

科海故事博览

KEHAI GUSHI BOLAN

(旬刊·1993年创刊)

2025年6月 第17期 (总第606期)

主管: 云南省科学技术协会

主办: 云南奥秘画报社有限公司

编辑委员会: (按姓氏笔画为序)

马成勋 卢 骏 刘 杨 李 鹏

杨 璐 张 乐 陈贵楚 陈 洋

莫德姣 夏文龙 韩梦泽 蔡 鹏

社长、总编: 万江心

社长助理: 秦 强

编辑部主任: 张琳玲

编辑: 周 墾 官慧琪 吴彩云

美术编辑: 王 敏

运营: 李瑞鹏

外联: 张娅玲

出版: 云南奥秘画报社有限公司

地址: 云南省昆明市护国路 26 号

邮编: 650021

编辑部电话: 0871-64113353 64102865

电子邮箱: khgsblzz@163.com

网址: <http://www.khbl.net>

国际标准连续出版物号: ISSN 2097-3365

国内统一连续出版物号: CN 53-1103/N

广告经营许可证: 5300004000063

运营总代理: 云南华泽文化传播有限公司

印刷单位: 昆明滇印彩印有限责任公司

邮政发行: 中国邮政集团有限公司云南省分公司

邮发代号: 64-72

出版日期: 2025年6月15日

定价: 人民币15元

版权声明:

稿件凡经本刊采用, 如作者无版权特别声明, 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

科技博览

- 001 仪表电磁阀回路电流监测方法应用探究 李德辉
004 市政道路管线施工技术协调控制研究 张云鹤
007 基于有限元分析的装配式钢结构抗震性能研究 王凯凯, 孙 超
010 防渗漏施工技术在房屋建筑施工中的应用策略 袁航生
013 基于人工智能的天然气管道泄漏智能识别技术研究 宋国良, 程相如

智能科技

- 016 变电站电气柜搬运设备智能化设计研究 宋 维, 魏耀轲
019 智能控制技术在工程机械操作中的应用分析 何 毅
022 客运索道智能化监控系统设计与实施效果评价 高正翔, 兰 俊, 周 翰
025 建筑电力系统智能化改造方案及实施效果评估 孙希省, 曹国存
028 智能化日志对比在信息系统检修评估中的应用研究 邢 骏, 蔡小雨, 郭志勇, 王綦铄
031 BIM 技术驱动的装配式建筑施工误差智能修正系统设计 李 青

应用技术

- 034 高层建筑混凝土施工技术要点 乔稳增, 裴金丽
037 建筑工程混凝土开裂防治策略探讨 路 伟
040 软土路基换填碎石土施工技术分析 刘 雷

目录 contents

043	框架剪力墙结构建筑施工技术应用研究	董景跃
046	建筑工程混凝土及后浇带施工关键技术应用	单文莉
049	绿色节能施工技术在房屋建筑工程中的应用	朱运祥
052	绿色建筑施工技术在建筑工程中的应用探析	田正昆
055	建筑给排水施工中的管道安装问题及其优化对策	陶丽

科创产业

058	聚乙烯生产工艺技术分析	张洪磊
061	新型材料在道路边坡防护中的应用	魏天宇
064	除盐水系统运行稳定性提升策略探讨	景帅旗
067	绿色建筑电力系统的集成与优化策略研究	任长城, 张锐
070	地源热泵与传统供热系统的联合运行优化策略研究	韩绍喜
073	基于 RFID 与区块链的建筑材料供应链溯源管理技术研究	管勇
076	智能安全监控系统在机械制造车间电气安装中的应用研究	陈学虎, 刘于超, 郑立佳
079	电气自动化监控与诊断技术在冶金行业无损探伤设备中的应用	曹玉涛, 周艺丹, 刘琳琳

技术管理

082	市政工程勘察重难点及注意事项	李龙
085	公路工程中软土路基施工技术分析	王光银
088	绿色建筑施工质量管理体系优化研究	张雷, 葛艳艳
091	水闸加固施工技术在水利工程中的应用	杨美玲
094	高支模混凝土浇筑工艺及质量控制研究	陈泰成, 覃庆湖
097	给排水管道穿越道路的技术难点与解决方案研究	周嘉豪
100	建筑工程施工过程中安全管理的现状与优化策略	蒋东辉
103	精细化管理模式在建筑工程管理中的应用价值分析	邱进国, 宁廷磊

科学论坛

106	城市更新与国土空间优化协同发展研究	张希燕
109	建筑工程中绿色建筑设计策略与实践分析	张俊元, 戴智勇, 鲁健, 史佃强, 徐启航
112	焊接工艺对电力工程机械设备强度的影响	李鹏飞, 梁为, 于伟龙, 滕晓洋, 姚鲁兴
115	风力发电工程现场安装质量问题分析与对策	晁雷杰
118	水利水电与电力工程结合的水轮机优化研究	周邦寨, 郭跃煌, 高超群, 高久海, 谢婷霞
121	市政道路工程沥青路面施工现场试验检测技术分析	王玉磊
124	绿色建筑工程给排水系统中的节能技术应用方法研究	张健梅

仪表电磁阀回路电流监测方法应用探究

李德辉

(中国石化海南炼油化工有限公司设备管理部, 海南 儋州 578101)

摘要 电磁阀作为仪表阀门的关键附件, 在其气路控制中起着至关重要的作用。近年来, 随着现代科学技术检测手段的不断更新迭代, 电磁阀电流检测技术领域备受关注, 通过互感器与监测模块形成回路, 实现数据采集、数据读取、数据分析。本研究主要采用在电磁阀回路中增加互感器、多通道监测模块的方法对其电流进行数据采集, 并将数据以 RS-485 的方式传输到集散控制系统进行实时监控, 以期为相关人员提供理论依据。

关键词 电磁阀; 电流; RS-485; 集散控制系统

中图分类号:TQ055.81

文献标志码:A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.17.001

0 引言

电磁阀作为切断阀和调节阀气路附件, 在日常维护过程中, 电磁阀故障是引起切断阀和调节阀误动作的主要原因; 判断电磁阀工作状态取决于回路特征参数的变化, 影响装置平稳运行。电磁阀回路监测系统不仅能实时对回路中电流进行检测, 还能预设报警值, 预防误动作风险发生, 其测量准确性对于及时发现设备隐患, 预防事故发生具有重要意义。电磁阀电流监测模块是一体化集成度高、高精度及安装调试简单的模块, 能够获得回路电流的实时数据。

1 电磁阀测量原理

电磁阀由电磁阀线圈、阀芯、阀座组成。电磁阀里有封闭的腔室, 在不同位置开孔, 每个孔连接气路, 腔室中间是活塞, 两面是两块磁铁, 一边磁铁通电时阀体就会向通电侧动作, 通过控制阀体的移动进行气路切换^[1]。常见类型为直动式和先导式, 直动式测量原理为通电时电磁线圈产生磁力把关闭件从阀座上提起, 阀门打开; 断电时, 电磁力消失, 弹簧把关闭件压在阀座上, 阀门关闭。先导式测量原理为: 通电时, 电磁力把先导孔打开, 上腔室压力迅速下降, 在关闭件周围形成上低下高的压差, 流体压力推动关闭件向上移动, 打开; 断电时, 弹簧力把先导孔关闭, 入口压力通过旁通迅速腔室在关闭件周围形成下低上高的压差, 流体压力推动关闭件下移动^[2]。

2 电磁阀工作中的常见故障

在阀门正常控制过程中, 电磁阀由于外部因素影响, 常常使阀门达到预设安全位, 其主要原因如下几个方面。

2.1 电磁阀不动作

1. 线圈故障: 线圈长期使用及工作环境恶劣、回路电压不稳定、电涌冲击, 导致无法产生磁场驱动阀芯动作。此外, 连接回路断路、短路或者接线端子老化及腐蚀导致接触不良也会使线圈无法正常通电工作^[3]。

2. 阀芯异常: 阀芯因气源不干净被异物卡住, 无法移动。超周期使用后, 阀芯与阀座间密封组件磨损, 老化, 使得阀芯无法正常复位。

2.2 电磁阀动作不稳定

1. 回路电压波动: 电源供电电压输出不稳定, 会使电磁力输出不稳定, 导致阀芯动作异常。

2. 弹簧失效: 弹簧弹性减弱或者失效, 会使阀芯无法复位, 导致电磁阀动作不稳定。

2.3 电磁阀泄漏

1. 密封组件失效: 密封件长期使用后老化、磨损、破裂导致介质泄漏。在安装施工过程中存在扭曲、变形等情况, 也会造成泄漏。

2. 阀体质量: 阀体铸造存在缺陷, 安装时外力撞击产生裂痕, 导致介质泄漏。

不同的失效形式是由不同状况引起的, 了解电磁阀内部结构故障产生的原因, 有助于我们及时发现问题, 快速准确地查找故障部位, 并迅速得出解决方案, 降低事故发生概率, 延长电磁阀的使用寿命。

3 电磁阀电流测量方法

电磁阀回路的电压、电流、电阻测量方法主要包含离线检测与在线检测两种; 离线检测时, 需将电磁阀回路的正极导线断开, 把测量仪器接入回路正极, 根据欧姆定律, 以此来测量电压和电流; 而在线监测

则是通过互感线圈采集回路电流信号经过多通道电磁阀回路电流检测模块 CMS054 处理后以 RS485 通信方式可同时将 8 个回路电流接入集散控制系统，从而实现对电流的实时监测。

相较于在线监测，离线检测不仅无法实时采集并记录数据，还不能进行数据分析处理，增加了对电磁阀故障分析的难度^[4]。

4 电磁阀实验测试数据分析

本课题采用 IMI 和 ASCO 电磁阀进行实验测试，IMI 电阻为 $310\ \Omega$ ，供电电压为 24 VDC，根据欧姆定律，在同一电路中，通过某段导体的电流与该段导体两端的电压成正比，与该段导体的电阻成反比，可知：

$$U=IR \quad (1)$$

推理出：

$$I=U/R \quad (2)$$

计算出电流为：

$$I=77.42\text{ mA}$$

若测量值偏离理论电流值在某一范围，集散控制

系统设定报警值，触发报警则回路电磁阀存在失效隐患，应提前采取预防措施。

回路接入调节电位器，通过调节电阻值，测量 IMI 和 ASCO 电磁阀控制回路电流，观察电磁阀线圈的动作情况，得到表 1 所示数据。

在电磁阀的运行过程中，随着驱动电流的逐渐降低，电磁阀的吸合声音呈现出逐步减弱的趋势，这一现象表明驱动电流已无法维持电磁阀线圈的正常工作状态。测试数据可知，对于 ASCO-01 型号的电磁阀，当电流降至 53 mA 时，电磁阀由吸合状态开始转为断开；而当电流上升至 109 mA 时，电磁阀则从断开状态开始进入吸合状态。对于 ASCO-02 型号的电磁阀，其电流下降至 41 mA 时，电磁阀从吸合状态开始断开；电流上升至 88 mA 时，电磁阀从断开状态开始吸合。就 IMI 型号的电磁阀来说，在电流为 51 mA 时，电磁阀从吸合状态开始断开；当电流达到 61 mA 时，电磁阀从断开状态开始吸合。对比万用表和模块所测得回路电压值，得到表 2 数据。

根据表 2 数据核算不同线圈电压误差情况标准误

表 1 互感器测得控制回路电流

电阻	CMS 模块 (ASCO-01)	电流表 (ASCO-01)	模块 (ASCO-02)	电流表 (ASCO-02)	模块 (IMI)	电流表 (IMI)
0	135	148.5	140	158.8	70	77.1
50	98	113.1	107	118.4	60	66.3
100	79	91.1	85	95.1	53	57.8
150	65	75.2	71	79.3	46	51.6
200	66	65.5	59	66.3	42	47.0
250	49	57.0	52	58.4	38	42.8
300	43	50.6	46	52.5	35	39.1
350	39	45.5	42	46.7	31	36

表 2 电磁阀与可调电阻电压值

电阻	可调电阻 (ASCO-01)	电磁阀 (ASCO-01)	可调电阻 (ASCO-02)	电磁阀 (ASCO-02)	可调电阻 (IMI)	电磁阀电压 (IMI)
0	0	23.9	0	23.9	0	23.9
50	4.9	19	5.35	18.5	3.0	20.9
100	7.9	16.0	8.5	15.4	5.3	18.6
150	9.75	14.15	10.65	13.25	6.9	17.0
200	11.2	12.7	11.8	12.1	8.4	15.5
250	12.25	11.65	13.0	10.9	9.5	14.4
300	12.9	11.0	13.8	10.1	10.5	13.4
350	15.05	8.85	14.35	9.55	10.85	13.05

差公式 $\delta = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$ 得到的数据如表 3、表 4 所示。

表 3 CMS054 测量电压偏差

序号	型号	样本标准偏差	总体标准偏差
1	ASCO-01	2.734	2.392
2	ASCO-02	1.858	1.625
3	IMI	1.449	1.268

表 4 万用表测量电压偏差

序号	型号	样本标准偏差	总体标准偏差
1	ASCO-01	2.114	1.850
2	ASCO-02	2.063	1.805
3	IMI	1.551	1.357

通过调节电位器的阻值,使电磁阀线圈从吸合至断开反复动作过程,记录其电流值,通过反复计算得出电磁阀误动作电流值范围,超过下限值时出现报警,提前处理电磁阀,预防误动作引起装置波动。

5 仪表电磁阀监控系统应用

5.1 具体应用

为高效采集回路电磁阀电流信号并实现空间的合理布局,应遵循以下安装要求:

(1) 测量点选取:确保电磁阀回路正极接线贯穿互感器,以此保障电流信号的准确采集。(2) 布局配置:全面考量机柜的安装布局,对 CMS054 多通道电磁阀回路监测模块与显示屏幕进行合理配置。此外,可通过 RS485 通信方式将数据传输至集散控制系统,实现数据显示以及报警值的设置,增强系统的自动化与智能化监控能力。(3) 固定方式:采用 DIN 型导轨式安装,该方式具有安装便捷、稳固性强等优势,能够满足工业环境下对设备安装的可靠性要求。

5.2 维护方法

基于生产装置的运行状况,将电磁阀相关维护列入定时性事务排查工作范畴。针对关键的电磁阀控制回路进行巡回检测与测量,并详细记录各项参数。一旦发现异常现象,需立即进行处理,防止因电磁阀误动作引发生产波动,甚至导致停车事故,进而避免由此带来的经济损失,保障生产的连续性与稳定性。

5.3 故障判断

依据实时监测数据记录,由于电磁阀温度升高会使阻值变化,且互感器与多通道电磁阀监测模块间存在固有误差,因此需自定义电磁阀电流故障安全阈值^[5]。当实时电流与理论计算电流值的误差超过 25%,同时历史趋势呈现明显变化或者数据频繁大幅跳动时,便需

对回路及电磁阀展开排查工作,以便及时发现并解决潜在故障隐患。

5.4 实验应用效果

通过对试验回路电磁阀电流的监测,并与传统仪表电磁阀回路电流测量方式进行对比,使用 CMS054 模块进行在线监测展现出以下显著优势:

(1) 高效监测:相较于传统回路测量方法,采用 CMS054 模块监测电磁阀回路电流更为便捷。16 个模块即可对 128 个关键控制回路进行监测,同时能够排查 128 个关键设备回路状态,大幅提升了工作效率,减少了人力与时间成本。(2) 安全保障:为生产过程中不允许出现得电、失电异常的关键电磁阀提供了有效的监测手段。通过设置报警值,能够及时预防电磁阀误动作,增强生产装置运行的安全性与稳定性,提高装置整体运行效率。(3) 便捷分析:监测画面操作步骤简洁明了,可实现数据导出功能,便于对监测数据进行深度分析,快速准确地查找异常原因,为设备维护与生产优化提供有力的数据支持。

6 结束语

本文围绕电磁阀回路电流监测展开深入研究,成功应用基于 CMS054 模块与集散控制系统相结合的电磁阀回路电流在线监测系统。通过合理布局与安装,实现对电磁阀电流信号的高效采集;建立完善的维护与故障判断机制,有效保障了系统稳定运行。实验结果表明,该系统在工作效率、运行安全性及数据分析便捷性上优势显著,为工业生产中电磁阀回路监测提供了创新且可靠的解决方案,有助于提升生产自动化水平,降低因电磁阀故障导致的经济损失。未来,随着工业智能化发展,可进一步探索将人工智能算法融入监测系统,实现故障的智能诊断与预测性维护,推动电磁阀监测技术向更高水平迈进,为工业生产的高效、稳定运行持续赋能。

参考文献:

- [1] 潘柏根,赵云峰,张俊,等.基于无感线圈应用于电机在线检测和监控的探究[J].微电机,2020,53(12):100-103,111.
- [2] 曲双杰,姜春起,谭静轩.海洋石油 161 吊机电磁阀线圈的故障分析和改造[J].资源节约与环保,2017(09):99-100.
- [3] 朱娟,付康,马海涛.电磁阀动态特性提升技术研究[J].化学工程与装备,2024(04):74-78.
- [4] 祝平.浅谈电磁阀在现场中的应用及故障处理[J].天津化工,2023,37(S1):203-206.
- [5] 朱志星,于海军,彭兵,等.电磁阀在线监测单元的研究与创新应用[J].石油化工自动化,2024,60(06):97-99.

市政道路管线施工技术协调控制研究

张云鹤

(济南城建集团有限公司, 山东 济南 250000)

摘要 随着城市化进程不断加快, 地下管线的密度持续增大, 各型管线于空间部署、施工协调方面的矛盾日渐突出, 导致城市建设效率与运行安全受干扰。在市政道路管线工程项目建设过程中, 需提升管线工程技术协调能力, 以提升市政道路管线工程项目的施工质量与安全性。本研究通过考察市政道路管线施工中的空间位置冲突、工序时序冲突与设计实施偏差情形, 提出分层分区安排、BIM技术采用与综合管廊搭建等协调管控举措, 以期为提升管线施工质量与配合效率提供参考。

关键词 市政道路; 管线施工技术; 分层分区管线布置规划; BIM技术; 综合管廊

中图分类号: TU990.3; U415

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.17.002

0 引言

随着城市扩张速度不断加快, 市政基础设施的整体规划布局设计作为城市基础设施框架的关键环节, 其重要性日渐突出, 成为促进城市成长的核心力量。地下管线系统涉及给排水、燃气、热力、电力、通信等多个专业领域, 各自遵循不同技术标准与管理规范, 协调难度较大。城市建设过程中频繁出现道路反复开挖现象, 造成资源浪费与环境影响, 市政管线建设质量直接关系到城市安全运行, 优化管线空间布局、提高施工协调效率成为城市建设管理的重点研究方向。

1 市政道路管线概述

市政道路管线系统作为城市基础设施建设中的重要组成部分, 承载着供水、排水、燃气、电力、通信、热力等多种功能, 支撑城市正常运行。市政管线按敷设方式可分为直埋式、管沟式、综合管廊式三种主要类型。直埋式成本较低但维护不便; 管沟式便于检修但投资较大; 综合管廊式整合度高, 维护便利, 代表管线建设发展趋势。我国《城市工程管线综合规划规范》(GB50289-2016) 明确规定了各类管线的平面位置、竖向层次及间距要求, 为管线规划与实施提供了技术依据。管线布局需遵循“先规划、后建设”原则, 合理安排供水、燃气管道于道路东侧, 电力、通信管线于道路西侧, 污水、雨水管道于道路中部^[1]。

2 市政道路管线施工冲突分析

2.1 管线空间位置冲突

市政道路管线空间位置冲突体现在垂直与水平两个维度上。在垂直方向上, 各类管线按照规范要求应有明确的埋设深度, 如给水管线埋设深度为0.7~1.5米,

燃气管线为0.9~1.2米, 电力管线为0.7~1.0米。当实际敷设条件受限时, 管线难以严格按照规范深度铺设, 导致不同类型管线在垂直空间发生交叉重叠。在水平方向上, 道路红线宽度有限, 各类管线需在狭小断面内合理布局, 常见供水、排水、燃气、热力、电力、通信等六类以上管线在同一道路断面内并行敷设, 管线间距往往达不到《城市工程管线综合规划规范》要求的安全距离。在老城区改造中, 原有管线布局混乱, 新建管线往往面临无法找到合适位置的困境。管线交叉点处, 各管线运营单位出于自身利益考虑, 均要求对方让路, 协调难度极大。

2.2 施工工序时序冲突

多部门管线建设计划协同不足引发了市政道路管线施工过程中的工序时序冲突问题, 具体表现为涉及给排水、燃气、电力、通信等多个专业领域的管线工程各自按照独立计划推进, 缺乏统一的时序安排与协调机制, 违背了管线施工应遵循的“先深后浅”逻辑秩序, 即排水等深埋管线理应优先完成, 而给水、燃气、热力、电力、通信等浅埋管线依次跟进的合理施工顺序, 在信息孤岛环境下, 部门间缺乏有效沟通渠道, 施工单位仅关注自身工程进度而忽视整体协同, 导致已完成铺设的管线在后续施工过程中遭到破坏的情况屡见不鲜, 这种无序施工状态进一步加剧了因施工周期规划不合理而产生的连锁反应, 将天气变化、材料供应延后等因素对工期的影响扩大化, 引发工序交叉混乱^[2]。

2.3 管线设计与现场实施偏差

勘测数据精度不足与设计阶段空间预留不合理构成了市政道路管线设计与实施偏差的主要根源, 设计

人员往往依赖历史资料与局部勘测信息进行管线布局规划，在资料缺失严重的老城区改造项目中尤为明显，地下管线现状信息残缺不全，致使设计方案无法准确反映实际地下环境状况，施工过程中频繁出现图纸未标注的废弃管线或历史遗留构筑物，施工单位被迫在有限空间内临时调整管线路径或埋设深度，偏离原设计意图。设计阶段对管线间距的预留普遍基于理想化工况考虑，忽略了复杂土质条件、地下水位变化等现场因素对施工精度的制约作用，多管线系统中的偏差具有明显累积放大效应，前期管线布设位置的细微偏移将导致后续管线被迫做出更大幅度的调整，累积误差逐步扩大。

2.4 质量控制与安全管理冲突

首先，目标导向的差异。市政道路管线工程施工时的质量控制主要聚焦于施工成果与施工设计是否处于一个规范的状态。基于此，在市政管线工程施工时需严格按照施工工艺规范流程执行相关工艺，不能够出现任何偏差引起的质量安全隐患。安全管理则是侧重于市政道路管线施工过程中各种风险施工的预防，确保施工现场处于一个安全规范的状态。但就目前而言，在项目开展的阶段中，一些项目工程为了追赶工期，简化质量控制的步骤，就会增加安全风险，而有一些工程又过于强调安全，则会影响到施工的效率以及质量，这两种目标的不一致，也是引起工程项目难以开展的主要原因之一。

其次，资源分配的不均衡。市政道路管线建设中人力、物力、财力是有限的，需要充足的资源来支撑质量管控和安全管理。质量控制要保证施工质量的每一个环节都达标，需要投入大量的检测设备和专业人员；而安全管理则需要在施工过程中，为防范和控制安全风险配备足够的安全设施和人员培训。两者在资源有限的情况下可能会有竞争，有资源分配上的冲突。例如：如果在质量控制上投入更多的资源，就有可能造成安全管理上的资源短缺，造成安全事故风险加大；反过来，如果对安全管理过分重视，就有可能影响到质量控制的执行效果，造成建筑质量的下降，使得质量控制和安全管理很难同时达到最优状态。

最后，沟通不够，协调不够。在市政道路管线建设中，参建人员多，加上不同的施工班组工作范围不同，缺乏有效的沟通协调机制，就会出现工程质量与安全隐患发生。例如：在某一施工环节发现质量问题时，如果质量控制小组不能及时与安全管理小组进行沟通，由于不了解情况，会使安全管理小组不能采取相应的安全措施，使安全隐患增大。同样，在发现安全隐患时，

安全管理小组若不能有效协调质控小组，调整施工进度，实施质控，也会受到影响。

3 市政道路管线施工技术协调控制策略

3.1 实施分层分区管线布置规划

分层分区管线布置规划依据管线功能特性及空间位置关系对市政管线进行系统性组织，形成结构化布局方案。垂直分层原则将各类管线按埋设深度划分为深层、中层、浅层三个区域，排水管线位于最深层，给水、燃气管线处于中间层，电力、通信管线则安排在较浅层位，明确各类管线的垂直空间范围，减少管线交叉。水平分区策略将道路断面划分为若干功能区，路幅较宽道路可采用两侧布置模式，西侧安排给水、电力管线，东侧设置燃气、通信管线，排水管线居中布置，窄路则实行单侧集中布置。城区可按照行政区划或道路网格将管线规划分区实施，避免“牵一发动全身”式影响。分层分区规划强调网络化思维，将单一管线视为整体系统的组成部分，在满足各自身功能运行要求的基础上，合理确定主干线、次干线、毛细支线的空间层次关系，明确各级管线的规划控制要素，包括位置、走向、埋深、管径及安全间距等参数指标，建立起完整的管线空间协调体系，为施工阶段精准落实管线位置关系提供科学依据^[3]。

3.2 应用 BIM 技术开展碰撞预检测

BIM 技术在市政管线协调范围的应用实现了从传统二维平面图到三维立体模型的转变，城市管线系统得以在虚拟环境的范围中完整展示，各型号管线按 1:1 比例打造精细三维模型，含有管线类型、材质、管径、埋深等完整参数详情，完成信息可视化表露。基于 BIM 平台启动的碰撞预检测工作能在施工前发现管线空间冲突点，系统自动筛选出管线之间、管线与构筑物之间的碰撞区域，生成筛查冲突报告，设计人员依照报告调整方案化解冲突，碰撞甄别区分硬碰撞与软碰撞，硬碰撞表示管线实体之间的直接干扰，必须彻底规避，软碰撞指的是管线间距小于规范规定的情形，可按照实际情形恰当调整，BIM 平台融合土建、结构、设备各专业协同设计，梳理管线综合排列，打破传统专业壁垒，施工阶段 BIM 模型辅助现场放线定位，降低施工偏差水平，现场出现变更时，模型可迅速更新来检验变更后的空间关系，防止造成新的冲突问题。

3.3 推行综合管廊建设，解决空间矛盾

综合管廊作为集约化地下空间利用模式，为各类市政管线提供统一封闭空间环境，内部分隔成多个舱室，分别容纳给水、排水、燃气、电力、通信等不同

功能管线。管廊主体采用钢筋混凝土箱涵结构，具备良好的承载能力与防护性能，可承受地面交通荷载，有效抵御外部环境侵害，延长管线使用寿命。管线布置采用舱室隔离排布方式，将具有安全隐患的燃气、电力管线与其他管线分隔开来，消除交叉干扰风险，各舱室内预留足够空间满足未来管线扩容需求。综合管廊关键在于检修便捷性设计，管廊内设置人员巡检通道，工作人员能够直接查看管线状况，发现问题立即处理，避免传统直埋方式需开挖路面才能维修的弊端，降低道路反复开挖对交通及市容的影响。管廊配套智能化监控系统对温度、湿度、有害气体浓度等环境参数进行实时监测，形成完善的预警机制，提升管线运行安全性与维护效率（见图1）^[4]。

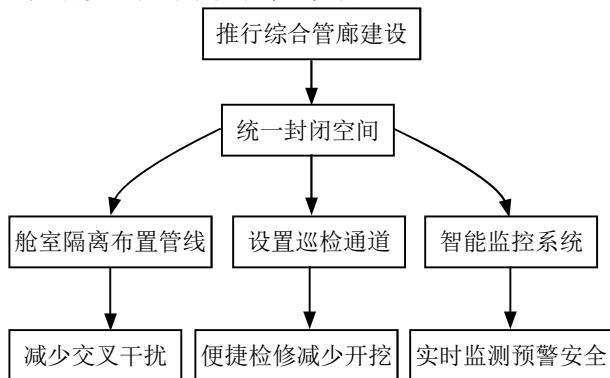


图1 综合管廊建设流程

3.4 质量控制与安全管理协调

第一，建立统一目标体系，强化协同管理。市政道路管线施工阶段，通过量化指标，明确“零事故、高质量交付”等质量安全管理的共性目标，将目标分解到质量与安全工作中。同时，市政道路管线施工时，在建设统一目标体系以后，采用VR技术进行辅助施工，将质量缺陷和安全风险点提前模拟出来，让质量和安全团队一起制定虚拟环境下的优化方案^[5]。此外，还可以采用质量与安全绩效捆绑评价的“质量—安全双控”考核机制，确保施工时能够达到协调控制。第二，优化资源配置机制，实现动态平衡。市政道路管线工程施工时，针对资源分配不均匀的情况，必须建立动态资源配置机制使得市政道路管线工程的质量以及安全都得到充分的保障。一般情况下，在市政道路管线工程进入预算编制阶段，根据风险评估与质量控制的标准，实际需要预留出弹性调整空间，确保施工机械、施工设备等都处于一个合理的运行状态，如此就能够实现交叉作业，避免各种操作违规引起的安全情况。同时，市政道路管线工程施工时也可以采用资源共享的方法来达到保障工程质量以及安全控制的目标^[6]。

在市政管线工程施工过程中，需将安全培训融入质量管理规范内容当中，减少安全问题的出现。第三，完善沟通协调机制，提升管线施工效率。在市政道路管线施工阶段，需要构建多层次、常态化的沟通协调体系，以解决缺乏沟通与协调的问题。建立标准化的交流过程对质量安全团队的信息共享范围、频率、方式等进行界定，可制订《质量—安全协同工作手册》，规定每天的施工日志需要对质量缺陷和安全风险进行同步记录，每周召开一次联合巡检会议，对存在的问题进行现场确认并落实整改责任，并对这些问题进行认真细致的整改。同时，在市政管线工程施工过程中，为了防止触电、火灾等安全事故的发生，在施工现场必须严格按照安全规范设置和使用临时用电线路和设备。建立专项部门对电力设备的安装、使用、维护、拆除等进行检查。同时，在建筑施工现场，施工单位要建立健全临时用电管理制度，且保安全责任与安全管理任务落实到个人。同时，为保证其良好的绝缘性能、可靠的接地和到位的防护措施，需加强日常对临时用电线路和设备的检查和维护。

4 结束语

管线空间位置冲突、施工工序时序冲突以及设计与实施偏差三大问题制约着市政管线建设质量与效率。实施分层分区管线布置规划有助于从源头上优化管线空间结构，明确管线垂直与水平布局规则，减少空间占用；应用BIM技术开展碰撞预检测能够在施工前发现并消除潜在问题，提高设计准确性与施工可行性；推行综合管廊建设可从根本上改变传统直埋式管线模式，集约利用地下空间，便于维护管理，大幅降低管线运行风险。

参考文献：

- [1] 司马岩.市政道路管线中的综合设计探究[J].江苏建材,2023(06):68-69.
- [2] 郭佳蕊.浅谈市政道路改造工程管线设计要点[J].居业,2023(11):84-86.
- [3] 吴波,王文炯.BIM技术在市政改建道路管线综合中的应用研究[J].城市道桥与防洪,2020(10):191-193,M0020.
- [4] 周彪,苑进修.市政施工中地下管线施工技术研究[J].建材与装饰,2020(16):42-43.
- [5] 张明.市政工程道路施工中地下管线施工技术分析[J].散装水泥,2024(03):124-126.
- [6] 郭佳蕊.浅谈市政道路改造工程管线设计要点[J].居业,2023(11):84-86.

基于有限元分析的装配式 钢结构抗震性能研究

王凯凯, 孙超

(东营宏业建安有限责任公司, 山东 东营 257000)

摘要 本研究运用 ABAQUS 有限元软件对装配式钢结构进行数值模拟分析, 构建了精细化三维实体模型。研究结果表明: 构件在水平往复荷载作用下表现出良好的抗震性能, 滞回曲线饱满稳定, 等效阻尼比达 0.419; 承载力发展呈现弹性与弹塑性以及强化三个阶段, 极限承载力为 210 kN, 延性系数达 4.8; 能量耗散机制包括钢筋密网变形与螺栓滑移及混凝土压溃, 累积耗能量达 12.56 kN·m。有限元分析结果揭示了装配式钢结构构件的抗震性能提升机理, 旨在为相关设计规范的制定与工程应用提供理论依据。

关键词 装配式钢结构; 有限元分析; 抗震性能; 滞回性能; 能量耗散

中图分类号: TU391; TU352.11

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.17.003

0 引言

装配式钢结构以其标准化程度高与施工速度快等优势, 在建筑工业化进程中发挥重要作用。构件抗震性能的评价是确保结构安全的关键环节, 而有限元分析方法为深入研究构件受力机理提供了有效工具。通过建立精细化有限元模型, 可以准确模拟构件在地震作用下的力学行为, 获取应力分布与变形发展以及能量耗散等关键指标, 从而评价其抗震性能。基于有限元分析结果, 可深入理解构件的抗震性能提升机理, 为优化设计方案提供依据。

1 装配式钢结构研究概述

装配式钢结构在抗震设计中的关键问题是抗侧力构件的力学性能与变形能力。通过有限元分析方法可以深入研究装配式钢结构在地震作用下的受力机理与变形特征及破坏模式。目前, 有限元分析主要采用 ABAQUS 与 ANSYS 等通用软件, 建立三维实体模型模拟构件性能。在模型中需要考虑材料非线性与几何非线性及接触非线性等因素, 并采用合理的单元类型以及网格划分方案^[1]。

通过对装配式钢结构进行参数化建模以及数值模拟, 可以获得构件的应力分布与位移发展与滞回性能、刚度退化与能量耗散等重要力学指标, 从而评价其抗震性能, 为装配式钢结构的设计优化与工程应用提供理论支撑。

2 有限元模型建立

2.1 构件几何建模

装配式钢结构的有限元几何模型基于实际工程尺寸构建。如图 1 所示, 采用三维实体建模技术, 横梁选用 H 型钢 (300×150×8×12 mm), 柱肢采用方钢管 (100×100×6 mm)。抗侧力构件由 20 个规则八边形缀件环焊接形成钢筋密网, 钢筋直径 18 mm。节点区域采用 12.9 级 M20 高强螺栓连接, 配以 250×150×20 mm 的连接板。应力集中区域如节点连接处与钢筋交叉点等位置进行网格加密处理。构件之间采用“绑定”接触以及“摩擦”接触两种方式, 细化建模时还充分考虑了节点区域的局部受力特征, 对螺栓连接处与高应力集中区等关键部位采用了更密的网格划分方案。这种分区域网格划分策略既保证了计算精度, 又提高了分析效率。高强螺栓连接处施加 300 kN 预紧力。模型的几何尺寸以及连接构造均按工程设计要求确定, 确保分析结果具有实际指导意义。

2.2 材料本构特性

装配式钢结构的材料本构采用弹塑性模型。主体结构采用 Q345B 钢材, 弹性模量 2.06×10^5 MPa, 屈服强度 345 MPa, 极限强度 470 MPa, 泊松比 0.3。钢筋选用 HRB400 级, 弹性模量 2.0×10^5 MPa, 屈服强度 400 MPa, 极限强度 540 MPa。高强螺栓采用双折线模型, 弹性模量 2.1×10^5 MPa, 屈服强度 900 MPa, 极限强度 1 000 MPa。

材料均考虑应变强化效应,为更准确地描述材料在复杂应力状态下的力学行为,模型还考虑了循环荷载作用下的应变硬化效应。通过 Von Mises 屈服准则以及随动强化准则的合理设置,可以较好地反映材料的非线性特性。钢材采用多线性强化模型描述应力—应变关系。混凝土采用损伤塑性模型,压缩强度等级 C30,弹性模量 3.0×10^4 MPa,抗压强度 30 MPa,抗拉强度 2.0 MPa,泊松比 0.2,并考虑循环荷载下的损伤演化^[2]。

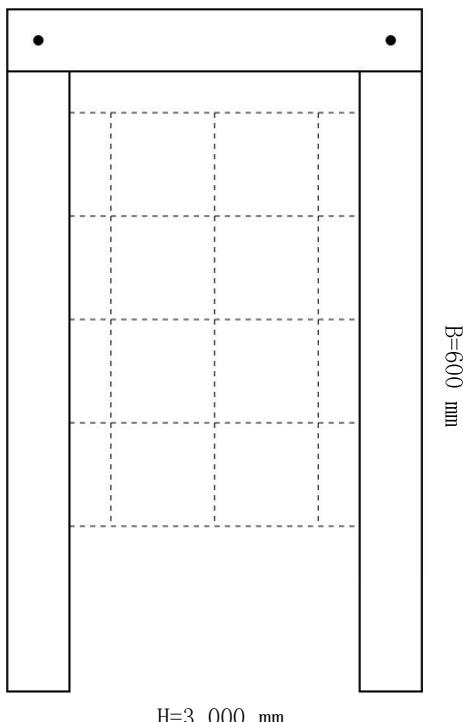


图 1 装配式钢结构有限元几何模型

2.3 计算参数设定

有限元分析采用分步加载策略,边界条件以及加载方案基于实际工程情况设定。构件底部采用固定约束,顶部施加 50 kN 竖向荷载模拟重力作用。水平往复位移加载通过以下公式控制:

$$u = \theta h \times \gamma \times \alpha \quad (1)$$

式中: u 为顶部水平位移; θ 为层间位移角,取值范围 $1/800 \sim 1/50$; h 为构件高度; γ 为修正系数,取 1.15; α 为动力放大系数,取 1.2。网格划分采用 20 节点六面体单元(C3D20)以及 10 节点四面体单元(C3D10),节点区域网格尺寸取 8 mm,其他区域取 20 mm。接触面采用面—面接触,摩擦系数取 0.35。求解采用 Newton-Raphson 迭代法,计算步长自动控制。在迭代过程中,通过动态调整加载步长以及收敛控制参数,确保了复

杂非线性问题的计算稳定性。对于节点区域的接触分析,采用面—面接触单元,并通过合理设置接触参数提高了计算效率。

3 有限元分析结果

3.1 应力分布特征

装配式钢结构在水平往复荷载作用下呈现出明显的应力集中现象。如图 2 所示,在层间位移角达到 $1/50$ 时,钢筋密网区域 Von Mises 应力达到 405 MPa,超过材料屈服强度。应力云图显示,构件变形主要集中在钢筋密网与横杆连接处,最大应力集中点出现在钢筋交叉节点。柱肢与横梁连接区域应力值相对较小,约为 250 MPa,表明节点区域强度储备充足。高强螺栓连接处产生局部应力集中,但未超过螺栓材料强度极限。格构柱的应力分布呈现明显的梯度变化,应力由中心向两端逐渐减小^[3]。改性聚苯颗粒混凝土区域承担了部分剪力,使整体应力分布更加均匀,有效改善了构件的受力状态。通过精细化有限元分析还发现,节点区域的应力传递呈现明显的径向分布特征,这种应力流向有利于构件发挥整体受力性能。

3.2 变形发展规律

装配式钢结构在循环荷载作用下的变形发展呈现显著的非线性特征。构件顶部位移 u 与层间位移角 θ 之间满足非线性关系:

$$u = \theta h (1 + k \theta^2) \quad (2)$$

式中: k 为非线性修正系数,取值 2.5; h 为构件高度。随着加载位移的增大,构件刚度逐渐降低,变形主要集中在钢筋密网区域。在位移角 $1/250$ 时,构件基本保持弹性变形;当位移角达到 $1/100$ 时,构件进入弹塑性阶段,钢筋网格发生明显的塑性变形;位移角达到 $1/50$ 时,塑性变形进一步发展,但构件整体稳定性良好。层间位移角与侧向力之间呈现出典型的非线性关系,变形发展过程中未出现突变现象。构件在大变形阶段表现出良好的变形协调性,各部件之间的相对位移发展平稳,有效避免了局部突变破坏。

3.3 破坏模式判定

装配式钢结构的破坏模式判定基于以下准则:当构件抗侧力 F 降至峰值的 85% 时,视为达到破坏状态。荷载—位移关系可用以下公式表征:

$$F = F_0 \left[1 - \left(\frac{\theta}{\theta_u} \right)^n \right] \quad (3)$$

式中: F_0 为峰值荷载; θ_u 为极限位移角,取 $1/40$; n 为损伤演化指数,取 2.5。在破坏过程中,钢筋网格

首先达到屈服，随后发生局部屈曲。高强螺栓连接处未出现显著滑移，节点区域保持完好。混凝土区域出现局部压溃，但未影响整体稳定性。破坏模式符合“强节点弱构件”的抗震设计理念，除了基于承载力与变形的宏观破坏判据外，还通过监测节点区域应力应变发展规律评估局部损伤状态。这种多层次的破坏判定方法可以更全面地揭示构件的失效机理。

4 抗震性能评价

4.1 滞回性能分析

装配式钢结构在水平往复荷载作用下呈现出优良的滞回性能。如表 1 所示，在不同层间位移角下的滞回曲线均呈现饱满的梭形特征。当位移角达到 1/250 时，构件承载力为 92.13 kN，位移为 12 mm；位移角达到 1/50 时，承载力增至 203.15 kN，位移为 60 mm。滞回曲线平滑无突变，显示构件具有稳定的耗能性能。刚度退化曲线近似呈线性变化，在位移角 1/100 以后退化速率趋于平缓^[4]。在正负向加载过程中，构件表现出对称的力学性能，滞回环面积随位移增大而增加，表明能量耗散能力逐渐提高。滞回环形状饱满程度与传统构件相当，等效粘滞阻尼系数在 0.318 ~ 0.419 之间，表明构件具有良好的耗能性能。位移角 1/50 时的残余变形仅为峰值变形的 4.2%，说明构件自复位能力良好。

表 1 装配式钢结构滞回性能参数

层间位移角	位移 /mm	承载力 /kN	等效阻尼比	刚度 /kN · mm ⁻¹	残余变形率 /%
1/1 000	3	25.46	0.215	9.82	1.2
1/250	12	92.13	0.318	8.45	2.5
1/100	30	156.42	0.361	6.73	3.8
1/50	60	203.15	0.419	4.25	4.2

4.2 承载力特征研究

装配式钢结构的承载力发展呈现明显的三阶段特征。弹性阶段承载力与位移呈线性关系，弹性极限承载力为 125 kN，对应的层间位移角为 1/300。进入弹塑性阶段后，承载力增长速率减缓，但构件整体刚度保持稳定。当位移角超过 1/75 时，构件进入强化阶段，极限承载力达到 210 kN。骨架曲线表现出良好的包络特性，说明构件具有充足的承载力储备。构件在循环荷载作用下未出现强度突降现象，承载力衰减平稳，表现出良好的延性特征。在极限状态下，构件的延性

系数达到 4.8，位移角达到 1/45，表明变形能力满足抗震设防要求。承载力衰减曲线表明，构件在大变形状态下仍保持了较高的承载能力，其极限承载力是屈服承载力的 1.68 倍。

4.3 能量耗散机制

装配式钢结构的能量耗散主要通过构件的塑性变形实现。累积耗能量随加载循环次数增加而稳步提升，在最终加载状态下达到 12.56 kN · m。钢筋密网变形提供了主要的耗能贡献，约占总耗能量的 65%。节点区域螺栓滑移产生了约 20% 的能量耗散，改性聚苯颗粒混凝土的压溃以及剪切变形贡献了剩余 15% 的耗能量。构件表现出多重耗能机制的协同作用，确保了稳定的耗能性能^[5]。在整个加载过程中，能量耗散曲线呈现连续上升趋势，未出现突变。单循环耗能量从初始的 0.25 kN · m 逐渐增加至峰值 3.42 kN · m，显示出良好的耗能能力。构件的累积塑性变形角达到 0.186 rad，表明塑性铰的形成以及发展为能量耗散提供了有效途径。在反复荷载作用下，构件的耗能性能保持稳定，未出现明显的强度以及刚度退化。

5 结束语

有限元分析结果揭示了装配式钢结构的抗震性能特征。构件通过材料强化与几何非线性以及接触滑移等多重机制实现能量耗散，表现出优良的承载力以及变形能力。滞回性能分析表明构件具有稳定的耗能能力，等效阻尼比最高达 0.419，残余变形率仅为 4.2%。承载力特征研究显示极限承载力达 210 kN，是屈服承载力的 1.68 倍，延性系数达 4.8。能量耗散分析表明钢筋密网变形与螺栓滑移以及混凝土压溃共同参与耗能，累积耗能量达 12.56 kN · m。该结果为装配式钢结构的抗震设计优化提供了理论依据。

参考文献：

- [1] 蒋新闻, 陈猛, 薄澎涛. 基于节点子模型的装配式钢结构抗震性能分析 [J]. 工业技术创新, 2023, 10(03):64-71.
- [2] 张景煜, 符琳锐, 吴良音. 装配式钢结构建筑抗震性能研究 [J]. 建筑机械化, 2021, 42(10):34-38.
- [3] 张鹏翔, 赵东拂, 汪圆圆, 等. 装配式密网钢构柱抗震性能有限元分析 [J]. 建筑结构, 2020, 50(S2):423-427.
- [4] 杨军平, 熊英庆, 邹永胜. 新型钢结构装配式节点有限元分析 [J]. 广西科技大学学报, 2020, 31(02):25-31.
- [5] 赵东拂, 王磊. 装配式抗侧力钢构柱抗震性能有限元分析 [J]. 工业建筑, 2018, 48(11):161-167.

防渗漏施工技术在房屋建筑施工中的应用策略

袁航生

(浙江三丰建设集团有限公司,浙江 杭州 310024)

摘要 混凝土施工技术是保障工程质量的关键,施工技术应用质量直接关系到建筑工程整体质量。随着我国社会经济发展进程的不断加快,我国建筑行业也迎来了新的发展机遇。本文以现代房屋建筑施工为背景,对防渗漏施工技术在房屋建筑施工中的应用策略展开分析,包括防渗漏施工技术在其中的重要性,主要应用策略及其发展趋势等。分析结果表明:在房屋建筑施工中,要实现防渗漏施工技术的合理应用,建设施工单位需注重混凝土配比的合理优化,屋面排水系统的合理设计,施工缝的有效填充,以及施工质量科学评估等。本文旨在为防渗漏施工技术的应用提供有益参考,进而提升房屋建筑防渗漏效果。

关键词 房屋建筑;防渗漏施工;混凝土配比;排水系统;施工缝

中图分类号:TU761.11

文献标志码:A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.17.004

0 引言

在当前社会经济不断发展的背景下,社会各界对建筑工程施工技术提出了更高要求,其中防渗漏施工技术作为工程建设中的重要内容,其应用效果直接影响着建筑工程整体质量。然而,由于我国房屋建筑施工规模逐渐扩大,房屋建筑数量增多,加之部分建设单位对施工技术管理不到位,致使房屋建筑存在较多的质量问题。同时,部分建设单位在施工过程中未对混凝土配比进行科学优化,导致混凝土质量不达标的情况发生。还有少部分建设单位对屋面排水系统设计不合理,存在屋面容易出现积水现象。此外,部分建设单位在施工过程中未能及时对施工缝进行有效填充,导致建筑出现裂缝等问题时有发生。以上情况的出现都会影响到房屋建筑使用效果。因此,在现代建筑工程建设施工中,防渗漏施工是一项关键的工艺。建设施工单位应对其足够重视,结合房屋建筑工程的实际防渗漏需求,以合理的技术措施进行此项施工。同时,应根据防渗漏施工技术应用现状,深入探究其未来的发展趋势,如此方能充分发挥防渗漏施工技术优势,提升房屋建筑防渗漏施工效果。

1 防渗漏施工技术在房屋建筑施工中的重要性

通过防渗漏施工技术的合理应用,充分发挥其作用与优势。防渗漏施工技术在房屋建筑施工中的重要性主要表现在以下几方面:

1. 可有效避免水分对钢筋混凝土结构造成腐蚀,使房屋建筑结构性能得到良好保障,以确保整体房屋建筑结构安全性。

2. 可有效避免雨水进入房屋建筑室内,使室内保持干燥,防止霉菌等微生物滋生,从而进一步提升房屋建筑的舒适度。

3. 可有效避免房屋建筑外墙、屋顶、地下室等因潮湿而损坏,从而进一步降低后续维修难度,减少维修成本,并延长房屋建筑工程使用寿命。

4. 可使房屋建筑具备更好的防渗漏性能,从而对消费者形成更高的吸引力,进一步提升房屋建筑价值及其市场竞争力。由此可见,将防渗漏施工技术合理地应用在房屋建筑施工中非常重要^[1]。

2 防渗漏施工技术在房屋建筑施工中的主要应用策略

2.1 混凝土配比的合理优化

在现代房屋建筑工程建设施工中,混凝土密实度及其抗渗性能将直接影响整体结构的防渗漏效果。同时,混凝土密实度及其抗渗性能又与混凝土自身的材料配比具有直接关系。基于此,在具体的防渗漏施工过程中,工程单位应将混凝土配比优化作为防渗漏施工技术的首要应用策略。为达到这一目标,工程单位需采取以下几项策略:

1. 针对房屋建筑物的防渗漏要求,选择高标量的硅酸盐水泥,同时加入矿渣、粉煤灰等外加剂,以改善其微结构。

2. 采用精细调控策略,强化粗骨料(如砂砾)在混凝土中的掺量,并对细骨料粒度进行合理控制,以保证其最大直径小于钢筋直径的四分之一。

3. 合理控制混凝土水灰比,以确保其整体密实度,

减少内部孔隙，从而具备更高的防渗漏性能。表 1 为现代房屋建筑工程防渗漏施工中的混凝土配比参数控制标准。

表 1 现代房屋建筑工程防渗漏施工中的混凝土配比参数控制标准

序号	项目	参数	序号	项目	参数
1	水泥标号	$\geq P.0 42.5$	5	细骨料用量	$300 \sim 400 \text{ kg/m}^3$
2	水泥用量	$360 \sim 400 \text{ kg/m}^3$	6	水灰比	$0.38 \sim 0.45$
3	掺合料用量	$54 \sim 120 \text{ kg/m}^3$	7	减水剂用量	$0.2\% \sim 0.5\% \text{ 水泥质量}$
4	粗骨料用量	$600 \sim 700 \text{ kg/m}^3$	8	防水剂用量	$0.05\% \sim 0.1\% \text{ 水泥质量}$

2.2 屋面排水系统的合理设计

屋面排水系统可直接影响其屋面面积水排除效果，从而对屋面防渗漏效果产生直接影响。通常情况下，房屋建筑屋面上的排水系统可按两大类划分。一是无组织的排水体系，也就是自由落水，这种方式适合于雨水稀少地区或低矮房屋的屋顶排水。二是有组织的排水体系，也就是通过雨水斗、雨水管、天沟、沟槽等组件的设置，构成了一套完善的屋顶排水系统，此类排水系统在高层住宅或大型公共建筑屋面排水中适用^[2]。

相较于无组织排水系统而言，有组织排水系统在实际应用中需要合理设计。具体设计时，工程单位应采取以下几项策略：

1. 对于天沟，为使其在暴雨条件下具备足够的瞬时流量承受能力，应将其宽度设计在 200 mm 及以上，深度设计在 100 mm 及以上。

2. 对于雨水斗，为保障其均匀排水效果，防止局部过载问题产生，应将其间距设计在 18 ~ 24 m 之间。

3. 为避免暴雨时排水系统发生过水现象，需将泄水孔设于沟口处，并高于雨斗底 150 ~ 300 mm，从而使多余的雨水可由此顺利排出满负荷主排水系统，防止积水情况所导致的屋面渗漏问题产生。

4. 为了防止落叶或其他东西堵住雨水孔，请在雨水漏斗的进口处安装滤网，网孔的直径控制在 5 ~ 10 mm，如此既可以实现各类杂物的有效阻挡，又可以确保其排水效率，充分满足房屋建筑工程屋面的实际排水需求^[3]。

2.3 施工缝的有效填充

在现代房屋建筑工程的建设施工过程中，施工缝是其防水施工的薄弱部位和关键部位。只有做好施工缝的防水密封处理，才可以有效避免雨水由此进入，从而有效防止房屋建筑工程结构渗漏问题的产生。基于此，在具体的防渗漏施工过程中，工程单位也需要将施工缝填充作为一项关键的防渗漏施工技术，选择合理的填缝材料，并结合实际情况，以合理的技术措施完成

施工缝填充处理，以确保其防渗漏施工效果。为达到这一目标，工程单位可采取以下几项策略：

1. 结合房屋建筑工程实际情况与施工缝防渗漏需

求等，合理选择填缝材料。目前常用的填缝剂有聚氨酯灌浆料、吸水发泡胶和弹性密封胶。由于弹性密封胶材料具有优良的耐候性能和拉伸性能，在大量非结构施工缝填充施工中均适用，且防水性能优越，所以在无特殊要求的情况下应将此种材料作为首选。在采用弹性密封胶进行施工缝填充时，需通过专用胶枪将其均匀挤入施工缝内，将施工缝填充饱满，不可留有空洞，以免后续微小裂缝对施工缝防渗漏效果产生不利影响。

2. 若施工缝处在潮湿环境条件下，可选择遇水膨胀胶条进行施工缝填充。施工时，应预先对此类胶条实施湿润处理，再缓缓将其嵌入施工缝内部，并做好压实处理。经过一段时间后，其膨胀后的体积达到原始体积的 200% ~ 300% 之间，从而形成一道紧密的屏障，以满足此类施工缝的实际防渗漏需求。

3. 在动态裂缝、宽缝以及深层施工缝等的填充处理时，聚氨酯灌浆料更加适用。具体填充时，需借助注射器或灌浆泵将聚氨酯混合灌浆料连续、缓慢地注入此类施工缝内部，使其深入施工缝内部的细微裂缝里，达到高硬度、高黏结力的固化处理效果。在此过程中，若施工缝比较细小，应按 0.1 ~ 0.3 MPa 控制其初始压力，后续灌浆中再根据实际情况合理调节其压力，但应将其控制在 0.5 ~ 1.0 MPa 之间，从而使每一个微小缝隙均被充分填充^[4]。

2.4 防渗漏施工质量的科学评估

在完成房屋建筑工程防渗漏施工之后，为确保其防渗漏施工效果，工程单位还需要采取合理的措施对其防渗漏施工质量进行科学评估。就目前的房屋建筑工程防渗漏施工质量评估来看，淋水试验是最常用的一种防渗漏检测与评估方法。为确保该方法条件下的防渗漏检测质量，工程单位需对淋水角度、喷头间距、喷头直径、淋水量、淋水时间等参数合理控制，以确保整体测试区域都被均匀覆盖，从而实现潜在渗

漏点的及时发现和处理。表2为现代房屋建筑工程防渗漏效果淋水试验评估参数设置标准。

表2 现代房屋建筑工程防渗漏效果淋水试验评估参数设置标准

序号	项目	参数	序号	项目	参数
1	淋水角度	45° ~ 60°	4	淋水量	3 ~ 4 L/m ² /min
2	喷头间距	1.5 ~ 2.0 m	5	淋水时间	≥ 2 h
3	喷头直径	25 mm	6	最长淋水时间	4 h

对于混凝土结构中的微小裂缝以及防水层背后积水条件下的渗漏情况,在具体评估时,工程单位应通过达西定律来展开分析。以下是其计算公式:

$$Q = -kA \frac{\Delta h}{\Delta L} \quad (1)$$

其中, Q 代表流体自身的体积流量, 其单位是 m^3/s ; k 代表渗透系数, 它所反映的是材料对于流体渗透的允许能力, 其单位是 m/s ; A 代表渗流截面面积, 其单位是 m^2 ; Δh 代表渗流路径两端所具有的水头差, 其单位是 m ; ΔL 代表渗流路径整体长度, 其单位是 m 。

在具体试验时, 工程单位需要对发现的所有渗漏迹象做好观察和记录, 包括湿斑、渗水或滴水等情况。标记时需要采用标记笔将渗漏点及时标出, 从而为后续修复工作提供指导。在完成渗漏点修复处理后, 工程单位需要再一次实施淋水试验, 以确定修复后的防渗漏效果, 直到确认所有部位防渗漏效果合格为止^[5]。

对于屋顶、墙体等房屋建筑工程围护结构, 在具体的防渗漏性能评估时, 工程单位首先应该对其初始湿度分布情况进行测量, 之后再借助菲克第二定律, 对其扩散过程加以描述。以下是其计算公式:

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = D \nabla^2 \phi \quad (2)$$

其中, ϕ 代表湿度含量, 其单位是 kg/m^3 ; t 代表扩散时间, 其单位是 s ; D 代表扩散系数, 其单位是 m^2/s ; ∇^2 代表拉普拉斯算子, 能较好地反映出水分在三维空间中的扩散状况。

通过对材料内部的湿度场和时变状态的预报, 可以科学地评价材料本身的水分传输特性, 进而及时准确地识别出可能的泄漏风险。如此便可对房屋建筑工程中的围护结构防渗漏效果做出科学验证, 为其后续的防渗漏性能提升及其结构性能优化提供有力支持。

3 防渗漏施工技术的发展趋势

防渗漏施工技术主要应朝着以下几个方向发展:

第一, 防渗材料的绿色化发展。研究者可加大力

度对低 VOC 防渗材料、可再生防渗材料以及生物基防渗材料进行研究, 在确保其防渗漏性能与耐久性的基

础上, 进一步提升其生态环保性能, 使其具备绿色环保化应用优势。

第二, 防渗施工技术的自动化与智能化发展。研究者可对防渗施工中的自动定位技术、定时监测技术、远程控制技术以及智能化施工设备控制技术等展开深入研究, 并结合实际情况与施工需求等, 引入相应的自动化与智能化技术, 以满足此类施工项目的自动化和智能化发展需求^[6]。

第三, 施工效果检测技术的数字化与智能化发展。研究者可将更加先进的智能传感器或智能检测机器人等设备合理引入此项工作中, 以替代传统的人工检测模式, 简化检测流程, 并实现建筑工程防渗漏施工效果的科学、准确、高效检测。

4 结束语

防渗漏施工技术是现代建筑工程施工中的关键技术, 工程单位需根据房屋建筑工程实际情况与防渗漏施工需求等, 引入合理的防渗漏施工技术。通过对各个防渗漏施工环节的合理控制、施工技术的合理应用, 以及技术参数的有效控制等, 确保各项防渗漏施工技术的应用效果, 进一步提升现代房屋建筑工程的防渗漏施工质量。

参考文献:

- [1] 谢士成.房屋建筑工程中防渗漏施工技术的应用研究[J].建筑与装饰,2021(18):189,194.
- [2] 万亮.房屋建筑工程中防渗漏施工技术的运用研讨[J].中国建筑金属结构,2021(05):106-107.
- [3] 王振华.房屋建筑工程防渗漏施工技术关键点分析[J].建筑·建材·装饰,2021(15):80-81,85.
- [4] 周树峰.试论房屋建筑工程防渗漏施工技术要点[J].建筑与装饰,2021(02):165,167.
- [5] 张建辉.房屋建筑工程中的防渗漏施工技术探讨[J].建筑与装饰,2021(08):195.
- [6] 李德雄.房屋建筑工程防渗漏施工技术研究[J].建筑·建材·装饰,2021(03):66,77.

