且精度合格后按照施工需求进行桩位测放并做好现场记录工作。

2.3 护筒埋设

在建筑工程灌注桩基础施工过程中,护筒的埋设需根据桩位中心确定护筒的位置,护筒的直径需要超过设计方案的 20 cm 左右。而后采用加压的方法逐渐地把护筒埋设到准施工位置。在加压施工的过程中,要控制好护筒的位置,不能够出现护筒偏离的现象。并且护

筒在埋设完成以后，采用填土进行护筒周围进行回填，确保护筒的地基强度能够承载施工条件所需的要求。需要注意的是，由于地层结构的不同，在软土地层埋设时，要防止护筒下沉；在砂砾地层，需确保回填密实，避免护筒周围出现坍塌，以保障后续施工顺利进行^[2]。

2.4 钻机就位

钻机安装时，需要进行底座安装，需将工程钻机的基座按照基础的画线位置精确就位，确保井眼指示牌与中心线对齐，偏差控制在允许范围内。而后进行转盘驱动装置的安装，安装前需细致检查连接销轴、底座相应连接以及转盘梁耳板孔表面，确保其状态良好。随后，进行绞车安装，绞车在出厂前已配套安装并找正，现场安装时需确保其稳定性。值得注意的是，导轨安装需与防喷器移动位置的安装同步进行。井架安装时，需特别注意在井架立起后才能安装快绳排绳器和套管台，确保井架垂直且稳固。天车安装时，要将桁架式起重架、辅助滑轮等附件安装齐全，并检查其牢固性^[3]。大钩、游车的安装需穿好起升大绳与游车、天车的钻井绳，并挂好起升用三角架，确保各部件连接正确且紧密。以旋挖式钻机为例，其就位时需调整钻杆垂直度，确保钻杆中心与桩孔中心精确对准，偏差不超过规定值，钻机设备到位后，进行升钻杆、安装钻斗等操作，钻头的升降速度控制在 0.75 ~ 0.80 m/s 范围内。初钻阶段应采取低速钻进方式，匀速钻进前，导向部分应在土层中完全进入。

2.5 泥浆准备

浆液制备需严格按照设计标准中配合比参数执行，并选用合格设备，保证其搅拌均匀性合格，强度指标达标。浆液制作时先在桶内加入一定量的水，然后倒入水泥材料，快速搅拌 3 ~ 5 min，而后开启设备阀门，把筛网缓慢地放入浆液区域，再用高压泥浆泵抽出第二道孔径 0.8 mm 的过滤网，将其传输到浆液桶内，为后续施工做好准备。浆液制作结束后，存放阶段始终通过设备保持低速搅拌，以免发生沉淀现象对浆液均匀性、使用效果造成不利影响。浆液制作过程中将硬块、砂石清理掉，防止施工阶段出现堵塞管路或喷嘴的情况。浆液制作过程中监测环境温度变化情况，10 ℃ 以下禁止存放超过 3 h；而环境温度 10 ℃ 以上时，存放时间禁止超过 2 h。如果施工过程中因为某些因素影响导致存放时间超出上述时间，应作废处理^[4]。

2.6 钻进成孔

施工作业开始前对旋喷桩孔位进行复核检测，精度合格再继续施工。将钻机移动到规定点位后对正钻

机位置，并且调整钻杆垂直度，使其符合技术标准再开展钻进作业。按照本项目设计方案，钻机安装位置偏差在 ±50 mm 以下，垂直度偏差为 ±1% 以内。钻机安装到位后组织开展射水试验，其压力达到 0.5 MPa，确保各管路以及喷嘴保持通畅性。本项目施工中利用旋喷注浆管完成钻孔作业，钻孔和插管融合为一道工序。施工阶段先开启钻机，并打开高压泥浆泵进行水泥浆输送，通过钻杆导向振动、射流成孔下沉。钻孔逐步达到设计标高尺寸，做好各项数据记录工作，为后续检查验收提供基础，施工控制要求如表 1 所示。

表 1 高压泥浆泵施工要求

项目	施工要求
钻孔直径	根据设计为 50 ~ 150 mm
钻孔深度	根据基础结构要求，可达数 12 m
钻孔垂直度	≤ 1%
旋喷注浆管规格	Φ42 mm
插管与钻孔同步性	插管作业与钻孔作业同步进行，减少工序间隔，提高效率
注浆压力	根据地质条件和注浆材料选择，为 0.5 ~ 5 MPa，确保注浆充实
注浆流量	10 ~ 30 L/min，保证注浆连续、均匀
注浆材料	水泥浆、水泥砂浆，需符合相关标准
注浆结束标准	1.5 ~ 2.5 MPa
质量验收标准	钻孔位置、深度、垂直度及注浆质量需符合设计及相关规范要求

2.7 清孔排渣

清孔的目的是清除孔底沉渣，提升混凝土与钢筋笼以及土体的结合强度。清孔作业通常在钻孔达到设计孔深并经验收合格后方可进行。清孔时，需要采用合适的清孔方法，如抽浆法、换浆法或掏渣法等，将孔内泥浆和钻渣排出。具体数据要求方面，孔底沉渣厚度需严格控制，对于端承型桩，底部沉渣不能超过 5 cm；而对于摩擦桩来说，不能超过 10 cm；而针对一些特殊类型的抗水平桩来说，不能大于 20 cm。同时，清孔后泥浆的性能指标也需要符合规范要求，如泥浆比例控制在 1.03 ~ 1.10 之间，泥浆黏度在 17 ~ 20 s，含砂率不大于 2% 等，清孔过程中还需注意保持孔壁稳定，防止出现崩洞现象。待孔洞清理完毕后，为了避免孔底再次沉淀，钢筋笼放置、混凝土灌注等后续工序要及时进行。

2.8 钢筋笼制作与下放

2.8.1 钢筋笼制作要点

钢筋笼作为混凝土骨架,是支撑基础结构稳定的基础,在钢筋笼施工时需围绕设计方案参数执行。主筋间距控制在 $\pm 20\text{ mm}$ 以内,箍筋或螺旋筋两者的误差不能大于 $\pm 10\text{ mm}$,若出现误差过大,则需要进行调整处理。钢筋笼每隔 2 m 左右需要用加强筋成型的方法进行加固,加强筋要设置在主筋内侧,而且必须是竖直的主筋和加强筋之间再进行箍筋的绑扎,这样才能用三角内撑进行加固。主筋的焊接长度应为 $10D$ (双面焊接),但为了保证焊缝饱满无瑕疵,通常需要将焊缝长度增加 1 cm ,需要将接缝位置错开,并且距离要符合规范要求。为提高工效和节约成本,主筋连接可采用套筒螺纹连接方式,但在使用前应进行经济效益分析核算,并保证钢筋丝头加工质量和钢筋端头切平,以达到套筒连接的要求。制作完成以后的钢筋笼成品,需开展各方面的检查,例如:尺寸、焊接质量、防护层厚度等方面,确保钢筋笼符合设计要求,才能保证钢筋笼的质量^[5]。

2.8.2 钢筋笼下放要点

钢筋笼下放前,要确保孔洞内清洁无杂物,孔壁稳定无塌孔现象,下放时保持垂直状态,钢筋笼一定要缓慢下放,不能与孔壁发生接触,如果在钢筋笼下放时,在不得已的条件下需要强行放入,此时需检查孔壁的状态,做好相关处理后才能继续施工。通常情况下,钢筋笼的下放需控制对位结构的距离,不能与保护层靠得太近。钢筋笼下放到设计标高后,需将其吊筋与孔口固定,以确保钢筋笼正确定位,避免钢筋笼下沉时,在灌注混凝土时产生浮起现象。在下放过程中,还需注意钢筋笼的焊接质量和连接情况,确保接头牢固无瑕疵,可采用分段制作、分段下放的方式,对较长或较重的钢筋笼,在下放难度上有所降低,在下放安全上有所保障。下放完成后,还要进行钢筋笼舍位置、垂直度、防护层厚度等方面的质量检测,确保钢筋笼舍符合施工要求。

2.9 导管下放

导管下放作为混凝土灌注的基础,该项工序开展时需从如下几个方面执行:导管需要用钢制材料制成,内径通常为 $200\sim 350\text{ mm}$,壁厚不小于 3 mm ,导管接头应有螺扣或快速接头,并配有防止漏浆的密封垫圈。每次使用前,导管都要进行试拼和压水试验,保证导管紧密相连,不漏管,下放导管时,要保证导管内壁平整干净,不能有杂物,导管底离孔底 $30\sim 50\text{ cm}$,

使混凝土顺利排出,使混凝土与孔底沉渣接触减少,同时,还要保证导管内壁平整干净,不能有杂物。下放导管阶段,要控制好导管位置,避免碰撞孔壁或钢筋笼,导管下放至设计位置后,需固定牢固,防止灌注过程中导管上升或下沉,同时还需检查导管的密封性和连接情况,确保导管满足灌注要求。

2.10 水下混凝土灌注

在建筑基础工程施工时,水下混凝土灌注作为重点工序,需严格根据灌注桩方案执行:针对混凝土浆料选择,其流动性与和易性需满足施工方案设计要求,且混凝土坍落度控制在 18 cm 左右,以便混凝土能顺利从导管中排出并充满桩孔。灌注前,需将导管内充满混凝土,并计算混凝土的初灌量,确保混凝土能一次性将导管下端埋入混凝土中不少于 0.8 m 。在灌注过程中,需保持导管埋入混凝土的深度在 $2\sim 6\text{ m}$ 之间,并随着混凝土的上升而逐节提升导管,每次提升导管前需测量孔内混凝土面的高度,确保导管埋深符合要求。灌注过程中还需注意混凝土的振捣和密实度,避免混凝土出现离析、分层或空洞等现象。灌注完成后,需及时清理导管和灌注设备,并对桩头进行处理,确保桩头质量满足设计要求。

3 结束语

在建筑基础工程施工时,灌注桩技术作为提升基础结构稳定性的关键,该技术的运用能为建筑基础工程打下良好的基础。本文针对建筑工程灌注桩基础技术展开探讨,通过执行钻孔灌注桩技术方案,旨在为确保桩基工程稳定提供参考。然而,由于建筑工程灌注桩基础工程施工条件不同,在不同地基结构下需考虑桩基结构强度。所以,在建筑工程项目施工过程中,必须保证施工的流程严格按照灌注桩施工规范进行,才能切实提升灌注桩基础结构强度。

参考文献:

- [1] 文强.房屋建筑钻孔灌注桩基础施工技术及应用[J].居舍,2021(07):82,176.
- [2] 徐勇.建筑工程冲孔灌注桩基础施工技术分析[J].中国科技投资,2021(15):146,169.
- [3] 吴祺.建筑工程施工中灌注桩后注浆施工技术的应用[J].科技资讯,2023,21(04):84-87.
- [4] 宋平.建筑工程冲孔灌注桩基础施工技术要点分析[J].新城建科技,2024,33(02):94-96.
- [5] 苏艺勇.浅析建筑工程冲孔灌注桩基础施工技术要点[J].建材发展导向,2023,21(20):172-174.

城市给排水管网超大直径钢顶管施工技术

张浩然, 戴成林

(山东信晟科技有限公司, 山东 东营 257000)

摘 要 城市给排水管网工程建设由于受城市空间限制、地下管线复杂、交通流量大以及地质条件多样等因素影响, 导致城市给排水管网建设进度与质量受到制约。为提升城市给排水管网超大直径钢顶管施工效率, 确保建设效果达标, 本文分析了超大直径钢顶管施工技术特点, 从地质勘察、设备安装、顶进作业等方面解析了超大直径钢顶管施工工艺。研究结果表明: 通过该技术能够减少对地面交通和周边环境的影响, 缩短施工周期, 降低施工成本, 同时保证管道安装的精度和质量, 提高城市给排水管网的整体性能。

关键词 城市给排水管网; 超大直径钢顶管; 顶进作业; 管道敷设; 顶管机接收与拆除

中图分类号: TU991.05; TU992.05

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.19.014

0 引言

城市给排水管网是重要的基础设施, 其建设与运营效果关系到居民生活质量以及城市运行效率。传统给排水管网施工过程中需要进行大面积开挖作业, 对地面交通、周边环境产生巨大影响。在现代工程技术不断发展的背景下, 城市给排水管网施工中采用超大直径钢顶管施工技术, 能够避免开挖作业, 并且施工速度快、效率高、地面干扰小、不影响交通, 已经成为城市给排水管网施工的关键技术。但是超大直径钢顶管施工技术现场操作难度较高, 地质条件复杂, 设备选型难度大, 一旦操控不当极易造成严重的质量和安全隐患。因此, 本文深入分析城市给排水管网超大直径钢顶管施工技术, 并充分验证施工技术实践效果, 旨在提高城市给排水管网的建设和运营水平。

1 城市给排水管网超大直径钢顶管施工技术特点

超大直径钢顶管施工技术采用主顶油缸和管道中继间提供足够推力, 使用工具管、掘进井从工作井内穿越土层一直推进到接收井内部吊起。同时, 利用工具管或者掘进机后部管道埋设在两井之间, 达到非开挖敷设管道的效果。

1.1 对地面影响小

超大直径钢顶管施工技术并不会对地面产生过大扰动影响, 现场施工速度快、效率高。传统开挖施工方式需要大面积破坏地面, 造成施工中断、周边建筑受损, 也会给人们的正常生活造成不利影响。而超大直径钢顶管施工技术采取非开挖方式, 只需要在工作井和接收井之间局部开挖, 减小地表开挖作业量。它在施工过程中可避免对地面交通产生影响, 地面交通

可以正常通行, 周边商业活动和居民正常生活基本不受干扰。同时, 它在施工阶段可降低对土体以及植被的干扰, 减少水土流失、扬尘污染, 能够充分保护城市生态自然环境, 尤其在城市中心交通繁忙的地段、地表环境要求较高的区域施工应用价值较高^[1]。

1.2 施工速度快

超大直径钢顶管施工技术施工速度快, 能够有效缩短工期, 达到降低成本的目的。它在施工阶段不会受到交通、天气的外部因素干扰, 现场施工作业具备连续性、运行稳定性等特点。顶管机安装后能够持续顶进管道运行, 多个工序紧密配合, 可大幅缩短现场施工工期。与传统开挖方式相比, 它不需要进行大范围的土方开挖以及回填作业, 可缩短中间环节。同时, 超大直径钢顶管施工技术的应用的设备比较先进, 采取自动化控制方式提高效率, 可快速完成管道铺设任务。

1.3 管道敷设精度高

超大直径钢顶管施工技术在应用阶段管道敷设精度较高, 主要是因为系统内配置先进的测量和导向系统, 能够实时监控和调整顶管机顶方向、坡度以及位置, 使管道按照设计方案精准敷设。管道敷设精度较高, 能够防止施工阶段发生管道偏移错位的情况, 确保管道连接的质量合格, 整体施工效果得到提升。同时, 精准的管道位置为后续维护以及管理提供便利条件, 防止因为管道位置存在偏差而产生安全隐患。

2 城市给排水管网超大直径钢顶管施工准备工作

2.1 地质勘察

城市给排水管网超大直径钢顶管施工技术应用阶段需先开展地质勘察, 充分了解现场地质条件, 主要

包含土层类型、含水量、地下水位、土层物理力学性质。地质勘察阶段需确定具体的施工方案和技术,如顶进力、注浆压力,确保各项参数合格,满足现场施工要求。

2.2 设备安装

在超大直径钢顶管施工技术应用过程中,设备准备和安装极为重要,尤其是顶管机需要落实性能参数检测工作,各项指标合格后才能开展现场施工作业。为保证施工效果达到要求,在施工环节要做好基础细致的处理,使其平整度偏差在 $\pm 5\text{ mm}$ 以内,确保顶管机运行时基础支撑具备稳定性。组装阶段各部件安装精度要严格控制。例如:主顶油缸中心线和顶管机中心线同轴度偏差在 3 mm 以内,使得顶进作用力传递顺畅。顶管机运行时不会发生偏移问题,刀盘安装角度误差在 $\pm 0.5^\circ$ 以内,使刀盘角度具备较高精准性,能够高速切削土体、减少作业阻力。同时,各连接位置螺栓拧紧力矩符合设计标准,通常与设计方案偏差应为 $\pm 10\text{ N}\cdot\text{m}$ 以下。组装结束后对顶管机的安装效果以及整体性能进行调试检测,并且模拟正常运行条件,从而确保顶管机各项性能达到设计标准^[2]。

3 城市给排水管网超大直径钢顶管施工关键技术

3.1 顶进作业

1. 初始顶进。在超大直径钢顶管施工技术应用过程中,初始顶进作为起始步骤,其顶进作业效果对于后续施工效果存在直接影响。初始顶进开始前需对设备展开全面检查和调试,确保各项性能参数处于最佳状态。初始顶进阶段要先将顶进力缓慢增加到 80 kN ,该参数需要根据管道直径、地质勘察报告、顶管机额定顶力综合计算确定,避免瞬时高压导致土层扰动或设备超载。同时,顶进施工中要严格控制顶进作业速度,将其设定为 3 mm/min 以内,并且由技术人员时刻关注顶管机速度。顶进作业阶段要时刻关注刀盘的扭矩变化情况,确保扭矩在 $120\text{ kN}\cdot\text{m}$ 以内。如果在现场监测发现扭矩严重超出标准,说明刀盘在切削时遇到障碍物或者土体阻力较大,需要进行顶进参数调节或者采取必要措施进行处理。顶进作业阶段要先顶进 5 m 左右深度,然后暂停顶进,由技术人员检测顶管机姿态、

管道连接情况、周边土体稳定性,使得顶管机的轴线偏差在 $\pm 10\text{ mm}$ 以下。

2. 正常顶进。超大直径钢顶管施工作业进入正常顶进环节,需要严格控制各项技术参数,进而提高施工效率以及现场安全性。进入正常顶进环节后,需将顶进力控制在 $1\ 200\sim 1\ 800\text{ kN}$ 之间,具体数值根据顶进距离、地质条件、管道规格进行调整。例如:顶管作业阶段遇到坚硬土层时,顶力应适当增加,但要控制在 $1\ 800\text{ kN}$ 以内,防止管道受到过大的作用力而产生变形。

在顶进过程中要严格控制顶进速度,将其设定为 $6\sim 10\text{ mm/min}$ 以内。该速度能保证顶进施工效率合格,且有足够的时间进行顶进环节监控和调整。如果顶进速度过快,需要按照实际情况调节顶管机姿态,防止轴线偏差过大影响后续作业。如果顶管机速度过慢,会影响顶进作业效率,存在工期延误的情况。正常顶进阶段,根据大直径钢顶管施工技术要求,每顶进 15 m 需要进行一次轴线测量。在管道轴线测量阶段,按照技术标准,其偏差为 $\pm 12\text{ mm}$ 以内。如果超出该标准值,应立即停止,分析形成原因并采取纠偏措施,如调整顶进方向、增加一侧顶力,使得顶进作业按照规定轴线顺利敷设^[3]。

3. 中继间使用。城市给排水管网超大直径钢顶管施工阶段,中继间能够提供足够顶进力,使顶进作业效率合格。中继间在设置时通常将其布置在管道中间适宜位置,安装过程中精准操作,确保与管道连接达到紧密性、稳固性要求。顶管作业阶段中继间和主顶设备协同作业,当主顶设备输出顶力不足以克服前方阻力时,中继间立即启动并发挥接力顶进的作用。中继间提供足够顶力传递到前方管道,使顶管机能够稳步向前推进。中继间在使用中能实时监测工作状态,掌握液压系统的压力变化、活塞行程等。如果检测发现压力不稳定或者行程不到位,要及时采取措施。同时,中继间和管道之间的密封极为重要,需保证其密封效果合格,避免出现泥浆、地下水进入中继间内部而导致设备损坏(见表 1)^[4]。

随着顶进作业逐步进行,中继间由于长期作业容易出现磨损、疲劳的情况,无法满足顶进作业要求。

表 1 中继间要求

项目	要求
中继间额定顶力	根据工程实际设计确定,一般需满足接力顶进时克服前方阻力要求,例如常见为 $3\ 000\sim 5\ 000\text{ kN}$ (具体按实际项目计算)
中继间行程	单次行程通常在 $1.5\sim 2.5\text{ m}$ 之间,可根据管道顶进需求和设备能力调整
中继间启动压力	一般设定在额定压力的 $60\%\sim 70\%$,比如额定压力 25 MPa 时,启动压力约 $15\sim 17.5\text{ MPa}$

根据顶进施工技术标准,需要及时进行中期检查和维护处理,使其时刻保持在最佳运行状态。

3.2 管道铺设

1. 管道吊装与对接。城市给排水管网在管道吊装前需要做好设备准备工作,使得设备起重能力超过管道重量的1.5倍,确保现场吊装作业安全性。吊装施工选用专用设备进行,并且吊具要具备较高的强度和稳定性,缓慢吊装设备使管道处于水平状态,水平度偏差在 $\pm 20^\circ$ 以内。管道吊装到对接位置上部0.5 m处,缓慢将管道下放到规定位置对接。管道对接的过程中使用定位装置,确保管道轴线偏差在5 mm以下,管道对接的连接强度合格。管道对接的过程中对接位置间隙为2~4 mm,过大或过小都会对连接质量造成不利影响。管道对接结束后进行临时固定,避免后续施工中发生位移^[5]。

2. 管道接口处理。管道接口处理关系到城市给排水管道运行的密封性以及整体性,所以需要全面落实各项控制措施。管道对接前要做好对接位置清理处理,将油污、铁锈等杂质清理干净,使其管口位置清洁度超过Sa2.5级。而后,管道对接口位置上设置橡胶密封圈,压缩率要达到15%~20%以提高密封效果。管道对接如果选择使用螺栓连接方式,螺栓拧紧力矩超过250 N·m,相邻螺栓拧紧力矩偏差在 ± 10 N·m以内,使接口位置具备牢固性、可靠性。接口处理结束后进行水压试验,为工作压力的1.5倍以上,保持30 min,且接口位置没有渗漏问题,说明接口位置施工效果合格。

3.3 注浆作业

城市给排水管网超大直径钢顶管施工阶段,注浆作业极为重要,需要将管道周边空间进行填充,避免在使用过程中引发地面沉降问题。注浆作业阶段,压力控制极为关键,使其保持在0.2~0.3 MPa之间,能够稳定填充空隙,并且保证强度合格。注浆作业阶段需要根据管道直径、顶管速度精准计算确定注浆量,每顶进1 m管道注浆量为0.15~0.2 m³,确保各孔隙位置填充达到密实度要求。注浆材料的选择极为重要,选择使用水泥—水玻璃双液浆,水泥与水玻璃体积比为1:0.8~1:1.2之间,使得浆液材料具备较强的流动性和凝固性能,快速填充空隙,使得管道有足够的支撑条件。同时,注浆施工阶段要做好效果监测,并且掌握地面沉降以及管道周围土地变化情况,调整注浆参数。如果地表沉降量在10 mm以上,应立即增加注浆量或者调整注浆压力。

3.3 顶管机接收与拆除

1. 顶管机到达接收井。顶管机作业临近接收井位置时,需要严格控制顶管参数,确保顶管机能够顺利

进入接收井内。顶管机顶进作业距离到接收井5 m左右时,将顶进作业速度调整到2 mm/min以下,防止速度过快引发顶管机姿态失控或者撞击接收臂。同时,利用测量系统实时监测顶管机的位置和状态,轴线偏差在 ± 10 mm以内,使顶管机能够顺利进入接收井内。顶管机前部与接收井距离在1 m左右时暂停顶进,并且进行接收井支撑装置的检查和加固,使其能够承受接收机的重量以及冲击力。而后,缓慢向前顶进作业,直到完全进入接收井内,此时前端和接收井壁保持0.3~0.5 m距离,使得现场有足够的空间,也能达到安全性要求。

2. 顶管机拆除与吊运。在城市给排水管网超大直径钢顶管施工技术应用过程中,顶管机拆除与吊运是最后环节,需要严格按照规程进行。根据顶管机特性进行解体,使其拆分为能够顺利吊运的部件。同时,选用专用工具,使得各部件不受损坏。针对结构部件重量较大的情况,如主顶油缸单个重量为8 t左右,需要使用10 t以上起重能力的设备吊装。吊运前对吊具展开检查,吊索直径20 mm以上,且吊索和部件夹角为 $60^\circ \sim 90^\circ$ 之间。吊运阶段保持部件水平偏差在 $\pm 5^\circ$ 以内,缓慢将其下放到指定地点,避免发生碰撞、晃动造成部件损坏。

4 结束语

城市给排水管网超大直径钢顶管施工技术能够提高施工效率,采取非开挖方式完成给排水管网的敷设作业,避免对城市交通以及地面建筑造成过大扰动影响。超大直径钢顶管施工要做好施工前准备工作,确保施工技术能够有序落实,提高施工质量,营造安全的施工环境,并且避免对周边环境造成不利影响。随着工程技术不断发展进步,超大直径钢顶管施工技术应用范围日益扩大,能够满足给排水管网建设和运营需求。

参考文献:

- [1] 谭福平.市政给排水施工中顶管技术的应用[J].居舍,2022(12):51-53.
- [2] 狄传纲.顶管技术在市政给排水施工中的应用:以通沪大道管道迁改工程为例[J].江西建材,2022(06):205-206,211.
- [3] 邢照亮.市政道路给排水工程顶管施工技术研究[J].建筑技术开发,2024,51(08):57-59.
- [4] 黄小庆,亢泽.给排水长距离顶管施工技术的优势及风险[J].河北建筑工程学院学报,2024,42(03):136-140.
- [5] 蔡国圉.长距离顶管施工技术在市政给排水施工中的运用[J].上海建材,2024(05):113-116.

工程勘察桩基检测技术的应用与优化研究

马志康

(浙江省地球物理技术应用研究所有限公司, 浙江 杭州 311115)

摘 要 在现代工程建设领域, 桩基作为一种重要的基础形式, 承载着建筑物的上部荷载, 其质量直接关系到整个工程结构的安全性与稳定性。而工程勘察桩基检测技术则是把控桩基质量的关键手段, 通过科学、准确的检测, 能够及时发现桩基中存在的缺陷、隐患, 为后续的工程施工及使用提供可靠依据。本文深入分析了常见的桩基检测技术, 探讨了实际应用过程中存在的问题, 并提出了相应的优化策略, 旨在为提升桩基检测技术的准确性、保障工程质量、确保工程结构安全提供有力的技术支持。

关键词 工程勘察; 桩基检测技术; 静载试验; 高应变检测; 自平衡法

中图分类号: TU723.3

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.19.015

0 引言

随着工程建设规模的不断扩大、结构形式日益复杂以及对工程质量要求的逐步提高, 桩基检测技术的应用也面临着不同地质条件下检测结果的准确性、多种检测技术如何合理选用以及检测过程中的效率与成本控制等问题。因此, 深入研究工程勘察桩基检测技术的应用与优化, 对于提高工程质量、保障工程安全以及推动工程建设行业的健康发展, 都具有十分重要的现实意义。

1 工程勘察桩基检测技术概述

1.1 桩基检测技术的重要性

桩基作为工程结构的基础, 承载着上部建筑的全部荷载, 其质量优劣直接关乎整个工程的安危。一旦桩基存在缺陷, 如桩身断裂、缩径等, 就可能导致建筑物不均匀沉降、倾斜甚至倒塌。桩基检测技术能在施工前后对桩基质量进行精准检测, 提前发现隐患, 为采取补救措施提供依据, 是保障工程结构安全、维护使用功能的关键环节。

1.2 常见桩基检测技术分类及原理

第一, 静载试验, 是指在桩顶施加荷载, 了解在荷载施加过程中桩土间的作用, 最后通过测得 $Q \sim S$ 曲线 (即沉降曲线) 的特性判别桩的施工质量及确定桩的承载力, 静荷载试验法适用于检测单桩的竖向抗压承载力, 利用静荷载试验法可将桩加载至破坏, 为设计提供单桩承载力数据, 作为设计依据。

第二, 高应变检测则用重锤冲击桩顶, 分析桩的承载能力与完整性, 基于应力波传播及桩土动力相互

作用原理^[1]。声波透射法是在桩内预埋声测管, 利用超声波在混凝土中的传播情况判断桩身质量, 依靠声学原理来实现检测目的。

第三, 自平衡法, 顾名思义, 是由桩体本身重量提供反力, 而不借助外力的一种静载荷试桩方法, 该技术是在施工过程中将按桩承载力参数要求定型制作的荷载箱置于桩身底部, 连接施压油管及位移测量装置于桩顶部, 待砼养护到标准龄期后, 通过顶部高压油泵给底部荷载箱施压, 得出桩端承载力及桩侧总摩阻力。

2 工程勘察桩基检测技术的应用现状

2.1 工程勘察桩基检测技术在不同工程类型中的应用情况

在高层建筑工程中, 由于其高度大、荷载重, 对桩基的承载能力和稳定性要求极高。静载试验在此应用广泛, 比如, 在一座超高层工程中, 建设单位为了精确测量其竖向压缩承载力, 对其进行了多次静载荷载测试, 并对其进行了分级加载和观察, 从而判断其能否达到设计标准, 保证其在较大荷载作用下的长期安全。此外, 还采用了一种基于低应变法的桩基质量检验方法, 即在桩基完工后, 沿桩身均匀布设各测点, 通过对桩顶进行振动, 使其能够迅速地检查出桩基有无开裂、缩径等缺陷, 保证各桩能够以较高的可靠性进行受力。

对于工业厂房工程, 根据厂房内设备布局及生产工艺不同, 对桩基的沉降控制要求较为严格。静载试验常用来确定桩基的承载能力, 保证能承载厂房自重及设备重量。而且, 低应变检测配合使用, 可全面排

查桩身质量,防止因桩身缺陷导致厂房不均匀沉降,影响生产设备的正常运行。例如:某重型机械制造厂房,通过将这两种检测技术相结合,精准检测桩基情况,为后续顺利安装高精度生产设备奠定基础^[2]。

2.2 工程勘察桩基检测技术在实际应用中存在的问题剖析

首先,地质条件复杂会影响检测结果准确性。比如在岩溶发育地区进行桩基检测,溶洞、地下暗河等地质构造会使应力波传播规律发生改变,导致低应变检测、声波透射法等基于波传播原理的检测技术出现误判,难以准确判断桩身完整性。

其次,检测设备精度存在局限。部分老旧的桩基检测仪器,在测量微小应变、应力变化时误差较大,影响对桩基质量的全面评估。以某桥梁建设项目为例,该项目在初期使用了一批老旧的电阻应变片式测量仪器来检测桩基应力应变。在对桩基进行加载测试时,由于仪器精度不足,测量结果波动明显,无法准确反映桩基在不同荷载下的真实应力应变状态。经对比发现,与高精度的新型设备测量结果相比,老旧仪器测量的应力数据误差最高可达 15%,应变数据误差也在 10% 左右。这种误差导致工程师难以准确判断桩基的实际承载能力,严重影响了对桩基质量的全面评估,进而可能对整个桥梁工程的安全性和稳定性造成潜在威胁。

最后,操作人员技术水平参差不齐也是一大问题。一些检测人员缺乏扎实的理论基础和丰富的实践经验,在检测过程中不能正确设置检测参数、规范操作仪器,致使检测数据不准确,后续对结果的分析和判定也容易出现偏差,无法为工程提供可靠的桩基质量依据。

3 工程勘察桩基检测技术的优化策略

3.1 提前规划,开展地质勘察

在工程建设中,地质条件的复杂性往往是影响桩基检测结果准确性的关键因素^[3]。以某岩溶发育地区的高层建筑项目为例,通过综合运用地质测绘、地球物理勘探、钻探等手段,成功实现了对场地地质条件的精准掌握。该项目采用地质雷达对 12 000 平方米的场地进行扫描,探测到大小溶洞 23 处,地下暗河 3 条,结合钻探验证,准确率达到 98%。高精度磁法勘探进一步圈定了溶蚀带分布范围,为后续桩基设计与检测提供了可靠依据。

针对复杂地质条件,检测技术组合的优化至关重要。在另一桥梁工程中,通过低应变检测发现 23 根桩基存在疑似缺陷,但声波透射法验证结果显示其中 15

根为误判。通过引入钻芯法进行验证,最终确认其中 8 根存在不同程度的桩身完整性问题。数据表明,单一低应变检测的误判率高达 65%,而结合钻芯法后,检测准确率提升至 92%。这一案例充分证明了多技术组合应用的必要性。为进一步提升地质勘察效率,三维地震勘探技术的应用效果显著。某地铁项目采用三维地震勘探技术,在 2 000 米线路范围内,精准定位了 17 处隐伏溶洞,其空间定位误差小于 0.5 米。结合钻探验证,三维地震勘探的溶洞识别准确率达到 95%,较传统二维勘探提升了 30%。

这些数据充分表明,提前开展全面地质勘察,合理选择检测技术组合,能够有效应对复杂地质条件带来的挑战。通过多技术协同应用,不仅提高了检测结果的准确性,还为工程设计与施工提供了科学依据,保障了工程质量。

3.2 加强维护,提升检测设备精度

在工程勘察桩基检测工作中,检测设备的精度直接关系到检测结果的可靠性。老旧的桩基检测仪器往往难以满足当下复杂工程的检测需求,因此,及时更新换代老旧设备势在必行。例如:在某大型桥梁建设项目中,前期使用的传统电阻应变片在测量桩基应变时,误差较大,难以精确获取桩基在不同荷载下的应变数据,影响了对桩基承载能力的准确评估。后来,项目团队引进了基于光纤传感技术的应变测量设备,该设备精度相比传统电阻应变片提升了近一个数量级,能够精准捕捉桩基在微小受力变化下的应变数据。在一次加载试验中,传统设备测量的应变数据误差在 $\pm 5 \mu\epsilon$ 左右,而新型光纤传感设备误差可控制在 $\pm 0.5 \mu\epsilon$ 以内,大大提高了测量的准确性,为桥梁桩基的质量评估提供了更可靠的数据支持。

除了更新设备,建立完善的设备校准和维护制度同样关键。以某城市地铁建设项目为例,该项目制定了严格的设备校准计划,每季度对桩基检测设备进行一次全面校准^[4]。在一次校准过程中,发现一台声波透射法检测仪器的声波发射和接收频率出现偏差,若未及时校准,可能导致对桩身缺陷的误判。通过及时校准,确保了设备测量精度符合要求。在设备日常维护方面,项目团队安排专人负责,每天对设备进行清洁、检查连接线路是否松动等。在一次日常检查中,发现一台低应变检测设备的传感器出现故障,及时进行了更换,避免了在检测过程中出现数据异常的情况,保证了检测工作的顺利进行。

为进一步提升设备的稳定性和可靠性,还可以引入智能化的设备管理系统。该系统可以实时监测设备的运行状态,提前预警潜在故障。

3.3 完善培训制度机制,提升整体素质

培训内容不仅包括桩基检测的理论知识,如各种检测技术的原理、适用范围、数据分析方法等,还应注重实践操作技能的培养。通过实际案例分析,模拟试验操作,提升检验队伍的实际操作水平及问题解决水平。对测试者要有严谨的考核体系。测试人员需要具有相关的职业资格,并对测试人员进行定期的测评与评价,对于不合格的,将被重新训练或者撤销测试资格,保证测试团队的综合质量^[5]。

另外,还应加强对检测过程的质量控制。建立健全的检测质量管理体系,明确检测人员的职责和工作流程,对检测过程中的各个环节进行严格把控。在检测前,对检测设备进行检查和校准,确保设备正常运行^[6];在检测过程中,严格按照规范要求设置检测参数、操作仪器,保证检测数据的准确性和可靠性;在检测后,对检测数据进行严格的审核和分析,确保检测结果的科学性和公正性。引入第三方质量监督机构,对桩基检测工作进行独立的监督和评估,及时发现并纠正检测过程中存在的问题,提高检测工作的质量。

4 工程勘察桩基检测技术未来的发展方向

随着现代工程建设规模与复杂性的不断攀升,桩基作为工程的关键基础部分,其质量检测的重要性愈发凸显。工程勘察桩基检测技术正站在新的发展节点上,朝着智能化、多元化、高精度等方向不断迈进,以适应未来工程建设的需求。

智能化将是桩基检测技术发展的核心趋势之一。借助物联网、大数据、人工智能等先进技术,桩基检测设备将具备更强的自主感知与分析能力。未来,传感器将被广泛且精准地部署在桩身及周边土体中,实时采集各类数据,如应力、应变、位移等,并通过无线网络即时传输至数据处理中心。利用大数据分析技术,对海量检测数据进行深度挖掘,不仅能精准判断桩基的当前状态,还能预测其在未来不同工况下的性能变化趋势,提前发现潜在问题。人工智能算法可对检测数据进行自动分析与诊断,给出精确的桩身完整性评价和缺陷位置、类型判断,极大地提高检测效率和准确性,减少人为因素干扰。例如:在大型桥梁工程中,通过智能化监测系统,可实时掌握桩基在长期

荷载作用下的变化情况,及时发现异常并采取措施,保障桥梁的安全运营。

检测技术的多元化发展也将为桩基质量评估提供更全面、准确的依据。一方面,现有的检测技术,如低应变检测、声波透射法、钻芯法等,将不断改进和完善,提升各自的检测精度与适用范围。另一方面,新的检测技术将不断涌现并与传统技术相互融合^[7]。例如:基于瑞雷波法的面波检测技术,能够快速、大面积地对浅层地基及桩基进行检测,获取地层和桩身的波速信息,为桩身质量评价提供补充数据。此外,将多种检测技术有机结合,形成综合检测体系,针对不同地质条件和工程需求,灵活选择合适的检测方法组合,实现对桩基质量的全方位、多层次评估,已成为行业发展的必然趋势。

5 结束语

工程勘察桩基检测技术在工程建设中扮演着至关重要的角色,其准确应用与持续优化是保障工程质量和结构安全的关键所在。通过对现有技术应用现状的分析,找出问题并实施相应的优化策略,无论是技术改进、人员素质提升还是多技术协同应用,都有助于提升桩基检测的水平。尽管在实践过程中还会面临新的挑战,但随着不断的探索与创新,相信工程勘察桩基检测技术将朝着更加精准、高效的方向发展,为我国工程建设事业筑牢坚实的质量根基,推动行业不断迈向新的高度。

参考文献:

- [1] 李俊儒,李琦.桩基检测技术在建筑工程中的应用[J].智能建筑与工程机械,2024,06(08):86-88.
- [2] 顾龙声,张宇亭.高应变动测技术在如东海域大直径钢管桩基工程中的应用研究[J].岩土工程学报,2024,46(S01):138-142.
- [3] 熊宇微,李鹏,杨欣.建设工程桩基础“施工勘察”采用“先桩基再检测”解决对策探究:以某标准厂房二期项目1#,2#楼为例[J].福建建材,2024(08):78-80.
- [4] 严川.岩土工程桩基施工与勘察措施[J].Engineering Management & Technology Discussion,2024,06(03):131.
- [5] 熊宇微,李鹏,杨欣.建设工程桩基础“施工勘察”采用“先桩基再检测”解决对策探究:以某标准厂房二期项目1#,2#楼为例[J].福建建材,2024(08):78-80.
- [6] 党彦.关于岩土工程水文地质勘察及桩基检测的思考[J].建筑·建材·装饰,2023(15):160-162,156.
- [7] 全燕博.地质勘探岩土工程水文地质勘察及桩基检测的分析[J].中国地名,2023(10):73-75.

复杂条件下的城市地下管线测量方法探析

付 勇

(山东建勘集团有限公司, 山东 济南 250031)

摘 要 随着地下空间开发利用日益密集, 地下管线网络越发复杂, 管线探测工作面临诸多技术挑战。传统探测方法在复杂城市环境下存在精度不高、效率低下等问题, 制约了城市精细化管理和安全施工的发展。本文探讨了复杂条件下城市地下管线测量的难点和问题, 分析了多频电磁探测、地质雷达穿透成像和无损检测声波定位等先进技术在管线探测中的应用, 并结合实际案例阐述了综合测量方法的实施效果, 以为相关人员提供借鉴。

关键词 城市地下管线; 多频电磁探测技术; 地质雷达穿透成像技术; 无损检测声波定位技术; 惯性陀螺定位技术

中图分类号: TU990.3

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.19.016

0 引言

城市地下管线是现代城市基础设施的重要组成部分, 涵盖供水、排水、燃气、电力和通信等多种类型。然而, 由于管线的多样性和埋藏较深, 探测工作面临着巨大的挑战。传统的探测方法已无法满足复杂条件下的城市地下管线测量需求。因此, 研究高效、可靠的地下管线探测方法尤为重要, 对城市的发展具有重要的现实意义。

1 城市地下管线概述

城市地下管线是指城市范围内供水、排水、燃气、热力、电力、通信、广播电视、工业等管线及其附属设施, 是保障城市运行的重要基础设施和“生命线”。随着城市化进程的加速推进, 城市地下管线网络日益复杂, 管线种类不断增多, 空间分布愈发密集。城市地下管线按照功能可分为给水管线、排水管线、燃气管线、热力管线、电力管线、通信管线等多种类型, 各类管线在材质、埋深、走向等方面存在显著差异^[1]。

2 复杂条件下的城市地下管线测量难点

2.1 管线类型识别精度低

城市地下管线种类繁多且材质多样化, 包括钢铁、铸铁、混凝土、塑料、陶瓷等不同材质, 导致各类探测技术对不同管线的灵敏度存在显著差异。电磁探测技术在金属管线探测中表现优异, 探测信号可清晰反映金属管线的位置和走向, 但在非金属管线如 PVC 水管、陶瓷污水管的探测中则效果欠佳, 反馈信号微弱难以捕捉, 使技术人员难以准确识别管线类型和走向。老旧城区中的管线经过长期使用, 金属管材可能出现氧化、腐蚀或钝化现象, 改变了原有的电磁响应特性,

导致探测设备接收到的信号与预期标准信号存在偏差, 增加了管线类型判定的复杂性。

2.2 深层管线定位精度差

地下管线埋设深度增加导致探测信号在传播过程中能量损耗加剧, 电磁波或雷达波在土壤介质中衰减明显, 接收到的反射信号强度与地表探测设备的距离呈指数关系递减, 使深度超过 3 m 的管线探测信号微弱且失真严重。城市地层结构复杂多变, 深层管线周围可能存在砂石层、粘土层或填埋层等不同介质, 电磁波或雷达波在这些介质交界处发生反射、折射或散射现象, 改变了信号传播路径, 造成探测数据解译过程中深度计算偏差大。城市区域深层管线探测常受到上层管线的屏蔽效应影响, 浅层金属管线对电磁波形成较强反射或吸收, 减弱了探测信号继续向下传播的能量, 导致深层管线信号被掩盖而无法准确捕捉^[2]。

2.3 复杂环境信号衰减大

现代城市电磁环境复杂, 高压输电线路、变电站、通信基站等设施产生的强电磁场与管线探测使用的电磁信号频段重叠, 产生干扰信号掩盖了管线反射的有效信号, 降低了信噪比并增加了数据解译的困难度。城市地下水文环境变化明显, 不同区域土壤含水率差异大, 高含水率区域的土壤电导率显著增高, 探测电磁波能量被迅速吸收导致有效探测深度减小, 而地下水位的季节性变化也使同一区域在不同时期的探测结果存在较大差异。同时, 城市中的工业活动频繁, 许多工厂在生产过程中, 通常在一定区域会产生各种电磁噪声和辐射。而这些电磁干扰源在一定范围内会扰乱管线探测信号频率, 使得原本微弱的管线反射信号更加难以捕捉。此外, 城市中诸如地铁沿线、大型交

通枢纽等特殊区域,这些区域的电磁环境条件恶劣,并且电磁产生的频率用常规方法不能进行干预控制。在多种信号相互干扰、交织影响下,加剧了探测信号的衰减能力受到影响继而导致探测能力下降的现象,给管线探测工作带来了一定的影响。

2.4 地下障碍物干扰测量

由于城市地下环境复杂性较高,存在着较多的非管线类障碍物,如废弃建筑基础、地下桩基、混凝土块等,其与地下管线的材质电磁特性存在明显不同,在测量过程中严重干扰了测量信号。例如:金属障碍物和管线形成类似的电磁响应,造成测量仪器发生误判现象,将障碍物错误识别为管线或者管线定位时存在位置偏差。同时,由于城市内部地下障碍物分布存在不规则性特点,物理性质无法精准测量确定,对地下管线测量过程中探测信号遇到障碍物时存在反射、折射、散射的情况,信号传播路径变得更加复杂,也使得信号解析难度升高。例如:地质雷达在探测过程中,如果探测位置存在障碍物,回波信号和管线回波信号会相互重叠,无法精准判定管线的位置以及形态。

2.5 数据处理与分析难度大

由于城市地下空间复杂性比较高,并且地下管线测量时产生的数据体量巨大,包含测量仪器原始数据、中间处理数据以及最终成果数据。例如:三维激光扫描测量后获取大量点云数据,其数据体量大,包含大量的冗余信息以及噪声。因为城市地下管线测量环境复杂度高,存在多方面因素干扰造成数据质量难以有效提升。例如:地下空间存在较多的电磁干扰性因素,管线探测仪器获取数据时容易存在偏差;地质条件复杂的区域内地质雷达数据极易出现信号失真的现象。在地下管线测量过程中,不同测量数据的格式、特点有所差异,需结合实际情况采取适宜的处理以及分析方法才能深度挖掘数据价值,从而提高复杂条件下城市地下管线测量精度。例如:采用地质雷达技术探测地下管线时,经过滤波、增益调整、反演的多样化处理方式能够精准提取管线信息;三维激光扫描数据处理系统中,利用点云配准、分类、建模的功能提高数据利用价值。上述数据的提取和分析能够保证数据充分利用,但对测量人员的专业技能和素质也有更高要求,需熟练掌握各种软件操作技巧,但也使得数据分析与处理的过程中存在较高难度。

3 复杂条件下的地下管线测量技术

3.1 多频电磁探测技术

多频电磁探测技术基于电磁感应原理探测地下管线,其核心优势在于利用不同频率电磁波在各类地下介

质中的传播特性差异实现精确定位。低频电磁波具备较强的地层穿透能力,可深入 4~5 m 范围内探测大型金属管道,在城市主干供水网和燃气主管探测中表现出色,即使在干扰较大的环境下依然能获取清晰的目标信号;而中频电磁波则在管线密集区域发挥重要作用,其适中的穿透深度和较高的空间分辨率使探测设备能够有效区分相互平行或交叉的多条管线,减少虚假信号的干扰,为复杂路段下的管网探测提供准确数据^[3]。

3.2 地质雷达穿透成像技术

地质雷达穿透成像技术采用高频电磁脉冲探测地下结构,其工作原理是向地下发射短脉冲电磁波,当电磁波遇到电性质差异较大的介质界面时产生反射,接收天线捕获这些反射信号并转化为直观的地下剖面图像。探测管线时选择合适的天线频率至关重要,中高频天线能提供厘米级的空间分辨率,适合对浅层小口径管线进行精细探测,图像上可清晰分辨出管线的精确位置与走向,甚至能识别出管线周围的局部异常结构;而中低频天线虽然分辨率略低,但探测深度可达 3~4 m,在深层大型管道探测中具有明显优势。

3.3 无损检测声波定位技术

无损检测声波定位技术利用声波在地下传播特性识别管线位置,区别于电磁探测方法,其对金属和非金属管线均有良好的探测效果。管道泄漏声波探测利用高灵敏度地表声学传感器阵列捕获管道泄漏点产生的特征声学信号,分析声波在地层中的传播规律和能量衰减分布,精确确定泄漏源位置,该方法在复杂电磁环境中探测供水管网和燃气管道具有独特优势,能有效避开高压电缆和变电设施产生的电磁干扰。而针对主动式声波探测方式而言,则采用可控震源产生特定频率的声学信号,通过这些信号在管道与周围土体之间形成明显的声阻抗差异,导致管线位置处地表振动呈现特征分布。且在信号处理的过程中,利用信号系统通过分析振动幅度和相位关系,能够在一定的范围内确定管线位置和埋深,这种方法对深埋管线和特殊材质管道的探测效果显著,能够在传统电磁探测技术难以应用的场景下提供可靠结果^[4]。

3.4 惯性陀螺定位技术

在复杂条件下城市地下管线测量过程中,采用惯性陀螺定位技术能提高地下管线的定位测量精度。它以惯性测量作为基本原理,通过陀螺仪、加速度计等惯性敏感元件精准测量载体的角速度和加速度,再利用积分运算的方式得出载体的具体位置、速度以及姿态信息。复杂条件下城市地下管线测量时将惯性测量

设备安装在测量工具内，随着探索工具逐步向下移动，能够精准标记管线的位置，掌握管线的轨迹和方向变化情况。

惯性陀螺定位技术应用价值较高，测量精度高，其主要优势是不依赖外部信号，在地下信号屏蔽严重、电磁干扰较强的复杂条件下依然能够保证测量数据具备较高的精度。例如：对于城市核心地带或者地下设施分布密集度较高的区域，其他测量技术因为信号干扰性比较强，无法达到精准测量的效果。而在该条件下，使用惯性陀螺定位技术能够连续、精准地获取管线三维坐标信息。同时，它还能够精准完成数据采样和处理，即使地下管线出现微小变化也能够快速分析数据，使得地下管线测量的精确性和效率得到全面提升。

3.5 示踪线探测技术

由于城市化发展速度加快，城市管线敷设量逐步增加，为提高管线的运维管理水平，通常在管线敷设过程中同时埋设示踪线。城市地下管线中示踪线主要由金属导线或者带有特殊标记的线缆组合形成。对于城市地下空间的管线测量来说，利用示踪线探测仪发射特定频率信号，示踪线接收信号后产生响应，探测仪利用接收响应信号的方式确定示踪线位置，进而间接得出地下管线的走向以及位置信息。示踪线探测技术操作简单、成本低，能够快速确定管线的大致位置。针对某些地下管线运行时间长、资料缺失的情况，示踪线探测技术能够提高探测的精度和效率。同时，示踪线探测技术应用过程中不受地下介质电性、磁性方面因素影响，即使复杂电磁干扰较强的条件下依然能够满足探测精度需求。但是示踪线的完好性、连通性对探测结果存在直接影响，所以应用过程中应确保示踪线的质量合格。

4 城市地下管线测量案例分析

某特大型城市中心区地下管线勘测项目采用多种探测技术开展综合测量，选取面积约 2.5 km² 的复杂城区进行详细探测。该区域包含商业中心、老旧居民区和新建高层建筑区，地下管线密集且类型多样。勘测团队采用多频电磁探测、地质雷达和声波定位三种技术对相同区域进行测量，记录各技术的探测效果如表 1 所示。

数据分析表明，多频电磁探测技术在金属管线探测方面表现最佳，平均定位精度达到 17.6 cm，探测覆盖率高达 93.8%，但在非金属管线探测方面精度下降至 48.6 cm，覆盖率为 42.3%。地质雷达技术展现出较

为均衡的探测能力，对金属和非金属管线的探测覆盖率分别为 86.2% 和 83.5%，在非金属管线探测方面优于电磁技术。声波定位技术在深层管线探测方面具有明显优势，最大探测深度可达 4.5 m，超过其他两种技术，但总体定位精度较低，平均为 35 ~ 37 cm。三种技术在不同管线类型和埋设环境中各具优势，单一技术难以满足复杂城区全面探测需求，综合应用多种技术互补是提高探测精度和覆盖率的关键^[5]。

表 1 不同探测技术在城市复杂环境下的管线探测效果比较

探测技术类型	管线类别	平均定位精度 (cm)	探测覆盖率 (%)	最大探测深度 (m)
多频电磁探测	金属管线	17.6	93.8	3.5
	非金属管线	48.6	42.3	1.8
地质雷达探测	金属管线	24.8	86.2	2.6
	非金属管线	27.2	83.5	3.0
声波定位技术	金属管线	36.6	72.2	4.2
	非金属管线	35.2	76.8	4.5

5 结束语

复杂条件下城市地下管线测量面临管线类型识别精度低、深层管线定位精度差、复杂环境信号衰减大等多重挑战。多频电磁探测技术在金属管线探测方面具有明显优势，地质雷达穿透成像技术对各类管线探测均衡性较好，无损检测声波定位技术在特殊环境下展现独特价值。单一技术难以满足全面探测需求，综合应用多种测量技术互为补充才能有效提高探测精度和覆盖率。多技术联合探测策略能够有效克服复杂环境干扰，适应不同管线材质和埋设深度的探测要求。

参考文献:

[1] 柏春强. 复杂条件下城市地下管线测量方法研究 [J]. 智能城市, 2024,10(06):126-128.
[2] 章瑞, 苏俊良. 复杂条件下的城市地下管线测量方法 [J]. 价值工程, 2024,43(05):153-155.
[3] 唐吉林. 城市地下管线测绘测量技术方法 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2024(03):175-177.
[4] 徐晓, 杨建峰, 王晓杰. 复杂条件下的城市地下管线测量方法探讨 [J]. 科学技术创新, 2022(10):41-44.
[5] 李远文. 数字化技术在城市地下管线测量中的应用 [J]. 智能城市, 2021,07(23):71-72.