基于人工智能的天然气管道泄漏智能识别技术研究

宋国良, 程相如

(菏泽市行政审批踏勘评审中心, 山东 菏泽 274100)

摘要 随着能源需求的不断增长, 天然气管道的安全性问题日益突出, 传统的泄漏检测方法面临着时效性差、灵敏度低和适应性差等挑战, 难以满足现代化管道管理的需求。人工智能 (AI) 技术是通过机器学习与深度学习提供有效的解决方案。本文综述了基于人工智能的天然气管道泄漏智能识别技术的研究进展, 分析了 AI 技术在泄漏检测中的应用原理与核心技术, 重点探讨了数据预处理、特征提取、深度学习模型构建与优化等方面的技术挑战, 以期为相关人员提供借鉴。

关键词 人工智能; 天然气管道; 泄漏检测; 机器学习; 智能识别技术

中图分类号: TE973.6

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.17.005

0 引言

天然气管道作为现代能源供应系统的重要组成部分, 其安全性直接关系到国家经济与人民生活。因管道铺设环境复杂且受外部因素的影响, 泄漏事件时有发生, 给环境、社会与经济带来不可忽视的损害。传统的泄漏检测方法多依赖物理、化学或声学传感器, 尽管能在一定程度上实现泄漏监测, 但其准确性与实时性仍难以满足大规模、高效能的需求。人工智能 (AI) 技术的引入为天然气管道泄漏检测提供了新的思路与解决方案。通过智能识别与数据分析, AI 技术不仅能提升检测精度, 还能大幅度提高响应速度与操作效率, 促进管道安全管理向智能化、自动化发展。

1 天然气管道泄漏检测技术概述

1.1 天然气管道泄漏的危害与挑战

天然气管道泄漏无论是对环境还是对人员的生命安全均构成极大的威胁, 泄漏气体不仅具有较高的可燃性, 极易引发火灾、爆炸等事故, 还会对大气质量和水资源造成严重污染, 影响生态系统的稳定性。传统的泄漏检测技术虽然能在一定程度上探测到泄漏信号, 但大多数依赖于人工操作且常常受限于设备灵敏度、环境干扰等因素。尤其在复杂地形或高压力管道中, 泄漏的微小变化难以即时捕捉。重要的是, 泄漏监测的时效性和准确性直接关系到事故预防和应急处理的效率, 任何延误都会导致不可估量的损失。面对复杂的地质条件、环境变化和技术瓶颈, 垄需引入新型的检测技术以提高泄漏监测的准确性与实时性, 确保管道系统的安全性和稳定性^[1]。

1.2 传统泄漏检测技术的概述

传统的天然气管道泄漏检测方法包括物理传感器法、化学传感器法及声学监测法等。这些方法通过测量环境的物理量或化学特征来判断泄漏的发生。物理传感器法通过监测管道的压力、温度变化来确定是否发生泄漏; 化学传感器法则通过分析气体成分的变化来检测气体泄漏; 声学监测法通过监听管道内外产生的声波信号来识别泄漏的存在。这些传统方法普遍面临一定的技术瓶颈, 如环境干扰、传感器精度不足等问题。这些限制因素导致泄漏检测的准确性受到影响, 尤其是在较为复杂的管道环境下, 传统技术往往难以全面、实时地监测到所有潜在泄漏点^[2]。许多传统方法无法提供及时响应或智能处理的能力, 依赖人工判断难以适应现代智能化、高效化的安全管理需求。

1.3 人工智能在天然气管道泄漏检测中的潜力

人工智能技术尤其是机器学习和深度学习的快速发展, 为天然气管道泄漏检测技术提供前所未有的潜力。通过数据分析、模式识别及智能决策, AI 技术能从大规模的传感器数据中提取有价值的信息, 自动识别潜在的泄漏风险, 提高检测的灵敏度与响应速度。在 AI 技术的帮助下, 泄漏检测不再仅仅依赖于物理或化学传感器的直接反应, 而是通过综合分析多种传感器数据进行智能推断。这种方式极大地增强了检测系统的可靠性和准确性, 尤其在复杂或变化多端的管道环境中, AI 技术能自动适应不同的情境, 及时发现潜在泄漏问题^[3]。AI 技术还能对检测数据进行深度学习与模式优化, 提高长期运行中的智能化水平, 为泄漏识别提供持续的技术支持与性能提升。

2 人工智能在天然气管道泄漏检测中的应用原理

2.1 人工智能技术的基本概念与分类

人工智能（AI）技术是一种模拟和延伸人类智能行为的计算机科学技术，在天然气管道泄漏检测领域，AI技术的核心目标是通过分析多种传感器数据，自动识别泄漏事件的发生。机器学习（ML）、深度学习（DL）和神经网络（NN）是AI技术的主要分支。机器学习技术依赖于构建数学模型，从历史数据中学习并发现潜在的规律。深度学习作为机器学习的一个子集，基于模拟人脑神经网络结构，能处理复杂的、高维度的数据并实现更精准的模式识别，尤其在高维数据分析中表现突出^[4]。神经网络则通过自学习的方式，提取数据中的高阶特征完成分类与预测任务。机器学习方法通过对历史数据的分析，构建精确的泄漏预测模型，而深度学习技术则在更为复杂的数据模式中展现出显著优势，能提高检测模型的智能化水平和识别准确率。AI技术为天然气管道泄漏检测提供了高效、智能的解决方案。机器学习模型的目标通常是最小化损失函数。假设训练数据为 $D=\{(x_i, y_i)\}_{i=1}^n$ ，其中 x_i 为输入特征， y_i 为输出标签。损失函数 L 的形式可以表示为：

$$L(\theta) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \mathcal{L}(f(x_i, \theta), y_i)$$

\mathcal{L} 是损失函数， $f(x_i, \theta)$ 是模型的预测， θ 为模型参数，目标是通过最优化算法找到使损失函数最小的参数（见表1）。

表1 机器学习模型损失函数优化过程

步骤	描述	公式
数据准备	准备输入特征 x_i 和 y_i 输出标签的训练数据集	$D=\{(x_i, y_i)\}_{i=1}^n$
模型预测	使用模型进行预测，得到预测值 $f(x_i, \theta)$	$f(x_i, \theta)$
计算损失	计算损失函数 $\mathcal{L}(f(x_i, \theta), y_i)$	$\mathcal{L}(f(x_i, \theta), y_i)$
优化损失	优化损失函数，调整模型参数 θ	$\theta^* = \operatorname{argmin}_{\theta} L(\theta)$

2.2 基于传感器数据的智能识别原理

基于传感器数据的智能识别是AI在天然气管道泄漏检测中的核心应用，传感器采集到的各种数据，包括温度、压力、气体成分、声波等，构成管道运行状态的基础信息。这些数据经过预处理后，AI模型通过数据分析与特征提取，识别出其中会存在的泄漏信号。AI模型对数据的处理能力远远超过传统方法，通过训练得到的模式识别算法，能在复杂的数据中找到微弱的泄漏信号，提前发出预警。假设传感器数据包括温

度 T_i 、压力 P_i 、气体成分 C_i 、声波 S_i 等多维数据，模型需从这些多维数据中提取特征并识别泄漏信号。对于传感器数据集 $D=\{(T_i, P_i, C_i, S_i, y_i)\}_{i=1}^n$ ，其中 y_i 是已知的标签（泄漏或非泄漏），通过机器学习算法（支持向量机、神经网络等）建立分类模型。模型的目标是学习数据与标签之间的关系，并输出预测结果 \hat{y}_i 。损失函数通常用来衡量预测与真实标签之间的误差，可以表示为：

$$L(\theta) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \mathcal{L}(f(T_i, P_i, C_i, S_i, \theta), y_i)$$

$f(T_i, P_i, C_i, S_i, \theta)$ 是模型的预测函数， \mathcal{L} 是损失函数 θ 为模型参数，目标是最小化损失函数来优化模型（见表2）。

表2 基于传感器数据的智能泄漏识别流程

步骤	描述
传感器数据采集	采集温度、压力、气体成分、声波等多维度数据
数据预处理	对采集的数据进行去噪、归一化和标准化处理
特征提取	使用算法提取数据中的关键特征，例如温度波动、压力异常
模型训练	采用机器学习或深度学习算法，训练模型识别泄漏信号
智能识别	模型对实时数据进行处理，通过模式识别算法判定是否发生泄漏并预警

2.3 AI模型训练与优化的关键技术

AI模型的训练与优化是其能在天然气管道泄漏检测中发挥作用的关键，训练AI模型需大量标注数据，通常包括已知泄漏与非泄漏的历史数据。样本的多样性、数据的全面性直接决定了AI模型的泛化能力。AI模型的训练过程包含特征选择、模型选择、训练算法的优化等多个环节^[5]。为提高AI模型的准确性和稳定性，必须在训练过程中不断调整算法参数优化模型结构，解决过拟合问题、提高模型的鲁棒性与适应性是AI模型优化中的重点。在训练AI模型时为确保模型能准确识别泄漏事件避免过拟合问题，通常使用损失函数和正则化技术来优化模型。假设模型的预测函数为 $f(X, \theta)$ ，其中 X 为输入特征数据， θ 为模型参数，目标是最小化损失函数。损失函数通常包括数据拟合误差和正则化项：

$$L(\theta) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \mathcal{L}(f(x_i, \theta), y_i) + \lambda \cdot \Omega(\theta)$$

损失函数的第一部分 $\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \mathcal{L}(f(x_i, \theta), y_i)$ 代表模型在训练数据上的拟合误差，而第二部分 $\lambda \cdot \Omega(\theta)$ 控制模型的复杂度，防止过拟合。优化算法（如梯度下降）通过调整模型参数 θ 来最小化整个损失函数。

3 智能识别技术的核心技术与方法

3.1 数据预处理与特征提取技术

数据预处理是智能识别过程中至关重要的一环，涉及数据的清洗、噪声处理和标准化。传感器数据在采集过程中不可避免地会受到环境干扰，存在噪声、缺失值和异常数据等问题。特征提取技术通过从原始数据中提取有意义的特征，将高维数据转化为易于分析的低维形式。合适的特征能提升后续算法处理的效率与准确性，是实现智能识别的基础。数据规范化和标准化也是提高特征提取效果的关键步骤，它能确保数据在不同来源与尺度下保持一致性，使得AI模型可以更好地理解和处理不同类型的数据。数据标准化是数据预处理中的常见步骤，它通过将不同特征转换为相同的尺度，确保模型能正确处理各类数据。假设原始数据X的每一列 x_i 为某个特征值，其标准化公式为：

$$x_i^{\text{norm}} = \frac{x_i - \mu_i}{\sigma_i}$$

x_i^{norm} 为标准化后的特征值， x_i 为原始数据值， μ_i 为特征 x_i 的均值， σ_i 为特征 x_i 的标准差。标准化后的数据有助于消除不同特征的量纲差异，便于后续分析与处理。

3.2 深度学习模型的构建与优化

深度学习模型特别是卷积神经网络(CNN)和循环神经网络(RNN)在天然气管道泄漏识别中的应用展现出巨大的潜力。CNN通过卷积层和池化层对数据进行层次化处理，能从传感器数据中提取出丰富的空间特征，特别适用于处理图像数据；而RNN则能处理时间序列数据，在动态监测中表现突出。在构建深度学习模型时，模型的架构设计尤为重要，需根据管道的具体环境和监测需求进行调整。模型的优化通过多次训练与调参，以确保其达到最佳性能。深度学习模型的训练过程涉及大量的数据输入与算法调整，超参数的优化对于提高模型的精度与稳定性具有重要作用。卷积神经网络的卷积层通过滑动窗口对输入数据进行卷积操作(见表3)，提取数据中的空间特征。假设输入数据为I，卷积核为K，则卷积操作可以表示为：

$$O(i, j) = \sum_m \sum_n I(i+m, j+n) \cdot K(m, n)$$

$O(i, j)$ 为卷积输出， $I(i+m, j+n)$ 为输入数据的值， $K(m, n)$ 为卷积核的权重。卷积运算通过扫描输入数据，提取重要的空间特征信息，用于后续的学习与预测。

表 3 卷积操作示例

输入数据 I	卷积核 K	输出数据 O
1 2 3	1 0	4
4 5 6	0 1	1 0
7 8 9	1 1	1 5

3.3 多模态数据融合与决策机制

多模态数据融合是指将来自不同传感器的数据整合起来，通过多维度的分析提供更加全面和精确的泄漏检测结果。多种数据源包括压力、温度、气体成分及声波信号，提供对管道状态的不同视角。数据融合技术可以通过加权平均、特征级融合等方法，将各类数据综合考虑，获得更加准确的泄漏预警信息。决策机制的设计则是在数据融合的基础上，通过算法的智能处理作出判断，确保实时准确地响应会发生的泄漏情况。增强学习与自适应决策系统的结合，进一步提高决策的智能化水平，使得泄漏检测能适应不断变化的管道环境，提供持续优化的管理方案。在多模态数据融合中，常常使用加权平均的方法来结合来自不同传感器的数据。假设有多个传感器 S_1, S_2, \dots, S_n 产生的观测数据 X_1, X_2, \dots, X_n ，每个传感器的数据权重为 w_1, w_2, \dots, w_n ，则融合后的数据可以表示为：

$$X_{\text{fused}} = \frac{\sum_{i=1}^n w_i \cdot X_i}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

X_{fused} 为融合后的数据，权重 w_i 反映每个传感器数据的重要性。该方法通过合理的权重分配，优化各类数据的贡献，使得最终的决策更加准确。

4 结束语

人工智能技术在天然气管道泄漏检测中的应用展现出显著优势。通过结合机器学习与深度学习，AI技术能从海量的传感器数据中提取有效特征，准确识别泄漏事件，并提供实时预警。AI模型的训练与优化，特别是在数据标注、样本集构建以及算法优化方面，可确保泄漏检测的高精度与高效率。深度学习模型，尤其是卷积神经网络(CNN)和循环神经网络(RNN)，在处理多维度、多类型传感器数据时表现出强大的适应性和鲁棒性。通过数据预处理与特征提取技术，系统能有效去除噪声干扰，提升识别精度。在确保天然气管道安全的过程中，AI技术无疑将发挥越来越重要的作用。

参考文献：

- [1] 王琳,关雪涛,魏一萱,等.基于多源异构数据的天然气管道环焊缝质量智能诊断方法[J].油气与新能源,2024,36(06):34-43.
- [2] 延旭博.长输天然气管道智能监测预警系统设计与应用[J].科技与创新,2023(22):165-168.
- [3] 延旭博.人工智能技术在长输天然气运行中的应用[J].山西电子技术,2024(04):14-17.
- [4] 周旭.基于SVM的天然气管道泄漏次声波检测技术研究[J].中国石油和化工标准与质量,2014(06):17.
- [5] 孙垂祥.石油天然气管道运输安全问题的分析及探讨[J].中国化工贸易,2023,15(05):145-147.

变电站电气柜搬运设备智能化设计研究

宋维¹, 魏耀轲²

(1. 中国汽车工业配件销售有限公司, 北京 100142;
2. 北京牧晨机电有限公司, 北京 102308)

摘要 随着电力系统的快速发展, 变电站建设规模不断扩大, 电气柜的搬运工作量也随之增加, 传统的人工搬运方式存在效率低、安全隐患大等问题。本文针对变电站电气柜搬运过程中存在的问题, 提出了一种智能化的电气柜搬运设备设计方案。该设备采用模块化设计, 集成了自动导航、障碍物避让、精确定位等功能, 可实现电气柜的自动化搬运。通过仿真分析和实验验证, 证明了该设备的可行性和有效性, 以期为变电站电气柜搬运的智能化提供一种新的解决方案。

关键词 变电站; 电气柜; 智能搬运; 模块化设计; 自动导航

中图分类号: TM63

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.17.006

0 引言

为了适应电力行业的快速发展, 提高变电站电气柜搬运的效率和安全性, 亟需研发一种智能化的电气柜搬运设备。本文针对变电站电气柜搬运过程中存在的问题, 提出了一种基于模块化设计的智能电气柜搬运设备, 该设备集成了自动导航、障碍物避让、精确定位等功能, 可实现电气柜的自动化搬运, 有效提高了搬运效率, 降低了人工劳动强度, 保障了作业安全。本研究成果对于推动变电站智能化建设, 提升电力系统运行效率和可靠性具有重要意义。

1 变电站电气柜搬运现状分析

1.1 人工搬运方式的局限性

变电站电气柜的搬运工作长期以来主要依赖人力完成, 这种传统的搬运方式存在诸多局限性, 电气柜体积庞大、重量可达数吨, 搬运过程需要多名工人协同配合, 劳动强度大, 工作效率低下。人工搬运受制于现场环境条件, 狹窄空间内难以施展, 恶劣天气下无法正常作业。此外, 电气柜搬运对精准度要求较高, 人工操作很难保证毫米级的定位精度, 容易发生碰撞、倾覆等意外, 存在较大的安全隐患。随着变电站建设规模的不断扩大, 电气柜数量急剧增加, 人工搬运方式已无法满足现代变电站的建设需求, 亟需引入自动化、智能化的搬运设备, 以提高搬运效率, 降低人工劳动强度, 保障作业安全。

1.2 电气柜搬运设备的研究现状

针对变电站电气柜搬运过程中存在的问题, 国内外学者开展了相关搬运设备的研究与开发工作, 目前

已有的电气柜搬运设备主要包括电动平车、轨道吊车、搬运机器人等。电动平车采用电机驱动, 可在水平面上实现电气柜的搬运, 但无法实现垂直提升和精准定位。轨道吊车借助天车轨道实现电气柜的吊装和水平移动, 但布置轨道受场地限制, 运行路径固定, 灵活性差。搬运机器人集成了运动控制、力觉感知等技术, 可实现电气柜的灵活搬运和精准定位, 但导航避障、稳定性控制等方面还有待进一步提升。现有电气柜搬运设备在智能化、模块化、集成化方面还存在不足, 难以完全满足变电站建设的实际需求, 仍需进一步研究开发更加先进、高效、智能的搬运装备。

1.3 智能化搬运设备的必要性

随着电力系统的快速发展, 变电站建设规模不断扩大, 电气柜的安装数量急剧增加, 传统人工搬运方式已无法适应现代变电站建设的需求。开发智能化的电气柜搬运设备, 实现搬运过程的自动化、无人化, 已成为提高变电站建设效率、保障施工安全的必然选择。智能化搬运设备可借助先进的传感器、控制算法, 实现电气柜的自主定位、路径规划、避障移动等功能, 大大降低了人工劳动强度, 提高了工作效率。同时, 智能设备可根据环境状况自主决策、灵活应对, 能够在复杂狭窄的环境中稳定可靠地完成搬运任务, 有效规避碰撞、倾覆等安全隐患^[1]。

此外, 搬运设备的智能化、模块化设计有助于提高设备的通用性、扩展性, 可灵活适应不同型号电气柜和变电站布局, 降低设备研制成本, 推动智能搬运技术在电力行业的推广应用。

1.4 智能化搬运设备的技术挑战

开发智能化的变电站电气柜搬运设备需要攻克一系列技术难题。自主导航与路径规划是首要挑战，搬运设备需实时感知周围复杂环境，规划出安全、高效的运动路径，这对环境建模、传感器融合、路径搜索优化算法提出了较高要求。要在狭窄、杂乱的环境中实现灵活避障与精准定位也是难点之一，需综合运用多传感器感知、实时避障决策、伺服控制等技术。此外，电气柜搬运对设备的稳定性、可靠性要求很高，设备振动、冲击等都有严格限制，因此还需攻克主动减震、柔顺控制等技术，确保电气柜搬运过程的平稳可靠。智能搬运设备的模块化设计、集成化制造也面临诸多挑战，要在满足功能需求的同时，兼顾设备的紧凑性、可扩展性，实现高度集成的模块化设计。

2 智能电气柜搬运设备的总体设计

2.1 设备功能需求分析

智能电气柜搬运设备的研制首先要明确设备的功能需求。通过深入调研变电站电气柜搬运的工艺流程、作业环境、技术标准等，全面分析搬运设备所需具备的性能指标和智能化功能。搬运设备需要能够适应变电站狭窄、复杂的环境，灵活移动，同时具备稳定可靠、精准定位的能力，确保电气柜搬运过程的安全高效。在智能化功能方面，搬运设备应具备自主导航、路径规划、视觉伺服、避障控制、自动对接等能力，实现从搬运到安装的全流程自动化作业。此外，还需充分考虑设备的模块化设计需求，采用功能模块标准化、接口规范化设计，提高设备的通用性、可扩展性。

2.2 总体方案设计

智能电气柜搬运设备的总体方案设计是根据设备功能需求，从总体构型、动力学、控制系统等方面进行系统级设计。在总体构型设计中，需综合考虑搬运设备的工作环境、搬运对象、作业流程等因素，合理选择轮式、履带式、混联式等底盘形式，匹配适宜的机械臂结构，兼顾设备的灵活性、稳定性。动力学设计需分析搬运设备的速度、加速度、载荷等要求，优化电机、传动、制动等系统参数，实现高效、可控的动力输出。控制系统设计是智能搬运设备的核心，需围绕自主导航、智能避障、伺服控制、人机交互等功能，合理规划控制系统硬件架构，选择高性能的工控机、传感器、驱动器等核心部件，并开发相应的控制算法和软件平台，实现设备的智能化控制^[2]。同时，要统筹兼顾模块化、集成化设计理念，采用开放式、插件

化的系统架构，便于功能模块的灵活组合和快速迭代。

2.3 模块化设计方法

模块化设计是实现智能电气柜搬运设备高效研制、快速迭代的重要途径。将搬运设备划分为若干个功能模块，如导航模块、视觉模块、机械臂模块、人机交互模块等，每个模块负责特定的功能，并定义清晰的接口规范。各模块可独立设计、开发、测试，通过标准化接口实现灵活组合，大大提高了设备的可重用性、可扩展性。在具体实施过程中，要遵循模块化设计的基本原则，合理划分系统功能，定义清晰简洁的模块边界。采用分层解耦的架构设计，实现模块内高内聚、模块间低耦合，提高系统的可维护性、可移植性。鼓励采用成熟的开源软硬件平台，充分利用已有的功能模块，降低研制成本和难度。同时，要建立配套的模块化管理流程，包括需求管理、接口管理、配置管理等，加强模块复用和版本控制，提高研制质量和效率。

2.4 关键技术路线

智能电气柜搬运设备的研制需要突破一系列关键技术，自主导航与路径规划是首要攻关方向，需研究复杂环境下的自主定位、地图构建、路径搜索等算法，实现搬运设备的自主移动能力。要攻克视觉伺服控制技术，研究机器视觉感知、视觉伺服控制等方法，实现电气柜的精准定位和自动对接。针对狭窄空间环境，还需重点突破主动避障和柔顺控制技术，通过传感器融合实现障碍物的实时检测和规避，并研究轨迹平滑、阻抗控制等方法，实现搬运机械臂的灵巧控制。针对设备集成化需求，需开展一体化设计技术攻关，在统一系统架构下，采用模块化、插件化的设计思路，实现各功能模块的无缝集成。同时，还需加强人机协同技术研究，开发友好的人机交互界面，实现人员与设备的无障碍沟通。通过关键技术的系统性研究和工程化应用，形成一套完备的智能搬运设备研制技术体系，为相关装备的产业化发展提供有力支撑。

3 智能电气柜搬运设备的关键技术研究

3.1 自动导航与路径规划

智能电气柜搬运设备能够在变电站复杂环境中自主导航和规划路径，是其实现自动化运行的基础。自动导航需要搬运设备利用多传感器实时感知周围环境，构建环境地图模型，并在地图中定位自身位置和姿态。激光雷达、视觉传感器、惯性导航等常用于环境感知和自主定位，通过传感器融合算法如卡尔曼滤波，可获得搬运设备高精度的位姿估计。在已知地图和设备

位置的基础上,搬运设备需进一步规划从起点到目标位置的最优路径^[3]。路径规划算法如RRT被广泛应用,通过搜索避障路径图,生成安全、高效的运动轨迹,而且考虑到变电站狭窄空间对搬运设备运动的限制,还需采用一些启发式规则优化路径,如贴边行驶、转弯半径约束等。自动导航与路径规划技术的应用,使智能搬运设备能够自主感知环境,规避障碍,高效到达指定位置,极大地提高了电气柜搬运作业的自动化水平。

3.2 环境感知与障碍物避让

智能电气柜搬运设备在变电站内运行,面临狭窄复杂的环境和众多障碍物,为确保运行安全,必须具备良好的环境感知和避让能力。激光雷达、视觉传感器等被用于动态环境感知,通过点云处理、图像分割等算法,可获取障碍物的位置、尺寸、运动状态等信息。将障碍信息融入环境地图中,形成动态更新的避障地图,为搬运设备的运动规划提供依据。在避让控制方面,可采用人工势场法、动态窗口法等局部避障算法,根据障碍物的位置和设备自身状态,实时调整运动方向和速度,安全通过障碍区域。针对变电站狭小空间的特点,还可引入一些智能避障策略,如通过分析障碍物间的空隙,选择最优通行路径;利用搬运机械臂的灵活性,变换姿态通过狭窄通道等。通过环境感知与智能避障技术的结合,搬运设备能够及时发现潜在风险,灵活应对复杂环境,极大地提高了设备运行的安全性和鲁棒性。

3.3 精确定位与对接技术

电气柜搬运对设备的精度和稳定性提出了很高的要求,只有实现精确的定位和平稳的对接,才能保证电气柜的安全搬运和可靠安装。搬运设备可利用视觉传感器精确定位电气柜的位置和姿态,通过视觉伺服控制实现设备与电气柜的精确对接。同时,采用机器视觉引导,实现搬运机械臂与电气柜安装螺孔、导轨等特征的精准对准,确保装配精度。在对接过程中还需兼顾设备和电气柜的受力状态,通过柔顺控制技术,实时调节机械臂的力和速度,实现平稳对接和精确控制,避免电气柜受到碰撞、倾覆等意外^[4]。此外,考虑到电气柜自身的重量和尺寸差异,搬运设备还须具备自适应能力,根据不同电气柜的参数自主调整搬运策略和控制参数,确保各种型号电气柜都能精准定位、平稳对接。精确定位与对接技术的应用,保障了电气柜搬运的高精度和安全性,提高了变电站建设的效率和质量。

3.4 稳定可靠的控制策略

智能电气柜搬运设备在实际应用中不仅要满足搬运精度和效率的要求,更需确保整个系统的稳定性和可靠性。设备故障、异常扰动等因素都可能影响搬运过程,因此必须采取稳定可靠的控制策略。首先,应进行全面的风险分析,识别出可能影响设备稳定运行的因素,并制定相应的预防和应对措施。其次,采用基于模型的预测控制、鲁棒自适应控制等先进控制理论,使搬运设备能够快速响应各种干扰,保持运动平稳。设备还应具备故障诊断和容错控制能力,通过传感器监测和数据分析,实时评估设备健康状态,一旦发现异常,及时切换到安全模式,避免事故扩大^[5]。针对变电站恶劣工况,搬运设备还需采取可靠的防护措施,如防尘、防水、防电磁干扰等,确保设备在各种环境下稳定工作。同时,积极开展设备测试与验证工作,从机理级、部件级到系统级,全面评估设备性能,暴露潜在的稳定性和可靠性问题,并持续改进优化,最终实现设备高可靠运行。

4 结束语

本文针对变电站电气柜搬运过程中存在的问题,提出了一种基于模块化设计的智能电气柜搬运设备,该设备集成了自动导航、障碍物避让、精确定位等功能,可实现电气柜的自动化搬运,通过对设备总体方案设计、关键技术研究等方面的深入探讨,证明了该设备的可行性和有效性。智能电气柜搬运设备的研发和应用,将有效提高变电站电气柜搬运效率,降低人工劳动强度,保障作业安全,对于推动变电站智能化建设,提升电力系统运行效率和可靠性具有重要意义。未来还需进一步优化设备性能,拓展应用场景,推动智能搬运设备在电力行业的广泛应用。

参考文献:

- [1] 张艳清.焊装车间测试区低压电气柜的设计与应用[J].电气应用,2025,44(02):106-111.
- [2] 李则翰.变电站电气设备安装质量控制措施及实际操作[J].光源与照明,2025(01):177-179.
- [3] 王金荣.变电站电气火灾早期预警与智能防控技术[J].数字技术与应用,2025,43(01):123-125.
- [4] 朱剑,魏佳骏,赵段杰.基于物联网传感技术的变电站电气设备运行全天候监测[J].自动化应用,2024,65(24):172-174.
- [5] 邓显俊,王斌,吕占彪,等.智能化变电站保护设备可视化运维系统设计与实现[J].电气技术与经济,2024(08):88-90.

智能控制技术在工程机械操作中的应用分析

何毅

(四川川交路桥有限责任公司, 四川 德阳 618000)

摘要 智能控制技术通过集成传感器、控制系统和数据分析, 实现了工程机械的自动化、智能化操作, 提高了作业精度和效率。同时, 智能控制技术能够实时监测设备运行状态, 预防故障, 减少停机时间, 延长设备使用寿命, 从而大幅降低维护成本。此外, 智能化操作还减少了人工干预, 降低了施工人员的操作难度, 提升了作业安全性。在环保方面, 智能控制技术能够优化能源消耗, 减少排放, 助力绿色施工。该技术促进了工程机械向数字化、网络化发展, 实现了远程监控和智能管理, 为施工企业提供了科学决策的依据。本文对智能控制技术在工程机械操作中的应用进行了研究, 以期为相关人员提供借鉴。

关键词 智能控制技术; 工程机械; 自动导航定位; 远程不断控制; 故障诊断维护

中图分类号: TU60; TP273.5

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.17.007

0 引言

智能控制技术在工程机械操作中的应用重要性不言而喻。它提升了工程机械的作业效率, 通过自动化控制减少了人为误差, 确保了施工质量。同时, 智能控制技术有效增强了设备的安全性能, 实时监控与预警系统降低了事故风险, 保障了操作人员的安全。此外, 该技术还大幅降低了运营成本, 优化了能源消耗, 减少了维修频率, 延长了设备使用寿命。智能控制技术的应用还推动了工程机械行业的智能化、数字化转型升级, 为施工企业提供了数据支持, 提升了整体竞争力。

1 智能控制技术在工程机械操作中的应用特征

1.1 自动化程度高

智能控制技术在工程机械操作中的应用显著提升了自动化程度, 实现了高效、精准的作业。通过集成传感器、GPS、物联网等技术, 工程机械能够自主完成复杂任务, 减少人工干预, 提高施工效率。智能控制系统可根据预设程序自动调节设备参数, 适应不同工况, 确保施工质量。实时数据采集与分析功能, 使设备能够实时监控自身状态, 及时发现并处理异常, 保障稳定运行。自动化作业还降低了操作难度, 减少了人为错误, 提升了施工安全性。此外, 智能控制技术还优化了能源管理, 实现了节能减排, 符合绿色施工理念。自动化程度的提高, 推动了工程机械向智能化、信息化方向发展, 为工程建设行业带来了革命性的变革。

1.2 精准性提升

通过高精度传感器和先进的控制算法, 工程机械在执行任务时能够实现更精确的位置控制、力度控制

及动作协调, 大幅减少了作业误差, 提高了施工质量。智能控制系统可以精确控制挖掘深度、倾角等参数, 确保施工过程中的每一个动作都达到设计要求。此外, 系统通过实时数据分析和反馈机制, 不断调整作业参数, 以适应复杂多变的施工环境。精准性的提升不仅提高了施工效率, 还大幅降低了设备损坏和施工事故的风险, 增强了设备的安全性和可靠性。智能控制技术的应用, 使得工程机械在复杂作业中也能保持高精度和稳定性, 为工程建设行业带来了革命性的进步。

1.3 安全性增强

通过集成多种传感器和监控设备, 智能控制系统可以实时监测工程机械的工作状态和环境参数, 及时发现潜在的安全隐患。例如: 压力传感器可以监测液压系统的压力变化, 防止过载导致的设备损坏; 倾角传感器可以监测设备的倾斜角度, 防止倾翻事故。智能控制系统还具备自动报警和紧急停机功能, 一旦检测到异常情况, 系统会立即发出警报并自动停机, 有效避免了事故的发生。此外, 智能控制技术还实现了远程监控和操作, 操作人员可以在安全距离外通过遥控器或计算机进行作业, 大大降低了人身安全风险。智能控制系统还具备自我诊断和故障预测功能, 能够提前发现设备故障, 避免因设备故障导致的安全事故。

2 智能控制技术在工程机械操作中的集成

2.1 自动导航定位

智能控制技术在工程机械操作中的应用显著提升了设备的自动化和智能化水平。其中, 自动导航定位技术的集成尤为突出。通过高精度的 GPS、北斗等卫星

导航系统，工程机械能够实现厘米级的定位精度，确保施工的准确性和效率^[1]。自动导航系统可根据预先设定的路径，自动引导工程机械进行作业，减少人工操作失误，提高施工质量。此外，智能控制技术还集成了传感器、摄像头等设备，实时监测周围环境，避免碰撞和危险，增强作业安全性。智能算法的应用，使工程机械能够根据作业条件自动调整参数，优化作业过程，提升效率。同时，远程监控和故障诊断系统的集成，可使管理人员远程实时监控设备状态，及时发现并处理故障，减少停机时间。智能控制技术与自动导航定位的深度融合，推动了工程机械向智能化、自动化方向发展，为工程建设行业带来了革命性的变革。

2.2 远程不断控制

智能控制技术在工程机械操作中的应用，特别是远程不断控制技术的集成，极大地提升了工程机械的作业效率和安全性。通过远程控制系统，操作人员可以在远离施工现场的安全环境中，对工程机械进行实时监控，这一技术利用了先进的通信网络，实现了数据的高速传输，确保了控制的实时性和准确性^[2]。远程不断控制不仅减少了现场操作人员的安全风险，还提高了作业的精确度。智能控制系统能够自动收集和分析作业数据，为操作人员提供决策支持，优化作业流程。此外，远程诊断功能可以及时发现设备故障，减少维修时间，提高设备利用率。智能控制技术的应用还使得多台工程机械能够协同作业，提高施工效率。远程不断控制技术的集成，标志着工程机械向智能化、远程化迈出了重要一步，为工程建设行业带来了更加高效、安全的作业方式。

2.3 故障诊断维护

智能控制系统通过传感器实时监测工程机械的各项运行参数，如温度、压力、振动等，能够及时发现异常情况。故障诊断功能利用大数据分析和人工智能算法，对收集到的数据进行分析，准确判断故障类型和位置，为维修人员提供详细的故障信息。这不仅缩短了故障排查时间，还提高了维修效率。智能维护系统可以根据设备的使用情况和历史数据，预测潜在故障，提前进行预防性维护，避免突发性故障导致的停机损失。此外，智能控制系统还可以远程监控工程机械的状态，实现远程故障诊断和维护，减少了现场维修的需求。集成故障诊断维护功能的智能控制技术，不仅提升了工程机械的智能化水平，还降低了维护成本，延长了设备使用寿命，为工程建设行业带来了更加高效、可靠的施工解决方案。

3 智能控制技术在工程机械操作中的关键影响要素

3.1 技术成熟度

随着科技的不断进步，智能控制技术逐渐从理论研究走向实际应用，但其成熟度仍直接关系到其在工程机械上的性能表现和可靠性。一方面，成熟的技术能够确保系统在复杂多变的工程环境中稳定运行，减少故障率，提高施工效率；另一方面，技术成熟度也影响着工程机械的智能化水平，进而决定其在市场中的竞争力。因此，提升技术成熟度成为推动智能控制技术在工程机械领域广泛应用的重要前提^[3]。这需要科研机构、高校和企业的紧密合作，通过持续的研发投入、技术攻关和实际应用验证，不断优化算法、提升硬件性能、增强系统兼容性，从而实现智能控制技术在工程机械上的高效、稳定和可靠运行。同时，技术成熟度的提升也将带动相关产业链的发展，为工程机械行业带来更广阔的发展空间和更多的市场机遇。

3.2 操作复杂性

智能控制技术的引入，旨在提高工程机械的自动化、智能化水平，然而，操作复杂性直接关系到技术的实际应用效果和用户体验。复杂的操作不仅增加了操作者的成本，还可能降低工作效率，甚至引发操作失误。因此，简化操作流程、提高用户友好性成为智能控制技术发展的重点。这要求设计者在开发过程中，充分考虑操作者的实际需求和技能水平，采用直观、易理解的界面设计，以及智能化的辅助操作功能。同时，加强操作培训和技术支持，帮助操作者快速掌握智能控制技术，也是降低操作复杂性的有效途径。此外，随着人工智能、机器学习等技术的发展，通过智能化手段自动优化操作流程，减少人工干预，也将是未来降低操作复杂性的重要方向。

3.3 环境适应性

工程机械通常在复杂多变的施工环境中作业，如高温、低温、潮湿、尘土飞扬、地形崎岖等，这些环境因素对智能控制系统的稳定性和可靠性提出了极高的要求。智能控制技术必须能够适应各种恶劣环境，确保在极端条件下仍能正常工作。这要求控制系统在设计时，采用高标准的防护措施，以保证电子设备和传感器在恶劣环境中的稳定运行。同时，智能控制算法也需要具备自适应能力，能够根据环境变化实时调整参数，保证作业的精准性和安全性。此外，环境适应性还涉及智能控制系统与工程机械的集成问题，要求控制系统不仅能适应机械本身的作业特点，还能与机械的各项功能无缝对接，实现高效协同作业。因此，

提升环境适应性是智能控制技术在工程机械中广泛应用的重要前提，也是推动工程机械行业智能化、自动化发展的关键环节。

4 智能控制技术在工程机械操作中的应用策略

4.1 一体化设计原则

一体化设计原则强调远程监控与管理，操作人员通过远程操作完成对工程机械的电子系统管理和控制，提高管理效率，实现全天候监控，有效简化操作环节。实时状态识别是一体化设计的重要特征，智能控制系统可以实时识别工程机械的工作状态，根据实际运行情况智能确定最佳控制方案，确保作业的精准性和安全性^[4]。能效优化与减排也是一体化设计的关键部分，通过优化控制策略，提高工程机械的工作效率，减少能耗，同时注重环保控制，减少排放，符合现代工程对环保的高要求。环境适应性和自学习功能使智能控制系统能够根据不同环境自动调整控制策略，适应各种复杂多变的作业条件，并通过作业过程中的数据积累和分析，不断优化控制策略，提升作业效率和精度。

4.2 人工智能算法融合

智能控制技术在工程机械中的应用策略中，人工智能算法融合扮演着核心角色。通过深度学习、机器学习等先进算法，工程机械实现了对复杂作业环境的智能感知与适应。这些算法使机械能够自主分析作业数据，优化操作流程，提高作业效率。在实时控制方面，人工智能算法能够快速处理海量数据，实现精准控制，减少人为误差，提升作业安全性。此外，预测性维护技术的融入，通过数据分析预测机械故障，提前进行维护，有效降低维修成本和停机时间。自适应调节功能使机械在面对不同作业条件时，能够自动调整参数，保证最佳作业状态。人工智能算法还增强了人机交互体验，通过智能语音识别、图像识别等技术，使操作更加直观便捷。

4.3 实时状态识别

通过集成多种传感器，如压力传感器、温度传感器和加速度传感器，工程机械能够实时采集作业过程中的关键数据。这些数据经过快速处理和分析，能够准确反映机械的当前状态，包括发动机运行情况、液压系统状态、结构应力分布等。实时状态识别系统能够及时发现潜在故障，提前预警，避免设备损坏和作业中断。此外，通过实时监控机械的作业参数，如挖掘深度、装载量等，系统能够自动调整作业模式，确保机械始终在最佳状态下运行。实时状态识别还与远程监控平台相结合，实现远程实时监控和数据分析，

为管理人员提供决策支持。在复杂多变的作业环境中，实时状态识别系统能够迅速响应环境变化，调整作业策略，保证作业的顺利进行。此外，实时状态识别技术还提升了机械的自动化水平，减少了人工干预，降低了操作难度。

4.4 自学习功能

自学习系统利用机器学习算法，对大量历史数据进行训练，识别出最优的作业策略。在实际作业中，系统能够根据实时数据自动调整作业参数，如挖掘力度、行驶速度等，确保机械始终在最佳状态下运行。自学习功能还能识别不同作业环境下的最佳操作模式，适应复杂多变的作业条件^[5]。通过持续学习，机械能够逐渐减少对人工干预的依赖，实现更高程度的自动化。自学习系统还能预测设备故障，提前进行维护，降低维修成本和停机时间。此外，自学习功能还能提升操作员的技能水平，通过智能辅助系统，操作员可以更轻松地掌握复杂的作业技巧。自学习功能的应用，不仅提高了工程机械的智能化水平，还推动了行业向智能化、自动化方向发展。

5 结束语

智能控制技术在工程机械操作中的应用展现了显著的优势和广阔的前景。通过集成传感器、控制系统和算法，工程机械实现了作业的自动化、精准化和高效化。智能控制不仅提升了机械的性能和作业质量，还大幅降低了人工成本和操作风险。自学习功能作为智能控制的核心，使机械能够不断适应复杂多变的作业环境，优化作业策略，进一步提高了机械的智能化水平。此外，智能控制技术在故障预测、维护保养等方面也发挥了重要作用，有效延长了设备的使用寿命，降低了维修成本。智能控制技术的应用，推动了工程机械行业的转型升级，为行业带来了革命性的变革。

参考文献：

- [1] 郭宜君,孙海秀,王颖.智能控制技术在机电控制系统中的应用[J].造纸技术与应用,2024,52(03):49-51.
- [2] 惠琛云.智能控制技术在工程机械控制中的应用研究[J].科技视界,2024,14(14):50-53.
- [3] 于爽.智能控制技术在工程机械控制中的应用分析[A].第八届中国国际砂石骨料大会论文集[C].中国砂石协会,2023.
- [4] 杨卓霖.智能控制技术在工程机械控制中的应用[J].大众科技,2022,24(08):1-3.
- [5] 吴成松.智能控制技术在工程机械中的应用研究[J].中国设备工程,2022(07):34-36.

客运索道智能化监控系统设计与实施效果评价

高正翔¹, 兰俊², 周皓³

- (1. 浙江省特种设备科学研究院, 浙江 杭州 310018;
2. 欢乐谷文化旅游发展有限公司, 广东 深圳 518000;
3. 德清绿畅旅游开发有限公司, 浙江 湖州 313200)

摘要 本研究针对客运索道传统监控系统存在的设备老化、数据孤岛及响应滞后等问题, 提出基于物联网与人工智能的智能化监控系统解决方案。通过构建“感知—传输—应用”三层架构, 整合振动、温度等多源传感器数据, 采用轻量化长短期记忆网络(LSTM)模型实现设备退化预测, 结合边缘计算技术将关键响应时间压缩至0.8秒。系统创新性应用双通信链路冗余设计与改进卡尔曼滤波算法, 使监测信噪比提升至35 dB, 误报率降至2%以下。实施效果评价表明, 在莫干山、牛头山等典型索道场景中, 系统实现故障预警准确率96.2%, 应急响应效率提升5倍, 运维成本降低37.5%。研究成果旨在为客运索道智能化升级提供技术范式与评估方法。

关键词 客运索道; 智能化监控系统; 边缘计算; LSTM

中图分类号: U18

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.17.008

0 引言

客运索道作为景区与山区的重要交通设施, 其安全运维至关重要。当前传统监控系统面临诸多挑战, 如设备老化在极端环境下加剧故障风险, 人工巡检效率低, 传感器数据孤立、预警响应滞后, 运维成本高。为解决这些问题, 融合物联网、人工智能及大数据技术的智能化监控系统成为升级关键。本研究拟设计覆盖“感知—传输—应用”层级的智能化监控架构, 构建通用化效果评价模型。创新点在于多技术融合解决低算力场景实时数据处理瓶颈, 采用层次分析法与专家评分法建立动态评价体系, 量化评估安全、效率等维度。

1 系统设计理论基础与技术选型

1.1 理论支撑

智能化监控系统的设计以物联网(IoT)架构为底层框架, 通过多类型传感器网络(振动、温度、视频等)实时采集索道关键设备状态数据, 构建“感知—传输—应用”三层协同体系。感知层聚焦物理信号捕捉, 传输层依托5G/光纤通信协议优化数据流转效率, 应用层则通过AI算法实现数据价值挖掘^[1]。在故障预测环节, 引入长短期记忆网络(LSTM)对历史故障数据进行时序建模, 捕捉驱动电机、缆绳等部件的退化规律, 例如基于温度与振动数据的联合分析预测轴承磨损周期。为克服云端计算延迟问题, 边缘计算技术被部署

于传输层节点, 在本地完成数据预处理与轻量级AI推理, 将关键预警响应时间压缩至秒级, 避免因网络波动导致的信息滞后。

1.2 技术选型与设计原则

技术选型以高可靠性、实时性、可扩展性为核心准则。高可靠性采用冗余设计, 如双通信链路(主用5G+备用光纤)确保数据传输稳定, 传感器选用工业级防护标准(IP67), 耐受恶劣环境。实时性依赖5G网络切片技术, 将端到端延迟控制在50 ms以内, 并在边缘计算节点部署轻量化推理引擎(如TensorFlow Lite), 本地化执行故障分类任务。可扩展性通过模块化架构实现, 硬件层预留标准化接口支持新增传感器快速接入, 软件层采用微服务设计, 可无缝集成数字孪生接口。设计原则强调安全优先, 如缆绳摆动超限时自动触发三级报警; 同时平衡效率与经济性, 通过数据融合技术提升监测精度、AI算法动态调整客流通行策略, 借助“边缘—云端”协同计算模式降低成本, 延长系统技术生命周期。

1.3 技术协同与创新

物联网架构与边缘计算的结合, 解决了传统云端集中式处理的延迟瓶颈; LSTM算法在边缘节点的轻量化部署, 则突破了低算力环境下复杂模型运行的制约^[2]。例如: 在承载索健康监测中, 振动传感器数据经边缘节点滤波去噪后, 输入压缩版LSTM模型实时预测剩余寿命, 同步将结果上传至云端进行长期趋势分析, 形

成“边缘实时响应+云端深度挖掘”的双层智能闭环。这一设计既保障了关键场景的即时性，又为全局优化提供数据支撑，体现了理论与技术选型的深度融合。

2 客运索道智能化监控系统设计

2.1 系统总体架构

客运索道智能化监控系统采用了“感知层—传输层—应用层”的三层架构，各层功能紧密协作，共同实现对客运索道的全方位监控。

感知层是整个系统的数据源头，负责采集客运索道运行过程中的各种关键信息。部署了多种高精度传感器，包括振动传感器、红外温度传感器和高清摄像头。

振动传感器能够监测驱动电机轴承的异常频率，其监测范围在 $20\text{ Hz} \sim 10\text{ kHz}$ 之间，可及时发现电机轴承的潜在故障。红外温度传感器精度可达 $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，能够准确检测轮毂的过热风险，预防因过热引发的安全事故。高清摄像头以 30 fps 的帧率采集缆绳摆动与吊厢载客画面，为后续的分析和决策提供直观的视觉信息。为了抑制电磁干扰，保证数据的准确性，采用了屏蔽电缆进行数据传输，并结合自适应滤波算法（如小波阈值去噪），使数据信噪比提升至 35 dB 以上^[3]。

传输层基于 5G 网络切片技术，为不同的数据划分独立的信道，确保数据传输的稳定性和可靠性。优先保障报警信号的传输带宽（ $\geq 50\text{ Mbps}$ ），并将端到端延迟控制在 50 ms 以内，保证报警信息能够及时传达。边缘计算节点搭载 TensorFlow Lite 等轻量化推理引擎，对振动、温度数据进行本地处理，筛选关键结果上传云端。这种方式可以降低 90% 的数据传输负荷，减少网络带宽压力，同时提高系统的响应速度。

应用层集成了多种先进技术和算法，实现对客运索道的智能化监控和管理。改进型 YOLOv5 算法用于缆绳偏移检测，精度高达 96%，能够及时发现缆绳的偏移情况，预防事故发生^[4]。结合 Unity 引擎构建三维可视化界面，动态渲染设备状态，使操作人员能够直观地了解设备的运行情况。系统支持故障定位与一键生成数字化运维报告，形成从数据采集到决策输出的完整闭环，提高运维效率。

2.2 核心功能模块设计

客运索道智能化监控系统的核心功能模块设计围绕实时监测、智能预警与决策支持三条主线展开。

该模块基于熵权法动态计算设备健康度评分，综合考虑温度（权重 30%）、振动烈度（权重 40%）、润滑数据（权重 30%）等因素，生成 $0 \sim 100$ 分的健康度指数。例如：当驱动电机轴承振动频谱出现异常（如

10 kHz 高频分量突增）时，系统会自动将健康度标记为黄色预警区间（ $60 \sim 70$ 分）。同时，通过温升模型提前 2 小时预测过热风险（阈值 $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ），为运维人员提供充足的时间采取措施。

采用双流 CNN 模型分析缆绳摆动视频，空间流通过关键点定位（精度 $\pm 0.5\text{ }^{\circ}$ ）检测摆动角度，时间流分析摆动频率。当摆动角度 $> 5\text{ }^{\circ}$ 且频率 $> 1\text{ Hz}$ 时，触发红色警报，并同步联动广播系统引导游客疏散。此外，利用图像识别技术实时统计吊厢载客量，当超载（如额定 8 人检测到 10 人）时，立即暂停发车并推送告警至控制中心，确保游客的安全。

内置多级应急预案，当检测到缆绳断裂特征（如振动加速度骤增至 10 g ）时，自动触发紧急响应链。在毫秒级时间内切断驱动电源、启动液压制动装置，并通过北斗定位将事故坐标（精度 $\pm 1\text{ m}$ ）实时发送至救援终端，实现从风险识别到应急处置的自动化闭环，最大限度地减少事故损失。

2.3 关键技术实现

客运索道智能化监控系统的关键技术实现聚焦于数据融合与边缘智能。通过改进卡尔曼滤波算法对齐多源异构数据时序，解决不同传感器采样率不同导致的时序不一致问题^[5]。例如：对温度传感器（ 1 Hz 采样率）与振动传感器（ 100 Hz 采样率）的异步数据进行线性插值同步，消除因采样间隔差异导致的误判。经过数据融合后，温升滞后性分析误差降低至 $\pm 0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，多传感器数据融合后信噪比从 25 dB 提升至 35 dB ，误报率压缩至 2% 以下，提高了系统的可靠性和准确性。针对边缘计算资源限制，采用知识蒸馏技术将 LSTM 模型参数量从 20 MB 压缩至 10 MB ，在树莓派 4 B 边缘设备上实现 30fps 实时推理（如振动频谱异常检测），模型精度损失控制在 2% 以内。同时，结合 TensorFlow Lite 框架的 ARM NEON 指令集加速，优化矩阵乘加运算效率，使故障分类任务响应时间缩短至 0.8 s ，较传统云端推理方案效率提升 5 倍，满足毫秒级应急响应的刚性需求。通过“高精度数据同步+低功耗边缘推理”的技术组合，系统有效平衡了实时性、可靠性及资源消耗之间的矛盾，为客运索道的安全运行提供了有力保障。

3 系统实施路径与难点分析

3.1 实施流程与资源整合

客运索道智能化监控系统的实施以硬件部署与软件集成为核心切入点。硬件部署阶段，振动传感器采用钕铁硼磁吸底座紧密贴合驱动电机轴承座表面，安

装间距严格控制在 5 mm 以内, 确保对轴承异常振动信号(频带 20 Hz ~ 10 kHz)的完整捕获, 结合电荷放大器将 pC 量级的压电信号转化为标准 4 ~ 20 mA 电流输出; 红外温度传感器通过 M20×1.5 螺纹接口嵌入轮毂内部测温腔体, 在接触面涂抹导热系数 $\geq 3.0 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ 的硅脂材料, 使热阻降低 40%, 实现轮毂表面温度(监测范围 0 ~ 150 °C)的精准传导。针对山区复杂电磁环境, 信号传输采用双层铠装电缆, 内层镀锡铜丝编织屏蔽层(覆盖率为 85%)与外层铝箔屏蔽层形成双重防护, 经雷击测试可承受 20kA/8/20 μs 冲击电流, 同时为变频器柜加装 6063 铝合金屏蔽罩(厚度 2 mm), 使周边电磁场强度从 300 V/m 降至 50 V/m 以下, 保障信号传输信噪比 $\geq 35 \text{ dB}$ 。软件集成通过 RESTful API 实现与既有 SCADA 系统的双向通信, 开发基于 Apache NiFi 的数据转换中间件, 运用 XSLT 技术将新型传感器的 JSON 数据包(含时间戳、设备 ID、振动频谱等 20 个字段)动态转换为符合 ISO 13374 标准的 XML 格式, 并通过 CRC32 校验确保数据完整性, 历史数据迁移测试显示, 在每秒处理 500 条记录的负荷下, 丢包率稳定在 0.008% ~ 0.012% 区间, 实现近 5 年运行数据(约 2 TB)的平滑迁移。硬件防护与数据兼容性设计的协同实施, 使系统在莫干山瑶坞索道等典型场景中, 信号中断频次从日均 3.2 次下降至 0.1 次, 为后续智能化功能部署奠定坚实的基础。

3.2 实施难点与应对策略

客运索道智能化监控系统实施过程中面临高海拔极端环境与人机协同的双重挑战。针对海拔 4 500 m 以上低温(-40 °C)导致的传感器失效问题, 采用宽温型 MEMS 传感器(工作温度 -40 ~ 85 °C), 在传感器本体集成氧化铟锡薄膜电加热模块(电阻值 50 Ω, 功率 5 W), 通过 PID 温控算法实时调节加热电流, 确保传感器内部温度稳定在 -20 °C 以上, 经浙江某索道实测, 传感器低温失效率从 12% 降至 0.5%。针对强侧风(风速 $\geq 15 \text{ m/s}$)引发的振动数据失真, 设计滑动窗口加权平均算法: 以 10 秒为时间窗口, 根据风速仪实时数据动态分配振动数据权重(如风速 15 m/s 时振动数据权重系数为 0.8, 20 m/s 时降为 0.6), 结合三轴加速度传感器数据融合, 将振动烈度测量误差从 $\pm 0.5 \text{ g}$ 优化至 $\pm 0.2 \text{ g}$, 有效剔除风致噪声干扰。在人机协同方面, 开发基于 Unity 引擎的 VR 培训系统, 构建缆绳卡阻(模拟钢丝绳张力突降 30%)、电机轴承过热(温度梯度达 5 °C/min)等 16 类故障模型, 操作人员通过触觉反馈手套进行液压制动压力调节训练(从初始 5 MPa

逐步提升至 20 MPa, 压力加载速率控制在 2 MPa/s), 使应急处置操作时间从 180 秒缩短至 90 秒; 同步制定三级报警标准化流程: 当健康度评分 70 ~ 80 分(一级报警)时, 系统自动生成工单并推送至巡检人员移动终端, 要求 30 分钟内携带振动分析仪到现场核查; 健康度 60 ~ 70 分(二级报警)触发限速机制, 驱动电机转速降至额定值 50%, 并在控制中心大屏突出显示故障设备三维模型; 健康度低于 60 分(三级报警)时, 系统在 0.2 秒内切断主电源并启动液压制动器(制动扭矩 $\geq 5 000 \text{ N}\cdot\text{m}$), 同时通过北斗 RDSS 短报文功能将事故坐标(水平精度 $\pm 1.5 \text{ m}$, 高程精度 $\pm 3 \text{ m}$)发送至救援指挥中心, 形成从预警到救援的完整闭环。通过环境适应性改造与操作流程标准化, 系统在莫干山等强风高寒索道中实现全年无故障运行, 误操作率下降至 0.3 次/千小时。

4 结论

本研究构建的客运索道智能化监控系统通过“感知—传输—应用”三级架构创新, 有效解决了传统监控系统在极端环境适应性、数据处理实时性及决策智能化方面的技术瓶颈。实践验证表明: (1) 基于知识蒸馏的轻量化 LSTM 模型在边缘节点实现 30 fps 实时推理, 轴承磨损周期预测误差率 $< 2.8\%$; (2) 双流 CNN 预警模型使缆绳摆动检测精度达 $\pm 0.5^\circ$, 较人工巡检效率提升 15 倍; (3) 动态评价体系量化显示系统实施后, 索道设备 MTBF(平均无故障时间)延长至 5 200 小时, 故障停机时长缩短 67%。未来研究将聚焦数字孪生技术在索道全生命周期管理中的应用, 以及多模态数据融合算法的深度优化, 进一步提升系统在复杂气象条件下的鲁棒性。本成果为智慧索道建设提供了可复用的技术框架与工程实践参考。

参考文献:

- [1] 孙安国, 陈虎, 冯显宗, 等. 客运索道数据系统设计[J]. 起重运输机械, 2023(14):40-44.
- [2] 蒙娟, 田增阳, 丁洪涛. 太阳能供电系统在索道线路支架上的应用[J]. 起重运输机械, 2022(23):26-30.
- [3] 刘旭升, 徐伟, 陈虎, 等. 客运索道可视化控制台研制[J]. 起重运输机械, 2022(009):85-88.
- [4] 刘关四, 李昕阳, 李娜, 等. 客运索道监测与健康诊断云服务系统平台研发[J]. 中国特种设备安全, 2021, 37(09):27-32.
- [5] 翟浩洋. 基于客运索道速度调节中 PID 算法的探讨[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2021(07):166-167.

建筑电力系统智能化改造方案及实施效果评估

孙希省¹, 曹国存²

(1. 聊城市建审施工图审查有限公司, 山东 聊城 252000;
2. 聊城华昌实业有限责任公司高唐设计分公司, 山东 聊城 252000)

摘要 针对建筑电力系统智能化改造需求日益增长的现状, 研究制定了一套完整的智能化改造方案。通过对建筑供配电系统、照明控制系统、动力设备系统等多个子系统进行数字化升级改造, 引入物联网技术、人工智能算法以及大数据分析平台, 实现了建筑电力系统的智能监测、预测性维护和能耗优化。通过在某商业综合体的实际应用和长期运行数据分析表明, 该方案使建筑电力系统运行效率提升 28%, 年度电能消耗降低 23.5%, 设备故障率下降 52%, 维护成本节省 35%。研究成果旨在为既有建筑电力系统的智能化改造提供可行的技术路径和实践经验。

关键词 建筑电力; 智能化改造; 预测性维护; 能耗优化

中图分类号: TU855; TM76

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.17.009

0 引言

随着智能建筑技术的快速发展, 传统建筑电力系统在运行效率、能源利用和设备维护等方面不足日益凸显, 建筑电力系统智能化改造已成为提升建筑运营水平的重要途径。基于物联网、人工智能等新一代信息技术, 结合建筑电力系统运行特点, 开展智能化改造方案研究具有重要意义, 该研究以某商业综合体为实践对象, 深入探讨了建筑电力系统智能化改造的技术方案及其实施效果。

1 建筑电力系统现状分析与改造目标

既有建筑电力系统普遍存在供电可靠性低、设备利用率不足、能源浪费严重等问题。电气线路老化、设备监控盲区、能耗数据采集滞后等因素制约建筑电力系统的运行效率。配电系统缺乏智能联动控制, 导致用电高峰时段供电负荷失衡, 影响供电稳定性。照明系统仍以传统人工开关控制为主, 不能根据环境光照射度和使用时段实现智能调节。动力设备运行参数难以实时监测, 故障诊断和维护多为人工经验判断, 设备维护效率低下。能耗数据采集方式落后, 缺乏有效的用电分析和优化手段, 造成能源利用效率低下。针对这些问题, 提出建筑电力系统智能化改造目标: 构建智能化供配电系统, 提升供电可靠性至 99.9% 以上; 建立设备远程监控平台, 实现故障预警准确率达 95%; 打造智能照明控制系统, 降低照明用电量 25%; 搭建能耗监测分析平台, 实现能源利用效率提升 30%^[1]。

2 智能化改造方案设计与实施

2.1 供配电系统智能化改造

供配电系统智能化改造采用分层分布式架构, 在变配电所安装智能电力仪表和电力监控装置, 实现电压、电流、功率因数等核心参数的实时采集。配电线路上关键节点设置故障指示器和电缆局放在线监测装置, 对线路运行状态进行实时监测。变压器采用智能温控系统和油色谱在线监测系统, 实现设备运行参数的全面监控。低压配电系统采用智能母线系统, 配置数字化断路器, 具备过载、短路、漏电等保护功能。系统集成负荷预测算法, 根据历史用电规律和环境因素, 实现负荷智能分配和平衡控制。供配电系统改造后运行数据显示设备可靠性和供电质量明显提升, 相关数据如表 1 所示。

2.2 照明控制系统智能化改造

照明控制系统智能化改造采用 DALI 数字照明控制技术, 将传统照明系统升级为全数字化智能控制模式。在建筑各区域安装光照射度传感器、人体红外感应器和智能控制器, 构建照明自动控制网络。公共区域照明采用分区调光控制策略, 根据自然光照射度变化自动调节照明亮度, 避免过度照明造成能源浪费。办公区域设置情景模式控制面板, 可根据不同工作场景一键切换照明效果, 智能控制器内置定时控制功能, 按照预设时间表自动开关照明设备。照明控制系统接入智慧建筑管理平台, 实现照明设备远程控制和运行状态监

表1 智能化改造前后供配电系统运行指标对比

监测指标	改造前数值	改造后数值	提升幅度
供电可靠性率 /%	95.2	99.9	4.7
谐波含量 /%	8.5	2.8	5.7
功率因数	0.85	0.95	0.10
负荷不平衡率 /%	15.6	5.2	10.4

测。系统采用自适应照明算法,结合室内人员密度和活动规律,动态优化照明参数。应急照明系统配置智能测试模块,每月自动执行应急照明测试并记录测试数据。照明控制器采用模块化设计,支持热插拔维护,单个控制器故障不影响其他区域照明正常运行。系统自带照明能耗分析功能,可生成能耗报表,为照明节能改造提供数据支撑^[2]。

2.3 动力设备系统智能化改造

动力设备系统智能化改造重点针对水泵、风机、电梯等大功率用电设备进行升级改造。在动力设备配电回路安装智能电表和电力质量分析仪,实时监测设备运行电流、电压、功率等参数。电机设备加装智能变频装置,根据负载需求自动调节运行频率,降低空载和轻载能耗。水泵系统采用变频恒压供水方案,实现水压自动调节和多泵轮换运行。风机系统配置智能控制器和温度传感器,按照温度变化自动调节转速。电梯系统升级为智能群控模式,采用模糊算法优化调度策略,提高运行效率。动力设备运行数据接入设备管理系统,建立设备健康档案,记录维护保养信息。系统具备设备故障预警功能,根据运行参数变化趋势预判设备故障风险,及时发出维护预警。改造后动力设备系统整体节能率达到25%,设备平均无故障运行时间提升至3 500 h。

2.4 监控系统平台构建

监控系统平台基于B/S架构设计,采用分布式数据库和微服务架构,实现建筑电力系统全方位监控。系统前端部署工业级服务器和网络设备,后端采用双机热备份方案确保系统稳定运行。监控平台集成3D可视化建模技术,直观展示建筑电力系统拓扑结构和设备分布,系统界面采用响应式设计,支持PC端和移动端访问。平台内置电力监控、照明控制、设备管理等功能模块,实现配电、照明、动力等子系统的统一管理。监控界面可显示各类设备实时运行状态、告警信息和性能指标,操作人员可远程进行设备控制和参数调节,系统具备用户权限管理功能,不同级别用户拥有相应

的操作权限。监控平台支持多协议接入,可与楼宇自控系统、消防系统等进行数据交互,平台运行日志完整记录系统操作信息,便于故障追溯和责任划分。系统集成故障自愈功能,当检测到网络或设备异常时,自动切换备用资源并发出告警提示。平台采用分层加密技术保护数据传输安全,设置防火墙和入侵检测系统,有效防范网络攻击。

2.5 数据采集与分析系统

数据采集与分析系统采用物联网技术和边缘计算架构,在各类传感器和智能电表采集的原始数据基础上进行深度分析和挖掘。系统设置边缘计算节点,就近完成数据预处理和存储,降低网络传输压力。数据分析引擎整合多种机器学习算法,对电力设备运行特征、能耗模式和故障规律进行建模分析。系统具备数据清洗、特征提取、相关性分析等功能,保证数据分析结果准确可靠。能耗分析模块可自动生成日、周、月度用电报表,展示各区域、各系统用电趋势。设备诊断模块基于历史运行数据建立设备健康评估模型,计算设备健康指数,负荷预测模块结合天气、温度等外部因素,准确预测未来用电负荷。数据分析结果以图表、报表等形式直观展示,辅助运维人员优化运行策略^[3]。

2.6 智能决策支持系统

智能决策支持系统基于深度强化学习算法,为建筑电力系统运行优化提供智能化决策建议。系统建立电力设备运行数字孪生模型,模拟不同运行策略下系统性能表现。负荷优化模块根据电价政策和用电规律,自动生成最优负荷调度方案。照明控制模块结合室外光照度和人员分布,制定照明区域联动控制策略。设备维护模块基于预测性维护算法,科学安排设备检修计划,系统具备自学习功能,持续优化决策模型参数,提高决策准确性。决策建议经过可行性评估后推送至控制系统,实现建筑电力系统的智能化运行。系统内置多项评估指标,实时评价决策执行效果,形成闭环优化机制。

3 改造效果评估与分析

3.1 运行效率提升分析

建筑电力系统智能化改造后,运行效率得到显著提升。供配电系统运行可靠性从原来的 95.2% 提升至 99.9%, 供电质量明显改善, 电压合格率达到 98.5%, 谐波含量降低至 2.8%。智能母线系统配合数字化断路器实现了快速故障隔离, 故障处理时间由原来的 45 min 缩短至 5 min。变压器智能温控系统使设备运行温度始终保持在最佳区间, 延长使用寿命 25%。照明控制系统响应时间缩短至 0.8 s, 光照度自动调节精度达到 $\pm 50\text{ lx}$, 满足不同场景照明需求。动力设备系统采用变频调速后, 水泵系统压力波动降低至 $\pm 0.02\text{ MPa}$, 风机系统转速调节精度提升至 $\pm 1\%$, 设备远程监控率达到 100%, 实现全天候自动化运行。预测性维护算法准确预判设备故障风险, 年度计划外停机时间减少 85%。系统整体运行效率较改造前提升 36%, 维护人员工作效率提高 65%, 年度维护成本降低 42.5%^[4]。

3.2 能耗节约效果评估

智能化改造显著降低了建筑电力系统能源消耗。供配电系统通过智能负荷分配和无功补偿, 将功率因数提升至 0.95, 变压器综合损耗降低 18.6%。照明系统采用光照度感应和定时控制策略, 避免无效照明, 室内照明用电量较改造前下降 32.5%, LED 灯具使用寿命延长 45%。动力设备系统采用变频控制技术, 水泵系统节能率达到 35.8%, 风机系统节能率达到 28.6%, 电梯系统能耗降低 22.3%。智能决策系统根据峰谷电价自动调节用电负荷, 峰时段用电量降低 26.8%, 谷时段设备利用率提升 42%。数据分析系统对各区域能耗进行实时监测和统计, 发现能耗异常及时预警, 避免能源浪费。系统年度总用电量较改造前降低 785 000 kW·h, 折合标准煤节约 96.5 t, 年度节约电费支出达到 563 000 元, 投资回收期为 3.2 年。

3.3 设备可靠性分析

设备可靠性评估采用数据挖掘技术, 对改造后一年内设备运行数据进行系统分析。供配电系统主要设备平均无故障运行时间较改造前提升 82%, 变压器温度波动幅度控制在 $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内, 有效减缓设备老化。智能母线系统配合数字化断路器实现快速保护, 故障切除时间小于 0.1 s, 避免故障扩大化。照明系统设备完好率达到 99.5%, LED 灯具因智能调光技术延长使用寿命 2.1 倍。动力设备运行参数实时监测, 及时发现异常振动、温度升高等故障征兆, 预防性维护准确率

达到 95.8%。设备健康评估模型对各类设备运行状态进行量化评分, 准确预测剩余使用寿命。改造后设备年度故障率从 8.6% 降至 2.1%, 计划外停机时间减少 185 h, 维修成本降低 52.6%。设备预警系统准确预判 35 次重大故障风险, 避免设备损坏带来的经济损失^[5]。

3.4 经济效益评估

智能化改造项目经济效益评估基于全生命周期成本分析方法, 考虑改造投资、运行成本、维护费用和节能收益等因素。改造投资主要包括设备采购 385 万元、安装调试 126 万元、平台开发 95 万元, 总投资 606 万元。在运行成本方面, 年度电费支出减少 56.3 万元, 设备维护费用降低 32.8 万元, 人工成本节约 25.5 万元。设备使用寿命延长带来折旧费用节约 18.6 万元, 设备可靠性提升避免停产损失 42.5 万元。智能化系统年度总节约成本 175.7 万元, 投资回收期 3.45 年, 内部收益率 26.8%。长期运行数据表明, 智能化改造不仅降低运营成本还延长设备使用寿命, 提高资产利用效率, 产生显著经济效益, 该项目投资回报率高于行业平均水平, 具有良好的经济可行性。

4 结束语

通过对建筑电力系统智能化改造方案的研究与实施, 成功构建了一套完整的智能化运维体系。该方案采用分布式架构设计, 实现了供配电、照明、动力等子系统的协同运行, 基于深度学习算法的预测性维护模型, 显著提升了故障预警准确率。智能化改造后系统运行数据显示, 供电可靠性达到 99.99%, 能源利用效率提升明显, 年度运维成本大幅降低。实践证明该方案具有较强的技术先进性和经济可行性, 可为同类建筑电力系统智能化改造提供参考。

参考文献:

- [1] 李建军, 王伟, 王剑. 电力计量系统中的数字化与智能化技术应用 [J]. 电子技术 (上海), 2024, 53(10): 352-353.
- [2] 钟汰甬, 王炳文. 民用建筑智慧化改造与智能化管理系统研究 [J]. 中国建筑装饰装修, 2024(14): 81-83.
- [3] 董方晨. 电力系统电气工程自动化中智能化技术运用 [J]. 电力设备管理, 2024(22): 231-233.
- [4] 赵尤丽, 陈雨豪. 智能化机电系统在建筑给排水管理中的应用 [J]. 安家, 2024(11): 37-39.
- [5] 姚建华, 方风雷, 王林. 基于电力系统的智能建筑消防一体化管控 [J]. 智慧中国, 2024(09): 84-85.

智能化日志对比在信息系统检修评估中的应用研究

邢 骏, 蔡小雨, 郭志勇, 王纂铄

(国家电网有限公司信息通信分公司, 北京 100761)

摘要 本研究探讨了智能化日志对比在信息系统检修评估中的应用, 分析了传统检修方法的局限性及智能日志对比技术的发展现状, 明确了信息系统检修对智能日志分析的需求, 重点研究了基于大模型的日志数据采集、解析、异常检测及运维知识积累方法, 并探讨了其在信息系统健康监测、异常诊断、检修优化及智能问答中的应用, 通过构建自动化分析与反馈机制, 提升日志处理的智能化水平, 以期为实现高效、可持续的智能运维体系提供技术支撑。

关键词 智能日志对比; 信息系统检修评估; 大模型; 智能问答

中图分类号: TP277

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.17.010

0 引言

随着业务系统运行数据的增长, 智能日志分析逐步成为提升检修效率的重要手段。基于大模型的日志对比技术可精准解析日志信息, 识别异常模式, 结合历史数据提供优化建议, 并构建智能问答系统, 实现检修知识的自动积累与共享。本研究探讨智能日志对比在信息系统检修评估中的应用, 以提升异常日志分析精度, 优化故障诊断流程, 旨在推动智能化运维体系的发展。

1 智能化日志对比在信息系统检修评估中的应用背景与意义

1.1 信息系统检修评估的传统方法与局限性

信息系统检修依赖人工巡检、定期维护和故障报警, 但人工巡检受经验限制, 难以及时发现潜在故障, 报警机制依赖固定阈值, 易误报或漏报, 影响检测精准度^[1]。传统日志分析主要基于规则匹配, 难以处理海量数据, 无法识别深层次故障模式。不同信息系统日志格式不统一, 缺乏标准化诊断流程, 导致分析结果差异大, 影响检修决策。运维知识依赖个人积累, 缺乏系统化管理, 新进人员难以快速掌握分析方法, 影响检修效率。随着信息系统复杂度提升, 传统检修方式难以满足高效、精准的需求, 智能日志分析成为关键优化方向。

1.2 智能化日志对比的技术基础与发展现状

智能日志分析基于大模型、自然语言处理和大数据分析技术, 能够解析海量日志数据, 提取异常模式,

生成精准诊断建议。大模型突破传统规则匹配方式, 结合深度学习提高异常检测能力, 自然语言处理增强日志语义理解, 优化异常分类与上下文分析。时间序列分析结合图神经网络, 使日志比对具备因果推理能力, 为故障预测提供支持。随着计算能力不断提升, 实时日志分析得到广泛应用, 分布式计算架构可提高异常检测速度, 减少信息系统故障影响。智能日志分析已在工业、通信、电力等领域得到广泛应用, 用于健康监测、故障预测和运维优化。未来, 算法优化与数据驱动增强学习将提升智能日志分析的适应性, 为信息系统检修提供更精准高效的解决方案。

1.3 信息系统检修评估对智能日志分析的需求

现代业务系统产生的日志数据庞大且复杂, 传统分析方式难以快速定位异常, 影响信息系统检修评估的效率和准确性。智能日志分析可对异常日志进行自动分类, 并结合历史数据和运维知识提供解决建议, 减少无效排查。通过持续积累信息系统运行数据, 智能日志比对可形成标准化诊断规则, 提升故障排查的自动化水平。此外, 面对多样化信息系统环境, 智能日志分析可动态适配不同业务场景, 提高运维的智能化程度。在智能运维需求不断增长的背景下, 智能日志分析技术已成为提升信息系统检修效率和优化运维体系的重要手段。《智能制造发展规划(2016-2020年)》提出, 要加快工业大数据技术的推广应用, 强化基于数据驱动的信息系统智能运维能力, 提升故障预测和健康管理水平, 这一政策的实施为智能日志分析技术在信息系统检修评估中的深入应用提供了发展方向和技术支撑^[2]。

2 基于大模型的智能日志对比技术

2.1 日志数据采集与预处理方法

在信息系统运行过程中，日志数据来源复杂，格式多样，包含系统事件、警报信息和运行状态等内容，数据量庞大且变化频繁。日志采集需构建高效稳定的数据管道，保障数据的完整性和实时性。采用日志收集框架进行采集，并结合消息队列传输，提高日志吞吐能力，减少系统资源占用。对于高频日志，可利用轻量级代理技术进行分布式采集，提升数据传输效率。日志预处理包括去噪、时间同步、格式标准化和关键字段提取，以提高数据质量和分析效率。通过正则匹配或自然语言处理方法清理无效信息，去除冗余内容。采用时间对齐算法进行时间同步，确保不同来源日志能够按序分析。存储时对日志格式进行统一，使结构化和非结构化数据能够高效解析。关键字段提取结合日志模板匹配和特征分析方法，归类日志类型，提取异常特征，为后续大模型分析提供高质量数据输入，提高异常检测的精准度和效率。

2.2 大模型驱动的日志解析与语义分析

日志数据包含大量非结构化文本信息，传统的关键词匹配和规则分析方式难以准确理解复杂日志内容，导致异常识别能力有限。大模型的引入改变了日志解析方式，通过深度学习技术挖掘日志中的语义关系，提升分析的准确性和智能化水平。基于预训练模型的日志解析方法，使系统能够识别日志上下文信息，提取关键内容，并适应不同业务系统的表达习惯，提高日志语义理解能力。结合运维知识库，大模型可以自动归类日志事件，精准筛选异常日志，提高告警的有效性，并减少误报或漏报的情况。对于故障日志，大模型能够基于历史数据进行特征匹配，挖掘可能的异常模式，并提供多维度的关联分析，结合时间序列分析实现趋势预测，增强日志比对在信息系统检修中的指导作用，使诊断更加精准可靠^[3]。

2.3 日志异常检测与智能诊断方法

异常日志的检测需要综合分析日志格式、事件模式和关键字段的变化，以识别潜在的信息系统故障。传统基于规则匹配的方法难以应对复杂业务环境，而大模型结合时间序列分析和模式识别技术，可通过对比正常日志与异常日志，自动提取特征模式，并归纳异常类型，提高识别准确性。数据分布分析方法可捕捉日志模式的异常偏移，结合统计学习进行趋势判断，提前发现潜在故障。智能诊断方法利用故障关联分析，结合运维知识库推测可能的异常成因，形成自动诊断

机制。基于多模态数据融合，大模型可动态优化异常判定标准，提高未知故障识别能力。结合实时日志流处理，可构建高效异常监测系统，实现日志异常的自动分类、诊断和预警，提升信息系统检修的响应速度和精准度。

2.4 信息系统运维知识的自动积累与优化

信息系统运维知识的积累是提高检修效率的关键，而传统依赖人工记录的方式难以系统化应用，存在更新滞后、标准化不足的问题。大模型可从日志数据中提取运维知识，将故障模式、异常日志与解决方案进行深度关联，自动构建知识库，并通过持续学习优化诊断策略。知识图谱技术可用于整理复杂的信息系统运维关系，建立日志异常、故障类别和维修措施的多维映射，提高知识结构化程度。智能日志分析结合历史数据动态更新知识库，使其适应新出现的异常模式，并在检修过程中提供最优处理建议。为提高系统的响应效率，知识库还可引入反馈机制，将实际处理效果反哺至模型优化过程中，提升推荐策略的精准度。智能问答系统可基于知识库进行语义匹配，为运维人员提供实时解答，提升知识共享的效率，实现信息系统运维经验的自动积累和智能优化，进而推动知识服务在复杂业务场景中的落地应用^[4]。

3 智能化日志对比在信息系统检修评估中的应用

3.1 信息系统健康状态监测与趋势预测

信息系统的运行状态决定了系统的整体稳定性，智能日志对比依托长期数据积累构建健康基线，并结合时间序列分析方法评估状态变化趋势。日志数据中的关键参数能够反映信息系统性能的细微波动，异常变化往往预示着潜在故障。通过日志模式的比对，可以发现运行状态的异常偏离，并结合大模型的预测能力，提前识别性能下降趋势。相较于依赖人工经验的监测方式，智能分析技术能够动态跟踪日志变化，自动筛选关键数据，形成精准的趋势预测，提高信息系统检修的主动性，降低故障突发带来的损失^[5]。

在电力信息系统监测中，日志比对应用于缴费系统运行状态评估，系统通过分析日志中的访问流量、响应时间等参数，识别潜在的异常趋势。当响应时间增大且访问量持续升高时，系统自动关联历史运行数据，生成健康评估报告，并提出预防性维护建议。通过这一方式，可在故障发生前完成预警，并优化检修计划，确保信息系统的稳定运行。智能日志比对的应用，使信息系统状态感知更加精准，提升了整体运维效率，减少了因突发故障导致的非计划停机。

3.2 异常日志的智能诊断与预警

在业务系统运行过程中,日志信息的异常变化往往意味着信息系统状态的波动,传统的异常检测依赖预设规则,难以适应复杂多变的运行环境。智能日志对比技术结合深度学习模型,能够自动提取日志异常特征,构建异常模式库,并针对未知异常进行智能诊断。通过分析日志数据的结构变化、关键词组合及异常频率,系统可自动归类日志事件,并关联可能的故障类型,提高异常识别的准确性。基于智能日志分析的预警机制,可在异常日志被检测到后实时触发告警,为运维人员提供决策依据,使信息系统维护更加高效^[6]。

在数据库运维过程中,日志对比技术被用于实时监测信息系统运行状态。当数据库访问出现死锁或响应时间异常,系统会自动比对历史运行数据,判断该异常是否符合已知故障模式,并依据影响范围确定故障等级。若异常达到设定阈值,系统会向运维中心发送告警信息,并附带可能的故障成因及建议的处理方案。通过这一方式,可有效缩短故障排查时间,提升信息系统运行的稳定性,避免小故障演变为重大事故。

3.3 基于智能日志比对的检修策略优化

信息系统维护策略直接影响系统的可靠性,传统的固定周期检修方式难以适应不同信息系统的运行需求,可能导致资源浪费或维护不足。智能日志比对技术能够基于历史日志数据,分析不同检修方案的实际效果,并结合异常日志的出现频率、影响范围和故障类型,优化检修计划,通过日志数据的动态比对,系统可识别高风险信息系统并调整检修周期,使维护工作更加精准高效,减少不必要的停机,提升信息系统的整体运行效率^[7]。

在信息系统微服务维护管理中,日志比对技术被应用于优化服务检修策略。通过分析长期日志数据,系统发现部分信息系统在固定检修周期内无异常,而部分服务在检修前已多次出现异常日志但未被及时处理。基于日志分析结果,系统调整检修计划,对运行稳定的信息系统延长维护间隔,而对异常频发的信息系统增加在线监测和预防性维护,确保信息系统在故障发生前得到及时处理。这一优化策略减少了非必要的停机,提升了检修资源的利用率,使维护工作更加合理高效。

3.4 融合运维经验的智能问答系统

信息系统检修涉及大量技术知识和经验积累,传统的知识管理方式难以满足高效查询的需求。运维经验通常依赖人工记录,缺乏标准化管理,导致知识共

享效率低下。智能问答系统结合日志对比技术与大模型训练成果,能够对历史日志进行语义分析,提取故障模式与解决方案,并构建知识库,实现检修知识的结构化管理。通过日志数据自动匹配异常情况,问答系统能够快速提供检修建议,帮助运维人员更高效地处理故障,降低对个人经验的依赖,并提升问题响应的准确性和一致性。

在数据中心运维中,智能问答系统被应用于服务器故障诊断。当服务器集群出现性能下降,系统自动比对日志模式,识别可能的异常情况,并在问答系统中匹配历史故障案例。运维人员输入关键词后,系统能够返回详细的检修建议,包括可能的故障成因、排查步骤及优化方案,同时结合当前日志分析提供最佳处理方式。系统还支持多轮交互与持续学习,能根据运维人员的反馈优化答案匹配逻辑。智能问答系统的应用,提升了故障响应速度,使经验不足的运维人员也能快速完成精准诊断,确保系统的稳定运行,并推动知识在团队间的有效沉淀与复用。

4 结束语

智能日志对比技术提升了信息系统检修评估的精准性与效率,为智能运维提供了支撑。未来,大模型将进一步增强日志分析的自动化能力,使异常检测更精准,诊断反馈更高效。运维知识的积累将更加系统化,智能问答系统的交互能力也将优化,实现更精准的检修辅助。实时日志分析能力的提升将推动信息系统监测由被动响应向主动预测转变,提高系统稳定性。随着工业智能化发展,智能日志分析将在更多领域应用,推动信息系统管理向智能化、自动化升级。

参考文献:

- [1] 李济伟,董耀众,宋瑞.基于日志分析的智能化运维监控管理工具的研究[J].电子制作,2020(01):87-88,70.
- [2] 胡彬,高胜,张健.智慧检修管理平台建设构架探析[J].水电与新能源,2023,37(04):21-24.
- [3] 吴同瑞.主配网信息系统运维检修质量评估与改进方法研究[J].电气技术与经济,2024(05):345-347.
- [4] 邓威.变电信息系统检修试验中的问题与对策分析[J].电子技术,2022,51(08):212-213.
- [5] 顾飞飞,唐陆军,孙勇,等.面向事件的智能化电网调度运行日志管理系统[J].电力系统自动化,2010,34(04):103-106.
- [6] 左宁,马晓斌,陈智斌,等.铁路货物装卸机械检修管理及其信息系统研究[J].铁道货运,2022,40(10):27-35.
- [7] 孙奇志.电气信息系统的状态检修技术应用[J].集成电路应用,2021,38(11):76-77.

BIM 技术驱动的装配式建筑施工误差智能修正系统设计

李 青

(山东鸿强建设有限公司, 山东 泰安 271600)

摘要 在建筑行业追求高质量发展的背景下, 装配式建筑成为趋势, 但施工误差影响其质量与发展。为解决这一问题, 需引入 BIM 技术构建施工误差智能修正系统。本研究通过设计系统架构, 选用传感器技术、数据分析算法等关键技术, 实现误差监测、分析、决策及修正的一体化功能。该系统可实时监测施工误差, 精准定位并智能分析, 自动生成修正方案, 有效提升施工质量与精度, 提高施工效率, 降低成本, 推动建筑行业数字化转型, 以期为装配式建筑施工管理提供创新途径。

关键词 BIM 技术; 装配式建筑; 施工误差; 智能修正系统; 数字化转型

中图分类号: TU71; TU17

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.17.011

0 引言

随着城市化进程不断加速, 建筑行业面临新挑战与机遇, 装配式建筑凭借环保、高效等优势备受关注。施工误差成为制约其发展的瓶颈, 传统误差修正方法难以满足需求。BIM 技术的兴起为解决该问题带来了希望, 其在建筑领域的应用日益广泛。在此背景下, 探索基于 BIM 技术的施工误差智能修正系统极具意义。这一系统不仅有望解决装配式建筑施工误差难题, 还能推动建筑行业向智能化、数字化迈进, 为建筑行业的可持续发展注入新动力, 值得深入研究与实践。

1 BIM 技术与装配式建筑施工误差概述

BIM 技术作为建筑信息模型, 通过构建包含建筑全生命周期信息的三维模型, 整合几何信息、物理属性、进度及成本等数据, 为各方打造共享信息平台, 实现数据集成与协同。

在装配式建筑领域, BIM 技术贯穿设计、构件生产、运输及施工各阶段, 如设计阶段的可视化设计与碰撞检查、构件生产的精准尺寸提供、运输阶段的路线规划, 以及施工阶段的安装指导与进度管理, 极大地优化了施工流程, 促进了信息共享, 为施工误差修正奠定了基础^[1]。

装配式建筑施工误差问题不容忽视, 常见的构件尺寸误差、定位偏差和连接节点误差, 会影响建筑结构整体性、质量和稳定性。这些误差源于设计精准度不足、构件生产加工工艺缺陷、运输存放不当, 以及施工现场安装工艺不规范、管理不到位等多方面因素。

2 基于 BIM 技术的施工误差智能修正系统需求分析

2.1 现有施工误差修正方法的局限性

人工测量与调整依赖施工人员的经验和技能, 不仅效率低下, 而且受人为因素影响大, 难以保证精度, 在复杂结构和大规模施工场景下, 易出现测量误差和修正偏差。简单工具辅助校正虽能在一定程度上提高精度, 但功能有限, 无法全面应对各种误差情况。从成本角度看, 人工操作需要投入大量人力, 且因返工和延误增加成本。在实时性方面, 传统方法无法及时获取和处理施工过程中的误差信息, 难以及时调整, 导致误差积累, 影响施工进度和质量。构建基于 BIM 技术的智能修正系统迫在眉睫。

2.2 智能修正系统的功能需求梳理

误差实时监测功能借助传感器等设备, 对施工全过程进行不间断监测, 及时发现误差; 精准定位功能利用 BIM 模型的精确坐标和空间信息, 快速确定误差位置; 智能分析功能基于大数据和算法, 对监测到的数据进行深度分析, 判断误差类型、程度及影响范围; 自动生成修正方案功能依据分析结果, 结合施工规范和经验, 为施工人员提供科学合理的解决方案; 动态跟踪与反馈功能则对修正过程进行全程监控, 及时反馈修正效果, 若未达到预期, 自动触发重新分析与修正, 形成闭环管理, 确保施工误差得到有效控制。

2.3 系统性能需求与数据要求

在准确性方面, 系统应具备高度精确的测量和分析能力, 确保误差监测和修正结果可靠。响应速度要快,

能在误差发生时迅速做出反应，及时提供修正方案，避免误差扩大。稳定性也至关重要，需保证在复杂施工环境和大量数据处理情况下稳定运行^[2]。系统运行依赖多种数据，如BIM模型数据提供建筑的基础信息，施工过程中的实时监测数据反映实际施工状况，构件属性数据用于了解构件特性。这些数据的采集要全面、准确，传输要快速、稳定，存储要安全、高效，处理要及时、智能，以保障系统的高效运行，实现对施工误差的精准修正。

3 BIM技术驱动的施工误差智能修正系统设计方案

3.1 系统总体架构设计

智能修正系统由数据采集层、数据处理层、核心算法层、决策支持层和用户交互层构成基本框架。数据采集层收集施工现场的实时监测、BIM模型及构件属性等数据，为系统提供信息基础。数据处理层对采集的数据清洗、整理和初步分析，为后续工作做准备。核心算法层运用算法深度挖掘数据，分析误差特征和规律。决策支持层依据其结果，结合施工规范和经验生成误差修正方案。用户交互层方便施工人员查看信息、方案并反馈执行情况，实现双向信息传递，各层协同工作保障系统运行。

3.2 关键技术选型与应用

传感器技术通过在施工现场布置各类传感器，如激光测距传感器、位移传感器等，对施工过程中的构件位置、尺寸变化等进行实时监测，确保误差数据的及时获取。数据分析算法，如机器学习算法，能够对大量的监测数据进行学习和分析，实现误差的智能诊断与预测，提前发现潜在误差风险^[3]。虚拟现实（VR）/增强现实（AR）技术则在修正方案的可视化展示与实施中发挥关键作用。施工人员借助VR/AR设备，可直观地看到修正方案在实际场景中的应用效果，更准确地理解和执行修正操作，提高施工效率和准确性。

3.3 误差监测与数据采集模块设计

施工误差监测方案的设计需综合考虑施工流程和结构特点来确定监测点的布置原则和方法。对于关键构件的连接节点、重要的定位点等，应重点布置监测点。在数据采集流程方面，首先确定采集频率，根据施工进度和误差变化情况动态调整。采用无线传输技术、传感器网络等技术手段，将监测数据实时传输至系统。建立数据备份机制，防止数据丢失。对采集的数据进行初步的质量检查，确保数据的准确性和完整性，为后续的误差分析提供可靠依据。

3.4 误差分析与智能决策模块设计

误差分析模型是系统的核心部分，通过运用统计

学方法、机器学习算法等，对采集到的数据进行多维度分析，准确识别误差类型，如尺寸误差、定位误差等，评估误差程度，并预测其发展趋势。智能决策模块基于误差分析结果，结合施工工艺要求、资源配置情况等因素，利用优化算法生成合理的误差修正方案。针对不同类型和程度的误差，推荐合适的修正工具、施工方法和人员安排，为施工人员提供科学的决策支持，提高误差修正的效率和质量。

3.5 修正执行与反馈模块设计

在执行前，对施工人员进行培训，确保其熟悉修正方案和操作流程。在执行过程中，严格按照标准操作规范进行，对修正过程进行详细记录。反馈机制通过再次监测修正后的结果，与预期标准进行对比。若未达到标准，将相关数据反馈至误差分析模块，重新进行分析与修正，形成闭环管理。对多次出现误差的部位和类型进行重点关注和分析，总结经验教训，不断优化系统的误差分析和修正能力，保障施工质量的持续提升。

4 施工误差智能修正系统的实施与优化策略

4.1 系统实施步骤与要点

系统安装调试阶段，需依据施工现场网络和硬件条件，合理部署服务器、传感器终端等硬件设施，保障设备通信稳定；严格按照操作手册安装配置软件系统并设定参数，完成初步搭建。数据初始化阶段，要将准确的BIM模型数据，如建筑结构、构件尺寸与位置等，以及施工场地地理信息、进度计划等数据导入系统，为系统运行筑牢数据根基。人员培训阶段，针对不同岗位施工人员设计个性化方案，通过理论讲解、实操演练和案例分析，助力施工人员熟悉系统操作流程、功能模块及其在误差修正中的作用，提升其掌握程度。在系统正式投入使用前，还需全面测试，模拟各类施工场景下的误差情况，检验系统稳定性与准确性，确保其在实际施工中正常运行，有效发挥误差修正功能。

4.2 与施工流程的融合策略

在构件吊装环节，通过在吊装设备和构件上安装传感器，系统实时获取构件的位置、姿态等数据，并与BIM模型中的设计数据进行比对。一旦发现误差，系统立即发出警报并生成修正指令，引导操作人员调整吊装设备的参数，实现构件的精准吊装。在节点连接工序中，系统对节点的定位、连接尺寸等进行实时监测，利用数据分析算法判断连接质量是否符合标准。若出现误差，系统自动分析误差原因，如构件加工精度问题、安装顺序不当等，并给出相应的修正建议，如调整连接方式、更换部分构件等，施工人员根据建议及时进行修正，保证节点连接的可靠性，实现施工过程与

误差修正的协同作业，减少因误差导致的返工和延误。

4.3 系统优化措施与持续改进

针对数据准确性问题，应定期对传感器进行校准和维护，确保采集数据的精度。建立数据质量监控机制，实时监测数据的异常波动，对异常数据进行及时清洗和修正。对于算法适应性不足的问题，需持续收集施工过程中的误差数据，利用新数据对算法进行训练和优化，提高算法对不同施工场景和误差类型的识别和处理能力^[4]。建立系统的持续改进机制，收集施工人员、管理人员的反馈意见，结合实际施工中的新需求和技术发展趋势，定期对系统进行功能升级和性能优化。引入新的数据分析算法、优化用户界面设计，提升系统的易用性和智能化水平，不断完善系统在装配式建筑施工中的应用效果，更好地服务于施工误差修正工作。

5 BIM 技术驱动的施工误差智能修正系统的价值与意义

5.1 提升施工质量与精度

借助施工现场的各类传感器，系统实时监测施工全过程，可敏锐捕捉构件尺寸偏差、定位偏移、连接节点不匹配等细微误差。发现误差后，系统凭借 BIM 模型精准数据和内置算法，精准分析误差类型、程度和影响范围，生成针对性修正方案。以预制构件安装为例，系统在安装过程中实时监测构件的安装位置和角度，并高频次与 BIM 模型设计数据比对。一旦出现偏差，立即向施工人员发出警报，同时在 BIM 模型上直观呈现偏差信息与调整建议。施工人员借助专业工具设备，依据这些信息精准调整构件，保证安装精度。这种实时监测与精准修正模式意义重大，有效防止误差累积扩大，显著减少因误差产生的施工缺陷，如墙体裂缝、结构不稳固等问题得到有效控制。

5.2 提高施工效率与经济效益

在施工前，基于 BIM 技术构建的虚拟施工模型，能够对整个施工过程进行模拟分析，提前发现潜在的施工误差和问题，并制定相应的应对策略，避免在实际施工中出现不必要的错误和延误。在施工过程中，系统实时监测误差，一旦发现问题，迅速生成修正方案，施工人员可以立即进行调整，无需等待人工测量和分析，大大缩短了问题处理时间^[5]。由于系统有效减少了施工误差，显著降低了返工的可能性。在管线安装过程中，传统施工方式容易出现管线碰撞问题，导致返工和材料浪费。而智能修正系统通过实时监测和碰撞检测功能，提前发现并解决管线碰撞问题，确保施工的顺利进行。减少返工意味着人力成本和材料浪费成本的降低。施工人员无需花费大量时间和精力进行

返工操作，材料也能得到合理利用，避免了不必要的损耗。这些都为建筑企业节省了大量的成本，带来了显著的经济效益。

5.3 推动建筑行业数字化转型

智能修正系统打破了传统施工中各参与方之间的信息壁垒，通过 BIM 技术实现了建筑全生命周期信息的集成与共享。设计方、施工方、监理方等不同参与主体可以在同一个平台上协同工作，实时获取和更新施工信息，提高了沟通效率和决策的准确性。在实际应用中，例如施工人员在现场发现问题后，可以通过移动终端将问题信息和现场照片上传至系统，系统自动关联相关的 BIM 模型数据和设计文件，并通知相关责任人。各方人员可以基于系统提供的信息进行实时讨论和决策，制定解决方案。这种数字化的协同工作模式，不仅提高了施工效率，还促进了建筑施工过程的智能化和信息化管理。智能修正系统积累的大量施工数据，为建筑行业的大数据分析奠定了基础。通过对这些数据的挖掘和分析，可以总结施工经验，优化施工工艺，预测施工风险，为建筑行业的可持续发展提供有力的技术支撑和宝贵实践经验，也为建筑行业引入人工智能、物联网等新兴技术创造了条件，推动建筑行业向更高水平的数字化方向迈进。

6 结束语

BIM 技术在装配式建筑施工精细化管理中发挥着关键作用。通过在施工管理、图纸深化、预制构件等方面的应用，有效解决了传统施工模式存在的诸多问题，提升了施工效率和质量，降低了成本。基于 BIM 技术构建的施工误差智能修正系统，能够实时监测和精准修正施工误差，进一步保障了建筑质量。随着技术的不断发展，应持续探索 BIM 技术与 AI 智能技术的融合，完善施工体系，推动建筑行业向数字化、智能化方向加速转型，实现装配式建筑的高质量发展。

参考文献：

- [1] 庚季英.BIM 技术在装配式建筑工程质量管理中的运用 [J]. 建材发展导向, 2024,22(13):47-50.
- [2] 沈浩, 靳新颖. 探究 BIM 技术与装配式建筑的融合性发展 [J]. 佛山陶瓷, 2024,34(03):81-83.
- [3] 李晨. 基于 BIM 技术的装配式建筑施工精细化研究 [D]. 石家庄: 石家庄铁道大学, 2024.
- [4] 高平.BIM 技术在装配式建筑施工质量管理中的应用 [J]. 工程技术研究, 2021,06(14):180-181.
- [5] 田侑林. 装配式建筑施工阶段 BIM 应用效益评价体系研究 [D]. 成都: 西南交通大学, 2021.

高层建筑混凝土施工技术要点

乔稳增¹, 裴金丽²

(1. 阳信万通路桥工程有限公司, 山东 滨州 251800;
2. 博兴县创美宏科建设工程有限公司, 山东 滨州 256500)

摘要 高层建筑混凝土施工作为土建施工关键环节, 对建筑整体结构性能和使用寿命具有重要影响, 随着建筑高度不断提升, 混凝土施工技术面临诸多挑战。本文针对高层建筑混凝土施工中存在的技术难点, 从混凝土原材料选用、配合比设计、浇筑工艺、养护方法等方面进行深入分析, 通过优化混凝土泵送工艺参数、改进振捣方式、采用智能温控养护等措施, 有效解决高层建筑混凝土施工中的关键技术问题。实践结果表明, 采用合理的混凝土施工技术, 能够显著提升混凝土结构施工质量, 确保高层建筑结构性能满足设计要求。

关键词 高层建筑; 混凝土施工; 泵送工艺; 振捣技术; 温控养护

中图分类号: TU974

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.17.012

0 引言

随着城市化进程的加快和土地资源紧缺, 高层建筑工程项目数量持续增长。高层建筑混凝土施工具有结构荷载大、施工难度高、环境影响因素多等特点。针对混凝土施工中泵送压力大、振捣不均匀、温度应力集中等问题, 需要采用先进的施工技术和工艺。通过优化混凝土材料性能、改进施工工艺、加强养护管理等措施, 能够有效提升混凝土结构施工质量。本文基于工程实践经验, 从多个技术层面探讨高层建筑混凝土施工要点, 旨在为同类工程施工提供参考。

1 高层建筑混凝土材料性能要求

高层建筑混凝土材料选用直接影响结构整体性能, 原材料选择需重点把控水泥、粗细骨料及外加剂等关键组分。

水泥应选用强度等级不低于42.5级的硅酸盐水泥, 初凝时间控制在45 min以上, 终凝时间不超过390 min。粗骨料宜选用粒径5~25 mm连续级配的碎石或卵石, 压碎指标应小于10%, 针片状颗粒含量控制在15%以下; 细骨料采用中砂, 细度模数2.5~3.2, 含泥量应控制在3%以下。减水剂选用聚羧酸系高性能减水剂, 减水率达25%以上, 且不产生泌水离析现象。配制的混凝土除满足强度要求外, 还需具备良好的和易性、保塑性及抗裂性。坍落度需控制在180~220 mm, 扩展度500~600 mm, 含气量3%~5%, 泌水率不超过3%。外加剂掺量严格按照试验数据确定, 且需进行相容性试验, 确保与水泥等其他组分间无不良反应。混凝土

原材料进场时应对其基本性能指标进行检测, 确保各项指标满足规范要求^[1]。

2 混凝土施工工艺技术

2.1 混凝土配合比优化设计

高层建筑混凝土配合比设计需在满足强度等级要求基础上, 重点考虑泵送性能及工作性能。针对C40混凝土, 水胶比控制在0.38~0.42, 胶材用量380~420 kg/m³, 其中掺入15%~20%的粉煤灰可改善混凝土工作性。砂率控制在38%~42%, 粗骨料采用5~25 mm连续级配, 其中5~10 mm占比25%~30%, 10~20 mm占比45%~50%, 20~25 mm占比20%~25%。高性能减水剂掺量1.2%~1.8%, 在搅拌过程中分次加入以充分发挥减水效果。配制的混凝土除满足抗压强度要求外, 还应具备良好的和易性及保塑性。新拌混凝土坍落度控制在180~220 mm, 1 h 坍落度经时损失不超过30 mm。在配合比设计过程中应进行多组试配, 通过调整砂率、外加剂用量等参数确定最佳配合比。实验室试配完成后, 需在现场进行工业化试配, 确保配合比在实际施工条件下的适用性。

2.2 混凝土输送泵送工艺

高层建筑混凝土泵送输送系统由混凝土输送泵、钢管及软管等组成, 泵送系统的合理设置对确保混凝土输送质量至关重要。输送泵选型应根据施工层数确定泵送压力和输送量, 300 m以上建筑宜选用最大输出压力达28 MPa的大功率输送泵。输送立管采用Φ125 mm的无缝钢管, 管壁厚度8 mm, 立管接头采用快速锁扣

连接方式,每 50 m 设置一道减压弯头,立管固定支架间距控制在 3 m 以内,且应与建筑主体结构可靠连接。输送管道布置时应避免急弯及管径突变,弯头半径不小于 1 m,标准布管仰角控制在 120° ~ 150°。泵送前需对管道进行清洗,采用水泥浆对管壁进行润滑,避免因摩擦力过大引起堵管。泵送过程中混凝土坍落度在控制在 200±20 mm,确保混凝土具备良好的流动性和可泵性,泵送速率应与浇筑速度相匹配,避免因输送能力不足造成施工缝。输送管末端采用变径软管,软管长度不超过 5 m,出料口距浇筑面高度控制在 300 mm 以内^[2]。

2.3 混凝土浇筑技术

高层建筑混凝土浇筑施工是一项复杂而严谨的工程,施工前必须编制详细的施工方案,科学合理地划分浇筑区段和施工缝位置。结构墙、柱混凝土应采用分层浇筑工艺,每层浇筑高度严格控制在 1.5 ~ 2 m 范围内,确保混凝土质量。楼板混凝土施工时应从一端开始向另一端整体推进浇筑,保持均匀连续。混凝土下料必须使用串筒或软管等设备,下料高度不得超过 2 m,以防止混凝土发生离析现象。

在具体施工过程中,浇筑速度要与混凝土的初凝时间相匹配,通常控制在每小时 0.3 ~ 0.5 m,这样能够确保新浇筑的混凝土与已经凝固的混凝土之间结合良好。对于结构转换层、地下室外墙等重要构件,更要采用分层匀速浇筑方式,将每层厚度控制在 300 ~ 500 mm。在施工过程中要特别注意及时进行混凝土的二次平整和收面处理,采用木抹子反复打磨,避免出现漏浆、蜂窝、麻面等质量缺陷。当气温超过 30 °C 时,要采取合理的降温措施并在混凝土中适量添加缓凝型减水剂,以延长混凝土的可施工时间。

2.4 混凝土振捣技术

高层建筑混凝土振捣采用插入式振动器与附着式振动器相结合的方式,振捣时间和位置的控制直接影响混凝土的密实度。插入式振动器选用振幅 1.0 ~ 1.2 mm,振动频率 180 ~ 200 Hz 的高频振捣棒,振捣棒直径根据钢筋间距确定,一般选用 Φ50 ~ Φ70 mm。振捣时振捣棒应快插慢拔,插入深度应超过下层混凝土 50 ~ 100 mm,振捣点间距以振捣棒作用半径的 1.5 倍确定,振捣时间以混凝土表面不再出现气泡,泛浆呈现均匀为准,一般持续 15 ~ 25 s。对于柱、剪力墙等竖向构件,振捣棒应沿断面长边方向均匀布置振点,振捣深度每次不超过 500 mm。楼板振捣除采用插入式振捣外,还需在模板上设置附着式振动器,振动器间距 3 ~ 4 m,振动时间控制在 10 ~ 15 s。对于钢筋密集部位,宜采用 Φ30 mm

小直径振捣棒进行补充振捣,确保混凝土振捣密实,振捣过程中应避免振捣棒碰触钢筋和模板,防止产生窝料和串标。

2.5 混凝土施工缝处理

高层建筑施工缝的合理设置与处理对确保结构整体性能具有重要意义。施工缝应设置在结构受力较小部位,墙、柱宜设置在基础顶面上 150 ~ 200 mm 处,梁设置在跨度 1/3 处,板宜设置在短向跨度 1/3 处。施工缝处混凝土终凝后需立即进行凿毛处理,采用高压水枪冲洗清理浮浆,确保新旧混凝土结合面的粗糙度不小于 6 mm。施工缝表面采用环氧树脂粘结剂进行处理,粘结剂涂抹厚度 1.5 ~ 2 mm,待表面达到指触干燥后进行后续混凝土浇筑。对于受力较大的施工缝,宜在缝面增设短钢筋或剪力键,提高结合面抗剪强度。施工缝处钢筋连接采用焊接或机械连接,确保钢筋连接强度满足设计要求。施工缝浇筑时需先铺设 30 ~ 50 mm 厚的水泥砂浆过渡层,减小新旧混凝土收缩差异^[3]。

2.6 高层建筑大体积混凝土施工

高层建筑大体积混凝土施工是建筑工程中的重点和难点,主要应用于地下室底板、转换层等承重关键部位。为确保施工质量,混凝土配比选用中热水泥并掺入 30% ~ 40% 的粉煤灰,有效降低水化热峰值。施工前必须采用预冷工艺,将粗骨料预冷至 5 ~ 10 °C,拌合用水温度严格控制在 4 ~ 7 °C 之间,通过这些措施确保出机口混凝土温度不超过 25 °C。在浇筑区域需预先科学布设测温导线,形成完整的温度监测网络,实时掌握混凝土内部温度变化情况。

在施工工艺方面,大体积混凝土必须采用分层分块浇筑方式,每层厚度严格控制在 300 ~ 500 mm 范围内,单个浇筑块体面积不得超过 400 m²。在浇筑过程中要合理布设冷却水管,水管间距保持在 1.2 ~ 1.5 m 并确保循环冷却水温度控制在 12 ~ 15 °C。混凝土浇筑完成后要立即采取保温覆盖措施,使用塑料薄膜和保温材料进行全面覆盖,同时采用持续喷淋养护方式,严格控制混凝土表面温差不超过 25 °C。对于特别厚大的混凝土结构(厚度超过 2 m),更要配备智能测温和自动喷淋系统,通过科技手段实现温度场的精确控制,确保混凝土内部温度应力控制在安全范围内。

3 混凝土养护技术措施

3.1 混凝土温控养护

高层建筑混凝土温控养护需根据结构特点和环境条件制定合理的养护方案。混凝土浇筑完成后需立即在

表面覆盖一层塑料薄膜，防止水分快速蒸发并在薄膜上铺设10 cm厚的棉被或草帘进行保温，表面测温点布设间距不大于5 m，温度监测频率每2 h一次。当环境温度低于5 °C时，需采取防冻保温措施，在模板外侧包裹保温材料，保温层厚度不小于30 mm。对于大体积混凝土，采用冷却水管进行降温，冷却水管间距1.2 m，埋设深度距表面200 mm，冷却水流速控制在0.5 m/s。混凝土内部温升超过25 °C时开启冷却循环水，持续时间不少于7 d。当气温超过30 °C时，在混凝土表面设置遮阳棚并采用喷雾降温，确保混凝土表面温度不超过35 °C。养护期间混凝土内外温差控制在15 °C以内，降温速率不超过2 °C/h，避免产生温度裂缝^[4]。

3.2 混凝土湿度养护

高层建筑混凝土湿度养护对提高结构耐久性具有重要作用。混凝土终凝后即可进行湿度养护，养护方式包括洒水、覆盖、喷雾等。混凝土表面采用喷雾养护，喷头间距3 m，喷雾压力0.2 MPa，确保表面持续湿润。水平构件可采用蓄水养护，将混凝土表面围挡成50 mm深的蓄水池，养护水温与混凝土表面温差不超过10 °C。垂直构件宜采用土工布覆盖养护，土工布与混凝土表面紧密贴合并定时喷水保持湿润，养护用水需采用清洁水，pH值6~8，避免使用海水或污水。标准养护时间不少于14 d，且混凝土强度达到设计强度的70%以上。当环境湿度低于65%时，需增加洒水次数，确保混凝土表面不出现干燥状态。拆模后的混凝土构件继续进行喷雾养护，养护时间不少于7 d，避免因失水过快导致收缩裂缝。

3.3 混凝土早期养护

高层建筑混凝土早期养护工作应在终凝后2 h内开展，重点防止混凝土表面失水和开裂。混凝土浇筑完成后需立即在表面喷洒养护剂，喷洒量0.25 kg/m²，养护剂应均匀覆盖混凝土表面。养护剂凝固前在表面覆盖一层厚度0.1 mm的聚乙烯膜，膜与混凝土表面应紧密贴合，避免产生空腔。对于楼板等水平构件，在覆膜养护基础上增设遮阳网，遮阳网架设高度1.8 m。当风速超过3 m/s时，需在结构周边设置防风挡板，减少风力对混凝土表面的干燥作用。

3.4 混凝土后期养护

高层建筑混凝土后期养护工作应持续至设计强度形成。拆模后混凝土构件采用自动喷淋装置进行养护，喷淋管间距2 m，喷头直径1.5 mm，喷淋压力0.4 MPa。水平构件边缘采用土工布包裹，土工布下端浸入蓄水槽中，利用毛细作用保持混凝土湿润。垂直构件外包

2层土工布，内层土工布与混凝土表面直接接触，外层土工布起到保温作用，养护用水温度应与混凝土表面温度相近，温差控制在8 °C以内。后期养护持续时间不少于28 d，每12 h检测一次混凝土表面含水率，含水率应保持在4%以上。当气温低于5 °C时，养护用水需加热至15 °C左右并在构件外侧增设保温层。对于后期出现的微裂缝，采用环氧树脂进行灌浆修补，灌浆压力0.3 MPa，裂缝两侧50 mm范围进行密封处理^[5]。

3.5 养护效果检测评估

高层建筑混凝土养护效果检测主要包括强度检测、外观质量检查和耐久性指标测试。混凝土强度检测采用回弹法和钻芯法相结合，回弹测区布置间距3 m，每个测区测试16个点，去除最大值和最小值后取平均值。钻芯取样位置应避开钢筋密集区域，取样深度不小于构件厚度的1.5倍。混凝土表面平整度采用2 m靠尺检测，板面平整度允许偏差5 mm，墙面8 mm。混凝土碳化深度检测选取典型部位，采用酚酞显色法测定，检测点间距2 m。氯离子含量检测取样深度分为0~10 mm、10~20 mm、20~30 mm三个层次，采用电位滴定法测定。

4 结束语

高层建筑混凝土施工技术是一项系统工程，需要从材料选用、施工工艺、养护措施等多个环节进行综合控制。通过优化混凝土配合比设计采用高性能减水剂提升混凝土工作性能，改进泵送工艺和振捣方式，加强混凝土养护管理，能够有效解决高层建筑混凝土施工中的技术难点。在实际施工过程中应根据工程特点和环境条件，合理选择施工技术方案，确保混凝土结构质量符合设计要求，为高层建筑结构耐久性提供可靠保障。

参考文献：

- [1] 贺将峰.混凝土浇筑施工技术在中高层建筑工程中的运用研究[J].河南建材,2024(09):86-88.
- [2] 冯云法,李洋.关于混凝土施工技术在高层建筑中的运用探讨[J].工程机械与维修,2024(10):146-148.
- [3] 陈文强.铝模在高层建筑施工中的技术要点研究[J].中国建筑金属结构,2024,23(07):79-81.
- [4] 李鹤.混凝土施工技术在高层建筑工程中的应用研究[J].低碳世界,2024,14(05):103-105.
- [5] 杜永强.浅谈高层建筑工程施工中的桩基础施工技术[J].建材发展导向,2024,22(05):92-94.

建筑工程混凝土开裂防治策略探讨

路 伟

(韩大建设有限公司, 安徽 淮南 232200)

摘要 为探究建筑工程混凝土开裂的防治策略, 本文通过对施工过程操作、材料选用、养护及外部环境等多方面因素进行深入分析, 指出施工工艺不当、材料选用不佳、养护缺失及外部环境影响是导致混凝土开裂的主要原因, 并据此提出优化施工工艺、合理选材、改进养护措施及加强外部环境控制等防治策略, 以期为有效降低混凝土开裂风险、保障建筑工程质量提供有益参考。

关键词 建筑工程; 混凝土开裂; 环境控制; 材料选择

中图分类号: TU755.7

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.17.013

0 引言

近些年, 各类大型、超高层建筑项目不断涌现, 混凝土凭借其良好的可塑性、较高强度等特性, 成为建筑结构施工的首选材料。但在实际施工中, 混凝土开裂现象极为普遍。这种开裂情况, 小则影响建筑美观, 大则导致结构承载能力下降, 引发安全隐患。无论是民用住宅, 还是商业综合体, 混凝土开裂问题都亟待解决。因此, 研究混凝土开裂成因并制定防治策略, 成为保障建筑施工质量与安全的当务之急。

1 建筑工程混凝土开裂的成因分析

1.1 施工过程中的操作不当

在施工过程中, 操作不当是导致混凝土出现裂缝的主要原因。在浇筑过程中, 如果浇筑速度太快, 容易引起混凝土内部结构的过度破坏, 从而产生裂缝。振捣也是非常重要的一环, 如果振捣不到位, 混凝土就得不到充分的密实, 内部会出现空洞, 影响结构的整体性和强度, 在以后的使用中容易产生裂缝; 但振捣过大, 将导致混凝土离析、粗骨料下沉、砂浆上浮、表层出现薄弱层, 加大了开裂的危险^[1]。此外, 如果模板的安装和拆除操作不规范, 如模板过早拆除, 混凝土强度还不能承受自身和施工荷载, 就会因为应力集中而开裂。

1.2 材料选用不当引发的裂缝

材料选用对于混凝土质量起着决定性作用。水泥作为混凝土的胶凝材料, 若水泥的安定性不合格, 在水化过程中会持续产生体积变化, 导致混凝土内部应力不稳定, 从而出现裂缝。在骨料方面, 若骨料含泥量过高, 会阻碍水泥与骨料间的黏结, 降低混凝土的强度, 增加裂缝产生概率。细骨料的颗粒级配不良,

会使混凝土的和易性变差, 需水量增加, 硬化后收缩加大, 引发裂缝。外加剂的选择与使用也至关重要, 若外加剂掺量不准确, 或与水泥等材料不相容, 会影响混凝土的凝结时间、强度发展及体积稳定性, 最终致使裂缝产生。

1.3 混凝土养护不当导致的开裂

混凝土养护是确保其性能正常发挥的重要环节。养护期间, 若不能保证混凝土表面足够湿润, 水分快速蒸发, 混凝土会因失水而收缩, 产生干缩裂缝。尤其是在高温干燥环境下, 水分蒸发速度加快, 这种现象更为明显。养护温度控制不当同样会引发问题, 混凝土浇筑后, 若早期养护温度过高, 水泥水化速度过快, 内部产生的水化热无法及时散发, 导致混凝土内部温度过高, 与表面形成较大温差, 产生温度应力, 当应力超过混凝土抗拉强度时, 裂缝便会出现。此外, 养护时间不足, 混凝土强度不足, 过早承受荷载, 也容易引发开裂。

1.4 外部环境因素的影响

外部环境因素对混凝土开裂影响显著。温度变化是一大重要因素, 在昼夜温差较大的地区, 混凝土结构白天受热膨胀, 夜晚遇冷收缩, 反复的温度循环作用使混凝土内部产生温度应力, 长期积累易导致裂缝。湿度环境同样关键, 当空气湿度较低时, 混凝土中的水分会持续向外界扩散, 造成体积收缩, 产生收缩裂缝; 而在潮湿环境中, 若混凝土长期处于干湿交替状态, 会加速混凝土的碳化与钢筋锈蚀, 降低混凝土结构的耐久性, 引发裂缝^[2]。此外, 地震、风荷载等外部荷载作用, 若超过混凝土结构的承载能力, 也会直接导致混凝土开裂。

2 混凝土开裂防治的关键策略

2.1 施工工艺的优化

2.1.1 合理浇筑与振捣

合理的浇筑与振捣是保障混凝土质量的基础。在浇筑环节,需严格控制浇筑速度,依据混凝土的流动性与结构特点,制定适宜的浇筑方案,防止因速度过快产生过大冲击力,破坏混凝土内部结构。分层浇筑是常用且有效的方法,每层厚度应根据振捣设备能力与混凝土性能合理确定,确保下层混凝土在初凝前被上层覆盖并振捣密实。在振捣过程中,要选用合适的振捣设备,依据混凝土坍落度、骨料粒径等因素调整振捣参数。振捣棒插入深度、振捣时间需精准把控,振捣不足时,及时补振,确保混凝土内部充分密实,排出空气与多余水分,但也要防止振捣过度,避免混凝土离析。在大体积混凝土浇筑时,还可采用斜面分层、分段分层等浇筑方法,进一步提升浇筑质量。例如:在某大型商业综合体的基础浇筑中,通过采用分段分层浇筑,配合高频振捣棒,有效减少了内部空隙,提升了混凝土的均匀性。通过合理的浇筑与振捣,可大幅提升混凝土的均匀性与密实度,降低开裂风险。当下,一些先进的振捣设备配备了智能感应系统,能根据混凝土的实时状态自动调整振捣强度与频率,进一步提升振捣效果。

2.1.2 温度控制与湿度管理

混凝土浇筑完成后,温度和湿度的变化对混凝土的力学性能有很大的影响。

在温控方面,可以在混凝土内部埋设冷却水管,利用循环水将混凝土内部的水化热带走,从而降低混凝土的温度峰值。在高温季节施工时,通过对骨料的喷水降温、低温水拌和等方法对原材料进行降温。同时,对混凝土表面进行保温处理,避免因表面温度骤降而产生过大的温差应力。

湿度管理也很重要,混凝土浇筑完毕后,应及时用土工布、塑料膜等保湿材料覆盖,使混凝土表面保持湿润,减少水分蒸发,减少干缩裂缝的发生。另外,也可以通过喷淋养护等方法提高大气湿度,为混凝土的强度生长和体积稳定性创造有利的环境。冬季施工时,除保温外,通过掺加防冻剂,提高混凝土抗冻能力,全方位保证各种环境下混凝土的质量。例如:在一座跨江大桥上,在夏季浇筑混凝土时,采用预冷的骨料,可使混凝土内部最高温度下降8~10℃,从而有效地降低了温度裂缝的产生概率。

2.2 合理选择混凝土材料

2.2.1 砂石料质量控制

砂石料作为混凝土的重要组成部分,其质量直接影响混凝土性能。对砂石料的质量控制应从源头抓起,选择质地坚硬、洁净、级配良好的砂石。控制砂石的含泥量,含泥量过高会严重影响水泥与骨料间的粘结力,降低混凝土强度,因此需对砂石进行水洗等预处理,确保含泥量符合标准要求。同时,关注砂石的颗粒级配,良好的级配能使混凝土在较少水泥用量的情况下获得较好的和易性与密实度。定期对砂石料进行质量检测,依据检测结果调整配合比,保证混凝土质量的稳定性。在采购环节,建立严格的供应商筛选机制,从源头上把控砂石料品质,通过严格把控砂石料质量,为混凝土的抗裂性能提供坚实的基础。有研究表明,将砂石含泥量从5%降低至1%,混凝土的抗压强度可提升15%左右。

2.2.2 高性能混凝土的应用

高性能混凝土具有高强度、高耐久性与良好的工作性能,在防治混凝土开裂方面优势明显。高性能混凝土通过优化配合比,采用优质水泥、矿物掺合料、高效外加剂等材料,有效改善混凝土的微观结构。例如:掺入适量的粉煤灰、矿渣粉等矿物掺合料,可在一定程度上降低水泥水化热,提高混凝土的抗裂性能^[3]。同时,高效减水剂的使用能在保证混凝土流动性的前提下,减少用水量,降低混凝土硬化后的收缩。此外,高性能混凝土还具备更好的抗渗性与抗侵蚀性,可有效抵御外部环境因素对混凝土结构的破坏,延长混凝土结构的使用寿命,降低开裂风险。如今,随着技术不断发展,一些新型高性能混凝土还添加了纳米材料,进一步提升其微观结构的致密性,增强抗裂能力。在一些超高层建筑中,使用添加纳米二氧化硅的高性能混凝土,其抗渗性能提升了30%,显著延长了建筑的使用寿命。

2.3 养护措施的改进

2.3.1 延长养护时间与加强养护条件

延长养护时间对混凝土强度增加与性能稳定极为关键。普通混凝土的养护时间应根据水泥品种、气候条件等因素适当延长,一般不少于7天,对于大体积混凝土、抗渗混凝土等,养护时间可延长至14天甚至更长。在养护条件方面,除了保证混凝土表面湿润外,还应控制养护环境温度。冬季施工时,采取加热保温措施,防止混凝土受冻;夏季高温时,通过遮阳、喷雾等方式降低养护环境温度。可采用智能养护系统,实时监测混凝土的温度、湿度等参数,根据实际情况

自动调整养护措施，确保混凝土在适宜的环境中养护，充分发挥其性能，减少因养护不足导致的开裂问题。在养护用水方面，也需严格把控水质，避免水中杂质影响混凝土性能。在某大型水利工程的混凝土坝体养护中，采用智能养护系统，精准控制温度与湿度，混凝土的强度增长均匀，有效减少了裂缝。

2.3.2 养护过程中常见问题的处理

在混凝土养护过程中，常出现一些问题影响养护效果。若发现混凝土表面出现早期裂缝，应及时分析原因并采取相应措施。对于因失水产生的干缩裂缝，可通过加强保湿养护进行修复，如增加喷水次数、重新覆盖保湿材料等，促使裂缝自行愈合。若裂缝是由于温度应力引起，可在裂缝处涂抹修补材料，如环氧树脂胶泥等，增强裂缝处的抗拉强度。当发现养护温度过高或过低时，需及时调整养护环境，如在高温时增加通风散热设备，低温时增加保温覆盖层数^[4]。针对养护过程中的意外情况，如降雨冲刷保湿材料，应及时重新覆盖并加强固定，确保养护工作的连续性与有效性。若遇到大风天气，还需对养护设施进行加固，防止其被风吹走影响养护效果。此外，利用先进的裂缝检测技术，如红外热成像检测，能及时发现混凝土内部的早期裂缝，便于采取针对性修复措施。

2.4 外部环境控制与适应

2.4.1 控制施工环境温度

施工环境温度对混凝土施工质量影响显著，需采取有效措施加以控制。在高温天气施工时，需搭建遮阳棚，对施工现场进行遮阳降温，减少阳光直射对混凝土的影响。同时，合理安排施工时间，尽量避开中午高温时段，选择在清晨或傍晚进行混凝土浇筑。对于大体积混凝土施工，可采用冷却搅拌水、对骨料预冷等方式降低混凝土入模温度。在低温季节施工时，需对原材料进行加热，如加热水、对骨料进行预热等，提高混凝土的出机温度。对混凝土运输与浇筑设备进行保温处理，减少热量散失，确保混凝土在适宜温度下施工，降低因温度变化导致的开裂风险。在温度变化剧烈的地区，还可考虑在混凝土中添加温度应力缓解材料，增强混凝土对温度变化的适应性。在某沙漠地区的建筑施工中，通过搭建大型遮阳棚，配合冷却水管系统，有效控制了混凝土施工温度，减少了裂缝产生^[5]。此外，新型的温度调节材料，如相变材料，也开始应用于混凝土施工，能自动调节混凝土内部温度。

2.4.2 风速、湿度等环境因素的监测

风速与湿度等环境因素同样会影响混凝土质量，

需进行实时监测。当风速过大时，会加速混凝土表面水分蒸发，增加干缩裂缝产生的可能性。可通过设置防风屏障，如防风布等，降低风速对混凝土的影响。同时，根据风速调整混凝土的配合比，适当增加用水量或外加剂掺量，保证混凝土的工作性能。在湿度监测方面，利用湿度传感器实时监测施工现场的空气湿度。当湿度较低时，需采用喷雾、洒水等方式增加空气湿度，保持混凝土表面湿润；当湿度较高时，需注意混凝土的排水，避免积水影响混凝土硬化。通过对风速、湿度等环境因素的有效监测与调控，为混凝土施工创造良好的外部环境，减少混凝土开裂现象的发生。对于湿度常年较高的地区，可在混凝土中添加防潮剂，提升混凝土的防潮性能。在沿海地区的建筑施工中，通过安装风速与湿度监测设备，实时调整施工措施，有效保障混凝土的质量。一些先进的施工单位还利用物联网技术，将环境监测数据与施工设备进行联动，实现智能化施工调控。

3 结束语

混凝土开裂问题严重影响建筑施工质量，通过对施工工艺进行优化，确保合理浇筑、振捣及温湿度管理；严格把控混凝土材料选择，提升砂石料质量并推广高性能混凝土；改进养护措施，延长养护时间并妥善处理常见问题；有效控制外部环境，监测并应对温度、风速与湿度等因素，可显著降低混凝土开裂风险。未来，随着建筑技术不断进步，智能监测与新型材料将得到更广泛的应用，进一步完善混凝土开裂防治体系，持续提升建筑工程质量与耐久性。

参考文献：

- [1] 黄春娇. 试论建筑工程施工中混凝土裂缝的成因及防治策略 [J]. 江西建材, 2021(08):138-139.
- [2] 魏来. 建筑工程施工混凝土开裂性能与防治技术 [J]. 中国建筑金属结构, 2025,24(04):94-96.
- [3] 丁桂花. 建筑工程混凝土施工裂缝控制技术 [C]//《中国建筑金属结构》杂志社有限公司. 2024 新质生产力视域下智慧建筑与经济发展论坛论文集(一). 潍溪县建设工程管理站, 2024.
- [4] 马瑞. 土木建筑工程中大体积混凝土结构的施工技术分析 [C]//《中国建筑金属结构》杂志社有限公司. 2024 新质生产力视域下智慧建筑与经济发展论坛论文集(一). 吴忠市利水水利工程有限公司, 2024.
- [5] 尹红更. 土木工程建筑中混凝土裂缝的施工处理技术分析 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2025(08):145-147.