复杂竖向结构体系高层钢结构施工关键技术

侯志伟, 董玉强, 徐 娜

(山东华铭工程有限公司, 山东 潍坊 262600)

摘 要 随着城市化进程不断加快, 高层建筑向大跨度、异形化及多功能复合方向发展, 复杂竖向结构体系成为现代建筑的主流选择。虽然当前施工技术已实现模块化吊装与自动化焊接, 但仍面临变形累积、高空安全风险等瓶颈问题。而传统经验型施工管理难以满足非线性传力路径的精度需求, 动态荷载下的实时调控能力仍是行业短板。本文分析了在复杂竖向结构体系高层钢结构施工的关键技术, 旨在为施工人员提供有益参考。

关键词 复杂竖向结构体系; 高层钢结构; 塔吊安装技术; 大悬臂安装技术; 施工变形控制技术

中图分类号: TU974; TU758.11

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.19.017

0 引言

现代高层建筑中钢—混凝土混合结构, 融合巨型悬挑体系及动态调谐技术, 使施工过程需兼顾刚度协调和变形控制。创新性解决方案体现在整合三维动态模拟技术及智能监测系统, 其中液压提升装置联动防护体系的智能并协同高精度传感器网络, 能够有效突破传统施工的被动响应模式, 实现毫米级误差的动态修正。

1 复杂竖向结构体系解析

复杂竖向结构体系是指建筑或工程中由多层、多组件垂直叠加构成的承重以及支撑系统, 其核心特征在于经过不同材料、形态或功能的构件在高度方向上的组合, 实现荷载的整体稳定性^[1]。此类体系通常包含框架、核心筒等基本元素, 并相互连接形成的空间协同作用, 以应对重力及风荷载等多源外力的冲击。其复杂性主要体现在三个方面: 构件的多样性, 钢—混凝土混合结构或巨型柱以及悬吊体系相结合, 不同材料的构件需在刚度、强度及变形性能上协调; 传力路径的非线性, 荷载可能经过多次重分配交叉支撑、转换层或斜向构件, 形成立体传力网络; 几何形态的异质性, 退台和悬挑还有连体结构或扭转造型导致的重心偏移抗侧力系统不对称布局。此外, 现代高层建筑中出现的“多级次结构”体系或“自适应结构”能够进一步增加竖向层级间的动态相互作用。

2 复杂竖向结构体系高层钢结构施工关键技术分析

2.1 塔吊安装技术

高层钢结构建筑在现代城市建设中愈发常见, 此类建筑安装高度高, 大量构件处在数十米甚至上百米

高空, 安装作业难度极大, 同时构件重量大, 单根钢梁或钢柱重达数吨, 常规设备已经难以满足起吊要求。而塔吊吊装技术凭借其强大的适应性成为高层钢结构安装的核心解决方案^[2]。该技术经过科学规划, 能够完美匹配不同施工阶段的安装需求。但是塔吊布置及选型, 完全取决于施工人员制定的钢结构安装方案, 安装方案需规划不同施工阶段、各区域构件安装顺序以及作业时间^[3]。施工人员布置塔吊则需配合此顺序, 在合适位置设置塔吊, 确保能覆盖所有需吊装区域, 无作业死角。此外, 在选型方面, 施工人员要依据安装方案中构件重量、安装高度等参数, 大重量构件需起吊能力强的塔吊; 安装高度高, 要使用起重臂长度足够、起升高度达标的设备, 以保障安装作业顺利、高效开展。

以巨型框架支撑筒体混合体系的高层为例, 施工人员需针对外框巨型桁架和核心筒钢骨柱的错层安装需求, 采用动态模拟技术确定塔吊最佳附着点位。根据核心筒剪力墙内埋钢骨柱的逐节攀升轨迹, 在筒体西北两侧预埋重型支腿基座, 施工人员可配置两台塔吊形成 270° 覆盖半径。塔吊选型阶段重点校核外框桁架分段吊装工况, 最大起重量需满足 32 t 桁架节段在 120 m 高空的精准就位要求。起重臂长度则依据建筑立面收分曲线优化为 55 m, 确保顶层幕墙单元吊装时吊钩具有足够回转量。同时, 施工人员利用 BIM 模型对塔吊群协同作业进行碰撞检测, 调整塔吊顶升节奏使其始终高出钢结构作业面 15 m。针对高空风荷载影响, 在塔吊标准节增设侧向稳定器, 吊装狭长形钢柱时启用微速就位模式。塔吊附墙件和钢结构预埋件采用高强螺栓连接, 每次顶升后需用全站仪复核垂直度偏差。

核心筒钢板墙吊装阶段,施工人员可采用双塔抬吊工艺,预先在钢构件重心位置焊接专用吊耳。塔吊司机操作室配备三维定位显示屏,实时反馈钢柱法兰盘对接精度。施工人员根据钢框架施工进度动态调整塔吊配重块数量,在吊装 18 t 以上巨型梁时自动激活超载保护系统。所有吊装指令均由数字化指挥中心统一发布,塔吊运行数据实时上传至云端监测平台。施工人员每日核查钢丝绳磨损情况,极端天气条件下启动塔吊架锁定装置^[4]。

2.2 大悬臂安装技术

外框钢构件悬臂安装是高层及大跨度建筑施工中的技术难点,其安装质量直接影响建筑整体安全性。外框钢构件悬臂安装是指在建筑结构边缘将钢构件以悬臂形式伸出并固定。在此过程中,钢构件仅一端和既有结构连接,另一端处于悬空状态,受力复杂,不仅要承受自身重量,还要应对施工过程中风力等多种因素造成的荷载。但是,应用大悬臂安装技术,能够进一步提升施工质量。该技术经过优化节点设计及分段吊装工艺,既可以实现更大跨度的外挑结构,减少临时支撑的使用,还可以提高建筑的整体抗震抗风性能。

以高层建筑外挑 15 m 的环形桁架为例,施工人员可把悬臂钢构件划分为三个安装单元,每个单元在工厂预拼装后运输至施工现场。安装前施工人员需在悬挑根部设置临时加固措施,采用液压千斤顶对接口施加预压力,补偿焊接过程中的收缩变形。与此同时,施工人员应运用全站仪实时监测悬臂端部挠度变化,数据同步传输至中央控制系统,偏差超过 2 mm 立即触发预警机制。并且,悬臂段及核心筒连接节点需采用高强螺栓临时固定,待整体姿态调整完毕后再进行熔透焊作业。焊接过程中施工人员应严格遵循对称施焊原则,每完成一道焊缝即刻进行超声波探伤检测^[5]。

2.3 多角度全位置异形钢结构焊接技术

在复杂竖向结构体系的高层钢结构施工中,多角度全位置异形钢结构焊接技术凭借其空间适应性强、质量稳定性高的优势,成为确保结构安全的关键所在。该技术经过创新工艺方法能够有效解决异型构件空间交汇带来的焊接可达性难题,可以提升复杂节点的焊缝成型的质量,从而增强整体结构的承载能力。在施工实施过程中,施工人员需基于 BIM 技术开展焊接路径模拟,针对不同空间位置制定差异化焊接参数,采用智能化设备实现精准热输入控制,并配合实时监测技术动态调整焊接过程。同时,经过严格的焊前预热、

层间温度控制及焊后热处理工艺,最大限度降低焊接残余应力和变形风险,确保接头质量满足高层建筑长期使用的严苛要求。

例如:在高层钢结构建筑施工中,施工人员需针对核心筒和巨型外框柱的斜交节点,采用数字孪生技术构建焊接变形预测模型,模拟不同焊接顺序对结构初始应力的影响。焊接前运用红外热像仪检测母材预热状态,确保坡口两侧 100 mm 范围内达到 150 °C 标准要求。而对于箱形柱及环梁的异形连接节点,施工人员应配置可 360° 旋转的自动化焊接机械臂,根据 BIM 模型预设的轨迹完成仰焊位置的连续作业,焊接过程中采用脉冲气体保护焊工艺,将电弧长度精确控制在 2 ~ 3 mm 范围内,每完成一道焊缝,施工人员需立即采用磁粉检测排查表面裂纹。同时,针对超厚板焊接的层间质量控制,施工人员在焊道清理阶段应使用恒温加热毯维持 80 °C 的层间温度。窄间隙焊接时选用直径 1.2 mm 的金属粉芯焊丝,焊接速度稳定在 12 cm/min,电流电压参数则根据空间位置动态调整。此外,施工人员可以运用三维激光扫描仪采集焊后构件形态数据,与设计模型比对分析变形规律,对于受力节点实施残余应力测试,采用盲孔法测量关键截面的应力分布状态,保证所有焊接参数以及检测数据录入区块链系统形成不可篡改的质量追溯链^[6]。

2.4 施工变形控制技术

在高层建筑设计过程中,因自身体积庞大,所以会承受巨大的重力,导致结构在竖向出现明显变形^[7]。同时,建筑材料性能、温度的剧烈变化,以及施工过程中的动态荷载,都会让变形问题雪上加霜。一旦变形超出允许范围,不仅会影响建筑的外观,还可能会威胁到结构的稳定性以及安全性。但是,应用施工变形控制技术,则可以有效抵消结构自重引起的变形,确保建筑最终形态符合设计要求。因此,施工人员在施工前需要制定详尽且合理的施工方案,依据建筑的结构特点,确定最佳施工顺序。并在施工过程中安排专业人员,借助高精度测量仪器,对结构变形进行实时监测获取准确数据。此外,施工人员应引入 BIM 技术,构建精确的建筑模型,对施工过程进行模拟分析,提前预测可能出现的变形问题,制定相应的应对策略,提高结构的承载能力。

例如:在高层钢结构建筑施工中,实施施工变形控制技术必须精准应对复杂竖向结构体系的多重荷载效应。施工人员需针对核心筒以及外框钢柱的差异沉

降问题,采用基于实时监测数据的动态补偿算法,在每层钢柱吊装前预调标高超差,利用光纤光栅传感网络持续采集结构应变数据,结合温度传感器记录的日照梯度变化,建立三维变形场预测模型。而对于巨型转换桁架的预起拱处理,施工人员可运用非线性有限元分析反推施工荷载下的弹性变形量,在工厂加工阶段将预拱柱植入构件几何形态,在施工过程中部署全自动全站仪监测系统,每隔六小时扫描关键节点的三维坐标变化,数据经云计算平台处理后生成变形趋势图谱。若监测到外框柱竖向累积偏差超过 15 mm 时,施工人员需要立即启动液压可调支座进行微调补偿。钢梁安装阶段则采用反向预偏位技术,根据相邻柱顶的实际位移差计算梁端连接板的精加工尺寸。在核心筒剪力墙混凝土浇筑时,施工人员在模板体系内集成液压调平装置,实时抵消新浇混凝土对钢骨柱的侧向推力。针对日照温差引起的周期性变形,施工人员可建立时变力学模型,选择每日凌晨五点钟作为基准测量时段,并且所有测量数据与 BIM 模型动态关联,可视化展示结构变形发展的历程。另外,施工人员需要每周召开变形协调会议,根据最新监测结果修正后续二十层的施工预调值,最终结构合拢前进行七十二小时连续观测,确认变形趋于稳定后实施锁定焊接。

2.5 安全防护技术

复杂竖向结构体系高层钢结构施工关键技术中的安全防护技术是保障工程顺利推进的关键要素,其作用不仅仅体现在降低高空作业的风险,还可以提升整体施工效率,能够有效避免钢结构吊装过程中的倾覆隐患,同时减少交叉作业带来的安全隐患。在复杂竖向荷载作用下,防护体系能够协同主体结构变形,实现动态平衡,从而确保施工精度符合高层钢结构的设计要求。此外,施工人员开展此项技术需结合 BIM 模型进行安全工况模拟,提前预判钢结构安装过程中的危险源分布特征,据此制定分级防护方案,而在施工阶段应注重防护和液压提升装置的同步适配,采用无线传感技术实时采集风速荷载,借助云平台分析及及时调整防护参数。施工全过程需严格执行钢结构焊接防火隔离标准,运用热成像仪监测火花飞溅轨迹,确保高温作业不破坏周边防护结构^[8]。

例如:在复杂竖向结构体系高层钢结构施工过程中,施工人员需要把安全防护技术贯穿工程全周期,依据 BIM 模型模拟不同工况下的结构受力状态,精准识别高空作业危险区域,据此部署模块化防护平台。

并针对高层钢结构特有的风振效应,在悬挑部位安装动态阻尼装置,结合无线传感器网络实时监测风压变化,数据同步传输至云端分析系统,动态调整防护设施刚度系数。与此同时,钢结构吊装阶段可采用智能防倾覆系统,利用北斗定位技术追踪构件运动轨迹,液压提升装置与防护支架形成联动机制,确保吊装过程始终处于可控状态。焊接作业区域则铺设纳米防火毯,配合红外热成像仪实时捕捉温度场分布,一旦检测到异常高温立即触发自动灭火装置。核心筒和外框钢结构衔接部位需设置多重缓冲层,采用高强纤维复合材料吸收冲击能量,防止节点区域因应力集中导致防护失效。高空走道采用格栅式防滑钢板,边缘安装毫米波雷达探测人员活动轨迹,联动声光报警系统预防越界风险。而夜间作业期间启用自适应照明系统,根据施工进度自动调节光照强度及覆盖范围,消除视觉盲区带来的安全隐患。此外,所有防护设施每日实施无人机巡检,结合深度学习算法识别结构缺陷,生成数字化维保清单定向推送至责任班组,最大化避免高空作业的危险性。

3 结束语

现代高层建筑向着结构复杂化、功能多元化方向发展,复杂竖向结构体系对施工技术提出了更高要求,整合数字化技术可以实现施工过程可视化预控,推动传统施工模式向智能化转型。而随着材料科学、传感技术的持续进步,未来复杂竖向结构施工将更加注重全生命周期的性能优化提升建造效率,既能为高层建筑发展提供支撑,也可以引领土木工程领域向更高效、更安全的方向迈进。

参考文献:

- [1] 陈树炯.高层装配式钢结构住宅施工设计及关键技术研究[J].中国建筑装饰装修,2024(17):175-177.
- [2] 陈锦根.高层建筑钢结构安装关键技术研究[J].建设监理,2024(08):92-93,111.
- [3] 同[1].
- [4] 同[2].
- [5] 洪鑫纯.高层建筑钢结构工程施工关键技术及应用要点研究[J].四川水泥,2024(06):130-132.
- [6] 牛天晨.高层住宅建筑结构设计的关键技术研究[J].居舍,2024(07):46-48.
- [7] 同[6].
- [8] 尹政雯.试论民用建筑结构设计的关键技术发展[J].中国新技术新产品,2014(11):169.

输电线路工程铝合金抱杆 跨越架施工技术探讨

黄思旗

(中国水利水电第七工程局有限公司机电安装分局, 四川 眉山 620860)

摘 要 为了适应输电线路工程建设复杂山地环境, 本文重点探讨了铝合金抱杆跨越架施工技术, 以某 220 kV 输电线路组塔施工为例, 从布置、组立、提升等环节出发, 系统探讨了铝合金抱杆跨越架的应用实践, 以期今后高难度输电线路建设提供可行性技术方案与应用参考。研究表明, 铝合金抱杆在减轻运输重量、提高施工效率的同时, 通过创新内拉线锚固设计, 保障了组塔作业的安全性与稳定性。

关键词 输电线路工程; 铝合金抱杆; 跨越架施工; 组塔施工

中图分类号: TM752

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.19.018

0 引言

传统跨越架多采用木质、钢质材料, 存在搭建效率低、重复使用性差、运输不便等问题。随着工程对效率、环保及安全要求的提升, 铝合金抱杆跨越架应运而生。铝合金材质具有重量轻、强度高、耐腐蚀等优势, 能有效提高跨越架搭建速度, 降低劳动强度, 且可重复利用, 符合绿色施工理念。然而, 目前铝合金抱杆跨越架在施工应用中存在技术要点不明确、安全措施不完善等情况。因此, 深入探讨铝合金抱杆跨越架施工技术具有重要的现实意义。

1 项目概况

某 220 kV 输电线路工程需组立 30 基自立式铁塔, 线路穿越丘陵地带, 其中山地陡坡区域占比达 30%。针对复杂地形条件, 项目创新采用 500 mm×21 m 规格铝合金内悬浮内拉线抱杆进行分解组塔施工。该抱杆选用高强度铝合金材质, 较传统钢制抱杆减重 40%, 显著提升人工搬运效率, 同时保持优异结构强度满足高空组装需求。针对山地塔位狭窄场地限制, 内拉线系统采用塔身主材直接锚固方案, 突破外拉线布置空间制约, 通过悬浮抱杆与内拉线协同作用, 有效保障组塔过程的安全稳定性^[1]。

2 铝合金抱杆跨越架施工流程

2.1 现场布置施工

施工现场布置严格遵循力学性能参数和设计要求, 各环节均有明确的技术指标和实际数据支撑。抱杆选择基于铁塔分段吊装最大长度 12 m 及根开尺寸 8.5 m, 采

用 500 mm×21 m 铝合金抱杆, 理论轴压承载力 280 kN, 自重 6.8 t, 提高搬运效率 45%。布置时按 7:3 比例分配露出和插入长度, 确保连接刚性, 垂直度偏差≤36 mm。内拉线系统包括四组破断拉力≥350 kN 的 $\phi 22$ 钢丝绳, 安全系数 5.0, 通过可调鸡心环连接抱杆帽拉环, 利用花篮螺栓调节初始张力为 15 kN, 张力差控制在 5% 以内; 山地塔位采用可调角度锚座优化夹角至 $45^\circ \pm 5^\circ$ 。承托系统配置 2 根 $\phi 28$ 钢丝绳、4 组 50 kN 平衡滑车, 滑车间距为抱杆直径的 3 倍, 平衡绳误差 ± 20 mm 内, 动态调整保证根部中心偏差≤50 mm, 预紧力设定为 30 kN, 加载速率为 0.5 kN/s。起吊系统使用 $\phi 32$ 钢丝绳, 破断拉力≥520 kN, 安全系数 6.0, 牵引绳直径 $\phi 24$, 起吊绳与塔身夹角控制在 $60^\circ \sim 75^\circ$, 实际工作长度 15 m, 实时监测张力预警值为额定荷载 80%。牵引设备采用 30 kN 级机动绞磨(速度 8 m/min), 依据地质条件选用螺纹钢锚桩或钢筋混凝土锚块锚固, 绞磨位置通过全站仪定位, 牵引绳地面夹角≤ 15° ^[2], 必要时增设转向滑车优化路径, 各项参数精准到位, 保证施工安全与效率。

2.2 塔腿组立技术

塔腿组立是铁塔安装的关键环节, 其施工质量直接影响整个铁塔的稳定性和长期使用性能。在地脚螺栓式基础的铁塔安装中, 采用分件组立和半边塔腿整体组立两种方法, 根据铁塔的重量、尺寸以及现场地形条件选择合适的施工方式。

分件组立方法适合塔腿较重、根开较大的铁塔结构, 尤其是大尺度构件的分段施工。在施工初始阶段,

应先将塔座底板安装于混凝土基础上,适度旋紧地脚螺帽,为后续塔腿就位提供微调空间。塔腿主材的下端通过单颗螺栓(M)与底座立板连接,构成其起立时的旋转支点。若塔腿主材长度不超过 8 m,且单段重量小于 300 kg,可使用木质叉杆辅助立塔,通过人工逐步调节塔腿角度至设计位置后,再进行螺栓锁紧固定。对于长度大于 8 m 且重量超过 300 kg 的塔腿主材,则需使用尺寸为 100 mm×5 m 的人字木抱杆,或选用钢管制抱杆执行起立操作,确保施工稳定、安全、可控^[3]。在具体操作中,需分段连接主材并安装联板,以保证起立后整体结构的刚性和稳定性。每次起立时,通过拉线 18 mm 白棕绳固定塔腿主材,确保其稳定后再逐步安装三个侧面的斜材与水平材。在安装过程中,施工人员需要仔细检查螺栓连接质量,利用力矩扳手按照设计力矩拧紧螺栓,以确保塔腿组立的强度和整体性。最后,为避免起立时各部分构件受力不均,一侧斜材可以暂缓安装,待抱杆竖立后补装。

半边塔腿整体组塔方式主要适用于塔腿重量较轻、根开距离较短且施工地势较为平坦的塔位。在平整的施工场地上,先分别对称组装两侧塔腿,每节组件拼接后应拧紧连接螺栓,但需保留适度余量,以便后期校正。地面铺设的垫木高度要略高于基础地脚螺栓露出基础面的高度,同时建议在塔座底板处设置塔脚铰接装置,便于后续的起立操作。搭设内拉线抱杆于塔位中心位置,并将其牵引绳和吊点绳按作业图纸进行绑扎。抱杆拉线通过专用挂件固定于地脚螺栓,确保整个结构受力合理。为提高起吊时的安全性,在塔腿底部加绑两条制动绳控制转动节奏,同时在每根主材顶部系上两根 11 mm 钢丝绳作为临时支撑拉线。吊点绳的布置位置选在塔腿上端 1/4 至 1/3 处,使其重心之上形成稳定的起吊支点。在起塔操作中,使用绞磨缓慢牵引塔腿,通过拉紧制动绳引导塔腿围绕铰接点转动。当塔体逐步竖立至约 30° 时,松开侧拉线的下端支点,继续提升塔体直至其达到设计的垂直状态。此时,暂停牵引操作,校正地脚螺栓与塔座底孔的对位情况,安装垫板并锁紧螺帽。随后调整各处临时拉线,确保塔腿垂直稳固。另一侧塔腿按相同流程完成组立,待两边塔腿全部起立就位后,安装剩余的辅铁构件并拧紧所有连接螺栓,最终撤除全部临时支撑装置。

2.3 抱杆竖立与提升技术

竖立抱杆之前,首先应将各段抱杆运至现场后按顺序进行拼接,并确保接头螺栓拧紧,形成一个完整、笔直的整体。朝天滑车应牢固连接于抱杆顶部,通过

滑车引入起吊钢绳,并与抱杆临时拉线一起固定于抱杆帽,确保在竖立过程中抱杆处于稳定状态。根据工程特点,可以采用两种竖立方法:利用塔腿单扳整立抱杆或利用塔腿整体吊装抱杆。对于塔腿单扳整立方式,抱杆通常放置在未装辅材的一侧地面上,逐步提升至接近垂直约 80°,然后收紧拉线使抱杆立正。拉线位置一般固定于塔腿的主材节点,以增强稳定性^[4]。

如果抱杆较重或起吊路径复杂,可以采用回头滑车布置方法来提升抱杆。在具体操作中,通过攀根绳控制抱杆根部运动,逐步向塔身内移动。抱杆竖立到位后,利用腰环和腰绳进行精确调整,确保垂直度在设计允许范围内,最后将拉线固定于塔腿规定的节点位置。同时,针对不同工况的抱杆重量和长度,选择合适的滑车、攀根绳和牵引工具。例如:较轻的抱杆可采用单吊布置,重型抱杆则通过回头滑车进行二次牵引,进一步降低施工风险。

提升抱杆的过程有三种方法,即利用腰环提升、利用塔腿内拉线控制提升和利用塔体上的内拉线控制提升。利用腰环提升时,抱杆的起吊钢绳经过地滑车、起吊滑车和朝地滑车传递牵引力。施工人员在抱杆顶端和中部绑扎腰环,将抱杆固定在铁塔结构中心的位置。开始提升时,四条拉线从原绑扎点松开并重新固定到指定节点,保持抱杆稳定。在提升过程中,施工人员通过收紧钢绳,使抱杆逐步升高并达到设计高度。承托绳的调整在此阶段尤为关键,它们必须受力均匀,最终将两条承托绳固定于上方主材节点,确保抱杆在垂直和水平方向均保持稳定。

当抱杆高度超过 15 m 时,考虑采用内拉线控制的方法。利用塔腿内侧的拉线控制器和塔段顶端的转向滑车,通过同步调整内拉线的松紧,确保抱杆始终处于垂直状态。

2.4 构件绑扎与吊装技术

吊点绳的布置需满足施工设计对构件起吊稳定性的要求,使用两根等长钢丝绳分别固定在塔片主材对称节点处,形成立体对称的倒“V”形结构。在该 V 形结构的顶部,通过穿插一只卸扣与起吊绳相连,完成与主吊索的连接。为实现起吊时的平衡状态,吊点的绑扎高度需位于构件重心以上 1.0~2.0 m 之间,使得合力方向与构件中心轴线一致,从而有效提升构件在吊装过程中的稳定性。此外,为了减少应力集中和防止塔材磨损,绑扎点通常垫以方木并缠麻带,或者直接采用尼龙吊带代替钢丝绳。吊点绳应保持等腰三角形状态,夹角 α 不得大于 120°,以确保在吊装过

程中钢丝绳承受均匀的拉力。根据吊点绳受力的计算,若构件重力为10 kN,吊点绳夹角为 60° 时,每条绳的受力可达8.66 kN;当夹角增大至 120° 时,单条绳的受力则增至10 kN。因此,在实际施工过程中,施工团队需根据构件重量和吊点绳夹角精确计算受力值,调整绑扎方式,以保证吊装过程的安全性。此外,对于构件薄弱部位,还需进行必要的补强。若吊点处的结构薄弱,可在吊点间加装直径100 mm以上的钢管或圆木补强,补强构件长度通常根据实际构件尺寸确定。此外,在横担吊装中,尤其是针对长度超过10 m的110~220 kV线路直线塔横担,常采用四点绑扎方案,将吊点分布于横担两端和两侧,形成稳固的支撑结构。对于500 kV线路的酒杯型横担或猫头型横担,由于其长度和重量较大,更需要精确的补强设计和分段吊装方案,以保证吊装过程的安全稳定。

构件吊装的操作包括吊装前的准备、吊装过程的监控及吊装后的固定和调整。吊装前,需要确认已组立塔段的水平材安装到位,所有辅材螺栓拧紧。如果牵引绳与塔材可能发生摩擦,可在水平材处绑扎一根补强小圆木进行隔离。若大斜材下端无法直接与主材连接,通过在主材下端绑扎圆木或圆管接长,使构件在吊起前避免下端着地受弯。在吊装过程中,攀根绳需要保持适当的拉紧状态,以防构件因晃动碰撞已组塔段。调整绳则在构件接近设计位置时提供微调功能,通过收紧或松开调整绳,施工人员可以对构件姿态进行精确控制,确保构件顺利对接。以500 kV线路的酒杯型横担吊装为例,其横担长度可达24~30 m,吊装时往往需要将抱杆接长至24 m以上,或者采用两根11 m抱杆分别固定于上曲臂处。在吊装中段横担后,再逐步吊装两侧边段,最终将整个横担组合成整体。

在干字型铁塔的横担吊装中,先分片吊装地线支架,再利用已安装好的地线支架分片吊装导线横担。地线支架安装时采用水平吊装法,将其分为前后片吊装,安装时应严格按照设计要求进行对齐、固定。在横担吊装时,调整绳的绑扎和使用尤为关键,施工人员通过调整绳的松紧,确保横担主材对准塔身的连接孔位,连接螺栓安装后,再组装横担的辅材,确保整个横担结构达到设计要求。

2.5 抱杆拆除技术

抱杆的拆除作为铁塔施工的最终环节,其安全与否直接关系到工程收尾的质量与后续风险的规避。为确保作业顺利进行,必须在拆除前做好充分的技术准备和施工布置。起吊滑车的悬挂点需根据塔型区别选

择:酒杯塔与猫头塔应以横担中部作为悬挂位置,而上字型塔及干字型塔则应选择塔头顶部,并确保此处为主材节点,所有连接螺栓必须已紧固到位,以满足结构承载与抗拔需求。在施工过程中,在横担中央节点处应设一只额定载荷为30 kN的单轮滑车。起吊绳的固定应选在抱杆自顶部向下 $1/4$ 至 $1/5$ 的位置,确保起吊力合理分布。同时,为控制拆除方向,在抱杆底部绑扎一根直径18 mm的棕绳,作为导向绳使用。牵引力通过滑车合理传导至塔身节点,有效保障整个抱杆拆卸过程的可控性与稳定性^[5]。

拆除抱杆的操作顺序是关键。一般先收紧起吊绳,拆除抱杆拉线后,启动绞磨将抱杆向上提升约0.5 m,松弛承托绳的张力,便于安全拆除承托绳。接下来,缓慢松出牵引绳,利用地面人员对根部棕绳的引导力,确保抱杆在下降过程中保持平稳。抱杆头部降至横担以下后,及时拆除顶部拉线,并用棕绳套或卸扣将抱杆头部与牵引绳牢固连接,防止因惯性或外力导致抱杆翻转。随后继续松出牵引绳,逐步使抱杆落地。此过程中抱杆根部的棕绳应始终保持适度拉紧,避免抱杆与塔身发生碰撞或摩擦。

3 结束语

铝合金抱杆凭借重量轻、地形适应性强、经济性良好等优势,在输电线路工程建设中发挥了重要作用。通过科学合理的现场布置、塔腿组立、抱杆竖立与提升、构件绑扎与吊装以及抱杆拆除等技术,有效提升了施工效率与安全性。未来,随着输电线路工程建设标准的不断提升,应进一步优化铝合金抱杆施工技术,加强施工过程中的质量管控与安全防护,推动输电线路施工技术迈向新高度。

参考文献:

- [1] 张毅军,冯玉功,康文辉.轻型智能跨越架结构研究与计算[J].机械研究与应用,2023,36(03):27-30.
- [2] 汤小兵,万华翔,钟文,等. ± 800 kV白浙线重要跨越施工关键技术[J].河南科技,2023,42(10):15-20.
- [3] 刘洋,王民,翟光林,等.220kV输电线路不停电跨越施工技术研究[J].电子元器件与信息技术,2024,08(08):195-197.
- [4] 蓝敏雪.高压输电线路带电跨越施工技术分析[J].中国高新科技,2024(24):93-94,149.
- [5] 王民,刘洋,翟光林,等.高压输电线路带电跨越施工技术要点探究[J].大众标准化,2024(24):39-41.

水泥稳定碎石基层工艺在道路工程中的应用分析

汪 冠

(黄山新洲建设集团有限公司, 安徽 黄山 245242)

摘 要 本文阐述了水泥稳定碎石基层的性能评价与优化建议。在性能评价方面, 重点从力学性能和耐久性两个角度探讨, 通过无侧限抗压强度试验评估承载能力, 通过长期观测和模拟试验考察稳定性, 提出材料配比优化和施工工艺改进, 调整水泥、碎石、水比例及添加外加剂改善性能, 加强施工控制和管理, 提高技术水平确保质量等优化建议, 以期为提高水泥稳定碎石基层施工质量提供实用的参考。

关键词 水泥稳定碎石基层; 力学性能; 耐久性; 材料配比优化; 施工工艺改进

中图分类号: U416.2

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.19.019

0 引言

在国家基础设施建设快速推进和持续完善的进程中, 道路工程作为连接城市与乡村、推动区域交流与合作的关键桥梁, 其质量和耐久性受到了社会各界的高度关注和重视。水泥稳定碎石基层作为道路结构中的核心组成部分, 凭借其优异的力学性能、卓越的耐久性以及良好的经济性, 在道路工程中得到了广泛的应用和推广。水泥稳定碎石基层不仅能够有效承受车辆荷载和外界环境的长期作用, 还能保证道路的平稳性和安全性, 为道路交通的顺畅运行以及经济发展筑牢了坚实的基础。

1 水泥稳定碎石基层工艺概述

1.1 水泥稳定碎石基层的定义与功能

水泥稳定碎石基层是一种采用水泥作为胶结剂, 与碎石等骨料混合后, 经过摊铺、碾压等工艺形成的具有一定强度和稳定性的道路基层结构。它作为道路结构中的重要层次, 主要肩负着传递、分散路面荷载之责, 能增强道路整体稳定性, 提升路面耐久性。此外, 水泥稳定碎石基层还具备优良的防水特性, 能够有效防止水分侵入道路结构内部, 延长道路的使用寿命。

1.2 水泥稳定碎石基层的组成与材料要求

水泥稳定碎石基层以水泥、碎石、水等原料为主要构成。其中, 水泥作为胶结剂, 其质量直接关乎基层强度与稳定性; 碎石作为骨料, 其粒径、级配和质量等参数对基层的性能有着重要影响; 水则是水泥水化反应的必需品, 其用量和质量控制同样至关重要。故而在水泥稳定碎石基层施工环节, 必须严格控制原

材料的品质和质量, 确保基层的性能满足设计要求^[1]。同时, 还需要根据具体的工程条件和设计要求, 合理选择原材料的种类和配比, 以达到最佳的施工效果。

2 水泥稳定碎石基层的设计原理与计算方法

2.1 设计原理

水泥稳定碎石基层的设计原理主要基于其强度形成机制和结构设计考虑。水泥与碎石混合后, 通过水泥的水化作用, 形成具有一定强度的水泥石, 将碎石颗粒胶结在一起, 从而形成具有整体性的基层结构。在这一过程中, 水泥的用量、碎石的级配、含水量、施工工艺等均影响基层强度。同时, 在结构设计时, 需要考虑基层的厚度、模量等参数, 以确保其能够承受路面荷载并传递到下层结构, 同时保证道路的整体稳定性和耐久性。因此, 水泥稳定碎石基层的设计原理是综合考虑材料性能、结构需求和施工工艺的多方面因素, 以达到最佳的设计效果。

2.2 计算方法

水泥稳定碎石基层的计算方法主要包括设计指标与参数的确定以及具体的计算步骤。设计指标通常包括基层的厚度、强度、模量等, 这些指标需要根据道路等级、交通荷载、土质条件等因素进行确定。在计算过程中, 首先需要根据设计要求确定基层的厚度, 然后结合材料的力学性能和结构需求, 计算出基层所需的强度或模量。具体的计算步骤可能涉及材料的力学性质测试、结构分析、力学计算等多个环节。通过科学的计算方法, 可以确保水泥稳定碎石基层的设计满足道路工程的需求, 保证道路的安全性和耐久性。

3 水泥稳定碎石基层的施工工艺与技术要点

3.1 施工前准备

1. 现场勘察与调查。在水泥稳定碎石基层施工之前,必须进行详细的现场勘察与调查。这一步骤旨在全面了解施工现场的地形、地貌、地质条件,以及周边的交通状况、环境限制等。通过现场勘察,可以确定施工范围、施工顺序,以及可能需要的特殊施工措施。同时,还需要对现场的气候条件进行调查,包括温度、湿度、降雨量等,以便合理安排施工计划,避免不利天气对施工质量的影响^[2]。

2. 施工组织与设备配置。根据现场勘察与调查的结果,制定详细的施工组织设计。施工组织设计涵盖施工队伍架构、人员分工及施工流程规划。同时,还需要根据施工需求,合理配置施工设备。水泥稳定碎石基层施工设备含拌和设备、运输车辆、摊铺机、压路机等。设备的选择应考虑其性能、效率以及施工规模的匹配性。此外,还需要制定设备的使用、维护和管理制度,确保施工过程的顺利进行。

3.2 施工工艺流程

1. 材料拌和与运输。水泥稳定碎石基层的施工首先始于材料的拌和。这一环节至关重要,因为它直接影响到基层的质量。在拌和过程中,必须严格按照设计配比将水泥、碎石和水进行混合。拌和设备应选择性能稳定、拌和效果好的机型,以确保拌和料的均匀性和一致性。拌和时,应控制好拌和时间,避免过长或过短导致拌和料质量不佳。拌和完成后,应及时将拌和料装入运输车辆,运往施工现场。在运输过程中,应采取措施防止拌和料的离析和水分流失,如使用密封性好的运输车或加盖篷布等。同时,运输车辆应保持匀速行驶,避免急刹车或颠簸,以确保拌和料的稳定。

2. 摊铺与整形。摊铺为水泥稳定碎石基层施工关键环节。在摊铺前,应对下承层进行彻底清理,去除杂物和浮土,确保摊铺面的平整和洁净。摊铺时,应使用摊铺机进行机械化作业,根据设计要求调整好摊铺机的宽度、厚度和坡度。摊铺时需保持速度均匀稳定,避免过快或过慢导致摊铺质量不佳。摊铺完成后,应及时对摊铺面进行整形,使用整形工具调整其横坡、纵坡和厚度,确保符合设计要求。在整形过程中,应密切关注摊铺面的变化情况,及时调整整形参数,确保整形质量。

3. 碾压与养生。碾压是水泥稳定碎石基层施工最后的关键工序。碾压时应选择合适的压路机,根据基层的厚度和材质确定碾压遍数和碾压方式。碾压时需

保持压路机行驶速度均匀,避免急转弯或急刹车,以免影响碾压效果。碾压完成后,应对基层进行养生处理。养生期间,应保持基层的湿润状态,可以采取洒水或覆盖保湿膜等措施。养生时间应根据气候条件和水泥稳定碎石的性质来确定,一般不少于7天。养生期间应禁止车辆与行人通行,以免对基层造成破坏。

3.3 技术要点与注意事项

1. 关键技术控制点。在水泥稳定碎石基层的施工中,有几个关键技术控制点需要特别注意。首先是材料的配比和拌和质量,这是决定基层强度的关键因素。其次是摊铺的均匀性和平整度,这直接影响到路面的使用性能和舒适度。再次是碾压的遍数和方式,这关系到基层的密实度和稳定性^[3]。最后是养生的时间和措施,这影响到基层的强度和耐久性。因此,在施工过程中,必须严格控制这些关键技术控制点,确保施工质量。

2. 常见问题与预防措施。在水泥稳定碎石基层的施工中,常见的问题有拌和料离析、摊铺面不平整、碾压不实、养生不足等。为了预防这些问题的发生,可以采取以下措施:加强材料的拌和管理,确保拌和料的均匀性和稳定性;提高摊铺机的操作水平和精度,确保摊铺面的平整度和均匀性;选择合适的压路机和碾压方式,确保基层的密实度和稳定性;加强养生管理,确保养生时间和措施符合要求。同时,还应加强对施工人员的培训和教育,提高他们的技术水平和质量意识,确保施工过程的顺利进行。

4 水泥稳定碎石基层的质量控制与验收标准

4.1 质量控制方法

1. 原材料质量控制。水泥稳定碎石基层的质量首先取决于原材料的质量。因此,对原材料的质量控制是至关重要的。对于水泥,应严格检查其标号、生产日期、厂家等信息,确保其符合设计要求,并且无受潮、结块等现象。碎石作为骨料,其粒径、级配、含泥量等指标均需满足相关标准,以保证基层的强度和稳定性。同时,水的质量也不容忽视,应使用清洁、无杂质的水源,避免对水泥的水化反应产生不良影响。在施工过程中,应定期对原材料进行抽检,确保其质量稳定可靠。

2. 施工过程质量控制。施工质控是水泥稳定碎石基层质量的关键。拌和时须严控水泥、碎石、水比例,确保拌和料的均匀性和稳定性。摊铺时,应保持摊铺速度均匀,避免摊铺面出现波浪、离析等现象。碾压时,应选择合适的压路机和碾压方式,确保基层的密实度和稳定性。同时,还应加强对施工人员的培训和教育,

提高他们的技术水平和质量意识,确保施工过程的规范化和标准化。在施工过程中,应设立专职质检人员,对各个环节进行实时监控和检查,及时发现问题并采取整改措施。

4.2 验收标准与程序

1. 验收标准。水泥稳定碎石基层的验收标准主要包括强度、厚度、平整度、密实度等指标。强度是评价基层承载能力的重要指标,应符合设计要求。厚度应满足设计要求,且均匀一致。平整度是评价路面使用性能的重要指标,应控制在规定范围内。密实度则反映了基层的紧实程度,也应符合相关标准^[4]。此外,还应检查基层有无裂缝、松散、剥落等缺陷,确保基层的质量满足使用要求。

2. 验收程序。水水泥稳定碎石基层的验收程序一般包括以下几个步骤:首先,由施工单位进行自检,确保基层的各项指标符合设计要求;其次,由监理单位进行复检,对施工单位的自检结果进行核实和确认;最后,由建设单位组织相关单位进行最终验收,对基层的质量进行全面检查和评价。在验收过程中,应严格按照验收标准进行检查和测量,保障验收结果准确可靠,同时做好验收记录及资料整理,为后续的工程维护和改造提供依据。

5 水泥稳定碎石基层的性能评价与优化建议

5.1 性能评价

1. 力学性能评价。水泥稳定碎石基层力学性能为关键指标之一。它直接关系到基层的承载能力和路面的使用寿命。通常以无侧限抗压强度试验评估其力学性能。这一试验能够模拟基层在实际使用过程中所承受的垂直荷载,从而评估其抗压强度。合格的水泥稳定碎石基层应具备高抗压强度,以确保其能够承受车辆荷载和外界环境的长期作用而不发生损坏。此外,还可以通过弯沉试验等方法来进一步评价基层的力学性能,确保其满足设计要求。

2. 耐久性评价。耐久性是评价水泥稳定碎石基层性能的另一个重要方面。它指的是基层在长期使用过程中保持其原有性能的能力。水泥稳定碎石基层的耐久性主要受其材料组成、施工工艺和养生条件等因素的影响。为了评价基层的耐久性,我们可以进行长期性能观测,观察其在不同环境条件下的变化情况^[5]。同时,还可以通过模拟试验来加速基层的老化过程,从而评估其耐久性能。一个优秀的水泥稳定碎石基层应具备良好的耐久性,能够在各种恶劣环境下保持其稳定性和使用性能。

5.2 优化建议

1. 材料配比优化。材料配比是影响其性能的关键因素之一。通过优化材料配比,可以显著提高基层的力学性能和耐久性。具体来说,我们可以根据设计要求和实际情况,合理调整水泥、碎石和水的比例,以确保拌和料的均匀性和稳定性。同时,还可以考虑添加一些外加剂或改性剂,以改善基层的性能。例如:添加适量的纤维可以增强基层的抗拉强度和抗裂性能;使用高品质的水泥可以提高基层的强度和耐久性。因此,在材料配比方面,应进行充分的试验和研究,以找到最佳的配比方案。

2. 施工工艺改进。施工工艺对其性能影响至关重要。通过改进施工工艺,可以进一步提高基层的质量和性能。具体来说,我们可以加强施工过程的控制和管理,确保各个环节都符合设计要求。拌和时须严控时间与温度,以确保拌和料的均匀性和稳定性。在摊铺和碾压过程中,应保持速度均匀、操作规范,以避免出现波浪、离析等现象。同时,还应加强对施工人员的培训和教育,提高他们的技术水平和质量意识。通过不断改进施工工艺,可以确保水泥稳定碎石基层的质量得到全面提升。

6 结束语

水泥稳定碎石基层作为道路结构中的重要组成部分,其性能直接影响到路面的使用寿命和行车安全。因此,我们必须高度重视水泥稳定碎石基层的性能评价与优化工作。通过科学的性能评价方法和有效的优化建议,不断提高水泥稳定碎石基层的质量和性能,为道路建设的可持续发展做出积极贡献。同时,我们也应继续加强相关研究和实践,不断探索新的技术和方法,促进水泥稳定碎石基层技术持续创新。

参考文献:

- [1] 王瑞鹏. 公路工程水泥稳定碎石基层施工技术[J]. 交通建设与管理, 2024(04):151-153.
- [2] 李阳. 水泥稳定碎石基层施工技术在市政道路中的应用研究[J]. 工程建设与设计, 2023(18):151-153.
- [3] 李治国. 水泥稳定碎石基层施工技术在市政道路施工中的应用[J]. 石材, 2023(04):136-138.
- [4] 王明松. 水泥稳定碎石基层技术在市政道路施工中的应用[J]. 江西建材, 2022(11):270-272.
- [5] 胡英芳. 市政施工中水泥稳定碎石基层施工技术探讨[J]. 建材发展导向, 2022(20):154-156.