软土路基换填碎石土施工技术分析

刘雷

(乐山市市中区国省干线公路建设发展中心, 四川 乐山 614000)

摘要 软土路基是道路工程中常见的地质类型, 具有承载力低、压缩性大差等特点, 容易导致路基沉降, 严重影响道路的使用寿命。软土路基换填碎石土施工技术是公路、铁路等基础设施建设中常用的地基处理方法之一, 广泛应用于软土地区的道路、桥梁等工程。本文将从软土路基的特性及危害出发, 阐述换填碎石土施工技术的原理及优势, 并深入探讨该技术具体的施工步骤、质量控制要点及常见问题的处理措施, 以期为软土路基施工提供技术指导, 进而推动该技术的普及。

关键词 软土路基; 换填碎石土施工技术; 质量控制

中图分类号: U416.1

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.17.014

0 引言

软土路基由于土质松软、含水量较高以及强度较低等物理特性, 承载能力差, 在重交通荷载下会出现严重的变形, 影响路基的稳定性。同时, 在道路建设中, 堆载、预压等传统的软土路基处理方法, 施工周期长且效果不明显。近年来, 软土路基换填碎石土施工技术因施工简便、效果明显, 受到工程技术人员的广泛关注, 逐渐成为软土路基工程中的主流技术。

1 软土路基的特性及危害

1.1 软土路基的物理特性

软土是指天然含水量较高、孔隙比大、压缩性高、抗剪强度低的细粒土, 主要包括淤泥、淤泥质土、泥炭、泥炭质土等。根据《公路路基设计规范》(JTG D30-2015), 软土可按其物理力学性质进一步划分为软黏性土、有机质土和泥炭土等类型。软土主要由水分以及有机质构成, 粒径较小、孔隙比大, 其水分含量及塑性较高。软土的天然含水量通常接近或超过液限, 这导致其具有较强的流动性以及不稳定性。此外, 软土的孔隙比通常大于1, 土体结构松散, 承载力低。软土的抗剪强度低, 在外部荷载作用下极易发生剪切破坏, 特别是在交通荷载或天气变化的影响下, 路基可能发生严重的沉降现象。同时, 软土的渗透系数较低, 所以水分排出缓慢, 也会加剧其工程危害。

1.2 软土路基的危害

软土路基普遍存在于湖泊、湿地等地区, 其主要危害表现为承载力低、抗剪强度差、易受水分变化影响、压缩性大、容易产生沉降等。软土路基的承载力较低,

这意味着其难以承担交通荷载, 长期使用可能导致路基不稳定, 产生沉降或开裂等现象, 严重影响道路的正常使用^[1]。由于软土具有高压缩性、低强度的特性, 路基在车辆荷载作用下容易产生不均匀沉降, 进而影响路面的平整度。软土路基与桥台连接处易产生差异沉降, 导致桥头跳车现象, 影响行车安全性。沉降过大的软土路基会导致路面开裂、结构不稳, 严重时还会引发道路沉陷, 降低道路使用寿命。同时, 软土路基的边坡稳定性差, 易发生滑塌等地质灾害。此外, 软土对水分的敏感性也增加了路基变形的风险, 导致软化现象, 进一步影响路基的稳定性。

由于软土的渗透性较差, 难以快速排出水分, 长期积水会加剧路基软化, 进一步降低其承载能力。在雨季或地下水位上升时, 软土路基容易饱和, 导致土体强度急剧下降, 甚至引发局部塌陷或滑坡。软土路基的沉降问题还会破坏地下管线、涵洞等附属设施, 增加维修成本。在寒冷地区, 软土路基还容易受到冻融循环的影响, 冻胀、融沉现象会加剧路基的不均匀沉降, 导致路面开裂。软土路基的长期变形还会对沿线建筑物、桥梁等结构产生不利影响, 引发连锁反应, 增加整体工程的维护难度和费用。

2 换填碎石土施工技术的原理及优势

2.1 换填碎石土施工技术的原理

换填碎石土施工技术的原理是借助置换软弱土层与强化地基结构提升路基性能。该方法的核心在于彻底挖除路基范围内的低强度软土, 替换为具备优异工程特性的碎石土材料, 凭借改变物理力学性质加固地基^[2]。其作用机理首先体现为材料性能的全面升级:

软土层因高含水量与松散结构易产生压缩变形，而碎石土凭借颗粒间的摩擦咬合作用，能将上部荷载以更优化的角度向深层土体扩散，避免应力过度集中于局部区域，这种应力重分布效应可提高地基的承载安全系数以及增强抗压能力，同时粗颗粒间的嵌锁作用赋予材料更强的荷载传递效率。这种结构性转变能有效减少软土地基的持续沉降趋势，大幅改善路基整体刚度。另外，碎石土材料的透水特性形成第二重加固机制。其天然形成的孔隙网络可快速疏导地下水，加速软土层的排水固结过程，既缩短了地基稳定所需时间，也降低了孔隙水压力，增强了土体抗剪强度。

此外，在施工过程中需重点把控材料配比与压实工艺，确保碎石、砂土与黏土形成稳定的三相体系。同时，使用分层碾压形成致密结构层，既能形成有效排水通道，又可构筑具有连续支撑能力的刚性基础。该技术尤其适用于浅层软基处理，在消除地基不均匀沉降、提升抗变形能力方面具有显著优势，为道路工程提供了可靠的结构保障。

2.2 换填碎石土施工技术的优势

换填碎石土施工技术作为软土路基处理的核心工艺，在工程实践中展现出多重优势。该技术通过置换低强度软土并采用碎石土分层压实，从根本上改善路基结构性能。碎石土材料具备优异的承载特性，其颗粒间的嵌锁效应形成稳定的骨架结构，可显著提升路基抗变形能力。相较于传统软基处理工艺，碎石土换填的透水性能优势突出，既能快速排出地层孔隙水加速固结，又可避免积水软化路基，形成良性水文循环系统^[3]。在施工过程中，碎石土材料的广泛适应性使其可因地制宜地取材，从而大幅降低远距离运输成本。分层碾压工艺结合机械与人工配合，保证每层压实度均匀达标，形成整体性良好的复合地基。对于桥头过渡段等差异沉降敏感区域，碎石土的高刚度特性可有效协调结构物与路基，预防跳车现象。在施工效率方面，该技术无需复杂化学处理工序，规避出现材料配比误差的风险，工序衔接紧凑，质量可控性强。从长期性能分析，碎石土路基的压缩模量高于原状软土，可有效抑制工后沉降发展。其粗颗粒骨架在水文条件变化时仍能保持稳定，避免因含水量波动引发的强度衰减问题。针对浅层软土处理，该技术既能保证处理深度内的土体改良效果，又不会扰动下部持力层，维持地基系统的整体稳定性。施工单位借助规范化的填料筛选、摊铺厚度控制及碾压参数优化，可系统性提升路基工程品质，为道路全寿命周期性能提供可靠保障。

3 软土路基换填碎石土施工技术的施工步骤

3.1 施工前准备

软土路基换填碎石土施工技术的施工前准备需遵循系统化流程。施工前应对软土路基开展全面地质勘察，利用钻孔取样与室内试验明确软土层的分布特征、物理力学参数及地下水位变化规律，为确定换填范围与深度提供科学依据。现场需布设控制桩网定位三维坐标，精准标定换填边界与高程基准点。碎石土材料选取需综合考虑粒径分布、透水系数与抗冻性能，优先采用天然级配碎石与机制砂混合料，经筛分试验确认级配曲线处于设计包络线范围内。材料进场前需核查出厂合格证明，抽检含泥量、针片状颗粒比例等关键指标，运输过程采取防离析措施。施工机械配置需结合换填深度与作业面尺寸，通常采用履带式挖掘机配合自卸车进行土方作业。技术交底环节需重点说明基底处理标准、换填分层厚度及压实工艺参数，同步完成试验段施工以验证松铺系数与碾压遍数。对于浅层软土区域，需预先开挖排水盲沟降低地下水位，确保基底处于最佳含水量状态。同时，制定详细的施工组织设计，明确各工序的衔接。对于特殊地质条件或复杂路段，需提前制定应急预案，以应对出现的突发情况。施工前还需与相关部门协调，妥善保护施工区域内的管线、电缆等设施。

3.2 施工工艺流程

施工人员根据设计图纸，确定换填范围和高程，并进行现场放样。在换填区域周围开挖排水沟，排除地表水和地下水。采用机械或人工方式挖除路基范围内的软土，直至达到设计标高。在施工过程中，首先需要清理软土路基上的杂物、植物及其他障碍物，然后利用挖掘机清理软土，保证换填层的平整度^[4]。施工时首先需清除软土层，通常使用挖掘机或铲车进行开挖。在清除过程中，应注意避免扰动周围土体，保证路基的稳定。在换填碎石土时，需要进行分层填充，每层的厚度一般不超过 30 cm，填料应均匀铺设，并且在每层之间进行充分的压实。将碎石土分层填筑至换填区域，每层厚度一般为 20 ~ 30 cm。每层填筑的厚度应根据材料的性质，确保每一层压实度达到标准。换填过程中要严格控制水分含量，要求碎石土在最适宜的含水量下进行压实。采用压路机碾压夯实每层碎石土，要求压实度达到设计要求。每层碎石土填筑后，需进行充分压实，压实方式可以选择振动压路机、轮式压路机等设备，也可采用静态压路机和振动压路机交替使用，以确保每层碎石土的密实度达到设计要求。

压实度是确保路基承载力、稳定性的重要指标，通常要求压实度达到95%以上。在上述过程完成后，需要对换填后的路基进行压实度、承载力等指标检测，确保施工质量。换填施工完成后，必须对碎石土进行质量检验，包括粒径级配、含水量、压实度等项目，确保其符合设计要求。同时，需要进行沉降监测，确保换填后的路基不发生过度沉降。

3.3 施工质量控制要点

在实施软土路基换填碎石土之前，必须详尽地勘查施工现场。施工人员需全面调查土质、地下水位、环境条件等，以了解现有的土壤条件，帮助工程师选择合适的碎石土材料及其换填的深度。此外，要确认场地的排水条件，以避免在施工过程中出现积水，从而对路基造成影响。材料必须符合相关的国家及行业标准，具备良好的颗粒级配、压实性能和一定的抗压强度。对碎石土进行现场取样，实施粒径分析、密度测试等，以确保所用材料的质量^[5]。确保材料中无有机物、盐分及其他不合格的颗粒，留存原材料的检验结果，以备后续审查。换填时应分层进行，每层的厚度应控制在20~30cm，以便于充分压实。在施工过程中，应使用滚筒压路机、振动压路机等压实设备，确保达到设计要求的密实度。在压实过程中，需要定期取样，检测每层的密实度，以达标准，不合格的部分需进行返工。在施工阶段，监测是确保工程质量的重要环节。应在施工现场设置监测点，实时记录换填后的路基沉降情况和其他应力变化。这不仅可以及时发现潜在问题，还能为后续的维护与评估提供数据支持。换填施工完成后，需进行适当的养护，以保证路基的稳定性。保持路基的湿润状态有助于提高其密实度和强度，避免因干缩引起的裂缝、沉降等问题。养护周期应根据气候条件和土质情况灵活调整，在养护期满后，进行最终验收，检查换填碎石土的整体质量，确保满足设计要求。

3.4 施工常见问题及处理措施

沉降是软土路基常见的问题，尤其是在换填后，若不均匀压实，会导致局部沉降。为了解决这个问题，施工方在施工过程中应确保各层的均匀性，及时监测沉降情况。如果发现沉降不均，可根据情况进行加固处理，增加局部的碎石填料，以及重新压实。施工层厚度过大、压实设备不当可能导致压实度不够、碎石土的承载力不足。针对这一问题，可采用分层压实的方法，确保每层达到要求的密实度。若发现基层物理性质不达标，应停止施工，重新增加碎石土并重新压实。软土路基

换填碎石土后，如果排水性不好，可能会引发水分积聚，造成地基的软化。施工时要注意排水设施的设置，确保及时排除雨水或地下水。若发现某一段落存在排水不畅的情况，要加强排水设施，并评估影响范围，进行及时的整改。在某些情况下，使用的碎石土材料可能存在不合格现象，这不仅影响路基的强度，也会造成后期的安全隐患。在材料进场前需进行严格的质量检验，一旦发现材料不合格，需立即更换，同时评估已使用的部分风险并进行相应的处理，确保不影响整体工程。天气条件、气温变化、水位等环境因素对软土路基的施工有重要影响。例如：雨天施工可能导致土体的流失与淤泥混合，这时现场需做好防护措施，必要时暂停施工。此外，在施工过程中还应根据天气变化灵活调整工艺。施工设备的选择与维护也会影响施工质量，如果设备出现故障，会导致施工进度慢和质量偏差。因此，应做好设备的日常维护、定期检查，确保其处于良好工作状态。同时，选用与施工要求相符的设备，可以提高施工效果，保障施工安全。

4 结束语

软土路基的处理是道路建设中的一个关键问题，换填碎石土施工技术为解决软土路基的承载力问题提供了有效途径。换填碎石土施工技术不仅可以显著提高路基承载力，还能改善其排水、抗压性能，为路基工程的稳定性提供了有力保障。但在实施过程中仍需注意材料选择、施工管理和质量控制等方面以及具体的地质条件，合理设计施工方案，严格控制施工质量，通过细致的质量控制与及时的问题处理，有效提高软土路基换填碎石土的施工质量，确保路基的稳定性，为后续的工程建设打下坚实的基础。未来，随着新材料和新工艺的发展，换填碎石土施工技术将进一步完善，在软土路基的处理中发挥更大的作用。

参考文献：

- [1] 钟儒华.软土路基施工技术在高速公路施工中的应用[J].建设机械技术与管理,2025,38(01):148-150.
- [2] 张祯.路基软基处理技术在高速公路施工中的应用[J].工程技术研究,2025,10(02):62-64.
- [3] 高苏辉.软土路基处理方法及路基换填施工技术[J].城市建设理论研究(电子版),2025(02):118-120.
- [4] 郭吉葵,陈国强,吴伟,等.碎石桩加固软土路基的有限元分析及加固机理探讨[J].四川水泥,2025(01):178-181.
- [5] 林海燕.道路软土路基地基处理造价指标分析[J].江苏建材,2024(06):142-144.

框架剪力墙结构建筑施工技术应用研究

董景跃

(杭州诚弘建设有限公司, 浙江 杭州 310000)

摘要 随着城市化进程的加快, 高层建筑的数量和规模不断增加, 对建筑结构的安全性、稳定性和美观性提出了更高的要求。框架剪力墙结构作为现代建筑中常见的一种结构形式, 因其良好的抗震性能、较高的空间利用率以及灵活的布局设计, 受到了广泛的关注和应用。本文深入剖析了框架剪力墙结构在建筑领域的施工技术实际应用, 并通过具体工程案例的分析, 阐释了其显著的应用成效, 以期为同类工程提供借鉴。

关键词 框架剪力墙结构; 钢筋连接技术; 模板支撑体系; 混凝土浇筑与振捣技术; 建筑工程

中图分类号: TU765

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.17.015

0 引言

在目前建筑行业中, 对于建筑物的实用性、安全系数以及稳固性要求日益增强。以框架与剪力墙相结合的混合结构, 汇集了两者结构的突出优势, 不但能营造出较高的空间自由度, 亦显示出了优越的侧向力抵抗能力, 因此在超高建筑物、庞大的商业设施等多种建筑项目中被广泛采用。^[1]科学运用框架剪力墙结构施工技术, 对于确保工程项目的质量、效率、安全具有决定性作用, 同时也能显著提高建筑项目的经济与社会收益。

1 框架剪力墙结构的特点

1.1 受力性能优越

在框架剪力墙结构中, 框架主要肩负起对抗垂直方向荷载的任务, 而剪力墙则负责承受横向的荷载。^[2]二者在结构中共同作用, 构成了一个协同运作的整体。面对水平方向的力作用, 如风力或地震力, 剪力墙能高效地抵御这些横向力, 相应地减轻框架所承受的横向荷载, 进而增强整个结构对抗侧向力的性能, 确保建筑的稳固性。

1.2 空间布置灵活

建筑中的梁柱架构能够构建出宽敞的室内空间, 有利于对内部区域进行灵活划分及对使用功能的变动。而剪力墙的设置可根据建筑实际用途及结构设计需求进行优化布局, 它不会对室内大范围空间的利用造成影响, 从而适应了现代建筑对多变化空间配置的要求, 特别是在商场、办公楼等场所对开阔空间的大量需求。

1.3 抗震性能良好

由于框架与剪力墙的配合作用, 框架剪力墙结构在遭遇地震时展现出卓越的抗震能力。^[3]剪力墙的设置增强了整体的刚性, 有效降低了地震影响下的结构

形变, 而框架部分则能够吸纳并消耗部分地震能量, 这两种结构要素相辅相成, 从而提升了建筑物面对地震时的稳固性和防护力。

1.4 施工难度与成本适中

相较于众多繁杂的建构体系, 框架剪力墙的施工技术已较为稳定, 施工难度处于中等水平。尽管剪力墙的引入使得模板和钢筋的施工量有所提升, 然而, 从整体成本来看, 它仍保持在合理区间。在确保建筑质量和功能的基础上, 框架剪力墙结构展现出良好的经济效益。

2 框架剪力墙结构施工流程

2.1 施工准备

在开展建设活动之前, 必须做好全面的预备工作。首先是建筑图纸绘制, 组织图纸审核会议, 把握设计的主旨, 针对图纸上的疑问及时与设计方交流并处理。其次, 结合项目的具体特性和现场实际情况, 制订详尽的施工组织计划, 明确施工策略、施工日程安排、资源分配方案等。最后, 还需完成施工现场的基础设施建设, 包括通路、通水、通电以及场地平整, 建立必要的临时建筑, 并备齐施工所需的机械、物资及劳动力。

2.2 基础工程施工

基础工程是建筑结构中的关键部件, 它的稳固性直接决定了整个建筑的安全稳固性。在框架剪力墙结构中, 常用的基础类型包括平板式基础、桩基等不同形式。^[4]在进行基础建设的过程中, 必须严格遵循设计规范, 执行包括挖土、铺设垫层、绑扎钢筋、搭设模板以及混凝土浇筑等工序。在此过程中, 要特别注意对基础的水平高度、尺寸大小和具体位置进行精准控制, 以保证基础部分的承载能力达到设计规定的标准。

2.3 主体结构施工

1. 钢筋工程。钢筋作为框架剪力墙结构中的关键承重部件,其制作与装配的质量直接关系到整个结构的牢固性与安全性。^[5]在钢筋加工之前,必须实施质量检验和校直处理,以保障钢筋质量达到规定标准。依据设计方案对钢筋进行切割、弯折及焊接(或采纳机械连接方式)。在钢筋的装配阶段,务必确保钢筋的分布距离、定位及锚固长度严格遵循相关规范,尤其在梁柱接点和剪力墙端部等关键结构部位,需对钢筋的捆绑与固定进行加强处理,以维护钢筋骨架的完整性。

2. 模板工程。模板在混凝土浇筑作业中起到确保其按照预定形态和尺寸凝固的作用。选择模板时需考虑项目的具体需求和施工环境,常见的类型包括木质、钢铁或铝合金制的模板。^[6]在安装模板时,必须确保其稳固性和水平度,接缝要紧密以防止浆料渗漏。安装时需严格监控模板的垂直定位和标高,并依照施工计划搭建支撑系统,以保障在浇筑过程中模板不会发生形变。模板的拆卸应当在混凝土强度符合规定标准后方可执行,以防提前拆除造成混凝土结构的损伤。

3. 混凝土工程。混凝土作为框架结构的关键构成要素,其质量与施工技术直接关系到整体结构的稳定性。施工单位应依照设计方案选取适宜的硅酸盐水泥、骨料及外加剂等组成材料,并严格遵循配比完成混凝土的拌和作业。^[7]在混凝土的浇筑阶段,需逐层进行浇筑并确保充分振动密实,防止出现振动不足或过度振动的情况。同时,要严格把握混凝土的浇筑速度与高度,以防出现裂隙。针对大体积混凝土,需实施温度控制策略,避免因温差应力引发的裂开。混凝土浇筑完成后,应立即展开养护工作,确保其强度能够按预期增长。

2.4 外墙施工

建筑框架的剪力墙外侧多选用砌筑墙体或预先制成的墙面板。在砌筑作业时,必须严格监管墙体的垂直度、表面平整度以及砂浆缝隙的宽度,确保砌筑质量符合标准。至于预制墙板,则需注重其运输、起吊及装配流程,以保证墙板的定位精确与连接的稳固性。墙体建设完毕后,还需实施防水与保温措施,以增强建筑的能源利用效率及其防水能力。

3 框架剪力墙结构关键施工技术要点

3.1 钢筋连接技术

特定建筑材料在建筑结构中扮演着核心角色,其中钢筋的连接是至关重要的工序。连接方法多种多样,普遍采用的包括熔接、机械扣合以及捆绑法。熔接技术涵盖了闪光熔接、电弧熔接等多种形式,在实施熔接作业时,必须精确调控熔接参数,以确保熔接点的

质量。机械扣合,如直线螺纹套筒扣合,以其连接的稳定性与施工效率高而受到青睐,然而,在操作过程中需留意套筒的质量及拧紧的扭矩。对于直径较小的钢筋,捆绑法是一种适用的连接方式,关键在于确保捆绑的稳固性与搭接长度满足规范要求。在梁与柱的连接点等关键位置,钢筋的连接必须满足设计规范和抗震性能要求,从而确保节点传递力量的效能。

3.2 模板支撑体系设计与施工

建筑模板的支撑结构稳定性对施工人员的生命安全和混凝土架构的质量至关重要。在制定模板支撑架构的设计方案时,必须依据工程自身的结构特性、施工时产生的荷载等多种因素进行详尽的核算,并挑选合理的支撑物料及其布局方法。普遍采用的支撑物料包括钢管式的脚手架、碗扣型脚手架等类型。在支撑架构中,立柱的间距和横杆的步长需严格遵循设计规范,同时要配置足量的斜撑和连接构件,以保障施工期间支撑架构的稳固性。在施工期间,必须依照既定的设计图纸来搭建和拆卸支撑架构,并持续对支撑架构进行细致查验和必要保养维护。

3.3 混凝土浇筑与振捣技术

在混凝土的浇筑作业中,必须确保施工的连贯性,以杜绝冷缝的产生。施工时,应依据结构的特性以及施工的具体位置,选取恰当的浇筑手段,如分层或分段的浇筑方式。针对像剪力墙这样的竖直结构,应合理控制浇筑的速率,避免因混凝土过快上升而引发模板形变。混凝土捣固是确保其密实度的核心步骤,结合使用插入式和表面式捣固设备,遵循规定的间隔和时间实施捣固作业,以保障混凝土内部无空隙和气泡。在捣固的过程中,要留意避免捣固设备与钢筋或模板的接触,以免造成钢筋位移或模板的损坏。

3.4 施工缝的设置与处理

浇筑混凝土时形成的施工接缝是因施工需求而预设的临时界面。在框架剪力墙结构体系内,此类接缝多位于剪力影响较小、施工操作便利的区域,如梁端顶面或板底。当需要在施工缝位置继续浇筑作业时,必须对先前浇筑的混凝土表层进行清理,去除浮浆和松动的骨料等杂物,并喷水保持湿润状态。随后,应先铺设一层水泥糊或与主体混凝土成分一致的贫骨料砂浆,再进行混凝土的浇筑,以保障施工缝区域的混凝土结合强度。

4 框架剪力墙结构施工质量控制措施

4.1 原材料质量控制

针对钢筋、混凝土、石子、添加剂等建筑原材料执行严格的质量审核,以保证其质量达到国家规范和设

计规范的标准。在原材料入场之际，必须核对其质量证明资料，并依照既定程序实施抽检。若原材料不满足标准要求，必须无条件退回，严禁在工程建造中使用。

4.2 施工过程质量控制

完善质量管理体系，强化施工环节的质量监管。在开展每一道工序前，需实施技术说明，明确施工技术和质量标准。在施工阶段，要恪守行业规范及施工规划执行作业，对重点部位及关键流程的质量进行严格审查，如钢筋的固定、模板的架设、混凝土的浇灌等。对于检测出的质量问题，需迅速采取措施进行修正，保证各个环节的质量达到既定标准。

4.3 成品保护措施

增强对已竣工项目成品的安全维护，确保其在后续施工环节不受损害。具体而言，针对已凝固的混凝土结构，需规避重型物品的冲击及提前施加过大的荷载；对于已安装的门窗以及室内装饰工程，需实施相应的保护措施，以防止其受到污染或损害。同时，应规划出合理的施工流程，力求减少交叉作业对成品可能带来的不良影响。

4.4 质量检测与验收

依据相关法规与技术准则，对框剪结构实施品质审核与确认。施工期间，需严格把控钢筋防护层厚度测定以及混凝土强度试验等环节。工程完成后，要对结构本体进行详细检验，并完成最终的工程收尾审核，以保障结构的品质与安全指标达到设计规范。针对验收过程中出现的瑕疵，需迅速采取修正措施，确保修正后的结构再次通过质量审核。

5 框架剪力墙结构施工技术应用案例分析

5.1 工程概况

某商业综合体项目，总体楼面面积达 15 万平方米，地上建筑为 20 层，地下设有 3 层。该建筑采用框剪结构系统，底部采用平板式基础设计。此工程融合了购物、美食、休闲、商务办公等多重用途，对建筑内部的空间配置及抗震能力提出了较高的标准。

5.2 施工技术应用情况

1. 针对钢筋作业：通过融合直螺纹套筒和焊接技术，双重保障钢筋接头的稳固性。在梁柱等关键节点位置，依照设计规范细致布筋和绑扎，对钢筋锚固进行加固及密度提升，增强节点区域的抗震能力。

2. 模板施工作业：运用铝合金材质模板，其质轻、坚固、重复使用率高、施工效率佳等特点显著。在模板定位过程中，可借助高精度测量设备确保精准度，维持模板的垂直与平整。支撑结构使用碗扣式脚手架，

依照施工设计规范搭建，增设必要的剪刀撑与连墙件，确保整体稳定性。

3. 混凝土浇筑作业：使用预拌混凝土，严格监控混凝土配比及材料品质。在浇筑环节，采取分层浇筑和振捣工艺，保证混凝土的密实性。对于大型混凝土基础，通过预置冷却水管实施温度控制，预防裂缝产生。

4. 施工缝的处理：在施工缝隙处安装防水钢板，并依照标准流程进行处理，以保障施工缝的防水效果。

5.3 应用效果

运用框架剪力墙的施工技术，本工程实现了优异的应用成效。工程主体结构质量上乘，经过严格检测，钢筋的接头质量、混凝土的坚固度及表面质量等方面均达到了设计标准和规范的规定。施工流程顺畅，主体结构施工任务提前圆满完成。建筑内部空间设计合理，完全契合商业综合体的使用需求。投入使用后，建筑结构保持稳健，没有出现裂缝或变形等结构性缺陷，确保项目的稳定运营基础。

6 结束语

在建筑业的实践中，框架剪力墙结构施工方法显示出其巨大的实用潜力和显著的技术意义。科学运用此技术，可以最大化地体现框架剪力墙结构的特点，增强建筑物的安全性、稳固性以及空间使用效率。施工时，必须遵循既定的施工程序和技术细节进行作业，并强化质量监管。此外，还需持续推动技术革新与人才培育，促进框架剪力墙结构施工技术的持续进步与优化。未来，随着建筑技术的持续革新，框架剪力墙结构施工技术将在更多建筑领域获得推广，同时不断进行技术革新，以适应更加多元和复杂的建筑要求。

参考文献：

- [1] 郭国雅. 建筑工程中框架剪力墙结构工程施工技术探讨[J]. 建设科技, 2023(24):94-96.
- [2] 狄明煜. 框架剪力墙结构建筑施工技术研究[J]. 中国住宅设施, 2023(10):16-18.
- [3] 李兆刚. 建筑工程中框架-剪力墙结构施工技术研究[J]. 房地产世界, 2023(20):99-101.
- [4] 王希珺, 何敏娟, 欧加加, 等. 多层胶合木框剪结构地震响应及易损性分析[J]. 建筑结构学报, 2024, 45(08):44-54, 82.
- [5] 林向洲. 框架剪力墙结构建筑施工技术应用于建筑工程的研究[J]. 中国建筑金属结构, 2024, 23(11):66-68.
- [6] 杨伟. 建筑工程中框架剪力墙结构工程施工技术分析[J]. 居业, 2024(11):22-24.
- [7] 廖鸣. 住宅建筑工程中的框架剪力墙施工技术[J]. 居舍, 2024(30):24-27.

建筑工程混凝土及后浇带施工关键技术应用

单文莉

(枣庄市薛城区鸿森建筑工程有限公司, 山东 枣庄 277000)

摘要 本文深入探讨了建筑工程混凝土及后浇带施工的关键技术应用。在混凝土施工方面, 从原材料质量控制、配合比设计、搅拌与运输三个维度展开, 强调了全过程检测机制、动态调整及精细化管控的重要性。后浇带施工则聚焦于设置、施工时间选择、钢筋处理等关键技术, 提出了科学的时序规划与质量控制措施。通过系统化的技术应用, 有效降低了结构裂缝发生率, 提升了建筑工程的整体质量与耐久性, 以期为行业实践提供理论依据与技术参考。

关键词 建筑工程; 混凝土施工; 后浇带施工

中图分类号: TU755

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.17.016

0 引言

随着建筑行业的快速发展, 对建筑工程质量的要求日益提高。混凝土作为建筑结构的主要材料, 其施工质量控制至关重要。而后浇带施工则是解决混凝土结构因温度、收缩等因素产生的裂缝问题的有效手段。因此, 深入研究混凝土及后浇带施工的关键技术, 对于提升建筑工程的整体质量具有重要意义。

1 建筑工程混凝土施工关键技术

1.1 原材料质量控制

在混凝土工程质量控制体系中, 原材料的品质保障是决定结构耐久性与安全性的首要环节。施工前须依据《混凝土结构工程施工质量验收规范》(GB50204)及相关行业标准, 对水泥、骨料(砂、石)、外加剂等核心组分实施系统性质量检测, 确保其物理、化学性能满足设计及施工要求。

1. 水泥质量控制。水泥作为胶凝材料, 其早期强度与体积稳定性直接影响混凝土硬化过程。需按批次抽样检测其3天、28天抗压与抗折强度, 同时检验凝结时间、安定性等关键指标。例如: 硅酸盐水泥的3天抗压强度应不低于17.0 MPa(依据GB/T17671-2021), 安定性经沸煮法测试后试件不得出现明显变形或裂缝。此外, 需核查水泥生产日期, 避免使用超过三个月且未复检的库存水泥, 防止因吸湿结块导致活性降低^[1]。

2. 骨料质量管控。细骨料(砂)的级配与含杂质需重点控制。细度模数应维持在2.3~3.0区间, 以平衡混凝土的工作性与强度; 含泥量按重量计不得超过3.0% (C30及以上强度等级混凝土要求≤2.0%), 必要时采用水洗工艺处理。对于粗骨料(碎石或卵石), 需通过筛分试验验证其粒径分布, 超逊径颗粒含量严

格控制在规范限值内(如超径≤5%、逊径≤10%), 并检测压碎值(≤20%)、针片状颗粒含量(≤15%)等力学指标。特别在机制砂应用场景中, 需增加石粉含量(MB值≤1.4)与亚甲蓝吸附试验, 防止黏土矿物对减水剂效果的干扰。

1.2 配合比设计

混凝土配合比的科学设计是平衡强度、耐久性、工作性与经济性的核心环节, 需依据《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ55)及工程特性进行多维度参数优化。设计过程须统筹结构设计强度等级(如C30、C40)、耐久性指标(抗冻等级F150、抗渗等级P8)、施工环境(泵送高度、振捣方式)及原材料性能(水泥活性、骨料吸水率)等要素, 通过理论计算与试验验证形成适配性方案^[2]。

1.2.1 设计参数确定

(1) 强度保证率: 按结构安全等级设定配制强度, 如C30混凝土配制强度需达38.2 MPa(标准差取5.0 MPa, 保证率95%), 计算公式为 $f_{cu,0} \geq f_{cu,k} + 1.645 \sigma$ 。

(2) 水胶比阈值: 根据耐久性要求限定最大水胶比, 如露天结构混凝土水胶比≤0.50, 氯盐环境≤0.40(参照GB/T50476)。(3) 骨料级配优化: 采用连续级配碎石时, 粒径范围宜选5~31.5 mm, 空隙率≤42%; 砂率控制在28%~42%, 高强混凝土可降至24%~28%。

1.2.2 计算与试配流程

(1) 基准配合比计算: 采用绝对体积法或质量法确定初始配比。以C30泵送混凝土为例, 每立方米材料用量参考范围: 水泥280~350 kg, 粉煤灰60~100 kg, 砂率38%~42%, 减水剂掺量0.8%~1.2%。(2) 试拌调整: 在±2%用水量范围内调整坍落度至180~220 mm,

观察粘聚性与保水性。当扩展度低于 450 mm 时, 可增加 5~10 kg/m³ 砂用量或调整减水剂缓释组分。(3) 强度验证: 制作 150 mm 立方体试件, 标准养护 28 天后抗压强度需同时满足 $f_{cu,0} \geq 38.2 \text{ MPa}$ 且 $f_{cu,min} \geq 0.95f_{cu,0}$ (GB/T50081)。

1.2.3 施工配合比动态调整

(1) 骨料含水率修正: 每日开盘前测定砂石含水率, 调整实际用水量。若砂含水率由 2% 升至 5%, 每立方米混凝土需减少用水量 (800 kg 砂 × 3%) = 24 kg。(2) 温度适应性调节: 高温季节 (> 35 °C) 掺入缓凝组分, 延长初凝时间至 6~8 小时; 低温环境 (< 5 °C) 提高水泥用量 10%~15%, 并掺入早强剂。(3) 生产误差补偿: 建立统计过程控制 (SPC) 模型, 当水泥活性实测值较设计值低 5 MPa 时, 需增加 5% 水泥用量或提高减水剂掺量 0.1%。

1.3 搅拌与运输

混凝土拌合物的均质性与运输时效性是保证结构匀质性的重要控制节点, 需依据《混凝土搅拌站 (楼)》(GB/T10171) 及《混凝土质量控制标准》(GB50164) 建立全流程作业规范, 重点管控搅拌工艺参数、运输设备性能与时效管理。

1.3.1 搅拌站配置要求

(1) 设备选型: 采用双卧轴强制式搅拌机, 单机容量 $\geq 2 \text{ m}^3$, 主轴转速 15~35 r/min, 叶片与衬板间隙 $\leq 5 \text{ mm}$, 确保粗骨料破碎率 $< 1\%$ 。(2) 计量系统: 胶凝材料采用螺旋秤动态计量 (精度 $\pm 1\%$), 骨料用电子皮带秤 (精度 $\pm 2\%$), 液态外加剂配备高精度流量计 (误差 $\leq \pm 0.5\%$)。(3) 温控系统: 高温季节配置骨料预冷装置 (出机温度 $\leq 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$), 冬季增设热水供应系统 (水温 $\leq 60 \text{ }^{\circ}\text{C}$)。

1.3.2 搅拌工艺控制

(1) 投料顺序优化: 采用分步投料法, 即 10% 粗骨料 → 全部胶凝材料 → 剩余骨料 → 80% 拌合水 → 外加剂溶液 → 20% 拌合水, 减少粉料结团。(2) 搅拌时间控制: 普通混凝土净搅拌时间 $\geq 30 \text{ 秒}$, 掺纤维或膨胀剂延长至 60~90 秒, C60 及以上高强混凝土采用二次搅拌工艺 (首次搅拌 40 秒 → 静停 15 秒 → 二次搅拌 20 秒)。

(3) 匀质性检测: 每班次进行两次搅拌机卸料性能测试, 同一批次混凝土的坍落度差值 $\leq 30 \text{ mm}$, 表观密度差值 $\leq 50 \text{ kg/m}^3$, 砂浆密度差值 $\leq 1.6\%$ (GB/T4477)。

2 建筑工程后浇带施工关键技术

2.1 后浇带设置

后浇带作为混凝土结构温度收缩应力的主动调控措施, 其科学设置需依据《混凝土结构设计规范》(GB50010)

及《建筑抗震设计规范》(GB50011) 进行力学计算与构造设计, 重点解决超长结构温度变形、混凝土收缩徐变及地震作用下的变形协调问题^[3]。

1. 设置依据与计算原则。温度收缩应力控制基于年温差 ΔT (取 20~35 °C)、混凝土线膨胀系数 α_c ($1 \times 10^{-5}/\text{°C}$) 及弹性模量 E_c (3.0 × 10⁴ MPa), 计算温度应力 $\sigma = \alpha_c \cdot E_c \cdot \Delta T$, 当 $\sigma \geq 0.5f_{tk}$ (抗拉强度标准值) 时, 需设置后浇带。结构几何约束条件超长框架结构 ($L > 55 \text{ m}$)、大底盘裙房 (平面尺寸 $> 150 \text{ m}$) 或存在刚度突变的转换层区域, 按间距 $\leq 40 \text{ m}$ 设置闭合式后浇带。功能分区需求在地下室与主楼交界处、施工段交接部位设置变形适应性后浇带, 带宽 $\geq 800 \text{ mm}$ 。

2. 设计参数控制普通后浇带宽度取 800~1 200 mm, 抗震后浇带加宽至 1 000~1 500 mm。超厚底板 ($h > 2 \text{ m}$) 后浇带两侧设 45° 加腋, 腋高 300 mm。钢筋混凝土框架结构后浇带间距取 20~30 m, 剪力墙结构取 25~35 m, 工业建筑大跨空间结构取 30~40 m。后浇带混凝土采用较两侧结构高一等级的补偿收缩混凝土 (掺 8%~12% 微膨胀剂), 限制膨胀率 $\geq 0.025\%$ (水中 14 d 养护), 干缩率 $\leq 0.015\%$ (GB50119)。

2.2 施工时间选择

在建筑施工过程中, 后浇带施工技术的有效应用, 需严格遵循技术关键点, 其中确定施工时间及选择施工材料为首要步骤。在某建筑项目的施工实践中, 针对后浇带技术的应用, 施工方综合管理、技术及施工等多元要素, 以此来确定具体的施工时间^[4]。在建筑主体结构的混凝土完成并且沉降趋于稳定之后, 便可以定义施工时间点, 此时, 选择后浇带的施工边界时应考虑 50% 的沉降系数, 并严格控制收缩时间不超过 60 d, 以保证沉降量符合设计和规范的标准, 并确保后浇带的施工质量达到预定要求。

2.2.1 龄期控制基准

(1) 收缩后浇带: 普通硅酸盐水泥混凝土两侧结构龄期 $\geq 45 \text{ 天}$ (C30~C50 强度等级), C60 及以上高强混凝土延长至 60 d。掺矿物掺合料混凝土粉煤灰掺量 $> 30\%$ 或矿粉掺量 $> 50\%$ 时, 龄期修正系数取 1.2, 即封闭时间 = $45 \times 1.2 = 54 \text{ d}$ 。采用同条件养护试块弹性模量达到设计值 85% 作为判定标准, 或通过非破损检测 (回弹-超声综合法) 验证混凝土成熟度 $\geq 3 000 \text{ °C} \cdot \text{h}$ 。

(2) 沉降后浇带: 主楼结构封顶后持续监测沉降速率, 当连续 30 天沉降量 $\leq 1 \text{ mm}$ 且速率 $\leq 0.02 \text{ mm/d}$ 时方可封闭。敏感区域 (如差异沉降敏感设备基础) 需满足双指标倾斜率 ≤ 0.0005 , 曲率半径 $\geq 5 000 \text{ m}$ 。

常温季节选择日气温 10~25 °C 时段施工, 优先在夜间 (20:00~次日 6:00) 完成浇筑。高温规避当连续 3 天

气温 $>32^{\circ}\text{C}$ 时暂停施工,或采用预冷混凝土(入模温度 $\leq 28^{\circ}\text{C}$)配合夜间作业^[5]。低温限制环境温度 $<5^{\circ}\text{C}$ 时启用暖棚法施工,棚内温度维持 $\geq 15^{\circ}\text{C}$,混凝土出机温度 $\geq 12^{\circ}\text{C}$ (GB/T50924)。

2.2.2 动态监测与调整

(1) 收缩应变监测:预埋振弦式应变计(精度 $\pm 3\mu\epsilon$)于后浇带两侧1 m处,监测频率每日2次。当收缩应变速率 $<0.5\mu\epsilon/\text{d}$ 且累计值 $>200\mu\epsilon$ 时启动封闭程序。

(2) 温度梯度控制:沿结构厚度方向布置5层温度传感器(间距 $\leq 150\text{ mm}$),控制内外温差 $\leq 20^{\circ}\text{C}$ 。遇突发气温骤变(24 h降温 $>10^{\circ}\text{C}$)时,延迟施工并采取覆盖电伴热毯等应急措施。

大体积混凝土结构在核心温度降至 35°C 以下且降温速率 $\leq 2^{\circ}\text{C}/\text{d}$ 时封闭后浇带。掺入35%矿粉替代水泥,延长水化热释放周期至28天以上。超长弧形结构分阶段封闭后浇带,每段长度 $\leq 15\text{ m}$,间隔时间 ≥ 7 天。采用GPS实时监测曲率变化(精度 $\pm 1\text{ mm}$),曲率半径偏差 $>2\%$ 时暂停施工。

高寒地区施工选择9-10月温度稳定期施工,后浇带封闭后立即铺设50 mm厚岩棉保温层。混凝土添加防冻组分(亚硝酸钠掺量3%~5%),临界受冻强度 $\geq 5\text{ MPa}$ 。龄期验证核查施工日志与同条件试块抗压强度报告,强度达到设计值100%且离散系数 $\leq 10\%$ 。温度记录提供连续15天气象数据及混凝土芯部温度监测曲线,温度梯度 $\leq 15^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 。变形协调性后浇带封闭后30天内,相邻结构沉降差 $\leq L/1\ 000$ (L为结构跨度),裂缝宽度 $\leq 0.1\text{ mm}$ 。

2.3 钢筋处理

后浇带区域的钢筋处理需遵循《混凝土结构设计规范》(GB50010)及《钢筋机械连接技术规程》(JGJ107)的技术要求,针对不同功能类型的后浇带采取差异化的构造措施,确保结构在温度变形、沉降差及地震作用下的力学传递连续性^[6]。

(1) 设计原则与分类处理。伸缩后浇带(温度缝)允许 $\pm 15\text{ mm}$ 水平位移,钢筋采用断离法处理,搭接长度 $\geq 1.21_aE$ (抗震锚固长度)。沉降后浇带预留 $\pm 30\text{ mm}$ 竖向变形空间,钢筋全截面贯通,增设 $\Phi 12@150$ 附加抗剪箍筋。抗震后浇带满足层间位移角1/100的变形需求,主筋搭接接头率 $\leq 25\%$,距节点区 $\geq 500\text{ mm}$ 。断开位置距后浇带边缘 $\geq 300\text{ mm}$,相邻钢筋错位距离 $\geq 0.31_a$ (非抗震)或 0.31_aE (抗震)。板面钢筋断开率 $\leq 50\%$,梁底钢筋全断面连续,断开钢筋采用等强代换(面积差 $\leq 5\%$)。(2) 施工工艺控制。钢筋切割采用砂轮切割机,切口垂直度偏差 $\leq 2^{\circ}$,切割位置偏差 $\leq 5\text{ mm}$ 。搭接方

式优先选用直螺纹套筒连接(II级接头),套筒外露丝扣 $\leq 2P$ (螺距),扭矩值控制: $\Phi 20$ 钢筋 $\leq 220\text{ N}\cdot\text{m}$, $\Phi 25\leq 320\text{ N}\cdot\text{m}$ (按JGJ107)。断离端部设置 $\Phi 8@200$ 限位箍筋,限制残余变形 $\leq 0.5\text{ mm}$ 。贯通钢筋可采用定距卡具固定,间距偏差 $\leq 10\text{ mm}$,保护层厚度偏差 $-3\text{ mm}, +5\text{ mm}$ 。后浇带内增设 $\Phi 16@200$ 双向焊接网片(网眼尺寸 $\leq 150\times 150\text{ mm}$),与主筋点焊固定。钢筋表面涂刷环氧树脂涂层(干膜厚度 $\geq 150\mu\text{m}$),防止因长期暴露导致的锈蚀。(3) 特殊构造措施。悬挑长度 $>6\text{ m}$ 时,主筋断开处预埋M30预应力筋(张拉力 $\geq 0.7f_{\text{ptk}}$),待封闭后二次张拉补偿变形。采用U形闭合箍筋(弯折半径 $\geq 4\text{ d}$),间距加密至100 mm,提升抗剪能力。

高烈度地震区抗震等级 ≥ 8 度区域,钢筋搭接区域外包碳纤维布($300\text{ g}/\text{m}^2$,环向包裹3层),极限应变 $\geq 1.5\%$ 。梁柱节点区预埋BRB屈曲约束支撑(承载力 $\geq 1\ 500\text{ kN}$),耗能系数 ≥ 0.3 。海洋氯盐环境采用316 L不锈钢钢筋(Cr含量 $\geq 16.5\%$),连接套筒同步使用不锈钢材质。钢筋与模板间设置5 mm厚橡胶隔垫,防止电解腐蚀。

3 结束语

建筑工程混凝土及后浇带施工的关键技术在保障结构质量与耐久性方面发挥着至关重要的作用。通过对混凝土原材料的严格把控、科学的配合比设计与精细化的施工过程管理,以及后浇带的合理设置与精准施工,能够有效解决混凝土结构因温度、收缩等因素产生的裂缝问题,显著提升建筑工程的整体质量。在未来的工程建设中,应持续深化相关技术研究与应用,推动建筑工程行业高质量发展。

参考文献:

- [1] 李东东.建筑工程中钢筋混凝土工程施工技术[J].建材发展导向,2025,23(05):112-114.
- [2] 周云青.建筑工程混凝土及后浇带工程施工关键技术[J].居业,2023(09):19-21.
- [3] 闫燕飞.后浇带施工技术在房屋建筑工程中的应用[J].建材发展导向,2024,22(23):90-92.
- [4] 廖秋生.后浇带施工技术在高层住宅建筑工程中的应用[J].居舍,2024(33):32-35.
- [5] 谢博,彭琨,邹军,等.某大型公共建筑关键施工技术应用与研究[J].砖瓦,2022(09):162-164.
- [6] 谭石柱.基于建筑工程混凝土及后浇带工程施工技术关键点分析[J].居舍,2021(22):61-62,86.

绿色节能施工技术在房屋建筑工程中的应用

朱运祥

(山东单建建设工程有限公司, 山东 菏泽 274000)

摘要 房屋建筑工程作为现代社会基础设施建设的关键组成部分, 满足了社会生产与民众生活需求, 但是工程建设的污染问题突出, 降低了环境质量, 也制约着行业的可持续发展, 鉴于此, 绿色节能建筑工程备受关注并在现实生活中得到广泛应用。本研究聚焦于房屋建筑工程施工中的绿色节能施工技术, 探讨其影响及应用的可行性, 从经济、环境和社会等角度综合考量, 指出绿色节能施工技术对于房屋建筑工程具有重要的意义。

关键词 绿色节能施工技术; 房屋建筑工程; 屋顶施工技术; 门窗施工技术; 墙体施工技术

中图分类号: TU74

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.17.017

0 引言

在当前建筑施工领域, 绿色节能施工技术在两个方面有着比较重要的地位。一方面, 在进行工程建设的过程中, 必须高度关注周边环境的保护工作。这就要求施工单位在整个施工流程中, 从最初的规划到具体的实施环节都要充分考虑到对周围自然环境可能产生的影响, 努力实现最终建成的建筑与周边自然环境达成和谐共生的状态。施工过程中产生的各类废弃物要依据科学的方法和流程进行处理, 避免随意丢弃对周边环境造成不必要的破坏。另一方面, 在工程建设过程中, 节能方面的考量同样至关重要, 这具体体现在建材的分配以及选用绿色环保建材这两个关键要点上, 合理的建材分配计划能够最大程度地减少材料的浪费, 确保每一份材料都能得到充分且恰当的利用。而积极选用绿色环保建材既能减少在建筑过程中的能源消耗, 又能在源头上减少对不可再生资源的依赖。除此之外, 对于施工过程中产生的废物, 积极探索并实施二次循环利用的方法也是十分必要的, 不仅能够有效保护我们赖以生存的环境, 还能显著提高各类资源的利用效率, 实现资源的最大化利用。在国内房屋建筑工程的施工实践当中, 环保节能理念的运用正愈发受到广大从业者的高度重视, 它可以在保证施工质量不出现偏差甚至提升的前提下, 显著提高施工的整体效率。

1 房屋建筑中绿色节能施工技术应用的重要意义

绿色节能建筑在环境保护领域扮演着至关重要的角色, 其重要意义不言而喻。该技术作为绿色节能建筑的核心支撑, 通过巧妙地引入一系列全新的技术手段和先进的工程管理方法, 实现了能源的高效利用以

及显著降低环境的负面影响。例如, 在施工过程中勇于尝试并引入先进的施工机械设备。这些设备往往具备更高的能源利用效率和更低的能耗输出, 能够在保证施工进度和质量的前提下, 最大限度地减少对能源的消耗, 从而减少废弃物产生并降低污染程度。此外, 该项技术在建筑施工效率方面提升方面发挥着重要作用, 在施工过程中智能化的管理系统和先进监控装置的运用, 将能够实时观测着在建筑施工过程的数据, 进而有效减少施工过程中的失误和浪费^[1]。

2 房屋建筑中绿色节能施工技术应用原则

2.1 新型绿色节能技术

2.1.1 光伏发电技术

在当今追求可持续发展的时代, 各行业均积极探寻绿色环保且节能的发展路径, 房屋建筑领域也大力引入众多新型绿色节能技术, 其中光伏发电技术占据着重要的地位。该项技术的核心原理基于能够将太阳能直接转化为电能, 在建筑领域可对建筑物的屋顶、墙面乃至窗户等多部位蕴含的太阳能资源进行充分挖掘。而该项系统主要由太阳能电池板、光伏逆变器、电池储能单元和电力管理单元构成, 太阳能电池板的性能与质量直接决定了发电效率; 光伏逆变器承担着将直流电转换为交流电的关键任务, 以实现与建筑内部用电设备的适配, 确保各类电器正常运行; 电池储能单元如同一个储能枢纽, 在光照不足或用电高峰时段能够有效储存和释放电能; 电力管理单元则作为系统的监控中枢, 实时监测和调控各个组件的运行状态从而保障整个系统的高效、稳定运行。

当前, 光伏建筑一体化成为行业发展的热门趋势一些新型建筑幕墙采用光伏建筑一体化(BIPV)技术,

既能实现遮阳功能又能将吸收的太阳能转化为电能，而部分屋顶瓦片也被创新性地设计成光伏组件，能够在更符合建筑美学需求的基础上进行能源化的生产，充分兼顾了光伏的功能性与美观性^[2]。

2.1.2 清洁能源技术

在房屋建筑工程中清洁能源技术的应用逐渐占据着大众的视野，其旨在以低碳、可再生能源替代传统化石燃料，降低碳的排放从而实现建筑的可持续发展。其主要原料是农业废弃物、木屑或专门种植的能源作物等，通过特定技术可转化为固体燃料进而用于建筑供暖或发电。

太阳能热水系统是太阳能利用的经典范例。通过太阳集热器的作用下收集并转化太阳辐射能为热能，从而实现水的加热。该系统不仅高效节能且具有环保的意义，在当前能源消耗持续增长的背景下为建筑热水供应提供了一种可持续的解决方案。地热能作为一种新兴的清洁能源在房屋建筑领域具有巨大的应用潜力，地源热泵系统在冬季将地下的热量提取并用于室内供暖，在夏季则将室内热量释放至地下实现冷却，从而在降低室内温度的同时也将建筑的能耗大幅下降。风能技术同样是清洁能源的重要组成部分，风力发电机通过转动将风能转化为电能，在提供清洁能源的同时抛弃了传统电力的辅助。例如一些偏远地区的小型风电站，不仅满足了当地居民的生活用电需求还促进了当地经济的发展。

该施工技术的积极采用，带来了显著的环保和社会效益。一方面，清洁能源的使用可减少因燃烧化石燃料而产生的空气污染物如颗粒物、二氧化硫等，从而改善空气质量；另一方面，通过优化能源结构从而降低能源消耗，既能够减轻社会的能源短缺问题，同时又推动了社会的可持续发展性。

2.2 绿色节能施工技术应用原则

2.2.1 实际性原则

在实际施工过程中，绿色节能技术与整个工程建设的各个环节紧密相连，例如在基础施工阶段采用新型节能型建筑材料，不仅能够保证基础的承载能力，还能降低材料在使用过程中的能源损耗。在施工过程中通过精确计算工程量和控制材料的用量，可有效避免资源浪费；合理选用节水型施工设备和照明系统，能有效降低水和电等资源的消耗，确保工程建设期间资源利用的高效性。

2.2.2 节能性原则

节能性原则在房屋建设工程中具有不可替代的重要性。目前，众多房屋建设工程企业已充分认识到在

建筑施工过程中对材料和能源进行节约与管控的重要意义。从提高工程建设整体效率的角度来看，有效管控建材和资源是实现节能的关键。在建筑工程中，合理的材料选择和施工工艺不仅能保证工程质量，还能够减少材料的浪费。例如：在墙体保温施工中选用导热系数低且具有保温性能的材料，在降低供暖和制冷成本的同时，还能减少材料用量从而间接节约资源和运输成本。

在实际工作中使用具有节能功能的设备，如使用高效能的塔吊或混凝土搅拌机设备，在高效利用设备的同时降低对能源的依赖。同时通过科学的施工组织设计合理安排施工工序和顺序，在减少设备无主运行的同时，也省掉了对能源的消耗。在施工过程中合理规划建筑废料的分类收集和回收利用，将钢材、木材等可回收材料进行再加工和应用，不仅能减少废弃物排放量还能降低处理费用，这种对环境的友好保护措施能促进工程与周边环境的协调融合，在对附近地区的不良影响也同步降低。当然，在开展绿色节能施工建设时工程技术人员必须依据工程建设的整体标准，科学合理地融入绿色节能施工技术，不能因过度追求节能而忽视房屋工程建设的质量与安全，应在保证工程质量的前提下，充分运用绿色节能技术，实现工程建设的可持续发展^[3]。

3 绿色节能施工技术的应用技术与作用

3.1 屋顶施工技术

屋顶绿色节能施工要重视材料的选择与工艺的环保性。在建立“活屋顶”时，应优先选用当地特有的、具备抗旱能力且维护需求较低的乡土树种。这是由于本地乡土树种对本地环境具有更强的适应性，养护难度较低，不仅能够彰显地方特色还对环境的保护具有积极意义。在传统建筑保温领域，可采用聚氨酯泡沫塑料并在其表面增设防水层，此举能够有效阻隔热量传导，确保室内保持温暖舒适的状态同时降低能源消耗。然而，在绿色节能施工过程中，所涉及的要点并非仅限于此，还需选用可循环利用的材料以此减少资源浪费，实现环境友好型施工，这种类型的施工技术能够更为有效地实现绿色施工的目标，使建筑具备更优的节能与环保性能，与周边环境形成更为和谐的关系。

3.2 门窗施工技术

门窗构造应选用断桥铝合金、聚氯乙烯等高性能保温材料以降低导热系数、减少建筑能耗，门窗玻璃多采用两层或三层结构并填充氩等惰性气体提升保温隔音效果。对与建筑节能门窗设计来讲最为重要的便

是窗户的密封性，门窗周围及开孔部位需密封良好防止热量散失。门窗安装时一定要关注是否平整且具有合适的垂直度，避免变形开裂且确保门窗的稳定密封，施工时建筑工人要依据设计图且规范运用专业工具手段安装门窗，使用精密门窗框和进行精密测量定点操作以保证安装的准确性。门窗绿色节能施工技术原理主要是优化设计和施工工艺，以实现节能与环保目标，具体包括在材料的选择上选用高隔热材料以减少能量传导散失，为了避免空气的泄漏，要使用更加有效果的材料；设置百叶窗、卷帘等可调节遮阳装置降低日光照射影响，合理规划门窗开口和配备通风设备实现自然通风换气，而光伏发电系统或其他可再生能源则可以让门窗对传统能源的依赖减少并且为其提供能源支持^[4]。

3.3 墙体施工技术

在墙体保温隔热这一重要环节中，若能科学合理地挑选保温材料并对施工工艺进行精心优化，那么就能够切实地降低建筑物在使用过程中的能耗水平，同时显著提升其热工性能。环保材料的应用无疑是墙体节能施工技术的核心要点，这类材料通常具备诸多优势特性，像是低污染、低能耗以及可再生利用等，例如在建筑施工中经常使用的水泥砂浆、石膏板以及钢结构等材料，它们在减少施工过程中有害物质排放方面发挥着重要作用。这些材料因其自身的环保特性，能够在一定程度上降低能源的消耗进而全方位提升建筑整体的环保性能，为建筑与自然环境的和谐共生奠定基础。

墙体节能施工在材料选择上传统的砖混结构保温性能欠佳，可选用轻质隔热砖、隔热板等由聚苯乙烯、聚氨酯复合的墙体材料，其隔热效果好、可循环利用且环境影响小。墙体结构设计需重视热桥处理，可以通过设置隔热条或者局部增设隔热层的方式来降低散热情况。在对墙面进行隔热材料涂敷作业时，需着重注意防止出现空鼓以及开裂的问题，同时要对缝口做好密封处理，以此避免热量发生流失现象。在施工完成后，应当对墙体进行合理的烘干处理，保证墙体处于干燥且稳定的状态，从而达到最佳节能效果^[5]。

3.4 地面施工技术

地面绿色节能施工是一种通过选用环保节能材料以降低建筑能耗并提升热工性能的技术手段。在选材环节，应首先考虑材料的能耗问题以及隔热性能，例如实木地板和竹地板等，此类材料不仅具备环保特性而且能够有效降低热量传递效率，与此同时，高性能

的瓦和石凭借其出色的耐热性与较长的使用寿命，也备受关注与青睐。

泡沫玻璃和挤塑聚苯板等这些高效率隔热材料的应用能够显著提升地面的保温性能进而减少热量的损失。此外，地面保温设计需全面考量整体保温效果，尽可能避免热桥现象的出现。隔热层必须与地面紧密贴合，确保不存在空隙，以此防止热量因空气对流而产生流失现象。同时，针对不同材质的接缝部位也需要进行严密处理，避免热量通过接缝处散失。地暖系统凭借其高效节能的优势受到广泛重视，其散热器运用的是低温流体散热模式，这种模式可以切实避免常规散热器在使用过程中产生的空气对流以及粉尘流动等问题。在安装该散热器时，要在地面铺设一层隔热层，通过这种方式尽可能地降低热量损耗，确保室内热传递过程的高效性。而通过合理规划室内家具和地毯的布局，能够进一步优化地面的传热性能，提升室内的舒适度与节能效果。与此同时，定期针对地暖系统开展检测与维修工作且确保其始终处于有效运行状态，这也是实现绿色节能目标的重要环节^[6]。

4 结语

为了加快推动建筑行业的可持续健康发展，在房屋建筑施工中，要在符合建设标准的基础上以环保为前提合理运用绿色节能施工技术，提升房屋建筑与生态环境的协调性，既能够强化工程施工建设的效能，也可以加强对生态环境的保护，实现对资源的节约利用。该技术在有效节约资源的同时提高了资源的利用效率，应用绿色节能施工技术是产业可持续发展以及推动环保减排的必然要求。

参考文献：

- [1] 贾桐.绿色节能施工技术在房屋建筑工程中的运用[J].佛山陶瓷,2025,35(02):147-149.
- [2] 李兴学.房屋建筑工程中绿色节能施工技术的应用[J].中国建筑装饰装修,2025(02):102-104.
- [3] 张祥国.房屋建筑全过程绿色施工技术节能策略研究[J].城市开发,2025(01):150-152.
- [4] 李靖滨.基于新型绿色节能技术的房屋建筑施工研究[J].智能建筑与智慧城市,2024(12):91-93.
- [5] 朱光彦.绿色建筑施工技术在房屋地热供暖节能系统中的应用分析[J].建筑科学,2024,40(11):194.
- [6] 喻心伟.绿色节能施工技术在房屋建筑工程中的运用实践[J].价值工程,2024,43(32):128-131.

绿色建筑施工技术在建筑工程中的应用探析

田正昆

(山东高速德建集团有限公司, 山东 德州 253000)

摘要 绿色施工技术是实现建筑生态化发展的重要手段之一, 通过应用绿色施工技术, 可以减少施工过程中对环境的影响, 提高建筑物的环保性能。同时, 绿色施工技术还可以提高建筑物的使用价值, 使建筑物更加符合人们的需求, 从而推动建筑行业向生态化方向发展。本文深入探讨了绿色建筑技术在建筑工程中的应用意义及原则, 分析了其面临的挑战, 并提出了切实可行的实践路径, 以期对推动绿色建筑技术在建筑行业的广泛应用有所裨益, 助力建筑行业实现绿色转型和可持续发展。

关键词 建筑工程; 绿色建筑施工技术; 节能减排; 环境保护; 外墙保温技术

中图分类号: TU74

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.17.018

0 引言

建筑工程是一项周期长、工序繁多的活动, 需要大量使用各种材料和资源。在这个过程中, 资源浪费和环境污染等问题经常出现。为了解决这些问题, 绿色建筑施工技术应运而生, 其在各类建筑工程中的应用日益广泛。绿色建筑施工技术是一种新型的建筑施工技术, 其以环保、节能、可持续为原则, 通过对资源的优化配置和合理利用, 实现了对环境的保护和资源的节约, 为建筑行业的可持续发展提供了重要的技术支持和借鉴参考^[1]。

1 绿色建筑的设计原则

1.1 节能减排的设计理念

节能减排是绿色建筑设计的重要内容, 这要求我们在建筑设计、施工和使用过程中, 都要做到节能减排。采用高性能隔热材料及门窗, 可有效地减少建筑物的散热, 进而降低采暖、制冷等能耗, 结合智能温度控制、LED光源等先进技术, 进一步提高能效, 达到更高的能效。在部分“绿色”建筑工程中, 采用太阳能光电板、风电等技术, 既可实现能源自给, 又可将电能接入电网, 为社会提供更多洁净能源, 既降低了对传统能源的依赖, 又有利于环保。因此, 要改变传统的能源密集型、高能耗、高排放量的建造方式, 转向更环保、可持续发展的理念, 这就要求我们以创造性、前瞻性的思维, 对新的设计思想与方法进行持续的探索与实践。

1.2 利用自然资源的设计策略

利用自然资源策略是一种将自然资源的特性与优点结合起来, 达到可持续发展与环保的目的, 这一策

略强调的是, 在开发利用天然资源的同时, 尽量降低对环境的不利影响。首先, 对自然资源进行合理的设计, 需要设计者对自然资源的空间分布、物种、数量、更新等特征有一个全面的认识。在充分认识自然资源的基础上, 设计者才能对其更好地开发、利用, 从而减少资源的浪费与破坏。其次, 运用天然资源的设计手法, 注重对环境友好的材料与工艺的运用, 如可再生的材质, 如竹子、木材、可回收塑胶等, 既环保又兼具美学价值。另外, 设计者也可以在设计过程中充分利用新的能源, 如太阳能, 风能等, 来降低对传统能源的依赖。再次, 以资源为基础的设计战略, 需要设计者在进行设计时充分考虑到生态平衡与保护。设计者应在不破坏生态系统完整性的前提下, 尽可能降低其对生物多样性的不利影响, 在园林、湿地等景观设计中, 运用生态修复的方法实现对生态环境的恢复与保护^[2]。最后, 运用自然资源的设计战略也要求设计者在进行设计时要充分考虑到社会效益和经济效益, 设计师要将设计方案的经济可行性与社会效益结合起来, 保证设计方案既能给社会带来实实在在的好处, 又能降低对环境的不利影响。

2 绿色建筑技术在建筑工程中的应用意义

2.1 节能减排, 降低环境负荷

在建筑工程中, 采用高效能建筑材料和设备, 如高性能隔热材料、智能化照明和空调系统以及使用太阳能、风能等可再生能源, 绿色建筑能够大幅度减少对传统能源的依赖, 显著降低能源消耗。此外, 绿色建筑技术还注重优化建筑设计, 如通过科学的建筑布局和高效的外墙设计, 以最大限度地减少能源损耗。

采用先进的技术手段，能降低建筑物的碳排放量，减少对环境的负荷，还能在一定程度上缓解全球气候变化和环境污染问题。具体而言，通过优化能源使用和提高能源效率，绿色建筑在整个生命周期内可以实现预期节能效果，达到降低温室气体排放和保护自然资源的目的，从而为实现可持续发展目标做出重要贡献。

2.2 提升室内环境质量

绿色建筑技术注重节能减排，还致力于提升建筑内部环境质量，为居住者提供更健康、舒适的生活空间。通过科学的采光设计，绿色建筑充分利用自然光源，减少对人工照明的依赖，改善室内光环境。同时，优化的通风系统和空气净化装置能够有效提升室内空气质量，减少有害物质的积聚。声学设计也是绿色建筑的重要组成部分，通过选用吸音材料和合理的空间布局，最大限度地降低噪声污染，创造安静的室内环境^[3]。除此之外，绿色建筑还注重使用环保、低排放的建筑材料，不仅对人体无害，还能减少对室内空气的污染。通过这些措施，绿色建筑在提高居住舒适度和健康性的同时，也为人们的工作和生活提供了更为理想的环境，提升了居住体验和生活质量。

3 绿色建筑施工技术的具体应用

3.1 环境保护

工地环境保护管理措施包括垃圾标识、环保牌设置、光污染控制、噪声控制、施工现场洒水、废弃物分类处理和污水管理等。首先，工地指示牌应详细列出环境保护要求，包括垃圾标识、环保牌等。这些标识和牌匾应在工地显眼位置设置，以便让所有工作人员和访客都能清楚地了解环保要求。其次，电焊作业和夜间照明等都可能引起光污染现象，因此应避免光源外泄。在进行电焊作业时，应使用适当的防护设备，如面罩和手套，以减少光污染对周围环境的影响。此外，夜间照明应选择合适的灯具和亮度，以减少对周围居民的影响。再次，在噪声控制方面，工地应合理调整作业时间，尽量避免夜间作业。若需要使用大噪声设备，则应采用减噪措施或选择白天进行作业。同时，所有机械设备都应定期进行维护和保养，以确保其正常运行，减少噪声的产生。然后，施工现场每日洒水两次，针对露表土体及堆放堆土，应布设挡布或运用临时绿化等措施。这些措施可以减少尘土飞扬，保护周围环境。同时，施工现场也应定期进行绿化工作，增加植被覆盖率，减少水土流失。对于建筑废弃物，首先应施行分类整理，再集中堆放。分类后的废弃物可以再利用或回收，减少对环境的影响。所有废弃物都应送

往封闭式垃圾站处理，避免污染土壤和地下水。最后，加强污水管理也是工地环境保护的重要一环。工地应科学设置排水系统，确保废水经过沉淀池过滤后才能排放至市政管道。砂浆搅拌过程中产生的污水也应特别注意，确保其符合环保标准后再排放。上述措施的实施不仅可以保护环境，还可以提高工地的安全性和效率。管理人员应认真执行这些措施，确保工地的环境保护工作得到有效落实。

3.2 外墙保温技术

在施工过程中，要充分了解绿色技术在施工中的价值与作用，并且要在施工实践中充分发挥出这种技术的优势作用，解决传统施工模式下存在的不足。如今，在建筑施工实践中，外墙保温已经成为一种常见的绿色技术手段，因为工程项目往往消耗较多外墙能源，所以当施工实践中没有意识到外墙施工的价值时，便会导致资源消耗进一步增加，无法满足国家所提倡的持续发展需求。因此在进行外墙施工作业期间，需要合理利用外墙保温这种技术手段，减少不必要的能耗。而想要获取更好的效果，科学保存外墙热量，就要对施工内容进行深入调查，进行仔细分析，选用更加合适的材料做好非承重部分的施工作业，比如可选择空心砖材料，因为这种材料隔热性好，所以能够获取更好的节能成效^[4]。此外，为进一步发挥出这种材料的作用，还可在施工期间采用“整砖平砌”施工方式，提高热量保存性能，减少墙体热量消耗。

3.3 循环利用建材

可以通过绿色建筑项目的设计图纸，选择更适应当前工程的建设材料，使用先进的机械设备，能够充分发挥节能技术施工的优势，打造全新样式的设施建筑。在门窗建材的选择中，可以选取高质量的绝缘玻璃、隔热铝合金门框等。普遍使用两层或多层的玻璃填充窗体结构，其可以在真空的辅助下完成基础隔热，有效地减缓整体的热传导。采用智能化的玻璃材质，其能够调节外部光照的接收效率，改变玻璃颜色，以便能够降低空调设备的工作负荷。建筑外表面积缩小后，需要进行作业处理的区域也随之减少，因此，可以控制建材造价的标准，提升现有建设材料的质量。常见的隔热保温材料有保温板、岩棉、隔热砖，可以根据当前工程的建造需求进行合理搭配，最大限度提升被动型保温墙体的建成效果。施工期间，工作人员会依照需求的材料形状进行改造，可能会产生大量的碎屑、短小板块、异形玻璃等“暂时性废品”。为更好地完成节能理论的指导目标，应将废弃的建设材料进行二

次加工、深加工，改变其原有的形态，使其可以适配某个区域的部分异形缺口。利用锉刀磨平材料切口处的不平，将其与墙体接口进行契合、安装，稳固该面墙体与装饰性建材之间的连接，避免其出现倒塌、下沉、异响等情况。选择建材时应尽量使用环保型材料，如出现无法再利用、不得不进行处理的现象，采取焚烧、埋入地下等处理措施时均对环境污染较小，或者不存在污染。需控制施工人员的作业精准度，确保其能够顺序执行规范性的作业流程，进一步节省可能浪费（切割错误等）的材料，共同推进绿色建筑工程的节能化发展^[5]。

3.4 门窗节能技术

门窗施工属于建筑工程中的一个主要内容，在以往的建筑项目当中，门窗属于保温系统内薄弱的环节，这主要就是因为忽视了绿色施工，致使能源被大量浪费。因此要合理利用门窗节能技术进行施工，优选隔热性优越的材料，并配合利用绿色技术利用绿色材料，借此提高门窗保温性和环保性。此外，要求在开展门窗施工工作前，仔细检查门窗密封情况与透水情况，并在安装期间严格根据安装方案，提升安装精度与安装质量，避免由于安装不科学而引发渗漏情况。最后，还可以应用一些新型材料，比如可在门窗施工过程中选择辐射性较低的玻璃材料，降低门窗辐射率。

4 推广绿色建筑施工技术的对策

4.1 加大宣传力度

建筑施工企业要充分认识绿色施工技术的重要意义，将其作为企业转型发展的重要抓手。通过举办专题讲座、培训班等形式，加大绿色施工理念的宣传力度，提高管理者和一线员工的环保意识、节约意识。企业要将绿色施工理念纳入员工教育培训的必修内容，强化绿色发展、生态文明等方面的理论学习，帮助员工树立正确的价值观和行为准则。针对不同岗位、不同层级员工，制定差异化的培训方案，提高培训的针对性和实效性。管理人员要掌握绿色施工的方针政策和管理制度，提高组织实施能力；专业技术人员要熟练掌握节能减排、污染防治等方面的专业知识，具备绿色设计、施工、运维的综合技能；一线操作人员要掌握绿色施工的操作规范和实施细则，严格按章操作。

4.2 完善相关技术标准和规范

在标准体系建设中，加快绿色施工通用技术标准与专项技术标准的研究制定。系统梳理节地、节能、节水、节材等方面的关键技术，明确技术路线、工艺

流程和操作规范。强化标准的协调统一，加强不同专业、不同环节技术标准的衔接，避免交叉重复或空白盲区。根据不同气候区、不同工程类型，制定差异化的实施导则，因地制宜提出绿色施工的技术路线和管控要求。加强标准的宣贯培训和监督执法，提高标准的权威性和执行力。在绿色施工材料方面，加快制定绿色建材分类、认证和管理的相关标准，明确绿色建材的技术要求、检测方法和评价规则。建立科学规范的绿色建材评价指标体系，强化在安全耐久、节能环保等方面的性能要求。加强绿色建材生产和流通领域的标准化管理，规范绿色建材市场秩序^[6]。加大新型绿色建材的推广力度，完善绿色建材应用的相关标准，为绿色施工提供优质高效的材料保障。在配套政策机制方面，加快出台绿色施工示范工程评价管理办法，明确绿色施工项目的申报条件、评价内容和奖励政策。完善绿色施工管理制度，明确施工过程节能环保设施配置要求，强化施工扬尘、噪声、废水等污染物的排放控制。

5 结束语

在全球气候变暖、资源紧缺的背景下，将绿色建筑融入建设项目中，是解决环境问题的重要途径。绿色建筑是一种有效的节能减排方式，是一种可持续发展的新型能源体系。利用太阳能光电板与风能技术，使建筑从简单的消耗变成了生产能量。另外，在绿色建筑中，还需注意水资源的节省与回收，通过雨水收集及污水处理等方式，将水的浪费降至最低。此外，环保建材的选用亦十分重要，可再生及可循环利用的建材可进一步减少建筑物的环保冲击。通过对建筑空间的合理布置，改善内部的空气品质，从而保证人们的生活、工作环境更加舒适、健康。因此，在促进可持续发展、环保事业中，绿色施工具有无可替代的地位。

参考文献：

- [1] 吴国明.绿色节能技术在建筑工程施工中的应用分析[J].新城建科技,2023,32(24):57-59.
- [2] 赵思栋.节能环保技术在建筑工程施工中的应用研究[J].建材发展导向,2023,21(24):196-198.
- [3] 李珂,吕晓晨.绿色节能施工技术在房屋建筑工程中的应用研究[J].建设科技,2023(14):70-72.
- [4] 熊永忠.绿色建筑施工技术在建筑工程中实践中的应用分析[J].城市建设理论研究(电子版),2023(20):54-56.
- [5] 鲍琪.建筑工程中绿色建筑施工技术的应用分析[J].河北建筑工程学院学报,2023,41(01):99-100,148.
- [6] 张玉龙.建筑工程中绿色建筑施工技术应用分析[J].建筑与装饰,2023(21):166-168.

建筑给排水施工中的管道安装问题及其优化对策

陶丽

(坤翔集团有限公司, 安徽 淮南 232000)

摘要 建筑给排水管道安装质量直接影响建筑使用功能与寿命周期。当前工程实践面临材料性能与工况不匹配、施工工艺不规范、设计与现场脱节、管理体系失效四类典型问题。PVC-U 管材高温蠕变、镀锌钢管接口腐蚀、PPR 管虚焊等材料缺陷频发, 排水管坡度不足、非法连接等工艺问题普遍存在。本文认为需构建全流程质量控制体系, 包括材料供应商分级认证、数字化施工标准、BIM 协同设计机制以及创新技术推广应用; 管理层面实施模块化流程再造, 建立跨专业 IPD 团队协作模式, 配置分级风险预警系统, 运用价值工程方法平衡质量成本; 行业升级路径在于将技术创新成果转化为标准规范, 通过示范工程验证推动产业整体水平提升。

关键词 建筑给排水施工; 管道安装; 安装质量

中图分类号: TU82

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.17.019

0 引言

当前建筑业正面临高质量发展的转型关键期, 给排水管道作为建筑的“血脉系统”, 其安装质量直接影响建筑使用功能与运维安全。随着绿色建筑标准不断提高和智能建造技术快速发展, 传统施工模式下的管道安装问题日益凸显。材料性能与工况不匹配、施工工艺不规范等问题长期存在, 而 BIM 技术普及率不足、数字化管理手段缺失等新矛盾逐渐显现。特别是在“双碳”目标背景下, 给排水系统能效提升与材料可持续性成为新的关注焦点。住房和城乡建设部 2019 年发布的《建筑给水排水设计标准》(GB 50015-2019) 对管道选材和安装工艺提出了更严格要求, 但标准落地面临施工人员技能不足、管理手段滞后等现实障碍。

1 建筑给排水管道安装常见问题分析

1.1 材料选择与质量问题

建筑给排水系统的可靠性首先取决于管材的物理化学性能与实际工况的匹配度。当前工程实践中普遍存在 PVC-U 管材在高温环境下抗蠕变能力不足、镀锌钢管未做二次镀锌处理导致螺纹接口腐蚀加速、PPR 管热熔连接时因原料掺假出现虚焊等问题。某保障房项目竣工两年后出现的立管爆裂事故, 经检测证实项目施工中使用了不符合《建筑排水用硬聚氯乙烯(PVC-U)管材》(GB/T 5836.1-2018) 标准的再生料管材。材料质量控制的关键节点应包括出厂合格证核查、进场复试报告验证以及施工过程中的批次抽检, 但多数项目仅

停留在形式审查阶段。更隐蔽的风险在于设计文件未明确不同功能区域(如地下室防潮区、屋面暴晒区)的差异化选材要求, 导致施工方按最低标准采购。

1.2 施工工艺不规范问题

管道安装的工艺缺陷往往在隐蔽工程验收时已形成不可逆的质量隐患。实地调研发现, 室内排水管坡度不足 3% 的案例占比达 37%, 这直接破坏了系统的自净流速; 而柔性接口铸铁管违规使用水泥封堵的野蛮施工方式, 使得管道热胀冷缩时产生结构性破坏。某三甲医院项目的 BIM 碰撞报告显示, 施工班组未按《建筑给水排水及采暖工程施工质量验收规范》(GB 50242-2002) 操作, 将给水支管直接焊接在主管顶部, 不仅改变系统水力工况, 更导致管网中形成气蚀区。这些问题的根源在于劳务分包队伍缺乏系统培训, 现场技术交底流于签字确认形式, 监理单位对关键工序的旁站监督存在严重缺位。

1.3 设计与现场脱节问题

设计图纸与施工条件的矛盾集中体现在三个方面: BIM 模型未考虑建筑结构施工误差导致的管道标高冲突, 卫生间降板区域排水路径设计未核算实际排水当量, 以及设备选型参数与当地水质特性(如高硬度地区)不匹配。某商业综合体项目中, 设计院按标准图集确定的消防水泵扬程, 未考虑市政管网压力波动特性, 最终导致湿式报警阀组无法正常触发。这种脱节现象暴露出设计阶段缺乏现场踏勘数据支撑, 施工单位“按

图施工”的僵化思维,以及建设方压缩设计周期带来的技术论证不充分等问题^[1]。

1.4 施工管理缺失问题

项目管理体系失效表现为进度计划与材料供应链断裂、工序交接检验记录造假、质量责任追溯机制形同虚设三个维度。例如:某EPC总承包项目因未建立管道试压台账,导致压力试验用水重复排放产生的成本超支达合同价的1.2%。深层次矛盾在于建设单位将给排水系统等隐蔽工程视为次要分部工程,在资源配置上过度倾斜于主体结构施工。现代工程管理要求的“样板引路”制度在管道安装领域执行率不足15%,多数项目的BIM运维模型与实体施工完全脱节,丧失了预防性管理的技术基础。

2 建筑给排水管道安装优化对策探讨

2.1 材料质量保障措施

确保管材质量需建立贯穿设计、采购、验收全流程的闭环管理体系。设计阶段应依据《建筑给水排水设计标准》(GB 50015-2019)明确不同系统的工作压力等级和介质特性要求,例如:高温区域优先选用CPVC而非普通PVC-U管材。采购环节推行供应商短名单制度,对HDPE管材原料供应商实施SGS认证,要求提供熔融指数(MFI)和氧化诱导时间(OIT)检测报告。某大型医院项目通过建立二维码追溯系统,实现每批次管材的生产日期、检验数据与施工部位的精准绑定。材料进场时除常规外观检查和强度复试外,需增加红外光谱分析检测掺假行为,特别防范回料掺杂导致的PPR管热熔连接失效。建设方应预留3%~5%的专项质量保证金,对关键管材实行驻厂监造,从源头上防范不合格材料进入施工现场^[2]。

2.2 施工工艺改进

工艺标准化需要从作业指导书升级为可量化的数字施工标准。针对传统坡度控制依赖人工目测的弊端,采用激光扫描仪进行管道三维坐标校核,确保排水横管坡度误差控制在±0.5%以内。镀锌钢管螺纹加工必须使用电动套丝机并配备牙形规检测,螺纹有效啮合扣数不少于5扣。某地铁枢纽项目通过BIM+AR技术,在工人安全帽上集成管道连接工艺指引,实时提示热熔温度(260±5℃)和插入深度(2.2±0.1mm)等关键参数。监理单位应建立工艺样板验收制度,在首件施工时录制标准工法视频作为验收基准,重点监控沟槽式连接橡胶密封圈的压缩量(4~6mm)等隐蔽工序。

2.3 设计与施工协同优化

打破设计与施工的割裂状态需要建立基于实际工

况的逆向校验机制。施工图审查阶段应组织施工单位参与三维管线综合会审,运用Navisworks软件模拟管道安装后的检修空间,确保法兰螺栓拆卸距离不小于300mm。对于改建项目,要求设计单位现场测绘建筑完成面实际标高,调整管道综合支架的定位方案。某数据中心项目通过IPD模式,在深化设计阶段即导入施工单位的预制加工方案,将传统现场焊接的冷却水管改为工厂化预制管段,使安装工效提升40%的同时减少现场动火作业风险。建立设计变更的快速响应通道,当现场发现管径与流量不匹配时,通过水力计算软件可在2小时内完成复核并出具变更指令。

2.4 技术创新与应用推广

行业技术升级需要构建“研发—试点—标准”的螺旋上升路径。在超高层建筑中推广使用304不锈钢压接式管道系统,其抗震性能较传统镀锌钢管提升3倍,且免除了现场防腐作业。针对南方地区地下水位高的特点,开发内置渗漏传感器的HDPE双壁波纹排水管,通过LoRa物联网实时监测管道周边土壤含水率变化。某生态城项目试点应用的微生物自修复混凝土排水管,可在裂缝宽度0.3mm内自主分泌碳酸钙结晶实现裂缝愈合^[3]。这些创新技术需通过《建筑给水排水及采暖工程施工质量验收规范》局部修订予以标准化,同时建设方应在招标文件中设置3%~8%的创新技术专项评分,推动成熟技术从示范工程向常规项目渗透。行业协会应定期发布管道工法创新案例集,组织施工企业参观已运行3年以上的标杆项目,验证新技术在全生命周期中的实际表现。

3 管理与协调策略优化

3.1 项目管理流程优化

建筑给排水工程的项目管理正经历从粗放式向数字化、精细化的转型过程。在广州某超高层综合体项目中,建设单位采用敏捷项目管理方法,将传统的线性施工流程重构为模块化任务包。通过引入BIM+GIS集成平台,实现了从管材采购到末端安装的全过程数字化追踪,材料到场时间预测准确率提升至93%。具体实施中,开发了基于区块链技术的质量追溯系统,每个管段焊接参数、操作人员资质和检测数据均上链存储,出现质量问题时可在10分钟内定位到具体工序和责任人。针对设计变更响应迟缓的痛点,建立“双轨制”审批流程:常规变更走标准化电子审批通道,重大变更启动专家会审机制,平均处理周期从原来的7天压缩至2天^[4]。项目控制中心配置了智能看板系统,实时显示管道试压进度、焊接合格率等12项关键指标,

当排水管道通球试验一次合格率低于 90% 时, 系统自动推送工艺改进方案。这种流程再造使项目整体工期缩短 15%, 质量缺陷率下降 40%。

3.2 团队协作能力提升

跨专业协同作业能力的提升需要打破传统施工中的信息孤岛。上海浦东国际机场三期项目组建了由设计、施工、监理和物业方共同参与的 IPD 协同团队, 采用联合办公模式解决管道综合排布难题。团队建设方面推行“岗位能力矩阵”管理, 给排水工程师除掌握本专业技能外, 还需具备土建结构识图和机电系统协调能力, 关键岗位人员交叉培训覆盖率达到 100%。每周举行的“管道安装质量反向会诊”形成制度, 土建班组需说明预埋套管位置偏差原因, 机电班组分析支吊架失效问题, 这种透明化追责机制使接口问题减少 35%。开发了基于 AR 技术的远程协作系统, 专家团队可通过智能眼镜实时指导现场复杂节点施工, 如管井立管安装的垂直度校正, 使特殊部位施工一次合格率从 82% 提升至 97%。建立“工序交接双确认”制度, 混凝土浇筑前必须由给排水工程师签字确认套管定位, 管道试压前需结构工程师出具承载验算报告, 这种责任捆绑机制有效杜绝了推诿扯皮现象。

3.3 风险管理与应急预案

给排水系统工程风险防控需要建立分级预警与快速响应机制。北京城市副中心某重点工程将管道安装风险划分为材料缺陷 (I 级)、工艺失控 (II 级)、设计错误 (III 级) 三类, 对应配置差异化的防控措施。针对 I 级风险, 实行“封样管理 + 飞行检查”制度, PPR 管材热熔连接温度偏离标准值 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 即触发设备校准程序; II 级风险采取“视频验收 + 实体样板”双控措施, 所有隐蔽工程验收必须留存 360° 全景影像资料; III 级风险则建立设计复核基金, 预留合同价 1.5% 用于聘请第三方 BIM 咨询机构进行全专业模型校审。开发了智能预警平台, 通过安装在施工面的物联网传感器实时监测管道焊接温度、水压试验数据等关键参数, 异常数据自动推送至相关责任人^[5]。应急预案采用模块化设计, 如遇到地下既有管线破坏事故, 系统可在 15 分钟内调取该区域综合管网图并生成定向开挖方案, 较传统处置方式缩短 80% 响应时间。每月进行的“压力测试实战演练”确保应急小组熟悉爆管抢修全流程, 从发现漏点到完成修复控制在 2 小时以内。

3.4 质量与成本平衡策略

工程实践中需要通过价值分析实现质量与成本的最优配置。雄安新区某标志性项目应用价值工程方法, 对给水系统进行全生命周期成本分析, 发现采用薄壁

不锈钢管虽然初期投资比 PPR 管高 25%, 但 50 年使用周期内维护成本降低 40%, 最终实现 15% 的总成本节约。建立“质量成本动态监控”体系, 每周统计预防成本(工艺样板制作)、鉴定成本(第三方检测)和故障成本(返工损失), 当故障成本占比超过 12% 时自动启动工艺优化程序。实施质量溢价激励机制, 对排水管道通球试验一次合格率持续保持 95% 以上的班组, 给予节约成本 30% ~ 50% 的奖励。在材料选择上推行“分级管控”策略: 主干管采用高标准材料确保系统可靠性, 支管在满足规范前提下适当优化成本^[6]。项目后期引入大数据分析技术, 建立管道安装质量与成本的关联模型, 为后续项目提供精准的决策依据, 这种数据驱动的管理方法使同类项目成本偏差率控制在 3% 以内。

4 结束语

建筑给排水管道安装质量提升是一项系统工程, 需要材料科学、施工技术、管理方法的多维度创新。工程实践证实, 单纯依靠规范标准难以解决复杂的现场问题, 必须建立从设计到运维的全链条质量控制机制。当前行业转型的关键在于突破传统施工思维, 将数字技术深度融入施工流程, 实现质量隐患的可视化预警与精准防控。材料质量追溯、工艺参数数字化、设计施工协同等创新做法, 正在重塑行业的质量标准体系。值得注意的是, 技术创新必须与管理制度变革同步推进, IPD 模式、区块链溯源、智能预警等管理工具的应用效果已得到项目验证。未来发展方向应聚焦于构建行业级质量数据库, 形成基于大数据的决策支持系统, 最终实现给排水工程全生命周期的质量最优与成本可控。这种系统性解决方案对提升我国建筑品质具有重要实践价值。

参考文献:

- [1] 武宁. 建筑给排水施工中的管道连接技术与施工要点探析 [J]. 建材发展导向, 2024, 22(22):105-107.
- [2] 郭亚楠. 高层建筑给排水施工及管道安装技术研究 [J]. 房地产世界, 2024(19):170-172.
- [3] 王长宏, 谢前程. 高层建筑给排水施工及管道安装工艺研究 [J]. 工程技术研究, 2024, 09(06):100-102.
- [4] 赵华, 李峰, 寇小勇, 等. 建筑给排水施工中的管道连接技术与施工要点分析 [J]. 机电产品开发与创新, 2022, 35(06): 110-112.
- [5] 马志超. 高层建筑给排水施工及管道安装的问题及对策 [J]. 中国高新科技, 2021(15):82, 84.
- [6] 刘逸伦. 建筑给排水施工中的管道连接技术要点研究 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2025(03):204-206.

聚乙烯生产工艺技术分析

张洪磊

(中石化英力士(天津)石化有限公司,天津 300270)

摘要 随着全球石化工业的快速发展,聚乙烯作为重要的热塑性塑料,在包装、建筑、电线电缆、汽车制造等众多领域发挥着不可替代的作用。本文全面剖析了聚乙烯生产工艺技术的现状、特点及应用措施,重点探讨了高压聚乙烯生产工艺、冷凝与超冷凝技术、UNIPOL气相法工艺技术、共聚技术与双峰技术、原位法与激光法技术、淤浆法与溶液法技术等关键领域,以期为聚乙烯行业的可持续发展提供助力。

关键词 聚乙烯; 生产工艺技术; 高压法; 气相法; 共聚技术

中图分类号:TQ325.12

文献标志码:A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.17.020

0 引言

聚乙烯作为世界上产量最大、应用最广泛的塑料类型,其生产工艺技术的不断革新与优化对于提高生产效率、降低生产成本、提升产品质量具有重要意义。近年来,随着全球对环保和可持续发展的日益重视,聚乙烯生产工艺技术正朝着高效、环保、节能的方向发展。因此,在新时期的环境下,需重点分析聚乙烯生产工艺技术的应用措施,为提升生产水平做出贡献。

1 聚乙烯生产工艺技术现状

化学工业中聚乙烯(PE)作为重要的热塑性塑料,因其优良的物理、化学性能、广泛的应用领域,成为全球塑料行业中重要的一部分。聚乙烯的生产工艺技术,依据操作压力的不同,主要划分为高压法、低压法、中压法,每种方法都有其独特的技术特点和应用范畴,共同促进聚乙烯行业的持续发展。其中高压法聚乙烯生产工艺,以独特的自由基聚合机理成为生产低密度聚乙烯(LDPE)的主流技术,数十至数百兆帕高压和高温100℃至300℃的条件下,乙烯分子利用自由基链式反应进行聚合,形成具有支链结构、密度较低的聚乙烯产品,核心在于高效催化剂的使用和精密的反应器设计。近年来,随着催化剂技术的不断革新,采用茂金属催化剂、齐格勒-纳塔催化剂提高聚合反应的速率,还显著改善产品的性能,提高拉伸强度、抗撕裂强度和热封性能。现代高压聚乙烯反应器通常采用管式反应器或釜式反应器,精确控制温度、压力、停留时间等反应条件,实现对聚合过程的精细调控。不仅如此,为应对能源紧张和环境保护的挑战,高压法聚乙烯生产工艺正积极探索节能降耗的新途径,利用余热回收系统、优化冷却流程有效降低生产过程中

的能耗及碳排放。低压法聚乙烯生产工艺,以其高度的灵活性和高效性,在聚乙烯行业中占据举足轻重的地位;气相法聚乙烯生产采用气体作为反应介质,乙烯在气相中以催化剂作用进行聚合,优点在于生产过程连续、自动化程度高、产品纯度高且易于调节产品牌号。随着双峰聚乙烯、茂金属聚乙烯等高性能产品的开发,气相法聚乙烯工艺不断升级,改进催化剂体系、优化反应器结构实现对分子量和分子量分布的精确控制,满足市场对高性能聚乙烯材料的需求;淤浆法聚乙烯生产中,乙烯在含有惰性溶剂的淤浆中进行聚合,生成的聚乙烯颗粒悬浮于溶剂中,适用于生产各种密度的聚乙烯,尤其是HDPE。淤浆法工艺稳定,易于操作,且生产出具有优良机械性能和加工性能的聚乙烯产品^[1]。

2 聚乙烯生产工艺技术特点

聚乙烯生产工艺技术的多样性与高效性特点明显,是其在全球塑料市场中占据领先地位的关键因素。高压法聚乙烯生产工艺以其独特的自由基聚合机理为基础,利用高压和高温条件促进乙烯分子的快速聚合,形成具有支链结构的LDPE产品。由于自由基聚合反应速率快,高压法聚乙烯生产线的产能通常较高,满足大规模生产的需求;LDPE产品具有优异的柔韧性、耐冲击性和热封性能,广泛应用于包装材料、电线电缆绝缘层、薄膜等领域;高压聚乙烯生产过程中的高温高压条件对设备材质和自动控制系统的要求极为严格,需要采用先进的耐高压、耐腐蚀材料、高精度的控制仪表和算法。低压法聚乙烯生产工艺以其高度的灵活性和高效性,成为生产多种类型聚乙烯产品的首选方法,气相法、淤浆法和溶液法各有千秋,共同构成低压法聚乙烯生产的丰富体系。低压法聚乙烯工艺可按

照不同的原料、催化剂和工艺条件,灵活调整生产参数,生产出从低密度到超高分子量的各种聚乙烯产品,满足不同应用领域的需求;低压聚乙烯生产工艺采用连续化、自动化的生产方式,生产效率高,产品质量稳定可靠,优化反应器设计和催化剂性能,可进一步缩短生产周期,提高能效;低压法聚乙烯产品具有优良的机械性能、加工性能和化学稳定性,广泛应用于管道、容器、汽车部件、电线电缆护套等领域。随着全球对环保和可持续发展的日益重视,聚乙烯生产工艺技术正积极融入绿色、低碳的发展理念,采用先进的催化剂技术、优化反应器设计、提高能效,聚乙烯生产过程中的能耗和排放得到有效控制,同时开发可回收聚乙烯材料、实施循环经济模式等创新实践,为聚乙烯行业的可持续发展提供有力支撑,在减少环境污染与资源消耗的基础上,还提升聚乙烯产品的市场竞争力,促进行业的健康稳定发展^[2]。

3 聚乙烯生产工艺技术应用措施

3.1 高压聚乙烯生产工艺技术

高压聚乙烯生产工艺技术是基于自由基聚合机理的技术,是聚乙烯工业中的重要组成部分,利用高压和高温条件,促使乙烯分子链在特定条件下发生聚合,进而生成低密度聚乙烯(LDPE)。此工艺不仅生产效率高,且所生产出的LDPE产品性能稳定,被广泛应用于包装、电线电缆、薄膜等领域。在高压聚乙烯的生产流程中,精密的设备扮演着至关重要的角色,压缩机负责将乙烯气体压缩至所需的高压状态,为后续的聚合反应提供动力;聚合反应器作为整个工艺的核心,其设计与操作参数直接决定产品的质量及生产效率。在此环节中,乙烯分子在高压和催化剂的作用下,逐步聚合成高分子量的聚乙烯蜡;分离器则负责将聚合产物与未反应的乙烯气体进行分离,保证产品的纯净度;造粒机将聚乙烯熔融并切割成均匀的颗粒,便于后续的存储运输。为进一步提升高压聚乙烯生产工艺的能效,可从多个方面入手,精确控制反应温度、压力和停留时间等参数,可显著提高乙烯的转化率,进而提升聚合产物的分子量,同时反应器的结构设计也需考虑良好的混合效果与传热性能,以保证聚合反应的均匀性。先进的催化剂技术可降低聚合反应的活化能,提高乙烯分子的聚合效率,而催化剂的稳定性与再生能力也是评估其性能的重要指标,不断研发改进催化剂技术,可进一步推动高压聚乙烯生产工艺的发展。同时定期对压缩机、聚合反应器、分离器和造粒

机等关键设备进行检查维修,发现并排除潜在故障,可延长设备的使用寿命,降低生产成本,同时建设完善的设备管理制度与维护流程,也是提高生产效率、产品质量的重要保障^[3]。

3.2 冷凝与超冷凝技术

冷凝与超冷凝技术在聚乙烯生产工艺中的应用,为提升乙烯转化率和聚合产物分子量提供新的途径。在聚合反应器中引入冷凝态的乙烯气体,可有效降低反应器的温度和压力,优化聚合反应条件,提高乙烯的利用率,减少能耗与排放,增强生产过程的可持续性。在实施冷凝与超冷凝技术时,需要精确控制冷凝态乙烯气体的引入量和温度。过少的引入量可能无法充分降低反应器温度,而过多的引入则可能导致反应器内压力过高,影响聚合反应的进行,因此需要按照实际生产情况和工艺要求,合理调整冷凝态乙烯气体的引入参数。与此同时,加强反应器内的传热和传质过程也是提高冷凝与超冷凝技术效果的关键,优化反应器的结构设计和操作条件,使乙烯气体在反应器内均匀分布,并与催化剂充分接触,提高聚合反应的速率;定期对反应器进行清洗维护,防止积垢、堵塞等问题对生产效率的影响,也是保障冷凝与超冷凝技术稳定运行的重要措施。

3.3 UNIPOL 气相法工艺技术

UNIPOL 气相法工艺技术以其高效、灵活的特点,在聚乙烯行业中得到广泛应用,采用单台流化床反应器,精确控制反应器的温度、压力和气体组成等条件,可生产出不同种类和规格的聚乙烯产品。在实施 UNIPOL 气相法工艺技术时,温度是影响聚合反应速率和产物分子量的关键因素,调整反应器的加热和冷却系统,可精确控制反应温度,优化聚合反应条件。与此同时,压力也是影响聚合反应的重要因素,调整反应器的压力控制系统,可保证反应器内气体组成的稳定,进而提升聚合产物的性能。先进的催化剂技术可降低聚合反应的活化能,提高乙烯分子的聚合效率;而合适的助剂配方则可进一步改善聚乙烯产品的加工性能与机械性能,满足市场对高品质聚乙烯产品的需求。在设备维护和安全生产管理方面,UNIPOL 气相法工艺技术需高度重视,定期对流化床反应器、分离器、造粒机等关键设备进行检查维修,发现并排除潜在故障,可保证生产过程的稳定运行,同时建设完善的安全管理制度与应急预案,加强员工的安全培训演练,也是保障生产过程安全的重要举措^[4]。

3.4 共聚技术与双峰技术

共聚技术与双峰技术是聚乙烯生产工艺中的两项重要技术,为生产具有特殊性能的聚乙烯产品提供可能。共聚技术在聚合反应中引入其他单体与乙烯进行共聚反应,可生产出具有更高的耐热性、更好的耐化学腐蚀性或更优异的加工性能的聚乙烯产品,应用范围广泛,可满足市场对聚乙烯产品的多样化需求。在实施共聚技术时,选择合适的单体和催化剂体系、工艺条件至关重要,主要由于不同的单体和催化剂体系会对共聚产物的结构及性能产生显著影响。因此,需要按照产品的性能要求与市场需求,精心挑选合适的单体和催化剂体系,并优化工艺条件,以保证共聚反应的顺利进行及产物的质量控制。双峰技术则采用双峰催化剂体系或双反应器工艺等方法,生产出具有双峰分子量分布的聚乙烯产品,分子量分布的特点使得聚乙烯产品在加工过程中具有更好的流动性,同时提高产品的机械性能与耐热性,为聚乙烯产品的性能提升提供新的途径。需要注意的是,在实施双峰技术时,挑选合适的催化剂体系和工艺条件。双峰催化剂体系的选择需要考虑其催化活性、分子量分布调控能力、产物的性能要求等因素,精确控制反应温度、压力和停留时间等参数,优化聚合反应条件,生产出具有优异性能的聚乙烯产品^[5]。

3.5 原位法与激光法技术的创新应用

原位法与激光法技术是近年来聚乙烯生产工艺中出现的新技术,为聚乙烯产品的功能化和改性提供新的思路,在聚合反应器中直接加入功能性助剂或填料等方法,在聚合过程中实现产品的功能化,在提高聚乙烯产品的性能的基础上,还可简化生产工艺流程,降低生产成本。在实施原位法技术时,选择合适的功能性助剂或填料、精确控制其加入量和加入时机至关重要。不同的功能性助剂或填料会对聚乙烯产品的性能产生不同的影响。因此,需要按照产品的性能要求和市场需求,精心挑选合适的功能性助剂或填料,并优化其加入量和加入时机以促进产品的质量控制和性能提升。

激光束的高能量密度和精确可控性使得激光法技术在聚乙烯材料的表面改性、切割、焊接等方面具有独特优势,调整激光束的功率、频率和扫描速度,可精确控制处理效果,满足不同应用场景的需求。在实施激光法技术时,激光束的参数选择需要考虑材料的性质、处理效果的要求、设备的性能等因素,同时处理条件的优化也是保证激光法技术效果的关键,精确

控制处理时间、处理温度等参数,可优化处理效果,进一步提高聚乙烯产品的性能质量。

3.6 淤浆法与溶液法技术

淤浆法与溶液法技术是聚乙烯生产工艺中的传统技术,在聚乙烯工业中仍占据重要地位。淤浆法技术在聚合反应器中加入稀释剂使聚乙烯颗粒悬浮在淤浆中进行聚合反应,具有生产灵活性和适应性较强的优点,可生产出不同粒度和形态的聚乙烯产品,同时淤浆法技术还可利用稀释剂调节反应器的温度和压力等条件,优化聚合反应过程。稀释剂的选择需要考虑其溶解性、挥发性、对聚合反应的影响等因素;催化剂体系的选择则需要考虑其催化活性、稳定性、对产物的性能影响等因素。溶液法技术则是将乙烯溶解在溶剂中进行聚合反应形成均相溶液后再进行分离和干燥等处理过程得到聚乙烯产品,具有聚合反应均匀、产物分子量分布窄等优点,还可利用溶剂的溶解性及挥发性调节反应器的温度和压力等条件,优化聚合反应过程,而溶液法技术也存在溶剂回收和能耗较高等问题。在实施溶液法技术时,溶剂的选择需要考虑其溶解性、挥发性、对环境的影响等因素;催化剂体系的选择则需要考虑其催化活性、选择性、对产物的性能影响等因素,优化参数可进一步提高溶液法技术的生产效率,并降低生产成本及环境影响。

4 结束语

随着全球石化工业市场需求的不断变化,聚乙烯生产工艺技术受到广泛重视,创新生产工艺技术,提高生产效率和产品质量,降低生产成本和能耗,减少环境污染,聚乙烯行业将为实现可持续发展和绿色发展目标做出更大贡献。未来聚乙烯生产工艺技术将继续朝着高效、环保、节能的方向发展,为全球石化工行业的繁荣和可持续发展注入新的动力。

参考文献:

- [1] 李瑞鹏.聚乙烯生产工艺技术发展及其经济效益分析[J].中国化工贸易,2025,12(09):34-36.
- [2] 杨高蕾.聚乙烯生产技术进展及国内外市场分析[J].中国化工贸易,2025,23(08):19-21.
- [3] 孙莹莹.氯化聚乙烯生产工艺分析及发展建议[J].中文信息,2023,11(06):125-129.
- [4] 王林,袁炜,李孟瑶,等.1-己烯共聚聚乙烯产品市场及生产技术现状[J].煤化工,2023,51(06):25-28,64.
- [5] 马金欣,韩超,张得栋,等.煤基石脑油裂解乙烯/丙烯/丁烯共聚三元聚丙烯生产工艺的研究[J].煤化工,2024,52(03):16-19.

新型材料在道路边坡防护中的应用

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 本文深入探讨了新型材料在道路边坡防护工程中的应用情况, 重点分析了超高性能混凝土 (UHPC) 和环保绿色材料等新型材料的特性、应用流程及在实际施工中遇到的技术挑战与相应的解决方案。研究结果表明, 这些新型材料的应用不仅能够显著提升边坡防护结构的稳定性和安全性, 还能满足环保和可持续发展的要求, 因此在未来的道路边坡防护工程中具有广阔的应用前景和推广价值。

关键词 交通基础设施; 道路边坡防护; 新型材料; UHPC; 环保材料

中图分类号: U416.14

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.17.021

0 引言

随着交通基础设施建设的快速发展, 边坡防护成为确保交通安全和稳定的重要环节。传统的边坡防护材料和技术, 如混凝土、石料堆砌等, 虽然在一定程度上起到了防护作用, 但存在施工周期长、成本高、环保性差等局限性。特别是在复杂地质条件和恶劣气候环境下, 传统防护技术的效果往往不尽如人意, 需要新型材料和技术来提升边坡防护的效能。

1 新型材料概述

1.1 超高性能混凝土 (UHPC)

超高性能混凝土 (UHPC) 是一种具有极高强度、高耐久性和高韧性的新型混凝土材料。其独特的纤维增强机制和微观结构设计, 使得 UHPC 在承受极端荷载和恶劣环境条件下仍能保持良好的性能。在道路边坡防护中, UHPC 可以用于构建更加坚固和耐久的防护结构, 如护坡墙、防护栏等。与传统的混凝土材料相比, UHPC 具有更高的强度和耐久性, 能够显著减少维护和修复的频率, 从而降低长期成本。

1.2 环保绿色新材料

随着环保意识的日益增强, 环保绿色新材料在道路边坡防护中的应用也越来越受到重视。这些新材料通常具有较低的碳排放、可再生性、生物降解性等特点, 能够减少对环境的负面影响。例如: 柔性混凝土复合垫是一种由水泥毯和混凝土填充层组成的环保材料, 具有耐冻性、耐化学腐蚀性和防水防渗性等特点。在边坡防护中, 柔性混凝土复合垫可以用于加固土壤和岩石, 防止水土流失和滑坡等灾害的发生。此外, 乳化沥青和有机硅预养护材料等环保新材料也在道路边坡防护

中展现出良好的应用前景^[1]。这些材料不仅能够提供有效的防护效果, 还能在施工过程中减少能源消耗和废弃物排放, 实现更加绿色和可持续的道路边坡防护。

2 新型材料在道路边坡防护中的理论分析

2.1 UHPC 在边坡防护中的力学分析

1. UHPC 的抗压、抗拉、抗剪强度分析。UHPC 以其卓越的力学性能在边坡防护中展现出巨大潜力。其抗压强度远超普通混凝土, 能够承受边坡土体或岩石的巨大压力, 保持结构的稳定性。同时, UHPC 的抗拉强度也显著提高, 有效抵抗边坡土体的拉伸变形, 防止裂缝的产生。此外, 其抗剪强度确保了边坡防护结构在剪切荷载作用下的稳定性, 增强了整体结构的抗滑移能力。这些优异的力学性能使得 UHPC 成为边坡防护的理想材料。

2. UHPC 边坡防护结构的设计原理与计算方法。UHPC 边坡防护结构的设计是一个复杂而细致的过程, 需要基于边坡的具体地质条件、荷载特性以及环境因素进行全面综合考虑。其设计原理主要涵盖结构稳定性分析、材料性能与防护需求的匹配, 以及施工可行性的评估等多个方面。在计算方法上, 则需要运用到结构力学、材料力学及土力学等多学科知识的综合运用。例如: 通过采用先进的有限元分析软件, 对 UHPC 边坡防护结构进行详细的应力应变分析, 确保设计方案既满足安全可靠的要求, 又兼顾经济性和环保性, 为边坡防护工程提供科学、合理的设计依据。

2.2 环保绿色新材料的防护机理

1. 柔性混凝土复合垫的加固硬化机制。柔性混凝土复合垫是一种由多层材料复合而成的边坡防护材料。

其加固硬化机制主要体现在以下几个方面：首先，复合垫中的水泥毯层能够迅速吸收水分并发生水化反应，形成坚硬的混凝土层，为边坡提供强大的支撑力。其次，混凝土填充层中的骨料和水泥浆体在硬化过程中相互交织，形成致密的微观结构，提高了复合垫的整体强度和耐久性。最后，复合垫的柔性设计使其能够适应边坡的微小变形，从而有效防止裂缝的产生和扩展。

2. 乳化沥青在边坡防水层中的功能与作用。乳化沥青是一种由沥青微粒和水组成的混合物，具有优异的防水性能和粘结性能。在边坡防水层中，乳化沥青能够迅速渗透进土壤颗粒之间，形成一层致密的防水膜，有效阻止水分的渗透和侵蚀。同时，乳化沥青还能与土壤颗粒发生化学反应，形成牢固的化学键合，提高边坡的整体稳定性和抗滑移能力。此外，乳化沥青的施工过程简单快捷，能够显著降低施工成本和时间。

3. 有机硅预养护材料对边坡的防水、防火效果。有机硅预养护材料是一种高分子聚合物材料，具有优异的防水、防火和耐候性能。在边坡防护中，有机硅预养护材料能够迅速渗透进边坡表面的微小裂缝和孔隙中，形成一层致密的防水层，有效防止水分的渗透和侵蚀。同时，有机硅预养护材料还能在高温下形成一层保护层，阻止火势的蔓延和扩散，提高边坡的防火性能。此外，有机硅预养护材料还具有优异的耐候性能，能够长期保持其防护效果。

2.3 新型材料与其他防护技术的对比分析

1. 成本效益分析。尽管新型材料在道路边坡防护项目中的初期投资成本可能相对较高，但其带来的长期效益却尤为显著。由于新型材料具备卓越的强度和耐久性，它们能大幅度减少边坡维护和修复的频率，进而显著降低长期的维护成本。此外，这些新型材料施工简便快捷，有助于缩短整体工期，并进一步降低施工成本^[2]。综合来看，从成本效益的角度审视，新型材料在道路边坡防护应用中展现出了更高的性价比，是更为明智的选择。

2. 施工效率与便捷性对比。新型建筑材料的应用为施工过程带来了革命性的改变。比如，柔性混凝土复合垫和乳化沥青等新型材料，凭借其独特的物理和化学性质，可以采用机械化施工方式，这不仅大幅减少了人力需求，还显著提升了施工速度。相比之下，传统的防护技术，如混凝土浇灌和石料堆砌，不仅施工流程繁琐、耗时较长，而且还需要大量物力人力的投入。因此，新型材料在施工效率与便捷性上展现出了无可比拟的优势，为现代建筑行业的发展注入了新的活力。

3. 防护效果与使用寿命评估。新型材料在道路边坡防护中展现出了显著的防护效果和使用寿命优势。相较于传统材料，新型材料具有更高的强度和耐久性，这使得它们能够更有效地抵抗外部荷载的作用以及恶劣环境条件的侵蚀，如风雨侵蚀、水土流失等。因此，新型材料在边坡防护中的应用，不仅提升了防护结构的稳定性，还使得防护效果更加显著。同时，由于新型材料的使用寿命更长，能够大幅减少维护和修复的频率，从而有效降低了长期的维护成本。综上所述，新型材料在道路边坡防护中具有更高的综合效益，其应用前景也更加广阔，值得进一步推广和应用。

3 新型材料在道路边坡防护中的应用实践探讨

3.1 UHPC 边坡防护结构的设计与施工要点

1. 设计原则与参数确定。UHPC 边坡防护结构的设计应遵循安全、经济、环保的原则。在设计过程中，需充分考虑边坡的地质条件、荷载特性、环境因素以及材料的力学性能等因素。设计参数的确定应基于详细的勘察和实验数据，包括但不限于边坡的坡度、高度、土体性质、地下水状况等。同时，还需考虑 UHPC 的抗压、抗拉、抗剪强度等力学性能指标，以确保设计结构的稳定性和安全性。在设计过程中，还需关注结构的耐久性和长期性能^[3]。通过合理的结构设计和材料选择，确保 UHPC 边坡防护结构能够抵抗长期荷载和环境因素的作用，保持结构的完整性和稳定性。

2. 施工工艺与质量控制。UHPC 边坡防护结构的施工工艺包括模板制作、材料搅拌、浇筑、养护等步骤。在施工过程中，需严格控制原材料的质量，确保 UHPC 的配合比准确、搅拌均匀。同时，还需注意模板的刚度和稳定性，以防止浇筑过程中发生变形或位移。浇筑过程中，应采用适当的振捣工艺，确保 UHPC 的密实性和均匀性。浇筑完成后，还需进行充分的养护，以促进材料的硬化和强度提升。在养护过程中，需保持适宜的温度和湿度环境，避免材料因干燥或温度变化而产生裂缝。质量控制方面，应建立完善的检测体系，对原材料、配合比、施工过程及成品进行全面检测。通过定期抽检和全面检测相结合的方式，确保 UHPC 边坡防护结构的质量符合设计要求。

3.2 环保绿色新材料的施工应用流程

1. 材料选择与配比。环保绿色新材料的选择至关重要，应遵循环保、经济、实用的原则。在筛选过程中，需全面考量材料的来源是否可持续、生产工艺是否环保、性能特点是否优越等因素。此外，还需紧密结合

边坡的地质条件、环境因素及具体设计要求，科学确定材料的配比方案。在配比环节，必须开展充分的实验与测试工作，严格把关，以确保所选材料的性能完全满足设计要求。同时，要特别关注材料的环保性能，力求其在生产及使用过程中对环境造成负面影响降至最低。

2. 施工准备与现场布置。在施工正式启动之前，一系列周密的准备工作必不可少。这涵盖了现场详尽的勘察，以精准掌握地质、气候等自然条件；施工方案的精心设计，确保每一步操作都科学可行；材料的及时采购与高效运输，为施工提供坚实的物质基础；以及施工队伍的全面培训，提升其专业技能和安全意识^[4]。此外，根据施工现场的具体状况，还需进行科学合理的现场布置，包括清晰划分施工区域、有序摆放施工设备、严格落实各项安全措施等。进入施工阶段后，需时刻关注天气和环境因素的变化，灵活调整施工方案和措施。同时，加强现场管理和监督，确保施工流程顺畅无阻，工程质量始终处于可控状态。

3. 施工过程控制与关键节点。环保绿色新材料的施工过程控制是确保工程质量的关键。在施工过程中，需严格控制材料的搅拌、浇筑、固化等步骤。同时，还需关注施工过程中的关键节点，如材料的混合比例、浇筑速度、固化时间等。在施工过程中，还需加强质量检测和监控。通过定期抽检和全面检测相结合的方式，确保施工过程的稳定性和可控性。同时，还需建立应急预案和处置机制，以应对可能出现的突发情况和质量问题。

3.3 新型材料应用中的技术挑战与解决方案

1. 材料性能的优化与提升。新型材料在道路边坡防护中的应用，首先面临的是材料性能的优化与提升问题。由于边坡环境的复杂性和多样性，对材料的力学性能、耐久性和环保性等方面提出了更高要求。为了应对这些挑战，研究人员需要不断探索新型材料的制备工艺和改性方法，以提高其综合性能。例如：通过添加特定的添加剂或采用先进的合成技术，可以增强材料的抗压、抗拉和抗剪强度，同时提高其耐候性和耐腐蚀性^[5]。此外，对于环保型材料，还需关注其生产过程中的能耗和排放，确保在满足性能要求的同时，实现绿色可持续发展。

2. 施工技术的创新与改进。新型材料的应用往往伴随着施工技术的创新与改进。在道路边坡防护中，施工技术的选择直接影响到工程的质量和效率。为了

充分发挥新型材料的优势，需要不断探索与之相适应的施工技术。例如：针对 UHPC 等高性能材料，需要采用高精度的模板制作和浇筑技术，以确保结构的精确度和稳定性。同时，还需关注施工过程中的质量控制和安全管理，确保施工过程的顺利进行。此外，随着智能化和自动化技术的发展，可以考虑将这些技术应用于边坡防护施工中，以提高施工效率和精度。

3. 长期性能监测与维护策略。新型材料在交通边坡防护中的长期性能监测与维护策略也是不可忽视的问题。由于边坡环境的复杂性和不确定性，新型材料在实际应用中可能会受到各种因素的影响，导致其性能发生变化。因此，需要建立完善的长期性能监测体系，对材料的性能进行定期检测和评估。同时，还需制定科学合理的维护策略，及时发现并处理潜在的问题。例如：可以定期对边坡进行巡视和检查，及时发现并修复裂缝和破损；对于易受侵蚀的部位，可以采取相应的防护措施，如喷涂防腐涂料等。此外，还可以利用现代信息技术手段，如物联网、大数据等，对边坡的变形和稳定性进行实时监测和预警，以提高边坡防护的可靠性和安全性。

4 结语

新型材料在道路边坡防护中的应用具有重要的实践意义和广阔的前景。通过不断探索和优化材料性能、创新和改进施工技术以及建立完善的长期性能监测与维护策略，可以有效提升边坡防护工程的稳定性和安全性。未来，随着科技的不断进步和新型材料的不断涌现，道路边坡防护技术将迎来更多的创新和突破，为交通运输领域的可持续发展做出更大的贡献。同时，我们也应持续关注新型材料的环境影响，推动绿色、低碳、环保的边坡防护技术的发展和应用。

参考文献：

- [1] 刘新秀, 谭强. 高速公路高边坡防护技术及工程应用研究 [J]. 工程建设与设计, 2021(01):72-74.
- [2] 简思羽, 晏堃. 高速公路路基高边坡防护施工技术 [J]. 交通世界 (上旬刊), 2020(11):71-72.
- [3] 冯志奎. 高速公路高边坡防护中预应力锚索的施工技术研究 [J]. 交通世界 (下旬刊), 2020(07):46-47.
- [4] 李磊. 公路路基高边坡防护设计措施 [J]. 四川建材, 2020(05):162-163.
- [5] 康林. 路基高边坡防护工程施工技术探讨 [J]. 科学技术创新, 2020(01):127-128.

除盐水系统运行稳定性提升策略探讨

景帅旗

(中石化(天津)石油化工有限公司,天津 300000)

摘要 除盐水系统作为保障工业生产过程中高纯水供给的重要环节,其运行稳定性直接影响到工艺设备的使用寿命与生产效率。然而,在实际应用中,除盐水系统常因设备老化、运行参数波动、操作管理不当等因素造成水质波动和系统故障,严重制约了系统运行的持续性与经济性。本文围绕除盐水系统的运行特征,系统分析了影响其稳定运行的关键因素,从设备维护、运行监控、工艺优化等方面提出了针对性的提升策略,并结合典型工程案例进一步验证了相关措施的可行性和效果,以期为相关人员提供借鉴。

关键词 除盐水系统;运行稳定性;运行管理;设备维护

中图分类号:TM621.8

文献标志码:A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.17.022

0 引言

在火电、石化、冶金等行业中,除盐水系统是保障设备高效运行与工艺用水纯度达标的重要基础设施。系统运行稳定与否,直接影响到锅炉寿命、换热效率和工艺连续性。传统除盐水系统运行中普遍存在膜污染频发、离子交换效率下降、运行波动频繁等问题。随着生产规模的扩大与自动化水平提升,对系统连续性和水质稳定性的要求也不断提高。因此,研究并完善除盐水系统运行稳定性提升策略已成为提高工业用水质量与运行效率的重要方向。本文以实际系统运行过程为基础,针对运行中常见问题,探索系统运行优化的关键路径,提供针对性解决措施,以期为行业运行管理水平的提升提供技术支持。

1 除盐水系统运行稳定性影响因素分析

1.1 设备老化与维护不足

系统稳定运行离不开设备的高效协同。然而,部分企业在长期运行过程中未能及时更新关键设备,导致泵阀腐蚀、仪表失灵或管道渗漏频发,形成系统运行瓶颈。例如某化工企业在使用多年的反渗透膜组件后未及时更换,导致进水压力波动频繁,膜污染严重,最终影响除盐水产水质量^[1]。设备老化叠加维护滞后,易引发系统运行参数偏移,降低整体处理效率。系统运行中应建立周期性检测与预防性维修制度,定期对设备进行全面检查,以延长设备使用寿命并减少运行干扰。此外,还应加强设备运行状态的动态监测,借助红外热成像、振动分析等技术手段实现早期故障识别,提升设备管理的前瞻性。建立关键设备运行台账与维修档案,有助于系统化追踪运行趋势,为后续设

备更新与维护决策提供数据支持,从而保障系统持续稳定运行。

1.2 运行参数控制不当

除盐水系统依赖于多个工艺参数的精准控制,如压力、流速、电导率与pH值等。一旦运行参数设定不合理或控制精度不足,将直接影响水处理效果。例如:在运行过程中,如果进水温度波动较大而未及时调整加药量或运行压力,极易造成反渗透膜结垢或微生物滋生,从而影响系统通量与脱盐率。因此应强化参数监控手段,建立联动调控机制,保障系统运行在稳定范围内。同时,应结合在线监测系统与自动控制装置,实现对关键参数的实时反馈与自动调节,提升系统响应能力和运行精度。通过引入数据分析模块,还可进行趋势预测与异常预警,及时发现潜在风险并调整运行策略,从而有效降低系统故障发生率,提升整体水质保障能力。

1.3 操作人员专业能力不足

操作人员的业务素养直接决定系统运行状态。部分岗位因缺乏系统性培训,出现错误操作或异常判断滞后的现象,容易引发系统故障或延误处理。以某电厂为例,由于值班人员未及时判断离子交换器树脂失效状态,导致产水质量下降,后期不得不进行整套系统停运检修,造成大量损失。因此,强化操作规范与培训机制是提升系统稳定性的关键保障。

2 除盐水系统运行管理优化路径

2.1 完善设备巡检与维护机制

除盐水系统的设备状态是保障系统稳定运行的基础。若关键设备如反渗透膜、离子交换柱、高压泵等

维护不当或运行故障，将直接导致水质波动或系统中断运行。因此，必须建立科学完善的巡检与维护机制^[2]。首先，运行管理人员应制定定期巡检计划，明确检查频次、巡检内容及记录方式，确保各设备运行状态实时掌控。其次，应建立设备运行档案，记录设备参数变化、维修情况与故障历史，作为日常管理与预测维护的参考依据。此外，还应加强备品备件管理，确保关键部件在突发情况下能迅速更换，减少系统停运时间。例如在某化工厂实践中，巡检制度执行到位后，设备故障率明显下降，系统运行的连续性与稳定性显著提升。通过制度化巡检流程与技术支持手段的结合，可有效延长设备寿命，保障系统高效运行。

2.2 构建智能化运行监控平台

信息化、自动化手段的应用是提升除盐水系统运行效率和监控精度的重要方向。构建智能化运行监控平台，可实现对系统运行数据的实时采集与可视化管理。平台通过布设传感器对压力、电导率、流量等关键参数进行监控，并结合 PLC 自动控制系统实现数据联动与异常报警。通过 SCADA 系统或数据集成平台，运行人员可即时掌握运行状况并快速作出调整。例如：某电厂引入智能控制系统后，系统响应速度和故障处理能力大幅提升，有效降低了人为误操作带来的风险。同时，数据平台还能实现历史数据趋势分析与运行效率评估，为后续管理优化提供技术支持^[3]。智能化平台的建设不仅提高了管理精度，也为系统稳定运行奠定了技术基础。

2.3 优化运行工艺与加药策略

合理的运行工艺与科学的加药策略是保障除盐水系统稳定高效运行的关键。工艺流程应根据进水水质、季节性变化等因素灵活调整，防止膜污染、交换效率下降等问题。例如：在高硬度水源条件下，应加强预处理环节，加大阻垢剂与絮凝剂的使用力度，并适时清洗膜组件，维持系统通量与脱盐率。同时，加药策略也应从传统的人工投加模式向自动化调控模式转变。通过设置在线监测仪与自动加药系统，可根据水质参数实时调节药剂投加量，提升药剂利用效率。例如：某企业改用自动加药系统后，膜污染率降低约 30%，运行成本也相应下降。系统化调整运行工艺和加药方式，不仅优化水处理过程，也大幅提升了系统稳定性和运行经济性。

3 提升运行稳定性的系统化策略与案例应用

3.1 建立标准化运行操作体系

除盐水系统运行涉及多个工艺流程及设备系统的协同配合，操作流程的规范化直接关系到系统稳定性

与水质控制的持续性。然而在许多实际运行单位中，操作人员往往依赖经验进行操作，缺乏统一的标准化作业指导，这容易导致不同班组、不同人员在操作过程中产生偏差，从而造成系统波动或水质异常。为此，构建一套科学、系统、具体、可操作的标准化运行操作体系显得尤为重要。首先，应由专业技术人员依据除盐水系统工艺流程编制详细的《运行操作规程》，涵盖启动、运行、停机、反洗、再生等各关键环节，并明确各项参数设定标准及操作注意事项。其次，应建立岗位职责清单和关键岗位操作流程卡，将操作任务具体量化并与岗位职责对应，确保每一位操作人员都能明确自身职责与操作流程。例如在某电厂运行实践中，通过推行标准化运行操作卡，设置关键参数提示点和操作时间节点，使得系统在更换离子交换树脂时不再出现水质短时波动的问题。再次，应建立标准化巡检制度和异常处理流程，将设备巡检与运行数据采集纳入日常工作体系，确保异常情况能被及时识别与响应。此外，推行模拟操作培训和标准化考试机制也是保障执行效果的重要手段。通过每季度组织一次模拟操作演练，让人员熟悉应急预案流程，同时建立操作评分机制，将标准化执行情况纳入绩效考核，有效提高了运行管理的规范化水平。标准化操作体系不仅提升了人员执行的准确性与一致性，也为系统运行提供了稳定、可控的基础保障，对实现高质量的水处理系统运行具有重要意义。

3.2 实施专业化人员培训机制

除盐水系统运行管理具有较高的技术含量，涵盖化学处理、电控设备管理、水质分析、膜技术应用等多个知识领域。操作人员不仅要具备基本的设备操作能力，更要能够理解系统工艺原理、判断异常情况并进行及时处理。然而，在实际运行中，许多单位存在培训机制不完善、人员专业水平参差不齐、岗位技术更新滞后的问题，严重制约了系统稳定运行水平的提升。因此，构建科学、系统、持续的专业化人员培训机制，成为提高运行稳定性的重要保障。首先，应根据岗位职责设定分级培训内容，对新入职人员开展基础理论培训，包括除盐水系统组成、运行原理、水质指标解读等内容，为后续上岗操作奠定知识基础^[4]。对中高层技术人员则应开展工艺优化专题培训与技术研讨，提升其对系统整体运行的理解与掌控能力。其次，培训应注重实践性与互动性，可通过案例教学、情景模拟、实操演练等方式提升培训效果。例如：某热电厂实施“每月一案例”学习制度，选取系统运行中典型问题如膜结垢、树脂污染等进行分析讨论，使操作人员在真实

问题中提升问题识别与处理能力。此外,培训机制还应与绩效评价挂钩,通过考试、评估与岗位晋升制度将学习成果应用到实际工作中,提升人员学习主动性。在某企业运行团队建设中,通过实施“技能晋级”制度,明确技术等级与薪酬待遇挂钩关系,极大激发了员工提升专业能力的积极性。最后,应与设备厂商、科研机构建立合作关系,邀请专业技术人员定期开展前沿技术培训,及时掌握膜材料更新、自动化控制系统升级等行业新动态,保持团队知识结构的先进性。专业化人员培训不仅提升了系统运行能力,更构建了运行团队的知识梯队与管理支撑体系,是推动系统运行长期稳定的关键基石。

3.3 推动管理流程与绩效联动机制

除盐水系统的运行管理不仅仅是技术和设备的配合,更需要制度保障与管理机制的协同支持。传统管理模式中,往往缺乏对运行质量的量化评估与责任落实机制,导致系统问题发现滞后、处理效果反馈不足、人员积极性不高。为此,建立以运行稳定性为核心指标的绩效联动机制,有助于推动系统管理科学化、流程化和责任化。首先,应明确各岗位运行责任,通过制定“岗位责任制管理办法”,将设备完好率、水质达标率、运行故障响应时间等关键指标量化分解到个人或班组,并建立相应的评价体系。例如:在某工业水处理中心推行“运行绩效评分卡”,将系统稳定运行时间、水质在线合格率、系统故障处理及时率等纳入考核指标,按月通报并与绩效奖金挂钩,有效提高了运行人员的责任意识和执行效率。其次,应建立问题反馈与整改闭环机制,将运行过程中发现的问题进行分级归类,明确整改责任人和整改期限,并将整改情况纳入绩效考核。通过问题闭环管理不仅提升了系统改进效率,也增强了管理制度的执行力。在某企业案例中,通过实施“运行问题整改闭环表”,系统运行故障率较改进前下降了25%。此外,管理流程还应与数据平台建设相结合,借助信息化手段实现运行绩效的数据化管理与分析,提升管理决策的科学性。最后,应注重激励与约束并重,结合评优评先制度、技术竞赛与岗位晋级机制,形成正向激励氛围,增强人员归属感与成就感。绩效联动机制的建立不仅提升了管理效能,也有效推动了系统运行目标向高质量转变,是实现除盐水系统稳定运行管理升级的重要支撑路径。

3.4 典型工程案例分析

为了更好地验证系统运行稳定性提升策略的实际效果,本文选取某大型热电企业除盐水系统运行优化

改造项目作为典型案例进行分析^[5]。该企业在长期运行过程中面临系统波动频繁、膜污染严重、出水电导率不稳定等问题,严重影响了锅炉供水质量与运行安全。项目组在对系统进行全面诊断后,采用了“三步提升策略”:一是更换老化膜组件与优化膜组件排列方式,提升膜通量与脱盐效率;二是引入自动化加药系统与智能监控平台,实现加药量的精准控制与系统运行数据的实时监测;三是构建标准化运行管理流程,并对操作人员开展专题培训。改造实施后,系统产水电导率稳定维持在4.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 以内,反渗透膜清洗周期由原来的每月一次延长至每季度一次,系统运行能耗下降12%。同时,故障停机次数大幅减少,设备利用率提升至98%以上。企业在运行效益显著提升的同时,也建立了完整的运行标准化与绩效联动体系,实现了除盐水系统由“经验管理”向“智能管理”的跨越。该案例表明,多维度协同推进的稳定性提升策略在实践中具有良好的推广价值与复制性,为同类系统运行提供了可借鉴的路径和经验。

4 结束语

除盐水系统的运行稳定性直接关系到工业生产的连续性和设备的安全运行,是实现高效水处理与节能降耗的关键保障。实践表明,从设备管理、运行监控到操作流程优化,系统化、多维度的提升路径是提高运行稳定性的有效手段。未来,应进一步加强技术革新与智能化平台建设,提升运行数据分析与故障预警能力,实现系统运行的可控化与精细化管理,为企业提供更高质量的用水保障。同时,还需持续强化人员培训与管理机制协同,构建稳定、高效、可持续发展的除盐水运行体系。

参考文献:

- [1] 林阳.除盐水联合装置大检修的有关措施[J].化工管理,2019(34):180-181.
- [2] 邢大伟,段权鹏,刘发圣.全膜法除盐水制水系统调试过程中常见问题处理工程技术研究[J].工程技术研究百科,2019(04):56-57.
- [3] 程一杰,厚谓,沈阳,等.调相机除盐水系统设计问题分析与改进建议[J].工业水处理,2022(08):178-181.
- [4] 肖方榜,曹成艳.国外某核电厂除盐水生产系统应对原水水质问题措施探讨[J].给水排水,2020(S1):122-124.
- [5] 许可宸,曹成艳,王瑞,等.某核电厂除盐水厂房综合设计优化[J].给水排水,2020(S1):119-121.