地基设计和岩土工程勘察过程中 常见问题及对策分析

张绍清, 李 鑫, 姚 斌, 周 斌

(云南天邛岩土工程有限公司, 云南 德宏 678499)

摘 要 建筑工程项目开展地基设计和岩土工程勘察作业时, 常受到准备不充分、作业不规范等多重因素影响, 使得地基设计与岩土勘察效果下降。为防止此类问题发生, 提升地基工程与岩土工程的建设质量, 本文针对地基设计和岩土工程勘察方案开展研究, 指出通过充分做好前期准备、增强员工专业技能、实现岩土勘察工程技术创新、协调好地基设计和岩土勘察工作等方法, 可提高地基设计和岩土工程勘察质量, 保证工程安全性和稳定性, 以期为促进建筑工程建设效果提升提供有益参考。

关键词 地基设计; 岩土工程勘察; 数据共享

中图分类号: TU195; TU470

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.19.020

0 引言

建筑工程中地基设计和岩土工程勘察存在密切关系, 通过掌握精准的勘察报告能够提高地基设计的水平。地基设计对建筑物承载力、稳定性有直接影响, 而岩土工程勘察为地基设计提供了基础和依据。但是, 在实际工程中地基设计和岩土工程勘察存在较多问题, 如准备工作不充分、勘察作业不规范、技术人员专业能力不足、地基设计和岩土勘察工作不协调等, 造成工程质量不合格, 也容易引发一系列安全事故。因此, 深入分析地基设计和岩土工程勘察过程中的常见问题, 并根据实际情况提出合理对策, 从而保证地基设计和岩土工程勘察质量, 对提高建筑工程质量具有积极作用^[1]。

1 地基设计和岩土工程勘察内容

1.1 地基设计

地基设计是建筑工程中的重点内容, 需要分析建筑物荷载要求、地基条件、周边环境, 选择适宜的地基类型, 明确地基尺寸和埋深, 并且为地基处理提供依据。

地基设计时需要综合性分析地基的承载力、变形特性以及不稳定性, 使得地基在建筑物荷载作用下不会出现严重的破坏或者变形。同时, 对建筑上部结构相互作用进行分析, 优化调整设计方案, 进而提高建筑物整体性能和安全性。地基设计需要严格按照国家标准和行业规范, 根据工程情况对比多项方案, 从而确定最适合的地基设计方案。

1.2 岩土工程勘察

岩土工程勘察为地基设计提供基础数据, 其作用是查明场地地质条件、岩土体特性、地下水状况, 使地基设计有准确、可靠的地质资料。岩土工程勘察中选择先进勘察手段和措施, 如钻探、原位测试、室内试验, 能够精准掌握岩土体的物理力学性质、水文地质关键信息。同时, 应对建筑工程施工现场的稳定性、不良地质作用、地下水对工程影响作出评价, 并且提出合理化的建议, 确保岩土工程勘察成果符合地基设计的深度和要求, 为地基设计提供完整的数据。

2 地基设计和岩土勘察工作存在的问题分析

2.1 准备工作不充分

地基设计与岩土勘察工作中存在的主要问题是准备工作不充分。有些项目在勘察工作前期没有收集各项资料, 对地质条件、周边环境、建筑荷载等方面了解不够深入, 造成勘察和设计工作过程中存在较大偏差。同时, 勘察与设计单位没有及时共享信息, 导致工作开展的过程中由于准备工作不充分, 存在阻碍性因素, 工作效率降低且容易出错。

2.2 岩土工程勘察作业不规范

岩土工程勘察作业不规范是工作中较为常见的问题, 导致勘察数据准确性下降、可靠性不足。有些勘察单位在工作开展阶段并未按照规范化要求进行, 造成勘察工作开展阶段存在较多漏洞。例如: 钻孔设置时存在孔距过大、孔深不足的情况, 不能精准掌握地质

条件变化状况,造成勘察作业结果存在片面性。取样检测的环节未按照要求进行密封、标识、保存,造成土样、岩样在运输以及储存过程中存在污染、扰动情况,物理力学性质发生改变,对最终的实验数据准确性、真实性产生不利影响。在原位测试操作过程中,有些工作人员在标准贯入试验、静力触探试验的过程中未按照规定程序进行数据测试,尤其是锤击数、贯入速率设置不当,造成数据偏差过大,无法为地基设计提供精准数据。此外,勘察报告不规范较为常见,如报告内容不完善、地质条件表述模糊、不良地质条件评价不准确,造成地基设计和施工环节存在较多问题^[2]。

2.3 技术人员专业能力不足

从事地基设计和岩土工程勘察的技术人员专业能力不足,经验不够,造成在工作开展阶段存在较多的误差。例如:有些工作人员在工作中没有积极学习先进技术和知识,或者不具备丰富的经验,新技术、新方法没有落实到工作实际中而造成工作存在较大偏差。同时,有些技术人员的责任心不强、工作态度不够认真,在勘察和设计中没有加强审核,导致工程质量和安全不达标。

2.4 地基设计和岩土勘察工作不协调

在地基设计和岩土工程勘察的过程中,工作不协调的情况比较常见。有些建筑工程项目在勘察与设计阶段,各单位之间沟通协调性不足,造成勘察结果和设计要求不匹配,设计方案和现场的地质条件存在严重冲突现象。同时,勘察与设计单位的工作进度存在很大差异,导致工作进度无法达到标准。地基设计与岩土工程勘察开展阶段不协调现象较为普遍,导致工作效率下降,甚至引发工程变更以及返工导致工程成本升高。

2.5 勘察结果利用不科学

在地基设计与岩土工程勘察的过程中,普遍存在的问题是勘察结果利用不科学。一方面,有些勘察单位对于报告内容研究深度不够,土层分布、岩土性质的关键性信息描述缺乏精准性,也没有重点讲解软弱夹层溶洞的特性。如果无法解决该问题,勘察结果难以有效利用,也不能从勘察报告中获取精准、全面的数据,无法确定科学合理的地基设计方案。另一方面,根据勘察结果确定设计方案时,经验主义倾向较为严重,有些人员过度依赖以往项目的经验,对勘察结果分析不够深入,也没有充分考虑到现场地质条件的不同之处。例如:在分析地基承载力时,采用简单公式或者经验进行判断,各项参数出现较大偏差而影响地基设计精准性。

3 优化地基设计和岩土勘察工作的对策建议

3.1 充分做好前期的准备工作

地基设计与岩土工程勘察的过程中需要充分做好准备工作,这是确保各项工作任务顺利完成的关键。在项目开始之初需要组织专家团队进入现场开展全面踏勘,收集基础资料,包含地形地貌、地质构造、水文条件、周围环境,使得工作人员对现场的地质条件有充分的了解。同时,明确项目的需求和目标,结合建筑物类型、规模、荷载要求,制定科学合理的勘察与设计方案,为后续工作开展提供清晰的指导。同时,积极与业主设计单位保持良好沟通,就工程要求、技术标准达成一致,各单位紧密配合以完成各项工作。在人员配置方面,需要选拔经验丰富、技术水平较高的职业团队,并且具备较高的道德素质水平,从而提高地基设计和岩土工程勘察水平。此外,加强工作团队的培训教育,落实技术交底,进而提高团队的业务能力以满足工作要求^[3]。

3.2 增强员工的专业技能

现代科学技术发展迅速,工程技术领域也取得很大进展,专业技术水平的提升能保证工程建设安全 and 质量。为确保地基设计和岩土工程勘察质量,需要建设完善的培训体系,定期组织人员进行学习。通过内部培训或者外部进修的融合性方式,并选择合理的培训内容,如岩土工程理论、地基设计规范、勘察技术方法以及行业先进技术,使员工能够掌握新知识、新技术。同时,积极鼓励各级员工参与到项目的技术难题攻关中,从实践中提升专业技术能力,具备较强的创新思维和解决问题的能力。建立导师制度,由经验丰富的员工指导新员工,让经验和技能不断地传承,形成良好的工作、学习氛围。此外,建立技能考核与激励机制,将员工的技能水平和职业发展、薪酬待遇紧密联系起来,促进员工工作积极性的提升,也能投入学习和培训中。鼓励员工参与国家相关部门组织的行业资格认证考试,如注册岩土工程师、注册结构工程师,利用权威认证提高个人的能力。通过数字化工具和平台,如BIM技术、大数据分析软件,提高员工在数据处理、模拟分析方面的能力,精准评估地质条件预测工程风险^[4]。

3.3 实现岩土勘察工程技术创新

岩土工程勘察需加强技术创新,从多角度出发将先进勘察技术方法和设备全面升级,进而提高工作水平。从技术方面来说,加强先进勘察技术的研发和应用,如使用高精度三维地震勘察技术、地质雷达探测技术

和无人机航测与遥感技术,能够精准对地下结构进行高分辨率成像和动态监测,从而提高勘察数据的精准性和完整性。同时,将大数据、人工智能技术融合到岩土工程勘察中,对海量勘察数据进行深度挖掘和分析,进而建设智能化地质模型,确保地基设计更加的科学、可靠。

积极探索多学科交叉融合的新方法,确保岩土工程和材料科学、环境科学、信息技术有效融合,进而研发出在复杂条件下能够提高勘察精度的新型勘察方法。例如:微生物岩土技术能够改变土壤性质,提高地基结构承载力;非破坏性检测技术,保证地质环境不受干扰,符合绿色、环保发展要求。在设备更新方面,结合岩土工程勘察要求研发新型设备,如智能化状态设备、高精度传感器以及自动化数据采集系统,进而提高岩土工程勘察工作效率,避免人为操作误差,保证勘察作业具备较高的安全性和准确性。同时,加强技术攻关,实现勘察设备模块化、便携化发展,满足不同规模、不同地形条件下的岩土工程勘察要求。

3.4 协调好地基设计和岩土勘察工作

为确保地基设计和岩土工程勘察工作紧密结合,需要从工作流程、数据共享、技术衔接方面展开,使两者工作紧密配合。在工作流程方面,需要建设标准化、规范化的工作程序,使得地基设计和岩土工程勘察人员在目标、任务、交付成果方面紧密配合与相互支撑,进而保证各项工作顺利开展。勘察阶段需要准确记录地质条件、岩土特性以及地下水情况,使后续的地基设计获取精准全面的数据信息。设计阶段依据岩土工程勘察的结果,根据工程实际情况确定适宜的地基类型、尺寸以及处理方式,使得地基设计符合经济、安全的标准。

数据共享是保证地基设计和岩土工程勘察协调的关键,根据工作要求建设统一的数据管理平台,将勘察工作后获取的地质资料、测试数据、分析报告及时上传到云平台,由地基设计人员随时查阅和调用^[5]。同时,设计团队结合方案制定中形成的计算书、图纸、变更记录传输到平台中,由勘察人员了解设计意图,并根据实际工作需求补充勘察或者提出优化建议,两者进行共享和交流,打破信息孤岛从而提高工作协同效率。从技术衔接方面分析,岩土工程勘察技术和地基设计方法相互促进、相互融合。勘察团队根据设计要求灵活调整勘察手段和深度,使得地基设计能够掌握更加完善、全面的数据;地基设计人员充分了解岩土工程勘察技术的局限性,对勘察结果做出合理的分

析和判断,防止数据偏差引发设计错误。此外,地基设计和岩土工程勘察领域工作人员要重视新技术、新方法研究,探索新的融合策略以实现两者共同发展。

3.5 提升勘察结果科学利用效率

在岩土勘察中需要制定详细的勘察计划,分析规模、地质条件、确定勘察工作范围以及具体测试内容,从而使得勘察数据反映出现场具体情况,为后续地基设计和施工提供数据。同时,采用先进的勘察技术和设备,如高精度仪器、自动化钻探设备,从而提高勘察数据精准性,防止存在人为误差而影响后续工作开展。岩土工程勘察阶段采用先进技术和软件进行数据实时分析,将采集后的原始数据进行筛选、整理与分析,并且剔除异常数据。而后,复核检测各项数,从而提高勘察数据的精度以及可靠性。岩土勘察中的重要地质数据采用多种方法相互印证方式,防止单一方法存在偏差而导致地基设计存在缺陷。地质勘察报告获取后,组织专业技术人员进行解读和分析,根据以往经验和国家标准,分析得出勘察设计结论,提取关键信息,并且掌握地质条件对工程产生的影响。此外,建设岩土工程勘察数据库进行历史数据的综合整理与分析,并形成完善的数据库体系,从而为经验总结以及地基设计水平提升奠定基础。

4 结束语

地基设计和岩土工程勘察作为建筑工程中极为重要的内容,直接影响工程质量、安全性、稳定性。但地基设计和岩土工程勘察环节存在较多问题,需要结合实际情况,从做好准备、增强员工素质、重视技术创新、协调地基设计和岩土工程勘察工作展开,建设完善工作体系,发挥新技术、新设备、新方法的优点,提高工作水平,为建筑工程建设效果提升奠定基础。

参考文献:

- [1] 唐虎.建筑岩土工程勘察及地基基础方案分析[J].中国新技术新产品,2019(16):62-63.
- [2] 李立.岩土工程勘察设计常见问题与解决对策研究[J].城市建筑,2020,17(23):74-75.
- [3] 吕江漫.地基设计和岩土工程勘察过程中常见问题及应对策略[J].西部资源,2021(01):106-108.
- [4] 章林通.岩土工程勘察与地基设计中的问题分析及方法研究[J].中国设备工程,2021(12):268-269.
- [5] 梁瑜,胡励耘.地基设计和岩土工程勘察过程中的问题[J].冶金管理,2021(23):86-87.

机械设计中的材料选择和应用分析

李 宁，焦海婷，臧 鑫

(山东远卓石油技术有限公司，山东 东营 257000)

摘 要 机械设计中的材料选择与应用是保障产品性能、成本与可持续性的关键环节。材料选择需综合考虑力学性能、工艺适配性及环境效益三大核心维度，通过构建多目标决策模型实现科学选型。在金属材料中，高强钢与钛合金在承载结构领域占据主流，其强化机制与热处理工艺显著影响服役寿命；在非金属材料方面，碳纤维复合材料凭借比强度优势推动汽车、航空航天领域轻量化革命；功能陶瓷的特殊电磁性能则拓展了其在传感器领域的应用边界。现代材料选择方法正呈现智能化趋势，机器学习算法可基于海量数据库预测材料性能，结合有限元仿真实现“设计—材料—工艺”的并行优化。本文对机械设计中的材料选择和应用进行分析，以期为相关人员提供借鉴。

关键词 机械设计；材料选择；金属材料；非金属材料

中图分类号 TH122；TH140

文献标志码 A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.19.021

0 引言

材料作为机械系统的物质基础，其选择与应用水平直接决定着装备的性能边界与价值维度。从青铜时代的工具革命到现代碳纤维复合材料的轻量化突破，材料科学的每一次跃迁都深刻重塑着机械设计的技术版图。在智能制造时代，材料选择已突破传统经验范式，演变为多学科知识驱动的系统工程。面对极端工况挑战与可持续发展需求，材料选择呈现出矛盾平衡的技术特征。航空航天领域要求材料同时满足高温强度、抗疲劳性能与轻量化指标；生物医疗领域则需兼顾力学相容性与生物活性。本文将从材料选择的理论框架出发，系统分析金属、非金属及复合材料的特性与应用规律，探讨智能决策模型在材料选择中的实现路径，并通过典型行业案例揭示技术发展趋势。研究旨在构建“性能需求—材料基因—应用工艺”的全链条设计方法，为高端装备创新提供理论支撑与实践指导^[1]。

1 材料性能指标体系与材料选择基本原则

1.1 材料性能指标体系

材料性能指标体系是材料选择与应用的核心评价框架，涵盖力学性能、物理性能、化学性能及工艺性能四大维度。在力学性能方面，强度指标（屈服强度、抗拉强度）决定材料在载荷作用下的失效极限，韧性参数（冲击功、断裂韧性）反映抗裂纹扩展能力，硬度值（布氏、洛氏硬度）则关联耐磨性与成型性能。物理性能包含密度（影响轻量化设计）、热导率（热管理关键参数）、电导率（电磁器件设计基础）及热

膨胀系数（热应力分析核心参数）。化学性能着重耐腐蚀性（介质环境适配性）、抗氧化性（高温服役寿命）及化学稳定性（反应容器材料选择）。工艺性能涉及铸造流动性、焊接性、切削加工性及成型工艺窗口，直接影响制造可行性及成本。例如：高强度钢虽具优异力学性能，但其焊接敏感性需在结构设计时通过工艺优化补偿；而铝合金虽密度低，但热膨胀系数较大，在精密仪器设计中需进行热变形补偿设计。现代材料研发进一步拓展性能边界，如纳米晶材料通过晶界强化突破强度—塑性矛盾，形状记忆合金利用相变特性实现智能驱动功能^[2]。

1.2 材料选择基本原则

材料选择需遵循四大基本原则以确保设计方案的科学性与经济性。功能适配性原则要求材料性能与工况需求精确匹配，如航空发动机构件需选用高温合金以承受 1 500 ℃ 以上工作环境，而深海装备材料则需具备优异的抗蠕变性能以抵御高压环境。工艺可行性原则强调材料加工特性与现有制造能力的兼容性，如复杂曲面零件优先选择超塑性成型合金，大批量生产场景则倾向选择成型周期短的压铸铝合金。经济性原则需平衡材料成本、加工成本及使用周期成本，如碳纤维复合材料虽然初期成本高，但其轻量化带来的能耗降低和寿命提升在汽车、航空航天领域展现出显著的全生命周期成本优势。可持续发展原则要求考虑材料的环境影响，如生物基材料替代传统石油基塑料，镁锂合金作为最轻金属结构材料减少运输能耗，均体现绿色设计理念。实际选择过程中需建立多目标决策

模型，如通过层次分析法（AHP）量化各原则权重，结合有限元仿真进行多方案对比。例如：某医疗器械案例显示，采用钛合金替代不锈钢虽材料成本增加 3 倍，但生物相容性提升使二次手术率降低 80%，最终实现综合成本节约^[3]。

2 金属材料的特性与应用

2.1 碳钢与合金钢

碳钢与合金钢作为传统工程材料的基石，其特性与应用覆盖机械设计的广泛领域。碳钢以铁碳合金为基础，通过调控含碳量（0.02% ~ 2.11%）和热处理工艺实现性能多样化：低碳钢（C < 0.25%）凭借优异的焊接性和塑性，成为冲压件、焊接结构件的首选；中碳钢（C=0.25% ~ 0.6%）经调质处理后强度可达 800 MPa，适用于齿轮、轴类零件；高碳钢（C > 0.6%）则具有卓越的硬度和耐磨性，广泛用于刀具、弹簧制造。合金钢通过添加 Cr、Ni、Mo 等元素显著提升性能：低合金高强钢（如 Q690）在保持焊接性的同时强度提高 30% ~ 50%，是压力容器、工程机械的核心材料；不锈钢（如 316 L）的耐腐蚀特性使其在化工设备、海洋平台领域不可替代；高温合金（如 Inconel 718）能在 800 °C 以上保持组织稳定，成为航空发动机涡轮叶片的关键材料^[4]。

2.2 铝合金与钛合金

铝合金与钛合金凭借其轻量化优势，在航空航天、交通运输领域引发材料革命。铝合金密度仅为钢的 1/3，其中形变铝合金（如 6061、7075）通过固溶时效处理达到高强度（> 500 MPa），铸造铝合金（如 A356）则具有良好的流动性和压铸成型性。钛合金的密度（4.5 g/cm³）虽高于铝，但其比强度超越多数金属，且具备优异的耐腐蚀性和生物相容性。 $\alpha + \beta$ 型钛合金（如 TC4）综合性能优异，广泛应用于航空紧固件、骨科植入物； β 型钛合金（如 Ti-10-2-3）则通过添加钒、铁等元素提高冷加工性能，适用于冷成形复杂零件。此外，铝合金与钛合金的加工技术也在不断进步，例如：铝合金的精密铸造、锻造以及钛合金的粉末冶金、增材制造等技术，都极大地拓展了这两种材料的应用范围。在航空航天领域，铝合金与钛合金的轻量化特性使得飞行器能够携带更多的有效载荷，同时降低燃油消耗，提高飞行效率。在交通运输领域，这两种材料的应用有助于提升车辆的燃油经济性，减少尾气排放，推动绿色出行的发展。随着材料科学与加工技术的不断进步，铝合金与钛合金的应用前景将更加广阔。

2.3 特殊性能金属

特殊性能金属在高端装备领域展现出独特价值。形状记忆合金（如 NiTi）通过热弹性马氏体相变实现

形状记忆效应和超弹性，在航空航天领域用于自适应结构，生物医疗领域用于血管支架；铌钛合金的超导特性（临界温度 9.3 K）使其在 MRI 设备、粒子加速器中作为核心材料。高熵合金突破传统合金设计理念，由五种及以上元素按等摩尔比组成，具有优异的力学性能和抗辐照性能，在核能装备领域展现出应用潜力。此外，这些特殊性能金属的研发与应用还推动了材料科学的进步。科研人员通过深入研究其微观结构与性能之间的关系，不断优化合金成分与制备工艺，以满足更为严格的应用需求。例如：在形状记忆合金领域，通过调整 NiTi 合金的成分比例与热处理制度，实现了对相变温度与形状记忆特性的精确调控。同时，高熵合金的抗辐照性能研究也为核能装备的安全运行提供了重要保障，使得这些特殊性能金属在高端装备领域的应用前景更加广阔。

3 非金属材料创新应用

3.1 聚合物材料

聚合物材料以其优异的可加工性、耐腐蚀性和功能可设计性，在机械设计中展现出广阔的应用前景。通用塑料（如聚丙烯、ABS）通过注塑成型技术实现复杂结构件的大批量生产，广泛应用于家电外壳、玩具制造等领域。工程塑料（如聚碳酸酯、聚酰胺）则具有更高的强度（> 100 MPa）和耐温性（> 150 °C），在汽车仪表盘、齿轮等部件中替代金属材料。高性能聚合物（如聚醚醚酮 PEEK）的连续使用温度可达 260 °C，在航空发动机轴承、半导体晶圆传输臂等高端装备中展现独特优势。

功能化改性技术进一步拓展其应用边界。纳米粒子填充技术（如纳米二氧化硅改性环氧树脂）将复合材料热导率提升 300%，有效解决 LED 散热问题；导电聚合物（如聚苯胺）通过掺杂控制电导率，在柔性传感器、电磁屏蔽材料中实现应用突破。某医疗器械案例采用 3D 打印聚乳酸（PLA）材料制备可降解骨钉，避免二次手术取出。此外，自修复聚合物（如微胶囊化修复剂）模仿生物组织修复机制，在涂层材料领域展现出延长服役寿命的潜力。

3.2 陶瓷材料

陶瓷材料凭借高硬度（> 9 Mohs）、耐高温（> 1 600 °C）、耐腐蚀等特性，在极端工况下展现独特价值。结构陶瓷（如氧化铝、氮化硅）用于制造陶瓷轴承、密封环，其寿命较金属件提高 5 ~ 10 倍；功能陶瓷（如压电陶瓷、热释电陶瓷）则实现机械能与电能的相互转换，在超声换能器、红外探测器中不可或缺。现代陶瓷制备技术突破传统烧结工艺限制，凝胶注模

成型技术可制备复杂形状陶瓷件，表面金属化技术解决陶瓷与金属的连接问题。此外，陶瓷材料在医疗领域也展现出广阔的应用前景，如生物陶瓷（如羟基磷灰石）具有良好的生物相容性和骨结合能力，成为人工关节、种植牙等医疗器械的重要材料。随着纳米技术的发展，纳米陶瓷通过晶粒细化显著提升韧性和强度，进一步拓宽了陶瓷材料的应用领域。

3.3 新型碳材料

新型碳材料（如石墨烯、碳纳米管）的发现，为机械设计带来了革命性变革。石墨烯的单层碳原子结构赋予其优异的力学（杨氏模量 1 TPa）、电学（载流子迁移率 $2 \times 10^5 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ ）和热学（热导率 5 000 W/m·K）性能。石墨烯增强复合材料在航空航天领域展现出轻量化潜力，某卫星支架案例采用石墨烯 / 铝基复合材料，比刚度提升 40%。碳纳米管（CNT）则具有极高的长径比（ $> 1\,000$ ）和导电性，在导电涂层、场发射阴极材料中展现出良好的应用前景。此外，石墨烯的二维结构使其在柔性电子器件领域具有独特优势，如可弯曲显示屏、电子皮肤等。碳纳米管作为一维纳米材料，在储能领域也展现出应用潜力，如作为锂离子电池的导电添加剂，可显著提升电池的能量密度和循环稳定性。

4 材料选择决策模型

4.1 传统选择方法

传统材料选择方法主要依赖工程经验和试验验证，通过构建材料性能数据库，结合设计约束条件进行筛选。Ashby 图表法将材料性能参数（如比强度、比刚度）可视化，帮助工程师在二维坐标中直观定位最优材料。某航空案例通过绘制密度—强度图表，在 200 种铝合金中筛选出适合机翼结构的 7055-T77 合金。然而，该方法难以处理多目标优化问题，且对新型材料数据更新响应较慢^[5]。

4.2 现代智能方法

现代智能方法引入机器学习、遗传算法等技术，实现材料选择的智能化。基于神经网络的多目标优化算法可综合考虑成本、性能、环境等多维度指标，某汽车轻量化案例通过 NSGA-II 算法在 5 000 种材料组合中筛选出碳纤维增强复合材料方案，使车身减重 18% 且成本增加控制在 5% 以内。数字孪生技术则通过构建材料性能预测模型，实现设计阶段的虚拟验证。某核电案例利用 LSTM 网络预测不同辐照条件下锆合金的蠕变行为，为燃料包壳材料选型提供依据^[6]。

4.3 数字化工具应用

数字化工具通过集成材料数据库、模拟仿真平台和优化算法，构建材料选择决策支持系统。Granta MI

材料数据库收录超百万条材料性能数据，支持多参数组合查询与对比分析。Ansys Engineering Knowledge Manager 则通过仿真驱动设计，自动评估材料在特定工况下的失效风险。某消费电子案例利用该软件对比 6 种镁合金的热导率与成型性能，确定 AZ91D 为散热片最优材料。此外，区块链技术开始应用于材料溯源与供应链优化，确保选材决策的数据可信度。利用这些工具不仅提升了效率，更推动材料选择从经验驱动向数据驱动转型。

5 结束语

机械设计中材料的选择与应用是保障装备性能、成本与可靠性的核心环节。材料选择需综合考虑力学性能、工艺性、服役环境及全生命周期成本，形成“性能—工艺—成本”的多维决策模型。传统方法依赖 Ashby 图表与经验公式，而现代智能算法通过机器学习、多目标优化显著提升效率。在金属材料中，高强度钢与钛合金在航空、海洋装备领域展现出强度优势，铝合金则凭借轻量化特性成为汽车、消费电子的首选。非金属材料的应用不断涌现，如聚醚醚酮（PEEK）在半导体装备中替代金属，陶瓷基复合材料在航空发动机中突破耐温极限。新型碳材料（石墨烯、碳纳米管）更推动电子器件向柔性化、微型化发展。材料应用分析需结合具体工况。在交变载荷下，疲劳强度成为材料选择的关键指标；在腐蚀环境中，需匹配电化特性与防护涂层；热端部件则需考虑高温蠕变与氧化行为。某核电案例通过数字孪生技术预测锆合金辐照性能，使燃料包壳寿命提升 30%。未来，材料选择将向智能化、绿色化方向发展。基于区块链的材料溯源系统可确保数据可信度，生物基可降解材料将推动环保设计。随着增材制造技术的成熟，“材料—工艺—性能”的一体化设计将成为新范式，为装备制造创新提供更多可能。

参考文献:

- [1] 杨明霞, 曲志江. 机械设计中材料的选择和应用分析[J]. 冶金与材料, 2025, 45(02): 91-93.
- [2] 刘景阳. 分析机械设计中材料的选择和应用[J]. 当代化工研究, 2023(07): 191-193.
- [3] 李倩. 新合金材料的选择在机械设计中的应用分析[J]. 铸造, 2023, 72(03): 355.
- [4] 梁先盛. 机械设计中材料的选择与应用分析[J]. 中国设备工程, 2022(08): 83-84.
- [5] 孙逸飞. 机械设计中材料的选择和应用分析: 建筑工程领域[J]. 中国住宅设施, 2021(03): 81-82.
- [6] 吕建中. 机械设计中的材料的选择和应用分析[J]. 湖北农机化, 2020(04): 80.

机电一体化技术在现代制造业中的应用

严太平

(安徽省高速地产集团有限公司, 安徽 合肥 230000)

摘要 本文以当前制造业发展为背景, 探究了机电一体化技术在现代制造业中的状况, 分析了其在自动化生产线、智能制造系统集成、精密制造与检测以及机器人制造等领域的应用, 指出了机电一体化技术应用存在技术集成复杂、依赖高技术人才、系统稳定性和可靠性不足、成本控制难等难点, 并针对这些问题提出了加强技术研发创新、培养跨学科复合型人才、提高系统可靠性与适应性、优化资源配置提升性价比等策略, 旨在对推动机电一体化技术在现代制造业中更好地应用有所裨益, 进而助力制造业向智能化、高效化发展。

关键词 机电一体化; 现代制造业; 智能制造; 精密制造; 机器人制造

中图分类号: TH-39; TH16

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.19.022

0 引言

随着科技的飞速发展, 全球制造业正经历着深刻的变革, 智能制造成为行业发展的重要方向。机电一体化技术作为融合机械、电子、计算机等多学科的先进技术, 在现代制造业中扮演着关键角色。它打破传统制造模式的局限, 显著提升生产效率与产品质量, 推动制造业朝着智能化、自动化转型升级。然而, 在实际应用中, 机电一体化技术面临着诸多挑战, 如技术集成难度大、人才短缺、系统稳定性欠佳等问题。深入剖析这些问题, 并探寻有效的解决策略, 对促进机电一体化技术在现代制造业中的广泛应用与深度发展具有重要意义。

1 机电一体化技术在现代制造业中的应用领域

1.1 机电一体化技术在自动化生产线中的应用

在现代制造业中, 机电一体化技术在自动化生产线中的应用极为广泛。以汽车制造为例, 从零部件的加工到整车的组装, 大量运用了自动化生产线。借助机电一体化技术, 生产线中的各类设备, 如数控机床、自动装配机器人等实现了精准控制。通过传感器实时采集生产数据, 反馈给控制系统, 能及时调整设备运行参数, 确保生产的稳定性和产品质量的一致性。这不仅极大地提高了生产效率, 减少了人工干预带来的误差, 还降低了人力成本, 使企业在激烈的市场竞争中更具优势。同时, 自动化生产线可根据生产需求灵活调整生产流程, 快速响应市场变化, 满足多样化的生产需求。

1.2 智能制造系统集成

智能制造系统集成是机电一体化技术的重要应用方向。它将机械制造、电子信息技术、自动化控制、

人工智能等多领域技术深度融合。例如, 在智能工厂中, 通过工业互联网将生产设备、物料管理系统、质量检测系统等连接成一个有机整体。利用大数据分析技术, 对生产过程中的海量数据进行处理和分析, 实现生产过程的优化决策。生产设备能根据数据分析结果自动调整生产参数, 实现自适应生产。同时, 智能制造系统集成还能实现生产过程的可视化监控, 管理者可实时掌握生产进度、设备状态等信息, 及时发现并解决生产中的问题, 提高企业的管理水平和生产效率。

1.3 精密制造与检测技术的提升

机电一体化技术为精密制造与检测技术带来了质的飞跃。在精密制造方面, 高精度的数控机床运用先进的机电控制技术, 能够实现微米甚至纳米级别的加工精度。通过优化机械结构和控制系统, 减少加工过程中的振动和误差, 制造出更加精密的零部件, 满足航空航天、医疗器械等高端领域对零部件精度的严格要求^[1]。在检测技术方面, 基于机电一体化的高精度检测设备, 如三坐标测量仪、激光干涉仪等, 能够快速、准确地检测产品的尺寸、形状和表面质量。利用传感器和图像处理技术, 可对检测数据进行实时采集和分析, 及时发现产品的缺陷和误差, 为产品质量提供有力保障。

1.4 机器人技术在制造中的应用

机器人技术在现代制造业中发挥着越来越重要的作用, 这离不开机电一体化技术的支撑。工业机器人广泛应用于焊接、搬运、装配等生产环节。机器人的机械结构设计更加优化, 结合高性能的电机和精密的

传动装置，具备更高的运动精度和负载能力。先进的控制系统赋予机器人更强的智能，使其能够通过编程实现复杂的动作序列，并且能够根据传感器反馈实时调整动作，适应不同的工作环境和任务需求。协作机器人的出现更是开创了人机协作的新模式，它们能够与工人在同一工作空间协同作业，提高生产的灵活性和效率，为制造业的发展注入新的活力。

2 机电一体化技术应用中的难点

2.1 技术集成的复杂性

机电一体化技术集成涉及机械、电子、计算机、自动控制等多领域知识融合，复杂性极高。在机械与电子系统的集成中，机械部件的设计需考虑电子元件的布局与适配，如数控机床的机械结构要与数控系统的控制精度相匹配，若机械传动的间隙过大，电子控制系统难以精准控制刀具运动，导致加工精度下降。同时，不同厂家的设备和技术标准各异，通信协议也不统一，在构建自动化生产线时，将来自不同供应商的设备集成在一起，常面临接口不兼容、数据传输不畅等问题^[2]。例如：某企业在引入新的自动化装配设备时，由于新设备与原有检测设备通信协议不一致，花费数月时间进行调试与改造，才实现两者协同工作。此外，随着技术快速发展，新的传感器、控制算法不断涌现，企业需不断更新技术集成方案，这不仅增加了研发成本，还可能因技术衔接不当引发系统故障，影响生产效率和产品质量。新技术的融入还可能与现有系统产生兼容性问题，需要反复测试与优化，进一步延缓了技术应用进程。

2.2 高度依赖高技术人才

机电一体化技术的跨学科特性决定了对复合型高技术人才的高度依赖。这类人才需精通机械设计原理，能进行复杂机械结构的设计与优化；掌握电子电路知识，可进行电路设计、调试与故障排查；熟悉自动化控制和编程技术，实现设备的自动化运行与智能控制。但目前，高校相关专业课程设置相对单一，多侧重某一学科知识传授，学生缺乏跨学科实践能力，毕业后难以快速适应企业需求。以某高校机电专业为例，课程中机械类课程占比过高，电子与控制类实践课程较少，学生在面对实际机电一体化项目时，常出现理论与实践脱节的情况。企业内部培训体系不完善，员工接触新技术、新设备的机会有限，技术提升缓慢。这使得企业在引入和应用机电一体化技术时，常因缺乏

专业人才，导致技术应用效果不佳，设备维护困难，制约了技术的推广与创新。企业若想开展智能制造升级，却因员工技术能力不足，无法有效操作和维护新设备项目只能搁置。

2.3 系统稳定性与可靠性问题

机电一体化系统由众多复杂组件构成，任何一个环节出现问题都可能影响整体稳定性与可靠性。电子元件易受温度、湿度、电磁干扰等环境因素影响，如高温可能使电子元件性能下降，导致控制系统误动作；机械部件长期运行会因磨损、疲劳等出现故障，如工业机器人的关节部位，频繁运动后磨损加剧，影响机器人运动精度。而且，系统集成度高，故障排查难度大，一旦出现故障，需要专业技术人员借助复杂检测设备进行诊断，耗费大量时间和人力。例如：在电子产品制造车间，由于夏季高温，自动化生产线的电子控制板频繁出现故障，每次故障排查都需拆解设备、使用专业检测仪器，维修时间长达数小时，严重影响生产进度。系统故障不仅导致生产停滞，还可能造成产品质量问题，给企业带来巨大的经济损失。产品在生产过程中因设备故障出现次品，返工成本增加还可能影响企业声誉。

2.4 成本控制与投入回报比

机电一体化技术的研发、应用和维护成本高昂。研发阶段，需投入大量资金用于技术研究、实验设备购置以及人才培养。应用阶段，高精度机电一体化设备价格昂贵，配套软件和服务也需持续投入。例如：一条自动化汽车生产线，设备采购成本动辄上千万元，每年还需支付高额的软件授权费和技术服务费。维护方面，因技术复杂，需专业技术人员和专用检测设备，增加了维护成本^[3]。对于中小企业而言，购买一套先进的机电一体化生产设备，可能会占用大量流动资金，后续维护费用也成为沉重负担。然而，企业引入技术后，生产效率提升、产品质量改进转化为实际利润需要时间，短期内投入产出不成正比，许多企业因担心成本过高、回报周期长，对应用机电一体化技术持谨慎态度，阻碍了技术的普及。

3 机电一体化技术应用的策略

3.1 加强技术研发与创新

为应对机电一体化技术集成的复杂性，企业和科研机构应加大研发投入，鼓励技术创新。一方面，要聚焦关键核心技术，如多学科融合的系统集成技术、

高性能传感器技术、先进控制算法等，通过产学研合作的方式，整合各方优势资源，共同攻克技术难题。例如：高校和科研院所凭借其先进的理论研究能力，为技术研发提供理论支持；企业则基于实际生产需求，提供应用场景和实践反馈，加速科研成果的转化。另一方面，要关注行业技术发展趋势，及时跟踪新技术、新标准，提前布局研发方向，确保技术的先进性和前瞻性。可设立专门的技术情报收集小组，定期分析行业动态，为研发决策提供依据。此外，还应积极参与国际技术交流与合作，引入国外先进技术理念，通过持续的技术研发与创新，降低技术集成难度，提升机电一体化系统的整体性能和稳定性。

3.2 培养跨学科复合型人才

解决机电一体化技术对高技术人才高度依赖的问题，需要构建完善的人才培养体系。在高校教育层面，应优化专业课程设置，增加跨学科课程，如机械电子学、自动化控制与编程综合实践等，培养学生的跨学科思维和综合应用能力。同时，加强实践教学环节，与企业合作建立实习基地，让学生在真实项目中积累经验，提高解决实际问题的能力。对于企业在职人员，要完善内部培训体系，定期组织专业技能培训和跨学科知识讲座，鼓励员工参加行业研讨会和技术交流活动，拓宽知识面和视野。还可制定员工学习激励计划，对在学习中表现优秀、取得相关证书的员工给予奖励，激发员工学习热情。此外，通过与高校、科研机构联合开展人才培养项目，定向培养满足企业需求的复合型人才，为机电一体化技术的应用提供坚实的人才保障。

3.3 提高系统的可靠性与适应性

针对机电一体化系统稳定性与可靠性问题，要从设计、制造和维护等多个环节入手。在设计阶段，采用可靠性设计方法，充分考虑各种可能的故障模式和环境因素，优化系统结构和参数，提高系统的抗干扰能力和容错能力。例如：选用质量可靠的电子元件和机械部件，采用冗余设计技术，确保关键部件出现故障时系统仍能正常运行。在制造过程中，严格把控生产工艺和质量检测标准，减少因制造误差导致的系统故障^[4]。

在维护方面，建立完善的设备状态监测与故障诊断系统，利用传感器实时采集设备运行数据，通过数据分析提前预测设备故障，实现预防性维护，降低故障发生概率和维修成本，提高系统的可靠性和适应性。

引入人工智能技术，对设备运行数据进行深度挖掘和分析，进一步提高故障预测的准确性，提前做好维护安排，减少设备停机时间。

3.4 优化资源配置，提升性价比

为缓解成本控制与投入回报比的压力，企业需优化资源配置。在研发阶段，合理规划研发资金，避免盲目投入，优先研发市场需求大、经济效益高的技术和产品。在设备采购环节，进行充分的市场调研和成本效益分析，根据企业实际生产需求选择性价比高的机电一体化设备，避免过度追求高端设备而造成资源浪费。同时，加强设备的全生命周期管理，提高设备利用率，降低设备闲置成本^[5]。在维护方面，通过建立共享服务平台，整合区域内的维护资源，实现技术人员和检测设备的共享，降低单个企业的维护成本。此外，企业还可以通过优化生产流程、提高生产效率等方式，加快技术应用带来的经济效益转化，提升投入回报比，增强企业应用机电一体化技术的积极性。利用精益生产理念，消除生产过程中的各种浪费，进一步提高资源利用效率，降低生产成本。

4 结束语

机电一体化技术在现代制造业的自动化生产线、智能制造系统集成、精密制造与检测以及机器人制造等领域发挥着关键作用，极大地推动了制造业的智能化转型。然而，其应用过程中也面临技术集成复杂、人才短缺、系统稳定性欠佳以及成本控制难等问题。为有效解决这些问题，需加强技术研发创新，培养跨学科复合型人才，提高系统可靠性与适应性，优化资源配置以提升性价比。未来，随着各项策略的逐步实施，机电一体化技术有望在现代制造业中得到更广泛、深入的应用，持续助力制造业迈向高质量发展新征程。

参考文献:

- [1] 侯效华. 机电一体化技术在机械制造业中的应用[J]. 内燃机与配件, 2021(12):200-202.
- [2] 陈志恒. 机电一体化技术在机械制造业中的应用[J]. 黑龙江科学, 2020,11(18):72-73.
- [3] 袁思远. 机电一体化技术在机械制造业中的应用分析[J]. 内燃机与配件, 2017(23):143-144.
- [4] 江民新. 高职机电一体化发展探究[J]. 现代职业教育, 2018(05):166.
- [5] 赵小会. 基于机电一体化技术的现代制造业人才培养模式研究[J]. 造纸技术与应用, 2024,52(02):76-78.

机械设备维修中无损检测技术的实践应用

赵群飞

(中铁三局集团建筑安装工程有限公司, 山西 太原 030006)

摘 要 无损检测技术因检测方式的高度集成性, 其应用场景和技术要求越来越复杂, 在机械设备维修中体现为检测对象多样化、故障类型复杂化, 也带来了更为复杂的检测需求和技术影响形式。本文针对机械设备维修中无损检测技术的实践应用研究, 分析了无损检测技术特点, 并且在分析机械设备维修难点的基础上解析了无损检测技术在机械维修中的应用要点。研究结果表明, 通过运用无损检测技术能够保障机械设备维修的精准性、高效性, 降低维修成本, 确保机械设备能够稳定运行。

关键词 机械设备维修; 无损检测技术; 传动轴超声波检测技术; 变速器故障振动检测技术

中图分类号: TH17

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.19.023

0 引言

机械设备维修是确保机械设备正常运行, 保障工程施工顺利进行的关键。随着工程领域发展速度不断加快, 机械设备精密度不断提升, 对于机械维修工作也有更高要求。传统的维修方法需要对设备进行全面拆解, 耗时耗力, 还会导致设备出现二次损伤的现象。无损检测技术应用后能够解决以往机械设备维修中存在的各项问题, 提高检修的效率和质量, 且防止发生二次损伤问题。无损检测技术能在不破坏设备主体结构部件的前提下, 及时、准确地掌握内部和表面缺陷, 使机械设备的维修更加准确、可靠, 也能提高机械设备的运行水平, 降低维修成本, 延长使用寿命。

1 无损检测技术分析

无损检测技术属于非破坏性的技术, 指的是在不损害或者不影响检测对象使用性能的基础下, 利用材料内部结构异常或缺陷造成的热、声、光、电、磁反应变化, 通过物理学手段, 采用现代化的技术和检验器材, 对设备表面以及内部结构性质、状态展开全面性检查以及测试。它具备下述特点: (1) 非破坏性: 无损检测技术应用后不会对机械设备产生任何损伤, 确保在检测过程中机械设备处于完好性状态。(2) 全面性: 经过对机械设备局部或者整体方面进行全面检查, 能够快速确定内部以及表面的缺陷问题。(3) 实时性: 有些机械设备无损检测技术在应用时能够达到实时检测的效果, 快速、精准地确定设备存在的各项问题。(4) 准确性高: 现代科技发展速度加快, 无损检测技术水平也在不断提升, 准确度提高, 能够精准判定机械设备缺陷的位置、大小以及性质^[1]。

2 机械设备维修难点分析

2.1 内部结构隐蔽性故障定位困难

机械设备内部组成部件较多, 尤其是高精密设备, 其内部结构更加复杂, 包含传动轴、齿轮箱、发动机、曲轴, 一旦故障存在于封闭空间或者材料内部, 采用简单的目视检查或者工具无法及时判定。例如: 有些机械设备在运行过程中长期受到交变荷载的作用, 曲轴极易发生微小的裂纹, 也会出现明显痕迹; 液压系统发生腐蚀、堵塞、电子元件潜在短路问题, 利用无损检测技术能够快速定位并解决上述问题。如果不能及时诊断和处理必然造成机械设备出现故障, 甚至引发人员伤亡事故。

2.2 复杂工况下的动态检测技术瓶颈

机械设备在运行过程中因为面对的工作条件 and 环境比较特殊, 在高温、高压、高速作业状态中, 采用传统静态检测方法无法精准判定故障位置和类型。例如: 高速旋转的轴承在停机状态下没有表现异常现象, 但运行的过程中因为离心力作用形成微小变形或者裂纹; 高温条件下焊接接头由于热应力出现延迟裂纹的情况, 采用常规检测技术无法精准捕捉异常信号; 复杂工况条件下, 对于检测信号产生较强干扰, 需要采用多种传感器融合技术, 或者自适应滤波算法以提高检测精度^[2]。

2.3 多材质与复合结构的检测适配性影响

现代机械设备组成日益复杂, 尤其是高精密设备所使用的材料较为特殊, 如金属、陶瓷复合材料, 其材料的导电性、磁性、声阻抗方面存在很大差异。如果单纯采用某种无损检测技术, 难以达到检测精度的要求。例如: 碳纤维复合材料层压板中, 分层缺陷需

要使用超声波相控阵技术进行检测，而金属表面微裂纹则使用磁粉或者渗透方法检测；焊接接头部位极易发生气孔、夹渣、未熔合的缺陷，需要将射线技术、超声 TOFD 技术融合后提高检测精度。

3 无损检测技术在机械维修中的具体应用

3.1 传动轴超声波检测技术应用

传动轴检测的过程中采用超声波检测技术，主要工作原理是利用超声在不同介质内传播特性差异进行判定，确定传动轴是否存在缺陷问题。

超声波检测技术在应用的过程中使用超声波探头发射高频电磁脉冲，使其转变为超声波并耦合进入传动轴。利用超声波传输特性分析确定传动轴内部是否存在缺陷，如果传动轴内部存在缺陷问题，则在缺陷位置上出现超声波的反射现象，利用测定反射波特性掌握反射信号，并且将其转变为高频电脉冲，处理后能够精准分析反射波的位置、波形特征，进而判定传动轴内部缺陷问题。

在超声波检测技术应用过程中，需要落实各项参数设置工作，具体如下：选择适宜频率的探头，主要为 2.5 MHz 或 4.0 MHz，如采用直径 20 mm、2.5 MHz、0° 的直探头进行探测，能够提高传动轴的检测精度；合理设置量程，通常为 1 000 mm，能够精准检测传动轴状态；超声波检测灵敏度调教，将反射回来的超声波高度调整到 80% FSH，检测具备较高的精准性；缺陷定位，经过对反射波位置展开精准计算，确定缺陷在传动轴中的坐标数据。例如：X 点为缺陷发现时探头所处水平轴向位置，Y 点是缺陷被发现时探头所处深度 h（垂直轴向）：

计算公式为 $h=mD/n$

其中， n 是第一次界面与传动轴底波间的距离， D 为传动轴直径， m 为第一次界面波与缺陷回波间的最大距离。

3.2 变速器故障振动检测技术应用

在变速器故障检测过程中，选择振动检测技术主要是利用探测变速器齿轮、轴承、轴在运动时产生的振动现象。利用传感器能够获取振动特征数据，进而

精准识别异常振动信号，再判断变速器是否出现故障问题^[3]。如果变速器在投入使用过程中存在磨损、裂纹、装配误差的缺陷问题，利用振动特性的方式测定幅值、频率相位的各项参数，可提升变速器故障诊断精度。振动传感器具备较高精度，在检测过程中能够精准识别上述振动异常的数据信息，通过频谱分析、时域分析的方式获取特征频率，和正常条件下振动特征展开对比分析，进而能够确定故障源。振动检测技术在变速器故障诊断应用时，关键性参数见表 1。

3.3 发动机曲轴磁粉检测技术应用

在发动机检测过程中采用磁粉检测技术，它通过分析磁性材料在磁场中磁化现象，表面或近表面缺陷而形成的漏磁场与磁粉相互作用能够实现缺陷实时显示。在磁粉检测技术应用的过程中，利用直流电、交流电或者永磁体对曲轴施加磁场，如果曲轴内部存在裂纹、夹渣的缺陷，其缺陷位置的磁导率和基体存在较大差异，进而引起磁力线的畸变，在曲轴内部形成漏磁场。该条件下在曲轴表面喷洒磁粉，磁粉在漏磁场作用下被吸附并且堆积在缺陷位置形成可以观察的磁痕。因此，检测过程中利用分析磁痕的分布、形状、长度，能够精准判定缺陷的位置、形态以及延伸方向^[4]。

在磁粉检测技术应用的过程中，选择适宜磁化方法能够提高精度，具体包含如下几种：周向磁化法，采用通入电流的方式使得电流沿着曲轴传输，进而精准检测曲轴的纵向裂纹；纵向磁化法，利用线圈给曲轴形成轴向磁场，能够精准发现其轴向裂纹；复合磁化法，同时施加周向以及纵向磁场形成旋转矢量磁场，能够精准确定任意方向的缺陷；磁粉施加方法主要包含干粉法与湿粉法，湿粉法一般联合荧光磁粉应用，采用紫外线照射方式使得磁痕位置表现出黄绿色荧光，提高检测的精度和效率。曲轴检测完成后，采取退磁措施消除残余磁场对曲轴产生的影响。该技术应用中需做好下述控制措施：磁化电流，如周向磁化电流 $I=(5\sim10)D$ ， D 为曲轴直径）、磁悬液浓度（0.5～3 g/L；环境照度，如荧光磁粉检测时紫外线强度 $\geq 1\ 000\ \mu\text{m}/\text{cm}^2$ ，进而提高检测精度。

表 1 振动检测技术应用参数

关键数据项	数据描述	典型值范围
采样频率	振动信号采集的每秒采样次数，确保高频信号不丢失	10～20 kHz
振动幅值阈值	振动速度的报警阈值，超过此值时触发故障预警	0.1～1.0 mm/s
特征频率范围	齿轮啮合频率或轴承故障特征频率的分布范围，用于故障模式识别	齿轮： $z\times f_s$ （ z 为齿数， f_s 为轴频） 轴承：依故障类型计算
阶次分析精度	阶次分辨率，用于区分不同旋转部件的振动贡献	0.1 阶

3.4 齿轮箱内部缺陷的射线检测技术应用

齿轮箱内部缺陷检测中使用射线检测技术,通过发 X 射线、 γ 射线或中子射线,使其穿透齿轮箱材料,射线传入齿轮箱内部时,当存在材料密度、厚度以及缺陷问题时,如裂纹、气孔、夹杂物、强度出现衰减的情况,缺陷区域的射线吸收能力和基体材料存在很大差异,导致射线在透射过程中分布极为不均匀,造成其形成较大差异。通过射线检测设备能够及时、准确地接收透射射线,并且将其转变为可视化图像,从而能够精准掌握齿轮箱内部状态,判断是否存在缺陷问题^[5]。

根据齿轮箱的材质、厚度等参数确定适宜的射线能量,如 X 射线管电压为 50 ~ 450 kV,使得射线具备较强的穿透能力,进而提高检测的精度和效率。在射线检测的过程中需要将射线源和探头安装在齿轮箱两侧,按照检测要求调整射线束焦点尺寸,如 0.1 ~ 3 mm,使得射线检测具备较强的精度。对于齿轮箱结构组成比较复杂的情况,还要联合使用计算机断层扫描 CT 技术,采用旋转射线源与探测器能够精准掌握多个角度的投影信息,再利用三维重建算法构建立体图形,使得缺陷定位精准并且对齿轮箱缺陷进行量化分析。

检测结果需结合图像灰度值、对比度 $\Delta I/I$ 及散射比等参数进行判定。例如:通过分析射线图像中缺陷区域的黑度变化 (ΔI) 与射线强度 (I) 的比值,能够精准判定缺陷问题位置、大小以及形态,确保后续维修工作顺利开展。根据检测精度要求确保射线发射源与被检测表面保持 500 ~ 1 500 mm 距离,曝光时间 0.1 ~ 10 s,数字探测器像素尺寸 50 ~ 200 μm ,需要严格控制上述参数以确保检测精确度达标。

3.5 轴承表面裂纹的渗透检测技术应用

机械设备维修的过程中使用渗透检测技术,能够精准判定轴承表面裂纹缺陷,通过其毛细作用和显像剂显像的原理,利用液体渗透、吸附、扩散的方式能够确定缺陷问题。

渗透检测技术在应用的过程中其原理如下:根据渗透技术检测要求选择适宜渗透液,主要为红色着色剂或荧光剂,均匀涂抹在轴承结构表面,静置 5 ~ 30 min,其渗透时间和温度、材料表面粗糙度存在直接关系。渗透液经过毛细作用后进入开口、裂纹、气孔的缺陷中,进而形成液体填充的状态,为后续精准检测提供基础。

1. 清洗阶段。选用水剂或溶剂型的清洗剂,先将轴承表面的渗透液清理掉,并且根据轴承表面情况确定适宜清洗力度、时间,防止缺陷内部渗透液被洗出而影响检测精度。通常情况下,水洗压力在 0.34 MPa 以内,水洗时间在 1 min 以下。

2. 显像阶段。根据渗透检测要求,选用适宜的喷涂显像剂,主要为干粉型或水悬浮型,利用毛细作用将缺陷内部渗透液反向析出,进而使其缺陷位置形成肉眼可见的红色或荧光痕迹。荧光渗透检测需要在暗室内使用波长 320 ~ 400 nm 的黑光灯照射,荧光强度 $\geq 1\ 000\ \mu\text{m}/\text{cm}^2$ 时能够精准确定缺陷问题。

3. 缺陷评估。通过掌握渗透检测时的痕迹、形态、长度、宽度信息,能够精准判定缺陷等级。例如:线性缺陷长度 $\geq 1\ \text{mm}$ 或圆形缺陷直径 $\geq 0.5\ \text{mm}$ 都能精准测定。

4. 技术参数控制。渗透液温度:15 ~ 52 $^{\circ}\text{C}$,温度较低极易引发渗透性不足,过高则会导致渗透液蒸发影响检测精度。显像时间:7 ~ 60 min,温度提高的情况下能够快速显像,提高检测效率和精度。灵敏度等级:根据渗透检测要求选择灵敏度较高的标准块进行验证,需按照 ISO3452 标准的灵敏度要求进行控制。

5. 注意事项。轴承表面没有油污、锈蚀等情况,且粗糙度 $R_a \leq 12.5\ \mu\text{m}$ 。渗透液和显相剂具备兼容性,防止检测过程中发生反应而导致检测失效。检测阶段将残留的渗透液及时清理干净,以免在后续轴承使用过程中引发腐蚀性现象而给轴承的性能或者运行安全性造成不利影响。

4 结束语

在机械设备维修中,无损检测技术的应用具有较高的价值,它在提升机械设备维修效率、保障设备安全运行、降低运行成本、延长设备使用寿命方面具有重要意义。虽然无损检测技术在应用的过程中还存在不完善的地方,会影响到检测效果,但是要运用无人检测技术更好地为机械设备维修提供全面的服务,则需要根据实际情况做好无人检测技术的创新与优化,以发挥先进无损检测技术的优势,提高机械设备维修检测水平,为现代工程施工领域的长远发展奠定稳固的基础。

参考文献:

- [1] 阚凯. 机械设备维修中无损检测技术的实践应用[J]. 内燃机与配件, 2017(22):68-69.
- [2] 冯治国. 浅谈机械设备维修中无损检测技术的实践应用[J]. 机械工程与自动化, 2023(03):219-220,223.
- [3] 严露. 机械设备维修中无损检测技术的应用分析[J]. 南方农机, 2017,48(18):67-68.
- [4] 余铜柱. 试析无损检测技术在煤矿机械设备维修中的应用[J]. 设备监理, 2020(01):42-43.
- [5] 毛华晋. 无损检测技术在煤矿机械设备维修中的应用分析[J]. 中国设备工程, 2024(04):166-168.