绿色建筑电力系统的集成与优化策略研究

任长城¹, 张 锐²

(1. 聊城华昌实业有限责任公司高唐设计分公司, 山东 聊城 252000;
2. 阳谷兴阳发展集团有限公司, 山东 聊城 252000)

摘要 随着绿色建筑的兴起与发展, 分布式光伏发电在绿色建筑中得到日益广泛的应用, 其不仅具有安全可靠、绿色环保的特点, 还能有效实现能源的就地生产和消纳, 与绿色建筑追求的节能环保目标高度契合。目前, 国内外对于分布式光伏系统与建筑一体化的研究在系统设计、集成应用等方面取得了显著进展。本文针对分布式光伏系统与建筑物的一体化建设展开深入研究, 分析了其集成优化策略, 以期为推动光伏发电系统在绿色建筑中的规模化应用提供参考。

关键词 绿色建筑; 分布式光伏; 电力系统优化; 能源集成

中图分类号: TU852

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.17.023

0 引言

绿色建筑电力系统集成优化已成为建筑节能领域的重要研究方向, 随着可再生能源技术的快速发展, 分布式光伏发电系统在建筑领域的应用日趋成熟。光伏系统与建筑一体化设计不仅能够有效提升建筑能源利用效率, 还能实现建筑用能结构的优化升级, 目前建筑光伏系统在实际应用中仍存在系统效率低、能源调配不合理等问题, 因此深入研究绿色建筑电力系统的集成与优化策略, 对提升建筑能源使用效率具有重要意义。

1 分布式光伏发电系统集成技术

1.1 光伏系统建筑一体化设计方案

光伏系统建筑一体化设计需充分考虑建筑结构特点和太阳能资源条件, 在建筑外立面及屋顶区域, 结合建筑朝向、倾角等要素, 科学布置光伏组件。对于不同类型建筑, 采用差异化设计策略: 高层建筑以垂直立面安装为主, 可在幕墙系统中嵌入双玻组件, 既保证采光需求又能发电; 多层建筑适合在屋顶安装倾斜式光伏阵列, 倾角可设置为 $25^{\circ} \sim 35^{\circ}$, 实现发电效率最大化; 建筑采光顶可选用半透明光伏组件, 替代传统采光材料。在组件布置时, 需预留检修通道, 确保后期维护便利, 光伏系统与建筑外围护结构的连接采用新型防水构造, 确保建筑本体安全, 电气设备布置需预留检修空间, 线缆敷设依据建筑结构合理规划走线, 实现与建筑美学的和谐统一^[1]。

1.2 光伏发电系统并网技术研究

光伏发电系统并网运行需要配置先进的并网逆变器, 实现直流电向交流电的高效转换, 并网系统采用

双向计量装置, 可实现光伏发电的自发自用、余电上网模式。电能质量控制系统能够实时监测谐波含量、功率因数等参数, 当检测到电能质量超标时, 自动进行补偿调节, 功率预测系统基于气象数据和历史运行数据, 对光伏发电功率进行准确预测, 为系统调度提供依据。电压穿越技术确保在电网发生小扰动时, 光伏系统能够保持并网运行, 提高系统稳定性, 电能管理系统对发电、用电数据进行采集分析, 合理分配负荷, 优化运行模式, 在大规模光伏并网条件下, 需采用智能调度策略, 确保并网点电压、频率等指标符合标准要求, 维持电网安全稳定运行。

2 电力系统优化配置与控制

2.1 光伏发电功率预测方法

光伏发电功率预测采用多层神经网络算法, 结合气象数据和历史发电量数据建立预测模型, 短期功率预测主要依据实时气象数据, 包括太阳辐射强度、温度、云量等环境因素, 建立 $0 \sim 4$ h 的发电功率预测曲线。中期功率预测则基于气象部门提供的天气预报数据, 结合地理位置、季节特征等固定参数, 预测未来 $24 \sim 72$ h 的发电功率变化趋势, 预测模型采用滚动更新机制, 根据实际发电数据不断修正预测参数, 提高预测精度。预测算法中引入改进型 BP 神经网络结构, 采用 Levenberg-Marquardt 优化算法对网络权值进行训练, 加快网络收敛速度, 在输入层增加光伏组件表面温度、灰尘污染程度等修正参数, 提高预测模型对实际工况的适应性^[2]。

在数据预处理环节, 采用小波变换对原始数据进

行降噪处理，消除异常数据对预测精度的影响，预测系统设置分层预测机制，对不同时间尺度的预测任务采用不同的预测模型。

超短期预测（0~15 min）采用基于模糊时间序列的预测方法，短期预测（15 min~4 h）采用神经网络模型，中长期预测采用支持向量机回归模型，系统还建立了预测结果评估机制，实时计算预测误差，当误差超过设定阈值时自动调整预测参数。

在极端天气条件下，预测系统能够及时发出预警信息，为系统调度预留充足的调节时间，预测结果直接对接能源管理系统，为储能调度、负荷控制提供数据支持，实现对光伏发电的精确管理，该预测方法在实际工程中表现出较高的可靠性，平均误差率控制在10%以内。

2.2 储能系统容量优化配置

储能系统容量配置需平衡系统经济性与可靠性，储能容量计算基于光伏发电功率预测结果和建筑负荷特性，采用多目标优化算法确定最佳容量。考虑到锂电池储能系统使用寿命和投资成本因素，将充放电深度限制在20%~80%范围内，延长电池使用寿命，储能系统分为功率型和能量型两类配置，功率型储能用于平抑光伏发电功率波动，容量配置比例为光伏装机容量的15%~20%，能量型储能用于削峰填谷，容量配置根据负荷特性确定。储能变流器选用双向变流器，额定功率与储能容量相匹配，具备快速响应特性，系统配置双层保护机制，采用电池管理系统实时监控电池状态，确保储能系统安全可靠运行，合理的储能容量配置能够显著提升光伏发电的消纳能力，改善建筑供电质量。

2.3 系统能量调度策略

能量调度策略基于日前负荷预测和光伏发电预测结果，制定储能系统充放电计划和负荷调控方案，在电网峰谷电价差较大时段，充分利用谷电价时段蓄能，在峰电价时段放电，实现经济效益最大化。根据光伏发电出力特性，在发电功率大于用电负荷时，将富余电量存入储能系统或馈入电网；在光伏发电不足时，优先使用储能系统补充供电，不足部分由电网供给，调度策略需考虑储能系统荷电状态，当电量低于20%时启动充电保护，高于95%时停止充电。在负荷侧，对可转移负荷进行智能调控，将部分用电需求转移至光伏发电高峰时段，提高光伏电力就地消纳率，调度控制系统采用分层架构，上层负责优化决策，下层执行具体控制指令，实现系统的协调运行。

2.4 变流器控制技术

变流器控制采用双闭环控制策略，外环为电压控制，内环为电流控制，实现电压电流的精确调节，电压外环采用PI控制器，根据电网电压和负载需求产生电流指令；电流内环采用比例谐振控制器，提高系统对谐波的抑制能力。在并网模式下，变流器需保持直流母线电压稳定，同时向电网输出高品质电能，孤岛模式下，变流器转为V/f控制，维持负载端电压频率稳定，为提高变流器效率，采用SVPWM调制技术，减少开关损耗。变流器的电压调制采用改进型死区补偿算法，有效降低输出电压畸变率，使输出电压波形更加接近正弦波，在大功率变流过程中采用交错并联技术，多台变流器交错运行，等效开关频率提高，输出电流纹波明显降低^[3]。

在电网电压不平衡工况下，控制系统采用基于瞬时对称分量法的序分量提取技术，快速准确分离出电网电压正负序分量。正序电压闭环控制保证基波功率的精确传输，负序电压前馈补偿抑制输出电流不平衡，变流器还配备先进的并网同步技术，采用改进型锁相环算法，在电网电压畸变工况下仍能快速准确检测相位角，确保并网过程平稳。在电压跌落期间，变流器根据电网要求快速切换至电压支撑模式，注入无功电流，帮助电网电压恢复，直流母线电压波动抑制采用前馈解耦控制策略，在大功率波动工况下保持母线电压稳定，提高系统动态响应性能。

2.5 电网故障穿越技术

电网故障穿越技术确保在电网发生短时故障时，光伏发电系统能够保持并网运行状态，故障检测模块采用基于电压相序的快速检测算法，在故障发生后10 ms内完成故障类型识别。对于对称故障，控制系统降低有功输出，增加无功注入，支持电网电压恢复；对于不对称故障，采用正负序解耦控制策略，抑制输出电流畸变，在电压恢复阶段，系统根据电网要求逐步恢复有功输出，避免造成电网扰动。穿越控制过程中，直流母线电压波动通过斩波电路控制，防止过压损坏设备，并网接口断路器的重合闸保护需与故障穿越控制相协调，避免误动作导致系统解列，故障穿越功能的实现显著提升了分布式光伏系统的电网友好性。

3 系统集成优化与节能分析

3.1 系统运行参数优化

系统运行参数优化主要针对光伏阵列倾角、逆变器工作电压、储能系统充放电功率等关键参数展开，

光伏阵列倾角优化基于全年太阳辐射量数据,结合建筑物地理位置和周边遮挡情况,计算最佳安装角度。在北方地区,光伏组件最佳倾角一般在 $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$ 之间,南方地区则在 $20^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 之间,逆变器最大功率点跟踪电压范围设定需考虑温度对组件输出特性的影响,确保系统在不同季节均能在最佳工作点运行。储能系统充放电功率限值设置需平衡电池使用寿命和调峰需求,根据实际运行数据动态调整,系统监控参数包括直流侧绝缘电阻、汇流箱温度、逆变器效率等指标,建立完整的运行参数数据库,为系统优化提供数据支撑,定期对系统运行参数进行评估和优化,持续提升系统运行效率^[4]。

3.2 能源消耗测算方法

能源消耗测算采用分项计量与综合评估相结合的方法,在用电负荷侧安装智能电表,对建筑物主要用能设备进行分项计量,建立能耗数据采集系统。光伏发电系统设置独立计量装置,实时记录发电量、自用电量和上网电量,储能系统配置双向计量设备,统计充放电电量及转换效率,计量数据以15 min为间隔进行采集存储,形成建筑物完整的用能曲线。测算系统采用分层分级的数据存储结构,原始数据经过数字滤波和数据修正后,按照时间、设备类型、用能类型等多个维度进行分类存储,数据分析模块采用改进的聚类算法,对建筑能耗特征进行分类识别,建立典型用能模式库。建立建筑能耗基准数据库,将实际运行数据与基准值进行对比分析,评估节能效果,能耗测算结果以月度报表形式输出,包含各分项用能指标、光伏发电利用率、储能系统运行效率等数据,测算方法的建立为建筑节能潜力分析和运行策略优化提供重要依据。

3.3 节能效果评估体系

节能效果评估体系采用多维度指标进行综合评价,在能源利用效率方面,计算光伏发电系统年发电量与理论发电量的比值,评估系统实际发电效率;计算储能系统充放电综合效率,反映储能装置的能量转换水平。在节能贡献方面,统计可再生能源替代常规能源的比例,计算年度碳减排量,负荷特性评估包含峰谷差系数、负荷率等指标,体现建筑用能特征,系统可靠性评估涉及光伏发电系统可用率、储能系统故障率等参数,反映系统运行稳定性。能耗指标评估采用单位面积年用电量、可再生能源利用率等数据,与同类建筑进行横向对比,评估体系采用分级评价方法,将各项指标量化为具体分值,形成完整的评分体系,为系统优化升级提供方向指导^[5]。

3.4 经济性分析方法

经济性分析从投资成本、运行成本和收益三个维度展开评估,投资成本包括光伏组件、逆变器、储能电池等设备采购费用,以及安装施工、并网接入等工程费用,运行成本主要考虑日常维护、设备更新、人工管理等支出。收益计算包含电费节省、余电上网收入、峰谷电价差收益等,采用现金流量分析方法,计算项目投资回收期、净现值和内部收益率等经济指标,考虑设备折旧、电价变动等因素影响,对未来收益进行动态预测。在经济性评估中需考虑储能电池更换周期对整体收益的影响,合理确定储能容量配置。经济评估模型还需考虑电池衰减特性对系统性能的影响,建立储能寿命预测模型,计算全生命周期成本。投资回收期分析结合工程实例数据,对比不同系统配置方案的经济性,为项目投资决策提供依据,经济性分析结果表明,合理的系统配置能够在8~10年内收回投资成本^[6]。

4 结束语

本文通过对绿色建筑电力系统集成优化的深入研究,提出了一套完整的光伏发电系统集成方案。从系统设计、运行控制到效果评估等方面进行了系统性分析,为绿色建筑电力系统的优化提供了技术支持,研究表明合理的系统集成方案能够显著提升光伏发电系统的运行效率,实现建筑能源消耗的降低,未来还需要进一步深化相关技术研究,推进绿色建筑电力系统的持续优化与发展。

参考文献:

- [1] 刘鑫,朱骏杰,杨晨.建筑消防安全与机械电子系统的集成优化策略研究[J].消防界(电子版),2023,09(11):52-54.
- [2] 王一鸣.基于可再生能源的建筑电气系统集成优化策略研究[J].环球人文地理,2023(02):181-183.
- [3] 史丹.《中国电力系统效率评价与节能减排优化策略研究》评介[J].中国工业经济,2021(05):189.
- [4] 钱光辉.建筑智能化系统的集成与优化策略[J].中国地名,2023(03):181-183.
- [5] 陈静静,段秋亚.基于太阳能的建筑照明系统集成与性能优化研究[J].中国照明电器,2024(05):108-110.
- [6] 王珠,刘明,赵永亮,等.耦合相变储能的火电机组集成系统控制策略优化及效果分析[J].中国电机工程学报,2024,44(18):7235-7246,I0012.

地源热泵与传统供热系统的联合运行优化策略研究

韩绍喜

(济南市章丘区热力公司, 山东 济南 250202)

摘要 地源热泵与传统供热系统的联合运行是提升供热能效、降低运行成本和减少环境污染的重要手段。传统供热系统虽具备强大的供热能力, 但存在能源消耗高、污染物排放大的问题, 而地源热泵能效高、环保性强, 但在极端天气下供热能力受限, 通过优化设备匹配、智能控制系统调节运行模式, 可实现不同热源的合理分配, 提高系统整体效能。本文认为联合运行模式能够有效减少燃料消耗, 降低供热成本, 同时减少碳排放和污染物排放, 在节能减排方面具有重要意义, 以期为未来清洁供热的发展提供可行路径。

关键词 地源热泵; 传统供热; 联合运行; 能效优化

中图分类号: TU83

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.17.024

0 引言

随着清洁能源技术的发展, 提高供热系统的能源利用效率、减少碳排放成为行业发展的重要方向。传统供热系统主要依赖化石燃料, 能源消耗大, 污染排放高, 而地源热泵技术利用地下稳定的热源进行供暖, 能效高, 运行成本低, 在供热领域得到广泛应用。在极寒天气或供热高峰时, 单一地源热泵系统难以满足需求, 通过地源热泵与传统供热系统的联合运行, 可实现不同热源的合理调配, 提升系统的整体效能, 也符合节能环保的发展趋势, 是优化供热方式的重要手段。

1 地源热泵与传统供热系统概述

1.1 地源热泵系统

地源热泵系统利用地下土壤或水体的稳定温度, 通过埋设于地下的换热器实现热量转移, 依托逆卡诺循环原理完成供热或制冷^[1]。系统主要由地下埋管换热器、热泵机组和末端供热设备组成, 其中埋管换热器可采用U型或螺旋管布置, 依据《地源热泵系统工程技术规范》(GB 50366-2018)的要求设计。该系统以COP(性能系数)和EER(能效比)衡量能效水平, 地源热泵的COP通常在3.5~5.0之间, 远高于传统空调系统(COP约2.5~3.5), 在节能、环保和运行稳定性方面表现优异, 被广泛应用于建筑供暖、制冷及生活热水供应。

1.2 传统供热系统

传统供热系统主要包括燃煤锅炉、燃气锅炉及集中供热系统^[2]。燃煤锅炉供热成本较低, 但污染排放

较大, 受环保政策限制逐步减少; 燃气锅炉效率较高(热效率可达90%以上), 但受天然气供应和价格影响; 集中供热依赖热电联产或大型锅炉房, 通过热网输送热能, 适用于高密度城市区域。根据《中国能源统计年鉴》, 2023年我国传统供热系统供热面积超150亿m², 其中燃煤供热占比约45%, 天然气供热约30%, 清洁能源供热比例提升但仍处于发展阶段。传统供热系统能耗较高, 占全国总能耗的20%左右, 同时二氧化碳、硫氧化物排放量较大, 面临节能减排和清洁转型的挑战。

2 联合运行的必要性与可行性分析

2.1 必要性

地源热泵与传统供热系统的联合运行在提升能源利用效率和环境效益方面具有显著优势。单独运行时, 地源热泵系统的COP可达3.5~5.0, 但在极端低温环境下效率下降, 而传统供热系统虽具备较强的峰值供热能力, 但整体能效较低(燃煤锅炉热效率约70%~85%)。联合运行可优化热资源配置, 提高综合能源利用率10%~25%。在环境效益方面, 根据《全球碳预算报告》, 供热行业碳排放约占全球总排放的20%, 联合运行可减少燃煤使用, 降低二氧化碳排放10%~25%, 并有效减少硫氧化物、氮氧化物等污染物排放, 符合低碳环保发展趋势。

2.2 可行性

地源热泵与传统供热系统在技术上具备良好的兼容性。两者均以水或空气为热媒, 能够通过换热器、管网及智能控制系统实现热源调配与动态优化。现有

建筑供热系统可通过增设换热设备、智能控制模块实现与地源热泵的高效耦合，符合《地源热泵系统工程技术规范》（GB 50366-2018）的要求。在经济可行性方面，虽然初期投资较高，但运行成本更低。燃煤锅炉供热成本约 $0.2 \sim 0.3 \text{ 元 / kW} \cdot \text{h}$ ，而地源热泵供热成本可降至 $0.1 \sim 0.15 \text{ 元 / kW} \cdot \text{h}$ ，联合运行可减少 $20\% \sim 30\%$ 的供热费用，同时延长设备寿命，降低维护成本，提高整体投资回报率。

3 联合运行优化策略研究

3.1 基于负荷预测的运行模式优化

负荷预测是优化地源热泵与传统供热系统联合运行的关键，其准确性直接影响系统能效与运行成本。常见的负荷预测方法包括时间序列法、灰色预测法和人工神经网络（ANN）法^[3]。其中，时间序列法基于历史数据的周期性和趋势性，适用于供热需求变化较为平稳的区域；灰色预测法适合数据有限或信息不完全的情况，能够在小样本条件下进行较为可靠的预测；而 ANN 法凭借其强大的非线性建模能力，在处理复杂、多变量供热负荷预测问题时表现出色。例如：北京某区域采用 ANN 法进行供热负荷预测，结合历史气温、建筑特性和用户用热习惯等因素，误差控制在 5% 以内，使调度更加精准。近年来，大数据分析与机器学习技术的发展进一步提升了负荷预测的准确性和适应性，可在多变量耦合的复杂供热系统中优化预测结果，为联合运行模式提供科学依据。

基于精准的负荷预测结果，可制定高效的联合运行策略，以最大化整体能效并降低运营成本。在低负荷时（如春秋季节、夜间或供暖初期），优先运行地源热泵系统，其能效比（COP）一般在 $3.5 \sim 5.0$ 之间，可有效降低燃煤和天然气消耗，减少污染排放。而在冬季极寒天气或用热需求高峰时，则通过智能控制系统启动传统供热系统，以补充热量，确保供暖的稳定性。动态调节机制能够在不同热负荷条件下优化热源调度，提高系统综合能效 $5\% \sim 15\%$ ，并减少碳排放 $10\% \sim 25\%$ ，有效满足节能减排政策要求。这种联合运行模式不仅提升了供暖系统的灵活性和经济性，还促进了可再生能源与传统能源的合理互补，为供热行业的可持续发展提供了重要支撑。

3.2 设备匹配

设备匹配是确保地源热泵与传统供热系统联合运行效率的关键，合理的设备选型能显著提升系统能效并降低运行成本。在配置过程中，需要结合供热负荷、运行环境及系统特性，并遵循《地源热泵系统工程技术规范》GB 50366-2018 标准^[4]。地源热泵机组的选型

应匹配区域供热需求，单机容量一般在 $50 \sim 500 \text{ kW}$ ，集中供热项目可达数 MW，并且必须满足全年稳定运行的要求。传统供热设备（燃气或燃煤锅炉）的选型需兼顾热效率（一般为 $85\% \sim 92\%$ ），确保与地源热泵系统形成有效互补，避免因设备过载或低效运行导致的能源浪费。此外，换热器、水泵、阀门等辅助设备的选型需基于负荷计算和水力平衡分析进行合理配置，以优化系统整体水力特性，提高运行效率，确保冷热源之间的稳定切换与协同工作。

智能调控策略是优化系统能效的重要手段，能够实现设备的精准控制和能源的高效利用。通过智能控制系统对地源热泵、锅炉、水泵及阀门等关键设备进行实时监测和动态调节，可有效降低系统能耗，提高运行稳定性^[5]。在某市供热工程案例中，采用智能调控系统后，通过负荷预测与环境参数调整热源切换逻辑，使系统能耗降低 15%，运行成本减少 20%。此外，变频控制技术的应用提高了水泵流量调节精度，使地源热泵 COP 提升 $0.5 \sim 1.0$ ，进一步优化能源利用效率，减少碳排放，提高系统运行的经济性和环保性。通过设备合理匹配与智能调控的协同优化，不仅能够确保地源热泵与传统供热系统的高效协同运行，还能满足现代供热系统节能降碳的政策要求，为供热行业的可持续发展提供重要支持。

3.3 系统集成优化

系统集成优化是确保地源热泵与传统供热系统高效协同运行的核心。合理的系统架构设计应采用“主—辅”模式，其中地源热泵作为基础热源，传统供热系统作为辅助热源，依据负荷需求动态切换。架构包括地下埋管换热器、热泵机组、蓄热装置、智能控制中心及末端供热设备，各子系统间通过中央控制系统协调运行，确保热源分配均衡^[6]。智能调度系统可依据实时负荷和气象数据调整热源比例，提高运行效率。此外，热泵与锅炉的互联换热网络需具备高效换热能力，并符合《城镇供热系统设计规范》（GB 50736-2012）标准，以减少热损耗并优化热能利用。

运行参数优化是提升系统性能的关键，可通过实验或模拟分析确定最佳运行条件。地下埋管换热器的进出口水温优化范围通常为 $8 \sim 16 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ，以提升换热效率并防止冻土效应；地源热泵机组的蒸发温度建议维持在 $-5 \sim 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ，冷凝温度控制在 $35 \sim 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ，以保持 COP 在 $3.5 \sim 5.0$ 之间。锅炉补充供热时的供水温度优化在 $55 \sim 75 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ，以平衡热泵输出功率和系统稳定性。实验数据显示，实施上述优化参数后，系统整体能效提升幅度可达 $10\% \sim 20\%$ ，供热稳定性增强，同时碳排放量减少 $15\% \sim 25\%$ ，进一步满足节能减排要求。

4 案例分析

4.1 项目概况

本案例选取北京某大型商业综合体，该项目集办公、购物、酒店及住宅于一体，总建筑面积约25万 m^2 ，供热面积达20万 m^2 。原供热系统采用燃气锅炉供暖，配置3台10MW燃气锅炉，供水温度75℃，回水温度55℃，年燃气消耗量约1200万 m^3 ，供热成本高，运行过程中 CO_2 排放量较大。此外，该项目所在地区冬季气温最低达-15℃，单一燃气供热模式在极端天气下运行压力较大。为提高能源利用效率、降低碳排放，该项目实施地源热泵与燃气锅炉联合供热，优化供热系统，提高经济性和环保效益。

4.2 联合运行方案实施

基于供热负荷分析，该项目引入地源热泵与燃气锅炉联合运行模式，以提升能源利用效率并降低运行成本。新增5台500kW地源热泵机组，总供热能力达2500kW，并建设350m深竖井换热器群，优化地热能利用。原有3台10MW燃气锅炉保留，作为峰值热源使用。运行模式采用分阶段智能调控，在低负荷时（室外温度高于-5℃），地源热泵承担80%供热负荷，燃气锅炉仅维持低功率运行；在高负荷时（气温低于-5℃或用热高峰），智能控制系统动态调节锅炉负载，使其补充剩余20%~40%热量，确保稳定供暖。

在系统集成过程中，施工团队严格遵循《地源热泵系统工程技术规范》（GB 50366-2018），合理布置换热井，间距控制在6m，防止热干扰，提高换热效率。智能控制系统采用变频水泵调节技术，确保换热系统出水温度维持在10~15℃，提升地源热泵COP值至4.2~4.8。同时，燃气锅炉与地源热泵的换热网络采用高效换热器，优化热量传递，减少热损耗。试运行阶段，监测系统对运行数据进行实时分析，确保供暖稳定性，实现智能调度优化，最终确保联合运行系统高效、经济、环保。

4.3 效果评估

联合运行模式实施后，供热系统的整体能耗显著降低。根据项目能耗统计报表，地源热泵承担全年70%的供热需求，燃气锅炉仅在极端寒冷天气或高峰时段补充30%的热量。相比单一燃气锅炉供热模式，年燃气消耗量从1200万 m^3 下降至720万 m^3 ，节省40%。单位建筑面积能耗由85kW·h/ m^2 降至68kW·h/ m^2 ，系统综合能效提升20%。此外，地源热泵的COP（性能系数）在优化调控后稳定在4.2~4.8，进一步提高了能源利用效率，减少了运行成本。

联合运行模式有效降低了供热成本，提高了经济效益。项目改造总投资约1200万元，其中地源热泵及地下换热系统投资800万元，智能控制系统及配套设备投资400万元。改造后，系统年运行成本从1600万元降至1200万元，节省400万元/年，其中燃气费用减少35%，设备维护成本降低15%。根据财务测算，投资回收期约3年，且长期运行中收益将持续增长。此外，智能调控系统优化了热源切换和水泵运行模式，使锅炉启停次数减少30%，进一步延长设备寿命，降低后期维护成本。

联合运行后，污染物排放大幅减少，显著改善了区域环境质量。根据环境监测数据，年二氧化碳排放量由3000吨减少至1500吨，二氧化硫排放减少50吨/年，氮氧化物排放减少40吨/年。燃气锅炉的运行时长减少50%，进一步降低了化石燃料消耗。该项目成功入选北京市节能示范工程，符合国家“双碳”战略目标，为清洁供热改造提供了可复制推广的成功经验。

5 结束语

地源热泵与传统供热系统的联合运行在供热能效、经济性和环保效益方面均表现出显著优势。通过科学的设备配置和智能调控，可优化热源分配，确保系统在不同负荷条件下均能高效运行。实践表明，联合运行模式能够有效降低燃料消耗，减少供热成本，同时减少碳排放和污染物排放，符合节能减排政策导向。在清洁供热需求不断增长的背景下，该模式具备广泛的推广前景。随着智能控制技术的进步，未来供热系统的精细化调控能力将不断增强，为优化能源结构提供更优解决方案。

参考文献：

- [1] 苗壮.西部寒冷地区太阳能-地源热泵联合供热系统模拟优化研究 [D]. 邯郸: 河北工程大学, 2023.
- [2] 苗壮, 鲍玲玲, 李建伟, 等. 西部高寒地区太阳能-地源热泵联合供热系统分析 [J]. 能源与节能, 2023(11):53-58.
- [3] 宋萌萌, 刘馨, 梁传志, 等. 光伏光热-地源热泵耦合供热系统研究现状 [J]. 建设科技, 2023(15):28-31.
- [4] 刘仙萍, 田东, 雷豫豪, 等. 光伏/光热-地源热泵联合供热系统运行性能研究 [J]. 太阳能学报, 2022, 43(09):88-97.
- [5] 刘仙萍, 雷豫豪, 田东, 等. 夏热冬冷地区太阳能光伏/光热-地源热泵联合供热系统运行性能模拟 [J]. 中南大学学报(自然科学版), 2021, 52(06):1892-1900.
- [6] 胡苇舟. 学生公寓地源热泵承压式供热水系统运行能量特性研究 [D]. 南宁: 广西大学, 2021.

基于 RFID 与区块链的建筑材料 供应链溯源管理技术研究

管 勇

(青建集团股份公司, 山东 青岛 266011)

摘要 为解决建筑材料供应链中存在的信息孤岛、数据造假与溯源断链问题, 本研究构建了一种基于 RFID 与区块链融合的溯源管理技术路径。通过多层系统架构、数据采集中间件、智能合约控制及权限管理机制, 实现对建筑材料从供应到使用全过程的数据采集与可信存证。在典型工程项目中进行试点部署与运行评估, 结果显示系统在数据识别准确率、异常响应效率及平台稳定性等方面表现优异, 能够有效提升材料管理的透明度和协同水平, 具有工程化推广的应用前景。

关键词 RFID; 区块链; 建筑材料; 供应链管理

中图分类号: TP311.13

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.17.025

0 引言

建筑材料在工程项目中流通环节多、信息链条长, 常因多方协作不畅与信息缺失导致材料质量责任难以界定, 影响施工效率与安全保障。随着数字技术在产业领域的不断拓展, RFID 用于状态采集、区块链用于数据确权的融合方式逐步显现出在供应链管理中的技术优势。构建全流程、可验证、难篡改的溯源机制, 已成为推动建筑行业质量管理方式变革的重要方向。

1 RFID 与区块链技术概述

1.1 RFID 技术的基本原理

射频识别技术 (RFID) 是一种利用射频信号实现非接触式信息识别与数据传输的自动识别技术。其系统由电子标签、读写器和数据处理系统构成, 标签内嵌有芯片与天线, 可在特定频率下与读写器进行通信。标签通过电磁感应或微波方式被激活后, 发送包含身份信息的信号, 读写器接收并将数据传送至后端系统完成解析^[1]。该过程无需人工干预, 且适用于动态环境中对物品的批量识别与状态监测。

1.2 区块链在供应链溯源中的作用

区块链是一种由去中心化分布式账本构成的数据存储与管理系统, 通过加密算法和共识机制确保数据的完整性与不可篡改性。在供应链场景中, 每一笔关键业务数据可被写入区块并与前一区块链接形成链式结构, 确保数据在各方面同步一致。通过智能合约技术, 系统可自动执行预设规则, 实现供应链各环节的流程

自动化与透明化, 提升信息可信度与协同效率^[2]。

1.3 RFID 与区块链融合的技术优势分析

RFID 负责实时采集物流节点的动态信息, 区块链用于保障数据的时效性与安全性。二者融合形成端到端的可信信息链路, RFID 采集的追溯数据在生成后直接上链, 避免人工干预和数据篡改风险。链上数据可公开验证, 并支持时间戳记录与源头可追溯处理, 从而在建筑材料供应链中实现全过程记录、实时监管与责任定位, 构建高效可靠的溯源体系。

2 建筑材料供应链与溯源管理需求分析

2.1 建筑材料供应链结构与流程分析

建筑材料供应链涉及上游原材料供应商、中游制造加工企业、物流运输单位以及下游施工现场和监管机构。整个流程包括材料采购、入库验收、在途运输、现场接收与使用等多个环节。各环节之间存在频繁的数据交互与实物流转, 供应链跨度大、链条长, 节点信息分散, 形成多源异构的数据体系。缺乏统一的数据标准和实时共享机制, 容易导致数据丢失或滞后, 影响整体流程的可控性与准确性。

2.2 溯源管理在建筑行业的现实需求

建筑行业在项目周期中需处理大量异质材料信息, 包含材料批次、规格参数、运输时间、仓储状态与使用记录。传统信息记录方式多依赖纸质单据或局域系统, 缺乏纵向关联与横向协同能力。在材料质量追责、来源核验、责任划分等方面, 存在信息碎片化与溯源

链断裂的风险。同时，不同参与方间的系统孤立性造成信息传递效率低下，难以实现对材料流通路径与状态的全流程追踪。

2.3 现有溯源系统存在的主要问题

当前溯源管理系统多为封闭式架构，主要依赖各自企业内部数据库，难以实现跨主体数据互信。信息录入过程普遍依靠人工操作，存在误录、漏录及篡改风险，且系统间缺乏接口标准，数据难以集成。对于运输状态监测和现场使用记录更新，信息上传存在延迟，影响管理时效性。部分系统缺少可信的身份认证机制，无法确认数据的来源可靠性与行为合规性，不利于建立多方参与下的协同监管机制。

3 基于 RFID 与区块链的建筑材料溯源系统架构设计

3.1 系统总体架构设计

建筑材料溯源系统的架构以多层技术模型为基础，整体划分为感知层、网络层、区块链平台层和应用层。感知层以 RFID 读写设备与传感器为核心，实现对材料在采购、运输、储存及使用过程中的状态数据实时采集。网络层负责数据的上传与传输，基于移动通信网络或企业内部专网构建稳定的数据通道。区块链平台层承载核心数据结构和共识机制，支持数据的加密、存证与同步共享。应用层提供用户交互界面与业务操作入口，实现对物料信息的浏览、跟踪、验证与管理控制^[3]。系统采用 B/S 架构设计，用户可通过网页端或移动端访问平台。

平台部署在多节点联盟链之上，每个节点代表供应链中不同类型的参与方，如材料供应商、承建单位、物流公司和项目监管方。节点间通过共识机制协同记账，确保数据写入的一致性与不可篡改性。平台核心功能包括材料信息录入、状态变更自动记录、溯源路径展示、数据查询与异常报警等，具备良好的可扩展性与兼容性。各层之间通过标准化接口进行数据交互，平台在架构设计中引入微服务理念，将各个功能模块进行服务化拆分，在不影响整体运行的前提下便于系统升级和维护，每个服务可独立部署和扩展，使系统具备更强的灵活性和容错能力。系统在负载均衡方面设计了基于调度规则的分发策略，可以自动分配任务至不同微服务节点，避免单点瓶颈问题并提升运行效率，同时借助统一服务注册中心实现模块间的快速通信与热插拔管理，增强了平台动态适应复杂应用场景的能力。

3.2 RFID 与区块链数据接口机制设计

RFID 设备通过标准化数据接口与区块链平台进行连接，采用中间件系统将采集的原始数据格式化处理后上传至链上。数据传输采用 MQTT 或 HTTPS 协议，确保网络通信的稳定性与安全性。中间件承担数据校验、去重、编码与打包功能，将原始标签信息按照材料唯一标识号、采集时间、采集地点、操作类型等字段结构化后进行数字签名，保障数据在上链前的完整性和合法性^[4]。链上数据写入通过预设的智能合约控制执行流程。每一项状态变更操作需经对应合约规则判断是否满足写入条件，并在满足后生成交易记录。交易记录经过多个节点的共识验证，确认无误后正式写入区块中。数据哈希与时间戳绑定，形成可验证的数据链。系统支持对上链数据的版本管理，避免信息更新过程造成数据丢失或覆盖，便于后续责任追溯与历史分析。接口模块采用异步通信机制以减少系统阻塞，并结合缓存策略优化高频数据的处理效率，同时在设计上预留扩展通道，可兼容其他物联网设备如温湿度传感器、GPS 定位模块等，以实现更加全面的状态数据采集和行为分析。平台数据处理层通过链外缓存与链上写入相结合的方式，将部分非关键性冗余数据存储在分布式文件系统中，有效提升整体处理吞吐量并减轻主链负载，形成链上链下协同的数据结构体系^[5]。同时，接口引擎支持数据格式的自定义转换规则配置，可根据接入源结构灵活映射字段属性，提升系统对接效率与部署适配能力。

3.3 身份认证与数据访问权限控制机制

系统内设有完善的身份认证机制，所有参与方必须通过企业注册、信息审核和证书颁发等程序获取合法身份。平台使用基于 PKI 的非对称加密机制进行用户身份验证，并对各方设定不同的访问权限。供应商仅可对本单位上传的数据进行维护和查看，承建单位可查看项目相关的全部材料流转数据，监管单位具备全链条的只读权限与审计权限。权限控制采用基于角色的访问控制（RBAC）模型，结合细粒度数据授权机制，实现对数据字段级别的访问控制。智能合约中内嵌权限判断逻辑，对数据读写操作进行动态授权^[6]。每一次数据访问请求均由系统记录访问时间、访问者身份、操作类型与数据内容摘要，形成完整的访问日志，为后续审计与风险溯源提供依据。平台支持多因子身份验证与动态令牌机制，有效提升系统的安全等级与抗攻击能力。权限设计中将用户操作行为与角色类型绑

定,使得平台能够基于身份标签自动识别用户操作范围并动态加载相应权限规则,同时通过会话管理机制确保多用户并发操作的隔离性与安全性,从而避免数据泄露与操作冲突问题。系统还引入细粒度策略表达语言,使权限策略可灵活配置与版本管理,通过策略生命周期控制确保每一次权限调整都具备明确边界、可审计依据与自动回滚能力,有效提升整体系统治理的安全性与透明度,平台还配备基于规则引擎的访问意图识别模块,可结合历史操作模式进行风险级别判断与实时响应。

4 系统试点应用与成效评估

4.1 案例背景与部署情况

本系统在一处大型公共建筑工程项目中开展试点应用,项目建设周期长、材料种类多、供应链参与方结构复杂,具备典型性与代表性。试点部署涵盖混凝土、钢筋、水泥、防水卷材等关键建筑材料的供应、运输、仓储与使用全过程,系统集成应用RFID识别技术与区块链存证模块,支持对材料生命周期全过程的信息追踪。平台上线前完成节点规划、数据模型配置与初始标签分发,标识系统接入单位身份信息与关键操作权限,保障供应链各环节数据采集的连续性和完整性。系统部署范围覆盖施工现场主要出入口、材料堆场及施工层作业区,感知终端配置结合现场环境特点进行固定式与移动式布设,数据处理模块基于私有云架构进行集中管理,并通过区块链多节点同步实现数据共享与一致性维护。在设计容量方面,平台预设支持单日处理数据包数量达到20万条以上,同时在数据链路层采用动态缓存与轮询调度机制以避免高峰时段的系统阻塞,保障数据写入区块时延稳定在1秒以内。

4.2 系统运行效果分析

系统正式运行后,建筑材料在项目流转过程中的信息被实时记录并自动上链,平台可直观呈现每一批次材料的来源、流转路径与使用时间。在使用过程中,平台调度与查询功能帮助施工方有效掌握物资动态分布,提高现场调配效率。系统的异常监测模块基于预设规则触发,包括运输延误、未登记入库、材料超期滞留等情况,一旦满足条件即发出预警,并在平台上标注相关记录,提醒管理人员跟进处理。用户访问界面支持多维度检索操作,可按材料类别、时间节点、使用位置等条件快速获取追溯数据。平台查询模块采用反向索引结构与关键词匹配机制结合设计,能够在2秒内完成大批量记录的筛查与呈现,同时结合操作日

志追踪功能可实现跨时段链条级查询,提升信息响应能力。整个数据传输过程由权限控制模块实时验证身份有效性,确保信息来源可控、操作过程可审、记录结果可查。

4.3 系统应用效果总结与优化建议

通过现场反馈与运行记录分析,系统在数据采集的准确性、溯源链条的完整性以及平台使用的稳定性方面均表现出较高水平。项目管理人员表示平台对于材料验收、库存统计和追溯定位等操作具有明显的辅助作用。平台界面操作逻辑清晰,用户能够在较短时间内掌握其核心功能,日常维护工作量较小。使用培训周期平均控制在3小时以内,系统操作指南通过嵌入式帮助模块提供动态提示,支持新用户快速上手和高频功能快速调用。系统使用过程中也暴露出部分改进需求,如移动终端界面在户外强光环境下可视性不足,部分用户操作路径存在跳转步骤繁琐问题。结合试点表现,建议在后续版本迭代中优化用户交互体验,增加语音辅助与扫码自动跳转功能,同时引入数据脱敏模块以提升多方使用时的数据安全灵活性。

5 结束语

建筑材料供应链的可追溯性建设正逐步从被动记录向主动感知、智能判别方向演进。随着系统功能的不断拓展及新技术的融合应用,未来可实现建筑材料从源头到现场全链条信息的动态联通与协同治理,助力行业向数字化、高效化与透明化发展。在此基础上,强化平台间互操作性与跨区域监管协同机制,将进一步提升系统的适应能力与推广效率。

参考文献:

- [1] 刘致远.区块链技术在建筑工程招标管理中的创新应用探索[J].陶瓷,2024(12):207-209.
- [2] 李强年,王雨轩.基于区块链的建筑材料供应链质量管理研究[J].工程管理学报,2024,38(04):135-140.
- [3] 刘彩红,周森伟,王姝雨.基于区块链技术的建筑材料供应链质量数据安全共享方法[J].科技和产业,2023,23(21):69-72.
- [4] 鲁方林,吴波,毛嘉,等.基于区块链的建筑废弃混凝土再生管理的诚信评价方法[J].建筑机械,2024(12):16-21.
- [5] 高丹丹,苗方利.基于供应链的工程建筑材料物流管理研究[J].物流科技,2023,46(14):121-123,132.
- [6] 阮乘风.“区块链+BIM”技术在工程项目管理中的应用研究[J].电子元器件与信息技术,2024,08(11):42-44.

智能安全监控系统在机械制造车间电气安装中的应用研究

陈学虎¹, 刘于超², 郑立佳³

(1. 烟台双塔食品股份有限公司, 山东 烟台 265404;
2. 歌尔光学科技有限公司, 山东 潍坊 261061;
3. 歌尔科技有限公司, 山东 青岛 266000)

摘要 随着机械制造行业的快速发展, 车间电气安装的规模与复杂度不断提升, 对安全保障的需求愈发迫切。本文聚焦于智能安全监控系统在机械制造车间电气安装中的应用, 详细阐述了该系统的架构、功能及其核心技术原理, 通过对机械制造车间电气安装特点及安全风险的分析, 深入探讨了智能安全监控系统在实时监测电气设备运行状态、精准预警电气故障与安全隐患以及助力施工管理等方面的应用方式与优势, 旨在为提升机械制造车间电气安装的安全性、可靠性与高效性提供理论依据与技术支持, 进而推动智能安全监控系统在该领域的广泛应用与持续创新。

关键词 机械制造车间; 电气安装; 智能安全监控系统; 实时监测; 故障预警

中图分类号: TP277; TH18

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.17.026

0 引言

在机械制造车间中, 电气安装作为保障生产设备正常运行的关键环节, 其安全性与可靠性直接关系到车间的生产效率与人员安全。传统的电气安装监控方式主要依赖人工巡检与简单的电气保护装置, 存在监测不及时、覆盖范围有限以及无法对潜在安全隐患进行有效预判等弊端。随着信息技术、传感器技术和人工智能技术的飞速发展, 智能安全监控系统应运而生。该系统能够实时、全面地监测电气设备的运行参数, 快速准确地识别故障与安全隐患, 并及时发出预警, 为电气安装的安全管理提供了强有力的支持。深入研究智能安全监控系统在机械制造车间电气安装中的应用, 对于提升车间电气系统的稳定性、降低事故风险具有重要的现实意义。

1 智能安全监控系统概述

1.1 系统架构

智能安全监控系统架构采用分层分布式设计, 涵盖感知层、传输层、数据处理层及应用层^[1]。感知层由电流传感器、电压传感器、温度传感器和漏电传感器等各类传感器构成, 其功能在于实时采集电气设备的运行参数。传输层借助有线或无线通信技术, 将感知层所采集的数据传输至数据处理层。数据处理层依托高性能服务器与数据处理软件, 对传输的数据进行

存储、分析及处理。应用层则为用户提供操作界面, 用于展示并实现设备状态监测、故障预警以及数据分析报告等功能的交互。

1.2 核心技术原理

1. 传感器技术。传感器技术构成了智能安全监控系统的基石。于电气设备运行参数的精准采集而言, 遴选具备高精密性与高可靠性特质的传感器至关重要^[2]。以电流传感器为例, 其基于电磁感应理论, 将待测电流转化为便于测量的电压信号; 而温度传感器则借助热敏电阻或热电偶等组件, 把温度变量转化为电信号予以输出。此类传感器呈现出响应迅速、测量精准的显著特性, 切实保障所采集的数据能够如实映射电气设备的实时运行状况。

2. 数据传输技术。在数据传输层面, 智能安全监控系统运用多种通信技术协同的策略。针对距离较短且数据传输量较大的情形, 采用以太网有线通信技术, 以此确保数据传输具备稳定性与高速度。对于布线存在困难或需移动监测的设备, 采用诸如Wi-Fi、蓝牙、ZigBee等无线通信技术。这些无线通信技术具备安装简便、灵活性强的特性, 能够契合不同场景下的数据传输要求。此外, 为保障数据传输的安全性, 系统运用加密算法对传输数据予以加密处理, 以防范数据遭受窃取或篡改。

3. 数据分析与处理技术。数据分析与处理技术构成了智能安全监控系统的核心。该系统运用大数据分析及人工智能算法等前沿技术，对采集所得的海量数据展开处理。通过构建电气设备运行状态模型，并借助机器学习算法对数据实施学习与训练流程，能够精准判别设备的正常运行工况与异常状态。一旦设备运行参数偏离预设的正常范围，系统即可迅速发出预警信号，并凭借数据分析精准定位故障成因及潜在安全隐患。举例而言，运用神经网络算法对电气设备的历史运行数据予以学习，构建故障预测模型，从而提前预判设备可能出现的故障，为设备维护工作提供科学依据。

2 机械制造车间电气安装特点及安全风险分析

2.1 电气安装特点

1. 复杂性高。在机械制造车间这一复杂环境中，电气设备呈现出显著的多样性，涵盖各类机床、起重机、通风装置以及照明设备等。不同设备所搭载的电气控制系统，其复杂程度具有明显差异。电气安装工程不仅涉及强电与弱电系统的综合部署，且布线方式丰富多样，包括线槽布线、线管布线以及电缆桥架布线等，这些因素极大地提升了安装过程的技术难度与复杂性^[3]。以大型机械制造车间为例，其电气安装往往需要敷设长达数千米的电缆，并实现成百上千个电气设备的有效连接，这充分凸显了电气安装工程所面临的高度复杂性与艰巨性。

2. 专业性强。电气安装作业要求从业人员具备深厚的电气理论基础与丰富的实践经验，需由专业技术人员负责执行。安装过程应严格遵循相关电气安装规范与标准，诸如电气设备接地保护的技术要求、电缆敷设的工艺细节以及配电箱安装高度的具体规定等，均有明确且严格的准则。针对高压设备、变频设备等特殊电气装置，还需配备专业调试人员开展细致的调试工作，以保障设备运行的稳定性与可靠性。

3. 与生产设备关联紧密。在机械制造车间的生产体系中，电气安装环节与生产设备的运行状态存在紧密的关联性。电气系统承担着为生产设备供应稳定电力的基础职能，同时在生产设备的控制与监测方面发挥着关键作用。以自动化生产线为例，电气控制系统借助传感器对生产设备的运行数据进行采集，并依据预先设定的程序逻辑对设备实施精准控制，以此达成生产流程的自动化目标。由此可见，电气安装工作的质量优劣，对生产设备的平稳运行以及生产效率的高低具有直接且决定性的影响。

2.2 安全风险分析

1. 电气火灾风险。在机械制造车间的电气安装环节，电气火灾构成了最为严峻的安全隐患之一。其致灾因素主要涵盖电气设备过载、短路、接触不良以及散热不畅等。当电气设备处于长时间过载运行状态时，过大的电流会致使设备升温，进而引发绝缘材料的老化与损坏，最终诱发火灾。短路故障则会在瞬间释放出大量热能，点燃周边的易燃物质。此外，接触不良会导致接触电阻增大，引发局部过热现象，这亦是引发电气火灾的常见诱因。

2. 触电风险。在电气安装环节，若操作人员未严格遵循安全操作规程，触电事故便极易发生。例如：带电作业期间，若未采取有效的绝缘防护措施，极有可能因误触带电部位而引发触电；在电气设备检修时，若未按规定切断电源、验电以及放电，同样存在触电风险。此外，当电气设备的接地保护措施存在缺陷时，一旦设备发生漏电，操作人员便会面临触电危险。

3. 电气设备故障风险。在电气设备的运行进程中，各类故障隐患不容忽视，包括但不限于电机烧毁、控制器故障以及传感器失灵等情况。此类故障的发生，不仅会对生产流程的连续性造成冲击，致使生产进度滞后，更有可能诱发一系列安全事故，构成严重的潜在威胁。以关键生产设备的电机烧毁为例，若无法及时予以修复，极有可能导致整个生产线陷入停滞状态，进而对生产效率与经济效益产生负面影响。此外，部分电气设备故障还可能引发设备运行失控，对现场操作人员的人身安全造成直接危害，形成不容忽视的安全风险。

3 智能安全监控系统在机械制造车间电气安装中的应用

3.1 实时监测电气设备运行状态

智能安全监控系统对电气设备的运行参数（如电压、电流、功率、温度等）实施实时监测^[4]。借助这一监测手段，能够及时察觉电气设备的异常运行状况。当系统检测到电气设备的电流急剧增大，超出额定电流阈值时，可推断设备可能发生过载故障；当监测到设备温度持续攀升，超出正常工作温度区间时，系统能够发出预警，提示设备可能存在散热不佳或内部故障隐患。此外，该系统能够对电气设备的运行参数进行实时记录，并生成运行曲线，以便操作人员掌握设备的运行趋势。

3.2 预警电气故障与安全隐患

1. 基于数据分析的故障预警。智能安全监控系统运用数据分析技术，对所采集的电气设备运行数据开

展深度剖析，并构建故障预测模型^[5]。系统将设备实时运行数据与模型中的正常数据区间进行比对，一旦检测到数据偏离正常范围，便能够预先警示设备可能出现的故障。以电机为例，通过对电机的电流、电压、转速等参数展开长期监测与分析，构建电机故障预测模型。当模型预测到电机可能发生轴承磨损、绕组短路等故障时，系统即刻发出预警信号，提示维护人员对设备进行检查与维护，从而有效规避设备故障的发生。

2. 安全隐患预警。除故障预警功能外，智能安全监控系统在电气安装安全隐患预警方面亦发挥着关键作用。系统内置了多种先进传感器，能够精准捕捉细微异常。当系统检测到电气设备接地电阻值偏离规定范围时，可判定设备接地保护存在潜在风险，该风险或引发触电事故；而当电气线路中漏电电流超出安全阈值，系统能够及时发出漏电预警信号，提示操作人员开展漏电原因排查工作，并采取相应防护措施。此外，通过对电气设备运行环境参数，如温度、湿度、烟雾浓度等的实时监测，一旦环境参数突破安全区间，系统即可发出预警信息，从而有效防范火灾等安全事故的发生。

3.3 协助电气安装施工管理

1. 施工进度管理。在电气安装施工进程中，智能安全监控系统凭借其先进的数据采集技术，对施工设备运行参数以及施工人员工作状态数据进行实时且精准的获取。基于所采集的数据，系统运用数据分析算法，对施工进度展开动态监测。该系统能够依据预先设定的施工方案，将实际施工进度与之进行比对。一旦识别出施工进度偏离计划进度，系统即刻启动预警机制，并深入剖析导致进度滞后的潜在因素，为施工管理人员提供科学调整施工计划的决策依据。以电缆敷设设备为例，系统通过对其运行数据的监测，能够精确测算电缆敷设的长度与速度，进而从量化的角度判定施工进度是否契合计划预期。

2. 施工质量监控。智能安全监控系统在电气安装施工质量监测方面发挥着关键作用。该系统借助对电气设备安装参数、接线工艺等关键指标的监测与深度分析，依据相关标准精确评判施工质量的合规性。例如：运用图像识别技术对电气设备接线端子展开检测，从微观层面判断接线的牢固程度以及是否存在虚接隐患。同时，通过实时监测电气线路的绝缘电阻，确保线路绝缘性能始终维持在符合安全标准的水平。系统还能持续记录各项数据，为后续工程验收与质量追溯提供详实依据。一旦检测到施工质量偏离标准，便会

立即触发警报机制，及时通知施工人员采取整改措施，以此保障电气安装工程施工质量的稳定性与可靠性。

3. 人员安全管理。智能安全监控系统亦具备对施工人员安全行为实施精细化管理的功能。借助于在施工现场合理布设摄像头、传感器等数据采集设备，该系统可实现对施工人员是否正确佩戴安全帽、安全带等必备安全防护装备，以及是否严格遵循安全操作规程的实时监测。一旦系统识别出施工人员存在不安全行为，便会即刻触发语音警示或推送短信通知，以敦促施工人员纠正行为，确保施工安全。此外，该系统还能够对施工人员的工作时长、工作强度等关键参数进行精准监测，通过科学分析避免施工人员因疲劳作业而诱发安全事故，从行为管理层面为机械制造车间电气安装工程筑牢安全防线。

4 结束语

智能安全监控系统在机械制造车间电气安装中的应用，为提升电气安装的安全性、可靠性与施工管理水平提供了有效的解决方案。通过实时监测电气设备运行状态、精准预警电气故障与安全隐患以及协助电气安装施工管理，该系统能够显著降低电气安装过程中的安全风险，提高生产效率。然而，目前智能安全监控系统在应用过程中仍面临一些挑战，如传感器精度有待进一步提高、数据分析算法需要不断优化、系统成本相对高等。未来，随着相关技术的不断发展与完善，智能安全监控系统将在机械制造车间电气安装领域发挥更加重要的作用。持续加强技术创新，降低系统成本，提高系统的稳定性与可靠性，是推动智能安全监控系统广泛应用的关键。同时，应加强对操作人员的培训，提高其对系统的操作与维护能力，充分发挥智能安全监控系统的优势，为机械制造行业的安全发展提供有力保障。

参考文献：

- [1] 陈宝文.智能化网络安全监控系统的设计探讨[J].软件,2025,46(03):150-152.
- [2] 何辉,孙博,薛欢.浅谈电力设备在线监测中物联网传感器技术的应用[J].电子世界,2020(07):170-171.
- [3] 林启龙.机械电气一体化设备安装技术研究[J].造纸装备及材料,2024,53(03):32-34.
- [4] 刘权.电气设备运行状态监测与智能管理系统设计[J].华东科技,2024(12):110-112.
- [5] 冯嘉维.机械设备电气维修与故障排除技术研究[J].中国设备工程,2022(04):80-82.

电气自动化监控与诊断技术在冶金行业无损探伤设备中的应用

曹玉涛, 周艺丹, 刘琳琳

(莱芜钢铁集团银山型钢有限公司板带厂, 山东 济南 271104)

摘要 无损探伤设备在冶金行业发挥着至关重要的作用, 能够有效检测冶金设备品质, 为冶金设备的质量管控提供有力的保障。但是, 冶金行业无损探伤设备在实际应用中容易受到多种内外部因素的影响, 存在检测质量和效率低下的问题。因此, 本文主要分析了冶金行业无损探伤设备的结构及工作原理, 并深入探讨了电气自动化监控与诊断技术, 以期为相关人员提供有效参考。

关键词 冶金行业; 无损探伤设备; 电气自动化监控; 诊断技术

中图分类号: TF307

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.17.027

0 引言

电气自动化监控与诊断技术在冶金行业无损探伤设备异常检测、故障诊断中具有较多应用优势。在先进技术的加持下, 冶金行业无损探伤设备运行效能提升, 并有效节约成本, 保障冶金产品质量。因此, 相关人员应加大技术的研究和应用力度, 提高技术水平, 发挥其在冶金行业的最大应用价值, 促进冶金行业向智能化、高效化的方向创新发展。

1 冶金行业无损探伤设备阐述

冶金行业在金属加工过程中, 可以借助无损探伤设备, 检测金属材料是否存在一些质量缺陷, 进一步保证金属材料使用的安全可靠性。比如: 钢板、管材、焊接件等多种产品在加工制造过程中, 可能受到工艺技术、生产环境等因素的影响, 产生一些裂纹、气孔等质量缺陷, 直接影响了材料的使用性能。而无损探伤设备能够保持产品原貌的基础上, 更加全面、深入地检测材料内外部有无缺陷。

无损探伤设备主要包含探头、传感器、信号处理器、显示器和记录系统。无损检测技术多种多样, 其波形存在一定差异, 包含超声波、X射线、涡流效应等, 这就需要工作人员结合被检测物体的实际情况和检测需求, 选择适宜的无损探伤设备。其中, 探头是无损探伤设备的核心, 能够有效发送探测波, 并获取回波信号。例如: 超声波探头十分常见, 在应用的过程中, 其工作频率范围普遍在1~20 MHz之间, 在部分金属产品内部裂痕、夹杂物等缺陷检测中具有良好的适用性。传感器是无损探伤设备十分关键的组成部分, 在

设备应用中, 可以有效转换反射波, 形成电信号, 具有较强的感知灵敏度, 并且对频率的响应能力较强。传感器的性能对整个无损探伤设备探测的精准度、细节清晰度具有较大影响。此外, 信号处理器的主要功能, 主要负责增强、过滤、数字化处理传感器产生的电信号, 并通过特定算法进行电信号特性的深入分析, 进而准确辨识故障问题, 精准定位, 确定产品存在质量缺陷的具体位置^[1]。

2 冶金行业无损探伤设备的电气自动化监控技术及系统设计

2.1 关键技术

1. PLC技术。该技术可以借助可编程逻辑控制器, 对无损探伤设备的机械传动装置进行有效控制, 针对性调整其移动路径、速度、超声波发射频率等各项检测参数。同时, 该技术的应用, 能够动态化调整无损探伤设备的检测参数, 并根据实时反馈, 针对性优化检测精度, 最大程度减少由于人为因素造成的检测结果偏差。PLC编程具有较强的灵活性、可靠性较高, 从而在无损探伤等多种精密型探测设备中具有显著的应用优势, 并占据十分重要的地位^[2]。例如: 通过超声波进行无损探伤检测操作中, 利用PLC能够对超声波信号发射、接收顺序进行灵活调整, 并保证各项关键参数控制的精准性, 准识别不同金属材料的多样化质量缺陷形态。同时, PLC可以对超声波发射力度、接收信号强度、最大值出现时间等进行跟踪监控。此外, 通过PLC能够自动化、实时监控多种变量, 并进行干预调节, 提高无损探伤设备的精准度。例如: 当金属

材料检测中,利用无损探伤设备发现其内部质量缺陷信号强度不足时,借助PLC可以结合实际情况,自动化调节发射能量、接收灵敏度,进一步提高信号的检测能力。

2. 数字信号处理技术。冶金行业无损探伤设备应用中,该技术具有十分重要的作用。例如:传感器捕捉相应的超声波信号后,可以通过数字信号处理技术进行接收,并提取金属材料质量缺陷、结构特性等相关信息。该技术应用中,合理进行滤波设置、调节增益,大幅度提升信号的清晰度、辨识度,并且更加快速、准确地去除金属材料内部的瑕疵信号^[3]。滤除噪声是信号处理操作中至关重要的流程。工作人员需要结合冶金行业特点,基于金属材料检测的需求,选择适宜的滤波器,并科学设置其截止频率、级数等,精细化筛选所需信号。此外,通过数字信号处理技术,可以根据实际需求,将信号放大到20~60 db,有效增强信号,最大程度地减少干扰。其中,快速傅里叶变换在频域分析过程中是一种十分常见的技术,能够有效转换时域内的超声波信号,形成频域信号,从而更加深层次分析频率成分、能量分布。

3. 自动化检测软件。自动化检测软件在冶金行业无损探伤设备应用中扮演着重要决策,起到不可或缺的重要作用。该软件在实际应用中,能够自动化控制无损探伤过程,并智能分析探伤结果。工作人员可以结合无损探伤需求,预设相适应的检测流程,融入自动计算方法,提高自动化检测工具的应用质量和效率,减少人为操作带来的失误,最大程度保障数据的统一性,增强其可信度。自动检测软件程序,能够结合待检测产品的种类、所需的探伤深度等,实现超声波发射频率、脉冲宽度的自动化调整,并负责接收信号的增益值,提高探测结果的精准性。此外,该程序在信息加工中,可以利用滤波、放大、频域分析等多种手段,针对性加工获取的超声波信号,并提取检测物质存在质量缺陷的相关数据、检测物质结构的特性信息等。

2.2 电气自动化监控系统设计

以某冶金企业为例,深入分析无损探伤设备电气自动化监控系统的设计,主要包含以下几个关键模块。

1. 控制模块。设计人员在实际工作中高度重视控制模块的设计,以PLC为设计蓝本,对无损探伤设备检测系统的运行步骤具有良好的控制作用,并且负责收集相关检测数据。设计人员在选择PLC的过程中,以西门子S7-1500系列为主,由于其处理速度快、输入和输出单元具有多样化的特点,更加满足多种复杂

的控制需求。同时,设计人员结合无损探伤设备实际控制特点和需求,个性化设计数字、模拟输入输出模块,以此适应多样信号接口、控制逻辑要求。控制模块调试操作中,主要通过模拟、实际环境检验等方法,进一步保证该模块设计的有效性,增强其安全稳定性。此外,设计人员合理配置PLC控制系统,优化设定关键参数(如表1所示),有效提高无损探伤设备作业的准确性、稳定性。在实践中,由于冶金行业的材料丰富多样,具有独特的性质,需要工作人员结合无损探伤的实际需求,针对性调整PLC控制参数指标。

表1 PLC控制参数设置

PLC控制参数	设定值
脉冲宽度	100 ns
发射频率	5 MHz
接收增益	30 dB
发射延迟	200 us
接收时间窗口	500 us

2. 信号处理及数据分析模块。该模块设计对无损探伤设备探测作业的有效性具有较大影响。因此,设计人员在该模块设计过程中,合理应用先进的数字信号处理技术,对接收的超声波信号进行针对性处理,通过滤波降噪、增强幅度、提取关键特征等手段,更加精准地检测金属材料存在的质量缺陷。其中,数字滤波技术在信号处理的过程中具有突出的优势,如降噪、信号增强手段十分常见。其中,低通滤波器在实际应用中,对高频干扰具有良好的消除效果;带通滤波器在应用中,更加充分地凸显出故障信号。增强信号幅度,能够有效提升信噪比、信号强度。在此过程中,控制信号幅度提升范围大约在20~60 db之间。此外,在信号处理中,通过时域、频域特征,量化解读并准确辨识金属材料的缺陷。信号处理与数据分析模块在实际应用中,能够有效呈现出相关探测数据动态变化,有效保存历史相关数据,自动化实时监管相关数据,并长期存档。同时,该模块还可以结合操作人员的实际需求,通过图表、数值等多种形式,更加直观、清晰地呈现出无损探伤设备探测的波形、频谱、缺陷位置等具体数据。

3. 人机交互界面。操作人员和无损探伤设备之间的交流界面设计至关重要,对操作体验和探测效率具有较大影响。因此,设计人员在无损探伤设备电气自动化监控系统设计的过程中,优化设计人机交互界面,确保其清晰易用。在实践中,设计人员借助触摸屏设计,充分展示无损探伤设备自动化监控信息、控制参

数自动化调整、自动化生成检测报告。同时，设计人员详细分析用户的使用要求，增强人机交互界面使用的便捷性，更加符合用户的操作习惯。通过更加直观、简洁的图形界面、简单明了的使用规则，提高人机交互界面设计的实用性。工作人员可以通过人机交互界面实时数据显示的波形、频谱等，准确掌握无损探伤设备探测作业中的信号波动情况、缺陷位置。在无损探伤设备使用中，操作人员可以结合实际探测需求，利用人机交互界面，针对性调节超声波发射、信号处理等关键控制参数，进而实时监控和优化无损探伤设备的整个探伤检测过程。此外，人机交互界面的设计，将该功能内置在界面上，支持用户一键生成探伤结果、无损检测报告，以便于工作人员更加高效地完成数据整理、无损探伤设备探测成效评估等工作。人机交互界面在应用中，响应速度极快，能够达到毫秒级，进一步保证了各项操作的即时性、连贯性。

3 冶金行业无损探伤设备自动化诊断技术

3.1 自动化诊断原理

冶金行业无损探伤设备在实际应用中，对于自动化监控信息的异常识别、分析原理，主要包含统计学手段、模式识别、规则导向的评判方式。在异常检测和诊断的过程中，基于数据的均值、标准差、分布形态等多种类型的数据特征，利用统计学手段准确侦测异常值。在此过程中，通过设置特定界限，进而准确识别出常态以外的数值。无损探伤设备运行的自动化监控手段，通过先进技术构建数学模型，将无损探伤设备在应用中的实际运行数据和数学模型预估值进行对比分析，明确两者之间存在的差异，以此综合判断被检测物质有无异常情况。CIA 为 I，通过 ARIMA 模型等时间序列分析方法，能够对无损探伤设备的顺利运行情况进行准确预测。在此过程中，如果自动化监控到和模型预测存在较大差异的数据，就可以准确判定无损探伤设备运行过程中存在异常状况。例如：在冶金行业，结合金属材料无损探伤的需求，可以预先设定相应的标准值，并且结合以往成熟的经验，综合判断无损探伤设备运行情况。当监测到传感器的数据不在预先设定的安全范围之内，系统就会自动开启警示机制，及时发出相应的警报信息，提示相关人员结合实际情况进行妥善处理。

3.2 基于机器学习的诊断技术

冶金行业无损探伤设备异常检测、诊断的过程中，机器学习技术具有较多应用优势，能够进一步提高诊断效率，保障诊断结果的精准性。例如：支持向量机

是当前常用的分类手段，在实际工作中，主要是从高维数据空间内，迅速发现最优的分割超平面，针对性划分正常、异常数值。在冶金行业无损探伤的过程中，如果样本数量少、数据维度高时，可以选择支持向量机技术，有效执行设备异常检测和诊断任务^[4]。

深度神经网络在设备诊断过程中应用，如果网络处于多层结构时，可以从数据中自动化提取关键特征，有效进行复杂模式识别。在数量庞大、复杂度高的无损探伤设备自动化监控信息处理中，多层结构的深度神经网络具有显著的应用优势。此外，卷积和递归神经网络等深度学习模型，在图像处理、时间序列分析等多个领域被广泛应用，获得理想的应用成效^[5]。因此，在冶金行业无损探伤设备检测信号处理、分析中具有较多优势。例如：卷积神经网络技术在应用中，能自动化识别超声波检测获得的图像，精准度在 95% 以上；递归神经网络技术应用中，通过该技术构建时间序列模型，能够更加精准地预测无损探伤设备运行数据，并进行异常检测和诊断，更加精准地获取微小的异常状况，确保整个诊断过程的准确性和时效性。此外，在无损探伤设备自动化诊断中，可以深入探究多传感器融合技术，高精度检测产品微小切线，实现精度达到 0.1 mm。

4 结束语

冶金行业无损探伤设备应用中，通过电气自动化监控和诊断技术，能够有效提高设备运行效果，获得更加准确的探伤结果。对此，相关人员应深入分析电气自动化监控涉及的关键技术，并优化设计电气自动化监控系统，获得更加准确的监控信息。同时，利用自动化诊断技术，有效进行监控信息的异常检测和诊断，提高诊断准确率，以便于专业人员有效处理无损探伤设备故障。

参考文献：

- [1] 陈健. 基于超声波无损探伤系统的电气自动化设计[J]. 冶金与材料, 2024, 44(09):97-99.
- [2] 陈祥, 李城城, 王振蒙, 等. 基于智能化技术的电气自动化控制系统研究与实现[J]. 中国设备工程, 2024(15):28-30.
- [3] 赵宇. 智能化检测与诊断技术在电气设备安装调试中的应用[J]. 家电维修, 2024(11):92-94.
- [4] 刘永豹, 田宇, 王婷. 智能化技术在电气设备监控与故障诊断中的应用探究[J]. 时代汽车, 2024(07):148-150.
- [5] 翟元元. 基于人工智能技术的电气自动化智能控制系统设计与实现[J]. 办公自动化, 2023, 28(19):7-9.

市政工程勘察重难点及注意事项

李 龙

(上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司合肥分公司,安徽 合肥 230031)

摘要 为明确市政工程勘察工作要点,本文以市政工程勘察的实际情况为例,分析了其重难点及注意事项。市政工程勘察存在地质条件复杂、受环境因素影响大、多专业协同难度高、数据采集处理技术要求高、地下管线探测复杂等重难点。注意事项包括提前规划勘察方案、加强与相关部门沟通协调、注重安全与风险管理、精确采集分析数据、做好持续跟踪与反馈等。本文认为通过掌握市政工程勘察工作的重难点,落实好注意事项,可提升市政工程勘察质量,保障市政工程建设顺利进行。

关键词 市政工程勘察; 地质条件; 数据采集; 地下管线探测; 风险管理

中图分类号: TU99; TU19

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.17.028

0 引言

随着城市化进程加速与土地资源约束,市政工程建设规模不断扩大、复杂度持续提升。城市土地资源有限,各类市政项目需在有限空间内高效布局,这对勘察工作提出严格要求。不同区域地质条件差异大,复杂地质给工程带来诸多不确定因素。城市环境中,周边建筑、交通、居民活动等对勘察干扰多。且市政工程涉及多专业交叉,勘察需为各专业提供精准数据支撑。在此背景下,明晰市政工程勘察重难点及注意事项,对保障工程安全、高效推进意义重大。

1 市政工程勘察的重难点

1.1 地质条件复杂

市政工程往往覆盖区域广泛,不同地段地质条件差异显著。在一些山区城市,勘察时可能遭遇断层、褶皱等复杂地质构造,岩石的岩性多样,强度和稳定性参差不齐。地层中可能存在软硬互层,这使得岩土体在工程作用下的变形特性更为复杂,增加了基础选型和施工工艺确定的难度。平原地区的黄土层,具有湿陷性,遇水后结构迅速破坏,承载力大幅下降。在喀斯特地貌区,地下溶洞、暗河分布广泛,可能导致地面塌陷等地质灾害,给市政工程建设埋下隐患。勘察人员需综合运用多种勘察手段,如地质测绘、物探、钻探等,全面、深入地了解地质条件,为工程设计提供坚实依据。

1.2 环境影响因素

城市环境复杂多变,对市政工程勘察干扰众多。城市交通繁忙,勘察设备在道路上作业时,不仅要考

虑自身安全,还要尽量减少对交通的影响。在人口密集区,勘察产生的噪声、粉尘等污染,不仅影响居民生活质量,还可能违反环保规定,导致勘察工作受阻。城市中各类通信基站、变电站等产生的电磁干扰,会影响地球物理勘探等勘察数据的准确性^[1]。另外,城市热岛效应使得局部气象条件发生变化,影响地下水文循环,进而改变地下水位及岩土体的含水状态。勘察团队需提前制定详细的环境保护和干扰应对措施,确保勘察工作顺利开展,同时减少对城市环境的负面影响。

1.3 多专业协同工作

市政工程涵盖道路、桥梁、排水、供电、燃气等多个专业领域,各专业对勘察数据的需求既相互关联又有所侧重。各专业的设计标准和规范不同,对勘察数据的精度、深度和广度要求也存在差异。例如:电力工程对地下岩土的导电性、腐蚀性等有特殊要求,以保障电缆铺设的安全性和耐久性。在工程建设的不同阶段,各专业对勘察数据的更新需求也不一致。初步设计阶段侧重于宏观地质条件和场地稳定性分析,而施工图设计阶段则需要更为详细的岩土物理力学参数。勘察团队需建立有效的沟通协调机制,及时了解各专业在不同阶段的需求变化,动态调整勘察方案,提供精准、适用的数据成果,促进各专业协同设计与施工。

1.4 数据采集与处理技术要求高

市政工程勘察数据来源广泛,包括地质钻探、地球物理勘探、原位测试等多种手段获取的数据。随着技术发展,对数据采集的精度和效率要求不断提高。

新兴的勘察技术如无人机倾斜摄影测量，可快速获取大面积地形地貌信息，但对图像解译和数据提取技术要求极高。室内土工试验需严格控制试验条件，确保岩土参数测定的准确性，微小的操作误差都可能导致数据偏差，影响工程设计。数据处理过程中，不同来源数据的格式、精度和空间参考系存在差异，需要进行统一转换和融合。数据的长期存储和安全管理也至关重要，要防止数据丢失、损坏或泄露，为工程全生命周期提供可靠的数据支持。

1.5 复杂的地下管线探测

城市地下管线犹如城市的“生命线”，种类繁多且分布复杂。常见的有供水、排水、燃气、电力、通信等管线，其材质、管径、铺设年代和深度各不相同。一些老旧城区，地下管线资料缺失或不准确，给探测工作带来极大困难。在城市发展进程中，地下空间功能不断拓展，新建管线与既有管线的交叉、重叠现象愈发普遍。部分管线由于老化、腐蚀等原因，其实际位置和状态与原有资料不符^[2]。非金属材质的管线，如塑料排水管道，传统探测方法难以有效识别。而且，地下管线探测还受到周边地下障碍物、电磁干扰等因素影响。因此，需要不断研发和应用新的探测技术，结合先进的数据分析方法，提高地下管线探测的准确性和可靠性。

2 市政工程勘察的注意事项

2.1 提前规划勘察方案

提前规划勘察方案是市政工程勘察的关键起点。收集既有资料时，除地质、水文等常规信息，还应深挖区域内过往工程案例资料，剖析类似地质条件下工程的成败经验，为勘察工作提供参考。如研究建筑因地基沉降导致的结构问题，能警示本次勘察对地基土变形参数的精确测定需求。确定勘察目的与任务时，深入剖析工程设计的核心需求，针对高层建筑，着重明确地基土的变形参数与稳定性指标；若是桥梁工程，则聚焦桥址处岩土体的承载能力与抗冲刷性能。选择勘察方法与技术手段时，依据场地条件优化组合。城区人口密集区，优先选用无损或微损的地球物理勘探，减少对周边环境干扰，后续辅以少量钻探验证。制定勘察进度计划时，充分考虑节假日、大型活动等特殊时段交通管制要求，分阶段、分区域合理安排勘察作业，确保每个环节衔接紧密。资源调配时，依据不同勘察阶段工作量，动态调整设备与人员投入，避免资源闲置或过度集中。在地质条件复杂区域，前期投入更多

专业技术人员与先进设备进行详细勘察，后期根据成果简化作业流程，合理调配资源。同时，对勘察可能涉及的政策法规变化进行预估，提前调整方案，全方位为后续工程筑牢基础。

2.2 加强与相关部门的沟通协调

市政工程勘察涉及多个部门，加强沟通协调至关重要。与城市规划部门交流时，不仅要了解未来规划方向，还需明确规划实施的时间节点，以便勘察成果能在较长时间内满足工程与规划协同需求。例如：知晓某区域未来将新建大型商业综合体，勘察时就需预留相关地下空间开发的勘察考量。向建设单位咨询时，深入探讨工程的长远运营目标，将其融入勘察方案，对环保型市政工程，重点勘察相关生态地质因素。与交通管理部门协作，除合理安排作业时间与路线，还可借助交通流量监测数据，选择交通低谷时段开展关键路段勘察。同环保部门沟通，提前了解区域环境敏感点，制定针对性污染防治措施，在水源保护区周边采用低污染勘察技术^[3]。与地下管线管理部门联系，利用信息化手段，实时更新地下管线数据，建立动态管线信息库，为地下管线探测提供精准且实时的资料支撑。通过搭建线上沟通平台，各方能及时共享信息，全方位凝聚各方力量，保障勘察工作顺利推进。此外，积极参与跨部门联合会议，主动反馈勘察进展中遇到的需要多方协调的问题，促进协同工作更加高效。

2.3 注意安全与风险管理

安全与风险管理贯穿市政工程勘察始终。在勘察作业现场，为工作人员配备安全防护装备时，注重装备的适用性与舒适性，定期组织装备使用培训，确保工作人员正确佩戴与使用。设备检查维护方面，建立详细设备档案，记录每次检查、维修情况，依据设备使用频率与年限，制定个性化维护计划，提前更换易损部件。针对复杂地质条件，引入地质灾害风险评估软件，量化风险等级，制定差异化防范策略。在山区勘察时，通过软件评估山体滑坡、泥石流等风险概率，提前设置防护设施与撤离路线。在恶劣天气应对上，与气象部门建立实时信息对接，提前获取预警信息，如遇强降雨，及时停止低洼地带勘察作业。在城市环境作业时，利用三维激光扫描技术，提前对周边建筑物、地下管线进行建模，精准规划勘察路径，避免碰撞损坏。持续开展安全培训与风险教育，通过案例分析、模拟演练等形式，提升工作人员应对突发安全事件的能力，确保勘察安全可控，为工程建设营造安全稳定的勘察环境。同时，设立安全监督岗位，定期巡查作业现场，

及时纠正违规操作行为，将安全风险扼杀在萌芽状态。安全防护装备采购时，对比不同品牌与型号，选择符合人体工程学设计且质量可靠的产品，提高工作人员佩戴意愿。设备维护计划制定中，运用设备故障预测模型，根据设备运行数据提前预判故障风险，精准安排维护时间。地质灾害风险评估软件使用时，结合现场地质测绘数据，不断优化评估模型，提高风险预测准确性。

2.4 精确采集与分析数据

精确采集与分析数据是市政工程勘察的核心环节。在数据采集阶段，除严格遵循规范操作设备，还应定期校准仪器，确保测量精度。对于地质钻探，创新采用智能化钻探设备，实时监测钻进参数，自动调整钻进策略，保障岩土芯样质量。地球物理勘探时，运用多源数据融合技术，综合分析不同物探方法数据，提高地质异常体识别准确率。详细记录采集条件时，利用物联网设备，自动采集环境温湿度、电磁干扰等信息并关联数据^[4]。在数据分析阶段，引入人工智能算法，对海量数据进行快速筛选与分类，结合大数据挖掘技术，发现潜在地质规律。借助数值模拟软件，对场地工程地质条件进行仿真分析，预测工程建设对地质环境的影响。例如：模拟地铁施工对周边地层沉降的影响，为工程设计提供更全面、精准的数据支撑，保障设计科学合理，从源头上减少工程隐患。并且，建立数据质量追溯体系，一旦发现数据异常，能快速回溯到采集环节，查明原因并及时修正，确保数据的可靠性。数据采集阶段，对仪器设备进行定期比对测试，与行业标准仪器校准数据，确保测量精度始终处于领先水平。智能化钻探设备可搭载高清摄像系统，实时记录岩芯情况，便于后续分析。多源数据融合技术运用中，采用深度学习算法，对不同物探数据特征进行自动提取与融合，提高异常体识别精度。物联网设备采集数据时，利用区块链技术确保数据不可篡改，增强数据可信度。

2.5 持续跟踪与反馈

持续跟踪与反馈是保障市政工程勘察质量与工程顺利推进的重要保障。在勘察过程中，建立专门的进度跟踪小组，每日汇报勘察进展，利用项目管理软件实时更新进度节点，及时发现并解决进度滞后问题。调整优化勘察方案时，依据现场实际揭露的地质情况，组织专家论证，从技术、经济、工期等多维度评估调整方案可行性。勘察结束后，与设计、施工单位建立

定期沟通机制，参与设计交底、施工例会等，及时了解勘察成果应用情况。针对反馈意见，组建专项分析团队，深入剖析数据偏差原因，若涉及地质条件变化，迅速启动补充勘察程序，利用先进的快速勘察技术，高效获取补充数据^[5]。如在施工中发现实际地质与勘察报告有差异，运用地质雷达等快速勘察手段，精准查明问题，不断完善勘察成果，为市政工程全生命周期提供持续有力保障，确保工程建设各个阶段都能基于准确的勘察信息稳步推进。同时，建立反馈意见数据库，对各类反馈进行整理分析，为后续类似项目的勘察工作积累经验，提升整体勘察水平。进度跟踪小组采用敏捷项目管理方法，每周进行一次进度复盘，对关键路径上的任务重点关注，及时调整资源分配以解决进度滞后问题。专家论证会邀请地质、岩土、工程设计等多领域专家，从不同专业视角评估方案调整的合理性。与设计、施工单位沟通时，建立线上协同平台，实时共享勘察成果与施工反馈，提高沟通效率。专项分析团队运用故障树分析方法，深入剖析数据偏差原因，制定针对性解决方案。

3 结束语

市政工程勘察在城市建设中意义重大，却面临诸多挑战，重难点集中在复杂的地质条件、环境影响、多专业协同、数据处理及地下管线探测等方面。为应对这些问题，需提前科学规划勘察方案，加强部门间沟通协调，注重安全与风险管理，精确采集和分析数据，并持续跟踪反馈。未来，市政工程勘察应借助新技术提升效率与准确性，加强人才培养，完善勘察标准与规范，以适应城市建设的多元化需求，为城市基础设施建设筑牢根基，推动城市可持续发展。

参考文献：

- [1] 乔海涛.浅谈市政工程详勘孔深确定的方法[J].四川地质学报,2024,44(03):538-541.
- [2] 苏惠新,林芝旭.市政工程施工中地下管线施工技术的应用分析[J].陶瓷,2024(05):225-227.
- [3] 张发.道路市政工程软土地区岩土勘察技术研究[J].城市建设理论研究(电子版),2025(06):211-213.
- [4] 邹奋.岩土工程勘察在市政工程中的问题及改进措施[J].城市建设理论研究(电子版),2024(01):214-216.
- [5] 刘洋.道路市政工程软土地区岩土勘察技术[J].建筑安全,2023,38(06):92-95.

公路工程中软土路基施工技术分析

王光银

(肥东县交通运输局, 安徽 合肥 231600)

摘要 本文详细阐述了公路工程软土路基的施工技术及管理措施, 介绍了软土路基的定义、分类及特性, 分析了其对公路工程的影响, 深入探讨了排水固结法、换填法、加固法等具体施工技术, 提出了施工技术选择与优化的依据和策略, 并从施工组织与管理、质量控制与监测、安全管理与环境保护三个方面提出了软土路基施工的管理措施, 以期为确保工程的顺利进行和质量保障提供借鉴。

关键词 公路工程; 软土路基施工技术; 施工管理; 质量控制; 安全管理

中图分类号: U416.1

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.17.029

0 引言

随着国家基础设施建设的快速发展, 公路工程作为连接各地经济、文化的重要纽带, 其质量和安全性日益受到关注。然而, 在公路工程建设过程中, 软土路基问题成为一个不可忽视的挑战。软土路基由于其特殊的物理和力学性质, 如含水量高、透水性差、压缩性大等, 对公路的稳定性和耐久性构成了严重威胁。因此, 深入研究软土路基施工技术, 探索有效的处理方法和管理措施, 对于提高公路工程质量、保障行车安全具有重要意义。

1 公路工程软土路基概述

1.1 软土的定义与分类

软土, 作为一种特殊类型的土壤, 其在公路工程中具有独特的位置。软土通常指的是天然含水量高、透水性差、压缩性高、抗剪强度低的细粒土, 其成分主要包含黏土矿物和有机质, 有时还含有一定量的砂、粉砂等颗粒。根据软土的成因、成分及物理力学性质, 可以将其进一步细分为淤泥、淤泥质土、软黏土等多种类型。淤泥主要是湖泊、河流等静水或缓慢流水环境中沉积形成的, 含有较高的有机质; 淤泥质土则是介于淤泥和一般黏性土之间的过渡类型; 而软黏土则是以黏土矿物为主, 具有显著的塑性特征。

1.2 软土路基的特性

软土路基由于其特殊的组成和结构, 表现出一系列独特的物理和力学特性。首先, 软土的含水量极高, 常常接近或超过液限, 这使得软土路基在荷载作用下容易发生变形和沉降。其次, 软土的透水性极差, 水分难以有效排出, 导致路基在长时间荷载作用下固结

缓慢, 沉降持续时间长。此外, 软土的压缩性大, 抗剪强度低, 使得路基在承受荷载时容易发生剪切破坏, 影响公路的稳定性和安全性。

1.3 软土路基对公路工程的影响

软土路基对公路工程的影响是多方面的, 且往往是负面的。首先, 软土路基的沉降问题可能导致公路路面出现不平整、波浪状起伏等现象, 严重影响行车舒适性和安全性。其次, 软土路基的抗剪强度低, 容易发生剪切破坏, 导致路基失稳, 进而引发公路塌陷、滑坡等严重工程事故。此外, 软土路基的固结时间长, 可能延长公路工程的施工周期, 增加工程成本。因此, 在公路工程建设中, 必须高度重视软土路基的处理问题, 采取有效的施工技术和管理措施, 确保公路工程的稳定性和安全性。

2 公路工程软土路基施工技术

2.1 软土路基处理原则与方法

1. 处理原则。软土路基的处理应当严格遵循因地制宜、综合治理的原则。这意味着, 在处理软土路基时, 我们必须根据具体的地质条件、土壤性质、荷载要求以及周边环境等实际情况, 制定出具有针对性的处理方案。每个软土路基都有其独特的特点, 因此不能一概而论, 必须做到具体问题具体分析。同时, 我们还应注重多种处理方法的综合运用, 将排水固结、换填、加固等方法有机结合, 形成一套系统的处理体系。在处理过程中, 要充分考虑经济性和可行性, 既要保证处理效果, 又要尽量降低成本, 确保处理方案既科学又合理。此外, 我们还应坚持预防为主的原则, 在公路工程设计阶段就充分考虑软土路基问题, 提前制定

防范措施，以减少后期处理的难度和成本，确保公路工程的顺利进行。

2. 处理方法概述。软土路基的处理方法多种多样，主要包括排水固结法、换填法、加固法等。排水固结法是通过设置排水系统，加速软土中的水分排出，使土壤固结，提高承载力和稳定性。这种方法适用于含水量高、透水性差的软土路基^[1]。换填法则是将软土路基中的部分或全部软土挖除，然后换填强度较高、稳定性较好的材料，如砂石、碎石等。这种方法适用于软土层较薄或局部软土路基的处理。加固法则是通过打桩、注浆等手段，增强软土路基的强度和稳定性。这种方法适用于软土层较厚或需要承受较大荷载的路基。在实际工程中，应根据具体情况选择合适的处理方法或综合运用多种方法，以达到最佳的处理效果。

2.2 施工技术分析

1. 排水固结法。排水固结法是一种广泛应用于公路工程软土路基处理的有效方法，其核心原理是通过加速软土中水分的排出，促使土壤逐渐固结，从而显著提高路基的承载力和稳定性。这种方法特别适用于含水量高、透水性差的软土路基，这类路基由于水分含量大、排水性能差，往往难以满足公路工程对路基强度和稳定性的要求。在施工中，排水固结法的首要步骤是设置完善的排水系统。这通常包括在软土路基中埋设排水板、开挖排水沟等，以确保水分能够顺畅地排出土体。随后，通过施加预压荷载，如堆载或真空预压，使软土在排水系统的作用下逐渐固结。这一过程中，软土中的水分被不断排出，土壤颗粒逐渐紧密排列，从而形成更加坚实的路基。排水固结法的优点在于施工相对简单、成本较低，且能够有效改善软土路基的物理力学性质。然而，需要注意的是，由于软土的固结是一个渐进的过程，排水固结法可能需要较长时间才能达到预期的固结效果。因此，在实际应用中需要充分考虑工期因素，并合理安排施工计划。

2. 换填法。换填法是一种在公路工程软土路基处理中常用的技术，其核心思想是将软土路基中的部分或全部软土挖除，然后换填上强度较高、稳定性较好的材料。这种方法主要适用于软土层较薄或仅局部存在软土的路基处理。在施工中，首先需要根据设计要求，精确确定换填的范围和深度，确保处理效果达到预期。接着将指定范围内的软土仔细挖除，并对基底进行必要的处理，如清理杂物、平整基底等。随后选择合适的填料进行回填，常见的填料有砂石、碎石等，

这些材料具有良好的力学性能和稳定性。回填时，需要分层进行，每层回填完毕后都要进行压实处理，以确保填料的密实度和稳定性。换填法的优点在于能够直接改善路基的承载力和稳定性，有效提升公路的安全性和耐久性。同时，施工周期相对较短，能够较快地恢复交通。然而，需要注意的是，换填法的成本较高，且对填料的选择和压实质量有严格要求，必须严格按照施工规范进行操作，以确保处理效果。

3. 加固法。加固法是一种通过打桩、注浆等手段，有效增强软土路基强度和稳定性的方法。这种方法特别适用于软土层较厚或需要承受较大荷载的路基工程。在实际施工中，我们可以根据具体的工程地质条件和设计要求，选择不同类型的桩进行打设，如预制桩、灌注桩等。这些桩通过其侧阻力和端阻力，将上部结构的荷载有效地传递到较深的、承载力较高的土层中，从而大幅提高路基的承载力^[2]。除了打桩加固外，注浆加固也是一种常用的方法。通过将水泥浆或其他固化剂注入软土中，利用化学反应或物理作用，使软土颗粒之间发生胶结，形成具有一定强度的固结体，从而提高软土的强度和稳定性。加固法的优点在于其能够显著提高路基的承载力和稳定性，且适用范围广泛，可以灵活应对各种复杂的软土路基情况。然而，需要注意的是，加固法的施工难度较大，对施工技术和设备都有较高的要求。因此，在施工前需要进行充分的勘察和设计，确保施工方案的合理性和可行性。同时，施工过程中也需要严格控制施工质量，确保加固效果达到设计要求。

2.3 施工技术选择与优化

1. 施工技术选择依据。选择适合的软土路基施工技术，是一个需要综合考虑多个因素的复杂过程。首先，工程条件是施工技术选择的基础和前提。这具体包括软土的性质、分布范围、厚度、含水量以及路基的设计要求等^[3]。不同的软土类型和工程条件，其处理难度和所需的技术手段也会有所不同，因此必须根据实际情况，采用针对性的施工技术来处理。其次，经济成本也是选择施工技术时必须要考虑的重要因素。在保证工程质量和安全性的前提下，我们应尽量选择成本较低、施工效率较高的技术方案，以降低工程投资，提高经济效益。此外，施工难度和技术可行性也是选择施工技术时不可忽视的方面。对于施工难度大、技术不可行的方案，我们应予以排除，以免给施工带来不必要的困难和风险。只有充分考虑各种因素，综

合权衡利弊，才能选择出最适合的软土路基施工技术，确保施工的顺利进行和工程质量的可靠保障。

2. 施工技术优化策略。在选择了适合的施工技术后，提高施工效率和工程质量便成为接下来的重要任务。为了实现这一目标，我们需要不断优化施工技术。一方面，技术创新是优化施工技术的关键途径。我们可以积极引进先进的施工设备，这些设备往往具有更高的自动化程度和更精确的控制能力，能够显著提高施工效率。同时，研发新的施工材料或施工工艺也是提升工程质量的重要手段。通过采用新材料或新工艺，我们可以解决一些传统施工技术难以克服的问题，进一步提高施工质量和效率^[4]。另一方面，工艺改进同样不可忽视。我们需要对施工流程进行合理规划，确保各个环节紧密衔接，减少不必要的等待和浪费。同时，对施工参数的精确控制也是提高施工质量的关键。通过严格把关施工质量，我们可以确保每一项施工都达到设计要求。此外，我们还可以结合实际情况，灵活运用多种施工技术，形成综合的施工方案。总之，施工技术的优化是一个永无止境的过程，需要我们不断探索和实践，以满足公路工程软土路基施工的不断变化的需求。

3 软土路基施工管理措施

3.1 施工组织与管理

施工组织与管理是软土路基施工的基础和核心。在施工前，必须制定详细且周密的施工组织设计，明确施工流程、工序安排、人员配置、资源调配等关键要素，确保施工过程的有序进行。同时，要建立健全的施工管理体系，设立明确的指挥系统和责任制度，确保施工过程中的各项决策和指令能够迅速、准确地传达和执行^[5]。在施工过程中，要加强现场协调和管理，密切关注施工进展，及时发现并解决施工中出现的各种问题，确保施工进度的顺利进行。此外，还要高度重视施工队伍的培训和教育，定期组织专业技能培训和安全教育，提高施工人员的专业技能和素质，为施工质量的提升和施工安全的保障提供有力的人才支撑。

3.2 质量控制与监测

质量控制与监测在软土路基施工中扮演着至关重要的角色。在施工过程中，必须严格按照设计要求和施工规范进行操作，确保每一步施工都符合质量标准，保证施工质量的符合性。为了实现这一目标，需要建立完善的质量监测体系，对施工过程中的关键工序和环节进行实时、全面的监测和记录。通过监测数据的

分析，可以及时发现施工中存在的质量问题，并采取相应的纠正措施，确保施工质量不受影响。此外，还要加强对施工材料和设备的质量检验和管理，严格把关，确保所有施工材料和设备的质量可靠、性能稳定。通过严格的质量控制与监测，可以大幅提升软土路基施工的质量水平，为公路工程的长期稳定运行奠定坚实的基础。

3.3 安全管理与环境保护

安全管理与环境保护是软土路基施工中不可忽视的方面。在施工过程中，应建立健全的安全管理制度，加强施工现场的安全防护和管理，确保施工人员的生命财产安全。同时，要注重对施工人员的安全教育和培训，提高他们的安全意识和自我保护能力。在环境保护方面，要严格遵守环保法规和标准，采取有效措施减少施工对周边环境的影响。例如：合理安排施工时间，减少噪声和扬尘对周边居民的影响；妥善处理施工废弃物，防止对土壤和水源造成污染。通过加强安全管理与环境保护，可以确保软土路基施工的顺利进行，同时保护周边环境和生态安全。

4 结束语

本文通过对公路工程软土路基施工技术的全面、深入研究，以及对施工管理措施的细致探讨，为实际工程实践提供了宝贵的技术参考和丰富的管理经验。在软土路基的施工过程中，应根据具体情况合理选择施工技术，不断优化施工方案，提高施工效率和工程质量。同时，要加强施工组织与管理，确保施工过程的有序进行。此外，还要严格控制施工质量，注重安全管理与环境保护，确保工程的安全可靠和可持续发展。只有这样，才能确保公路工程的顺利进行，为经济社会发展提供坚实有力的交通保障。

参考文献：

- [1] 陆腾飞.公路软土路基的标准化施工处理技术探讨[J].大众标准化,2024(09):99-101.
- [2] 杨昊文.公路施工中的软土路基施工技术探究[J].工程建设与设计,2024(09):203-205.
- [3] 张宏杰.公路软土路基加固补强施工技术[J].科学技术创新,2024(09):151-154.
- [4] 刘孟良.公路软土路基就地固化设计方案与处理效果分析[J].黑龙江科学,2024(02):112-115.
- [5] 郭练忠.公路软土路基加固处理及沉降分析[J].工程技术研究,2024(01):24-26.

绿色建筑施工质量管理体系优化研究

张雷¹, 葛艳艳²

(1. 山东辰星石油装备有限公司, 山东 东营 257091;
2. 山东科达基建有限公司, 山东 东营 257091)

摘要 随着建筑业绿色转型的深入推进, 建筑工程施工质量管理体系的优化创新已成为行业发展的迫切需求, 本文基于某绿色住宅示范项目, 研究分析了智能建造集成, 绿色材料循环与智能能源管理及环境保护控制四项核心技术在施工质量管理中的应用。研究结果表明, 通过构建以上技术为支撑的质量管理体系, 项目施工质量一次合格率达98%, 构件制造精度达99.5%, 材料循环利用率超过50%, 施工现场环境指标显著改善, 实践证明, 创新质量管理体系能有效提升绿色建筑施工水平, 对推动建筑业高质量发展具有重要的借鉴意义。

关键词 绿色建筑; 质量管理体系; 智能建造; 材料循环; 能源管理

中图分类号: TU712.3

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.17.030

0 引言

建筑业是资源消耗及环境影响的重要领域, 推进绿色建筑发展, 优化施工质量管理体系, 对实现建筑业可持续发展具有重要意义, 传统建筑施工过程中存在资源利用效率低, 环境污染严重与质量管控不足等问题, 需通过技术创新及管理优化加以解决; 随着智能建造、绿色材料与能源管理等技术的快速发展, 为绿色建筑施工质量管理体系的优化提供了新思路及新方法, 智能传感、物联网与人工智能等新一代信息技术在建筑施工领域的广泛应用, 使施工过程的精细化管理及智能化控制成为可能, 深入研究质量管理体系的优化路径, 对提升工程质量水平, 推动建筑业绿色转型具有重要的理论及实践价值。

1 工程概况

1.1 项目概述

某绿色住宅示范项目总建筑面积500 m², 建设工期45天, 项目按照国家绿色建筑三星级标准进行设计及施工, 采用装配式建筑结构体系, 建筑主体采用钢筋混凝土框架结构, 外墙采用自保温装配式墙板, 屋面采用种植屋面与光伏发电一体化设计, 工程施工部署BIM技术管理平台, 配置智能建造管理系统, 实现施工过程的实时管控; 施工现场设置智能喷淋除尘系统、智能降噪设备与施工废水处理站, 构建环境监测网络, 建立材料循环利用中心, 配备建筑垃圾分类处理设备及再生骨料生产线, 实现废弃物资源化利用, 设置智能能源管理系统, 对电力与水资源等能源使用

进行实时监控及优化调度, 工程设计中引入被动式采光通风技术, 利用自然光及自然通风降低建筑能耗, 项目采用装配式施工工艺, 主要构件在工厂预制完成, 现场进行组装施工。

1.2 项目特点

工程在质量管理体系优化方面体现出系统性创新, 智能建造集成技术采用3D打印、机器人施工与BIM管理等技术融合应用, 施工过程数字化管理实现全流程可追溯; 绿色建材循环利用体系将建筑垃圾经破碎、分级与改性后制成再生骨料, 替代天然砂石用量30%; 工业废渣经活化处理用于生产混凝土, 替代水泥用量20%, 智能能源监控系统采用分布式传感器网络实时监测能源消耗数据, 配置智能算法优化调度方案, 动态调节设备运行参数^[1]。环境保护智能管控设备包括微雾抑尘系统、智能隔声屏障和污水处理设施等, 形成完整的环境保护管理链, 质量管理采用模块化施工工艺, 将建筑主体划分施工单元, 制定标准化施工流程, 保证施工质量均一性及可控性, 施工组织设计中融入绿色建造理念, 优化施工工序衔接, 减少施工能耗及材料损耗, 工程质量控制采用智能检测与监测相结合的方式, 应用激光扫描与红外成像等先进检测手段, 确保施工质量符合绿色建筑标准要求。

2 技术应用分析

2.1 智能建造集成

智能建造集成技术通过建立BIM+物联网平台, 实现施工全过程的数字化管理, 系统采用分布式架构,

由数据采集层、传输层、分析层及应用层组成，数据采集层部署智能传感器网络，实时监测施工参数；传输层采用 5G 网络技术，确保数据实时传输；分析层运用深度学习算法，对施工数据进行分析与预测；应用层提供可视化界面，支持施工管理决策。

3D 打印技术应用中，采用改进的 FDM 工艺，打印精度达到 ± 0.1 mm，构件强度满足设计要求，机器人施工系统配置智能控制算法，实现施工轨迹的自动规划及优化，施工效率提升 45%，质量控制采用“数字孪生+AI”模式，建立施工过程的数字模型，实现质量问题的预测及预警。如图 1 所示，绿色建筑施工质量管理体系通过四大技术集成应用，构建多层次的质量管控平台，实现施工质量的全面提升，最终使构件精度达到 99.8%，材料利用率达到 52%，能耗降低 38%，废水回用率达到 85%。

2.2 绿色材料循环

绿色材料循环系统采用“资源化处理+性能提升”的技术路线，建筑垃圾处理采用机械粉碎—筛分—改性的工艺流程，配置智能分选设备，实现废弃物的精准分类，再生骨料的制备符合强度要求公式：

$$f_{cu} = K \times (\rho / \rho_0)^n$$

式中， f_{cu} 为再生骨料强度 (MPa)， K 为强度系数， ρ 为表观密度 (kg/m³)， ρ_0 为基准密度， n 为经验系数，工业废渣活化处理采用机械—化学复合活化技术，提高材料的胶凝性能^[2]。改性后的再生骨料强度达到 45 MPa，满足结构混凝土用骨料要求；经活化处理的工业废渣活性指数达到 85%，替代水泥用量 20% 的条件下，混凝土 28 天抗压强度达到设计要求，材料再生过程中设置智能化检测平台，通过光谱分析与 X 射线衍射等技术实时监测材料性能指标，确保再生材料质量稳定可控。

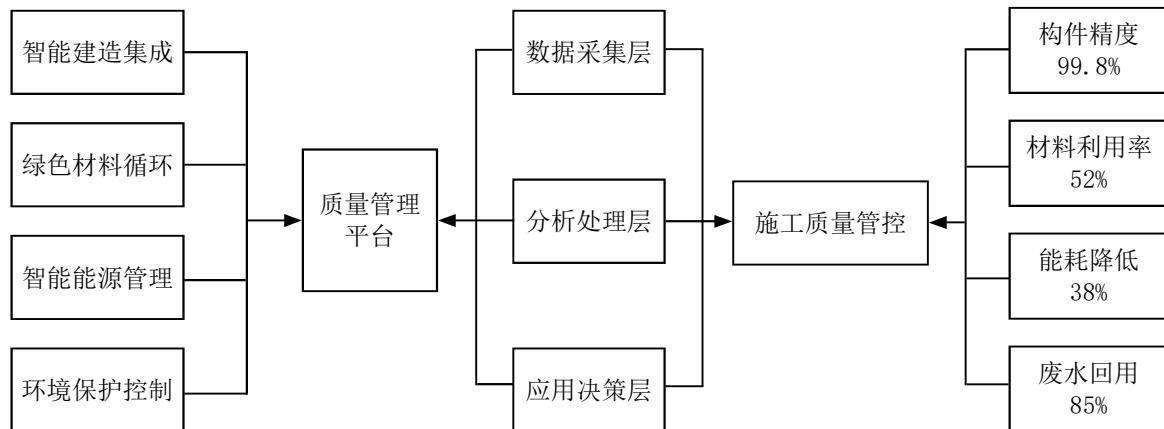


图 1 绿色建筑施工质量管理体系技术应用流程

2.3 智能能源管理

智能能源管理系统基于物联网技术构建能源监测网络，采用分层控制架构实现能源的智能调度，系统设置 500 个数据采集点，覆盖施工现场的用电与用水等关键环节，能源消耗预测模型采用改进的时间序列算法：

$$E(t) = \alpha \times E(t-1) + \beta \times L(t) + \gamma \times T(t)$$

式中， $E(t)$ 为 t 时刻能源消耗预测值， $E(t-1)$ 为历史消耗数据， $L(t)$ 为负荷因子， $T(t)$ 为温度因子， α 、 β 、 γ 为权重系数，通过实时监测设备运行状态，系统自动调节运行参数，实现能源使用效率的动态优化，应用智能调度策略后，施工现场用电效率提升 45%，设备运行能耗降低 38%，峰谷用电调节成功率达 90%，系统采用智能电表及流量计实时采集能耗数据，根据施工进度及环境条件，自动生成设备启停策略及运行参数配置方案。

2.4 环境保护控制

环境保护控制系统采用“源头控制+过程管理+末端治理”的技术路线，扬尘控制采用智能微雾抑尘系统，根据风速与湿度等环境参数自动调节喷雾量，PM2.5 控制水平达到 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下，噪声控制采用主动降噪技术，在施工设备周围设置声学传感器阵列，通过逆相位声波实现噪声削减，降噪效果达 15~20 dB，废水处理采用“MBR+深度过滤”工艺，处理能力 50 t/d，出水水质达到回用标准^[3]。污染物浓度控制模型：

$$C = C_0 \times e^{(-kt)}$$

式中， C 为污染物浓度， C_0 为初始浓度， k 为削减系数， t 为处理时间，系统实现 PM2.5 浓度降低 60%，施工噪声削减 17 分贝，废水回用率达 85% 的环境治理目标，环境监测系统采用物联网感知技术及边缘计算

架构,实现环境数据的实时采集及分析,对超标情况进行智能预警及联动控制。

3 评估分析

3.1 质量管理效果评估

绿色建筑施工质量管理体系的应用效果通过构件质量、施工精度及工程验收三个维度进行评估,智能建造集成技术的应用使预制构件合格率达到99.5%,现场拼装精度误差控制在±2 mm以内,较传统施工方式提高50%。

BIM技术与智能检测设备的结合应用,实现了施工质量的全过程监控,质量问题预警准确率达95%,施工返工率降低至0.5%,绿色材料循环技术的应用使再生混凝土28天抗压强度达到42 MPa,满足设计要求,再生骨料的使用未对混凝土耐久性造成不利影响,材料循环利用率达到52%,显著降低了原材料消耗,节约成本达20%^[4]。如表1所示,质量管理关键指标均优于传统施工模式,智能能源管理系统的应用使施工工序衔接更加紧凑,施工效率提升40%,工期缩短50%,环境保护控制技术的应用使施工现场环境指标全面达标,获得业主及监理单位的高度认可。

表1 质量管理关键指标对比

评估指标	传统施工模式	优化后模式	提升效果
预制构件合格率(%)	95.0	99.5	提升4.5%
施工精度误差(mm)	±4	±2	降低50%
质量问题预警率(%)	85	95	提升10%
施工返工率(%)	2.5	0.5	降低80%
再生混凝土强度(MPa)	32	42	提升31.3%
材料循环利用率(%)	25	52	提升108%
工期节约率(%)	—	50	—

3.2 环境效益分析

绿色建筑施工过程中环境效益主要体现在能源消耗、污染物排放及资源利用三个方面,智能能源管理系统实现能源消耗的精准管控,电力使用效率提升42%,施工设备运行能耗降低38%,通过环境保护控制技术的应用,施工现场PM2.5平均浓度控制在45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下,较国家标准低10%;施工噪声较现行标准降低15分贝,现场边界噪声平均值控制在70分贝以内;施工产生的废水经处理后85%实现循环利用,每月节约

用水1 200 $\text{t}^{[5]}$ 。如表2所示,环境保护指标较传统施工模式有显著改善,再生材料的循环利用减少建筑材料使用60 t,施工总体碳排放量降低30 t,绿色施工技术的综合应用显著降低了施工过程对环境的负面影响,实现了经济效益与环境效益的双赢。

表2 环境保护指标对比

评估指标	国家标准值	实际控制值	改善程度
PM2.5浓度($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	50	45	降低10%
场界噪声(dB)	80	70	降低12.5%
废水回用率(%)	50	85	提升70%
能源使用效率(%)	70	85	提升21.4%
设备能耗降低率(%)	—	38	—
碳排放降低量(吨)	—	30	—
材料节约量(吨)	—	60	—

4 结语

通过对绿色建筑施工质量管理体系的优化实践,证明了创新技术在提升施工质量中的显著效果。智能建造集成技术实现了施工过程的精准管控,绿色材料循环技术提高了资源利用效率,智能能源管理技术优化了能源结构,环境保护控制技术改善了施工环境。研究成果表明,创新质量管理体系能有效解决传统施工中的质量控制难题,实现施工过程的精细化管理,建议进一步加强技术创新及集成应用,完善质量管理体系,强化全过程监管,构建数字化质量评价体系。

参考文献:

- [1] 杨成.绿色建筑施工技术的应用与实践研究[J].城市建设理论研究(电子版),2025(06):148-150.
- [2] 张晋峰.模块化施工技术在绿色建筑快速建造中的应用[J].建材技术与应用,2025(01):101-104.
- [3] 张翔.基于智能建造的绿色建筑工程施工模式优化[J].绿色建造与智能建筑,2025(02):71-73.
- [4] 武兴灏.绿色建筑工程施工过程中进度与质量控制创新模式研究[J].建设机械技术与管理,2024,37(06):151-153.
- [5] 毕利春.绿色建筑工程施工技术与质量标准化的协同作用[J].中国品牌与防伪,2024(08):92-93.

水闸加固施工技术在水利工程中的应用

杨美玲

(金寨县油坊店乡人民政府, 安徽 六安 237332)

摘要 本文全面讨论了水闸加固施工的关键技术及质量控制与安全管理措施, 旨在为水闸加固施工提供全面的技术指导和安全管理参考。在技术方面, 详细阐述了关键技术的原理、具体的实施方法以及效果评估标准, 为施工提供了科学依据。在质量控制与安全管理方面, 重点强调了标准的制定与执行、过程的严格监督、验收的评定流程, 同时加强了安全制度的落实, 注重隐患的排查与整改, 以及事故应急处理的准备。

关键词 水闸加固; 现场勘查; 加固方案; 安全管理

中图分类号: TV698.22

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.17.031

0 引言

水闸作为水利工程中的重要组成部分, 其稳定性和安全性直接关系到整个水利工程的运行效率和安全性。然而, 由于长期受到水流冲刷、地质变化、人为破坏等因素的影响, 水闸会出现不同程度的损坏和老化, 导致其功能下降, 甚至存在安全隐患。因此, 开展水闸加固施工技术的研究, 对于提高水闸的稳定性和安全性, 延长水闸的使用寿命, 保障水利工程的正常运行具有重要意义。

1 水闸加固施工技术的理论基础

1.1 水闸的结构与功能

水闸通常由闸室、上下游连接段以及闸门、启闭机等部分组成。闸室是水闸的主体, 其内部设置有闸门槽, 用于安装闸门。上下游连接段则起到引导水流、分散水流冲击力以及保护闸室的作用。闸门是水闸的主要工作部件, 通过启闭机的操作, 可以实现水流的调控。水闸的主要功能包括挡水、泄水和调节水位等, 它能够在需要时拦截水流, 防止洪水侵袭; 在灌溉、发电等需要时, 又可以调节水位, 满足社会的生产和生活需求。

1.2 水闸加固的原理与方法

水闸加固的原理主要是通过对水闸的结构进行增强或修复, 提高其承载能力和稳定性, 从而延长水闸的使用寿命和确保其安全运行。加固方法的选择应根据水闸的损坏程度、损坏原因以及加固目标来确定。常见的加固方法包括地基加固、闸门维修与加固、防水防渗处理等。地基加固主要针对地基承载力不足或存在渗漏问题的情况, 可以通过注浆、加固桩等方法进行处理^[1]。闸门维修与加固则是对损坏的闸门进行

修复或更换, 以提高其密封性和稳定性。防水防渗处理则是通过在水闸的上下游连接段、闸门槽等部位设置防水层或进行注浆处理, 以防止水流渗漏。这些方法的选择和应用应根据实际情况进行综合考虑, 以确保加固效果达到最佳。

2 水闸加固施工前的准备工作

2.1 现场勘查与评估

现场勘查是加固施工前不可或缺的一步, 它直接关系到后续加固方案的科学性和可行性。勘查内容主要包括水闸的地理位置、周边环境、地质条件、水流特性以及水闸当前的损坏状况等。通过对这些信息的全面收集和分析, 可以对水闸的损坏程度、损坏原因以及潜在的加固难点有一个清晰的认识。在此基础上, 进一步评估加固工程的必要性、紧迫性以及可能面临的风险和挑战, 为后续加固方案的制定提供科学依据。

2.2 加固方案的制定

加固方案的制定是整个加固施工准备工作的核心。在充分了解水闸现状的基础上, 结合现场勘查和评估的结果, 工程师需要综合考虑加固目标、施工条件、成本预算、工期要求等多方面因素, 制定出科学合理的加固方案。加固方案应明确加固的范围、方法、材料、施工顺序以及安全措施等关键要素^[2]。同时, 为了确保方案的可行性和有效性, 还需要对方案进行反复论证和优化, 必要时可以邀请专家进行评审和指导。

2.3 施工队伍的组织与培训

施工队伍的组织与培训是确保加固施工质量的关键环节。一支经验丰富、技术熟练的施工队伍是保证加固工程顺利进行和加固效果达到预期的重要保障。因此, 在施工队伍的选择上, 应优先考虑具有类似工

程经验的专业团队。同时,为了进一步提高施工队伍的技术水平和安全意识,还需要在施工前对施工人员进行系统的培训和指导。培训内容应包括加固施工的基本流程、关键技术、安全操作规程以及应急处置措施等。通过培训,使施工人员能够熟练掌握加固施工的各项技能,提高施工质量和效率,同时确保施工安全。

3 水闸加固施工的关键技术

3.1 地基处理技术

1. 地基加固的原理与方法。地基加固的原理主要是通过对地基进行改良或增强,以提高其承载力和稳定性。常见的地基加固方法包括注浆加固、桩基加固、换填加固等。注浆加固是通过向地基中注入高强度浆液,填充地基中的空隙和裂缝,从而提高地基的密实度和承载力。桩基加固则是通过在地基中设置桩基,将上部荷载传递到深层稳定的土层中,以减小地基的沉降和变形。换填加固则是将地基中承载力较低的土层挖除,换填承载力较高的材料,以提高地基的整体稳定性。

2. 地基渗漏的处理措施。地基渗漏是水闸加固中常见的问题之一,它会导致地基的失稳和破坏。为了处理地基渗漏,可以采取多种措施。首先,可以通过注浆或设置防渗墙等方法,对地基中的渗漏通道进行封堵。其次,可以在水闸的上下游连接段设置防渗层,以阻止水流通过地基向下游渗漏。此外,还可以通过调整水闸的运行方式,如降低水位、控制流量等,以减少地基的渗漏压力。

3. 地基稳定性的提升策略。提升地基稳定性是水闸加固施工的重要目标之一。为了实现这一目标,可以采取多种策略。首先,可以通过加固地基的深层土层,如设置深层搅拌桩、深层注浆等,以提高地基的整体承载力。其次,可以通过增加水闸与地基之间的摩擦力或粘聚力,如设置抗滑桩、抗滑键等,以提高水闸的抗滑稳定性。此外,还可以通过优化水闸的结构设计,如增加闸室的宽度和高度、调整闸门的开启方式等,以减小地基的受力和变形,从而提高地基的稳定性。

3.2 闸门维修与加固技术

1. 闸门老化现象的分析。闸门在长期运行中,会受到水流冲刷、腐蚀、磨损以及温度应力等多种因素的影响,导致闸门出现老化现象。这些老化现象主要表现为闸门材质退化、结构变形、密封性能下降等。例如:金属闸门可能会因腐蚀而出现锈蚀、穿孔等问题;而木质闸门则可能因长期浸泡在水中而膨胀、变形。闸门的老化不仅会影响其正常运行,还可能对水闸的整体安全构成威胁。

因此,对闸门的老化现象进行深入分析,是制定维修与加固方案的前提^[3]。

2. 闸门维修加固的方法。针对闸门的不同老化现象,可以采取多种维修与加固方法。对于金属闸门,可以采用打磨、喷砂、防腐涂料处理等方法去除锈蚀,恢复其表面光洁度和防腐性能;对于结构变形严重的闸门,可以采用焊接、热矫正或机械矫正等方法进行修复。对于木质闸门,则需要定期更换腐朽部分,并使用防腐剂进行处理。此外,还可以对闸门进行整体加固,如增加支撑结构、调整闸门启闭机构等,以提高其承载能力和稳定性。在维修与加固过程中,应严格遵守相关技术标准和规范,确保维修与加固质量。

3. 预备工作闸槽的设置。在进行闸门维修与加固之前,通常需要设置预备工作闸槽。预备工作闸槽是在原闸门槽的基础上,预留出一定的空间,用于安装临时闸门或检修闸门。设置预备工作闸槽的目的是在水闸维修与加固期间,能够保持水流的正常调控,避免对下游造成不利影响。预备工作闸槽的设置应根据水闸的实际运行情况和维修与加固方案进行具体设计,确保其尺寸、位置和材料满足使用要求。同时,在预备工作闸槽的使用过程中,应定期检查其稳定性和密封性能,确保其能够正常工作。

3.3 防水防渗技术

1. 防水防渗材料的选择。防水防渗材料的选择直接关系到防水效果和使用寿命。常见的防水防渗材料包括防水材料(如防水卷材、防水涂料)、防渗材料(如防渗土工布、防渗膜)以及配套的密封材料(如止水带、密封胶)。在选择时,需考虑材料的耐久性、抗渗性、适应变形能力以及与闸体结构的兼容性。例如:防水卷材和涂料应具有良好的耐候性和耐水性,能够适应闸体因温度变化、水位波动而产生的微小变形;防渗土工布和防渗膜则应具有高强度和良好的密封性,能够有效阻止水流渗透^[4]。此外,还应考虑材料的成本、施工便捷性和环保性能,综合选择最适合的防水防渗材料。

2. 防水防渗施工的方法。防水防渗施工的方法因材料类型和施工条件而异。一般来说,防水材料的施工包括基层处理、材料铺设、接缝处理和保护层施工等步骤。例如:防水卷材通常采用热熔焊接或冷粘贴的方式进行接缝处理,以确保接缝的密封性;防水涂料则需通过多层涂刷,形成连续的防水层。防渗材料的施工则更注重与基础土层的紧密结合和密封处理。如防渗土工布需与基础土层进行压实处理,形成紧密的防渗屏障;防渗膜则需通过专用的焊接设备,将膜片之间的接缝进行焊接,确保防渗效果^[5]。在施工过

程中,应严格遵守施工工艺和操作规程,确保施工质量。

3. 防水防渗效果的检测与评估。防水防渗效果的检测与评估是确保施工质量的重要环节。检测与评估的方法包括现场观察、水压试验、电渗透试验等。现场观察主要用于检查防水防渗材料的铺设情况、接缝的密封性以及保护层的完整性;水压试验则是通过向闸体内充水,观察是否有渗漏现象发生,以评估防水防渗效果;电渗透试验则是利用电场作用,检测材料内部的渗透性能。通过综合运用这些检测与评估方法,可以及时发现和处理施工中存在的问题,确保防水防渗效果达到预期。同时,检测与评估结果还可为后续的维护和保养提供重要参考。

4 水闸加固施工的质量控制与安全管理

4.1 施工质量控制

1. 施工质量标准的制定。施工质量控制的首要任务是制定明确、具体的施工质量标准。这些标准应涵盖水闸加固施工的各个方面,包括材料质量、施工工艺、技术要求等。制定施工质量标准时,应参考国家相关规范和标准,结合工程实际情况,确保标准的科学性、合理性和可操作性。同时,标准应明确质量验收的方法和标准,为后续的质量验收与评定提供依据。

2. 施工过程的监督与检查。施工过程的监督与检查是确保施工质量的重要手段。在施工过程中,应设立专门的质量监督机构或人员,对施工现场进行定期或不定期的巡视检查。检查内容应包括材料质量、施工工艺执行情况、施工进度等。对于发现的问题,应及时提出整改意见,并跟踪整改情况,确保问题得到有效解决。同时,应建立质量记录制度,对施工过程中的质量情况进行详细记录,为后续的质量验收与评定提供数据支持。

3. 施工质量的验收与评定。施工质量的验收与评定是施工质量控制的重要环节。在工程完工后,应按照施工质量标准和验收规范,对工程质量进行全面检查。检查内容应包括材料质量、结构尺寸、施工精度、防水防渗效果等。对于不符合标准的部分,应要求施工单位进行整改,直至达到标准要求。同时,应组织专家进行质量评定,对工程质量进行全面、客观的评价,确保工程质量符合设计要求和相关规范。

4.2 施工安全管理

1. 安全管理制度的落实。施工安全管理的基础是落实安全管理制度。在施工前,应制定详细的安全管理计划和措施,明确各级人员的安全职责和权限。同时,应建立健全的安全管理制度,包括安全生产责任制、

安全教育培训制度、安全检查制度等。这些制度应得到全体施工人员的认可和遵守,确保施工过程中的安全可控。

2. 施工安全隐患的排查与整改。施工安全隐患的排查与整改是预防安全事故的重要措施。在施工过程中,应定期组织安全检查和隐患排查工作,对施工现场进行全面、细致的检查。检查内容应包括施工设备、施工环境、施工人员行为等。对于发现的安全隐患,应立即进行整改,并跟踪整改情况,确保隐患得到彻底消除。同时,应建立安全隐患记录制度,对隐患的发现、整改和消除情况进行详细记录,为后续的安全管理提供参考。

3. 施工安全事故的应急处理。施工安全事故的应急处理是保障施工安全的重要环节。在施工前,应制定详细的安全事故应急预案,明确应急组织机构、应急措施和应急资源等。同时,应定期组织应急演练活动,提高全体施工人员的应急反应能力和自救互救能力。在发生安全事故时,应立即启动应急预案,组织救援力量进行紧急救援和处理,最大限度地减少人员伤亡和财产损失。同时,应对事故原因进行深入分析,总结经验教训,完善安全管理措施,防止类似事故再次发生。

5 结束语

水闸加固施工是一项复杂而重要的工程任务,其成功实施不仅关系到水闸的长期稳定运行,还直接影响到下游地区的安全与经济发展。通过本文的详细探讨,我们认识到在水闸加固施工中,必须高度重视关键技术的选择和应用,确保施工质量符合相关标准和规范要求。同时,加强安全管理,落实各项安全措施,是保障施工安全、减少事故风险的关键。未来,随着技术的不断进步和经验的积累,水闸加固施工的技术和管理水平将进一步提升,为水利工程的可持续发展提供更加坚实的保障。

参考文献:

- [1] 李波.水闸施工技术在水利水电工程中的运用探讨[J].城市建设理论研究(电子版),2024(20):214-216.
- [2] 房晓明,刘宝奎.水利建设中泵站水闸的施工技术研究[J].大众标准化,2024(13):27-29.
- [3] 卢勇,王志敏,赵紫辰.内河航运枢纽船闸水闸同步施工导流方案仿真分析[J].水运工程,2024(07):201-209.
- [4] 马国兴.新型混凝土在水库水闸施工中的应用与效果评估[J].散装水泥,2024(03):73-75.
- [5] 张思蜜.强透水地基上水闸底板施工的新方法[J].水上安全,2024(11):37-39.