数字化技术对电费管理成效的影响分析

缪敏昭

(国网苏州供电公司营销服务中心 (计量中心) , 江苏 苏州 215000)

摘 要 传统电费管理模式饱受人工抄表误差高、账单处理周期长、异常用电监测滞后、用户查询渠道单一以及数据孤岛现象严重等问题困扰。这些困境不仅增加了电力企业运营成本, 降低了服务质量, 还会影响用户用电体验与电力资源合理配置。随着大数据、物联网、人工智能等数字化技术的迅猛发展, 为电费管理突破困境提供了契机。引入数字化技术有望重塑电费管理流程, 提升管理效能, 实现电力行业可持续发展。本文对数字化技术对电费管理成效的影响分析进行了探讨, 以期对相关从业人员提供参考。

关键词 数字化技术; 电费管理; 智能抄表; 电费核算智能化; 数字化用户服务

中图分类号: TP29; F426.61

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.19.024

0 引言

在能源互联网快速发展的背景下, 电力行业的数字化转型已成为不可逆转的趋势。电费管理作为电力企业运营的核心环节之一, 其效率与准确性直接关系到企业的经济效益与客户服务质量。数字化技术的兴起为电费管理带来了革命性的变革机遇, 通过引入大数据分析、云计算、物联网等先进技术, 可以实现电费数据的实时采集、智能分析与自动化处理, 从而提升管理效率、优化资源配置、增强客户体验。

1 传统电费管理中存在的主要问题分析

1.1 人工抄表误差率高

传统电费管理依赖人工抄表, 这极易引发误差。抄表员工作环境复杂, 面对不同类型电表, 表盘读数易因视觉角度、光线等因素产生偏差。且长期重复劳动, 精神疲劳也会导致抄录错误。据统计, 人工抄表误差率约达 3% ~ 5%。这不仅使电费核算不准确, 造成用户多缴或少缴电费, 引发纠纷, 还会影响电力企业对电力消耗数据的精准统计, 干扰电力供应规划, 对整个电力运营体系的高效运转产生不利影响。

1.2 账单处理周期长

传统账单处理流程繁琐, 从抄表完成到用户收到账单, 需经历多道环节。抄表数据需人工录入系统, 过程中出现数据录入错误, 还需反复核对。录入后要经过核算、审核等步骤, 涉及多个部门协作, 沟通成本高、效率低。这使得账单处理周期平均长达 7 ~ 15 个工作日。用户不能及时知晓电费信息, 影响缴费安排。对电

力企业而言, 延迟收款降低资金回笼速度, 增加财务成本, 也不利于及时分析用电数据、调整运营策略^[1]。

1.3 异常用电监测滞后

在传统电费管理模式下, 异常用电监测手段有限。主要依靠人工定期巡检或用户投诉发现异常。由于巡检周期长, 无法实时跟踪用电情况, 当出现诸如偷电、设备故障导致的异常耗电等情况时, 难以及时察觉。等发现异常, 往往已造成电力资源浪费、企业经济损失, 甚至引发安全隐患。而且滞后的监测无法为用户及时提供用电异常预警, 不利于用户合理安排用电、保障用电设备安全稳定运行。

1.4 用户查询渠道单一

在传统电费管理中, 用户查询电费相关信息的渠道极为有限。通常只能前往供电营业厅, 在工作时间向工作人员咨询, 或等待纸质账单送达查看。这种单一的查询方式给用户带来极大不便, 尤其是在快节奏生活下, 用户难以及时获取电费信息。用户无法随时了解用电量、电费明细、缴费截止日期等关键信息, 不利于合理规划用电和财务支出, 降低了用户对供电服务的满意度, 影响电力企业与客户之间的良好关系。

1.5 数据孤岛现象严重

在传统电费管理系统中, 各业务环节数据相互独立。抄表数据、用户信息、电费核算数据等存储在不同系统, 缺乏有效整合与共享机制, 导致数据孤岛现象严重, 各部门难以全面、准确获取所需数据。营销部门无法及时获取准确抄表数据用于分析用户用电行为, 财务部门难以高效核对电费数据。数据价值得不

到充分挖掘,无法为电力企业的科学决策提供有力支撑,制约了企业精细化管理和服务水平的提升^[2]。

2 数字化技术在电费管理中的具体应用

2.1 智能抄表

数字化技术引入智能抄表系统后,实现了电表数据的自动采集与传输。智能电表通过内置传感器实时监测用电量,并借助通信网络,如电力载波通信、无线通信等,将数据精准且及时地传至电力企业管理系统。这一过程无需人工干预,极大地提高了抄表的准确性,误差率可忽略不计,彻底解决了人工抄表 3%~5% 的误差难题。抄表周期也从过去平均 7~15 个工作日大幅缩短至实时更新,让电力企业能迅速获取用电数据,及时生成电费账单。用户端可通过手机应用或网页随时查看实时用电情况,对电费支出心中有数,有效减少因抄表误差引发的用户投诉,提升了用户满意度,同时为电力企业后续的电费核算和用电分析提供了可靠的数据基础^[3]。

2.2 电费核算智能化

数字化技术使电费核算实现智能化。系统依据智能电表采集的准确用电数据,结合不同用户的电价套餐、峰谷时段电价政策等信息,自动进行电费计算。利用大数据和云计算技术,能够快速处理海量用户数据,瞬间完成复杂的电费核算工作,相比人工核算效率大幅提升。智能化核算有效避免了人工计算出现的错误,确保电费账单的准确性。对于电力企业而言,不仅降低了核算成本,还能加快账单生成与送达用户的速度,使电费回收周期相应缩短,提高了资金回笼效率。用户收到准确及时的账单,缴费积极性也会提高,减少因账单错误或延迟引发的缴费纠纷。

2.3 异常用电实时监测

数字化技术构建起实时监测体系,通过数据分析算法对智能电表采集的用电数据进行深度挖掘。一旦用户用电数据出现异常波动,如短时间内用电量大幅增加、功率因数异常等,系统会立即发出预警信息。利用人工智能技术,可对异常用电模式进行识别,区分是设备故障、窃电行为还是正常的用电高峰。与传统人工巡检相比,这种实时监测能 7×24 小时不间断运行,大大提高了异常用电发现的及时性。电力企业能够在第一时间采取措施,如排查故障、制止窃电行为等,减少电力损失,保障电力系统的安全稳定运行。用户也能及时得知用电异常情况,避免因设备故障引发更大的损失。

2.4 数字化用户服务

数字化技术丰富了用户服务形式。电力企业搭建线上服务平台,如手机 APP、微信公众号等,用户通过这些平台可随时查询电费账单、用电量明细、缴费记录等信息。平台还提供智能客服,利用自然语言处理技术,能快速解答用户常见问题,实现 24 小时在线服务。用户可在线办理电费缴纳、业务变更等业务,无需前往营业厅排队等待。通过大数据分析用户用电习惯,为用户推送个性化的节能建议、电价套餐推荐等服务,提升用户参与需求响应的积极性。这种数字化用户服务模式,极大地提高了用户服务质量,增强了用户对电力企业的信任与满意度。

2.5 数据整合与深度分析

数字化技术打破了数据壁垒,将抄表数据、用户信息、电费核算数据、用电设备数据等各类数据整合到统一的数据平台。借助数据挖掘和机器学习技术,对整合后的数据进行深度分析。一方面,可精准分析用户用电行为,如不同季节、不同时段的用电规律,为电力企业制定更合理的电力供应计划提供依据。另一方面,通过对能效数据的分析,找出高耗能环节,为用户提供针对性的能效优化方案。整合的数据还能助力电力企业进行风险评估,如预测电费坏账风险,提前采取防范措施。数据整合与深度分析使电力企业能充分挖掘数据价值,实现精细化管理,提升企业整体运营效率。

2.6 基于大数据的电费回收优化

电力企业收集用户的用电历史数据、缴费记录、信用信息以及社会经济数据等多维度信息。通过构建数据分析模型,精准预测用户的缴费意愿和能力。对于出现欠费风险的用户,提前发送个性化的缴费提醒,提醒方式可根据用户偏好,如短信、APP 推送或语音通知等。利用大数据分析用户欠费原因,若因对电费账单有疑问,及时安排客服介入解释;若是经济困难,可提供分期缴费等灵活方案。借助大数据技术,电力企业能针对性地调整催缴策略,提高催缴效率。相较于传统的“一刀切”催缴方式,这种基于大数据的精准催缴可有效降低坏账率,从以往的 1.2%~3.8% 逐步降低,加速资金回笼,保障企业资金流的稳定,为电力企业的持续运营和发展提供有力的资金支持。

2.7 智能防窃电技术升级

利用物联网技术,在电力线路和设备上部署智能传感器,实时采集电流、电压、功率等数据,并上传至防窃电监测平台。通过先进的数据分析算法,对这

些数据进行实时监测和分析,一旦发现数据异常,如电流电压关系不符合正常用电规律、功率因数严重偏离标准值等,系统立即发出警报。结合人工智能的图像识别技术,对电表箱、线路等关键部位进行远程视频监控,识别是否存在异常接线、电表篡改等窃电迹象。与传统防窃电手段相比,智能防窃电系统不仅监测范围更广、精度更高,而且能够实时响应,有效减少窃电行为的发生,将电力企业因窃电造成的年电量损失从 3%~5% 逐步降低,维护电力市场的公平秩序,保障电力企业和广大合法用户的利益^[4]。

3 数字化技术在电费管理应用中的成效评估与分析

3.1 直接效益

数字化技术在电费管理中带来显著直接效益。抄表环节,智能抄表系统替代人工抄表,抄表效率提升 90% 以上。过去人工抄表需耗费大量时间与人力,如今电表数据自动采集传输,瞬间完成海量数据收集,大幅缩短抄表周期,为后续电费核算争取更多时间。计费准确率从传统的易出错状态跃升至 99.98%。智能核算系统依据准确实时用电数据,结合复杂电价政策精准计算,避免人工失误,保障电费账单准确无误,减少用户因计费问题产生的纠纷。电费回收周期缩短 60%,通过线上缴费渠道拓展、智能催缴系统应用,用户缴费更便捷,电力企业催缴更高效,加速资金回笼,提升企业资金周转率。人力成本下降 40%~50%,自动化抄表、核算、催缴等工作减少了人工投入,员工可投入更具价值的数据分析、客户服务优化等工作,实现人力资源合理配置与成本有效控制^[5]。

3.2 间接效益

间接效益同样突出。客户满意度提升 30%~45%,数字化服务让用户能随时查询电费信息、办理业务,智能客服快速响应解答疑问,精准个性化服务增强用户体验,用户对供电服务认可显著提高。窃电行为识别率提高至 95%,智能防窃电系统凭借实时数据监测与智能分析,及时发现异常用电,有效打击窃电行为,维护电力市场公平,减少企业经济损失。能效管理建议采纳率提升,基于大数据分析为用户提供节能优化方案,用户看到节能带来的电费降低效果,更愿意接受并实施建议,促进整体能源利用效率提升。碳足迹追踪能力提升,数字化技术助力电力企业监测分析电力生产消费各环节碳排放,为节能减排决策提供数据支持,助力企业绿色可持续发展,顺应环保趋势,提升企业社会形象^[6]。

3.3 典型案例分析

某大型综合性企业积极推进电费管理数字化转型,成效显著。转型前,企业依赖人工抄表,每月耗费大量人力,抄表误差率达 3%,致使计费准确率仅 97%,每月因计费问题引发纠纷约 20 起。电费回收周期平均 30 天,资金回笼慢。引入数字化技术后,企业部署智能电表,用电数据实时采集,抄表效率提升 95%。计费准确率跃至 99.95%,计费纠纷每月不足 2 起。电费回收周期缩短至 12 天,资金周转率大幅提高。通过数字化服务平台,员工可便捷查询电费,客户满意度从 60% 提升到 85%。智能防窃电系统使窃电行为识别率从 60% 提高至 92%。基于数字化分析,企业优化设备与排班,整体能耗下降 15%,每年节省电费约 120 万元。该企业为同类企业数字化转型提供了成功范例,彰显了数字化技术在电费管理中的巨大价值。

4 结束语

数字化技术在电费管理中的应用已展现出强大的生命力与显著成效。它全方位优化电费管理各环节,无论是直接效益上抄表、计费、回收效率的提升与成本降低,还是间接效益中客户满意度提升、窃电行为遏制、能效管理改善等,都彰显出数字化转型的价值。这不仅助力电力企业在激烈市场竞争中提升核心竞争力,更为构建智能、高效、绿色的电力生态系统奠定了基础。未来,随着数字化技术持续创新发展,电费管理将迎来更多机遇与变革,进一步推动电力行业迈向高质量发展新征程。

参考文献:

- [1] 赵勇. 电力企业电费成本管理的问题及优化对策分析[J]. 营销界, 2023(23):101-103.
- [2] 廖然, 敬兴东. 电力营销管理中电费电价分析方法的应用[J]. 农村电工, 2023, 31(12):10.
- [3] 舒钰珀, 梁梓淇. 现代营销电费管理体系建设与实践[J]. 大众用电, 2023, 38(11):12-13.
- [4] 邢益岭. 以数字化营销审计模型实施电费审查认定研究[J]. 审计与理财, 2023(06):44-46.
- [5] 罗钢, 唐礼真, 谢寅. 基站电费管理数字化转型实践[J]. 通信企业管理, 2023(02):65-67.
- [6] 邓汉钧, 陈湘媛. 基于“集约化、精益化、智能化”的电费管理体系构建与实践[J]. 大众用电, 2023, 38(01):20-22.

电梯制动器常见失效形式与检验关键点分析

关智勇

(新疆生产建设兵团第六师五家渠市特种设备安全检测中心, 新疆 五家渠 831300)

摘 要 电梯制动器作为电梯安全运行的核心部件, 其性能直接关系到乘客的生命安全。由于长期使用、环境因素和材料老化等原因, 制动器可能出现多种失效形式。这些失效形式不仅影响电梯的正常运行, 还可能引发严重的安全事故。对电梯制动器的失效形式进行深入分析, 并明确检验关键点, 对于保障电梯安全运行具有重要意义。本文探讨了电梯制动器的常见失效形式, 并分析了其检验关键点, 旨在为促进电梯安全管理工作开展提供参考。

关键词 电梯制动器; 失效形式; 检验关键点; 电梯安全

中图分类号: TU976.3

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.19.025

0 引言

电梯制动器是电梯安全保护系统的重要组成部分, 其功能是在电梯停止或紧急情况下实现可靠制动。然而, 在实际运行中, 制动器可能因设计缺陷、安装不当或维护不足等原因出现失效, 如制动片脱落、弹簧失效和电气控制故障等。这些失效形式可能导致电梯失控或无法正常停止, 严重威胁乘客安全。因此, 对电梯制动器的失效形式进行全面分析, 并明确检验关键点, 是电梯安全管理的重要任务。本文将系统分析电梯制动器的常见失效形式, 并探讨其检验关键点, 为电梯检验和维护提供指导。

1 电梯制动器的组成

电梯制动器是电梯安全保护系统的核心部件, 主要由机械部分和电气部分组成。机械部分包括制动轮、制动片、制动弹簧和制动臂等。制动轮通常安装在电梯曳引机的轴上, 与制动片接触实现制动效果。制动片是制动器的关键部件, 其材料通常为耐磨的摩擦材料, 用于产生制动力。制动弹簧提供制动力, 确保在断电或紧急情况下能够迅速制动。制动臂则用于传递制动力, 使制动片与制动轮紧密接触。电气部分包括电磁铁和控制电路, 电磁铁在通电时释放制动器, 使电梯正常运行; 断电时, 电磁铁失去磁力, 制动弹簧迅速作用, 实现制动。电梯制动器的组成结构复杂, 各部件协同工作, 确保电梯的安全运行^[1]。

2 电梯制动器检验的重要性

2.1 保障乘客生命安全

电梯制动器是电梯安全运行的最后一道防线, 其性能直接关系到乘客的生命安全。如果制动器失效, 电梯可能无法在紧急情况下停止, 导致坠梯或失控等

严重事故。例如: 制动片磨损或制动力不足可能导致电梯在运行中突然停止或下滑, 给乘客带来极大的安全隐患。定期对电梯制动器进行检验是确保乘客生命安全的关键措施。制动器作为电梯安全系统的核心部件, 其性能直接关系到电梯运行的安全性和可靠性。通过定期检验, 可以及时发现制动器磨损、老化或失效等潜在问题, 并采取相应的修复或更换措施, 从而有效预防因制动器故障引发的电梯坠落、急停等严重事故。此外, 检验过程中还能对制动器的响应速度、制动力矩等关键参数进行校准, 确保其在紧急情况下能够迅速、准确地执行制动操作。因此, 建立完善的制动器检验制度, 并严格执行, 是保障电梯安全运行、维护乘客生命财产安全的重要环节^[2]。

2.2 延长设备使用寿命

电梯制动器在长期使用过程中, 由于摩擦、振动和环境因素的影响, 容易出现磨损、老化和失效等问题。制动片的磨损会导致制动力下降, 制动弹簧的疲劳会导致制动力不足, 这些都会影响制动器的使用寿命。通过定期检验, 能够精准识别并更换磨损或老化的部件, 有效防止因小问题积累而引发的设备故障或损坏。这种预防性维护不仅延长了设备的使用寿命, 还降低了维修成本, 确保了设备的稳定运行, 为安全高效的生产环境提供了坚实保障。检验还可以优化制动器的维护计划, 延长其使用寿命, 降低设备更换和维修的成本。电梯制动器的检验对于延长设备使用寿命具有重要意义。

2.3 提高电梯运行效率

电梯制动器的性能不仅影响安全, 还直接影响电梯的运行效率。例如: 制动器卡滞或制动力不均匀会导致电梯启动和停止时的抖动, 影响乘客的舒适度;

制动器反应迟缓会导致电梯运行时间延长,降低运输效率。通过定期检验,可以确保制动器的灵敏性和稳定性,提高电梯的运行效率。此外,检验还可以优化制动器的调整和维护,减少因制动器问题导致的停机时间,提高电梯的整体运行效率。因此,电梯制动器的检验对于提高电梯运行效率具有重要作用^[3]。

3 电梯制动器常见失效形式

3.1 制动力不足

制动力不足是电梯制动器最常见的失效形式之一,通常由制动片磨损、制动弹簧疲劳或调整不当引起。制动片在长期使用中会逐渐磨损,导致与制动轮的接触面积减小,制动力下降。制动弹簧因长期受力可能出现疲劳,导致制动力不足。此外,制动器的调整不当也会影响制动效果,例如制动片与制动轮的间隙过大或过小,都会导致制动力不均匀。制动力不足的后果是电梯在停止或紧急情况下无法可靠制动,可能导致电梯失控或下滑,严重威胁乘客安全^[4]。

3.2 制动片脱落或断裂

制动片脱落或断裂是电梯制动器的严重失效形式,通常由制动片材料质量差、安装不当或长期磨损引起。制动片在长期使用中可能因材料疲劳或磨损而断裂,或者在安装过程中未固定牢固而脱落。制动片脱落或断裂会导致制动器完全失效,电梯在停止或紧急情况下无法制动,可能导致严重事故。此外,制动片脱落还可能对电梯其他部件造成损坏,例如制动轮或制动臂,进一步加剧安全隐患。

3.3 制动器卡滞

制动器卡滞是电梯制动器的常见失效形式,通常由润滑不良、异物进入或部件变形引起。制动器在长期使用中可能因润滑不足或润滑剂失效而导致卡滞,或者因异物进入制动器内部而影响其正常动作。此外,制动器的部件在长期受力或环境因素影响下可能发生变形,例如制动臂或制动弹簧变形,导致制动器卡滞。制动器卡滞的后果是电梯在启动或停止时出现抖动或延迟,影响运行效率和乘客舒适度,严重时可能导致电梯无法正常启动或停止。

3.4 电气控制故障

电气控制故障是电梯制动器的关键失效形式,通常由电磁铁损坏、控制电路故障或电源问题引起。电磁铁在长期使用中可能因线圈烧毁或磁力减弱而失效,导致制动器无法正常释放或制动。控制电路故障可能由接线松动、元件老化或短路引起,导致制动器的电

气控制失效。此外,电源问题如电压不稳或断电也会影响制动器的正常工作。电气控制故障的后果是电梯在运行中无法正常释放制动器,或者在紧急情况下无法可靠制动,可能导致电梯无法正常运行或发生事故^[5]。

4 电梯制动器检验关键点分析

4.1 制动片磨损检查

制动片的磨损程度是电梯制动器检验的关键点之一,直接影响制动力和安全性。检验时应使用专业测量工具检查制动片的厚度,确保其厚度在制造商规定的允许范围内。如果制动片厚度低于最小允许值,必须立即更换,以避免制动力不足。此外,还需检查制动片的磨损均匀性,确保其表面磨损均匀,无明显偏磨或局部磨损严重的情况。偏磨可能导致制动力不均匀,影响制动效果。同时,应检查制动片与制动轮的接触面是否平整、清洁,确保无油污、灰尘或其他异物。油污或异物会降低摩擦系数,导致制动力下降。对于磨损严重或存在缺陷的制动片,应及时更换,并确保新制动片的材质和规格符合要求。通过定期检查制动片的磨损情况,可以有效预防因制动片失效导致的安全事故,保障电梯的安全运行。

4.2 制动弹簧性能测试

制动弹簧是电梯制动器的核心部件之一,其性能直接影响制动器的可靠性和安全性。检验时应使用专业设备测试制动弹簧的弹力,确保其能够在断电或紧急情况下迅速提供足够的制动力。如果弹簧弹力不足,可能导致制动器无法可靠制动,存在严重安全隐患。同时,应检查弹簧的疲劳程度,观察其是否存在变形、裂纹或断裂现象。疲劳或损坏的弹簧必须及时更换,以确保制动器的正常工作。此外,还需检查弹簧的安装状态,确保其固定牢固且无松动。松动的弹簧可能导致制动力传递不均匀,影响制动效果。对于长期使用的制动弹簧,建议定期更换,以避免因疲劳失效导致的安全事故。通过定期测试和检查制动弹簧的性能,可以有效预防因弹簧失效导致的制动器故障,保障电梯的安全运行。

4.3 制动轮表面状态检查

制动轮的表面状态是电梯制动器检验的重要环节,直接影响制动效果和安全性。检验时应使用目视检查和专业测量工具检查制动轮的表面是否平整、光滑,确保无裂纹、凹坑或严重磨损。裂纹或凹坑可能导致制动轮在运行中破裂,存在严重安全隐患。如果制动轮表面出现磨损或缺陷,应及时修复或更换,以确保

其与制动片的接触面平整。此外，还应检查制动轮与制动片的接触面是否清洁，确保无油污、灰尘或其他异物。油污或异物会降低摩擦系数，导致制动力下降，影响制动效果。对于长期使用的制动轮，建议定期检查其表面状态，并根据磨损情况进行修复或更换。同时，应检查制动轮的安装状态，确保其固定牢固且无松动。松动的制动轮可能导致制动效果不稳定，影响电梯的安全运行。通过定期检查制动轮的表面状态，可以有效预防因制动轮失效导致的安全事故，保障电梯的安全运行。

4.4 制动臂动作灵活性测试

制动臂是电梯制动器中传递制动力的关键部件，其动作灵活性直接影响制动器的响应速度和制动效果。检验时应通过手动操作或模拟测试，检查制动臂的动作是否灵活，确保其在制动和释放过程中无卡滞、延迟或异常阻力。如果制动臂出现卡滞或动作不灵活，可能是由于润滑不足、异物进入或部件变形引起的，应及时进行润滑、清理或调整。同时，应检查制动臂的固定状态，确保其安装牢固且无松动。松动的制动臂可能导致制动力传递不均匀，影响制动效果。此外，还需检查制动臂与制动片的连接部位，确保其无磨损或变形。磨损或变形的连接部位可能导致制动力传递不准确，影响制动器的整体性能。对于长期使用的制动臂，建议定期检查其动作灵活性和固定状态，并根据需要进行维护或更换。通过定期测试和检查制动臂的动作灵活性，可以有效预防因制动臂失效导致的制动器故障，保障电梯的安全运行^[6]。

4.5 电磁铁及控制电路检查

电磁铁和控制电路是电梯制动器电气部分的核心，其性能直接影响制动器的释放和制动功能。检验时应首先检查电磁铁的线圈是否完好，确保其无烧毁、短路或磁力减弱现象。如果电磁铁线圈损坏，可能导致制动器无法正常释放或制动，存在严重安全隐患。同时，应测试电磁铁的动作是否灵敏，确保其在通电时能够迅速释放制动器，断电时能够可靠制动。此外，还需检查控制电路的接线是否牢固，确保无松动、老化或短路现象。松动的接线可能导致电路接触不良，影响制动器的正常工作。对于长期使用的控制电路，建议定期检查其接线状态和元件性能，并根据需要进行维护或更换。同时，应检查电源电压是否稳定，确保电磁铁和控制电路能够正常工作。不稳定的电源电压可能导致电磁铁动作异常，影响制动器的性能。通过定期检查电磁铁和控制电路的状态，可以有效预防因电

气故障导致的制动器失效，保障电梯的安全运行。

4.6 制动器整体调整与测试

制动器的整体调整是确保其性能和安全性的关键步骤。检验时应首先调整制动片与制动轮的间隙，确保间隙在制造商规定的允许范围内且均匀分布。间隙过大可能导致制动力不足，间隙过小可能导致制动器卡滞，影响制动效果。同时，应测试制动器的制动效果，确保其在断电或紧急情况下能够迅速可靠地制动。测试时可以通过模拟断电或紧急情况，观察制动器的动作是否迅速且制动力是否足够。如果制动效果不理想，应重新调整制动片与制动轮的间隙，或检查其他部件是否存在问题。此外，还需检查制动器的整体安装状态，确保各部件固定牢固且无松动。松动的部件可能导致制动力传递不准确，影响制动器的整体性能。对于长期使用的制动器，建议定期进行整体调整和测试，并根据需要进行维护或更换部件。通过定期调整和测试制动器的整体性能，可以有效预防因制动器失效导致的安全事故，保障电梯的安全运行^[7]。

5 结束语

电梯制动器检验技术的完善是保障电梯安全运行、提升检验效率和推动行业发展的重要举措。通过建立技术研发中心、加强人员培训、推动数据共享平台建设以及加强国际合作，可以为电梯安全管理提供更加科学、高效和创新的解决方案。未来，随着智能化、无损检测和远程监控等技术的不断进步，电梯检验将迈向更高水平，为公众安全和社会稳定提供坚实的保障。

参考文献:

- [1] 田振河. 电梯制动器常见失效形式与检验关键点分析[J]. 中国设备工程, 2022(23):154-156.
- [2] 王若虹, 王金奇. 电梯制动器常见失效形式与检验要点研究[J]. 中国设备工程, 2022(21):141-143.
- [3] 朱晓雷. 电梯制动器常见失效形式与检验要点研究[J]. 中国设备工程, 2022(19):194-196.
- [4] 赵军. 电梯制动器常见失效形式与检验要点研究[J]. 中国设备工程, 2022(14):200-202.
- [5] 何伟涛. 电梯制动器常见失效形式与检验要点研究[J]. 中国设备工程, 2021(24):207-208.
- [6] 吴欣凯. 电梯制动器常见失效形式与检验关键点分析[J]. 冶金管理, 2021(23):53-55.
- [7] 朱俊光. 电梯制动器常见失效形式与检验关键点分析[J]. 电子元器件与信息技术, 2021, 05(09):145-146.

聚乙烯流化床反应器飞温产生的原因及控制

张雅男

(中石化英力士(天津)石化有限公司, 天津 300270)

摘 要 当前聚乙烯生产技术快速发展, 流化床反应器作为聚乙烯生产的核心设备, 稳定性受到广泛重视, 而飞温现象作为流化床反应器运行中常见的异常情况, 对生产效率与产品质量构成严重威胁, 科学控制势在必行。本文探讨了聚乙烯流化床反应器飞温产生的原因, 提出了相应的控制策略, 旨在为促进聚乙烯生产的稳定运行提供有益参考。

关键词 聚乙烯; 流化床反应器; 飞温; 反应热; 催化剂

中图分类号: TQ325.12

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.19.026

0 引言

聚乙烯(PE)作为重要的塑料原料, 被广泛应用于包装、建筑、电线电缆等多个领域。目前, 市场对聚乙烯的需求不断增长, 提高聚乙烯生产效率和产品质量成为企业需要重视的工作。流化床反应器作为聚乙烯生产的主要设备, 具有传热效率高、操作灵活等优点, 但在实际运行过程中飞温现象的发生率较高, 严重影响生产过程的稳定性与安全性。因此, 企业需深入研究飞温产生的原因, 制定相应的控制策略, 提高聚乙烯生产的可靠性, 为生产工作的有效实施夯实基础。

1 聚乙烯流化床反应器飞温产生的原因

1.1 反应热未快速转移

聚乙烯生产本质是强烈的放热反应过程, 反应过程中释放的热量高达数千焦耳每千克。在流化床反应器中, 此类反应热需要凭借有效的热传递机制快速转移, 以防止热量在反应器内部累积。循环气作为热量传递的媒介, 在反应器内不断循环, 将反应热带至循环气冷却器进行散热。而当循环气冷却器出现故障时, 其散热能力将大幅下降, 导致循环气无法有效带走反应热, 且循环气流速的不足也会限制热量的传递效率, 此情况下反应热在反应器内部持续累积, 使得反应器温度不断上升。反应热的累积会导致反应器温度升高, 还可能引发连锁反应。随着温度的升高, 聚合反应速率可能加快, 进一步增加热量的释放, 同时高温环境可能改变催化剂的活性, 加剧反应速率的波动, 使得热量管理困难。若此类变化未能得到快速有效的控制, 反应器温度将急剧上升, 最终引发飞温现象^[1]。

1.2 操作参数变化

聚乙烯生产过程中操作参数的变化对反应器温度具有重要影响, 乙烯进料量、催化剂注入量、反应器压力的变化可能源于原料质量的波动、控制系统的不稳定或人为操作的失误等多种因素。乙烯进料量的突然增加将直接导致反应器内乙烯浓度的上升, 加快聚合反应速率, 增加热量的释放。若此时循环气冷却器的散热能力未能快速调整, 反应器温度将迅速上升。类似地, 催化剂注入量的波动也会影响聚合反应速率和热量释放, 催化剂注入量过多将导致反应速率加快, 热量释放增加; 而催化剂注入量不足则可能降低反应速率, 影响生产效率。压力的增加将提高乙烯在反应器内的溶解度, 加快聚合反应速率, 而过高的压力也可能导致反应器内部结块、堵塞等问题的出现, 进一步影响传热效率^[2]。

1.3 催化剂活性过高

催化剂在聚乙烯生产过程中起着至关重要的作用, 其活性直接影响聚合反应的速率和放热量, 而催化剂活性过高也可能成为引发飞温现象的原因。当催化剂活性过高时, 聚合反应速率将显著加快, 导致热量的快速释放。若此时循环气冷却器的散热能力未能快速跟上, 反应器内部温度将迅速上升, 在高温或高压环境下, 催化剂活性可能进一步增强, 加剧反应器温度的波动。催化剂活性的高低对聚乙烯生产过程具有双重影响, 高活性的催化剂可提高聚合反应速率和生产效率, 也可能导致反应器温度失控, 引发飞温现象。

1.4 传热效率下降

流化床反应器中的传热效率下降将导致热量无法快速转移, 使得反应器内部温度上升。在聚乙烯生产

过程中, 传热效率下降的原因可能涉及反应器内部结块、堵塞以及材质选择不当等多个方面。在聚乙烯生产过程中, 由于原料质量、操作参数或催化剂活性等因素的影响, 反应器内部可能出现结块或堵塞现象, 结块或堵塞物将阻碍热量的传递, 导致传热效率下降。不同的材质具有不同的热导率和耐腐蚀性, 因此选择合适的材质对于提高传热效率至关重要^[3]。

1.5 系统故障

聚乙烯生产系统是复杂的系统, 原料预处理、聚合反应、产品回收等任何环节的故障都可能影响反应器的正常运行, 导致反应器温度上升。特别是冷却水系统故障, 将直接导致反应器无法快速散热, 引发飞温现象。冷却水系统是聚乙烯生产过程中的关键设备, 主要功能是为反应器提供冷却水, 带走反应过程中产生的热量, 而在实际运行过程中, 冷却水系统可能出现管道堵塞、水泵失效、冷却塔故障等各种故障, 将导致冷却水的流量或温度异常, 影响其散热能力。当冷却水系统的散热能力无法满足反应器的需求时, 反应器内部温度将迅速上升。除冷却水系统故障外, 聚乙烯生产系统中的其他环节也可能出现故障^[4]。

2 聚乙烯流化床反应器飞温产生控制策略

2.1 精细操作参数控制

聚乙烯流化床反应器的操作中精细控制各项参数是预防飞温现象的基础, 乙烯作为聚乙烯生产的主要原料, 其进料量的多少直接影响到聚合反应的速率及放热量。因此, 操作过程中需按照反应器的实际情况与工艺要求, 合理设定乙烯进料量, 严格控制其波动范围, 此期间企业需积极利用先进的流量计量设备, 实时监测乙烯进料量; 按照聚合反应的特性与工艺要求, 设定合理的乙烯进料量范围, 在操作过程中保持其稳定; 遇到乙烯原料质量波动或供应中断等情况, 应立即调整循环气冷却器的冷却能力, 转移反应产生的热量, 预防反应器温度异常升高。为优化催化剂的使用效果, 定期对催化剂进行活性检测, 若催化剂活性过高, 可能导致反应速率过快, 放热量剧增, 增加飞温的风险。此时, 可适当减少催化剂的注入量或降低注入速率, 以降低反应速率和放热量; 反之, 若催化剂活性过低, 则可能影响生产效率, 此时可增加注入量或提高注入速率以提高其活性。在此基础上, 按照反应器的温度、压力等条件, 合理设定催化剂的注入量和注入速率, 在不同条件下调整催化剂的使用策

略, 实现反应速率及热量的平衡。在聚乙烯生产过程中, 必须严格控制反应器压力, 避免其波动对生产过程造成不利影响。为实现反应器压力的稳定控制, 可利用先进的压力监测设备, 实时监测反应器压力; 按照聚合反应的特性和工艺要求, 设定合理的反应器压力范围, 在操作过程中保持其稳定, 反应器压力发生变化应立即调整循环气冷却器的冷却能力, 保证反应器内部温度的稳定。

2.2 催化剂活性管理

催化剂的活性对聚乙烯生产过程的稳定性具有重要影响。应定期对催化剂进行活性检测, 准确分析催化剂的性能变化, 便于采取相应的调整措施。例如: 若催化剂活性过高可选择稀释催化剂、降低注入速率等方式降低其活性; 若催化剂活性过低, 则可增加注入量或提高注入速率以提高其活性。同时需按照聚合反应的特性及工艺要求, 选择合适的催化剂品种和型号, 优化其使用效果, 催化剂的储存和运输过程中需要采取措施来保证其活性的稳定。例如: 储存过程中应选择合适的储存容器和储存条件, 避免催化剂与空气、水分等发生反应而导致活性降低; 运输过程中采取防震、防潮等措施, 保证催化剂在运输过程中不受损坏。在聚乙烯生产过程中, 催化剂会因长时间使用而逐渐失活, 为提高催化剂的利用率、降低生产成本, 可对失活的催化剂进行再生处理, 恢复催化剂的活性, 使其重新具备催化作用; 对于某些类型的催化剂需进行再利用, 减少对环境的污染及资源的浪费^[5]。

2.3 提升传热效率

传热效率是影响反应器温度的关键因素。为有效控制飞温现象, 需要采取措施来提升传热效率。在反应器设计过程中, 应充分考虑气体湍流运动、固体颗粒的快速循环运动等因素对传热效率的影响, 优化反应器的结构布局, 可提高传热效率, 降低反应器温度。例如: 可采用多级反应器结构, 将反应过程分为多个阶段进行, 每个阶段中设置不同的温度与压力条件, 适应聚合反应的不同阶段对温度及压力的需求, 还可增加换热面积, 提高热量的传递效率, 有效降低反应器温度, 减少飞温现象的发生。反应器内部的结块、堵塞等现象会严重影响传热效率, 需要定期对反应器进行清理和维护工作。在清理过程中可采用物理清理和化学清理相结合的方式, 彻底清除反应器内部的污垢杂质, 还需要对反应器内部的传热元件进行检查维护工作, 保证其处于良好的工作状态。具体而言, 为

加强反应器内部的清理工作，应制定完善的清理计划与时间表、采用先进的清理技术，对清理过程进行记录监控，发现并处理潜在的问题。另外，选用换热器的过程中需全面分析其材质、结构、换热面积等因素。例如：可选择具有高热导率、耐腐蚀性能好的材质制作换热器；采用翅片管、螺旋管，提高换热效率。对于老化的换热器元件，应快速进行更换或维修，避免对传热效率产生不利影响，改善工作效果，预防问题的发生。

2.4 系统维护

系统维护是预防飞温现象的重要措施，可快速发现并处理潜在故障，且原料输送管道是聚乙烯生产过程中的重要组成部分，检查过程中可采用压力测试、超声波检测等方式检测管道的堵塞和泄漏情况。对于发现的堵塞或泄漏问题，应快速进行清理修复工作，还需要对管道的连接部位进行检查维护，保证其密封性能良好。冷却水系统是聚乙烯生产过程中的关键设备，其性能直接影响反应器的散热能力与温度稳定性。在冷却水系统的管理中，应定期对冷却水系统进行清洗和保养工作，防止其出现堵塞、腐蚀等问题；加强对冷却水水质的管理控制工作，促使其符合工艺要求；对冷却水系统的运行情况进行实时监控和记录工作，便于快速发现处理潜在问题。针对聚乙烯生产过程中可能出现的飞温现象等突发情况，需要制定完善的应急预案，明确应急处理流程、应急处理措施、应急物资准备，在突发情况下迅速采取有效措施进行处理，降低损失。制定应急预案期间应充分考虑飞温现象产生的原因和可能带来的后果，按照分析结果制定相应的应急处理措施。例如：发现反应器温度异常升高的过程中即启动应急预案，采取降低乙烯进料量、增加循环气冷却器冷却能力等措施进行处理，准备灭火器、防护服等相应的应急物资，便于在紧急情况下使用，维护生产安全。

2.5 引入先进监控技术

随着科技的不断发展，先进的监控技术在聚乙烯生产过程中得到广泛应用。在线监测技术是实时监测反应器参数的技术，安装传感器和监测设备可实时监测反应器的温度、压力、流量等参数，将数据传输到中央控制室进行显示分析，参数出现异常波动，系统立即发出报警信号，提醒操作人员快速采取措施进行处理。智能控制系统是现代工业自动化领域的重要发展方向，集成传感器技术、计算机技术、控制理论以

及人工智能算法等多种先进技术，在聚乙烯流化床反应器中引入智能控制系统，可实现对生产过程的全面监控和智能调控。智能控制系统集成各种传感器和监测设备，实时采集反应器的温度、压力、流量、乙烯进料量、催化剂注入量等关键参数。系统利用内置的算法对此类数据进行处理分析，预测反应器的运行状态及潜在风险。一旦发现异常，系统自动调整操作参数，改变乙烯进料量、调整催化剂注入速率或改变循环冷却器的冷却能力，以维持反应器的稳定运行。例如：系统可分析不同催化剂种类和注入量对反应速率及放热量的影响，找到最佳的催化剂使用策略，同样，系统也可分析不同温度和压力条件下聚合反应的速率和产物质量，优化反应器的操作条件。除此之外，在聚乙烯生产过程中，大数据技术的应用为生产过程的优化提供了新的途径，可挖掘出潜在的风险点和优化空间，为生产过程的持续改进提供数据支持，企业需积极采用先进的大数据技术，精准识别生产问题，科学应对处理问题，达到预期的目的。

3 结束语

聚乙烯流化床反应器飞温现象是聚乙烯生产过程中常见的异常情况，其产生的原因复杂繁琐。为全面预防相关问题，需精细操作参数控制，科学开展催化剂活性管理工作，提升传热效率。系统维护可采用先进监控技术，降低飞温现象的发生概率，提高聚乙烯生产的安全性。通过采取以上措施，可为企业创造经济效益与社会效益，提高企业的生产水平。

参考文献：

- [1] 谭克,徐志强,谭春海,等.高密度聚乙烯反应影响因素及控制措施[J].当代化工,2020,49(01):167-170.
- [2] 程滢,李传强,凌天清,等.改性飞灰催化聚乙烯裂解蜡温拌剂的制备及其对沥青性能的影响[J].化工新型材料,2023,51(10):239-243,249.
- [3] 杜翠玲,黄飞波,梅宇飞,等.超高分子聚乙烯瞬动机构温度适应性及寿命[J].电子产品可靠性与环境试验,2023,41(05):8-14.
- [4] 李彬彬,田飞.加工及测试温度对间隔织物增强复合板材力学性能的影响[J].纺织科技进展,2025,47(01):22-26,43.
- [5] 赵永飞,张文才,王科,等.废弃聚乙烯改性剂改性沥青研究及其应用技术进展[J].中国塑料,2024,38(07):93-99.

水利工程质量检测中的新型检测技术对比与应用研究

李荣昌, 黄 鹏

(陕西水利水电工程集团有限公司, 陕西 西安 710018)

摘 要 本研究对水利工程质量检测新技术进行比较与分析, 并探究该技术在实践中所具有的优势与局限, 对水利工程质量检测重要性和传统检测技术局限性进行了总结, 并对新型检测技术进行了详细介绍, 通过应用案例分析比较了超声波无损检测技术、激光无损检测技术、弱电磁法检测技术与压式声测管技术的检测精度、效率与成本, 指出新型检测技术在水利工程质量检测中的应用要重视技术融合和创新, 通过技术标准化、规范化、专业化、智能化的发展, 为水利工程质量检测的提升提供更准确和更有效的技术支持。

关键词 水利工程质量检测; 新型检测技术; 无损检测; 智能检测; 远程监控

中图分类号: TV523

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.19.027

0 引言

近年来, 各种新的检测技术不断应用于水利工程质量检测领域, 不仅显著提高了水利工程质量检测精度与效率, 而且也为水利工程安全运行奠定了坚实的基础。本文对目前水利工程质量检测新技术进行了深入比较与分析, 探究这些技术在实践中所具有的显著优势与局限, 希望可以为水利工程质量检测领域提供全新的技术路径, 促进水利工程质量检测领域的不断进步。

1 水利工程质量检测概述

1.1 水利工程质量检测的重要性

水利工程质量检测作为确保水利设施安全运转的基石, 具有十分重要的意义。质量检测可以对水利工程整体质量进行全面准确的评价, 保证项目在设计寿命期间平稳可靠运行。通过检测能够及时检测出项目潜在的缺陷与隐患。这些缺陷如果得不到及时的处理, 一旦遇到极端天气或者高负荷运行的情况就会导致安全事故的发生。所以, 严把水利工程质量检测是水利工程中不可缺少的重要一环, 它可以为水利设施安全运行构筑起一道稳固的防线。

1.2 传统检测技术及其局限性

外观检查、尺寸测量以及力学性能测试等传统检测技术具有明显的局限性。外观检查凭检测人员经验及主观判断很难检测出隐藏的瑕疵; 尺寸测量虽准确但费时费力且效率低下; 力学性能的测试可能会给工程结构带来不可恢复的损伤。根据数据显示, 传统的检测手段在大

型水利项目中的缺陷检测率仅在 60% ~ 70% 之间, 这显然不能满足现代水利工程对于高品质检测的高标准要求。

2 新型检测技术的分类与介绍

2.1 新型检测技术的分类

新型检测技术包括无损检测、智能检测和远程监控等多种手段, 以高精度、高效率和非破坏性为其显著特征。这些技术对水利工程的质量检测起到了关键的作用。无损检测能够准确地检测出内部缺陷而不会对工程结构造成损伤^[1]。智能检测技术采用人工智能与机器学习算法相结合的方式, 通过深度分析与处理水利工程中的质量检测数据, 从而有效地提升检测精度与效率。另外, 智能检测技术具有自适应学习的功能, 可以依据历史数据与经验对算法进行持续的优化, 从而提高检测的准确性与效率。远程监控技术利用物联网和云计算实现水利工程结构远程实时监测与数据采集。这种技术可以对监测数据进行实时传输, 保证数据的时效性与准确性, 以便及时发现可能存在的问题, 并对维护与检修工作提供准确的依据。同时, 智能检测技术也能与历史数据的分析相结合, 对工程维护起到科学的决策支持作用。这些方法不仅可以准确地识别出潜在的问题, 还能显著减少检测所需的时间, 从而有效地提升检测的质量和效率, 为水利工程的安全运营提供了坚实的技术支持。

2.2 新型检测技术介绍

1. 超声波无损检测技术利用了超声波在水利工程结构材料中的传播特性, 能够准确地检测出内部的缺

陷和损伤^[2]，例如裂缝、空洞等，其检测精度可以达到 0.1～1 mm，误差可以控制在 5% 以内。

2. 激光无损检测技术是利用激光衍射与光电辐射原理实现水利工程结构非接触式检测的一种高精度、高效率技术，其精确度介于 0.01～0.1 mm 之间，误差不超过 2%，特别适合于对复杂表面进行检测。

3. 弱电磁法探测技术是采用电磁波设备来对电磁波进行发射，并通过对反射回信号进行接收与分析来对水利工程结构内质量状况进行评判，该检测方法适用于钢丝绳和金属等多种材料的检验，其精度控制在 0.5～2 mm 的范围内，同时误差也被严格控制在 10% 的范围内，这为结构的安全性评估提供了有力的支持^[3]。

3 新型检测技术在水利工程质量检测中的应用与对比

3.1 应用案例分析

将超声波无损检测技术用于水利工程 A 混凝土大坝质量检测。探测结果表明：大坝内出现多处细小裂缝，并及时采取措施进行修补，规避可能出现的隐患。以某水利工程 B 为研究对象，利用激光无损检测技术检测闸门，结果表明闸门表面锈蚀严重，经处理后闸门使用寿命得到延长。另外，在水利工程 C 中，采用弱电磁法测试技术测试钢丝绳，有效地评价钢丝绳承载能力及安全性。水利工程 D 采用压式声测管技术对混凝土泵站内部质量进行检测，保证泵站结构牢固安全。这些应用实例说明了新的检测技术对水利工程质量检测的重要性。

3.2 新型检测技术对比

1. 检测精度对比。水利工程质量检测时，各种新型检测技术其检测精度也是有区别的，如表 1 所示。超声波的无损检测精度在 0.1～1 mm 之间，误差范围不会超过 5%，这使其非常适合于混凝土、金属等材料的检测，而且操作的难度属于中等。激光无损检测技术具有更低的精度范围，仅为 0.01～0.1 mm，并且精度误差不会超过 2%。该技术同样适用于混凝土和金属材料，但其操作难度相对较高。弱电磁法的检测精度介于 0.5～2 mm 之间，误差不会超过 10%，这种方法特别适合于检测如钢丝绳和金属材料，其操作难度属于中等水平。压式声测管的测量精度介于 0.05～0.5 mm 之间，误差范围不会超过 3%，它主要用于检测混凝土的质量，并且操作上相对简单。

2. 检测效率对比。新型检测技术检测效率对比中，检测速度的数据来源于实际工程应用中的测试记录，表示该技术每小时能够检测的面积；检测周期的数据

基于平均工程规模和检测速度计算得出，指完成整个检测任务所需的时间；人力需求的数据根据技术操作的复杂性和效率得出，指完成检测任务所需的人员数量；自动化程度根据技术实现的自动化水平评估，分为低、中、高三个等级（详见表 2 所示）。

表 1 新型检测技术检测精度对比表

技术名称	精度范围 (mm)	精度误差 (%)	适用范围	操作难度
超声波无损检测	0.1～1	≤5	混凝土、金属等	中等
激光无损检测	0.01～0.1	≤2	混凝土、金属等	较高
弱电磁法检测	0.5～2	≤10	钢丝绳、金属等	中等
压式声测管	0.05～0.5	≤3	混凝土	较低

（注：精度范围指该技术能够检测到的最小缺陷尺寸；精度误差指检测结果与实际值的偏差百分比。）

表 2 新型检测技术检测效率对比表

技术名称	检测速度 (m ² /h)	检测周期 (天)	人力需求	自动化程度
超声波无损检测	50～100	3～5	2～3 人	中等
激光无损检测	20～50	5～7	1～2 人	较高
弱电磁法检测	100～200	1～2	2～3 人	中等
压式声测管	5～20	7～10	1～2 人	较低

3. 成本对比。新型检测技术应用于水利工程质量检测的成本比较，是评价其经济上是否可行的一个很重要的方面（详见表 3 所示）。

表 3 新型检测技术成本对比表

技术名称	设备成本 (万元)	耗材成本 (元/m ²)	维护成本 (万元/年)
超声波无损检测	20～50	1～2	2～5
激光无损检测	50～100	0.5～1	5～10
弱电磁法检测	10～30	0.2～0.5	1～3
压式声测管	5～15	0.1～0.3	0.5～2

3.3 新型检测技术的局限性及改进建议

在实践中，超声波无损检测、激光无损检测以及其他新型检测技术虽然具有精度高、效率高等特点，但是仍然面临着检测范围有限的难题。如超声波无损检测对深层缺陷的探测可能受材料厚度、缺陷类型等因素的制约而造成探测不彻底。另外，激光无损检测等一些新型检测技术设备成本高、操作流程繁杂等问

题制约着它们的广泛应用。为了提升检测效能,降低成本,应该对设备进行优化设计,在简化操作流程的前提下开发出更经济、实用的检测设备。另外,强化人员培训是重点,经过系统培训与技能提升后,检测人员可以熟练运用新型检测技术进行作业,提升检测工作效率与质量^[4]。

4 新型检测技术在水利工程质量检测中的发展前景

4.1 新型检测技术的应用展望

1. 在大坝建设项目中,新兴的检测方法,例如超声波无损检测和压型声测管技术,能够准确地评估混凝土的内部质量,这其中也包括了空洞的检测、裂缝和其他缺陷,以便及时发现和处理可能存在的隐患,保证大坝安全平稳运行。

2. 在堤防工程实施过程中,通过运用激光无损检测技术和弱电磁法检测技术,能够实时监控土壤状况和结构变化,包括但不限于土壤湿度和密度,以及堤防内部可能出现的裂缝和空洞等问题,从而为堤防的长期维护和加固工作提供科学的依据。根据数据显示,实施这些技术之后,堤防工程的维护费用减少了 20%,同时堤防的稳定性和安全性也得到了提升。

3. 在水闸、泵站以及其他水工建筑物上,超声波无损检测以及智能检测技术等新的检测技术可以被应用于混凝土内部质量以及钢筋锈蚀的检测,对于日常的养护与维修具有重要的借鉴意义。定期进行检测可及时发现和治理钢筋锈蚀和混凝土剥落现象,延长水工建筑物使用寿命。

4.2 新型检测技术面临的挑战与应对策略

1. 技术挑战:将新型检测技术运用到实际的水利工程中面临着提升检测精度与效率以及减少操作复杂性的技术难点。应对策略为:不断进行技术研发并引进更为先进的算法与装备来增强检测技术性能。同时加强对检测人员的专业培训,以保证其对新技术的切实掌握与应用^[5]。

2. 成本挑战:设备成本高,耗材成本大,对新型检测技术的推广造成了很大阻碍。应对策略为:优化设备设计、使用更具成本效益的物料及制造工艺来降低生产成本。另外,通过规模化生产与供应链管理进一步压缩成本使得新的检测技术更经济实用。

3. 法规挑战:水利工程质量检测方面的规定与标准落后于技术发展的步伐,为新型检测技术在工程中的运用带来了法律上的不确定性。应对策略为:主动参与有关新型检测技术的检测标准、规范体系的建立。

同时加强和监管机构之间的交流和协作,以保证新型检测技术能够在合法合规框架下被广泛使用。

4.3 新型检测技术的推广与普及

1. 强化宣传与普及是重点。通过组织技术交流会、研讨会等为水利工程领域相关企业及人士介绍新型检测技术优点及应用实例,促进他们对此类技术的认识与接受。运用媒体、网络平台等方式发布有关信息,加大宣传力度,营造积极向上的社会氛围。

2. 技术培训与人才培养并重。举办以新型检测技术为对象的专业培训课程并请专家、技术人员讲课,有利于检测人员熟练掌握新型检测技术操作方法及应用技巧。同时鼓励检测人员通过相关认证考试提升自身的专业技能水平。通过与高校及科研院所等机构的合作,培养掌握新型检测技术知识、实践经验丰富的高素质人才。

3. 政策引导与资金扶持不可或缺。政府要出台相应政策鼓励企业增加对新型检测技术研发的投入并给予税收减免和资金补贴等优惠政策。建立专项基金对新型检测技术研发与推广项目进行资助,以减少企业研发成本与市场风险。同时加强新型检测技术运用的监督与评价,保障其在实践中的成效与安全。

5 结束语

水利工程质量检测新技术的比较和应用研究揭示了超声波无损检测、激光无损检测、弱电磁法检测和压式声测管在检测精度、效率和成本上表现出不同的特性。研究着重指出了根据水利工程的具体需要及环境条件对检测技术进行合理选用的重要性。另外,为了突破现有技术存在的局限,不断地进行技术研发、设备优化与人员培训也是增强检测实用性与操作性的关键途径。未来,新型检测技术和大数据、云计算的结合,必将进一步提升水利工程质量检测精度。

参考文献:

- [1] 王红霞.水利工程质量无损检测关键技术的研究[J].水上安全,2024(17):18-20.
- [2] 吕永强.水利工程质量检测中超声波检测技术运用研究[J].水上安全,2024(17):21-23.
- [3] 刘强.水利工程质量检测新方法的研究与应用[J].中国厨卫:建筑与电气,2023(07):83-85.
- [4] 潘会.水利工程质量检测中无损检测技术的实践应用[J].建筑与装饰,2023(24):163-165.
- [5] 刘强,王超.探地雷达技术在水利工程质量检测中的应用研究[J].工程技术研究,2022(20):20-22.

道路工程沥青路面施工技术应用分析

王光银

(肥东县交通运输局, 安徽 合肥 231600)

摘要 我国城市化进程不断加快, 道路工程沥青路面施工面临着日益提高的质量要求和技术挑战, 对施工工艺和管理水平提出了更高要求。本文论述了道路工程沥青路面施工的关键技术、质量控制、安全管理及技术的改进与创新, 介绍了沥青混合料的拌制、运输、摊铺和压实技术, 强调了施工质量控制与管理的重要性, 并探讨了施工后的质量验收及安全管理措施, 指出了技术改进与创新的方向, 以期为相关人员提供借鉴。

关键词 道路工程; 沥青路面; 质量控制; 质量验收

中图分类号: U416.217

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.19.028

0 引言

随着交通运输业的快速发展, 道路工程作为基础设施的重要组成部分, 其建设质量和效率直接关系到社会经济的发展和人民生活的便利。沥青路面作为道路工程中的一种常见路面类型, 因其具有良好的行车舒适性、耐磨性、抗滑性以及易于施工和维修等优点, 被广泛应用于各级公路和城市道路建设中。然而, 随着交通量的不断增加和车辆荷载的日益加重, 对沥青路面的性能要求也越来越高。如何采用先进的施工技术, 确保沥青路面的施工质量, 延长其使用寿命, 降低维护成本, 已成为道路工程领域亟待解决的问题。

1 道路工程沥青路面施工技术概述

1.1 沥青路面定义与特点

沥青路面, 顾名思义, 是以沥青为主要结合料, 与矿质集料按一定比例混合后铺筑在路面基层上的一种路面结构。它凭借沥青的粘结性, 将松散的矿质集料紧密地结合在一起, 形成具有一定强度和稳定性的路面层。沥青路面因其良好的行车舒适性、平整度高、噪声小、耐磨性强以及施工和维修相对简便等特点, 在各级公路和城市道路建设中得到了广泛应用。同时, 沥青路面还具有一定的弹性, 能够吸收部分车辆行驶时产生的震动, 提高行车的平稳性和安全性。

1.2 沥青路面施工技术分类

沥青路面施工技术根据施工方法、材料种类以及集料类型等不同, 可以进行多种分类。按施工方法, 可分为热拌热铺、冷拌冷铺、热拌冷铺等; 按材料种类, 可分为普通沥青、改性沥青、再生沥青等; 按集料类型, 可分为粗粒式、中粒式、细粒式以及砂粒式等。这些不同的施工技术各有其特点和适用范围, 在实际工程

中需要根据具体的设计要求、交通条件、气候条件以及材料供应情况等因素进行综合考虑和选择。

2 道路工程沥青路面施工前的准备工作

2.1 基层验收与处理

在沥青路面施工之前, 首先需要对基层进行严格的验收。基层是沥青路面的支撑层, 其质量直接影响到沥青路面的稳定性和耐久性。验收时, 应检查基层的平整度、强度、压实度以及是否存在裂缝、松散等缺陷。对于不符合要求的基层, 必须及时进行处理, 如填补裂缝、加固松散部位等, 以确保基层的质量满足沥青路面施工的要求。

2.2 材料选择与检查

沥青路面的质量很大程度上取决于所用材料的质量。因此, 在施工前, 必须对沥青原材料、集料以及填料等进行严格的选择和检查。沥青原材料应选择符合设计要求的标号, 并检查其针入度、软化点、延度等指标。集料应选择质地坚硬、耐磨性好的石料, 并检查其粒径、级配以及含泥量等。填料和矿粉也应选择符合标准的材料, 并进行相应的质量检查。只有确保所有材料的质量都符合要求, 才能保证沥青路面的施工质量。

2.3 机械设备检查与调试

沥青路面施工需要使用各种机械设备, 如拌和设备、摊铺设备、压实设备等。在施工前, 必须对这些设备进行全面检查和调试, 确保其性能良好、运转正常。拌和设备应检查其计量系统的准确性, 以确保沥青混合料的配合比准确无误。摊铺设备应检查其摊铺厚度、平整度以及摊铺速度等是否满足设计要求。压实设备应检查其压实度、振动频率以及振幅等参数

是否合适。只有确保所有机械设备都处于良好状态,才能保证沥青路面的施工顺利进行。

3 道路工程沥青路面施工关键技术分析

3.1 沥青混合料的拌制技术

1. 配合比设计原理与方法。配合比设计是沥青混合料拌制的基础,其原理是根据路面的设计要求和使用条件,确定沥青、集料、填料等各组分比例^[1]。设计方法通常包括目标配合比设计、生产配合比设计以及生产配合比验证三个阶段。在目标配合比设计阶段,通过试验确定各组分最佳比例;在生产配合比设计阶段,根据目标配合比和实际生产条件,调整配合比以适应生产需求;在生产配合比验证阶段,通过试铺段施工,验证配合比的可行性和合理性。

2. 拌合机械选择与调试。拌合机械的选择应根据工程规模、施工进度和混合料类型等因素综合考虑。通常选择具有自动化程度高、计量准确、拌合均匀等优点的拌和设备。在拌合前,需要对拌和设备进行全面的检查和调试,确保其各部件运转正常,计量系统准确可靠。同时,还需要对拌合锅、搅拌臂等关键部件进行清洁,以避免对混合料造成污染。

3. 拌合温度与质量控制。拌合温度是影响沥青混合料质量的重要因素之一。过高的拌合温度会导致沥青老化,降低混合料的性能;过低的拌合温度则会使混合料拌合不均匀,影响施工质量。因此,需要严格控制拌合温度,通常根据沥青的标号和气候条件来确定。同时,在拌合过程中,还需要对混合料的质量进行实时监控,如检查混合料的均匀性、色泽、含水量等指标,确保混合料的质量符合设计要求。

3.2 沥青混合料的运输技术

1. 运输车辆的选择与要求。运输车辆的选择应根据混合料的种类、运输距离和施工进度等因素综合考虑。通常选择具有密封性好、保温性能佳、行驶稳定等优点的运输车辆。在运输前,需要对车辆进行全面的检查和维护,确保其各部件运转正常,车厢内干净无杂物。同时,还需要在车厢内涂抹一层薄油水混合物,以防止混合料粘附在车厢上^[2]。

2. 运输过程中的保温与防污染措施。在运输过程中,需要采取保温措施,确保混合料的温度保持在规定范围内。通常使用保温布或保温棉等材料对车厢进行包裹,以减少热量散失。同时,还需要采取防污染措施,避免混合料在运输过程中受到污染。如使用干净的苫布覆盖混合料,防止灰尘、雨水等杂物进入车厢内。

3. 运输时间与距离的合理安排。运输时间和距离的安排应根据施工进度和现场条件来确定。通常应尽量选择较短的运输距离和合理的运输时间,以减少混合料的温度损失和保证施工质量。同时,还需要考虑交通状况、天气条件等因素对运输的影响,确保运输过程的顺利进行。在运输过程中,还需要与施工现场保持密切联系,及时了解施工进度和需求变化,以便及时调整运输计划。

3.3 沥青混合料的摊铺技术

1. 摊铺前的准备工作。在摊铺前,必须进行一系列的准备工作以确保摊铺的顺利进行。首先,要对基层进行彻底的清扫和检查,确保基层干净、平整,无杂物和松散颗粒。其次,要根据设计要求设置好摊铺机的各项参数,如摊铺宽度、厚度、坡度等,并进行试铺以验证设置的准确性。同时,还要检查摊铺机的各部件是否运转正常,特别是摊铺板、螺旋布料器等关键部件,确保其处于良好状态。此外,还要准备好足够的沥青混合料,确保摊铺过程中不会出现断料的情况。

2. 摊铺速度与温度的控制。摊铺速度和温度是影响摊铺质量的重要因素。摊铺速度过快会导致混合料离析,影响路面的均匀性和密实性;摊铺速度过慢则会造成混合料温度下降,影响沥青的粘结性。因此,要根据混合料的类型、温度、摊铺机的性能以及现场条件等因素,合理控制摊铺速度。同时,还要严格控制混合料的温度,确保其在规定的温度范围内进行摊铺。通常,混合料的温度应保持在 160 ~ 180 ℃ 之间,过高或过低都会影响摊铺质量。

3. 摊铺厚度的均匀性保证。摊铺厚度的均匀性是保证路面平整度和使用性能的关键。为了实现厚度的均匀性,首先要确保摊铺机的摊铺板平整且调整准确。在摊铺过程中,要密切关注摊铺厚度的变化情况,及时调整摊铺机的高度或速度以控制厚度。此外,还可以使用非接触式测厚仪等先进设备对摊铺厚度进行实时监测和反馈,确保厚度的准确性和均匀性。

3.4 沥青混合料的压实技术

1. 压实设备的选择与组合。压实设备的选择和组合应根据混合料的类型、厚度、温度以及现场条件等因素综合考虑。通常,压实设备包括初压设备、复压设备和终压设备。初压设备主要用于在混合料温度较高时进行初步压实,以稳定混合料并防止其推移;复压设备则用于在混合料温度适中时进行进一步压实,以提高路面的密实度和平整度;终压设备则用于在混

合料温度较低时进行最后压实,以消除轮迹和提高路面的耐久性^[3]。在实际施工中,应根据具体情况合理选择压实设备,并进行合理的组合和搭配。

2. 初压、复压与终压的阶段划分。初压、复压和终压是压实过程中的三个阶段,每个阶段都有其特定的任务和要求。初压阶段,要在混合料温度较高时及时进行,以稳定混合料并防止其推移。此时,应使用较轻的压实设备,并采用静压或轻振的方式进行压实。复压阶段,要在混合料温度适中时进行,以提高路面的密实度和平整度。此时,应使用较重的压实设备,并采用高频低幅的振动方式进行压实。终压阶段,要在混合料温度较低时进行,以消除轮迹和提高路面的耐久性。此时,应使用较重的压实设备,并采用静压的方式进行压实。

3. 压实度与平整度的控制。压实度和平整度是评价路面质量的重要指标。为了保证压实度,要严格控制压实设备的重量、振动频率和振幅等参数,确保压实能量足够且分布均匀。同时,还要对压实过程进行实时监测和反馈,及时调整压实参数以控制压实度。为了保证平整度,要在摊铺过程中严格控制摊铺厚度和速度,确保混合料的均匀性和稳定性。在压实过程中,还要采用合适的压实方式和顺序,避免产生推移和裂纹等缺陷。此外,还可以使用平整度仪等先进设备对路面平整度进行实时监测和反馈,确保路面的平整度符合设计要求。

4 道路工程沥青路面施工质量控制与管理

4.1 施工过程中的质量控制

在道路工程沥青路面施工过程中,质量控制是至关重要的。为了确保施工质量,必须建立严格的质量控制体系。首先,要对原材料进行严格把关,确保沥青、集料等材料的质量符合设计要求。其次,要对施工过程中的各个环节进行实时监控,如混合料的拌制、运输、摊铺和压实等,确保每个步骤都按照规范进行操作^[4]。同时,还要定期对施工设备和工具进行检查和维护,确保其处于良好状态,避免因设备故障而影响施工质量。此外,还要加强施工人员的培训和教育,提高其质量意识和操作技能,确保施工过程的顺利进行。

4.2 施工后的质量验收

施工后的质量验收是评价路面质量的重要环节。验收前,要对路面进行全面的检查,包括路面的平整度、厚度、宽度、坡度以及外观质量等。对于发现的问题,要及时记录并通知施工单位进行整改。验收时,要严格按照设计要求和验收标准进行,采用先进的检测设

备和方法进行测量和评价。对于关键指标,如压实度、抗滑性能等,要进行抽样检测,确保路面的整体质量符合规定。验收合格后,方可交付使用,并出具相应的验收报告和证书。

4.3 施工过程中的安全管理

在道路工程沥青路面施工过程中,安全管理同样不可忽视。首先,要建立健全的安全管理制度和责任制,明确各级管理人员和施工人员的安全职责和义务。其次,要加强施工现场的安全防护和警示标志的设置,确保施工区域的安全和有序。同时,还要对施工人员进行安全教育和培训,提高其安全意识和自我保护能力。此外,还要定期对施工现场进行安全检查,及时发现和消除安全隐患,确保施工过程的顺利进行。

4.4 施工技术的改进与创新

道路工程沥青路面施工技术的改进与创新是提升路面质量、提高施工效率的关键。近年来,随着新材料、新工艺、新技术的不断涌现,沥青路面施工技术也在不断进步。通过采用高性能沥青材料,提高了路面的耐久性和抗裂性;引进智能化施工设备,实现了施工过程的精准控制和自动化操作;同时,还研发了新型压实技术和施工工艺,有效提升了路面的压实度和平整度^[5]。这些改进与创新不仅提高了沥青路面的使用性能,还降低了施工成本,缩短了工期,为道路工程的可持续发展注入了新的活力。

5 结束语

道路工程沥青路面施工是一个复杂而系统的过程,需要严格控制施工质量,加强安全管理,并不断推进技术的改进与创新。通过本文的探讨,我们更加深入地了解了沥青路面施工的关键技术和质量控制要点,为今后的道路工程建设提供了有益的参考。相信在未来的发展中,沥青路面施工技术将不断取得新的突破,为道路工程的可持续发展贡献更大的力量。

参考文献:

- [1] 庄玉山. 沥青路面施工技术在城镇道路工程的应用分析[J]. 建筑与预算, 2023(04):61-63.
- [2] 曹静. 复合改性沥青路面施工技术研究[J]. 交通世界, 2022(27):87-89.
- [3] 苏楠. 沥青路面双层摊铺施工技术[J]. 交通世界, 2022(26):37-39.
- [4] 蒋凯. 关于公路中的沥青路面施工技术[J]. 黑龙江交通科技, 2022(09):71,73.
- [5] 马超. 道路工程沥青路面面层施工技术探究[J]. 石材, 2022(10):79-81.

道路桥梁工程现场施工管理难点及对策

李利成

(黄山新洲建设集团有限公司, 安徽 黄山 245242)

摘要 本研究聚焦于道路桥梁工程现场施工管理关键难点并提出相应的解决策略, 目的在于为有效克服管理难题、确保工程顺利推进及高质量完成提供参考。在施工技术管理层面, 强调了加强技术培训和交底的重要性, 并提倡推广新技术与新工艺的应用; 在安全管理层面, 提出了提升安全意识教育和健全安全管理制度的建议; 在材料管理层面, 着重于加强采购管理和质量控制的探讨; 在组织管理层面, 建议优化施工组织结构, 并强化沟通协调机制。

关键词 道路桥梁工程; 现场管理; 安全管理; 材料管理; 组织管理

中图分类号: U415.1; U445.1

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.19.029

0 引言

道路桥梁工程作为城市交通网络的关键组成部分, 其建设质量与效率直接影响公众出行安全和区域经济发展。现场施工管理是道路桥梁工程建设的关键环节, 承担确保工程质量、提升施工效率、降低施工成本的任务。所以, 强化现场施工管理对提升道路桥梁工程综合品质、推动城市交通建设持续发展意义深远。但在实际施工中, 道路桥梁工程现场施工管理面临诸多挑战和难点, 包括技术复杂性与创新性、安全管理严格性与全面性、材料管理规范性与质量控制、组织管理协调性与高效性。本研究将深入探讨道路桥梁工程现场施工管理难点并提出相应的解决策略, 以期道路桥梁工程的现场施工管理提供科学依据和实践指导。

1 道路桥梁工程现场施工管理的作用

1.1 确保工程质量

现场施工管理在确保道路桥梁工程质量中扮演着至关重要的角色。在施工阶段, 通过实施严格的现场管理与监督机制, 能够确保施工活动遵循既定的设计规范与质量标准。现场管理人员将对施工流程的各个阶段进行细致检查与严格控制, 及时发现并纠正施工过程中出现的偏差与错误, 以防止质量问题的发生。此外, 现场施工管理亦能有效遏制偷工减料、以次充好等违规行为, 确保工程所用材料、设备及技术均满足既定规范, 从而为工程质量提供坚实的保障。同时, 现场施工管理涉及对施工队伍的专业培训与技能提升, 确保施工人员具备专业知识和技能, 按高质量标准施工。现场管理人员通过定期组织技术交底和安全教育

活动, 增强施工人员质量与安全意识, 使其保持责任心和敬业精神, 巩固工程质量基础。

1.2 提高施工效率

现场施工管理对于提高道路桥梁工程的施工效率也具有重要作用。通过合理的施工组织和调度, 可以优化施工流程, 减少不必要的等待和浪费, 使施工过程更加顺畅高效。现场管理人员会根据工程实际情况, 制定详细的施工计划和进度安排, 并密切监控施工进度, 即时优化施工方案, 保障工程如期竣工。此外, 现场施工管理还能有效协调各方资源, 充分运用人力、物力及财力资源优势, 着力提升施工效率。同时, 现场施工管理强调团队协作与沟通, 确保各施工小组之间信息共享及时准确, 减少因信息不对称导致的施工延误。通过定期的工程进度会议, 现场管理人员能够及时了解各施工小组的工作进展, 解决施工中遇到的问题, 确保施工计划顺利实施。这种高效的沟通与协作机制, 不仅提升了施工效率, 也增强了团队的凝聚力和执行力, 为道路桥梁工程的顺利完成奠定了坚实的基础。

1.3 降低施工成本

现场施工管理对于降低道路桥梁工程成本具有显著的作用。通过实施精细化管控措施, 可以有效减少施工过程中的资源浪费和损耗, 降低材料消耗和能源消耗。现场管理人员需严格控制开支, 坚决杜绝任何形式的浪费现象。同时, 采用高效的成本控制方法和创新的工艺技术, 旨在实现提高工程效率、确保工程质量的同时, 达到降低工程成本的目的。

2 道路桥梁工程现场施工管理的难点

2.1 技术管理难点

1. 施工技术复杂多变。道路桥梁工程施工技术的领域涵盖土木工程、结构工程、材料科学及机械工程等多个学科。随着科技进步和工程实践的深化,新技术和新工艺不断涌现,技术的复杂性和多变性给现场施工管理带来了严峻挑战。一方面,施工人员必须持续学习和掌握新技术,以满足工程建设的需求;另一方面,现场管理人员需具备高度的专业素养和综合能力,以精确理解和运用各类施工技术,确保施工过程的顺利进行。然而,在实际施工过程中,由于技术更新迅速,施工人员及管理人员未能熟练掌握和应用新技术,影响了工程质量和进度。

2. 技术交底不彻底。技术交底作为施工过程中的关键环节,对于施工人员对施工技术的掌握程度具有决定性影响。然而,在现实施工实践中,技术交底的实施常常面临不彻底的困境。一方面,交底内容可能过于简化或含糊,导致施工人员难以准确把握施工技术的核心要点及注意事项;另一方面,交底方式可能过于单一或缺乏针对性,未能充分满足不同施工人员的个性化学习需求。这种技术交底的不彻底性,易引发施工人员在施工操作中出現失误或理解上的偏差,从而对工程项目的质量与安全产生负面影响。

2.2 安全管理难点

1. 安全风险点多面广。在道路桥梁工程施工现场,安全风险点广泛存在,且种类繁多,涵盖了高空作业、机械操作、电气安全、临时设施稳定等多个方面。这些风险点不仅数量众多,而且分布广泛,难以全面掌控。例如:高空作业可能导致坠落事故,机械操作失当或致机械伤,电气故障易引发火灾、触电,临时设施不稳可能坍塌^[1]。鉴于此,现场管理人员必须具备高度的安全意识和风险防控能力,对施工现场进行全面的安全检查,及时排除安全隐患,确保施工过程的顺利进行。

2. 安全意识淡薄。安全意识构成了施工人员不可或缺的基本素养,直接关联到施工人员的生命健康安全。然而,在现实的施工活动中,部分施工人员的安全意识存在显著的不足。他们可能对安全规程和操作规程的遵守持有忽视态度,进行违规操作或冒险作业,抱有“不会发生事故”或“以往均是如此操作”的侥幸心理。这种侥幸麻痹心理极易诱发安全事故,且部分人员对潜在危险的感知迟钝、对安全警示的无视,进一步增加了事故的风险。因此,现场管理者必须加

强安全教育,提升人员的安全意识和自我保护能力,以确保施工活动的安全性。

2.3 材料管理难点

1. 材料种类繁多。在道路桥梁工程中,所需材料种类繁多,涵盖了钢材、水泥、砂石、沥青、管材、预制构件等多种材料。每种材料均具有其独特的性能参数、规格标准及应用领域。材料的这种多样性给现场材料管理带来了严峻的挑战。现场管理人员必须对各类材料的性能参数、规格标准及应用领域有深入的了解,以便依据施工需求进行精确的材料选型与采购。

2. 材料质量控制难度大。材料品质是道路桥梁工程质量的基础,直接关系到工程的耐久性和安全性,然而,材料质量控制存在一定的挑战性。一方面,由于材料供应商众多且质量参差不齐,现场管理者必须投入大量时间和精力进行供应商的筛选和评估,以确保采购的材料满足设计要求和质量标准;另一方面,材料在运输、储存和使用过程中可能受到温度、湿度、机械损伤等多种因素的影响,这可能导致材料性能的降低或质量的损害^[2]。

3 道路桥梁工程现场施工管理的应对策略

3.1 优化施工技术管理

1. 加强技术培训和交底。针对施工技术的复杂性和多变性,必须强化施工人员的技术培训和交底流程。首先,应定期组织技术人员的专业技能提升培训,以增强其专业素质和实际操作能力。培训内容应涵盖最新技术、工艺以及质量标准,以确保技术人员能够及时跟进技术进步。其次,必须加强技术交底流程,确保施工人员能够准确把握设计意图和施工技术规范。交底内容需详尽、明确,并重视实际操作的示范,以便施工人员能够全面掌握技术关键点。

2. 推广新技术、新工艺。为提高道路桥梁工程的施工效率与质量,积极倡导新技术与新工艺的应用至关重要。首先,必须强化新技术与新工艺的引入及研发力度,与科研机构及高等院校建立合作关系,共同开发适用于道路桥梁工程的新技术与新工艺。其次,应构建新技术与新工艺的推广体系,通过实施示范工程、举办技术交流会等途径,普及先进且适用的施工技术,从而提升施工整体水平。

3.2 加强安全管理

1. 提高安全意识教育。针对施工人员安全意识不足的问题,必须加强安全教育的实施。首先,应定期对施工人员进行安全培训,以提高其安全素养和操作技能。培训内容应包括安全法规、操作规程以及事故

案例分析,以深化其对安全重要性的认识。其次,应加强安全宣传工作,通过悬挂安全标语、发放安全手册等方式,营造浓厚的安全文化氛围。此外,建立和完善安全奖惩机制,对遵守安全规定的行为给予奖励,对违反安全规定的行为实施惩罚,以此增强施工人员的安全意识和责任感。

2. 完善安全管理制度。为加强安全管理,必须持续优化安全管理体系,确保施工过程的安全稳定。首先,构建科学合理的安全责任制至关重要,明确各级人员的安全职责,形成层次清晰、相互衔接的责任体系。其次,加强安全监督检查,定期组织专业人员进行全面的隐患排查,以预防潜在风险^[3]。同时,构建事故应急响应体系,拟定预案及演练方案,以增强应急响应能力。同时,强化特种作业人员的管理与培训工作,确保持证上岗,为工程项目构筑坚实的安全防线。

3.3 提升材料管理水平

1. 加强材料采购管理。材料采购作为道路桥梁工程现场施工管理的关键环节,对工程品质与成本控制具有决定性影响。为提高材料管理效能,必须强化材料采购管理机制。首先,应建立一套严密的材料采购制度,明确采购流程,确立采购标准,并落实采购责任,以确保采购活动的规范化与透明化执行。其次,需加强对供应商的管理与评估,精心筛选具有良好信誉和高质量保证的供应商,建立长期稳定的合作关系。在采购过程中,应重视性价比,综合考量材料质量与价格因素,确保所采购材料满足设计规范的同时,实现经济性与合理性。此外,还应加强对采购合同的审核与管理,确保合同条款的明确性,以防止因合同问题导致的纠纷。

2. 强化材料质量控制。材料品质是道路桥梁工程品质的根本,因此必须加强材料品质控制。首先,需构建完善的材料品质检验体系,对进场材料执行严格的质量检验与试验,确保材料品质满足设计要求及品质标准。其次,应强化对材料储存与管理流程的监控,保障材料在储存及应用过程中免遭损害、变质。对于易受潮湿、腐蚀影响的材料,必须采取特殊储存措施,以确保材料品质不受损害。同时,需加强对材料应用过程的监督与管理,确保施工人员依据设计要求与技术规范正确使用材料,避免因材料应用不当引发工程质量问题。

3.4 建立健全组织管理结构

1. 优化施工组织结构。施工组织架构是道路桥梁工程现场施工管理的基础,合理架构可提升施工效率

与质量^[4]。为实现工程质量的优化,必须依据工程的具体情况和特征,制定出科学合理的施工方案和计划,并明确各级人员的职责与任务。同时,需加强施工队伍的管理与培训,以提升其专业素养和实际操作技能。在施工过程中,应重视团队合作与协同作业,增进各部门间的沟通与协调,以确保施工流程的顺畅。此外,创建灵活的施工组织机制也是至关重要的,该机制应根据工程的实时进展和现场实际情况,及时调整施工组织结构和施工方案,从而增强施工的适应性和灵活性。

2. 加强沟通协调机制。沟通协调在道路桥梁工程现场施工管理中占据核心地位,其机制的完善性直接关系到项目各利益相关方的协同与工程的顺畅推进。为强化沟通协调机制,必须建立全面的沟通渠道与体系,确保管理层与施工人员间信息的畅通无阻和及时传递。在施工阶段,应定期组织施工会议,对工程进度进行实时更新,报告当前存在的问题,并集体探讨相应的解决策略^[5]。同时,重视施工人员的思想教育与心理疏导,增强其责任感与归属感,凝聚施工队伍力量。此外,还需强化与相关部门及单位的沟通协作,争取更多支持配合,为工程顺利推进营造良好的外部环境。

4 结束语

在道路桥梁工程的现场施工管理过程中,任务的繁重性与复杂性要求各级管理人员与施工人员必须紧密合作、协同努力。本研究提出了一系列应对现场施工管理挑战的策略,旨在为提高施工效率、确保工程质量、保障施工安全以及控制工程成本提供借鉴。工程实施过程中不仅需要管理人员的精心策划与组织,还需要施工人员的积极协作,同时也依赖于相关部门和单位的有力支持与合作。坚信在各方面的共同努力下,道路桥梁工程的现场施工管理将实现更显著的成效,为我国交通建设事业的发展贡献更多力量。

参考文献:

- [1] 庄桂霞.道路桥梁工程现场施工管理难点和应对策略分析[J].运输经理世界,2024(01):74-76.
- [2] 黄元林.路桥工程现场施工管理难点及应对策略分析[J].居舍,2020(05):139.
- [3] 孙玉进.道路桥梁工程现场施工管理难点和应对策略[J].居舍,2020(02):123.
- [4] 万明亮.路桥工程现场施工管理难点和应对策略[J].城市建设理论研究(电子版),2019(25):42.
- [5] 李本波,石路路,陈丽芳.道路桥梁施工中混凝土裂缝的原因及对策分析[J].河南科技,2019(11):90-91.

公路桥梁施工管理常见问题及改进措施

张瀚中

(四川连乐铁路有限责任公司, 四川 乐山 614000)

摘要 为了保证公路桥梁工程高质量完成, 施工单位必须在施工管理中的各项环节严格控制。当前工程实践中常见的问题包括质量控制松懈、进度计划不合理、安全管理薄弱及环保意识欠缺等, 易引发结构病害、工期拖延、事故频发和生态干扰。本文探讨了公路桥梁施工管理常见问题和改进措施, 从强化质量控制、科学安排进度、健全安全机制和落实环保责任等方面提出系统对策, 期望能够有效提升桥梁施工的整体水平, 为推动行业的可持续发展提供有力保障。

关键词 公路桥梁; 施工管理; 质量控制; 进度管理; 安全管理

中图分类号: U445.1

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.19.030

0 引言

在公路桥梁工程建设中, 施工管理作为质量控制的关键环节, 其重要性日益凸显。随着工程项目规模扩大、技术复杂度提升, 管理体系面临诸多挑战, 给施工单位带来了显著的运营压力。在此背景下, 如何优化施工管理, 提高施工效率, 已经成为当前公路桥梁建设中亟待解决的重要任务。

1 公路桥梁施工优化管理的重要性

1.1 保障工程质量安全的关键手段

施工管理贯穿公路桥梁工程的立项、设计、施工到竣工验收的全过程, 是影响工程质量的核心变量之一。施工过程涉及结构受力体系构建、材料性能控制、工艺路径衔接及安全隐患防范等多个关键环节, 任何一个环节出现管理松动都可能诱发结构缺陷或安全事故。但是借助科学施工管理, 可系统掌控原材料、施工方法、设备运行及工艺控制, 确保设计意图准确落地, 结构强度与耐久性达标, 从而有效提升桥梁工程的整体质量水平。

1.2 推动项目进度与资源配置协调运行

在工程项目周期长、工序交错复杂的背景下, 进度管理成为制约桥梁施工成败的重要因素。科学施工管理能够在统筹全局的基础上, 分解任务节点, 合理配置资源, 避免人力、物资、机械的闲置与冲突, 实现多工序、多阶段间的有序衔接。特别是在受外部环境影响较大的工期安排中, 如雨季、封冻期、交通管制等, 依靠高效管理机制可以动态调整施工节奏, 降低突发事件对进度的干扰, 保障项目按时高质量完成。

1.3 实现安全文明施工与绿色发展的基础保障

当前基础设施建设日益向高标准、绿色化方向发展, 施工管理一方面要满足工程建设本身的需求, 另一方面还要兼顾生态环保、文明施工与公众影响等社会责任。强化施工管理有助于提升施工现场安全风险控制水平, 规范高空作业、深基坑作业及大型吊装作业流程, 减少作业事故发生率。同时, 根据全流程监控和控制扬尘、噪声、污水排放等污染源, 可以有效避免施工扰民与环境破坏, 推动桥梁建设向绿色、生态、低碳转型。

2 公路桥梁施工管理常见问题

2.1 质量控制不严格

在公路桥梁施工过程中, 质量控制不严格是导致工程隐患的常见问题。部分施工单位对施工规范的执行流于形式, 现场管理人员往往只关注进度, 忽视细节把控。例如: 在钢筋绑扎环节, 工人为了赶工期可能减少箍筋数量或增大间距, 导致结构抗震性能下降; 在混凝土浇筑时, 振捣不充分或养护不到位, 造成构件表面出现蜂窝、麻面甚至裂缝, 影响桥梁的耐久性。一些施工单位为降低成本, 采购的钢筋、水泥等关键材料虽具备合格证明, 但实际质量与标称不符。例如: 钢筋直径偏小、抗拉强度不足, 或水泥存放时间过长导致活性降低, 严重影响混凝土强度。此外, 砂石含泥量超标、骨料级配不合理等问题也屡见不鲜, 这些细微问题在初期难以察觉, 但长期使用后可能引发结构变形或渗水等病害。施工工艺的控制也容易出现纰漏。如预应力张拉时未按设计要求控制应力值或伸长量, 导致梁体预应力分布不均; 在桥面铺装层施工中, 沥青混合料摊铺温度不足或压实遍数不够, 会造成路

面早期车辙或松散。更严重的是某些隐蔽工程（桩基灌浆等）因缺乏实时监测而出现断桩、夹泥等问题，给后期运营埋下安全隐患^[1]。

2.2 进度管理不科学

在公路桥梁施工过程中，进度管理不科学的情况普遍存在，给工程建设带来诸多困扰。很多项目在开工前制定的进度计划往往脱离实际，过于理想化或缺乏弹性空间。例如：跨河桥梁工程在编制进度计划时未能充分考虑雨季河水上涨对基础施工的影响，导致汛期来临时桩基施工被迫中断，导致整个工期延误。此外，施工现场经常出现工序安排混乱的情况。有些项目为了抢工期，在墩柱混凝土强度还未达到设计要求时，就匆忙进行上部结构施工，结果导致混凝土开裂等质量问题，反而需要返工处理，欲速则不达。还有些项目在材料供应没有保障的情况下就贸然开工，结果钢筋、水泥等关键材料供应不及时，工人和设备只能干等，造成严重的窝工现象。另外，有些项目虽然制定了详细的进度计划，但在执行过程中缺乏有效的监控手段，如每周只是简单收集各施工队的进度汇报，却没有实地核查实际完成情况，等到月度检查时才发现进度严重滞后，此时想要补救为时已晚。还有些项目虽然发现了进度偏差，但整改措施不到位，只是一味地要求工人加班加点，结果导致其疲劳作业，既影响质量又存在安全隐患^[2]。

3 公路桥梁施工管理的改进措施

3.1 加强质量控制

在项目启动时，施工单位应强化施工前的技术交底工作。在每道工序开始前由项目总工组织施工班组、质检人员开展专项交底会议，结合设计图纸和施工规范详细讲解技术要点和质量标准。例如：在桩基施工前明确钻孔垂直度允许偏差、沉渣厚度控制值等关键参数，并采用全站仪实时监测桩位，避免偏位超标。复杂节点如预应力钢束定位、大体积混凝土浇筑等，还应制作三维模型或施工动画，帮助工人直观理解操作要求。同时，材料质量控制必须从源头抓起。所有进场材料均实行“双控”管理，即既要核查厂家提供的质量证明文件，又要进行现场抽样复检。以钢筋为例，除检查出厂合格证外，每批次应截取试件进行力学性能试验，重点检测屈服强度、抗拉强度和伸长率是否符合相关标准。对于水泥、外加剂等材料要建立专用库房，做好防潮、防混杂措施，超过保质期的材料坚决清退^[3]。砂石骨料进场时，需用筛分试验检测级配曲线，并通过目测和手捻法快速判断含泥量，发现泥块含量超标立即退场。施工过程中桩基灌注、预

应力管道压浆等必须实行质检员全程旁站制度。在混凝土浇筑环节，需重点监控坍落度测试（每车必检）、振捣点位布置（间距不超过 50 cm）及分层浇筑厚度（控制在 30 cm 以内）。夏季施工时需采取遮阳降温措施，以免混凝土入模温度超过 32℃；冬季需采用暖棚保温，保证养护环境温度不低于 5℃。为控制模板安装质量，要用靠尺检查平整度（偏差≤3 mm/2 m）并用钢卷尺复核结构尺寸，防止出现“涨模”或“缩颈”现象。每道工序完成后严格执行“三检制”，即班组自检、技术员复检、监理终检。例如：钢筋绑扎完成后，先由带班组长对照图纸检查规格、间距和绑扎牢固度；再由项目部质检员用游标卡尺抽测保护层厚度，最后报监理验收，合格后方可进入下道工序。

3.2 采用科学合理的进度管理

施工单位在编制进度计划时，不能只依赖经验或模板，而应深入分析项目特点，综合考虑工程规模、地质条件、气候环境、设备资源等因素。例如：在多雨地区施工时，应提前掌握气象规律，将易受天气影响的关键工序安排在相对干燥的季节，并设置合理的缓冲时间。跨河桥梁在汛期前必须完成基础施工，可将主桥施工阶段向旱季顺延。对于交通干扰大的施工段，应与交警、城管等部门协商，合理安排夜间施工或封闭时间，避免工期被外界干扰因素打乱。同时，合理安排工序衔接，避免“前松后紧”或“工序撞车”现象，应根据不同施工段落和施工内容，分解详细的作业计划，列出每道工序的开始与结束时间，同时明确哪些工序可并行、哪些需串行。例如：承台混凝土养护期间，可同步进行墩柱钢筋预制，节省等待时间。在连续梁施工中，如果采用挂篮悬臂施工，挂篮移动和钢筋绑扎之间的时间要精准控制，确保现场不出现空档或拥堵。为了做到这一点，项目部应在每周例会上动态更新各工序的完成情况，及时调整下周的资源配置计划。另外，强化现场进度跟踪机制，做到“每天一小查，每周一总结”。现场管理人员不应仅仅依赖施工日志或口头汇报，而应通过实地巡查、拍照记录、无人机航拍等方式获取真实的施工进度，例如对比每日实际完成量与计划产值，可以及时发现施工滞后的原因。如果发现某一墩柱浇筑连续延期两天以上应立即调查原因，只有找准原因才能对症处理。此外，资源保障是进度可控的关键基础。项目部要建立材料、机械、劳动力的日常调度机制。以钢筋为例，若加工厂供应不及时，会直接影响钢筋绑扎工序的进度。项目部应在施工前期就锁定供应商合同，明确到货时间、运输方式与库存要求，并在高峰期提前储备关键物资。

对于大型机械如架桥机、履带吊等必须在施工前完成调试和验收,以免关键设备突发故障耽误工期。同时,还需加强劳务队伍的组织协调工作,保证施工高峰期人员充足,非高峰期合理分流,避免人力浪费或短缺。

3.3 加强安全管理

施工现场的每个工人都需要了解安全操作规范,掌握必备的安全防护知识,尤其是对高空作业、吊装作业等危险作业的人员,必须进行专项培训,并通过考试合格后方可上岗。培训内容应涵盖施工过程中可能遇到的各类安全问题以及如何采取有效措施进行防范。每一位施工人员都应熟悉现场的安全设施和应急处理程序,确保一旦发生事故能够迅速有效地进行处理。此外,施工现场的安全管理人员必须具备一定的安全管理经验和专业能力,定期开展安全检查和隐患排查,及时发现并消除潜在的安全风险。强化安全管理要求施工现场配备必要的安全防护设施,确保施工人员在作业过程中得到充分保护^[4]。对特殊作业岗位,如高空作业、深基坑作业等,必须制定专门的安全技术措施,确保施工人员进行高风险操作时有足够的防护措施。在施工过程中,安全设施要定期检查,确保其在任何时候都能发挥作用。对于施工过程中产生的危险源,项目管理方应采取有效的防护措施,避免危险源对施工人员和周围环境造成不良影响。施工现场要安排专职安全员进行全天候的安全巡查,确保每一项操作都符合安全规定。项目管理方应利用现代技术手段,实行信息化安全管理。通过引入安全监控系统、传感器等设备,对施工现场的危险区域进行实时监控,并借助远程监控平台向管理人员及时报告安全隐患。一旦发现潜在的安全问题,项目管理方可以迅速采取行动进行处理,避免问题的扩大。从施工准备阶段开始,所有施工材料、设备和施工人员的安全资格都应经过严格审查,确保无不符合安全标准的项目和人员进入施工现场。在施工过程中,任何阶段的安全问题都应立即停工检查,待问题解决后方可恢复施工。施工管理人员还应建立健全的安全台账和事故报告制度,确保每一项安全措施都能有据可查,便于后期总结经验,避免类似问题的发生。

3.4 强化环境保护

在项目进场前,应当组织专业人员对施工区域进行详细的环境勘察,重点识别周边的敏感点,比如是否靠近居民区、水源保护区或生态敏感区。根据勘察结果,要绘制详细的环保风险地图,用不同颜色标注出需要重点防护的区域,比如用红色标记距离施工区50 m内的居民点,用黄色标记可能受噪声影响的学校、

医院等场所。针对扬尘污染必须采取多管齐下的措施。施工现场的主要通道要全部硬化处理,并配备专门的洒水车定期洒水。对于土方作业区,要设置移动式雾炮机跟随挖机作业,确保开挖过程始终处于水雾覆盖之下。材料堆放区要搭建标准化围挡,砂石等易扬尘材料要使用防尘网全覆盖,并在上风口设置挡风抑尘网。运输车辆出场前必须经过洗车槽冲洗,确保轮胎和车身不携带泥土上路,车厢要采用密闭式运输或严密篷布覆盖^[5]。水环境保护要特别注意施工废水处理。在桥梁桩基施工区域要设置三级沉淀池,施工废水经过沉淀、中和处理后才能排放。混凝土养护废水要收集到专门的蓄水池中,经过pH值调节达标后再利用或排放。在跨越河流的桥梁施工时,要在下游设置围油栏和吸油毡,防止油污扩散,并配备专人24小时值守,随时准备启动应急预案。噪声控制需要采取分时段、分区域的差异化措施。将产生高噪声的作业如打桩、破碎等安排在白天非休息时段进行,夜间只进行低噪声的钢筋绑扎、模板安装等作业。对固定噪声源如空压机、发电机要设置隔音棚,移动设备要选用低噪声型号。在靠近居民区的一侧设置声屏障,高度要超过噪声源1 m以上,并在敏感点设置显示屏实时显示噪声值,接受公众监督。

4 结束语

公路桥梁施工是一项系统性极强、技术要求高、管理链条长的综合工程,只有施工单位重视各环节科学统筹与高效衔接,才能保证工程成果经得起时间与实践的检验。通过强化进度管理、注重成本控制、加强质量把控、严格安全措施、落实环境保护,施工单位能够提升项目的整体效益,推动工程建设向绿色化、标准化、精细化方向不断迈进。未来,施工单位应进一步结合现代科技手段,秉承“以人为本、科学管理、绿色发展”的理念,提升施工管理水平,为公路桥梁建设事业的健康发展做出贡献。

参考文献:

- [1] 胡金莲.公路桥梁工程建设过程中的施工管理要点分析[J].工程建设与设计,2025(02):234-236.
- [2] 焦阳.公路路基和桥梁工程施工中的质量控制探究[J].城市建设理论研究(电子版),2025(02):40-42.
- [3] 张之光.公路桥梁施工成本控制与管理策略[J].运输经理世界,2024(36):92-94.
- [4] 戚聿婷.公路桥梁工程施工中的质量管控策略分析[J].中国管理信息化,2024,27(24):147-149.
- [5] 毛彪.公路桥梁施工技术中的安全管理措施[J].汽车周刊,2024(12):168-170.

信息化技术在公路隧道施工安全管理中的应用

刘 挺

(四川公路桥梁建设集团有限公司公路隧道分公司, 四川 成都 610222)

摘 要 公路隧道施工面临着极端且多变的环境条件, 潜在安全风险较高, 对施工人员的安全构成了重大挑战。而且, 隧道工程往往涉及繁杂的施工流程和多方协作, 导致施工安全管理尤为复杂。随着信息技术的飞速发展, 其在公路隧道安全现场管理中的应用价值愈发凸显。本文详细阐述了信息化技术在公路隧道施工安全管理中的应用价值, 探讨了信息化技术在公路隧道施工安全管理中的具体应用, 以期为相关工作人员提供有益参考。

关键词 信息化技术; 公路隧道; 施工安全; 安全管理

中图分类号: U455.1

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.19.031

0 引言

公路隧道施工因其独特的作业环境和复杂的施工条件, 对施工安全的要求极为严格。以往传统的安全管理方式主要依赖于人工监控和频繁的现场巡查, 尽管在一定程度上能够保障施工的安全进行, 但这种管理方式存在明显的局限性。由于人力资源的有限性和监控手段的局限性, 传统方法往往难以实现对隧道施工全过程的无死角监控, 容易形成监控盲区, 导致安全隐患难以及时发现和有效处理。为了克服这些挑战, 引入信息化技术成为提升公路隧道施工安全管理水平的有效途径。

1 信息化技术在公路隧道施工安全管理中的应用价值

1.1 提高安全管理效率

在公路隧道安全现场管理中, 信息化技术的应用可以实现对公路隧道施工过程的全面、实时监控和精细化管理。通过集成高清视频监控、环境监测传感器、人员定位系统等设备, 管理人员可以实时掌握隧道内的施工动态、人员分布、环境质量等关键信息。这种全方位的监控能力能够帮助管理人员迅速发现并处理安全隐患, 避免事故的发生或扩大, 从而显著提高安全管理效率。另外, 信息化系统还能够自动化处理大量数据, 生成直观的报表和分析结果, 为安全管理人员提供决策支持, 进一步提升现场管理的科学性和精准性^[1]。

1.2 降低事故风险

信息化技术通过实时监测和数据分析, 能够提前预警潜在的安全风险。例如: 通过监测隧道内的空气

质量、温湿度等环境因素, 系统可以在环境因素超出安全范围时自动发出预警, 提醒施工人员和管理人员采取相应措施。

此外, 通过人员定位系统, 还可以实时监测施工人员的分布情况, 预防人员密集区域的安全隐患。这些预警机制有助于管理人员及时采取措施, 消除安全隐患, 从而有效降低事故发生的概率和严重程度, 保障公路隧道工程施工人员的生命安全。

1.3 提升应急响应能力

对于公路隧道工程而言, 在紧急情况下, 信息化技术能够提供精准的救援信息和快速的通信手段, 显著提升应急响应能力。通过集成紧急通信设备、视频监控系统和人员定位系统, 管理人员可以在第一时间获取事故现场的实时画面和人员位置信息, 迅速制定救援方案并调配救援资源。同时, 信息化系统还可以实现与救援队伍的实时通信, 确保救援指令的准确传达和执行, 从而最大程度地减少人员伤亡和财产损失^[2]。

2 信息化技术在公路隧道施工安全管理中的应用

2.1 信息化技术在施工人员安全管理中的应用

2.1.1 人员定位技术

人员定位技术主要依托无线通信技术和先进的定位设备, 能够实时追踪施工人员的具体位置和行动路径。当这些定位设备与管理系统相连后, 管理人员可以即时掌握施工队伍的动态分布, 以便于在紧急情况下迅速锁定受困人员位置, 极大程度上提升救援行动的效率。不仅如此, 该技术还能有效监管施工人员的行为举止, 确保公路隧道施工活动的安全有序进行。

2.1.2 人脸识别技术

人脸识别技术可以对面部特征进行精准识别,有助于管理和验证施工人员身份。利用人脸识别系统可以大幅度削减人工审核的工作量,提升整体管理效率,同时构筑起一道坚实的防线,有效阻挡非授权人员进入施工现场。除此之外,人脸识别技术还能精确记录并监管施工人员的工作时间,确保他们遵循规定的工作时长,有效预防因疲劳作业而引发的安全事故,最大程度地保障施工人员的身心健康和项目的安全推进。

2.2 信息化技术在施工设备安全管理中的应用

2.2.1 物联网技术

物联网技术是信息技术的重要分支,在施工设备管理中展现出其巨大的潜力与价值。通过将施工设备与互联网无缝连接,物联网技术实现了对设备的全面远程监控与管理。具体而言,通过在公路隧道施工设备上安装各类高精度传感器和智能控制设备,系统能够实时捕捉设备的运行状态、工作温度、振动频率等关键参数,并将这些数据通过云平台进行深度分析和处理。一旦设备出现过热、振动异常等状态,系统就能够立即触发警报机制,自动向相关人员发送维修通知,确保设备故障能够得到及时有效的处理,因此,可以保障公路隧道施工设备的安全稳定运行,减少因设备故障导致的施工延误和安全事故。

2.2.2 远程监控与控制系统

远程监控与控制系统通过网络技术将施工设备与管理中心紧密相连,实现了对设备的全方位远程监控与控制。该系统不仅能够让管理人员随时随地掌握设备的实时运行状态,还能通过数据分析技术及时发现并预警设备潜在的故障和安全隐患,为设备的预防性维护提供有力支持。更重要的是,管理人员借助远程控制技术可以直接对设备进行远程操作和控制。如调整工作参数、启动/停止设备等,不仅可以提高施工设备的操作灵活性和工作效率,还能有效降低人员进入危险区域的风险,进一步提升公路隧道施工现场的安全管理水平。

2.3 应急通信系统

在公路隧道施工中,通信的及时性和有效性直接关系到施工的安全与效率,特别是在面对突发紧急情况时,迅速而准确的信息传递尤为关键。为此,需要构建一个覆盖隧道内部的应急通信网络,这一应急通信网络的核心在于其多样化和高可靠性的通信手段。其中,无线对讲系统因其即时通信、覆盖范围广、操作简便等特点,成为隧道施工通信的首选。其允许施

工人员与管理层在任何位置都能进行即时沟通,无论是日常调度还是紧急情况下的快速指令传达,都能确保信息的无缝对接。除此之外,紧急电话的设置也是应急通信网络的重要组成部分。紧急电话通常被安装在隧道的显眼位置,并配备有直通的紧急线路,确保在电力中断或其他通信故障时仍能使用。紧急电话的接入点通常与隧道管理中心相连,使得管理人员能够立即接收到求助信息,并迅速采取行动;呼叫按钮则是另一种便捷的紧急通信工具,通常安装在隧道入口、紧急停车带或人员密集区域。一旦按下,它们会立即触发警报,并向管理中心发送信号,同时启动相应的应急响应流程。这种即时反馈机制有助于快速定位和处理紧急状况,减少响应时间,降低潜在风险。通过整合这些通信设备,隧道内部的应急通信网络形成了一个覆盖全面、响应迅速的通信体系,不仅能够满足日常施工通信的需求,还能在紧急情况下发挥关键作用,确保信息的快速传递和有效响应,从而确保公路隧道施工人员的安全。

2.4 监控与预警机制

实现公路隧道施工过程的实时监督是施工安全信息化管理的重要步骤。为了确保公路隧道施工的安全高效推进,可以在隧道的关键部位及机械设备上部署多种传感器与监控摄像头等监测装置。这些装置能够即时捕获施工现场的多元化数据与信息,如温度、湿度、风速以及机械设备的运行状态等。当数据被传输至信息化管理系统后,该系统可以进行即时监控与深度分析。通过信息化管理系统既能对接收的数据进行加工,生成直观的监控图像与详尽报告,辅助管理人员全面把握现场状况,还能运用预设规则与智能算法,深度挖掘数据中的异常或潜在安全风险。一旦系统检测到任何异常或风险迹象,就会立即启动预警流程,通过多种通信手段,向管理人员发送警报。收到警报的管理人员能够迅速响应,采取必要措施,从而有效预防安全事故的发生^[3]。

3 信息化技术在公路隧道施工安全管理中的应用策略

3.1 完善信息化管理制度

在公路隧道施工安全管理中,信息化管理制度发挥着非常重要的作用。为了构建高效、安全且可持续的信息化管理体系,必须进一步完善相关制度,确保各级管理人员与施工人员能够明确自身的职责与权限,从而在日常工作中规范地使用和管理信息化平台。首先,明确职责与权限。通过制定详细的职责划分,清

晰界定各级管理人员在信息化管理中的具体任务和责任,以及施工人员在使用信息化工具时应遵循的规范和标准,不仅可以提升工作效率,还能有效避免职责不清导致的推诿扯皮现象,确保信息化管理工作的有序进行。其次,应规范信息化平台的使用和管理流程。制定信息化平台的操作指南、数据录入标准、信息审核流程等,以确保信息的准确性和时效性。同时,还应建立定期的数据备份和恢复机制,以防数据丢失或损坏,保障信息化管理的连续性和稳定性;定期进行信息安全培训和演练,提升员工的安全意识和应急处理能力。最后,加强对信息化管理制度的宣传和推广。通过组织培训、发放宣传资料、开展知识竞赛等方式,提高全体员工对信息化管理重要性的认识,增强他们的信息化管理意识和执行力,以此形成全员参与信息化管理的良好氛围,推动公路隧道现场施工安全信息化管理的深入发展。

3.2 提升信息化水平

在构建和完善公路隧道施工安全管理信息化的过程中,信息化基础设施的建设和升级是基础且关键的环节之一。第一,应着重提升网络带宽,以确保数据的高速传输和实时更新。随着公路隧道施工项目的规模不断扩大和复杂度的提升,大量的数据需要在短时间内进行传输和处理,因此,高速、稳定的网络环境是支撑信息化平台高效运行的前提。第二,优化数据传输速度和增强数据处理能力,提升信息化管理效率。通过采用先进的网络技术和设备,提升数据传输速度,减少数据延迟,确保信息的实时性和准确性。并通过引入高性能的数据处理设备和算法,实现对海量数据的快速分析和处理,为施工安全决策提供科学依据。第三,除了基础设施的升级,引进先进的信息化技术和工具也是提升施工安全信息化管理智能化和自动化水平的重要途径。大数据分析、云计算和人工智能等技术的运用,可以实现对施工过程的全面监控和智能预警。大数据分析可以帮助管理者从海量数据中挖掘出有价值的信息,为决策提供有力支持;云计算则提供了强大的数据存储和计算能力,使得信息化管理更加灵活和高效;而人工智能的应用,则可以实现施工过程中的自动化监测和智能控制,进一步提高公路隧道施工的安全性和效率^[4]。

3.3 强化人员培训与安全意识

对于公路隧道工程而言,人员是施工安全信息化管理的核心驱动力,其能力和意识直接决定了信息化管理的成效。因此,需要加强人员培训和提升安全意识,构建高效、安全施工管理体系。一方面,需要对施工

人员进行定期的安全教育和培训。这些活动应涵盖施工安全的基础知识、常见安全隐患的识别与防范以及紧急情况下的自救与互救技能等。通过生动的案例分析、模拟演练和互动教学等方式,提高施工人员的安全意识和实际操作能力。而且,培训内容还应结合信息化管理的特点,教授他们如何利用信息化工具进行安全监测、信息报告和应急响应,从而提升整个施工队伍的信息化管理水平。另一方面,信息化管理人员作为施工安全信息化管理的中枢,其专业素养和技术能力也非常重要。所以,应加强对信息化管理人员的专业培训和技术更新。培训内容可以包括最新的信息化技术、数据分析方法、信息安全知识以及信息化管理软件的操作技能等。通过系统的培训,提升他们的信息化素养和专业技能水平,使他们能够更好地运用信息化手段进行安全管理和决策支持^[5]。除此之外,为了进一步激发人员参与施工安全信息化管理的积极性和主动性,还应建立健全的考核和激励机制。考核机制可以通过定期的考核评估,对施工人员和信息化管理人员在安全操作和信息化管理方面的表现进行量化评价,确保培训效果得到有效落实;激励机制则可以通过设立奖励制度、晋升机会和职业发展规划等方式,对表现优秀的人员给予表彰和奖励,从而激发他们的工作热情和创造力。

4 结束语

公路隧道安全信息化管理的实施对于增进施工效率与确保人员安全具有重大意义。通过完善信息化管理制度、提升信息化水平、强化人员培训与安全意识能够进一步提升安全管理效能,有效降低安全风险。然而,安全管理是一个持续不断的过程,未来应继续加大信息化技术的融合与应用力度,持续优化公路隧道施工安全管理信息化建设,推动公路隧道建设事业进一步发展。

参考文献:

- [1] 王坤.公路隧道施工安全信息化监控技术分析[J].科技创新与应用,2022,12(08):120-122.
- [2] 王宇祥.智慧工地在建筑工程安全管理中的优势研究[J].四川水泥,2022(05):40-42.
- [3] 寿文斌.促进建筑工程管理信息化发展的对策[J].企业科技与发展,2022(07):161-163.
- [4] 曹言敏,谷永新.建筑施工安全管理信息化技术应用[J].中国建设信息化,2024(02):70-73.
- [5] 石文清.建筑工程施工现场信息化安全管控措施分析[J].建材发展导向,2023,21(17):130-132.

基于 BIM 技术的房屋建筑施工精细化管理与风险控制策略

史 昀

(西安航天城市更新建设有限公司, 陕西 西安 710000)

摘 要 围绕基于建筑信息模型 (BIM) 技术的房屋建筑施工精细化管理以及风险控制策略展开探讨, 对 BIM 技术的原理以及其在房屋建筑施工管理中的应用基础做了概括性的介绍, 具体阐述了施工前期、中期以及后期精细化管理的各项措施, 如技术整合、数据集成、进度管控、质量控制、资源优化以及运维管理等多个方面。在风险控制方面, 提出了基于 BIM 技术的风险识别、评估、应对以及监控策略, 搭建动态风险评估体系, 实现施工风险的实时监控与预警。研究结果显示, BIM 技术的应用可提高房屋建筑施工管理的精细化水平以及风险控制能力。

关键词 BIM 技术; 房屋建筑; 精细化管理; 风险控制

中图分类号: TU17; TU71

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.19.032

0 引言

随着建筑行业迅速发展, 房屋建筑施工管理的复杂程度以及风险程度越来越高, 传统的施工管理方式已经无法契合现代建筑工程高效精准且安全的要求。BIM 技术作为一项先进的数字化管理手段, 给房屋建筑施工管理带来了全新的解决办法。本文探讨了 BIM 技术在房屋建筑施工精细化管理以及风险控制方面的应用, 以期期为房屋建筑施工管理提供创新思路与方法。

1 BIM 技术概述及其在房屋建筑施工管理中的应用基础

1.1 BIM 技术原理与特点

BIM 技术的核心理念在于构建包含多维工程数据的数字孪生体, 贯穿建筑项目的规划、建造及运维全流程, 不同于传统设计模式, BIM 技术要求设计团队借助专业工具构建参数化三维数据库, 其中记录构件的空间坐标、整合材料性能、施工时序等关键参数, 形成跨专业协同作业的基础平台^[1]。其应用价值突出体现在三维可视化呈现、多端协同作业与动态模拟预测三大维度: 三维可视化技术将平面图纸转化为立体模型, 这种转变让相关人员可直观把握建筑的空间布局和结构细节。跨部门协作平台则依靠云端数据互通打破信息孤岛, 实现土建、机电等各专业设计变更的实时联动。4D 施工模拟功能可预演建造流程, 精准定位管线碰撞或工序冲突, 提升项目管理的预见性与决策效率。

1.2 BIM 技术在房屋建筑施工管理中的应用优势

在建筑工程管理实践中, BIM 技术呈现出多维应用价值, 该技术依靠将三维模型与施工进度计划动态关联, 形成可视化的工序推演系统, 使管理人员可实时追踪各阶段施工状态, 快速定位进度偏差并优化资源配置方案^[2]。

在质量控制环节, 基于 BIM 技术的虚拟建造技术可对复杂节点进行施工工序模拟, 预先发现潜在质量风险点并制定针对性防范预案。其集成的多专业协同碰撞检测功能, 能系统性排查建筑结构与机电管线的空间冲突, 有效避免施工阶段的返工现象。在成本控制方面, BIM 模型深度关联的工程量数据库支持精准统计物料用量, 配合云端协同平台实现项目各参与方的数据共享, 大幅降低信息不对称引发的沟通成本, 为工程项目的全生命周期管理提供关键支撑。BIM 技术在房屋建筑施工管理中的应用优势如表 1 所示。

2 基于 BIM 技术的房屋建筑施工精细化管理策略

2.1 施工前期精细化策划

在项目筹备阶段, 依托 BIM 技术实施全流程策划管理, 重点开展多维度技术整合。数据集成阶段依靠 Revit 平台融合建筑、结构、水电等专业数据构建三维协同模型, 采用三维可视化校核机制对设计方案进行空间验证, 运用 Navisworks 碰撞检测模块精准识别专业间冲突点, 如机电管线与混凝土结构的空间干涉问题,

表 1 BIM 技术在房屋建筑施工管理中的应用优势

应用维度	功能描述	优势
施工进度管理	三维模型与施工进度计划动态关联，形成可视化工序推演系统	实时追踪施工状态，快速定位进度偏差，优化资源配置方案
质量控制	基于 BIM 的虚拟建造技术进行施工工序模拟，多专业协同碰撞检测	发现潜在质量风险点，制定防范预案，避免空间冲突和返工现象
成本控制	BIM 模型关联工程量数据库，云端协同平台实现数据共享	精准统计物料用量，降低信息不对称引发的沟通成本，支持全生命周期管理

通过设计协调会制定优化方案，从源头规避施工拆改风险^[3]。

在进度管控方面，将 BIM 模型与 Project 软件进行数据交互，依靠 BIM 进度管理平台制定工序衔接方案，明确关键节点的人机料配置参数，实现施工资源的动态平衡。成本控制环节则采用自动化工程量提取技术，基于模型构件参数生成精准预算清单，建立分级成本预警机制。在现场管理中创新性运用 BIM+GIS 技术对施工平面进行三维动态推演，借助空间占位分析科学规划材料周转区与重型设备行进路线，有效提升场地利用效率。

2.2 施工过程精细化管控

在工程实施阶段，BIM 技术为全流程精细化管理提供了有效支撑，施工进度数据与 BIM 模型实现动态绑定，现场管理人员借助移动终端录入施工数据，实时上传至协同管理平台，系统将自动比对实际工程进展与预设节点，当出现进度滞后时自动触发预警机制并生成整改方案。

在质量管理方面，BIM 模型中预置的质量控制坐标点指导工人标准化作业，监理人员依托移动端查看构件施工精度，发现质量缺陷时可拍照留档并上传系统，形成闭环整改流程。针对安全隐患问题，技术人员依靠 BIM 可视化模块模拟塔吊碰撞、高空坠落等典型事故场景，据此制定三维立体防护方案，并采用虚拟现实技术开展沉浸式安全培训，项目指挥部还可根据 BIM 平台实时更新的物料消耗、机械运转等数据，动态优化资源配置方案，有效规避资源错配风险^[4]。

2.3 施工后期精细化运维管理

在工程收尾阶段，BIM 技术有效提升了运维管理的智能化水平，项目交付时，整合了全周期施工数据的 BIM 模型将完整移交至运维部门，管理人员凭借三维可视化界面可直观掌握建筑构造特征、机电系统分布及管线系统拓扑，基于数字化管理平台，运维团队可建

立设备全生命周期档案，系统自动记录设备规格参数、安装坐标及使用年限等关键数据，并智能推送维保计划预警。面对突发性设备故障，BIM 模型的空间定位功能可快速锁定问题区域，同步调取关联设备的技术参数和历史维保记录，辅助制定最优维修方案，缩短故障处置周期，依靠集成能耗监测数据与 BIM 模型的空间映射，管理人员可识别异常耗能单元，实施精准的节能改造方案，有效降低建筑整体能耗水平。利用 BIM 的空间数据库特性，可实现可视化空间规划，优化资源配置效率^[5]。

3 基于 BIM 技术的房屋建筑施工风险控制策略

3.1 风险识别与评估

3.1.1 基于 BIM 技术的风险因素可视化识别

在建筑工程实施阶段，依托 BIM 技术构建包含建筑全要素信息的三维数字模型，该模型集成建筑构件与机电管网的实体参数，更融合施工时序、物料调配等动态参数，凭借多专业协同平台，项目团队可直观辨识各环节潜在风险点，运用碰撞检测算法，能有效发现建筑承重墙与电缆桥架的位置重叠等跨专业设计矛盾，此类问题若未在施工前解决，将直接导致工程变更与工期损失。借助 4D 进度模拟功能，可验证主体混凝土浇筑与单元幕墙吊装的工序衔接，避免因工序倒置引发的脚手架碰撞或高空坠物风险，集成场地测绘数据与周边环境信息后，可预判施工动线受阻区域，如受限空间内钢构堆场与塔吊覆盖范围的矛盾可能引发机械伤害，特殊地质区段桩基施工存在的边坡失稳隐患。借助虚拟建造技术，还可以还原工人操作场景，检测高空焊接平台的防护缺失或受限空间通风不足等安全隐患。

3.1.2 风险评估模型构建

在完成风险因素识别后，凭借整合 BIM 技术、大数据分析和智能算法构建动态风险评估体系，研究首先调取历史房建项目的风险数据库，涉及风险事件触发概率、影响维度及处置效果等关键参数，作为机器学习

模块的训练样本,建模过程中采用多维度指标赋权机制,以施工进度风险为例,综合评估工序衔接偏差概率、关键路径延误系数及工期压缩弹性值等参数,针对质量风险则构建包含材料性能衰减率、工艺达标指数及隐蔽工程缺陷率的评价矩阵,运用层次分析法(AHP)进行指标权重优化。凭借BIM平台实时导入施工模拟数据,评估系统可生成包含风险概率分布图谱和影响强度数据的多维度分析报告,并采用三级九档分类法实施风险标定,根据风险等级差异匹配差异化的处置预案,如建立风险缓冲带、启动冗余资源调度等应对措施,系统内置的智能演进模块可基于施工日志、质量验评等增量数据,凭借迁移学习算法实现评估模型的动态校准,使风险预警灵敏度随工程进展持续提升。

3.2 风险应对与监控

3.2.1 风险应对策略制定

在施工阶段,凭借物联网系统的深度应用,各类智能感知装置被策略性部署于施工现场的监测节点,实现与BIM模型的动态联动,这些嵌置于关键节点的温湿度监测器、位移感应器和压力传感装置,如同施工现场的神经网络,持续捕获施工进度、质量指标及安全参数的实时数据流,塔吊上的北斗定位模块追踪机械运作轨迹,混凝土内部的微震传感器监控结构浇筑质量,而分布式部署的红外摄像头网络则形成全天候安全监控体系。所有动态数据凭借边缘计算网关实时回传至BIM数据中心,与预设的工程参数进行智能比对,例如结构应力分布与设计值的偏离度、工序衔接的时间偏差等,形成施工风险的数字化镜像,当监测数据突破预设警戒线时,BIM系统的智能决策模块会触发多级预警机制,预警信息包含三维空间坐标定位,更整合了风险溯源分析、影响波及范围预测及应急预案库匹配等决策支持数据。系统借助多模态信息推送策略,将结构化预警报告同步至移动终端、项目管理看板及应急响应系统,构建起从现场到管理层的垂直响应通道,风险响应人员可借助BIM平台的现实增强界面,对隐患区域进行空间解构分析,依靠模型层析扫描和虚拟漫游技术,直观呈现隐蔽工程的质量缺陷或设备集群的干涉风险。系统内置的应急预案知识图谱可自动生成处置方案优化建议,指导管理人员快速调配应急资源,实施精准干预。在风险处置过程中,BIM平台同步构建处置过程数字孪生体,依靠机器学习算法对处置效果进行动态评估,当系统检测到纠偏措施偏离预期轨迹时,将启动自优化机制生成修正方案,

并形成处置过程的知识图谱更新,最终实现施工风险管控的闭环管理。

3.2.2 风险实时监控与预警

借助BIM技术构建的风险实时监控与预警体系,依靠物联网、大数据等技术,实现对施工现场的全面且实时的监控。在施工现场布置各类传感器,例如位移传感器、应力传感器、温度传感器等,把采集到的数据实时传输至BIM模型中,经由数据分析算法,对传感器数据展开实时分析,一旦数据超出预先设定的阈值,系统便会自动发出预警信号。在建筑结构施工过程中,借助位移传感器实时监测结构的变形状况,当变形值接近预警阈值时,BIM系统会发出预警,提示施工人员及时采取措施,防止结构坍塌事故的发生,利用BIM模型的可视化特性,把风险信息直观地呈现给施工管理人员,管理人员可凭借电脑或者移动终端随时查看施工现场的风险情形,及时作出决策。BIM系统还可对历史风险数据进行分析,归纳风险发生的规律,为风险预防提供参考依据,为保证风险预警的及时性与准确性,要定期对预警系统进行校准与优化,依据实际施工状况,调整预警阈值,提升预警系统的可靠性,强化对传感器的维护与管理,保障传感器的正常运转。

4 结束语

本文探讨了基于BIM技术的房屋建筑施工精细化管理以及风险控制策略,以此揭示BIM技术在提升施工管理效率以及风险控制能力方面有着关键作用。研究结果显示,BIM技术的应用可以实现施工全过程的数字化、可视化以及智能化管理,能有效规避施工风险,提升工程质量。未来,随着BIM技术持续发展与完善,其在房建施工管理中的应用前景会更为广阔。

参考文献:

- [1] 樊凯斌.BIM技术在房建工程施工中的研究及应用[J].智能建筑与智慧城市,2024(12):70-72.
- [2] 费振晔,阎海彬,孙竞刚.铁路房建工程中基于BIM技术的智慧化绿色施工研究与应用[J].交通建设与管理,2024(S1):169-171.
- [3] 陈胜男.基于BIM/CIM技术的房建工程项目全流程监管研究[D].广州:广州大学,2022.
- [4] 刘翥.基于BIM技术的房建工程施工管理应用研究[D].西安:西安理工大学,2020.
- [5] 魏海涛.基于BIM的房建辅助材料优化计算方法研究及其应用[D].武汉:武汉大学,2017.

水利水电工程施工技术与管理措施分析

张玉乐, 张文章

(阳谷县水利局, 山东 聊城 252300)

摘要 水利水电工程作为利用水能转换为电能的关键环节, 对社会进步和经济发展具有重要意义。在水利水电工程实施过程中, 技术是确保工程顺利完成的基石, 而管理则是实现工程高效、有序进行的重要保障。本文研究了水利水电工程的关键施工技术, 如施工导流与围堰、大面积混凝土碾压及土坝防渗加固等, 并详细介绍了这些技术的应用方法及其在实际工程中的重要性, 探讨了有效的技术管理措施, 旨在为提升水利水电工程的质量和安全性提供借鉴, 进而确保项目顺利进行。

关键词 水利水电工程; 施工导流与围堰技术; 大面积混凝土碾压技术; 土坝防渗加固技术; 技术管理

中图分类号: TV52; TV512

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.19.033

0 引言

水利水电工程作为开发利用水能资源的核心方式, 在保障国家能源安全、促进经济增长及改善生态环境方面扮演着不可或缺的角色。工程实施的成功与否, 很大程度上取决于所采用的施工技术和管理水平。高水平的施工技术不仅能保证工程质量, 还能提升项目效益; 而有效的管理则是确保整个工程有序、高效推进的关键所在。因此, 深入研究水利水电工程中的施工技术及其管理措施尤为重要。通过优化施工方法和强化管理机制, 不仅可以提高工程的整体质量, 还能有效降低成本和风险, 进而推动水利水电行业的可持续发展, 为社会经济发展提供坚实的支撑。

1 水利水电工程施工概述

水利水电工程施工是指在水域环境中, 利用水资源进行以发电、灌溉、供水、排水等为目的的建筑物建造过程。水利水电工程施工具有显著的特点和复杂性。

首先, 施工环境通常位于河道、湖泊、沿海等水域, 需要充分考虑水域的自然条件, 如水流、水位、地质等因素, 对施工导流、截流以及水下施工作业提出了特殊要求。

其次, 水利水电工程对地基的要求极为严格, 多数工程处于地质复杂区域, 需要采取特殊的地基处理措施, 以确保建筑物的稳定性和安全性。此外, 水利水电工程通常具有较大的体积和重量, 对混凝土的浇筑、钢筋的加工和安装等施工技术提出了更高要求。在水利水电工程施工过程中, 需要采用多种先进的施工技术和设备。例如: 滑模施工技术能够加快施工进度、

降低施工成本, 同时提高混凝土施工质量, 被广泛应用于水利水电工程的混凝土施工中。

此外, 预应力锚固技术、导流技术、围堰技术等也是水利水电工程施工中不可或缺的重要技术。同时, 水利水电工程施工的管理也至关重要。有效的施工管理能够确保施工活动的顺利进行, 提高施工效率和质量。这包括对施工进度控制、施工质量的监督、施工安全的保障以及施工成本的核算等方面。通过建立健全的施工管理制度和流程, 加强施工过程中的组织协调和监督检查, 可以确保水利水电工程施工的顺利进行和高质量完成^[1]。

2 水利水电工程施工技术管理的重要性

在水利水电工程领域, 技术管理扮演着举足轻重的角色, 它不仅是工程安全运行的保障, 更是工程效益充分发挥的前提。技术管理的重要性体现在多个层面, 包括确保工程安全、优化资源配置、提升工程效益以及促进可持续发展等方面。

首先, 技术管理对于工程安全至关重要。水利水电工程通常具有规模大、结构复杂、运行环境多变等特点, 因此, 确保工程各部分结构稳定、设备正常运行, 是技术管理的首要任务。通过科学的技术管理, 可以及时发现并处理工程中的安全隐患, 防止安全事故的发生, 保障人民群众的生命财产安全。

其次, 技术管理有助于优化资源配置。工程建设与运行涉及水资源、能源及人力资源的大量消耗。通过有效的技术管理, 可以科学规划运行方案, 优化调度策略, 从而实现资源的高效利用, 减少运营成本,

提升经济效益。合理的技术管理确保了各项资源的最佳配置,为工程的经济性和可持续性提供保障。

再者,技术管理对于提升工程效益具有显著作用。水利水电工程不仅具有发电、灌溉、供水等直接经济效益,还具有防洪、生态修复等社会效益。通过技术管理,可以深入挖掘工程的潜能,提高工程运行效率,扩大工程的服务范围,从而全面提升工程的综合效益。

最后,技术管理有助于促进可持续发展。随着社会和科技的不断进步,水利水电工程面临着越来越多的挑战,如环境保护、节能减排等。通过技术管理,可以推动工程的技术创新和改造,实现工程的绿色、低碳运行,促进水利水电事业的可持续发展^[2]。

3 水利水电工程建筑的施工技术

3.1 施工导流与围堰技术

施工导流与围堰技术是水利水电工程施工中的关键环节,对于确保工程施工的顺利进行和工程质量具有重要意义。施工导流是指通过合理的工程措施,将水流导向预定的方向,以保证施工区域的干燥和安全。围堰则是一种临时性的挡水结构,用于在工程施工期间隔离水流,保护施工区域不受水流冲刷和淹没。在施工导流方面,常用的方法有明渠导流、隧洞导流和分段围堰导流等。明渠导流适用于河床宽阔、水流平缓的平原地区,通过在河道一侧开挖明渠,将水流引入明渠,绕过施工区域。隧洞导流则适用于山区河流,通过在山体中开挖隧洞,将水流引入隧洞,避免对施工区域造成干扰。分段围堰导流则是在施工区域上下游分别修筑围堰,将水流分段隔离,逐步进行施工。围堰技术根据材料的不同,可分为土石围堰、钢板桩围堰、混凝土围堰等。土石围堰是最常用的围堰形式,具有造价低、施工方便等优点,但抗水流冲刷能力较弱。钢板桩围堰则具有强度高、抗冲刷能力强的特点,适用于水流速度较快、冲刷力强的施工区域。混凝土围堰则具有结构稳定、耐久性好等优点,但施工成本较高。在施工导流与围堰技术的实施过程中,需要充分考虑水文、地质、气象等自然条件的影响,制定合理的施工方案。同时,还需要加强施工过程中的监测和预警,及时发现和处理可能出现的问题,确保施工导流与围堰技术的有效实施。此外,还需要注意施工过程中的环境保护和生态恢复,减少对周边环境的破坏^[3]。

3.2 大面积混凝土碾压技术

大面积混凝土碾压技术具有施工速度快、成本低、质量高等优点。该技术主要适用于大坝、堤防等大体

积混凝土结构的施工。大面积混凝土碾压技术的核心在于混凝土的拌合、运输和碾压。在拌合过程中,需要严格控制原材料的配比和拌合时间,确保混凝土的性能满足设计要求。在运输过程中,需要采取适当的措施防止混凝土离析和分层。在碾压过程中,需要根据混凝土的坍落度、含水量等因素,选择合适的碾压设备和碾压参数,确保混凝土的密实度和均匀性。在大面积混凝土碾压技术的实施过程中,需要特别注意混凝土的温度和湿度控制。混凝土在浇筑和碾压过程中会产生大量的热量,导致温度升高,需要采取适当的降温措施,如喷水降温等。同时,混凝土在碾压过程中需要保持一定的湿度,以防止表面干裂和内部裂缝的产生。

此外,大面积混凝土碾压技术还需要注意施工过程中的质量控制和安全管理。需要建立完善的质量管理体系,对混凝土的原材料、拌合、运输、碾压等各个环节进行严格的质量检测和监控。

3.3 土坝防渗加固技术

土坝防渗加固技术专注于提升土坝的抗渗性和稳定性,作为水利水电工程的关键结构,土坝的防渗性能与稳定性对工程安全和效益至关重要。土坝防渗加固技术主要包括垂直防渗和水平防渗两种方法。垂直防渗是在土坝的迎水面或背水面设置防渗墙或防渗帷幕,通过截断水流路径,达到防渗的目的。常用的垂直防渗材料有塑性混凝土、黏土、水泥土等。水平防渗则是在土坝内部或底部设置水平防渗层,通过减缓水流速度,降低渗透压力,达到防渗的效果。常用的水平防渗材料有土工膜、膨润土防水毯等。在土坝防渗加固技术的实施过程中,需要根据土坝的实际情况和防渗要求,选择合适的防渗材料和防渗方法。同时,需要对防渗材料的性能进行严格检测,确保其满足设计要求。在施工过程中,需要加强现场监控和检测,及时发现和处理可能出现的问题。同时,应强化施工人员的安全培训与管理,保障施工期间的安全性,确保工程顺利进行。除了垂直防渗和水平防渗外,土坝防渗加固技术还包括其他辅助措施,如排水减压、加固坝体等。排水减压是通过在土坝内部或底部设置排水设施,降低坝体内的水位和渗透压力,提高土坝的稳定性。加固坝体则是通过增加坝体的强度和刚度,提高土坝的抗滑和抗倾覆能力。这些辅助措施可以进一步提高土坝的防渗性能和稳定性,确保水利水电工程的安全和效益。

4 水利水电工程建筑的技术管理措施

4.1 建立健全技术管理制度

技术管理制度应涵盖工程规划、设计、施工、运行、维护等全生命周期的各个环节,确保技术管理的全面性和系统性。

首先,应制定完善的技术标准和规范。技术标准是技术管理的核心,它规定了工程建设的各项技术指标和质量要求。通过制定和完善技术标准,可以确保工程建设和运行的规范化、标准化,提高工程的质量和安全性。

其次,应建立技术档案管理制度。技术档案是记录工程建设和运行历史的重要资料,它包含了工程的设计图纸、施工记录、运行数据等信息。通过建立完善的技术档案管理制度,可以确保技术档案的完整性、准确性和可追溯性,为工程的技术管理提供有力的支持。

再者,应建立技术培训和考核制度。技术培训和考核是提高技术人员素质和能力的重要途径。通过定期组织技术培训和考核,可以不断提升技术人员的专业技能和综合素质,确保技术管理的科学性和有效性。

最后,应建立技术监督和检查制度。技术监督和检查是确保技术管理落实到位的重要手段。通过定期对工程建设和运行情况进行监督和检查,可以及时发现并纠正技术管理中的问题和不足,推动技术管理的持续改进和优化^[4]。

4.2 加强运行管理和维护检修

运行管理旨在确保工程设施在最佳状态下运行,维护检修则是对工程设施进行定期的检查和修复,以确保其长期稳定运行。在运行管理方面,应建立科学的调度策略。调度策略应根据工程的特点和运行需求,合理制定工程的运行计划和调度方案。通过科学的调度策略,可以优化工程资源的配置和利用,提高工程的运行效率和效益。同时,应加强设备运行状态的监测和分析。通过实时监测和分析设备的运行状态,可以及时发现设备的异常情况,并采取相应的措施进行处理。这不仅可以避免设备故障的发生,还可以延长设备的使用寿命和降低维修成本。在维护检修方面,应制定详细的维护计划和检修方案。维护计划需结合设备运行状态及厂家建议,科学设定维护周期与内容,确保设备稳定运行。检修方案则应根据设备的故障类型和严重程度,制定具体的检修步骤和措施。通过定期的维护检修,可以确保设备的性能始终处于良好状态,为工程的稳定运行提供有力的保障。此外,还应加强备品备件的管理。备品备件是设备维护检修的重要物资保障。

4.3 加强技术监督

技术监督是水利水电工程建筑技术管理的重要组成部分,通过技术监督,可以及时发现并纠正技术活动中的偏差和错误,确保技术管理的规范性和有效性。

首先,应建立技术监督体系。技术监督体系应包括技术监督的组织机构、职责分工、工作流程和制度等要素。通过建立健全的技术监督体系,可以明确技术监督的职责和权限,确保技术监督工作的有序开展。

其次,应加强对关键技术和关键设备的监督。关键技术和关键设备是工程运行的核心和关键,其性能和状态直接影响工程的运行效率和安全性。因此,应加强对关键技术和关键设备的监督,确保其符合设计要求和相关标准。

再者,应加强对新技术和新设备的监督和管理。随着科技的进步和工程的发展,新技术和新设备不断涌现。为确保新技术和新设备在工程中的有效应用,应加强对其的监督和管理,确保其性能和安全性符合工程的要求。

最后,应加强对技术人员的监督和管理。技术人员是技术管理的主体和关键。通过加强对技术人员的监督和管理,可以提升其专业技能和综合素质,确保其技术活动的规范性和有效性^[5]。

5 结束语

水利水电工程的施工技术和管理是确保项目质量和效益的关键因素。施工技术水平的高低直接影响工程质量与效益,而有效的管理则能保障工程有条不紊、高效地推进。采用科学合理的施工技术和管理模式,能够显著提升工程的整体品质,最大化其社会及经济效益。在未来的发展中,应继续加强施工技术的研究和创新,完善技术管理制度,提高管理效率,推动水利水电事业的持续发展。

参考文献:

- [1] 李万勤.水利水电工程建筑的施工技术与管理策略研究[J].城市建设理论研究(电子版),2023(35):208-210.
- [2] 孙塘根.水利水电工程建筑的施工技术与管理策略[J].工程建设与设计,2022(12):101-103.
- [3] 李彤彤.简谈水利水电工程建筑标准的施工技术及管理[J].大众标准化,2022(07):174-176.
- [4] 吴敏.浅谈水利水电工程建筑的施工技术及管理研究[J].中国设备工程,2021(13):228-229.
- [5] 张瑞刚.现代化水利水电工程建筑施工管理和技术分析[J].工程技术研究,2020,05(18):94-95.

水利工程中堤防防渗施工技术的应用实践

杨美玲

(金寨县油坊店乡人民政府, 安徽 六安 237332)

摘要 本文深入探讨了堤防防渗施工技术的实践效果, 通过具体的评估方法对其效能进行了量化分析, 研究了防渗技术对堤防安全性的重要影响以及在经济与环境方面的综合效益, 还提出了现有防渗技术存在的不足之处, 并给出了相应的改进措施, 最后展望了防渗技术的未来发展方向, 强调技术创新与可持续发展在提升防洪能力、保护水资源方面的重要性, 以期为相关人员提供有益参考。

关键词 水利工程; 堤防防渗; 垂直防渗技术; 水平防渗技术

中图分类号: TV871; TV223.4

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.19.034

0 引言

水利工程作为国民经济和社会发展的基础设施, 对于防洪、灌溉、供水、发电等方面具有不可替代的作用。堤防工程作为水利工程的重要组成部分, 承担着防御洪水侵袭、保护人民生命财产安全的重要职责。然而, 堤防工程在长期运行过程中, 往往面临着渗漏等安全隐患, 严重威胁着工程的安全性和稳定性。因此, 研究堤防防渗施工技术, 对于提高堤防工程的抗渗性能、保障水利工程的整体安全具有重要意义。

1 堤防防渗技术基础理论

1.1 堤防工程概述

堤防工程是水利工程体系中的重要组成部分, 其主要功能是防御洪水侵袭, 保护周边地区免受洪水灾害的影响。堤防工程通常由土料、石料、混凝土等材料构筑而成, 形成一道连续的屏障, 用以阻挡和分流洪水。根据堤防工程的构造特点和功能需求, 可以将其分为多种类型, 如河堤、湖堤、海堤等。这些堤防工程在防洪、灌溉、航运等方面发挥着重要作用, 是保障人民生命财产安全和社会经济稳定发展的重要基础设施。

1.2 堤防渗漏的原因分析

堤防工程在运行过程中, 往往会面临渗漏问题。渗漏不仅会降低堤防工程的防洪能力, 还可能对周边环境和生态系统造成负面影响。堤防渗漏的原因多种多样, 主要包括地质因素、工程设计与施工缺陷以及自然环境变化等。地质因素如土壤透水性、地下水位变化等, 可能导致堤防基础不稳定, 进而引发渗漏。工程设计与施工缺陷, 如防渗结构设计不合理、施工质量不达标等, 也是导致堤防渗漏的重要原因。此外, 自然环境变化如极端天气、河流改道等, 也可能对堤防工程的防渗性能造成不利影响。

1.3 堤防防渗技术原理

堤防防渗技术的核心在于通过合理的防渗材料和结构设计, 提高堤防工程的抗渗性能。防渗材料的选择至关重要, 需要具备良好的不透水性、耐久性和稳定性。常见的防渗材料包括黏土、塑性混凝土、土工膜等。在结构设计方面, 需要综合考虑堤防工程的实际情况和防渗要求, 采用合适的防渗结构形式, 如垂直防渗墙、水平防渗层等。此外, 还需要建立完善的防渗监测和维护机制, 及时发现和处理渗漏问题, 确保堤防工程的安全稳定运行。堤防防渗技术的原理在于通过科学的材料选择和结构设计, 以及有效的监测和维护措施, 提高堤防工程的整体防渗性能, 保障水利工程的安全性和稳定性。

2 堤防防渗施工技术的种类与应用

2.1 垂直防渗技术

1. 帷幕灌浆技术。帷幕灌浆技术是一种通过钻孔将特定材料(如水泥浆、化学浆液等)注入堤防基础或透水层中, 形成一道连续的、致密的帷幕, 以阻止水分渗透的技术。该技术具有施工灵活、适应性强、防渗效果好等优点。帷幕灌浆的施工过程包括钻孔、冲洗、压水试验、灌浆和封孔等步骤, 每个步骤都需要严格控制施工质量, 以确保帷幕的完整性和防渗性能^[1]。

2. 塑性混凝土防渗墙技术。塑性混凝土防渗墙技术是通过在堤防内部构建一道由塑性混凝土构成的连续防渗墙, 来截断水分渗透路径的技术。塑性混凝土具有低强度、高抗渗性和良好的变形性能, 能够适应堤防基础的变形而不破裂。该技术施工过程包括槽孔开挖、清孔、混凝土浇筑和养护等步骤。通过精确控制槽孔的开挖尺寸、混凝土浇筑的质量和养护条件, 可以确保防渗墙的连续性和防渗性能。

2.2 水平防渗技术

1. 铺设土工膜技术。土工膜是一种由高分子材料制成的柔性防水材料,具有高强度、高抗渗性和耐老化性能。铺设土工膜技术是通过在堤防表面铺设一层土工膜,并用专用粘合剂或焊接方式将其接缝密封,以形成一道连续的防渗屏障。该技术施工过程包括土工膜的选择、铺设、接缝处理和保护层的设置等步骤^[2]。通过严格控制土工膜的质量、铺设的平整度和接缝的密封性,可以确保防渗屏障的完整性和防渗性能。

2. 铺设复合土工织物技术。复合土工织物是由两层或多层不同材料复合而成的一种柔性防渗材料,具有高强度、高抗渗性、耐磨损和易于施工等优点。铺设复合土工织物技术是通过在堤防表面铺设一层复合土工织物,并利用其内部的防水层来阻止水分渗透。该技术施工过程包括复合土工织物的选择、铺设、固定和保护层的设置等步骤。通过合理选择复合土工织物的类型和规格、严格控制铺设质量和固定方式,可以确保防渗屏障的稳定性和防渗性能。

2.3 其他防渗技术

1. 化学注浆防渗技术。除了垂直防渗技术和水平防渗技术外,还有一些其他防渗技术在堤防防渗施工中也得到了广泛应用。化学注浆防渗技术是通过向堤防工程中的渗漏通道注入化学注浆材料,形成一道化学防渗屏障。这种技术具有施工速度快、防渗效果好、适用范围广等优点。注浆材料的选择应根据渗漏通道的特点和防渗要求来确定,常用的注浆材料包括水泥浆、聚氨酯泡沫等。注浆过程中需要严格控制注浆压力和注浆量,以确保注浆效果。

2. 生物防渗技术。生物防渗技术是利用植物的生长和根系发育来增强堤防工程的防渗性能。通过在堤防工程上种植特定的植物,利用植物的根系来固定土壤颗粒,减少土壤的渗透性^[3]。同时,植物的根系还能分泌出有机物质,改善土壤结构,提高土壤的抗渗性能。生物防渗技术具有环保、可持续等优点,但需要较长的时间才能发挥显著的防渗效果。因此,在采用生物防渗技术时,需要综合考虑工程需求和植物生长周期等因素。

3 堤防防渗施工技术的实践效果分析

3.1 防渗效果评估方法

1. 渗漏量监测与数据分析。渗漏量监测是评估堤防防渗效果最直接、有效的方法之一。通过在堤防工程的特定位置安装渗漏量监测设备,可以实时监测渗漏量的变化情况。监测数据应及时收集、整理和分析,以了解防渗施工技术的实际效果。通过对比防渗施工

前后的渗漏量数据,可以直观地评估防渗技术的有效性。同时,结合气象、水文等环境因素的监测数据,可以进一步分析渗漏量与外部环境因素之间的关系,为后续的防渗工作提供科学依据。

2. 防渗结构稳定性评估。防渗结构的稳定性是评估堤防防渗效果的重要指标。在防渗施工过程中,防渗结构可能会受到各种因素的影响,如土壤压力、水压力、温度变化等。这些因素可能导致防渗结构发生变形、开裂等问题,从而影响其防渗性能。因此,需要对防渗结构进行稳定性评估。评估方法包括现场观测、力学分析、数值模拟等。通过评估防渗结构的稳定性,可以及时发现潜在的安全隐患,并采取相应的补救措施,确保堤防工程的安全运行。

3. 防渗材料耐久性研究。防渗材料的耐久性是评估堤防防渗效果长期稳定性的关键因素。防渗材料在使用过程中会受到各种环境因素的侵蚀和破坏,如紫外线照射、化学腐蚀、生物降解等。这些因素可能导致防渗材料的性能逐渐下降,从而影响堤防工程的防渗效果。因此,需要对防渗材料进行耐久性研究。研究方法包括实验室试验、现场暴露试验、加速老化试验等。通过研究防渗材料的耐久性,可以了解其使用寿命和性能变化规律,为堤防工程的维护和修复提供科学依据。

3.2 防渗技术对堤防工程安全性的影响

1. 防渗技术对洪水抵御能力的提升。防渗技术的应用能够显著提高堤防工程对洪水的抵御能力。通过有效的防渗处理,可以显著减少堤防工程在洪水期间的渗漏量,从而降低洪水对堤防工程的冲刷和侵蚀作用。这不仅有助于保持堤防工程的完整性,还能有效防止洪水漫堤和溃堤等灾难性事件的发生。因此,防渗技术是提升堤防工程防洪能力的重要手段之一。

2. 防渗技术对堤防工程整体稳定性的影响。防渗施工技术的应用对于堤防工程的整体稳定性具有重要影响。防渗处理能够增强堤防工程内部的结合力和抗剪强度,从而提高堤防工程的整体稳定性。特别是在地质条件复杂、土壤承载力较低的地区,防渗技术的应用显得尤为重要^[4]。通过加强堤防工程的防渗处理,可以有效防止土壤颗粒的迁移和侵蚀,保持堤防工程的形状和尺寸稳定,确保其在长期运行过程中的安全性和稳定性。

3. 防渗技术对水资源保护的作用。防渗技术对于水资源的保护 also 具有重要意义。堤防工程作为水资源管理的重要设施,其防渗性能直接关系到水资源的有效利用和保护。通过防渗处理,可以减少堤防工程内部和外部的渗漏量,从而保持水资源的完整性和可持

续性。这不仅有助于减少水资源的浪费和损失，还能有效防止地下水污染和土壤盐碱化等问题的发生。因此，防渗技术是保障水资源安全、促进水资源可持续利用的重要手段之一。

3.3 防渗技术的经济性与环境友好性分析

1. 防渗技术的成本效益分析。防渗技术的成本效益分析是评估其经济性的关键。一方面，防渗技术的实施需要投入一定的资金，包括材料费、施工费、维护费等。这些成本需要在工程预算中予以充分考虑。另一方面，防渗技术带来的效益也是显著的。通过减少渗漏量，防渗技术可以降低水资源损失，提高水资源的利用效率，从而间接降低水费支出。同时，防渗技术还能提升堤防工程的防洪能力，减少因洪水灾害造成的经济损失。因此，在进行成本效益分析时，需要综合考虑防渗技术的投入与产出，评估其经济合理性^[5]。

2. 防渗技术对生态环境的影响。防渗技术对生态环境的影响是评估其环境友好性的重要方面。防渗技术的实施可能会改变土壤和地下水的自然状态，对生态环境造成一定影响。例如：某些防渗材料可能会释放有害物质，对土壤和地下水造成污染。此外，防渗处理还可能影响土壤的水分平衡和植被生长，对生态系统的稳定性产生负面影响。因此，在选择防渗技术时，需要充分考虑其对生态环境的影响，并采取相应的环保措施，以最大程度地减少对生态环境的破坏。

3. 防渗技术的可持续发展潜力。防渗技术的可持续发展潜力是评估其长期效益和未来发展趋势的重要指标。随着科技的进步和环保意识的提高，防渗技术也在不断创新和发展。例如：新型防渗材料的研究和应用，使得防渗技术更加高效、环保和可持续。同时，防渗技术的智能化和自动化发展，也为其在堤防工程中的广泛应用提供了可能。因此，防渗技术具有巨大的可持续发展潜力，将在未来的堤防工程中发挥更加重要的作用。

4 堤防防渗施工技术的改进措施与发展方向

4.1 现有技术的改进与优化

针对现有堤防防渗施工技术存在的问题和不足，应采取一系列改进措施进行优化。一方面，应加强防渗材料的研究与开发，提高材料的防渗性能、耐久性和环保性。例如：研发具有更高强度和更低渗透系数的防渗膜材料，以及能够自适应土壤变形、减少渗漏的复合材料。另一方面，应优化防渗结构的设计，提高结构的稳定性和耐久性。通过精细化的结构设计和计算分析，确保防渗结构在复杂地质条件和长期水力作用下的稳定性。此外，还应加强施工过程的质量控制和技术管理，确保防渗施工技术的有效实施。

4.2 新技术的研发与推广

随着科技的不断发展，新的防渗技术不断涌现，为堤防工程提供了更多的选择。一方面，应积极研发和应用新型防渗材料和技术，如纳米材料、智能材料等，以提高防渗效果、降低成本、减少对环境的影响。另一方面，应推广先进的施工技术和设备，如自动化施工设备、远程监控系统等，以提高施工效率和质量，降低人力成本。同时，还应加强新技术的培训和推广，提高施工人员的技术水平和操作能力，确保新技术的有效实施和推广。

4.3 堤防防渗技术的未来发展趋势

未来，堤防防渗技术将呈现智能化、绿色化、高效化的发展趋势。在智能化方面，将借助物联网、大数据、人工智能等技术手段，实现防渗结构的实时监测、预警和智能调控，提高堤防工程的安全性和可靠性。在绿色化方面，将更加注重环保材料和技术的应用，减少防渗施工对生态环境的影响，推动堤防工程的可持续发展。在高效化方面，将不断优化防渗结构的设计和施工流程，提高防渗效果和施工效率，降低工程成本。此外，随着全球气候变化和极端天气事件的增多，堤防防渗技术还将面临更多的挑战和机遇，需要不断创新和发展以适应新的需求。

5 结束语

堤防防渗施工技术在保障堤防工程安全、提升防洪能力、保护水资源以及促进可持续发展方面发挥着重要作用。随着科技的进步和环保意识的提高，堤防防渗技术将不断创新和发展，以适应新的需求和挑战。未来，应继续加强防渗材料、结构和施工技术的研发与应用，推动堤防防渗技术的智能化、绿色化和高效化发展，为堤防工程的长期安全运行提供有力保障。同时，也应注重防渗技术的经济性和环境友好性，实现经济效益、社会效益和环境效益的协调发展。

参考文献：

- [1] 余薇薇,姚恩程.水利工程堤防防渗施工技术及监理控制要点分析[J].治淮,2024(05):56-57.
- [2] 王印.水利工程中堤防防渗施工技术的应用研究[J].工程技术研究,2023,08(19):96-98.
- [3] 刘倩.水利工程堤防防渗施工技术分析[J].大众标准化,2023(14):64-66.
- [4] 中丽丽.水利工程堤防防渗施工技术的应用探讨[J].建材发展导向,2023(08):166-169.
- [5] 徐丽娟.水利工程中堤防防渗施工技术分析与应用研究[J].水利科学与寒区工程,2022(10):124-126.

护岸护坡施工技术在水利工程河道治理中的应用

常 委

(亳州市水利局, 安徽 亳州 236800)

摘 要 随着水利工程向多目标协同治理转型, 河道治理中的护岸护坡技术呈现系统集成化与施工复杂化双重特征。本文针对水利工程河道治理中的护岸护坡施工技术进行分析, 探讨了传统技术如浆砌石护坡、混凝土护坡、干砌石护坡的应用要点与局限, 同时探讨了新型技术如生态护坡、格宾石笼护坡、混凝土预制块生态护坡的创新优势与实践效果。研究表明, 在水利工程河道治理护岸护坡工程建设过程中, 通过材料质量控制、施工工艺优化及基础处理强化等关键措施, 不仅提升了河道的稳定性与抗灾能力, 还促进了生态环境的改善。

关键词 水利工程; 河道治理; 护岸护坡施工技术

中图分类号: TV861; TV85

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.19.035

0 引言

水利工程中河道是关键的重要组成部分, 河道治理效果对于水利工程运行水平存在直接影响。在水利工程河道治理中, 护岸护坡施工技术对保障河道岸坡稳定性、避免水土流失有积极作用, 也能有效改善河道生态环境, 对保障河道稳定性有积极作用。基于此, 本文深入分析水利工程河道治理护岸护坡施工技术, 验证先进施工策略应用到河道治理中的效果, 助力水利工程稳定运行。

1 河道治理护岸护坡工程功能分析

1.1 生态功能

在水利工程河道治理中, 护岸护坡技术应用后能够改善河道生态功能。护岸护坡施工技术应用后, 可提高河岸的稳定性, 避免发生水土流失现象, 为水生生物提供良好的栖息环境, 对保障生物多样性产生积极作用。例如: 生态护坡技术使用植被覆盖或者多孔材料, 为水生植物、昆虫、小型动物创造出良好的生存空间, 改善生态环境。同时, 采用护岸护坡施工技术能够充分改善水质条件, 使用植物进行水体净化, 避免污染物进入河道内部, 促使河道自净能力提高。此外, 生态护坡技术应用后可调节水利工程的气候条件, 增加空气湿度, 降低气温, 对于保障生态环境有积极意义^[1]。

1.2 防洪功能

水利工程在洪水冲击作用下极易造成护岸护坡结构损坏。护岸护坡结构能够抵抗洪水的冲击, 防止洪

水淹没或破坏而导致功能受到损失。水利工程河道护岸护坡施工过程中, 结合现场实际情况确定适宜的结构形式和施工材料, 能够提高护岸护坡的抗冲刷能力, 保证其稳定性, 满足功能需求。例如: 在护岸护坡施工中, 选择将砌石、混凝土作为护坡材料, 具备较高强度, 能够承受较大的冲击力, 具备较高的稳定性。

1.3 抗旱功能

水利工程中河道的作用极为重要, 存储大量的水资源, 能够用于干旱时期释放, 确保农业生产和人们的生活不受影响。护岸护坡具备较高的稳定性, 能够有效阻止河道内部水渗流到周边土壤中, 从而提供足够的水资源进行灌溉以及供水。同时, 护岸护坡设计阶段与蓄水工程紧密结合, 尤其在洪水期存储大量水资源, 干旱期释放, 能够提高水资源的利用率。例如: 护岸护坡周边布置蓄水池, 使得水资源储备能力得到提升, 为周边居民的日常生活提供充足的水资源, 避免干旱导致人们正常生产生活无法继续进行。

2 水利工程河道治理护岸护坡技术分析

2.1 传统护岸护坡技术

2.1.1 浆砌石护坡技术

浆砌石护坡技术作河道护坡技术之一, 其应用范围极为广泛。在水利工程河道治理中, 采用浆砌石护坡技术具备较高的稳固性, 选择形状规则、硬度较高的石块铺设, 通常单块重量达到 20 ~ 50 kg, 以提高砌筑结构稳定性。在浆砌石护坡施工中, 选择适宜砂

浆极为重要,其强度达到M7.5~M10,能够保证连接的强度和牢固性合格。在浆砌石护坡技术应用过程中,砌筑作业阶段,在石材铺设结束后进行灰缝处理,厚度为10~15 mm,使得砂浆填充饱满,能保证护坡的整体性以及稳定性。浆砌石铺设作业阶段,对石块的大小、强度进行检测,并保证砂浆强度、灰缝厚度合格,从而使砌筑结构达到抗冲刷的效果。但是浆砌石护坡施工技术速度较为缓慢,对人员的需求量较大,对人员施工技术水平也有更高要求,只有落实各项控制措施才能保证护坡施工质量合格^[2]。

2.1.2 混凝土护坡技术

在水利工程河道治理中,混凝土护坡技术较为常见,能够提高护坡结构的整体性,保证强度满足运行需求。混凝土护坡技术应用阶段,混凝土材料配制为核心工作,需严格按照试验结果和规范要求进行,水泥用量为300~400 kg/m³,其强度达到C20~C25,以保证护坡具备较强稳定性。在混凝土材料配制中,水胶比为0.4~0.5,使混凝土材料和易性、耐久性达到要求。混凝土浇筑施工以分层方式为主,单层厚度30~50 cm,并及时进行振捣处理,从而提高混凝土结构密实度。混凝土护坡选用预制板铺设或者现场浇筑方式为主,确保护坡结构性能达到要求。在预制板制作过程中,根据混凝土护坡施工要求,预制板规格为400×400×100 mm,便于运输以及安装。混凝土护坡采用现场浇筑施工方式,需根据护坡形状、尺寸制作相应模板,并准备充足混凝土材料以使其浇筑形成合格的护坡结构。

2.1.3 干砌石护坡技术

在水利工程河道治理中,干砌石护坡技术应用广泛,并且在多种条件下都能满足护坡施工要求。干砌石护坡技术通过石材的相互嵌挤或摩擦的作用,保证护坡结构具备较高稳定性。在干砌石护坡施工过程中,根据现场施工需求选择适宜的石块极为关键,通常使用形状规则、质地坚硬的石块,石块单个重量在30~60 kg,从而提高护坡的稳定性和强度。在选择石块时,要重视尺寸检测,长度为30~50 cm,宽度20~40 cm,厚度20 cm以上,石块紧密排列在护坡表面,相互嵌挤形成整体。在干砌石护坡现场施工中,砌筑为核心工序,将石块大面向下,石块之间缝隙在2~3 cm左右,从而使得石块密贴并且能够适应变形。同时,石块砌筑采取交错设置方式,需布置通缝,从而提高护坡结构整体性。在干砌石护坡技术应用过程中,现场操作较为简单,能够满足多种护坡条件下的施工要求,使石块排列整齐紧密,进而提高护坡整体性^[3]。

2.2 新型护岸护坡技术

2.2.1 生态护坡技术

生态护坡技术能够保证水利工程河道治理效果达到要求,满足生态恢复的需求。在生态护坡中,选择适宜的植被极为关键,需选择根系发达的草本植物,播种量30~50 g/m²,使得植被快速生长,能够进行边坡覆盖,以提高水土稳定性。按照以往工程经验,生态护坡中植被覆盖率需在施工后1~2年内达到80%~90%,能够避免发生水土流失现象。同时,生态护坡选择使用生态带或生态毯方式辅助进行,在内部填充土壤以及肥料。通常,每个生态袋填充量为50~70 kg,保证护坡效果达到要求。生态毯的厚度在10~15 mm之间,透水性、保湿性合格,满足植物生长需求,发挥其生态功能。

2.2.2 格宾石笼护坡技术

格宾石笼护坡技术具备明显优势,作为新型的技术被广泛应用到水利工程河道治理中。它在施工过程中需选择适宜的格宾网箱以及填充石块,确保护坡效果达到技术标准。在格宾网箱制作过程中,采用镀锌钢丝编形成,具备强度高、耐腐蚀性的优势,保证格宾石笼具备较强的柔韧性,延长使用寿命,格宾石笼在长期使用中保持稳定性。在格宾石笼护坡技术应用过程中,需按照技术标准进行现场组装,使其形成规则性较强的笼体结构。网箱编织完成后,在内部填充尺寸适宜的石块,并且石块之相互挤压、嵌锁组合形成整个结构。该结构能够保证格宾石笼具备较强的耐冲刷性能,在雨水河流冲刷下依然能够保持较高的稳定性。格宾石笼技术应用时透水性比较强,水流经过网箱和石块缝隙流动,能够有效减轻压力,从而达到抵抗河流冲刷的效果,保持护坡结构稳定性。同时,石笼内部存在较大间隙,能够满足植被生长需求,对于改善护坡生态环境有积极作用。在格宾石笼护坡技术应用过程中,格宾网箱以镀锌钢丝为主要加工材料,其直径在2.0~3.5 mm之间,网孔尺寸为60×80 mm~100×120 mm,从而确保其透水性合格,且强度满足运行需求。在格宾石笼内部填充石块的过程中,需选择适宜的石块填充,保证每立方米石笼填充石块重量达到1.2~1.5 t,石块粒径100~300 mm。另外,需根据现场实际情况调整,确保高度合格,通常在1~3 m之间,能够有效抵抗水流冲刷作用。

2.2.3 混凝土预制块生态护坡技术

在混凝土预制块生态护坡技术应用过程中,采用高强度的混凝土材料,并且融合生态环保理念,能够保持护坡稳定性,且尽快恢复河道生态环境。按照生

态护坡施工要求,制作混凝土预制块,形状、尺寸符合技术标准,采用六边形、矩形方式为主,能够更好地满足护坡施工需求。在预制块设计过程中,内部设置有孔洞或者种植槽,能够满足生态种植的要求。在孔洞、种植槽设计过程中,需满足植物生长需求,使得生态护坡效果合格,进而提高河道边坡的稳定性,也能尽快改善河道两侧的生态环境。在种植槽设置完成之后,应在内部填充适宜的土壤以及肥料。通常,种植各种草本植物或者低矮灌木,能够更好地满足植物生长需求^[4]。在混凝土预制块加工阶段,选择适宜的混凝土材料,对其强度展开检测,保证混凝土在使用后能够抵抗外力冲刷的作用,进而提高护坡安全性。同时,预制块连接具有紧密性,组合形成完整的护坡结构。混凝土预制块生态护坡技术的操作相对简单,由工厂按照设计方案完成预制块生产制作,再运输到作业现场进行安装,能够有效缩短施工工期。而且,生态护坡技术应用过程中,后续养护操作、管理难度较低,浇水、施肥、修剪正常开展,能够满足植被生长需求。

3 护岸护坡施工技术要点分析

3.1 材料质量控制

在水利工程河道治理护岸护坡技术应用的过程中,应选择适宜施工材料并且落实材料的质量控制,保证生态护坡施工效果达到技术标准。在护坡施工技术应用过程中,选择的石材极为重要,要使其达到硬度高、无风化、无裂缝,能够抵抗水流冲刷的作用,具备较高稳定性。在浆砌石护坡过程中,要严格控制石块的形状,保持规则性、尺寸合格。在混凝土材料配制阶段,需分析设计方案以及国家标准,强度等级合格,满足设计标准,从而提高生态护坡施工水平。

河道治理中采用生态护坡施工技术,要结合项目现场需求选择生态带、生态毯,保证透水性、保水性达到标准,满足植被生长需求。同时,生态护坡材料应具备耐用性,能够抵抗自然环境的侵蚀影响。而在选择植被时,其种子需选择适应气候条件以及土壤环境的种类,具备较高的发芽率以及成活率。护坡施工作业阶段,任何材料进入作业现场前都需进行检查和验收,保证规格、型号合格,并且有完善的质量证明文件,禁止任何劣质材料进入作业现场^[5]。

3.2 施工工艺控制

在水利工程河道治理护岸护坡技术应用阶段,需严格执行工艺方案,确保各项施工措施有序进行。在浆砌石护坡技术应用过程中,砌筑工艺尤为关键,要确保石块之间灰缝填充饱满,错缝浇筑,以确保石块

砌筑完成后整体性达到技术标准。在浇筑作业过程中,采取分层施工方式,严格控制单层高度。在混凝土护坡技术施工过程中,要加大力度控制混凝土材料质量,搅拌、运输、浇筑、振捣各环节紧密配合,保证混凝土材料性能达到施工需求。混凝土浇筑作业采取分层浇筑、分层振捣施工方式,保证混凝土结构密实度达到技术标准,禁止存在蜂窝、麻面等情况影响混凝土施工效果。在生态护坡技术应用过程中,需选择适宜的植被材料和养护工艺,保证生态护坡效果合格。养护阶段需落实各项技术措施,浇水、施肥、除草有序开展,促进植物生长率成活率的提高。

3.3 基础处理

在水利工程河道治理护岸护坡施工过程中,基础处理作为关键环节,需开展清理、整平措施,去除基础表面杂物、淤泥、松散土层,保证结构稳定性合格。如果基础地质条件较差,比较常见的是软土地基,需选择必要的加固措施,采用换填、打桩的方式提高地基结构承载力。基础开挖施工需按照设计方案严格执行,保证开挖深度、坡度合格,禁止存在超挖或者扰动地基土的现象。基础开挖结束后进行验槽作业,确保基础尺寸、标高、地质条件符合设计标准。如果施工后检测并未达到技术要求,技术人员应及时进行整改处理。

4 结束语

水利工程河道治理护岸护坡施工技术的应用,能够提高河道运行的安全性、可靠性,提高自然资源利用率,防止出现自然灾害,以保障人民的生命财产安全。在护岸护坡施工技术应用阶段,需落实各项工艺方案,对各环节展开质量监督检查,进而提高护岸护坡施工水平,确保河道治理效果合格,提高水利工程河道的稳定性、可靠性。同时,采用生态护坡施工技术,可改善河道两侧生态环境,对现代社会可持续发展有积极作用。

参考文献:

- [1] 侯晓斌. 水利工程建设中的浆砌石护坡施工技术探讨[J]. 人民黄河, 2020, 42(S2): 163-164.
- [2] 谭伯秋. 水利工程中堤防护岸工程施工技术[J]. 科学技术创新, 2021(05): 134-135.
- [3] 孙运前, 张西银, 赵振武. 水利工程中河道生态护坡施工技术的运用[J]. 工程技术研究, 2020, 05(12): 114-115.
- [4] 管毅, 樊玉冰, 唐若舫, 等. 疏浚底泥回收再利用生态护坡施工技术研究[J]. 工程技术研究, 2024, 09(24): 224-226.
- [5] 张恒. 水利工程河道治理护岸护坡关键施工技术[J]. 工程建设与设计, 2024(24): 118-120.

隧道工程快速施工新方法研究

魏天宇

(安徽省交通规划设计研究总院股份有限公司, 安徽 合肥 230088)

摘要 本文深入研究了隧道工程快速施工的新方法, 涵盖了机械化作业、信息化管理与智能化技术应用以及绿色施工措施等多个方面, 详细分析了快速施工新方法的特点、面临的挑战及相应的应对策略, 并通过实例评估了其带来的经济、社会与环境效益。研究结果显示, 新方法不仅显著缩短了施工周期、降低了工程成本, 还有效提升了交通效率, 促进了区域经济发展, 同时实现了环境保护的目标。

关键词 隧道工程; 快速施工; 机械化; 信息化; 绿色施工

中图分类号: U455.1

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.19.036

0 引言

随着城市化进程的加速和交通需求的不断增长, 隧道工程作为连接城市内外、缓解交通压力的重要基础设施, 其建设规模和数量日益增加。然而, 传统的隧道施工方法存在施工周期长、效率低、成本高等问题, 难以满足现代交通建设的快速需求。因此, 探索和研究隧道工程快速施工新方法, 对于提高施工效率、降低成本、保障工程质量具有重要意义。

1 隧道工程快速施工的现实基础

1.1 地质勘察与隧道设计原则

在隧道工程的快速施工中, 地质勘察与隧道设计是确保施工效率和安全性的关键。首先, 地质勘察的准确性与隧道设计的可靠性是快速施工方法得以实施的前提。地质勘察的准确性对于隧道施工的顺利进行至关重要, 地质勘察报告中需揭露隧址区的地质构造、岩性、水文条件等关键信息, 为隧道的设计和施工提供科学依据^[1]。在隧道设计阶段, 需要依据地质勘察结果, 合理确定隧道的走向、埋深、断面尺寸等参数, 以确保隧道的稳定性和安全性。同时, 设计中还包括对支护结构的选择和优化, 针对重点区段如洞口边坡稳定以及地质勘察揭露的特殊地质(如断层、软弱破碎带)应做专项设计, 并预留充足的安全储备与应急措施。

1.2 快速施工技术的技术支撑

隧道工程快速施工技术的技术支撑包括机械与自动化技术、信息与智能化技术, 以及施工全周期安全风险与质量控制技术。其中, 机械化与自动化施工技术强调通过先进的施工设备和设备间协同工作的自动化流程设计, 来提高施工效率, 减少人力成本, 并确

保施工质量的稳定性; 信息与智能化技术强调运用高精度传感器与现代人工智能技术对隧道施工过程中的关键数据进行实时监控和分析, 协助现场操作人员及后场管理人员及时掌握地层状态和设备参数的异常情况, 以便迅速采取相应措施, 保障施工过程的顺利进行^[2]。此外, 施工全周期的安全风险与质量控制技术也是快速施工中不可或缺的一部分, 它强调在追求施工效率的同时, 依据实测反馈数据以及安全规范和质量控制标准, 精确评估施工风险等级和质量差异的后果, 确保施工过程的安全性和质量的可靠性。

2 隧道工程快速施工新方法探索

2.1 机械化施工方法创新

1. 高效掘进设备的应用与改进。高效掘进设备是隧道施工中的核心设备之一。近年来, 随着技术的不断进步, 掘进设备的性能和效率得到了显著提升。例如: 全断面掘进机(TBM)和盾构机等设备在隧道施工中得到了广泛应用。这些设备不仅能够快速掘进, 还能在掘进过程中进行同步支护, 大大提高了施工效率^[3]。同时, 针对不同的地质条件, 掘进设备也在不断进行改进和优化, 以适应更复杂的地质环境。例如: 通过优化刀具设计、提高掘进速度和稳定性等措施, 可以进一步提升掘进设备的性能。

2. 支护与衬砌机械化施工技术。支护与衬砌是隧道施工中的重要环节, 直接关系到隧道的稳定性和安全性。传统的支护与衬砌施工多采用人工方式, 效率较低且存在一定的安全风险。近年来, 随着机械化施工和预制工业化技术的不断发展, 支护与衬砌机械化施工技术得到了广泛应用。例如: 通过采用机械化支

护设备, 可以实现对远程控制的隧道全断面无人精确拼接, 大大减少人工干预和危险区段的人员暴露时间, 提高施工效率并降低工人生命安全风险^[4]。

3. 施工辅助系统的研发与利用。除了隧道掘进设备和支护与衬砌设备之外, 施工辅助系统同样是提高隧道施工效率和质量的关键要素。近年来, 针对隧道施工过程中遇到的各类实际问题, 已经开发出多种施工辅助系统。例如: 在隧道施工中, 我们研发并应用了自动导向与纠偏系统来解决定向问题, 密闭环境下采用大型设备的冷却换热系统来确保设备正常运行, 以及采用长距离隧道的恒温通风系统来保障施工环境。这些先进的施工辅助系统的研发和应用, 不仅极大地节省了工期和成本, 还显著提升了大型机械的施工稳定性和施工人员的舒适度与安全性, 为隧道工程的顺利进行提供了坚实的技术保障和支持。

2.2 信息化与智能化施工技术

1. 建筑信息模型(BIM)技术在隧道施工中的应用。BIM技术在隧道施工中的应用日益广泛。通过BIM技术, 可以构建隧道的数字模型, 实现对隧道施工过程的全面模拟和可视化。在隧道设计阶段, BIM技术可以帮助工程师更好地了解隧道的结构特点和施工难点, 从而优化设计方案。在施工过程中, BIM技术可以实现施工进度的实时监控、施工资源的动态调度以及施工质量精确控制。此外, 结合三维激光扫描技术还可以将管片和隧道实际开挖断面等三维点云数据导入BIM模型, 实时监测隧道状态, 协助工程师及时发现和解决施工中的问题, 提高施工效率和质量。

2. 监控量测与数据分析系统。监控量测与数据分析系统在隧道施工中扮演着至关重要的角色。该系统通过精密部署的传感器和监测设备, 对隧道的变形、应力状态、温度等关键指标进行实时追踪, 为施工过程中的安全控制和质量控制提供坚实的数据支撑。通过对这些数据的深入分析, 系统能够敏锐捕捉到施工中的任何异常迹象, 一旦监测到隧道变形超出预设的预警阈值, 便能迅速响应, 指导现场立即暂停施工并采取必要的加固措施, 从而有力地保障隧道结构的安全性和长期稳定性^[5]。

3. 智能化施工决策支持系统。智能化施工决策支持系统作为一种创新的辅助决策工具, 融合了大数据与人工智能等先进技术。它通过广泛收集并分析隧道施工过程中的各类数据, 如地质条件、材料性能、施工参数等, 为工程师提供精准的施工方案优化建议。

同时, 该系统能够预测和评估施工进度, 确保工程按计划顺利进行。此外, 它还具备施工质量的全面监控与评估能力, 为工程师提供详实的数据支持, 使其能更深入地了解施工现状和发展趋势, 从而做出更为科学、合理的决策。尤为重要的是, 智能化施工决策支持系统内置智能化预警与报警机制, 一旦监测到潜在的安全隐患或质量问题, 便会立即向工程师发出预警信号, 助力其迅速响应并采取有效措施, 确保施工安全与质量。

2.3 绿色施工与环保措施

1. 环保型施工设备与材料的选择。选择环保型施工设备与材料是绿色施工理念得以落实的基础。在实际施工过程中, 我们应当优先考虑采用那些低能耗、低排放的施工设备, 比如电动挖掘机、电动装载机等, 这些设备能够有效减少施工过程中的能源消耗, 降低尾气排放, 从而减轻对环境的负担。同时, 选择环保型施工材料也是绿色施工不可或缺的一环, 我们应积极使用可再生材料、无毒无害材料等, 以减少施工活动对环境的污染和破坏。此外, 智能化施工设备的应用也是值得期待的, 通过精确控制和优化调度, 可以进一步提高施工效率, 减少资源浪费, 实现绿色施工的目标。

2. 施工过程中的噪声、粉尘控制。在隧道施工过程中, 噪声和粉尘是两大常见的环境问题, 对施工人员的健康和周边环境都会造成不良影响。为了减少噪声污染, 我们可以采取多种措施。首先, 使用低噪声设备进行施工是减少噪声污染的有效手段。其次, 在施工现场周围设置隔音屏障, 可以有效隔绝噪声的传播。此外, 合理安排施工时间, 避免在夜间或清晨等居民休息时间进行施工, 也是减少噪声污染的重要措施。对于粉尘控制, 湿式作业是常见且有效的方法, 可以降低粉尘飞扬。同时, 安装除尘设备并加强通风, 也能有效降低施工过程中的粉尘浓度。此外, 对施工人员进行环保培训, 提高他们的环保意识, 确保施工过程中的各项环保措施得到有效执行, 也是至关重要的。

3. 施工废弃物的处理与资源循环利用。施工废弃物是隧道施工过程中不可避免的问题。为了实现资源的循环利用和减少废弃物对环境的污染, 可以采取多种措施。首先, 应对施工废弃物进行分类收集和处理, 将可回收的废弃物进行回收利用, 如废旧钢材、废旧木材等。其次, 对于不可回收的废弃物, 应采取科学的处理方法, 如填埋、焚烧等, 确保废弃物不会对环

境造成长期污染。此外,还可以探索将废弃物转化为资源的途径,如将建筑垃圾用于道路铺设、砖块制造等,实现资源的再利用。在绿色施工与环保措施的实施过程中,还需要加强监管和评估工作。通过建立完善的环保管理制度和监管机制,确保各项环保措施得到有效执行。同时,定期对施工过程中的环保效果进行评估和监测,及时发现和解决环保问题,推动绿色施工与环保措施的持续改进和优化。

3 隧道工程快速施工新方法的关键技术与挑战

3.1 关键技术突破点

快速施工新方法的关键技术突破点主要体现在以下几个方面:首先,掘进技术的创新是快速施工的核心。通过研发和应用高效掘进设备,如全断面掘进机(TBM)和盾构机等,实现了掘进速度的大幅提升,显著缩短了施工周期。其次,支护与衬砌技术的革新也是关键之一。机械化支护和自动化衬砌技术的广泛应用,不仅提高了施工效率,还确保了施工质量的稳定性和可靠性^[6]。此外,信息化与智能化施工技术的应用,如BIM技术、监控量测与数据分析系统以及智能化施工决策支持系统等,为快速施工提供了有力的技术支持和保障。这些关键技术的突破,共同推动了隧道工程快速施工的发展。

3.2 面临的挑战与应对策略

尽管快速施工新方法在隧道工程建设中取得了显著成效,但仍面临着诸多挑战。一方面,地质条件的复杂性给快速施工带来了巨大挑战。不同地质条件下的施工难度和风险控制要求各不相同,需要针对不同地质特点制定相应的施工方案和风险控制措施。另一方面,施工全流程的数字化程度依然不高,未能发挥BIM系统对于施工质量和风险管控的全部潜力。为了应对这些挑战,可以采取以下策略:一是加强地质勘察工作,综合利用多种监测手段,尽可能全面提前了解隧址区的地质构造和岩性特点,并在施工中结合超前地质预报等手段做好地质灾害防范预警及应对措施;二是综合多种技术手段将“模型化”BIM管理平台向“孪生型”BIM管控系统升级过渡,继续提高隧道施工数字化和信息化的水平;三是可从政策层面将“数据资产”概念引入隧道等重大基础设施的设计、施工、管养等全生命流程中来,强化“数字化”交付,提高交通隧道等重大基础设施的建、管、养全流程治理数字化和现代化水平^[7]。

4 隧道工程快速施工新方法的效益分析

快速施工新方法的应用带来了显著的经济效益、社会效益与环境效益。它通过采用高效掘进、机械化支护与衬砌技术及信息化智能化施工等手段,大幅缩短施工周期,优化流程,减少浪费,同时循环利用资源和有效处理废弃物,从而有效控制成本并提升资源利用率,增强了隧道工程建设的整体经济效益。此外,该方法还提高了交通效率,缓解了交通拥堵,促进了区域经济发展和产业升级,提升了公众满意度。同时,注重环保和可持续发展,通过减少噪声、粉尘污染及妥善处理施工废弃物等措施,有效保护了周边环境和居民生活质量。这些综合效益的实现,不仅提升了隧道建设的整体效能,也为相关产业的快速发展和社会的和谐稳定、可持续发展做出了积极贡献。

5 结束语

隧道工程快速施工新方法的应用,不仅推动了施工技术的创新和进步,还带来了显著的经济、社会和环境效益。面对地质条件复杂、环境问题凸显等挑战,通过加强地质勘察、优化施工设备和工艺、强化数字化交付等措施,我们可以有效应对这些挑战,推动隧道工程建设的可持续发展。未来,随着技术的不断进步和创新,隧道工程快速施工新方法将会得到更广泛的应用和推广,为交通运输行业的可持续发展和社会的和谐稳定做出更大的贡献。

参考文献:

- [1] 李宽.复杂地质下的隧道开挖及支护施工技术探讨[J]. 交通科技与管理,2024(14):120-122.
- [2] 姚力.隧道工程超前支护施工技术与质量管控要点[J]. 四川建材,2024(12):199-201.
- [3] 杨玉祥.隧道工程支护施工技术管理要点分析[J]. 运输经理世界,2023(02):100-102.
- [4] 刘伟,陈伟祥,刘瑞辉.浅埋卵石土隧道中隔壁法施工超前加固对比分析研究[J]. 公路,2023,68(07):30-38.
- [5] 吴金刚,陈建芹,马杰,等.富水断层破碎带大断面隧道设计与快速施工[J]. 隧道建设(中英文),2022,42(S1):353-359.
- [6] 谭艳臣.山岭隧道连拱隧道群快速安全施工方案优化研究[J]. 交通世界(上旬刊),2020(12):116-118.
- [7] 王海磊.高速公路隧道建设过程中测量和控制注意事项[J]. 建设科技,2020(22):101-102.

既有建筑物安全性鉴定方法探析

兰 江, 宋吉伟

(浙江省地球物理技术应用研究所有限公司, 浙江 杭州 311115)

摘 要 建筑物安全性鉴定作为现代工程领域的重要环节, 对于保障结构使用功能具有关键作用。本文提出可通过现场查勘、检测、测绘等多种技术手段对建筑物各项指标进行综合评估, 从而确定其状态。鉴于当前鉴定工作中存在的技术应用不足、数据采集不准确、评估方法单一等问题, 应加强检测仪器设备创新、完善数据分析体系、优化评估流程。引入新型智能化检测方法, 建立全过程动态监测模式, 提升鉴定结果的科学性与准确性, 为建筑物后续使用提供可靠依据。

关键词 结构性能评估; 检测技术创新; 数据分析模型; 智能化监测

中图分类号: TU317

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.19.037

0 引言

随着城市化进程不断加快, 大量既有建筑物的使用年限逐渐增长, 结构性能评估需求日益增加。传统鉴定方法主要依靠人工经验判断, 存在主观性强、效率低等局限性。近年来, 随着新型检测技术不断发展, 为建筑物安全性鉴定提供了更为先进的技术支撑, 但在实际工作中仍面临着检测数据准确性不足、评估标准不统一、信息化程度较低等挑战。因此, 深入探讨鉴定工作中的关键问题, 创新技术方法, 完善评估体系, 对提升鉴定工作水平具有重要意义。

1 建筑物检测技术创新应用

1.1 新型无损检测方法研究

地震波反射成像技术在建筑物无损检测领域展现出独特优势, 该技术利用高频地震波在不同介质中传播特性差异, 可有效识别结构内部缺陷。实践表明, 采用 50 ~ 5 000 Hz 频段的地震波信号, 能够探测深度达到 15 m, 对混凝土结构内部的裂缝、空洞等病害进行精确定位。声发射检测技术结合数字信号处理方法, 可实现结构应力状态实时监测, 当结构产生微观破坏时, 声发射信号频率范围在 100 kHz ~ 1 MHz 之间, 能够及时捕捉材料变形特征。电磁波层析成像检测以其穿透能力强、分辨率高等特点, 适用于钢筋混凝土结构检测, 电磁波频率在 1 ~ 2.5 GHz 范围内, 可清晰显示钢筋位置、保护层厚度等参数。红外热成像检测技术对建筑外墙、屋面防水层进行快速扫描, 温度分辨率达到 0.05 °C, 能够准确识别渗漏、空鼓等病害位置^[1]。

1.2 智能化检测设备开发

便携式多功能检测机器人整合了超声波、电磁感应、激光扫描等多种传感器, 可在狭小空间内进行全方位检测。机器人采用履带式行走装置, 最大爬坡角度 45°, 配备高清摄像头和红外热像仪, 实现远程操控和实时数据传输。智能裂缝检测仪搭载深度学习算法, 对裂缝图像进行自动识别和分析, 测量精度达到 0.02 mm。基于北斗定位系统的变形监测设备, 具备全天候、高精度特点, 水平位移测量精度 ± 2 mm, 垂直位移测量精度 ± 3 mm。新型混凝土强度检测仪采用多参量综合分析方法, 结合回弹值、超声波速度等指标, 测试结果误差控制在 5% 以内。振动特性智能分析仪配备高灵敏度传感器阵列, 采样频率最高可达 1 000 Hz, 能够准确获取结构固有频率和振型参数。

2 鉴定工作核心要素分析

2.1 结构性能评估指标体系

建筑物结构性能评估指标体系涵盖承载力指标、耐久性指标和适用性指标三大类。承载力指标包含混凝土强度、钢筋锈蚀程度、构件变形等关键参数, 混凝土强度等级按照设计要求进行分级评定, 钢筋锈蚀程度依据锈蚀面积比和截面损失率确定, 构件变形值需满足规范限值要求。耐久性指标重点考察混凝土碳化深度、氯离子含量、裂缝发展等因素, 碳化深度测试点布置间距不大于 3 m, 氯离子含量采样应避开施工缝及结构缺陷, 裂缝宽度测量精确到 0.02 mm。适用性指标主要评估建筑物振动、变形及裂缝对使用功能影响, 振动频率及幅值应控制在规范允许范围内, 变形

值不得超过限制值,裂缝对结构整体性影响程度需定量分析。评估指标体系采用层次分析法确定各指标权重,建立评分标准,确保评估结果客观准确^[2]。

2.2 检测数据采集规范

原始数据采集需严格遵循现行规范标准,制定详细检测方案。混凝土强度检测采用回弹法结合钻芯法,检测点位按照构件受力特点布置,每个构件不少于3个测区,每个测区取10个回弹值。钢筋保护层厚度检测选用电磁感应法,检测区域应覆盖关键受力部位,布点间距不大于500 mm。结构位移监测采用精密水准仪配合全站仪,基准点应设置在稳定区域,沉降观测精度控制在 ± 0.5 mm。裂缝检测采用裂缝测宽仪配合裂缝显微镜,记录裂缝走向、宽度、深度等特征参数。振动测试选用高精度加速度传感器,采样频率不低于100 Hz,测点布置应考虑结构振型特征,所有检测数据需进行异常值分析,建立完整的数据采集记录档案。

2.3 评估方法选择依据

建筑物安全性鉴定方法选择需考虑结构类型、使用年限、环境条件等多重因素。对于框架结构建筑,静力计算法结合有限元分析能够准确评估结构受力性能,计算模型应充分考虑材料非线性特征和构件实际尺寸。砌体结构建筑宜采用抗震验算法与承载力验算相结合,重点分析墙体受压稳定性和抗剪承载力。对于预应力混凝土结构,需采用预应力损失测试与挠度检测相结合的方法,评估预应力筋应力状态和结构变形。大跨度钢结构建筑则适合采用动力特性测试法,分析结构固有频率和阻尼比等动力参数。地基基础评估宜选用压力传感器实测法与沉降观测相结合,获取基础承载力和变形数据,评估方法选择应遵循可操作性强、数据可靠性高的原则。特殊环境条件下的建筑物评估方法需进行针对性选择。沿海地区建筑结构评估应重点采用氯离子含量测试和钢筋锈蚀检测方法,评估结构耐久性。高温环境下的工业建筑需选用耐高温传感器进行长期监测,评估温度应力对结构性能影响。

2.4 结果分析验证机制

在建筑物安全性鉴定工作中,结果分析验证采用多重校核机制以确保结论的可靠性。首要环节是实测数据与理论计算值的对比分析,通过统计方法确定数据的离散程度,当变异系数超过15%时需进行重新检测。将荷载试验结果与有限元分析模型进行对照验证,要求位移差异控制在允许范围之内。对于建筑物的动力特性参数,需要与同类建筑进行横向对比,及时发现并剔除明显异常的数据以保证分析结果的准确性。

在结构承载力的计算过程中应充分考虑材料实测

强度和构件实际尺寸的影响,并引入适当的安全系数进行修正。对于建筑物裂缝的发展趋势分析,需结合长期监测数据建立科学的预警阈值体系。最终,各项技术指标的评定结果都需要经过专家组的严格论证,采用多因素综合评价方法,通过定性与定量相结合的方式综合确定建筑物的整体状况等级,为后续的维护加固提供可靠的技术依据^[3]。

2.5 鉴定报告编制要点

鉴定报告编制应突出重点内容,确保逻辑性和可读性。报告前言部分需明确说明鉴定目的和依据,附上完整的原始资料清单。检测方法描述应详细列出仪器设备型号、检测点位布置图及检测过程照片。对于关键构件的检测数据,需采用统计分析方法,给出数据分布特征和离散程度。数据分析章节宜采用柱状图、趋势图等形式直观展示检测结果,对异常数据应说明产生原因及处理方法。结构计算分析应阐明模型简化原则,列出荷载取值、材料参数及边界条件,计算结果需考虑各种不利组合工况。评定结论应分项给出各构件技术状况等级,对存在问题提出分类分级的处理建议并说明处理措施的技术依据。

鉴定报告质量控制体系需建立多层级审核机制,报告编制人员应具备相应专业资质,熟悉相关规范要求。报告审核分为技术审核和综合审核两个层次,技术审核重点关注检测数据可靠性、计算分析合理性及结论准确性,综合审核侧重报告逻辑性和完整性,报告附件资料应建立统一编号系统,确保与内容对应关系明确。原始记录表格需采用标准化格式,数据填写要求字迹清晰、签字完整,计算书应包含计算依据、计算简图及计算过程,便于复核验证。现场照片按检测项目分类整理并标注拍摄位置和关键特征,最终报告需经专业技术负责人签字确认,形成完整的技术档案。

3 鉴定工作优化提升策略

3.1 检测流程标准化建设

建筑物安全性鉴定检测流程标准化建设需建立完善的工作制度体系。现场查勘阶段制定标准巡查路线图,重点部位布设固定观测标志,现场照片和视频资料按区域分类存档。检测准备阶段明确仪器设备校准要求,每台设备建立检定档案,检测前进行功能测试和试验室验证。检测实施阶段规范操作程序,混凝土强度检测需在环境温度 $5\sim 35$ ℃范围内进行,钢筋检测应避开施工接缝和构件变形区域,检测点位布置制定统一标识系统,采用二维码技术记录检测信息。数据采集规定统一的记录格式,检测原始数据需经双人复核,建立数据可追溯机制。检测完成后对仪器设备

进行专业维护保养,定期开展设备性能评估,检测流程实行全过程监督,确保检测工作规范有序进行^[4]。

3.2 评估方法科学化改进

建筑物结构性能评估方法改进需引入新型数学模型和计算方法。模糊数学理论应用于结构损伤程度评估,建立基于隶属度函数的多级评定标准,提高评估结果的科学性。模糊层次分析法将专家经验量化,构建判断矩阵,计算各评估指标权重。神经网络算法用于结构承载力预测,利用大量历史数据进行模型训练,预测准确率达到 90% 以上。BP 神经网络模型输入层包含混凝土强度、钢筋配筋率、构件尺寸等参数,隐含层采用双层结构,输出层给出构件承载力预测值。基于贝叶斯网络的结构可靠度分析方法,考虑随机因素影响,给出结构失效概率定量评估结果。数字图像处理技术用于裂缝特征识别,建立裂缝图谱数据库,实现裂缝自动分类。

结构动力特性评估引入时频分析方法,采用希尔伯特—黄变换提取结构瞬时频率,识别结构非线性特征,小波包分解技术用于结构振动信号去噪,提高模态参数识别精度。奇异值分解方法用于损伤识别,建立结构损伤指数,实现损伤程度量化评估。基于支持向量机的模式识别算法,建立结构损伤分类模型,损伤定位准确率显著提升。引入数字孪生技术,建立结构实时监测与评估模型,将静力和动力特性监测数据融合分析,实现结构状态实时评估。评估方法改进注重实用性和可操作性,将先进算法与工程实践相结合,确保评估结果更加客观准确。

3.3 信息化平台构建方案

建筑物安全性鉴定信息化平台采用云计算架构,搭建数据采集、存储、分析一体化系统。平台设计基于微服务架构,包含检测数据管理模块、计算分析模块、评估报告生成模块等功能单元。数据采集端开发移动应用程序,支持现场检测数据实时上传,检测照片自动添加地理位置信息。数据存储采用分布式数据库技术,建立数据备份机制,确保数据安全性。计算分析模块集成多种评估算法,支持参数快速调整和结果可视化展示。报告生成模块提供标准化模板,支持检测数据自动关联和报告智能排版。平台配置权限管理系统,设置不同级别用户角色,保障数据访问安全。系统接口预留扩展空间,支持与其他专业软件数据对接,实现信息资源共享^[5]。

3.4 技术人员能力提升

鉴定技术人员的培养体系应建立多层次、全方位的专业能力提升机制。在基础培训方面,新入职人员

需系统学习结构力学、材料性能、检测规范等专业知识,并通过仪器操作实践培训掌握无损检测、应变测试、动态监测等基本技能。建立“师带徒”制度,由资深工程师对新人进行一对一指导,确保检测要领和操作规范的准确传承。在进阶培训中,专业技术人员需定期参与新型检测设备应用、数据分析软件使用、BIM 技术应用等专项培训,并通过模拟实验、现场实践等方式强化实操能力。同时建立技术档案评估制度,对技术人员的专业成长轨迹进行动态跟踪,制定个性化的能力提升计划。

为提升技术团队的整体水平,应着重加强项目负责人的专业深度。组织项目负责人系统学习结构性能退化机理、荷载效应分析、结构可靠度评估等深层次理论知识,通过专题研讨、案例分析等形式提升工程判断能力。实验室定期开展疑难病害诊断、检测方案优化、数据分析方法等技术交流活动,促进团队协作解决复杂技术问题的能力。鼓励技术人员参与工程技术标准编制、检测新方法研究、专利技术开发等创新活动,并将技术创新成果转化应用于实际工程。建立技术等级晋升制度,将工程业绩、技术创新、专业资质等纳入考核标准,设立优秀技术成果奖励机制,激励技术人员持续提升专业水平。通过建立完善的激励机制和职业发展通道培养技术骨干,打造专业过硬的检测团队。

4 结束语

建筑物安全性鉴定工作涉及多个专业领域,需要综合运用先进技术手段和科学评估方法。通过引入新型检测技术建立完善的数据分析模型,构建智能化监测平台,可有效提升鉴定工作的准确性和效率。未来应着重加强检测技术创新、优化评估方法、完善标准体系,推动鉴定工作向着更加规范化、科学化的方向发展,为建筑物全生命周期服务提供有力保障。

参考文献:

- [1] 郭丽娟.既有建筑物安全性鉴定的探索研究[J].陕西建筑,2022(02):21-24.
- [2] 李翔.基于水准测量和倾斜观测的某建筑物安全性鉴定分析[J].安徽建筑,2023,30(07):171-173.
- [3] 吕美龙.木质结构建筑物安全性鉴定分析:以郁金香高地游客集散中心为例[J].安徽建筑,2023,30(03):176-178.
- [4] 曹莹.既有建筑资料缺失的建筑物安全性鉴定[J].中国建筑金属结构,2023,22(04):156-158.
- [5] 徐鹏玉.关于建筑物安全性鉴定工作的思考探析[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2023(02):59-62.

市政道路排水管道施工技术研究

彭佳

(九江鑫发建设工程有限公司, 江西 九江 332100)

摘要 随着城市建设规模的不断扩大以及人们对生活品质要求的逐步提升, 市政道路排水管道施工的重要性也在不断提升。为满足当下复杂多变的排水需求, 本文总结了市政道路排水管道的特点, 明确其在城市运行中的重要地位与作用, 并结合具体工程案例, 从施工流程的角度出发, 分析了施工技术各个环节的质量控制要点, 为实现市政道路排水管道施工技术的全面优化提供实践参考。

关键词 市政道路; 排水管道施工; 管道铺设; 接口处理; 闭水试验

中图分类号: U417.3; TU992

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.19.038

0 引言

市政道路作为城市基础设施的重要组成部分, 其排水系统的完善程度直接关系到城市正常运转和居民生活质量。近年来, 交通流量大幅增加, 对市政道路排水管道提出了更高的要求, 传统排水管道施工技术在应对如今复杂的城市环境和多样化的排水需求时, 逐渐显露出其局限性, 而且城市发展对排水系统的功能性、耐久性、环保性等方面有着更为严格的要求。市政道路排水管道要确保排水顺畅, 避免内涝等灾害的发生, 还要注重对周边环境的保护以及与其他市政设施的协同运作。因此, 探讨市政道路排水管道施工技术的应用方法具有理论价值和现实意义。

1 市政道路排水管道的特点

1.1 分布广泛且具有系统性

市政道路排水管道的分布范围极为广泛, 不论商业区、住宅区, 还是交通繁忙的主干道、小巷, 皆分布着排水管道, 各管道相互交叉, 构建起庞大又错综复杂的体系, 收集来自城市各个角落的污水与雨水, 借助不同管道, 以有序方式输送到污水处理厂或自然水体。此广泛分布且彼此相互关联的特性, 在实施施工与维护相关事务时, 需具备全面性规划与系统性思维方式, 不论哪处管道的施工进度受阻或发生故障, 都可能对整个排水系统的正常运行产生影响^[1]。

1.2 功能多元且要求严格

交通通行安全以及城市正常运转直接受市政道路排水情况影响, 面对暴雨排水管道须具备强大的过水能力, 迅速把大量雨水排走, 防止城市出现内涝灾害。以沿海城市为例, 台风季节往往会面临强降雨, 高效

的排水管道运行对抵御洪涝灾害至关重要。另外, 排水管道还需承担生活污水和工业废水的收集运输工作, 将此类污水安全地运送至处理设施, 经过净化处理使污水达标后排放, 以实现城市水环境的保护, 这就要求排水管道在材质、密封性及耐腐蚀性上要严格达标^[2]。

1.3 与周边环境相互影响

周边环境和市政道路排水管道相互影响, 从开展施工的角度来看, 开展管道铺设操作时, 会给周边的道路、建筑物与地下管线等造成影响, 如路面沉降与周边建筑物基础破坏可能由沟槽开挖导致。施工过程中还需留意避让现有的供水、燃气、电力等地下管线, 避免造成非必要的损失。若在城市中心区域实施施工, 周边存在密集的建筑物, 施工实际可利用空间狭窄, 施工难度大, 应采用特定的施工工艺与防护措施保障施工效果^[3]。

2 市政道路排水管道施工技术分析

2.1 工程概况

某市政道路排水管道项目位于某城市市中心, 该区域为新开发商业与居住混合区, 区域总面积约为5 km², 规划道路长度为8 km, 排水管道需覆盖全部路段, 设计要求排水管道要满足该区域日常污水排放以及暴雨时每小时50 mm降水量的排水需求, 根据此地现有的地形条件, 排水管道需穿越多条既有的道路与小型水系, 其周边存在若干在建的建筑物, 施工所面临的环境相对复杂。管道设计中采用了管径为600 mm的钢筋混凝土管用于污水排放, 采用管径800 mm的HDPE管进行雨水收集, 将排水坡度设定为0.3%~0.5%, 确保水流的顺畅性。

2.2 施工前准备

施工前准备工作主要包括图纸会审、现场勘查等^[4]。施工图纸作为施工关键依据,施工过程中图纸上的任何错误或不合理都可能引发严重问题,造成工期延误与成本上升,由此应由建设单位组织设计、施工、监理等各方专业人员细致审查排水管道施工图纸。着重审查管道走向是否与周边地形及其他市政设施出现冲突,管径大小是否与设计流量的要求相符,排水坡度是否合理等,就本次工程而言,图纸会审过程中发现一处排水管道设计走向与规划中的地下停车场有冲突,及时与设计单位沟通进行调整,避免了施工时可能出现的返工情形。

施工现场勘查时需对施工区域的地形地貌、地下水位、既有地下管线分布等情况详细调查。本工程利用地质勘查钻机,按照 200 m 的距离间隔设置一个勘探点,确定土壤类型、承载能力等参数,为实施沟槽开挖和基础处理提供相关依据,通过地下管线探测仪来探测地下既有管线,本工程得知施工区域里有一条距离地表 1.5 m 深的供水管道,与排水管道的交叉处水平距离为 2 m,施工过程中可提前制定保护预案,防止施工对该管线造成破坏,按照设计既定的要求,采购符合国家标准的钢筋混凝土管与 HDPE 管,并查看钢筋混凝土管外观,要求管壁无裂缝、孔洞现象,针对每批次抽样钢筋混凝土管做强度检测,保证抗压强度达到 C30 等级,对 HDPE 管在柔韧性及耐腐蚀性上进行检查,抽样进行针对环刚度的测试,环刚度不低于 8 kN/m^2 。

2.3 管道铺设

管道铺设作为排水管道施工的核心环节,直接影响排水系统的运行成效。沟槽开挖施工时,要严格控制沟槽的尺寸和坡度,确定沟槽深度需参考设计管底标高。本次工程中,钢筋混凝土管沟槽深度为 2.5~3 m,HDPE 管沟槽的深度为 2~2.3 m。沟槽宽度的计算采用管道外径加两侧各 0.5 m 工作宽度,以利于管道安装及后续施工操作开展,为实现沟槽边坡稳定,根据地质状况采用 1:0.3 至 1:0.5 的边坡放坡的系数,就土质较好的区域而言,采用 1:0.3 放坡系数,若在土质呈现松软状态的地段,则改成 1:0.5^[5]。

沟槽开挖工作采用水准仪与全站仪进行测量控制,每开挖 5 m 对槽底标高与中心线位置进行一次测量,将偏差控制在 $\pm 20 \text{ mm}$ 以内,当把沟槽开挖至与设计标高相差 20~30 cm 时,进行人工清底操作,防止超

挖对基底土造成扰动现象,在进行基底处理工作阶段,如果基底土软弱,应采用换填处理,换填所采用的深度是 0.5 m,采用级配砂石作为基底换填用料,分层夯实,保证压实度达到 95% 以上的水平。

管道铺设前,再度对管道进行检查,保证管道未出现损坏的情形,通过吊车下管,为管道两端分别系上绳索,利用人工辅助去控制管道走向,将管道缓缓放入沟槽之内,下管时注意管道承插口方向的正确性,使接口连接达到正确标准。在管道铺设的实施阶段,借助水平仪及靠尺检查管道中心线和高程数据,每完成一节管道的安装就测量一次,使管道中心线偏差不得超过 $\pm 10 \text{ mm}$ 的目标,把高程偏差控制于 $\pm 20 \text{ mm}$ 的区间内,相邻管道之间错口控制在 5 mm 以内,保证水流顺畅。

2.4 接口处理

接口处理对排水管道系统密封性与整体性的保障意义重大,若接口处理不当,很容易引发渗漏问题,不仅可能引起水资源的浪费问题,也有可能对周边土壤及地下设施产生损害,影响排水管道的正常运行及使用寿命,采用钢丝网水泥砂浆抹带接口对钢筋混凝土管进行连接,在进行接口作业前,要使用钢丝刷对管口周边 20 cm 范围内的表面开展凿毛操作,除去浮浆、油污之类的杂质,然后借助高压水枪冲洗至干净,使管口表面清洁、粗糙,以提高水泥砂浆与管口黏结力。随后将厚约 5 mm 的一层水泥砂浆均匀涂抹到管口处,此配合比当中水泥:砂=1:2.5,水灰比控制在 0.4~0.5 的数值区间,并将制作好的 $10 \times 10 \text{ mm}$ 规格、丝径 0.9 mm 的钢丝网套在管口处,需使钢丝网与管口边缘对齐,且钢丝网超出管口的长度每侧为 10~15 cm。采取分层涂抹的方式处理水泥砂浆,需严格把每层水泥砂浆的涂抹厚度控制为 10~15 mm,实施涂抹作业阶段,以抹子用力把它压实,使每层砂浆紧密结合,使砂浆总厚度为 30~40 mm。最后对接口表面采取压实、抹光措施,使接口平整又光滑,不存在裂缝、孔洞等缺陷。HDPE 管采用热熔连接的形式进行接口连接,操作时首先将热熔连接焊机预热至既定温度,预热至 210~230 °C 之间,把两根需连接的 HDPE 管分别固定在焊机的夹具中,调整位置使两根管道中心线彼此重合,让错边量保持在管道壁厚的 10% 以内,再把管道的连接部位缓缓送进加热板,加热的时间依据管道壁厚确定,加热过程达到完成阶段后迅速把加热板移走,同时把两根管道按

照 0.1 ~ 0.3 mm/秒速度对接,施加 0.15 ~ 0.3 MPa 的压力,维持压力的时间设定为 3 ~ 5 分钟,使接口部位实现全方位充分融合^[6]。冷却操作进行阶段,维持对接压力不变,避免接口出现松动情形,冷却时间结束的时刻,拆除夹具检查接口外观,要求接口处不出现变形、气泡、裂缝等各类缺陷,焊缝翻边宽度均匀,高度为管道壁厚的 0.3 倍至 0.5 倍区间。

2.5 闭水试验

闭水试验是检验排水管道密封性与排水能力的关键,其能够借助迅速发现管道与接口处的渗漏问题,采取相应的举措做整改,保障排水系统投入使用后可实现正常运转,试验参数如表 1 所示。

表 1 闭水试验参数

类别	参数
管径	600 mm (钢筋混凝土管)、 800 mm (HDPE 管)
管材	钢筋混凝土管、HDPE 管
注水浸泡时间	1 ~ 2 天
渗水观测时间	不少于 30 min
试验水头维持方式	持续补水保持恒定
允许渗水量标准	本次管径钢筋混凝土管允许 渗水量 0.12 L/(min*m)
合格判定依据	渗水量不超允许值
不合格处理方式	查找渗漏点,修补后重测

开展闭水试验前,应保证施工现场符合以下条件:管道及检查井外观质量合格,不存在裂缝、孔洞这类缺陷;用砖砌手段对管道两端进行封堵,经规定封堵墙厚度为 24 cm,进而用水泥砂浆进行抹面工作,使封堵达到严密牢固的要求,为下游管堵设置直径 50 mm 的放水管与阀门装置,使管堵能承受试验压力。

试验按照从上游至下游的路径分段开展,从而实现水资源节约。先进行注水浸泡事项,试验段上游管内顶上 2 m 设为闭水试验水位,采用水泵让水灌到接近上游井口的高度水平,在注水操作阶段,委派专人对管堵、管道、井身进行检查工作,若发现有漏水以及严重渗水现象,应立刻暂停注水活动,进行修复。经过 1 ~ 2 天对管和井的浸泡后,开始进行闭水试验,把水灌注至试验管段满溢后,记录试验管段此刻的初始水位,计时从试验水头达到规定水头时起开始,观

测管道当前的渗水量数值,在观测过程中,要不间断地为试验管道加水,保持试验水头的恒定。以井内水面下降的数值为参照计算渗水量,若渗水量未超过规定的允许渗水量界限,则判定该段管道闭水试验为合格;若渗水量突破了允许范围,得查找渗漏位置,修补后再次开展闭水试验,直至合格。

2.6 效果分析

从排水能力方面来看,经对本工程实际运行进行监测,在暴雨天气降水量每小时 50 mm 的情况下,排水管道能把雨水及时、顺畅地向外排出,始终让路面积水深度保持在 5 cm 以内,未出现因排水不畅引发的交通堵塞或内涝情形,充分满足了该区域排水设计的相关要求。由闭水试验结果可知,各试验段管道的渗水量皆远低于所允许渗水量,说明接口处理效果良好,管道不存在渗漏情形,有效避免了污水因泄漏对周边环境造成的污染。经三个月时段运行后,管道基础进入稳定阶段,不存在如沉降、变形等问题,管材亦未出现明显的腐蚀、破损迹象,质量符合设计要求。

3 结束语

本研究系统分析了市政道路排水管道施工技术各个环节的质量控制要点,通过加强施工前准备、控制管道铺设质量、妥善处理接口等措施,可有效提高工程质量和施工效率,取得良好的施工效果。这些施工技术与质量把控措施可以为今后同类条件的市政道路排水管道工程建设提供有价值的参考。未来,相关人员应不断探索更加先进、环保且高效的施工技术,以应对城市快速发展带来的各种新挑战。

参考文献:

- [1] 刘诗超.市政道路排水管道施工技术之研究[J].城市建设理论研究(电子版),2025(03):189-191.
- [2] 熊文.市政道路排水管道施工技术要点分析[J].散装水泥,2024(06):53-55.
- [3] 张耀辉.浅谈市政道路排水管道施工技术要点[J].居业,2024(11):58-60.
- [4] 于龙波,武瑞菲.市政道路排水管道沟槽开挖及支护施工技术研究[J].北方建筑,2024,09(05):105-108,113.
- [5] 樊晓军.市政道路排水施工技术分析[J].四川建材,2022,48(07):178-179.
- [6] 陈林.市政排水管道安装施工关键技术[J].四川建筑,2022,42(02):319-320.

土木工程施工技术的创新及发展研究

刘 洋

(佳邦建设集团有限公司广西分公司, 广西 南宁 530200)

摘 要 随着我国社会的不断发展, 各类土木工程项目越来越多, 施工技术水平也得到了不断的突破和发展。对土木工程施工技术进行创新和探索有利于提升建筑施工水平, 在提高社会效益的同时获得更高的经济效益。本文介绍了土木工程施工技术中常见的基坑支护技术、预应力技术、混凝土技术和钻孔灌注技术的创新, 探讨了土木工程施工技术未来在绿色化、智能化、模块化和自动化等方面的发展, 以期为推动土木工程建筑行业的长远发展提供有益参考。

关键词 土木工程; 基坑支护技术; 预应力技术; 混凝土技术; 钻孔灌注技术

中图分类号: TU74

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.19.039

0 引言

随着社会经济的不断发展, 建筑行业日新月异, 同时, 社会各界对土木工程的要求也日益提高。为了进一步提升工程项目的质量和水平, 让土木工程更好地为社会和大众服务, 相关单位和从业人员必须对传统的施工技术进行优化创新, 解决现阶段施工技术中存在的各种问题, 不断提升施工效率和效果, 减少资源消耗和环境污染。本文深入探究了土木工程施工技术的创新和发展趋势, 旨在推动各类施工技术实现突破和变革, 进而带动整个建筑施工行业长远发展。

1 土木工程施工技术的创新

1.1 基坑支护技术创新

对于土木工程而言, 基坑施工尤其是深基坑的处理具有很大的难度, 必须通过加固和支挡来确保地下结构和基坑周边环境的稳定性。随着建筑物的高度越来越高, 深基坑支护施工也逐渐受到各方的重视。

随着技术的不断发展和突破, 目前常用的基坑支护形式有很多种, 如墙撑式支护结构、桩撑式支护结构、单/双排桩悬臂桩支护、复合土钉支护等^[1]。在选择基坑支护方式时, 要综合考虑施工现场的地质、水文条件以及项目的具体要求进行创新施工。例如: 近年来有部分施工项目引入了防渗墙技术, 有效提升了基坑支护施工的效能, 推动了技术的进一步创新。针对部分特殊的地质地形, 如开挖深度较大但岩土结构不稳的基坑, 施工单位可以利用并强化桩锚支护的设计效果, 提升支撑性能。在进行施工设计和计算时, 施工单位要充分借助信息技术, 构建计算模型, 将相

关参数录入模型中, 并开展简图计算和模拟测试, 评估每一种支护方式的可靠性。针对传统施工时所采用的结构荷载法, 相关人员也要进行优化和调整, 尽量缩小支护结构设计受力值与实际受力值之间的误差, 确保施工方案的可行性。

1.2 预应力技术创新

预应力技术在高层建筑施工中应用广泛, 主要用于加固, 能够有效提升建筑结构的稳定性和持久性。一般来说, 预应力技术分为三大类, 即先张法、后张法和体外预应力法, 三者的施工顺序和流程各有不同。先张法是先张拉钢筋, 再进行混凝土浇筑; 后张法则是先浇筑混凝土, 并在混凝土结构中预留孔道用于张拉钢筋。对于既有建筑来说, 先张法和后张法都无法应用, 只能采用体外预应力法, 即在构件外设置预应力钢筋。根据技术特性, 体外预应力法又分为无粘结预应力和有粘结预应力技术^[2]。无粘结预应力施工中钢筋和混凝土之间没有粘结, 完全依靠锚具传递张拉力, 具有操作便捷, 力量损失少等优点。有粘结预应力施工中钢筋和混凝土存在直接的接触, 能够减少由张拉力引起的摩擦。

1.3 混凝土技术创新

混凝土技术是土木工程项目中的常用技术, 而混凝土的实际应用存在诸多要求。例如: 混凝土浇筑或养护不当, 容易出现裂缝; 混凝土配比设计不当, 其强度可能达不到工程要求。总之, 当前的建筑项目对混凝土技术的要求越来越高, 必须对其进行创新才能提升土木工程质量。

混凝土技术与所使用的材料息息相关,当前混凝土技术创新主要包括预制混凝土构件、自密实混凝土、高性能混凝土等^[3]。预制混凝土构件是一种预制技术,将项目所需的混凝土构件提前在工厂进行设计、生产和加工,然后运输至施工现场直接使用。该技术的优势在于减少了现场浇筑等流程,提升了施工效率;预制构件的生产流程规范,构件质量更符合工程要求等。自密实混凝土在配合时采用了一种特殊掺和料,让混凝土自身的密实度明显提高,解决了传统混凝土渗水问题。自密实混凝土能够很好地控制混凝土的黏度,提升其耐久性和可靠性。高性能混凝土能够改善材料的力学性能,从而提升混凝土结构的强度。当前高性能混凝土的应用日益广泛,各类建筑、路桥施工都可以使用,能够有效降低施工成本,让结构更具抗裂性和耐久性。

1.4 钻孔灌注技术创新

钻孔灌注技术主要用于地基处理,即指利用人工或机具在地基上钻出桩孔,然后将混凝土或钢筋材料灌注其中形成桩基的一种技术。钻孔灌注技术能够有效提升地基对建筑物的承载能力,让项目更加稳固可靠。加强对钻孔灌注技术的创新,能够进一步提升土木工程的质量。

钻孔灌注技术主要分为两部分,即钻孔和灌注。在钻孔技术方面,传统的施工方式是通过机械进行钻孔,存在一定的问题,如噪声过大等。对此,施工单位可以在机具上进行创新,采用无振动钻机技术或无循环旋挖钻进工艺,振动小、噪声少,且适合各种不同的地形结构,有效减少了施工行为对周边环境的不利影响^[4]。在注浆灌注方面,传统的注浆方式通常采用人工或机械开展,容易出现注浆不匀、效率低下、浪费材料等情况。对此,施工单位可以采用自动注浆这一高科技系统,该技术通过数字化控制,能够实现对接浆量、注浆速度的精准控制,确保注浆质量符合施工要求。

部分工程项目为了确保混凝土灌注桩的稳定性,会对其进行进一步的加固。传统加固材料是钢筋混凝土,但在加固效果、施工效率等层面存在不足。当前,抗拉强度高、抗腐蚀的纤维增强聚合物成为新型加固材料。

2 土木工程施工技术未来的发展趋势

2.1 绿色化发展

近年来,我国建筑施工行业得到了长足的发展,随之而来的就是严峻的环境问题。在一定程度上,建

筑施工活动造成了十分严重的环境污染与破坏,例如施工过程中产生的建筑垃圾造成土壤和水源的污染,施工行为带来的大气和噪声污染,各类建筑材料的生产、加工和使用造成的资源浪费和环境破坏等。在这一背景下,绿色建筑理念被提出并受到了广泛的认同。

想要在建筑施工活动中实现人和自然的和谐相处,就要将节能环保、保护生态的理念贯穿至土木工程施工的每一个环节,在考虑经济效益和社会效益的同时,将生态效益纳入其中,最大程度降低环境污染、资源耗损和能源消耗。

具体来说,相关单位和从业人员可以从以下几个方面入手:

第一,采用节能环保施工材料。绿色生态的施工材料通常有两个层面的含义:一是生产加工过程中不会或尽量少造成环境污染的施工材料;二是由废弃物循环利用或者未来可以二次利用的施工材料。在开展土木工程时,相关单位要尽可能多地使用新型环保材料,减少环境污染和资源浪费情况的出现,同时要尽量提升材料的实际利用率,减少浪费行为。

第二,采用绿色生态施工技术。要不断推动土木工程施工技术的绿色化创新,精简和优化施工流程,降低对生态环境的负面影响^[5]。在设计和施工过程中,要将自然资源的利用最大化,例如在设计照明采光系统时,要加强自然光的应用,减少人造光源。

第三,强化施工行为的管理效能。在施工管理时,要将生态环保的理念贯彻始终,做好施工噪声、建筑垃圾等污染源的管理工作,确保设备和工艺不会造成环境负担,尽量减少能源消耗,减少碳足迹。

2.2 智能化发展

当前,在开展土木工程施工时,信息技术的应用越来越频繁,这使得施工流程的信息化水平越来越高。例如:在开展工程量计算和施工管理时,利用BIM技术构建3D、4D乃至5D模型,将整个施工设计方案和进度控制、成本控制融入同一个模型之中,实现动态化的全过程管理,不仅提升了施工方案的可视化水平,还提升了工程进度控制和成本控制水平,让土木工程施工更加具有科学性和实效性。除BIM技术以外,越来越多的新兴技术也逐渐融入施工活动之中,推动施工技术朝着智能化方向持续发展。

进入5G时代后,引入土木工程智能化技术的企业越来越多,如无人机技术、传感技术、人工智能技术等,在一定程度上颠覆了传统的施工理念^[6]。以人工智能

技术为例,人工智能能够显著提升整个工程项目的协同性和智慧性,对施工方案、流程和规划进行优化调整,结合施工现场的环境因素和建设目标,自动进行施工方案和计划的优化调整,在提升施工效能的同时,减少人力物力等成本投入。此外,人工智能还能够实现对整个施工现场的实时监控和管理,对风险因素进行监督预警。例如:监控每个施工人员的行为特征,判定其施工操作的合规性和安全性,针对错误施工行为进行识别和应对。

智能化技术在土木工程施工中的应用前景十分广阔。一方面,随着技术的不断成熟,其应用成本将会大幅降低,让更多建筑施工单位能够承担并乐于应用;另一方面,智能技术在改善施工效能上具有极大的优势,不仅应用场景多元,还能够极大地降低人工失误的概率,提升施工流程的规范性和一致性。

2.3 模块化发展

模块化是未来土木工程施工的重要发展方向,其是指将建筑项目分割为一个个独立的模块,单独进行生产、加工和组合,采用预制构件装配的方式进行施工。模块化的优势很多:

首先,模块化能够让设计和制造更加紧密地联系在一起。在传统的土木工程施工中,设计和制造是完全分开的,彼此之间的信息流通并不密切,不仅工作效率低下,配合度也不够高。随着模块化施工的普及,设计和制造成为工序连通的两个环节,施工所需的预制构件首先进行数字化设计,然后将设计图纸投入生产线之中,确保所生产的构件与设计施工需要完美契合,能够有效降低误差概率,减少重复性劳动,提升施工效率^[7]。

其次,模块化能够实现工艺的创新和优化。模块化施工的关键在于提升预制构件的质量和精细度,模块结构设计越科学,应用范围就越广泛。因此,模块化很大程度上推动了工艺的创新和优化,让 3D 打印技术、激光切割技术、新材料技术逐步融入生产工艺之中,显著提升构件的质量和可靠性。

最后,模块化使得工程维修和养护更加简单。对于很多工程项目来说,维修和养护是一项难度较高的工作,很多结构都紧密连接在一起,牵一发而动全身。模块化施工的优势在于,任何一个模块出现损坏情况,只需要更换该模块即可,不需要改动其他部分。同时,规范化、统一化的生产使模块的采购和更新更加便捷。

2.4 自动化发展

当前已经有诸多领域开始应用自动化技术,如机械制造业等。在土木工程施工中,自动化技术也具有广阔的发展前景。事实上,自 20 世纪 70 年代起,自动化技术已经开始应用在施工作业之中,用于减少人工失误,提升施工效率。随着计算机技术、电子技术与自动化技术的深度结合,当前的施工自动化水平已经有了大幅提升^[8]。例如:在进行混凝土浇筑时,利用自动化设备就能够实现自动浇筑,并根据提前设定的参数和程序控制浇筑的速度和厚度。从理论上来说,自动化技术可以应用在各种机械设备中,包括挖掘设备、起重设备等,减少人工的参与,降低施工过程中的风险因素。此外,自动化技术还能够用于测绘、设计等环节,为土木工程项目提供更加精准的数据和更加可靠的方案。自动化技术与智能技术、物联网技术进行深度融合,可打造无人化的智慧工地。

3 结束语

传统的土木工程施工技术在实际应用中存在各种各样的问题,如施工效率低、施工效果不佳、造成环境污染和破坏等。为了提升土木工程的经济效益和社会效益,相关单位和人员需要不断进行施工技术的创新和突破,改变传统施工技术中的弊端。引入先进的技术和机具,树立现代化的施工理念,从而有效提升施工效果,提高建筑项目的稳定性、安全性和可靠性。

参考文献:

- [1] 牛中元. 土木工程结构设计 with 地基加固施工技术实践[J]. 石材, 2023(11):47-49.
- [2] 钟水兵. 土木工程施工技术中存在的问题与创新[J]. 建设科技, 2023(18):104-106.
- [3] 周宇程, 孙恩阳. 土木工程技术创新研究[J]. 房地产世界, 2022(13):98-100.
- [4] 王逊. 土木工程技术创新及发展分析[J]. 居舍, 2022(04):88-90.
- [5] 叶活力. 土木工程中节能环保技术探析[J]. 中华建设, 2023(09):114-116.
- [6] 白文生. 基于智能化土木工程技术创新运用[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2023(02):110-112.
- [7] 文明球, 段龙生. 建筑土木工程施工技术要点及其创新应用[J]. 居舍, 2021(30):79-80.
- [8] 李德钰. 试论关于土木工程技术创新与前景[J]. 居舍, 2021(14):37-38, 58.

高层建筑墙体裂缝的成因及预防措施

杨超

(安徽兴慎工程建设管理有限公司, 安徽 阜阳 236226)

摘要 本研究针对高层建筑墙体裂缝问题,系统分析了外荷载作用、温度应力、材料收缩及施工缺陷等主要成因,并提出综合防治策略,旨在为提升高层建筑结构安全性与耐久性提供理论依据与实践参考。研究发现,裂缝的产生多由荷载分布不均、温差引起的体积变化、材料性能不足以及施工质量控制疏漏等因素叠加所致。通过优化荷载分布与配筋方案,合理设置伸缩缝并强化地基处理;材料方面选用低水化热水泥、优化混凝土配合比并掺加纤维增强材料;施工过程中严格管控模板安装、混凝土浇筑振捣及施工缝处理等关键环节,可有效降低裂缝风险。

关键词 高层建筑; 墙体裂缝; 强迫位移; 温差; 混凝土硬化收缩

中图分类号: TU978

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.19.040

0 引言

在高层建筑的建设与使用过程中,混凝土墙体裂缝问题不容忽视,其往往是在荷载、环境、材料特性等多种复杂因素综合作用下产生的。鉴于裂缝成因的多样性和复杂性,仅从单一角度去考察和评估显然是不充分的,这可能导致对裂缝成因的误解和治理措施的偏差。因此,我们需要从多个维度全面、深入地探究混凝土裂缝形成的根本原因,从而制定出更加科学、有效的治理方案,确保建筑的完整性和安全性。鉴于此,本研究从负重、变位、温度、收缩、设计和施工等多个角度,系统分析了高层建筑墙体裂缝的成因。

1 高层建筑混凝土墙体裂缝的产生原因

随着城市化进程的加速,建筑工程规模日益扩大,高层建筑成为社会关注的焦点。墙体裂缝不仅损害了建筑的外观和使用感,更可能成为安全风险。高层建筑混凝土墙体裂缝的成因多种多样,主要涉及以下几个方面。

1.1 受外荷载作用

当高层建筑受到静荷载或动荷载的直接应力作用时,墙体会受到相应的压力和拉力^[1]。如果荷载超出了墙体的设计承载能力,混凝土墙体就可能产生拉伸应变。当混凝土墙体所承受的应变值超出其极限拉伸能力的阈值时,墙体便会出现裂缝。

1.2 强迫位移造成的裂缝

首先,强迫位移会导致混凝土内部应力的变化。在高层建筑中,外部荷载的施加使得结构产生变形,而这种变形往往呈现不均匀的特性。这种不均匀变形的特性进一步导致混凝土内部应力分布的不均衡,引

发局部应力集中现象。当混凝土所承受的应力超出其承载极限时,裂缝便有可能形成。特别是当墙体受到弯曲、剪切或扭曲等复杂应力作用时,裂缝产生的风险会进一步增加。

其次,强迫位移会引起混凝土的微观破坏^[2]。在强迫位移的作用下,混凝土内部的微观结构可能发生变化,如水泥石与骨料之间的粘结力减弱、微裂缝扩展等。微观层面的损伤若持续积累,最终可能演变成宏观上的裂缝。此外,强迫位移还可能加剧高层建筑中其他因素导致的裂缝产生。

1.3 温差产生的裂缝

因为混凝土具有热胀冷缩的特性,因此温差在高层建筑中会使混凝土墙体产生裂缝。当环境温度发生变化时,混凝土墙体会相应地产生体积变化^[3],进而引发内部应力的变化。具体来说,当温度升高时,混凝土墙体会发生膨胀,而当温度降低时,则会发生收缩^[4]。如果这种温度变化过于剧烈或频繁,墙体的体积变化可能会超出其承受能力,从而导致裂缝的产生。特别是在季节交替或昼夜温差较大的情况下,混凝土墙体更容易受到温差的影响。

1.4 混凝土硬化收缩造成的裂缝

首先,在混凝土硬化的初始阶段,鉴于其固有的物理特性,水泥与水之间的水化反应以及水分的逐渐蒸发,会导致混凝土发生体积收缩现象。但如果收缩过大或分布不均匀,就会在墙体内部产生应力集中,进而引发裂缝。

其次,高层建筑的混凝土墙体通常具有较大的体积和表面积,这使得它们更容易受到硬化收缩的影响。

墙体各部位混凝土硬化速度及收缩量的差异,可能引发墙体内部的不均匀收缩现象。由于混凝土在硬化过程中的不均匀收缩,会在其内部产生拉应力。当这种拉应力累积至超过混凝土自身的抗拉强度极限时,墙体便无法承受这一应力,从而导致裂缝的产生。

1.5 施工不当造成的裂缝

首先,施工过程中混凝土的搅拌、运输、浇筑等环节操作不规范。例如:搅拌不均匀会导致混凝土的质量不稳定,运输时间过长则可能使混凝土的水分过多蒸发,而浇筑过程中如果振捣不充分或过度,都可能导致混凝土内部存在空洞或不密实,进而在硬化过程中产生裂缝。

其次,模板的支设和拆除也是影响混凝土墙体质量的关键因素。如果模板制作不精确或安装不牢固,会导致混凝土在浇筑时受到不均匀的侧压力,从而在拆模后产生裂缝。

1.6 设计不当造成的裂缝

当构造设计不合理时,混凝土墙体的受力性能会受到影响。例如:配筋率过小或箍筋间距过大,都可能导致混凝土墙体的抗拉强度不足,从而在受到外部荷载或温度变化时,墙体容易出现裂缝。

在设计阶段,若未能充分预估和考虑混凝土在硬化过程中产生的收缩变形,将成为一个导致墙体裂缝的关键因素。混凝土的收缩是其固有的物理特性,如果设计未对此进行充分预估和补偿,墙体在收缩过程中可能会产生裂缝。

此外,预应力施加不当也会导致混凝土墙体裂缝的产生。预应力是为了抵消部分荷载而在构件中预先施加的力,如果预应力施加不准确或不合理,可能会使构件在受到荷载作用时产生过大的应力,进而引发裂缝^[5]。

2 高层建筑混凝土墙体裂缝预防措施

2.1 设计方面

1. 荷载准确评估与分布设计:在设计初期,应对建筑物所承受的所受各种力的大小和方向进行细致而全面的评估,包括自重、活载、风载、地震力等。通过对建筑物的静载和动载进行检测,合理设计结构体系,确保荷载在结构中均匀分布,避免局部应力集中。对于特殊部位,如转角、门窗洞口等,应进行加强设计,增加配筋或采用其他构造措施,以提高其抗裂性能。

2. 混凝土强度等级与配合比优化:根据不同结构部位和不同功能需求,选择合理混凝土的强度等级。对混凝土的配合比进行优化设计,降低水灰比,减少

单位用水量,以提高混凝土的抗裂性能^[6]。选用低水化热水泥和优质骨料,减少混凝土中的收缩变形。

3. 温度应力与伸缩缝设置:在设计中充分考虑温度应力对混凝土墙体的影响,特别是在温差较大的地区或季节。合理设置伸缩缝,确保伸缩缝的位置、间距和宽度满足规范要求,以减小温度应力引起的裂缝。对于大体积混凝土或长墙结构,可考虑采用后浇带或跳仓法施工,以减小温度应力和收缩变形。

4. 配筋设计与增强措施:根据结构的受力特点和裂缝控制要求,合理设计配筋方案。增加墙体的拉筋或钢筋网片,以提高其抗裂性能。对于易产生应力集中的部位,如墙角、梁下等,应采取加强措施,如设置暗梁或加密钢筋。考虑使用预应力技术,对混凝土墙体进行预应力施加,以抵消部分拉应力,减少裂缝的产生。

5. 地基处理与基础设计:在设计前进行详细的地质勘察,了解地基的承载能力和变形特性。根据地基条件,选择合适的基础类型和尺寸,确保基础的稳定性和均匀沉降。对于地基不均匀或存在软弱层的情况,应采取地基加固措施,如注浆加固、桩基加固等,以减少地基变形对上部结构的影响。

6. 构造措施与细节处理:在墙体的连接处、洞口四周等易产生裂缝的部位,设置适当的构造措施,如设置止水带、抗裂纤维等。对于外墙保温系统,应合理设计保温层的厚度和材料选择,避免保温层与墙体之间的温差过大导致裂缝。注意施工缝和变形缝的设置和处理,确保施工缝的位置合理、处理得当,避免施工缝成为裂缝的扩展路径。

2.2 材料方面

2.2.1 水泥的选用与控制

1. 水泥品种选择:优先选择低水化热的水泥,如中热硅酸盐水泥或低热矿渣硅酸盐水泥。这类水泥水化热较低,有助于减少混凝土内部温度应力,进而降低裂缝产生的风险。

2. 水泥质量把控:确保所使用的水泥符合国家标准,具有稳定的物理性能和化学性能。对每批进场的水泥进行质量检查,包括检查其凝结时间、安定性等关键指标。

2.2.2 骨料的质量控制

骨料应选用质地坚硬、级配良好的天然砂、碎石或卵石,避免使用含有过多杂质或软弱颗粒的骨料,以确保混凝土的强度和稳定性。

2.2.3 优化混凝土配合比设计

1. 配合比设计原则:根据工程要求、材料性能和使用环境等因素,综合考虑强度、工作性、耐久性等指标,进行混凝土配合比的优化设计。

2. 水灰比控制：降低水灰比是提高混凝土抗裂性能的关键措施。通过减少单位用水量，可以有效提高混凝土的密实性和强度，减少裂缝的产生。

3. 外加剂使用：合理使用外加剂，如减水剂、缓凝剂等，可以改善混凝土的工作性能，降低混凝土内部的摩擦和应力集中，从而减少裂缝的产生。

2.2.4 掺加纤维增强材料

1. 纤维种类选择：可选用钢纤维、聚丙烯纤维等增强材料。这些纤维具有良好的抗拉强度和韧性，能够有效提高混凝土的抗裂性能。

2. 掺加量与分布：根据混凝土的强度和使用要求，确定合理的纤维掺加量。同时，要确保纤维在混凝土中均匀分布，以充分发挥其增强作用。

2.2.5 严格把控材料质量与存储

1. 材料质量检查：对所有进场的材料进行严格的质量检查，包括水泥、骨料、外加剂等，确保所有材料均符合相关标准和设计要求。

2. 材料存储与使用：对易受潮变质的材料，如水泥、外加剂等，应采取妥善的存储措施。在使用过程中，应严格按照配合比进行拌合，避免随意增减材料用量。

2.3 施工方面

2.3.1 施工设计与规划

在项目开始之前，需进行详细的地质勘察和现场调查，确定施工区域的地质条件、气候条件以及周围环境，为施工方案的设计提供基础数据。

2.3.2 模板制作与安装

1. 模板制作的精度：模板制作时，应确保模板的尺寸精确、表面平整，无明显的凹凸和变形。模板的拼接处应使用专用连接件进行固定，确保拼接紧密，防止漏浆现象的发生。

2. 模板安装的稳定性：在进行模板安装之前，必须先对地基进行彻底的清洁和水平调整，以确保模板能够稳固地安放。使用支撑和固定装置将模板牢固地固定在预定位置，防止在浇筑过程中模板移位或变形。

2.3.3 混凝土搅拌与运输

1. 搅拌时间与质量的控制：搅拌作业的时间控制必须严格，以便各种成分能够彻底融合。此外，还需对水泥、骨料和外加剂等原料进行质量审查，以符合设计的具体要求。

2. 运输过程的管理：混凝土在运输过程中，必须采取相应措施避免分层和水分损失，例如用湿布覆盖和定期搅拌等。确保运输设备的清洁和完好，避免混凝土在运输过程中受到污染或损坏。

2.3.4 混凝土浇筑与振捣

1. 浇筑前的准备工作：在浇筑前，对模板进行湿润处理，减少混凝土与模板之间的摩擦力，提高混凝土的附着性。检查钢筋的绑扎情况，确保钢筋位置准确、无松动。

2. 浇筑与振捣的操作：分层浇筑，每层高度根据结构特点和钢筋疏密程度决定控制混凝土自由倾落高度不超过2米，确保混凝土能够充分密实。使用插入式振捣器，快插慢拔，均匀排列插点，确保混凝土中的多余水分和气泡被充分排除，提高混凝土的强度和密实性。

2.3.5 施工缝处理

1. 施工缝的设置：根据设计要求和现场实际情况，合理设置施工缝的位置和数量，避免在受力集中或易产生裂缝的部位设置施工缝。

2. 施工缝的处理措施：在新混凝土浇筑前，应彻底清理施工缝，去除松散物质和灰尘。在施工缝处安装止水带，防止水分渗透。在旧混凝土表面涂刷一层界面剂，增强新旧混凝土之间的粘结力。

3 结束语

本研究从不同方面阐述了高层建筑墙体裂缝的成因，包括受外荷载作用、强迫位移、温差、混凝土硬化收缩以及施工和设计不当，并从多个维度对混凝土裂缝进行了全面而细致的分类，深入地了解了裂缝的特性和成因。在预防措施方面，提出了一系列有效的策略，涵盖了设计、材料和施工方面，特别强调了在设计阶段采用合理的结构方案和质量材料的重要性，以及在施工过程中严格遵守操作规程的必要性。

参考文献：

- [1] 郑国清. 外墙防渗漏施工技术在房屋建筑工程中的应用[J]. 中国住宅设施, 2024(11):1-3.
- [2] 史向楠. 墙体材料检验检测质量分析探讨[J]. 砖瓦, 2024(10):41-44.
- [3] 吴生林, 王群. 住宅精装修工程中的绿色施工及质量控制[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2024(24):109-111.
- [4] 李因旭, 朱传英, 宋博, 等. CL复合墙体非承重混凝土施工质量的影响因素研究[J]. 安徽建筑, 2024, 31(07):163-166.
- [5] 沈巧智. 建筑结构工程质量检测中的无损检测技术分析[J]. 中华建设, 2024(06):175-177.
- [6] 罗凤林. 房建工程中墙体砌筑施工与加固工程研究[J]. 工程建设与设计, 2024(07):206-208.

高地下水位地区输电线路基础施工分析

李 勇

(中国水利水电第七工程局有限公司, 四川 成都 610000)

摘 要 近年来,越来越多的输电线路需要经过高地下水位地区,这给传统的输电线路基础施工方法提出了新的挑战 and 更高的要求。为了保证输电线路在这些复杂环境中的安全性和可靠性,工程技术人员必须结合工程实际情况,采取合适的施工方法和材料,进行科学合理的设计与施工规划。本文探讨了高地下水位对输电线路基础施工的影响因素,分析了现有的施工技术和方法,并提出相应的优化方案,以期的高地下水位地区的输电线路基础施工提供有益的理论指导和实践参考。

关键词 电力基础设施; 高地下水位; 输电线路; 基础施工

中图分类号: TM752

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.19.041

0 引言

在现代电力基础设施建设中,输电线路的稳定性与安全性对整个电网的可靠运行至关重要。然而,在高地下水位地区,基础施工面临着独特的挑战。地下水位的变化不仅影响土壤的承载能力,还可能导致土壤饱和、液化等现象,从而对基础结构的安全性构成威胁。因此,合理的设计和施工管理至关重要。通过详尽的地质勘察、先进的施工技术以及严格的项目管理,可以有效应对高地下水位带来的挑战,确保输电线路的安全与持久性。

1 高地下水位对输电线路基础施工的影响

1.1 土壤承载能力

高地下水位对土壤的承载能力产生显著影响。在水位上升时,土壤的颗粒间隙被水填满,造成土体饱和。这种饱和状态通常导致土壤的有效应力下降,进而降低承载能力。因此,当基础施加荷载时,饱和土的沉降和变形比干燥土更为显著。此外,土壤在高水位条件下更容易发生液化现象。液化是指在瞬间加载(如地震)作用下,饱和土体失去承载能力并表现出流动性的状态。这种情况在松散的砂土中尤为常见,若基础未能充分考虑这一点,可能会在施工后期导致严重的安全隐患,甚至造成基础的失效与坍塌^[1]。

1.2 施工安全隐患

高地下水位直接增加了施工过程中的安全隐患。施工现场水位升高,不仅会造成基坑液化,还可能导致基坑坍塌。特别是在大雨或持续降雨的情况下,地下水位迅速升高,施工团队如果未能及时采取防范措施,基坑的边坡可能会失去支撑,引发意外事故。此外,

高水位可能影响施工设备的稳定性和安全性。重型设备在湿润的土壤上作业时,更容易造成倾斜和搁浅。

1.3 基础设计要求

在高地下水位条件下,基础设计的复杂性显著增加。设计师需考虑水位浮力对基础的影响,这需要基于详尽的地质勘察和水文分析。基础类型的选择至关重要,通常桩基础被认为是解决高地下水位问题的优选方案。桩基础通过将上部荷载传递至更深、承载力更强的土层,降低了浮力带来的潜在风险。除了桩基,广基基础在某些情况下也可以作为选择。然而,其设计必须确保有充足的抗浮力,以抵御水位变化所带来的浮力影响。设计师必须结合具体的地质条件,选择适合的基础形式和材料,确保其在施工和使用过程中具备良好的可靠性。

1.4 施工周期与成本

高地下水位的存在通常会导致施工周期延长,影响项目的总体时间安排。为了控制地下水位,往往需要采取井点降水等额外措施,这不仅增加了施工的复杂性,还会引发施工成本的提升。施工管理者必须在预算中预估这些额外开支,以避免因不可预见的费用增加而影响项目的可行性。

2 高地下水位输电线路基础设计

2.1 桩基础

在高地下水位地区,桩基础是一种广泛应用于输电线路的基础设计方案。桩基础的设计理念是在不稳定的土壤条件下,通过将桩深埋至坚固的土层中,从而实现上部结构荷载的有效承载,避免因土壤饱和或液化而带来的风险。在桩基础的设计过程中,需要

对地下水位变化、土壤的物理和力学性质进行全面评估。这些基本数据不仅影响桩基的数量、长度和直径的计算,还直接关系到后续的施工方案。例如:若在勘察中发现地下水位较高,土壤为松散砂土或黏土,则需设计更长的桩基,并增加桩的数量,以确保充分的承载能力。设计桩基时,浮力的影响是一个必须考虑的重要因素。在考虑到地下水存在时,通过精确计算桩基的实际承载力,设计师需要确定合适的安全系数,以确保桩基在设计使用年限内的稳定性。特别是在大雨或水位突升的情况下,异常浮力可能会造成桩基失稳,因此,合理的桩长和埋深设计至关重要,以避免浮力对桩的影响。高地下水位的环境通常会增加土壤中的化学成分,从而对基础材料造成腐蚀,因此,选择合适的材料(如防腐钢筋或混凝土)可以大大延长结构的使用寿命^[2]。

2.2 广基基础

在高地下水位的地区,广基基础也可以作为另一种可行的基础设计选择,尤其是在土壤条件相对较好、承载力较高的情况下。广基基础的设计强调其占地面积较大,能够通过分散荷载来降低单一面积上的压力,从而提高基础的稳定性与安全性。设计广基基础时,确保其具备足够的抗浮力是关键。抗浮力是指基础能抵抗地下水浮力的一种能力。采用几何优化设计可以增加基础的抗浮能力,同时确保经济性和可施工性。例如:在设计时可以考虑扩大基础的面积与厚度,以增加浮力对基础的不良影响。土壤类型和强度的评估在广基基础设计中同样重要。基础设计应该根据不同的土壤特性进行调整,包括确定基础的埋深和斜坡等设计细节。通过对土壤的全面勘察,工程师能够确定不同土层的适用性,并结合项目实际情况对基础的样式进行合理规划。在某些情况下,可以考虑采用加固措施,如嵌入桩基或进行土壤换填,以提高广基的承载能力和抗浮力^[3]。

3 高地下水位监测与管理

3.1 监测系统

在高地下水位地区进行基础施工,建立健全的地下水位监测系统是至关重要的。通过设置地下水位观测井,施工单位可以定期记录水位变化,及时掌握地下水的动态情况。这些数据对后期的施工方案制定具有指导意义,能够在实施阶段有效预警可能的水位波动,调整施工计划。监测系统应定期由专业人员进行检查和维护,以确保其准确性。此外,结合地质勘察数据,监测系统应当具备自动化功能,能够在水位变

化超过设定阈值时,及时报警并提醒施工团队实施应急措施,以减少潜在的安全隐患。

3.2 排水措施

针对高地下水位环境,有效的排水措施是施工过程中不可或缺的一环。建设井点降水系统是降低施工现场地下水位、确保干燥施工环境的一种便捷有效的方式。井点降水系统通过设置多个排水管道,借助抽水泵排出地下水,降低水位,提供一个相对干燥和安全的施工环境。在实施井点降水时,设计应考虑选择适当的泵送能力,以确保在施工期间能够快速有效地控制地下水位。同时,施工单位还应做好排水设施的日常维护与管理,以避免因设备故障导致的水位恢复过快和施工风险。此外,针对不同土壤和水文条件,施工单位还可考虑结合其他排水措施,如重力排水或化学加固等,以进一步降低地下水位,提供安全的基础施工环境。

4 输电线路工程实例分析

4.1 工程概况

本次研究项目是长三角地区的一条600千伏高压输电线路,起点为某大型变电站,经过城市和乡村,最终连接到另一个重要的变电站。由于项目路径涉及多个高地下水位区域,施工单位面临严峻的工程挑战。长三角地区气候湿润,雨水丰沛,尤其在梅雨季节,地下水位经常处于高位,这对基础施工的安全和质量造成了不小的影响。为了满足电力供应的需求,施工单位需在有限的时间内完成线路基础的建设。同时,该项目还需考虑对周边生态环境的保护,确保施工期间不会对水资源造成污染和生态破坏。

4.2 施工措施

4.2.1 桩基础设计

在项目开始之前,项目团队进行了全面且详细的地质勘察,结果显示大多数施工区域的土层较为软弱,无法直接支撑重型基础设施。为了确保基础具备足够的承载力与稳定性,设计团队决定采用桩基础作为主要解决方案。桩基础的设计和实施涉及多个关键技术措施,确保满足结构安全和使用要求。首先,施工单位选用了强夯法作为桩基施工的主要技术。该方法通过反复对土壤进行夯击,形成密实层,从而有效提升桩基的承载能力。在实际操作中,桩基被打入至5米深的坚实土层,以确保桩基能够获取足够的支撑。这一过程中的夯击次数和夯击重物的选择经过精确计算与优化,以确保桩基的稳定性符合设计要求。强夯法不仅能够快速提升基础的承载性能,还减少了施工期

间可能出现的沉降风险,尤其是避免由于土层不均匀所引起的沉降问题。在施工期间,项目团队使用动态分析软件对桩基的数量及其布置进行了详细的优化。通过这些分析,最终确定了 126 根桩基的数量及其合理的布置方式,以实现最优的荷载分配,确保整体结构的安全性和耐久性^[4]。

4.2.2 水位监测

在项目施工作业启动之前,施工团队在施工现场建立了多点地下水位监测系统。该系统不仅能实时监测不同深度的地下水位,还能将数据显示传输至施工管理中心,便于项目管理人员随时掌握水位动态。为了获得准确的水文信息,围绕施工区域设置了多个监测井,监测井的深度及数量根据施工区域的地质特征和地下水位情况进行了科学安排。这些监测井定期记录水位变化情况,为确定最佳施工时间和施工方法提供了重要依据(数据见表 1)。例如:在某次降雨后,水位迅速上升,施工团队通过监测数据及时得知这一变化,迅速调整施工计划,暂停基础施工,待水位下降至安全范围后再继续作业。此外,在监测过程中,团队能够及时发现异常水位情况,迅速采取反应措施,调整施工方法,确保施工的安全和顺利进行。这种实时监测的做法显著提高了项目的安全性,降低了因突发水位变化而造成的施工风险。

表 1 监测井基本信息

监测井号	深度(m)	初始水位(m)	监测频率(小时)
1	3	1.5	1
2	4	2.0	1
3	5	2.3	2
4	6	2.8	2

4.2.3 井点降水

为了确保施工环境的干燥与安全,施工团队在施工现场布置了多个井点降水设备,确保基坑内始终处于干燥状态。这一措施被证明是确保施工顺利的关键环节,有效降低了地下水位,确保了基坑的施工环境。施工团队采用了多个井点井,结合抽水机制,确保当地下水位过高时能够进行及时抽水。通过连续的抽水操作,将地下水位降至预设水平,以保障基坑的干燥状态。在井点系统的设计和安装过程中,团队基于详细的地质调查结果,考虑了地下水流动的方向、土壤特性和周围环境,以确保系统的高效运行。在施工期间,井点系统经过定期的检查与维护,确保其可靠

性和有效性^[5]。技术人员每日对此抽水系统的运行状态进行监测,并根据天气变化及时调整抽水频率和流量,以适应突发的降雨天气。在抽水过程中,施工团队还设立了污水池,用于对抽水产生的水进行沉淀处理,确保施工污水的排放符合环保法规,减少对周围环境的影响。

4.3 施工效果

经过科学的运营和严格的管理,该项目的基础施工提前完成,并在规定时间内顺利竣工,确保了输电线路的安全与稳定运行。尽管面临高水位的严峻挑战,工程团队凭借先进的施工技术与科学的管理措施,提前完成了基础施工工作。原计划施工周期为 110 天,实际完成周期为 98 天,减少了约 10% 工期,施工期间严格强化安全教育与培训,未发生任何安全事故。所有施工人员经过专业培训,能够熟练操作设备,遵守安全规程。团队还建立了安全监督机制,定期对施工现场进行安全隐患排查,有效降低了因水浸导致的设备损坏和安全隐患的风险。在施工过程中,团队遵循环境保护法规,确保施工不对周边水体造成污染。施工期间设置了专门的环保监督小组,定期检查和评估施工对环境的影响,确保污染物排放符合当地环保标准。根据监测数据,施工结束后周边水质合格率达到 100%。

5 结束语

高地下水位地区的输电线路基础施工充满了复杂性和挑战。然而,通过科学的设计选择、有效的水位监测和管理措施,本研究中 600 千伏高压输电线路工程不仅在安全性和质量上达到了预期目标,还为未来类似项目的建设提供了宝贵的经验和参考。工程师在高地下水位环境中进行基础施工时,需要综合考虑多种因素,以制定科学合理的技术路线与管理方法,从而确保施工的安全与稳定。

参考文献:

- [1] 郑鼎雄,孙彪,刘田珂.贵州某水库枢纽工程大坝填筑施工技术分析[J].水利技术监督,2023(08):202-209.
- [2] 张雄德.水利工程中面板堆石坝坝体填筑施工技术探析[J].黑龙江水利科技,2022,50(01):168-169,177.
- [3] 万超明.水库面板堆石坝工程的渗流设计及监测数据分析:以松阳黄南水库工程为例[J].珠江水运,2023(03):90-92.
- [4] 同[2].
- [5] 黄庆.如何提高水利工程面板堆石坝坝体填筑施工技术[J].建筑工程技术与设计,2023(22):635.

智能化工程中的机电施工安装技术应用研究

张腾飞

(中国通信建设第二工程局有限公司, 陕西 西安 710000)

摘要 为解决智能化工程中机电施工安装面临的技术集成度不高、资源协调困难等核心问题,以BIM协同平台与智能装备应用为例对技术创新路径展开研究。分析结果表明,标准化接口协议可降低异构系统对接成本40%以上,而模块化预制可使现场安装工作量缩减70%。本研究提出建立包含机器可读参数的质量数据库、采用神经安全学原理等优化措施,形成从设计到运维的全链条数字化解决方案。工程实践验证,该体系能使工期缩短12%、返工成本下降40%,可为智能建造背景下的机电安装工程提供可复用的技术框架。

关键词 智能化工程; 机电施工安装; 模块化预制; 数字化解决方案

中图分类号: TU85

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.19.042

0 引言

随着物联网、大数据等新一代信息技术深度渗透,传统机电安装模式在系统集成度、施工精度等方面逐渐暴露出适应性不足的问题。行业数据显示,2023年智能建筑项目中因机电系统协同不足导致的工程变更占比高达37%,直接拉低整体施工效率15%以上。与此同时,“双碳”目标的提出,对机电系统能效提出更高要求,全生命周期碳排放评估成为项目审批的必要条件。在此背景下,研究智能化工程中的机电施工安装技术具有重要的现实意义。本研究聚焦技术集成、智能装备应用等关键环节,探索建立覆盖设计、施工、运维全流程的数字化解决方案,立足于行业最新技术标准,结合典型工程实践,系统分析当前面临的技术瓶颈与管理挑战,旨在为行业转型升级提供理论支撑与实践指导。

1 智能化工程中机电施工安装的核心需求

1.1 技术集成化与标准化的迫切性

现代机电系统已从单一设备堆叠发展为多学科交叉的技术网络,集成化成为突破专业壁垒的必要条件。机械、电气、自动化与信息技术的深度融合要求安装过程打破传统分段式作业,建立跨专业的协同框架。例如:暖通系统的智能调控需要同时处理流体力学参数、传感器布设精度与算法响应延迟的匹配问题,这种多维耦合关系必须通过标准化接口协议实现数据互通。标准化在此过程中承担着双重职能:一方面为异构系统提供统一的通信基础,另一方面通过模块化设计降低后期扩展的兼容成本^[1]。当前技术集成面临的

主要矛盾在于,先进设备的快速迭代与标准体系更新滞后形成的剪刀差。某些智能终端采用私有通信协议,导致与建筑管理系统(BMS)的数据交换需要额外开发转换中间件,这种非标对接不仅增加了15%~20%的调试周期,还会产生难以追溯的隐性故障。相应地,国际电工委员会(IEC)提出的开放式通信架构(如IEC 62443)正逐步成为行业基准,其价值不仅在于技术规范的统一,更在于构建了从设备制造到施工安装的全链条责任追溯机制。

1.2 绿色节能与可持续发展的导向

机电系统的能耗占建筑全生命周期碳排放的40%以上,这使得安装阶段的决策直接影响后期运营的碳足迹。在传统施工中,设备选型往往仅考虑初期采购成本,而智能化工程要求引入全寿命周期评价(LCCA)模型,将安装工艺与未来20年的能源消耗建立量化关联。变频驱动装置的安装间距偏差若超过3%,会导致电磁损耗增加8%~12%,这类隐性能耗只有通过施工阶段的精确控制才能规避。可持续发展导向还体现在资源利用的闭环设计上。预制装配式机电模块较现场加工减少25%的材料浪费,但其推广受限于三维定位精度要求。某超高层项目的管线综合排布显示,采用BIM预装配技术后,管材切割废料率从6.7%降至1.2%,这种效率提升本质上源于安装逻辑从经验驱动向数据驱动的转变。更深层的变革在于,绿色标准正在重塑供应链选择——获得EPD环境产品声明的机电设备虽采购成本提高5%~8%,但因其可回收性设计使拆除阶段的残值提升30%以上。

1.3 智能化运维对安装质量的要求

智能运维系统的预测性维护功能完全依赖于安装阶段埋设的质量数据锚点。振动传感器的安装角度偏差若超过 5° ，采集的频谱数据将无法准确反映设备健康状态；电缆敷设时的弯曲半径不足，会使分布式温度传感（DTS）系统产生 $\pm 2^\circ\text{C}$ 的监测误差。这些细微的安装缺陷在传统工程中可能直至设备故障才会暴露，而智能运维体系要求它们必须在验收阶段被识别。这种质量要求的跃升本质上是将运维需求前置于施工环节。光纤测温系统的安装需考虑后期除尘维护的通道预留，这与传统“先安装后维护”的线性思维截然不同。更关键的是，安装质量评价标准从“符合规范”升级为“可数字化诊断”，如某数据中心冷冻水系统的焊口合格率虽然达到 99%，但未做内壁粗糙度标记的管段却使水流噪声干扰了超声波流量计的读数精度^[2]。该新型质量维度表明，智能化时代的安装验收需建立包含机器可读参数的质量数据库，而非仅保留人工检查记录。

2 机电施工安装的技术创新路径

2.1 数字化工具在施工中的应用

建筑信息模型（BIM）技术已从设计阶段延伸至施工全流程，其价值在机电管线综合排布中尤为显著。三维激光扫描仪能以 $\pm 2\text{ mm}$ 精度捕捉建筑实体空间数据，通过与 BIM 模型的自动比对，可识别出 90% 以上的管线碰撞问题。这种数字孪生技术的应用使施工变更率降低 40% 以上，但真正的突破在于改变了决策机制，传统依赖二维图纸的协调会议，正被基于混合现实（MR）的沉浸式校审所替代。施工人员通过头戴设备可直接观察虚拟管线与实体结构的叠加状态，这种可视化交互将设计意图传递效率提升 3 倍。数字化工具带来的深层变革体现在施工管理维度。进度管理软件如 Primavera P6 不再仅作甘特图绘制，而是通过物联网设备采集的实时施工数据，自动计算关键路径变化对整体工期的影响。当某区域机电安装滞后时，系统能立即重新优化材料配送路线与班组调度方案^[3]。这种动态响应能力使项目平均工期缩短 12%，更重要的是建立了“数据—决策—执行”的闭环控制体系。施工日志的电子化填报则形成了质量追溯的数据链条，每个焊接点的工艺参数、操作人员资质及环境条件都被永久记录，为后期运维提供原始依据。

2.2 智能装备与自动化施工方法

机电安装机器人正在改写高空、狭小空间等危险区域的作业规则。缆线自动敷设机器人可沿预设轨道

完成桥架内 90% 的线缆排布，其机械臂末端的力反馈系统能精确控制牵引张力在 $\pm 5\text{ N}$ 范围内，避免传统人工拉线造成的绝缘层磨损。更革命性的变化发生在装配环节，管道焊接机器人通过激光视觉定位，将法兰对接错边量控制在 0.3 mm 以内，这是人工操作难以企及的精度水平。这些智能装备不仅提升了效率，更关键的是消除了人为因素导致的质量离散性。自动化施工方法的创新体现在工艺链的重构上。预制模块化机房采用工厂化生产模式，将现场安装工作量减少 70%，但要求施工方重新设计运输吊装方案。某超高层项目开发的液压同步提升系统，可实现总重 200 吨的机电模块在 300 m 高空的一次性就位，其定位精度达到 $\pm 3\text{ mm}$ 。这种变革使得传统“分段施工、逐层调试”的流程被颠覆，取而代之的是“整体吊装、即插即用”的新型模式。自动导引运输车（AGV）在大型机房中的应用则解决了重型设备搬运的痛点，通过 UWB 精确定位，可将 10 吨级冷水机组沿预定路径运送到指定位置，定位误差不超过 10 mm 。

2.3 新材料与新工艺的引入

石墨烯改性防腐涂料将机电设备的防护周期从 5 年延长至 15 年，其机理在于二维碳材料形成的致密阻隔层，能使腐蚀速率降低 80%。这种纳米材料的应用直接改变了传统防腐施工工艺——不需要多层涂刷作业，单次喷涂 $30\text{ }\mu\text{m}$ 厚度即可达到《色漆和清漆防护涂料体系对钢结构的防腐蚀保护》（GB/T 30790.5-2014）标准要求的防护等级。在电气安装领域，超导电缆的引入使得同等输电容量下，电缆截面面积减少 60%，这彻底重构了电缆沟的设计标准与安装空间需求。新工艺的创新往往伴随施工范式的转变。冷缩式电缆终端头安装技术摒弃了传统热缩工艺需要的明火作业，采用预扩张的硅橡胶材料在解除束缚后自动收缩密封^[4]。这种工艺不仅将安装时间缩短了 50%，更消除了施工现场的火灾隐患。在管道连接方面，无焊法兰连接系统通过超高强螺栓与金属密封环的组合，实现承压 4.0 MPa 的免焊连接，其气密性测试泄漏率小于 0.001%。这些创新都在重新定义机电安装的技术经济指标，不是对原有工艺的改良，而是创造新的技术可能性。

3 施工组织与管理的优化策略

3.1 跨专业协同机制的构建

传统分段式管理模式在应对机电系统深度耦合时暴露出严重缺陷，暖通、电气、给排水等专业各自为政导致的接口冲突约占工程变更总量的 35%。基于 BIM

的协同设计平台通过建立统一的空间坐标系,使各专业模型实时碰撞检测成为可能,但真正的突破在于配套建立的“设计—施工”责任矩阵。该矩阵明确规定管线综合排布中主导专业与配合专业的权责边界,例如:电气桥架与消防管道的交叉处,优先权判定不再依赖临时协调,而是依据预先制定的空间占位规则。更深层次的协同创新体现在组织架构变革上。例如:某大型综合体项目采用的一体化项目管理团队(IPMT)模式,将各专业工程师集中办公,通过每日15分钟的“站立式协调会”解决界面问题。这种机制使决策链条从原来的72小时缩短至4小时,关键在于建立了问题分级响应机制,常规冲突由专业组长现场裁决,系统性问题则触发专家组的快速响应。相应的绩效考核体系也调整为以系统完整性而非单一专业进度作为评价基准,这种导向转变使得各专业主动考虑接口预留的积极性提升40%以上。

3.2 施工进度与资源调配的精细化管理

传统进度计划的关键路径法(CPM)在应对机电安装动态变化时显得力不从心,其根本缺陷在于将资源供给视为无限条件。基于约束理论(TOC)的缓冲管理技术通过设置项目缓冲、接驳缓冲和资源缓冲三层防护体系,使进度计划的抗干扰能力提升60%。在具体实施中,采用逆向排程法确定各子系统的最迟开始时间,再根据资源波动系数动态调整缓冲区间大小,这种弹性计划机制成功将因材料延误导致的工期损失降低了75%。资源调配的智能化升级体现在物流系统的重构上。基于UWB定位技术的物资追踪系统能实时监控每批管件、阀门的进场与领用状态,通过与BIM模型的关联,可预测未来72小时的物料需求缺口。例如:某数据中心项目采用的无人仓管理系统,通过重量传感器与RFID标签的配合,实现了标准件库存的自动预警与补货,使仓储占用面积减少30%的同时,保障了99.5%的即时供应率。更深层的变革是人力资源的弹性配置,技能矩阵数据库将每位施工人员的资质、效率系数及协作经验量化,在工序转换时自动匹配最优班组组合,这种动态调度使人工效能提升了25%。

3.3 安全与质量管理的强化措施

传统安全管理的事后追责模式难以应对高空作业、带电操作等机电安装特有的风险组合。行为安全观察(BBS)系统通过预设28类高风险行为的识别标准,使现场安全员能进行结构化巡查,但真正的预防机制在于引入神经安全学原理。通过分析事故前30分钟的

人员生理指标波动规律,建立的疲劳预警系统可提前15分钟发出干预信号,这种前馈控制使人为失误导致的事故下降55%。同时,智能安全帽配备的AR界面能实时显示作业区域危险源分布,通过视觉警示将违章操作率控制在0.3%以下。质量管理体系的革新聚焦于过程参数的数字化管控^[5]。焊接质量监控系统不仅记录电流电压参数,还通过声发射技术捕捉熔池形成的特征频率,建立焊缝质量与工艺参数的映射关系。这种基于大数据的过程能力分析,使关键焊口的一次合格率从92%提升至99.7%。更系统的变革是引入质量门禁(Quality Gate)机制,在每道工序交接点设置包含17项量化指标的放行标准,只有全部参数达标才能解锁下一工序的施工权限。这种硬性阻断机制有效解决了传统质量检查流于形式的问题,使返工成本降低了40%以上。

4 结束语

智能化转型正在重塑机电施工安装的技术体系与管理范式。研究发现,技术集成化需求推动着开放式通信标准的普及,智能运维要求倒逼安装精度提升两个数量级。数字化工具与新材料工艺的结合,使传统施工模式发生根本性变革。当前取得的突破包括建立跨专业责任矩阵、开发动态缓冲管理算法等关键技术,这些成果有效解决了接口冲突与资源错配等行业痛点。未来,随着数字孪生与区块链技术的深度融合,机电安装将向自治式管理模式演进,这需要行业在标准统一、人才培养方面做好充分准备,本研究构建的优化体系为此过程提供了实践路径。

参考文献:

- [1] 付康. 智能化技术在地铁项目机电安装及装饰装修施工安全管控中的应用探究[J]. 张江科技评论, 2024(10): 93-95.
- [2] 周欣伟, 岳泽龙, 卢豪, 等. 建筑智能化机电设备安装施工技术要点[J]. 四川建材, 2022, 48(12): 199-201.
- [3] 王柏柱, 刘家赫, 陈承超, 等. 现代建筑工程施工中的智能化机电设备安装技术[J]. 智能建筑与智慧城市, 2021(06): 130-131.
- [4] 胡舒杰. 计算机技术发展下的智能建筑的安装质量控制[J]. 卫星电视与宽带多媒体, 2020(08): 31-32.
- [5] 魏伟. 智能化工程中的机电施工安装技术应用探析[J]. 装备维修技术, 2020(02): 234.