高支模混凝土浇筑工艺及质量控制研究

陈泰成¹, 覃庆湖²

(1. 云之龙咨询集团有限公司, 广西 南宁 530201;
2. 广西云之龙工程检测有限公司, 广西 南宁 530201)

摘要 高支模混凝土浇筑因其结构的复杂程度以及施工要求的严格程度, 成为影响工程质量与安全性的重要部分, 本文阐述了高支模的定义以及特点, 分析了不同的支模类型及其适用情况, 探讨了高支模混凝土浇筑的施工流程, 并研究了高支模混凝土浇筑过程中的质量控制要点, 以期能为有效地提升高支模混凝土结构的稳定性以及耐久性提供借鉴, 以此保证高支模混凝土施工质量以及结构安全。

关键词 高支模混凝土浇筑; 支模结构; 质量控制; 施工参数

中图分类号: TU755.2

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.17.032

0 引言

高支模混凝土浇筑在高层建筑、桥梁以及复杂结构施工中被广泛应用, 其施工精度与质量对工程的安全性和耐久性有直接影响。由于高模结构要承受较大荷载, 在施工过程中面临支模稳定性、混凝土均匀性以及施工环境影响等诸多挑战, 需要对高模混凝土浇筑的施工工艺以及质量控制方法展开深入研究^[1]。本文对高支模的基本概念、支模方式以及浇筑特点进行系统分析, 探讨施工流程中的关键技术环节, 并针对材料质量、支模稳定性、施工参数以及后期养护等方面提出优化措施, 为实际工程提供参考, 保证施工质量和结构安全。

1 高支模混凝土浇筑的定义与特点

1.1 高支模的基本概念与分类

高支模是一种用于大跨度、高层建筑或者桥梁施工的模板支撑体系, 它的主要作用是在混凝土浇筑时提供稳定的承载支撑, 保证混凝土结构的形态以及尺寸精度。该技术依靠支撑架、模板系统以及安全防护措施的合理配置, 让混凝土结构在成型时保持良好的稳定性与均匀性。在工程实际操作中, 高支模根据施工环境、承载需求以及结构形式分成不同的类别。按照高度标准, 一般会把高于特定范围的支模系统归为高支模, 常见的高度划分标准一般是超过一定米数的支撑结构, 依据支撑方式不同, 可分为扣件式钢管支架、碗扣式支架、盘扣式支架等类型, 每种形式在荷载分布、施工便捷程度以及适用场景方面有着不同的特点。结合具体施工需求, 还可依据材料分类, 包括钢模板、木模板以及组合模板, 不同材料在刚度、耐久性以及施工便捷性方面存在差异。

1.2 高支模混凝土浇筑的主要特点

高支模混凝土浇筑有多方面特点, 因其施工条件独特且技术要求特殊, 该工艺涉及较高支撑体系。施工时承受较大荷载, 支模系统强度与稳定性对整体施工安全有直接影响。受力传递路径长, 支架体系施工中需有较强抗侧向稳定性, 防止局部失稳或整体坍塌。施工高度大, 混凝土运输、浇筑及振捣过程面临较大技术挑战, 泵送高度、流动性控制及浇筑速度方面, 需采取合理措施保证混凝土均匀填充模板并有效排除气泡。施工环境复杂, 高支模体系常用于高层建筑、桥梁或特殊结构施工, 受风荷载、温度变化及地面不均匀沉降等因素影响大, 对支撑系统设计与施工要求更高。

2 高支模混凝土浇筑工艺的实施流程

在高支模混凝土浇筑的整个过程中, 施工的各个不同阶段紧密相连, 每一个环节的失误都可能引发结构质量出现下降或者产生施工安全方面的隐患。为了切实保证施工可顺利推进, 需要从浇筑前的准备工作、施工过程中的技术把控以及浇筑完成后的质量保障等诸多方面开展全面且系统的管理工作。

2.1 浇筑前准备阶段的工艺设计与支模施工

在高支模混凝土开始浇筑之前, 合理的工艺设计以及支模施工是保证结构安全以及施工质量的重点。施工之前要开展详细的现场勘察工作, 仔细分析地基承载能力、施工环境以及周边结构情况, 确定适宜的支模方案。依据结构高度以及荷载要求, 选择合适的支模系统, 并且针对支撑架、立柱、横梁等构件展开受力计算, 保证整体稳定性。工艺设计结束后, 支模

施工的首要步骤是测量放线，保证支架的布置符合设计要求，同时进行基础处理，提升支撑系统的抗滑移以及抗沉降能力。在支架搭设的过程中，需要保证构件连接紧密，节点稳固，并且在关键部位增设斜撑和剪刀撑，提高整体抗侧向稳定性。模板安装时，应当采用强度和刚度符合规范的材料，并且保证拼缝严密，避免混凝土浇筑时出现漏浆情况。支模完成以后，还需要进行全面的检查，包括模板标高、垂直度、承载力验算以及连接部位的紧固性，保证整体结构达到设计要求^[2]。

2.2 高支模混凝土浇筑的操作步骤与技术要点

施工前，要对支模系统的稳定性展开检查，保证各个连接部位处于紧固状态，同时清理模板内部的杂物，防止对混凝土成型质量产生影响。在混凝土浇筑的过程中，要依据施工高度以及结构特点，合理选择浇筑方式，一般采用泵送或者吊斗的方式来进行浇筑。浇筑过程中，要保证混凝土供应连续性，防止出现冷缝，并且严格把控浇筑厚度，避免超负荷荷载给支架系统带来影响。振捣作业需合理安排振捣点，运用插入式振捣器逐层进行振捣，保证混凝土密实程度，防止出现蜂窝、空洞等质量方面的缺陷。在大体积混凝土施工时，还需要采取合理的温控措施，减少水化热所产生的影响，防止裂缝出现。施工过程中，要安排专门人员监测混凝土坍落度、入模温度以及环境湿度等参数，保证浇筑质量符合设计要求。

2.3 浇筑过程中支模结构的安装与混凝土浇筑

当支模安装工作完成后，需要针对支撑系统开展预压试验，其目的在于检验整体的受力状态，同时对局部构件进行调整，让支架体系在混凝土浇筑的过程中均匀地承受荷载。在进行混凝土浇筑时，应当遵循分层、分区以及对称的施工原则，保证荷载可均匀地施加于支架系统上，防止出现局部受力过大使支模发生变形的情况。在高层或者大跨度施工的情况下，混凝土输送应当采用高压泵送方式，并且结合施工现场的具体条件合理布置浇筑点，减少混凝土在输送过程中出现离析现象。在浇筑过程中，振捣棒的插入深度以及移动速度都需要进行严格的控制，防止由于过度振捣而造成骨料分离，或者由于振捣不足而形成孔洞。在浇筑过程中，还需要密切监测支模系统的受力情况，如果发现有异常位移或者变形，应当立刻采取措施进行加固，保证施工安全。

2.4 浇筑后的质量检查与养护

当混凝土浇筑完毕后，质量检查以及养护能够保

障结构强度与耐久性。检查工作包括混凝土表面质量、结构尺寸偏差以及内部缺陷检测等方面，需要借助目测、尺量以及无损检测等方式展开全面评估，混凝土初凝后，需检查表面平整度，针对出现裂缝或者局部缺陷的部位及时进行修补。为促使混凝土强度均匀增长，养护措施应当及时落实到位，一般采用洒水、覆盖湿麻袋或者喷涂养护剂等措施，维持混凝土表面处于湿润状态。在大体积混凝土施工过程中，还需要采取温度控制措施，降低内外温差，避免因温差收缩导致裂缝产生，养护期间，要定期检测混凝土强度发展状况，并依据环境温度与湿度对养护周期进行调整，保证结构达到设计强度^[3]。

3 高支模混凝土浇筑中的质量控制要点

在高支模混凝土施工过程中，质量控制广泛存在于材料选择、支模系统稳固性、施工参数调节以及后期养护等众多环节中，各个环节均要严格依照标准规范执行，保障结构的安全性能与耐久性能。

3.1 混凝土材料的质量控制与检验标准

水泥的强度等级、细度以及凝结时间需要符合设计要求，骨料的粒径、级配以及含泥量要复合施工规范，外加剂的种类与掺量应经试验确定，保障混凝土的工作性能。混凝土的配合比要依据施工环境以及结构特点进行优化，保证拌合物的流动性、粘聚性和保水性符合施工要求。在生产过程中，搅拌工艺对混凝土质量影响较大，搅拌时间、搅拌速度以及投料顺序需严格把控，保证拌合均匀度。在混凝土运输阶段，运输时间与环境温度需进行留意，防止长时间停滞或者高温环境使混凝土坍落度损失。施工现场要对混凝土的和易性、坍落度、含气量等指标开展检测，并且定期做抗压强度试验，保证混凝土达到设计要求。在浇筑过程中，混凝土的振捣时间以及振捣方式需合理控制，保证结构密实性，降低孔隙率，提升耐久性^[4]。

3.2 支模系统安装与支撑结构的稳定性控制

支模系统的安装质量对于整体结构的稳定性以及施工安全起着决定性作用。支模系统开展设计工作时，要全面考量荷载情况、支撑间距以及施工荷载的传递路径，保证整体受力均匀。支模安装之前，要对支撑部位的地基进行夯实处理，并且铺设垫板或者钢板，防止出现沉降或者位移的情况。支模架体进行搭设时，立杆、横梁以及斜撑的连接方式要符合设计要求，连接节点的紧固性以及承载力要经计算验证。安装完毕后，对支模系统的垂直度、水平度以及整体刚度开展检测工作，并设置限位装置，防止在施工过程中出现

滑移或者倾斜现象。在混凝土浇筑过程中,支模体系的稳定性要进行实时监测,施工荷载需要均匀分布,防止局部受力过大造成支架失稳。浇筑完成后,模板拆除时间要依据混凝土强度增长情况进行控制,避免由于拆模过早使结构变形或者开裂。在整个施工过程中,支模体系的质量控制要贯穿于设计、安装、施工以及拆除各个阶段,保证整个施工过程的安全性和可靠性。

3.3 浇筑过程中混凝土施工参数控制

在混凝土浇筑过程中,施工参数要依据结构特点、环境条件以及材料性能合理把控,保证混凝土的密实程度、均匀状况以及强度发展态势。拌合物的坍落度直接对施工操作性造成影响,数值如果过大容易引发离析现象,数值如果过小则可能使施工难度加大,需

要依据施工要求进行实时调节。振捣过程中,振捣棒的插入深度、振捣间距以及振捣时间都需要严格把控,防止因振捣不充分而使孔隙率增加,或者因振捣过度而引发离析问题。分层浇筑的厚度要与振捣能力相匹配,过厚会让内部混凝土振捣不充分,过薄又会影响施工效率^[5]。在施工过程中,混凝土的入模温度对最终强度和耐久性产生作用,温度高可能会加速水化反应,导致早期收缩裂缝出现,温度低则可能会降低水化速率,使强度发展受到妨碍。合理控制各项施工参数(见表1),可有效提高混凝土的施工质量,保障结构的安全性和耐久性。

3.4 混凝土浇筑后的养护与质量监控措施

在混凝土浇筑完毕之后,合理的养护措施能够降

表1 混凝土浇筑过程中关键施工参数控制

控制参数	适宜范围	影响因素	备注
坍落度(mm)	120 ~ 180	水灰比、外加剂	过大易离析,过小不利于施工
振捣时间(s)	5 ~ 15	混凝土黏度、振捣工具	过长易离析,过短影响密实性
振捣间距(cm)	30 ~ 50	振捣棒直径、层厚	确保相邻区域振捣均匀
分层厚度(cm)	30 ~ 50	振捣能力、坍落度	过厚不易振实,过薄影响施工效率
入模温度(°C)	10 ~ 25	环境温度、运输时间	过高加速水化,过低影响强度发展

低裂缝的产生概率,提升混凝土的整体性能。水化反应持续不断地进行,依赖于适宜的湿度以及温度条件,洒水养护是一种较为常见的养护方式,它依靠维持混凝土表面处于湿润状态,减少水分的蒸发,避免表层过早干燥引发裂缝。覆盖养护选用湿草袋、塑料薄膜等材料覆盖混凝土表面,形成稳定的湿度环境,提高养护效果。蒸汽养护适用于预制构件或者冬季施工环境,它凭借提供合适的温度以及湿度,加快水化反应的过程,缩短养护周期。养护时间依据混凝土的强度发展要求确定,普通硅酸盐水泥混凝土一般养护7天,如果处于低温环境或者是大体积混凝土,则需要延长养护时间。质量监控贯穿于整个养护周期,强度检测是其中主要手段之一,常用的试块养护是与现场混凝土同步开展的,借助抗压试验评估实际强度的发展情况。表面硬度测试用于判断混凝土早期的硬化情况,红外成像技术可以监测混凝土内部的温度分布,防止由于温差过大而导致裂缝产生。裂缝的宽度、长度以及分布情况都需要定期进行检测,并且要采取必要的修补措施,防止结构耐久性下降。合理地制定养护方案以及质量监控措施,并结合实际施工环境进行调整,能够保证混凝土结构的长期稳定性,提高工程质量^[6]。

4 结束语

高支模混凝土浇筑施工属于工程环节中技术要求较高且安全风险较大的一项工作,通过优化支模系统设计、合理选择混凝土材料、严格把控施工参数以及强化浇筑后养护等方式,可以切实提升结构质量与施工安全性。科学合理的施工流程以及严格的质量控制措施对保障高支模混凝土结构的稳定性而言非常关键。

参考文献:

- [1] 张云显.高支模混凝土大梁模板支撑体系施工研究[J].中国建筑金属结构,2025,24(04):19-21.
- [2] 姚爱生.复杂条件下高支模施工技术[J].浙江建筑,2024,41(03):57-60.
- [3] 蔡震,刘彪,周前明,等.高支模施工技术在房建工程施工中的实践研究[J].中国建筑装饰装修,2024(21):126-128.
- [4] 王娅璞,胡雪垠,林志平,等.大跨度高支模型钢混凝土梁施工技术[J].工程建设与设计,2022(20):120-122.
- [5] 许德海.大型框架结构高支模安装施工技术[J].广东建材,2023,39(10):119-122.
- [6] 郑磊,陈俊同,张杰.关于建筑工程中高支模施工工艺及施工技术探讨[J].中国住宅设施,2022(02):160-162.

给排水管道穿越道路的技术 难点与解决方案研究

周嘉豪

(济南水务集团普利供水工程有限公司, 山东 济南 250000)

摘要 随着国内地铁车辆段建成数量的增多, 对车辆段的改建、扩建工程也随之增多。在车辆段改建、扩建工程中, 给排水管道穿越既有轨道及道路的工程难度日益复杂。既有轨道涉及列车的运营安全, 既有道路下方管线复杂, 给排水管道穿越既有轨道和道路时, 选择合适的技术方案至关重要。本文指出在给排水管道穿越施工中需重点解决地下水控制、软土地基处理、既有管线避让等技术难点, 采用科学合理的施工工艺和有效的控制措施, 确保工程施工质量和安全。

关键词 给排水管道穿越; 施工方案; 顶管技术; 管道铺设

中图分类号: TU991; TU992

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.17.033

0 引言

给排水管道穿越道路施工是城市基础设施建设中的重要环节, 施工过程中面临诸多技术难点, 在城市道路交通日益繁忙的背景下, 传统开挖施工方式已难以满足施工需求。近年来, 非开挖施工技术得到广泛应用, 但在实际施工过程中仍存在诸多挑战。通过对给排水管道穿越道路施工技术难点的分析, 结合工程实践经验, 探索可行的解决方案, 对提高施工效率、保障工程质量具有重要意义。

1 给排水管道穿越道路施工准备工作

1.1 施工现场勘察与地质条件分析

施工现场勘察是给排水管道穿越道路施工的重要前提, 需对穿越区域进行详细的工程地质勘察。在进行地质勘察时, 采用钻探、静力触探等方法获取地层分布数据, 测定土层物理力学性质指标。根据工程经验, 勘察深度应达到管道底部以下 3 m 范围内以全面掌握施工区域地质情况, 地质勘察结果显示, 施工区域表层为 0~2 m 黏土层, 地下水位埋深在 2.5~3 m, 中层为 3~5 m 砂卵石层, 下层为 5~8 m 强风化岩层。对现场地下管线进行探测, 记录各类管线的空间位置、埋深及管径等参数, 绘制地下管线综合图, 标注重要管线节点, 结合地质情况及现场实际条件, 对管道穿越施工可能存在的地质障碍进行分析, 制定相应预防措施, 为后续施工方案制定提供可靠依据^[1]。

1.2 管道穿越施工工艺选择

管道穿越施工工艺选择需综合考虑地质条件、施工环境、工期要求等因素, 根据地质勘察资料, 结合

施工现场条件, 确定适宜的施工工艺。当穿越段管径小于 DN600, 且地质条件较好时, 采用水平定向钻进工艺; 当管径在 DN600-DN1200 之间时, 宜选用顶管工艺; 当管径大于 DN1200 时, 可考虑采用盾构工艺, 在砂卵石层中进行穿越施工, 需选用适应性强的刀具并采取有效的护壁措施。针对地下水位较高的特点, 制定合理的降水方案, 选择合适的止水工艺, 对于软土地层, 需采取加固措施, 确保施工过程中地层稳定, 考虑到施工工期及成本因素, 制定切实可行的施工组织方案, 合理安排各工序之间的衔接, 提高施工效率。

2 给排水管道穿越道路施工技术难点

2.1 既有管线避让技术

道路下方复杂的地下管线环境对给排水管道穿越施工带来巨大挑战, 在施工区域内存在供水、排水、燃气、电力、通信等多种地下管线, 这些管线交错分布, 空间位置关系复杂。为确保施工安全, 需采用精确定位技术对既有管线进行探测, 准确掌握管线的空间分布情况, 在探测基础上, 运用三维建模技术建立管线综合模型, 分析新建管道与既有管线的位置关系, 确定合理的避让方案, 管线探测采用多频管线探测仪, 探测深度可达 4 m, 定位精度 ± 100 mm。对于金属管线, 采用电磁感应法探测; 对于非金属管线, 采用探地雷达法探测, 探测结果采用差分 GPS 定位, 建立管线信息数据库, 当管道垂直净距小于 300 mm 时, 需对既有管线采取临时支护措施, 包括钢板支撑、混凝土支墩等, 对于重要管线, 在施工过程中需实时监测管线位移情况, 位移量控制在 ± 20 mm 范围内。对于不同类型管

线制定专门的保护方案,高压电缆采用钢筋混凝土槽保护,槽深600 mm,槽宽400 mm;燃气管道采用钢板防护,钢板厚度12 mm,搭接长度不小于1 m;光缆采用套管保护,套管采用DN200钢管,管壁厚度6 mm,当管道水平净距不足时,可采用局部改线方式,调整新建管道线位,确保与既有管线保持安全距离。在管线交叉处设置警示标志,标明管线类型、埋深、管径等信息,施工前对重要管线进行验证性探测,绘制管线断面图,标注管线交叉点高程关系,施工时严格按照规范要求进行管线保护,制定应急预案,配备管线抢修材料和设备,确保施工安全^[2]。

2.2 地下水控制技术

地下水是给排水管道穿越施工的主要难点之一,特别是在地下水位较高的地区,施工过程中地下水的涌出会导致基坑失稳、管道浮动等问题。降水方案的选择需根据地质条件和施工工艺确定,在砂性土层中宜采用真空降水技术,设置降水井间距15~20 m;在粘性土层中可采用轻型井点降水,井点间距控制在1.5~2 m,降水深度应超过管道底部1.5 m,形成稳定的降水斗,避免发生管沟涌水现象。降水井深度需达到设计开挖面以下2 m,井管采用DN200PVC管,滤水管段长度4 m,滤孔率25%,在降水过程中需密切监测地下水位变化,防止产生地面沉降,对于降水井的布置,采用三角形或梅花形布置方式,确保降水效果均匀。

降水系统除主井外还需设置观测井,观测井间距30 m,采用自动水位计进行连续监测,数据采集间隔4 h,真空泵站选用功率15 kW水环式真空泵,工作真空度维持在0.06 MPa,配置1台备用泵,降水过程中需注意控制降水速率,初期降水速率控制在150 mm/d,稳定后可提高至300 mm/d。针对基坑开挖面渗水,设置排水沟和集水井,集水井尺寸800×800 mm,间距20 m,采用潜水泵抽排,降水施工前需进行抽水试验,确定合理的降水参数并制定应急预案,防止突发性涌水,止水帷幕采用高压旋喷桩,桩径600 mm,搭接长度200 mm,确保止水效果。

2.3 软土地基处理技术

软土地基具有承载力低、压缩性高、强度差等特点,在给排水管道穿越施工中极易引起管道沉降变形。针对软土地基,采用水泥搅拌桩进行地基加固处理,搅拌桩直径600 mm,桩长根据软土层厚度确定,一般为6~8 m,桩距1.2~1.5 m,在管道基础处理中开挖至设计标高后铺设200 mm厚级配碎石,再浇筑150 mm厚C20混凝土垫层,形成稳定的管道基础。在软土层较厚区域,采用管桩复合地基形式,桩基选用PHC管桩,桩径400 mm,桩长12 m,桩距2 m,呈梅花形布置,

桩顶设置300 mm厚碎石垫层,起到调平和桥接作用,提高复合地基的整体性和均匀性。

对于局部软弱地基,采用土工格栅加固技术,铺设双向拉伸土工格栅,规格为30×30 kN,上下铺设两层,每层搭接长度不小于300 mm,在软土段管道铺设过程中严格控制回填材料含水量,采用分层夯实,每层厚度控制在250 mm,压实度不低于93%。软土地基处理还需注意季节性施工要求,雨季施工时设置临时排水沟,沟深500 mm,底宽300 mm,采用5%坡度排水,基坑开挖时分段进行,每段长度控制在30 m,随挖随处理,避免基坑长时间暴露,基坑支护采用钢板桩支护,桩长8 m,间距1 m,打入深度不小于基坑深度1.5倍,确保基坑稳定性^[3]。

2.4 管道连接与防腐技术

管道连接质量直接影响管道系统的整体性能和使用寿命。在球墨铸铁管连接中采用承插式橡胶圈接口,橡胶圈选用丁腈橡胶材质,确保密封性能,管道对接前进行端部清理,去除油污和杂物,涂抹专用润滑剂,插入深度应符合设计要求,钢管采用焊接连接,焊缝采用双面焊,焊接前对管道端部进行坡口加工,坡口角度60°,钝边2 mm。防腐层选用环氧煤焦油防腐,内外防腐层厚度均不小于400 μm,做好防腐层搭接处理,管道连接完成后进行X射线探伤检测,确保焊缝质量达到II级标准,在易受腐蚀地段设置阴极保护装置,采用牺牲阳极法,阳极材料选用镁合金。

2.5 施工监测与变形控制

给排水管道穿越施工过程中需建立完善的监测系统,实时掌握地面沉降、管道变形等参数。在施工影响范围内布设沉降观测点,间距20 m,采用精密水准仪进行测量,沉降控制值为30 mm,对管道轴线偏差进行控制,水平偏差不超过50 mm,高程偏差控制在±30 mm范围内,在既有建筑物周边设置倾斜观测点,采用倾斜仪监测建筑物倾斜变形,倾斜率控制在0.3%以内。利用全站仪对管道贯通度进行测量,确保管道线形平顺,在软土地段加密监测频率,每天测量2次,发现异常及时采取措施,建立监测数据分析系统,绘制沉降曲线,预测变形发展趋势,为施工调整提供依据。

3 给排水管道穿越道路施工解决方案

3.1 定向钻进施工技术

定向钻进施工技术具有对地面扰动小、施工速度快等优点,适用于小口径给排水管道穿越施工,定向钻进施工采用三步法完成穿越:导向孔钻进、扩孔和管道回拖,导向钻机选用60 t钻机,钻具选用Φ89 mm导向钻杆,泥浆泵流量120 L/min,泥浆压力2.5 MPa。

钻进过程中保持钻具转速 1 200 r/min, 钻进速度控制在 15 m/h, 确保钻进轨迹平顺, 扩孔采用逐级扩孔方式, 扩孔器直径依次为 300 mm、450 mm、600 mm, 扩孔时反复推拉, 形成规则的孔壁。扩孔完成后进行管道回拖, 回拖速度控制在 8 m/h, 避免管道损伤, 回拖过程中保持钻杆转速 800 r/min, 泥浆循环畅通, 确保孔壁稳定, 泥浆配比采用膨润土 2.5%、CMC0.2%、水 97.3%, 泥浆比重 1.15 ~ 1.20, 粘度 45~50s^[4]。

3.2 顶管施工技术

顶管施工技术适用于中等口径给排水管道穿越施工, 具有施工精度高、对地面影响小等特点, 顶管施工前需修建工作井和接收井, 工作井尺寸为 4×6 m, 接收井尺寸为 3×4 m, 井壁采用钢筋混凝土结构。顶进设备选用 200 t 油压千斤顶, 行程 600 mm, 设置中继间距 60 m, 管节采用钢筋混凝土管, 管壁厚度 200 mm, 管节长度 2.5 m, 接口采用橡胶圈密封, 顶进过程中密切观察顶力变化, 当顶力超过 180 t 时, 启动中继间顶进。测量系统采用激光导向仪, 接收靶设置间距 30 m, 实时监控管道轴线偏差, 注浆采用双液注浆, 注浆压力 0.2 ~ 0.3 MPa, 注浆量为理论超挖体积的 1.2 倍, 注浆材料选用水泥浆, 水灰比 0.5, 添加 0.5% 减水剂, 确保充填密实^[5]。

3.3 盾构施工技术

盾构施工技术适用于大口径给排水管道穿越施工, 具有施工安全性高、精度控制好等优势, 盾构机选型根据地质条件确定, 在复合地层中选用复合式土压平衡盾构机, 刀盘开口率 35%, 刀具材质选用耐磨合金钢。盾构始发前需做好始发井加固, 采用三轴搅拌桩加固, 搅拌桩直径 800 mm, 桩距 600 mm, 形成止水帷幕, 盾构掘进速度控制在 20 mm/min, 刀盘转速 2 r/min, 确保土仓压力稳定在 0.2 ~ 0.3 MPa。管片选用钢筋混凝土管片, 管片厚度 350 mm, 环向分块采用 6+1 模式, 管片间采用弹性防水密封条, 管片拼装采用真空吸盘法, 螺栓选用 M30 高强螺栓, 紧固扭矩 600 N·m, 同步注浆采用双液注浆系统, 注浆压力 0.3 ~ 0.4 MPa, 注浆材料选用水泥基注浆料, 确保充填密实^[6]。

3.4 管道铺设工艺优化

管道铺设工艺优化是提高施工质量和效率的关键环节, 管道基础采用改良土基础, 原土与级配碎石按 4:6 比例拌合, 含水量控制在 12% ~ 15%, 分层碾压, 每层厚度 200 mm。管道吊装采用双机抬吊法, 主吊选用 25 t 汽车吊, 副吊选用 16 t 汽车吊, 吊装时采用专用吊带, 确保管道平稳就位, 管道连接采用新型柔性接头, 接头材质为三元乙丙橡胶, 耐压强度 2.0 MPa, 使用寿命 50 年^[7]。管道回填采用分层回填法, 回填材料选

用细砂, 含水量 8% ~ 12%, 压实度达到 95%, 在管道转弯处采用整体预制异型管, 曲率半径不小于管径的 5 倍, 确保管道线形顺畅, 管道防腐采用环氧树脂防腐, 内外防腐层厚度 500 μm, 防腐层附着力达到 4 MPa^[8]。

3.5 管道质量问题

材料直接关系到市政给排水管道工程的施工质量, 也是施工管理的重点, 一些施工单位为了节省成本投入, 选择质量较差的管道材料进行施工。或者一些施工单位在材料采购过程中没有做好采购管理, 导致采购劣质材料。这些问题都会影响最终建设水平, 这也是经常出现的施工问题。管道材料质量问题施工管理的关键, 施工单位需要在管理体系建设过程中将其列为重点内容。但是由于部分施工单位的主要领导忽视这项工作, 并未组织相关工作人员进行管控, 许多管理制度流于形式, 无法达到真实的效果, 这种问题如果不及时解决, 不仅会影响市政给排水管道工程施工质量, 还会影响施工单位未来发展。

4 结束语

给排水管道穿越道路施工技术是一项系统工程, 需要充分考虑地质条件、施工环境、管线分布等多方面因素, 通过对施工技术难点的深入分析采用合理的施工方案, 严格控制施工工艺, 确保施工质量。在实际施工过程中应根据具体工程特点, 选择适用的施工方案, 制定有效的技术措施, 确保工程顺利实施。随着非开挖施工技术的不断发展, 结合智能监测、信息化管理等先进技术, 给排水管道穿越道路施工将更加高效、精准。

参考文献:

- [1] 何娜. 市政雨污分流改造中的技术难点与解决方案 [J]. 前卫, 2024(22):119-121.
- [2] 罗利, 刘卫华, 童龙伟, 等. 排水管道顶管下穿城市动载道路施工技术探讨: 以什邡地区工程为例 [J]. 科技和产业, 2024,24(13):265-270.
- [3] 胡峰妹. 市政给排水施工中长距离顶管施工技术的研究与应用 [D]. 杭州: 浙江工业大学, 2019.
- [4] 赵龙芳. 道路给排水施工技术的常见问题与对策 [J]. 城市地理, 2023(22):100-102.
- [5] 叶继红. 给排水管道顶管施工关键技术 [J]. 城市住宅, 2021,28(09):183-184.
- [6] 杨泽华. 市政给排水管道穿越既有铁路技术探讨 [J]. 科技创新与应用, 2024,14(04):151-154.
- [7] 陈彬皓. 市政道路给排水管道长距离顶管施工技术研究 [J]. 中国建筑金属结构, 2024,23(04):133-135.
- [8] 何文权. 市政道路给排水管道长距离顶管施工技术研究 [J]. 工程建设与设计, 2024(19):93-95.

建筑工程施工过程中安全管理的现状与优化策略

蒋东辉

(韩大建设有限公司, 安徽 淮南 232200)

摘要 为了提升建筑工程施工过程中的安全管理水 平, 本文分析了建筑工程施工安全管理现状, 指出存在安全管理意识薄弱、安全检查流于形式、安全教育培训不足、安全设备不健全、施工环境复杂等问题, 针对这些问题提出强化安全管理意识、完善安全检查和隐患排查机制、增加安全设备投入、加强施工人员安全培训、优化施工环境管理等策略, 以期能为有效改善建筑工程施工安全管理现状、降低安全风险、保障施工安全提供有益参考。

关键词 建筑工程施工; 安全管理; 安全检查; 安全教育培训; 安全设备

中图分类号: TU714

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.17.034

0 引言

当前, 建筑工程施工过程中的安全问题严重威胁着施工人员的生命安全, 也对工程进度、企业声誉及经济效益造成负面影响。安全管理意识薄弱、检查形式主义、培训不足、设备不全以及复杂施工环境等现状问题, 使得建筑工程安全事故频发。在此背景下, 深入剖析施工安全管理问题, 并探寻切实有效的优化策略, 对保障建筑工程顺利推进、维护行业健康发展具有重要意义。

1 建筑工程施工过程中安全管理的现状问题

1.1 安全管理意识薄弱

在建筑工程领域, 安全管理意识薄弱这一问题广泛且深刻地存在。从施工企业管理者的视角来看, 部分管理者受短期利益驱动, 将主要精力集中于工程进度与成本控制, 在他们的认知体系里, 安全管理工作所耗费的人力、物力与财力投入, 并未被视为能直接带来经济效益的关键因素, 反而被看作是一种额外负担, 这致使安全管理在企业战略布局中的地位被严重边缘化。例如: 在项目规划阶段, 一些企业为降低前期投入成本, 大幅削减安全管理专项预算, 导致安全管理工作从源头上就缺乏充足的资源支持。而在基层施工人员层面, 由于大多来自流动性较强的农民工群体, 他们缺乏系统的安全知识教育与职业培训, 往往只关注当下的施工任务与薪酬获取, 对潜在安全风险的认知极为有限, 在施工过程中常因追求施工速度而忽视安全操作规程, 如不按要求佩戴安全帽、违规操作施工设备等行为屡见不鲜。

1.2 安全检查流于形式

安全检查是保证建筑工程安全管理的一项重要措施, 但在实际操作中往往流于形式。一方面, 安全检验标准本身存在着模糊和不完备性, 现行安全检验规范没有充分考虑各类建设项目的多样性和复杂程度, 有些条款规定太过笼统, 这让检查员在实际操作中难以对安全隐患的严重性和整改方向作出准确的判断。例如: 在对施工现场临时用电系统进行检查时, 只给出了电线的安全距离的大概范围, 没有准确的数值要求, 这就造成了检验人员在判断时的主观性很大。另一方面, 安全巡查工作过于注重表面形式, 检查过程大多停留在对文件资料的审核和现场走马观花的视察, 没有对施工现场存在的安全隐患进行深入细致的排查。一些企业为了应对上级检查, 甚至事先编制虚假的安全检查记录和整改报告, 使安全检查沦为走过场。

1.3 安全教育培训不足

目前, 建筑工程施工人员的安全教育培训体系存在诸多缺陷。

首先, 培训内容缺乏针对性与实用性, 未能根据不同工种、不同施工阶段以及不同施工环境的特点进行差异化设计。大多数安全教育培训课程采用统一的教材与教学模式, 对一些特殊工种, 如塔吊司机、架子工等所面临的特定安全风险与操作规范, 未能进行深入且详细的讲解, 导致施工人员在实际工作中, 对于自身岗位的安全要点认识不足^[1]。

其次, 培训方式较为单一与传统, 多以课堂讲授为主, 缺乏互动性与实践环节。这种枯燥的教学方式

难以激发施工人员的学习兴趣与积极性，使得他们在培训过程中参与度不高，对安全知识的理解与吸收效果不佳。

最后，安全教育培训的时间安排也不合理，往往集中在施工前的短暂时期，而在施工过程中缺乏持续的、定期的培训与强化，导致施工人员对安全知识的记忆逐渐淡化，在实际操作中容易出现违规行为。

1.4 安全设备不健全

建筑工程施工所需的安全设备在配备与使用方面存在严重不足。在设备配备环节，部分施工企业为降低成本，未能按照相关标准与规范为施工现场配备齐全、合格的安全设备。例如：在一些小型建筑项目中，为节省开支，施工现场的安全防护网质量低劣，无法起到有效防护作用；部分施工现场的灭火器配备数量不足，且型号不符合要求，在发生火灾时无法及时进行扑救。同时，随着建筑工程技术的不断发展与创新，新型施工工艺与设备不断涌现，但与之相配套的安全设备研发与更新却相对滞后，导致在实际施工过程中，现有的安全设备无法满足新的施工安全需求。在设备使用与维护方面，由于缺乏专业的设备管理人员与完善的设备维护制度，许多安全设备在使用过程中未能得到及时、有效的维护与保养，设备老化、损坏现象严重，如施工现场的塔吊、升降机等大型设备，因长期缺乏定期检修，部分关键零部件磨损严重，却未能及时更换，大大增加了设备在运行过程中的安全风险，极易引发安全事故。

1.5 施工环境复杂

建筑工程施工环境的复杂性是影响施工安全的重要因素之一。从自然环境角度来看，施工现场可能面临各种恶劣的自然条件，如高温、暴雨、大风、地震等极端天气，这些自然因素不仅会直接影响施工人员的身体健康与工作状态，还可能对施工设备、建筑结构等造成损坏，进而引发安全事故。例如，在高温天气下施工，施工人员容易出现中暑现象，导致工作效率下降，操作失误增多；暴雨天气可能引发施工现场的积水、滑坡等地质灾害，危及施工人员生命安全与工程结构稳定^[2]。从施工现场环境来看，建筑工程施工通常涉及多个工种、多道工序的交叉作业，施工现场人员、设备、材料等众多，空间布局复杂，作业区域狭窄，这使得施工现场的安全管理难度大幅增加。例如：在建筑主体结构施工过程中，木工、钢筋工、混凝土工等不同工种同时作业，各工种之间的施工区域相互重叠，容易因操作不当引发碰撞、坠落等安全事故。

2 建筑工程施工过程中安全管理的优化策略

2.1 强化安全管理意识

要加强建设工程建设项目的安全管理意识，需要多方合力。在高层管理层次上，要把安全管理思想深入到企业战略规划的核心，建立安全导向的企业文化。企业决策者要充分认识到安全管理不是一项可有可无的费用支出，它是一项关系到企业可持续发展的重要因素。通过定期组织高层管理人员参加安全管理专题研讨和培训，深刻认识到安全管理与经济效益的密切依存关系，项目决策时优先考虑安全管理资源的合理分配，避免因短期利益牺牲安全的短视行为。针对基层建筑工人流动大、安全知识缺乏的特点，可以在施工现场建立一个经常性的安全宣传区，通过图文并茂的海报、生动形象的短视频等方式，不断地将安全知识和规范操作要点传递给施工人员。同时，建立基层安全奖惩机制，对严格遵守安全规程并及时发现并上报安全隐患的施工人员，进行物质和精神上的双重奖励，以激励基层员工积极参与安全管理，逐渐改变他们只重视施工进度而忽视安全保障的错误认识，从而在建设工程施工队伍中形成一种从上到下重视安全管理的良好氛围。

2.2 完善安全检查和隐患排查机制

完善安全检查和隐患排查机制，首先需对现有的安全检查标准进行系统性梳理与优化。组织行业内专家、一线安全检查人员以及工程技术人员，针对各类建筑工程的独特性，制定更为细致、精确且具有可操作性的检查标准。例如：在临时用电系统检查标准中，明确规定不同电压等级电线的敷设安全距离具体数值，消除原有标准中的模糊地带，使检查人员在执行过程中有据可依，能够精准判断安全隐患严重程度。在检查方式上，摒弃以往单纯的文件审查与表面巡视，引入多元化检查手段^[3]。除了常规的现场实地检查，可借助先进的检测设备，如利用热成像仪检测电气设备的发热情况，及时发现潜在的电气故障隐患；运用无人机对施工现场的高处作业区域、大型建筑结构等进行定期巡检，获取全面且直观的现场图像资料，辅助检查人员更深入地排查安全隐患。同时，建立健全隐患排查治理的闭环管理体系，对检查中发现的安全问题，详细记录并明确整改责任人、整改期限以及整改要求，通过信息化管理平台对整改过程进行实时跟踪与监督，确保每一处安全隐患都能得到彻底整改，避免隐患反弹，切实提升安全检查和隐患排查工作的实效性。

2.3 增加安全设备投入

增加安全设备投入是提升建筑工程施工安全保障水平的重要举措。施工企业应依据相关安全标准以及工程项目的实际需求,合理规划安全设备采购预算,确保施工现场配备齐全且质量合格的安全设备。在采购环节,严格把控设备质量关,选择具备良好信誉、生产工艺成熟且产品符合国家标准的设备供应商,避免因贪图价格低廉而采购质量低劣的安全设备。例如:在购置安全防护网时,优先选用符合高强度、阻燃等性能要求的产品,以切实保障施工现场人员的防护需求。针对随着建筑工程技术发展而产生的新安全需求,企业应积极关注行业动态,加大对新型安全设备研发成果的引入力度^[4]。如在超高层建筑施工中,引入具有高精度定位与智能防坠功能的新型升降设备,有效提升施工人员在高处作业时的安全性。此外,企业还需建立完善的安全设备维护保养制度,配备专业的设备维护人员,定期对安全设备进行检查、保养与维修,及时更换老化、损坏的零部件,确保设备始终处于良好运行状态,延长设备使用寿命,充分发挥安全设备在施工安全保障中的关键作用。

2.4 加强施工人员的安全培训

加强施工人员的安全培训,需从培训内容、方式以及时间安排等多方面进行优化。在培训内容设计上,充分考虑不同工种、施工阶段以及施工环境的差异,开展具有针对性的定制化培训。对于塔吊司机,重点培训塔吊的操作规范、设备维护要点以及应对突发故障的紧急处理方法;针对在复杂地质条件下作业的基础施工人员,详细讲解地质灾害预防与应急避险知识。培训方式应多样化,改变传统单一的课堂讲授模式,增加实践操作、案例分析、模拟演练等互动环节。例如:通过搭建模拟施工现场,让施工人员在真实场景中进行安全操作练习,亲身体验违规操作带来的危害;利用实际发生的安全事故案例进行深度剖析,引导施工人员从中吸取教训,增强安全意识^[5]。在培训时间安排上,摒弃仅在施工前集中培训的做法,建立贯穿整个施工过程的定期培训机制。在施工初期,进行全面的基础安全知识与技能培训;随着施工进度推进,针对不同施工阶段面临的新安全风险,开展专项培训,不断强化施工人员的安全知识记忆与操作技能,使其在施工过程中始终保持高度的安全意识,减少因操作失误引发的安全事故。

2.5 优化施工环境管理

优化施工环境管理旨在降低施工过程中自然环境、

施工现场环境以及周边环境对施工安全的不利影响。针对自然环境因素,施工企业应建立完善的气象灾害预警与应对机制。与气象部门建立紧密合作,实时获取天气变化信息,提前做好应对极端天气的准备工作。在高温天气来临前,合理调整施工时间,增加防暑降温设备与物资供应,预防施工人员中暑;在暴雨、大风等恶劣天气预警发布后,及时停止户外危险作业,加固施工设备与建筑结构,设置排水设施以应对可能出现的积水、滑坡等地质灾害^[6]。在施工现场环境管理方面,科学规划施工现场布局,合理划分各工种作业区域,减少交叉作业带来的安全风险。例如:设置专门的材料堆放区、设备停放区以及人员通行通道,确保施工现场秩序井然。同时,加强施工现场的照明、通风等设施建设,改善施工人员的作业环境条件。对于施工现场周边环境,施工企业应积极与周边单位、居民进行沟通协调,提前了解周边环境特点与敏感因素,制定相应的环境保护与降噪措施,减少施工过程中产生的噪声、粉尘等污染物对周边环境的影响,避免因周边环境问题引发纠纷干扰施工正常进行,营造安全、和谐的施工外部环境。

3 结语

当前,建筑工程施工安全管理现状不容乐观,部分施工单位存在安全管理意识薄弱、检查形式主义、培训匮乏、设备不健全、施工现场环境复杂等问题。通过实施强化安全意识、完善检查机制、加大设备投入、加强人员培训、优化施工环境等优化策略,可显著提升安全管理水平。未来,建筑行业应持续深化这些举措,紧跟技术发展,不断创新安全管理模式,提升从业人员素养,进一步筑牢施工安全防线,推动建筑行业安全、稳健发展。

参考文献:

- [1] 冯彪.建筑工程施工过程中安全管理问题和对策[J].砖瓦,2024(05):97-99.
- [2] 周旭东.建筑工程施工过程管理和现场安全管理分析[J].房地产世界,2023(01):118-120.
- [3] 谷夏菲,张建鹏,谷加贺.建筑工程项目施工过程中的质量控制与安全管理措施[J].住宅与房地产,2020(24):135.
- [4] 陆登峰.建筑工程施工现场管控的重要性及措施[J].城市建设理论研究(电子版),2025(08):46-48.
- [5] 李青旺.分析预警管理在建筑工程施工安全管理中的运用[J].城市建设理论研究(电子版),2025(07):28-30.
- [6] 许强.建筑工程施工过程中安全管理问题和对策解析[J].产业创新研究,2020(14):49-50.

精细化管理模式在建筑工程管理中的应用价值分析

邱进国¹, 宁廷磊²

(1. 济南鼎邦保温工程有限公司, 山东 济南 250000;
2. 济南明东房地产有限公司, 山东 济南 250000)

摘要 市场经济持续发展变革在为建筑工程管理工作带来全新发展机遇的同时, 也带来了新的挑战。贯彻落实高质量发展理念, 推行精细化管理模式, 全面创新建筑工程管理方式, 对提升建筑工程项目整体质量, 增强企业综合竞争实力有着重要的现实意义。本文对精细化管理模式在建筑工程管理中的应用价值展开分析, 并探讨精细化管理模式应用策略, 以期为相关人员提供有益参考。

关键词 精细化管理模式; 建筑工程管理; 应用价值

中图分类号: TU71

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.17.035

0 引言

经济社会持续深化变革、市场竞争愈发激烈, 促使建筑企业在实际发展过程中踏上了高质量运作体系探索的新路径, 如何创新建筑工程管理已经成为建筑行业探讨的热门话题。精细化管理是契合当前发展主流趋势的必然选择, 借助精细化管理模式创新建筑工程管理工作, 能够实现对人、材、机各生产要素的精细化管理。对此, 在管理工作实践过程中, 需注重积极探索精细化管理模式实践应用路径, 创新优化管理工作全过程, 以提升管理成效, 促进企业长远发展目标进一步实现。

1 精细化管理模式应用基本原则

建筑工程管理中, 精细化管理是指通过系统、规范与科学的方法, 对建筑工程管理工作全环节进行精细化、细致化管理, 以提升建筑工程整体质量。为促进精细化管理模式在建筑工程领域得以有效运用, 促进建筑工程管理成效得以切实提升, 在精细化管理模式实践运用过程中, 需遵循如下原则: (1) 科学性原则。精细化管理是以科学方法的灵活运用及数据分析为基础而实现的, 其要求管理人员在计划与决策阶段, 需具备科学依据支撑, 不仅要具备相关经验, 还需注重真实有效数据信息的支撑, 做到决策活动的科学开展。对此, 建筑工程企业在精细化管理模式实践过程中, 需注重践行科学性原则, 在决策环节主动搜集整理相关数据信息, 确保决策活动在经验与数据信息支撑下能够科学开展。(2) 规范性原则。精细化管理的

实现要求建筑工程施工全环节建设活动的开展, 均需与以相关规范要求为基础。规范要求作为建筑工程施工活动顺利、高质量开展的基础性保障, 其对项目整体施工质量与安全性有着重要影响。对此, 建筑工程企业在开展施工过程精细化管理活动时, 需注重对要求规范践行情况进行全面监管, 坚持规范性原则对施工过程管理工作进行创新优化。(3) 系统性原则。精细化管理关注建筑工程项目不同环节之间的联系性与影响性。在管理实践过程中, 需对工程项目各环节进行综合考虑, 转变传统管理模式中单一环节的局限性, 进而实现建筑工程全过程的有效管理。

2 精细化管理模式在建筑工程管理中的应用价值

精细化管理是指立足整体角度, 对战略目标进行细化, 并将其运用至建筑工程管理工作实践过程中, 其旨在逐步实现细化过后的管理目标, 进而更好地促进企业整体战略目标高质量实现, 不断提升企业经济效益。精细化管理还具备另一层次含义, 即抓重点。在企业整体战略目标被细化处理后, 能够实现企业战略目标主要核心与现存问题的直观化展现, 管理人员可以对现存问题与目标主要核心进行全面、科学计划, 制定针对性控制管理方式, 为企业整体战略目标的实现提供持续性助力。在建筑工程管理中推行精细化管理模式, 既能够保障工程项目实际建设质量达标与按期竣工, 还能够实现建筑工程管理水平的切实提升, 降低管理资金投入, 实现企业经济效益的最大化^[1]。

立足建筑工程角度来看, 精细化管理模式在建筑

工程管理中的应用，既能够提升工程项目施工建设的安全性，也能够提升工程质量的可靠性，可以保障工程项目各环节质量与效率均达标，切实提升建筑工程项目管理质量与管理水平，增强企业核心竞争实力，促进企业在激烈市场竞争中获得充足竞争优势，进一步实现可持续发展目标。对此，为实现对建筑工程项目的有效管理，促使工程项目顺利实施，企业需积极推行精细化管理理念，制定科学合理的管理计划，并借助信息技术方式，对施工人员的实践行为进行精细化监测，确保施工人员实践行为始终在规范要求范围内，确保建筑工程项目施工建设高质量、高效率推进。

3 精细化管理模式在建筑工程管理中的应用策略

3.1 推行精细化管理理念

为实现精细化管理模式的优势价值在建筑工程管理中有效发挥，需注重将精细化管理理念渗透至管理者思维中，促使其认识到精细化管理模式的推行对建筑工程质量、施工过程的安全性、施工进度保障及经济效益提升等方面的重要价值优势，促使管理人员积极主动践行精细化管理模式，对传统管理模式进行创新优化。在实践过程中，需推行实施统一的建筑工程管理规范，相关部门需将精细化管理理念作为建筑工程管理的核心理念。管理人员需主动学习精细化管理相关理论与实践经验，对现有管理模式的不足之处与问题展开分析，以项目建设内容与企业长远发展目标实现为起点，持续优化精细化管理应用效果。践行责任制度，以责任的细化明确驱动管理人员自觉落实精细化管理模式。建筑企业需注重对工程管理工作主要责任进行精细划分，将管理责任落实到个人。在责任精细化明确的同时，制定与实际情况相适应的管理人员激励制度，构建切实可行的奖惩机制，借此驱动管理人员自觉践行自身精细化管理职责，推动精细化管理模式有效落实。

3.2 构建精细化管理制度

制度是建筑工程精细化管理实现的主要驱动元素，科学合理的管理制度能够促进精细化管理模式渗透至建筑工程管理全过程中。建筑企业在实际发展过程中，需注重结合工程项目实际情况与工程管理工作创新实际需求，制定全面科学的管理制度，确保管理工作始终以精细化为导向顺利开展，进而促进工程建设质量与成效进一步提升。具体而言，在建筑工程施工建设过程中，建筑企业需对现有施工管理制度进行健全完善，对工程建设各项目、各环节实施制度进行精细化设置，确保项目依照工序进行作业，进一步提升管理

效率。综合分析建筑工程项目实际情况，对项目施工现场进行实地勘察，针对工程项目人、材、机等各项生产要素建立针对性管理策略与管理方案，落实针对性精细化管理。同时，建筑企业在管理工作实践过程中，还需积极学习现代化先进管理理念，综合利用大数据、云计算等信息技术手段，借助现代化先进技术手段赋能精细化管理深入推进。企业可以借助互联网技术，搭建企业内部信息交流系统，借此强化各部门之间的沟通与联系，打破各部门之间的信息壁垒，确保管理工作能够在信息流通与各部门协同配合支撑下得以精细化开展。

3.3 开展精细化施工管理

施工阶段是建筑工程管理工作开展的主要内容，在施工阶段推行精细化管理工作，能够为建筑工程项目施工建设活动高质量、顺利开展提供可靠支撑与助力。在施工阶段精细化管理实践过程中，可以从施工质量控制强化与动态化施工过程监管两方面入手，实现施工过程的精细化管控。

1. 施工质量精细化管理。在工程项目施工建设阶段，不同施工环节建设质量及施工工艺等均会对建筑工程项目整体质量产生重要影响。对此，在施工质量管理阶段，企业在注重对施工全过程与各环节进行质量管理的同时，还需借助信息化系统赋能施工质量管理工作科学推进。企业可以利用BIM（建筑信息模型）技术开展施工质量协同管理工作，搭建数字化施工现场管理平台，工程项目管理人员可以通过BIM协同做出更直接、更科学、更合理、更有效的判断和结论，进而提升事前质量管理与控制的效率。数字化施工现场管理平台也可以有效打破信息壁垒，极大解决了管理人员获取现场信息时存在的准确性和及时性问题，并通过移动端使得现场智慧管理不受办公环境的限制，将项目现场质量、安全控制、管理全流程基于BIM模型实现可视化、信息化。为进一步满足施工质量管理实际需求，还可以建立PC端+移动端的数据采集、处理、追踪、整改的现场管理可视化业务流程，借此实现了管理过程的切实优化，进一步提高了管理效率，为施工质量精细化管理工作的开展提供了精准数据支撑^[2]。

2. 动态化施工过程监管。现代化信息技术手段与建筑领域的深化融合，促使BIM技术应运而生。工程项目建设阶段，BIM技术的加入能够实现对建筑工程施工全过程的动态化与智能化管理。通过BIM技术建设工程项目三维立体模型，管理人员可以对施工进度、资源消耗情况等关键数据信息进行动态化掌握，为施

工环节潜在问题的发现及针对性处理提供了有效支撑。对此,建筑企业在工程施工管理实践过程中,可以借助BIM技术,搭建“智慧施工云平台”这一管理系统,通过对各类传感器进行灵活运用,实时收集与整理建筑工程施工相关数据信息,借此弥补传统施工管理模式的不足之处。为保障工程项目如期竣工,企业可以在施工管理智能化平台上,设置进度监测预功能,进度管理人员可以在平台上录入各环节施工进度计划方案,基于进度计划方案,进行现场实际进度填报,反映项目进度任务完成滞后、超前等情况,并以结合模型可视化呈现项目实际施工进度,借此防止项目工期滞后影响企业经济效益^[3]。例如:某建筑企业为实现对施工现场的全面监督与管理,搭建了依托BIM技术的施工现场线上管理系统,该系统基于“超链接模型”概念,面向协同、工程管理、物联网数据集成等应用,提供自主模型格式、显示引擎及数据服务的可视化管理平台。该系统还为工程项目管理工作顺利开展提供了覆盖BIM、BIM+GIS、BIM+VR多场景应用的全生命周期模型数据支撑和管理能力,支持线上多部门进行实时协同沟通,各部门可以在系统支撑下,实现对场景视角的同步与联动。建立起一套涵盖工程业务问题的创建—协同—跟踪—反馈—修正的工程可视化闭环解决体系,旨在保障施工现场精细化管理过程中产生的问题能够有效解决。

同时,针对施工现场人员管理,建筑工程企业也可以引入现代化先进技术手段,通过人脸识别技术的灵活运用,对施工现场相关人员进行实名制管理,借此实现对施工现场人员年龄、资质证书等基础性信息与考勤信息的全面收集与掌握,为人员管理工作顺利开展提供坚实数据支撑^[4]。针对施工现场安全管理,企业则可以引入智能视频监控技术设备,综合利用AI与视频技术,对施工现场、高危作业现场等进行全面监管,如若存在施工人员实践操作行为违规等现象,智慧视频监控则会立即发出预警,及时纠正施工人员违规行为,保障施工建设活动安全开展。

3.4 精细化管理设备材料

设备材料管理在建筑工程项目管理中占据重要地位,在管理工作实践过程中,需注重将精细化管理理念渗透至材料设备管理环节。具体而言,在施工材料管理过程中,需制定精细化材料管理制度。在施工材料进场之前,需对材料出厂许可证、质量合格证等基础性文件进行审查,并对钢筋、混凝土等重点材料进行现场抽检试验,质量性能均达到国家行业相关要求

及施工设计要求后,方可进场。材料进场后,为保障材料外观、性能等方面的整体性,管理人员需结合不同材料性质特征,制定针对性精细化管理方案,并持续优化材料存储空间环境管理措施,以防止外界因素影响材料质量性能^[5]。在材料使用环节,管理人员也需践行精细化管理理念,借助现代化信息技术手段,对施工材料进行编码,在材料使用过程中,需扫描编码,自动化记录材料使用去向,以便于对材料使用情况进行追踪,防止资源浪费。在设备管理层面,建筑工程在施工建设过程中往往需利用各种类型的大型机械设备辅助施工建设。为保障设备正常运转,需将精细化管理理念渗透至设备管理中。具体而言,在设备运行之前,相关管理人员需对设备外观、性能等进行全面检查,并启动设备检查设备运行情况,如发现故障则需立即处理,确保设备正常投入使用。每天的施工工作结束后,也需对设备进行检查,判断设备是否存在潜在故障。在日常管理中,管理人员则需针对设备性能与使用频率,制定针对性、定期的机械设备日常维修保养方案,通过对设备的定期保养与维护、设备零部件的及时更换,延长设备使用寿命,确保设备正常运转,防止因设备故障延误工期^[6]。

4 结束语

精细化管理模式在建筑工程管理中的应用是高质量发展背景下建筑企业的必然选择,企业在建筑工程管理工作实践过程中,需积极推行精细化管理理念,运用现代化信息技术手段对管理工作方式进行创新优化,以精细化与智能化管理模式赋能建筑工程管理工作优化创新,进而提升工程建设质量,促进企业健康持续发展。

参考文献:

- [1] 赵小宝.精细化管理模式在建筑工程施工管理中的应用要点分析 [J].门窗,2023(12):133-135.
- [2] 李康志.精细化管理在建筑工程管理中的应用 [J].砖瓦世界,2024(20):214-216.
- [3] 赵庆华,李甜甜.“区块链+BIM”技术在工程项目管理中的应用 [J].工程管理学报,2023,37(02):128-133.
- [4] 汤海伟,滕森林,刘波,等.建筑工程的精细化施工管理探究 [J].智能建筑与工程机械,2023,05(04):61-63.
- [5] 李德.精细化管理在建筑工程施工管理中的有效应用 [J].智能建筑与工程机械,2023,05(12):68-70.
- [6] 杨树英,蔡秋婉,李仲.精细化管理在建筑工程管理中的应用 [J].建筑与装饰,2023(24):73-75.

城市更新与国土空间优化协同发展研究

张希燕

(山东德州临邑县自然资源局, 山东 德州 251500)

摘要 随着城市化进程的推进, 城市更新与国土空间优化成为提升城市竞争力和可持续发展的关键课题。本文探讨了城市更新与国土空间优化的协同关系, 分析了二者协同发展面临的挑战, 并提出科学规划、多主体协同、绿色可持续发展等策略, 旨在为实现城市空间资源的高效利用、提升生态环境保护提供理论支持与实践指导, 进而推动城市的长远发展与可持续发展。

关键词 城市更新; 国土空间优化; 协同发展; 旧城改造; 土地资源

中图分类号: TU984.114

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.17.036

0 引言

随着我国城市化进程的加速, 许多城市面临旧城区衰退、土地资源紧张和生态环境压力等问题, 需要通过城市更新与国土空间优化来实现可持续发展。城市更新改善居住环境、提升功能, 国土空间优化则帮助合理配置土地资源、提高利用效率。二者协同发展可优化城市空间结构, 提升土地效益, 同时保护生态环境。因此, 研究城市更新与国土空间优化的协同发展具有重要的理论意义和现实价值。

1 城市更新与国土空间优化的协同机制

1.1 城市更新的概念、类型与作用

城市更新是指对老旧城区进行改造、提升和再生, 以改善城市功能、居住环境和基础设施的过程。其主要类型包括旧城改造、棚户区改造、历史文化保护与再利用等。城市更新的作用不仅体现在提升城市基础设施、改善居住条件、促进经济发展, 还能优化城市空间布局, 增强城市的竞争力和可持续发展能力。同时, 城市更新也有助于保护历史文化遗产, 提升居民的生活质量, 实现社会效益与经济效益的双赢。

1.2 国土空间优化的内涵与目标

国土空间优化是指在综合考虑经济、社会和生态等多方面因素的基础上, 通过科学规划与合理配置土地资源, 提升土地利用效率与空间质量的过程。其内涵不仅包括对现有土地资源的有效整合与合理开发, 还涉及对自然资源、生态环境和社会功能的综合考量。在实施过程中, 需要依据不同地区的自然条件、经济基础和发展需求, 进行差异化的空间布局和功能划分。特别是随着城市化的推进和人口的集聚, 优化国土空

间的布局能够有效缓解资源过度集中带来的压力, 避免城市扩张和区域发展的不平衡。

国土空间优化的目标在于实现区域内资源的可持续利用, 促进经济、环境与社会的协调发展。具体而言, 其核心目标包括提高土地资源的集约化利用, 合理配置城乡、区域之间的资源, 减少无效或低效的土地使用; 通过生态环境的保护与修复, 实现生态功能的恢复和提升; 同时, 优化产业布局, 推动区域经济的均衡发展。最终, 国土空间优化不仅是为了提升土地利用效率, 更是为了促进人居环境的改善和生态可持续发展, 从而为社会的长期繁荣和环境的持续健康奠定基础。

1.3 城市更新与国土空间优化的协同关系

城市更新与国土空间优化之间的协同关系具有高度的战略意义, 两者不仅在空间规划上紧密相连, 而且相辅相成。城市更新通常聚焦于旧城区的改造与功能提升, 旨在优化城市内部空间结构, 而国土空间优化则侧重于通过合理的土地资源配置提升整体空间效益。在实际操作中, 城市更新往往需要在土地资源、基础设施和社会需求等多个层面与国土空间优化进行协调。例如: 在旧城改造中, 如果不考虑城市整体空间的合理布局与资源承载能力, 可能会导致局部过度开发, 造成资源浪费与环境压力。

另外, 国土空间优化的实施效果也离不开城市更新的支持。空间优化不仅要求在宏观层面上进行整体规划, 还需要在微观层面上通过实际的城市更新项目来落地。通过优化土地利用、提升土地使用效率, 城市更新能够为国土空间的合理布局提供具体实施的案例与反馈。在这一过程中, 城市更新不仅是资源优化配置的一个具体实践, 而且也为国土空间优化提供了

更为灵活和实际的空间管理方式^[1]。因此，两者的协同发展不仅可以推动土地资源的高效利用，还能在保障生态环境、促进经济社会发展的同时，推动城市的可持续发展与长远规划。

2 城市更新与国土空间优化协同发展面临的挑战

2.1 旧城改造与土地利用冲突问题

旧城改造是城市更新的重要组成部分，但在实际操作中常面临土地利用冲突的问题。

首先，旧城改造往往涉及大量的土地征用和建筑拆迁，这可能与现有的土地使用规划产生矛盾。许多老旧城区的土地使用性质、建筑密度和功能布局已经形成稳定的结构，而改造过程中需要重新规划土地用途，往往会影响居民、企业和地方政府之间的利益冲突，特别是在土地资源有限的情况下，如何平衡各种利益成为一个难题。其次，土地利用冲突还表现在不同利益主体对土地的使用需求上。在城市更新过程中，开发商通常更注重经济效益，倾向于高密度、高容积的建设，而居民则关注居住环境和生活质量，可能更倾向于低密度、绿色宜居的环境。政府在协调这些需求时面临巨大压力，尤其是在旧城改造的高密度区域，如何平衡土地开发和生态保护的需求，避免土地资源的过度开发和浪费，是实现城市可持续发展的关键挑战。

2.2 空间规划与城市功能协调难点

在城市更新过程中，空间规划与城市功能协调的难点主要体现在规划的实施与现实需求之间的脱节。

首先，许多城市的空间规划往往是在较为理想化的前提下进行的，缺乏对现有城市功能的深入分析和实际需求的充分调研。城市功能的多样性和复杂性要求空间规划能够准确反映区域的经济、社会和环境特点，但现实中，许多规划在实施时未能充分考虑城市各功能区的具体需求，导致规划与实际使用之间存在较大差距。例如：一些新建的商业和住宅区域，因空间布局不合理，功能衔接不顺畅，常出现交通拥堵、公共服务资源不足等问题。其次，随着城市发展和人口增长，城市功能的需求不断变化，这为空间规划的调整带来了难度。许多城市在初期规划阶段未能预见到未来的需求，如商业区、住宅区和工业区之间的功能转换，导致一些区域出现土地闲置或功能衰退的现象^[2]。尤其是一些历史悠久的城市，在进行旧城改造时，常常面临如何在有限的空间内协调多个功能区的需求问题。如何通过合理的空间规划调整，使各功能区能够有机结合，避免城市功能重叠或空心化，成为当今城市更新中亟待解决的难题。

2.3 生态环境保护与发展需求的平衡

在城市更新和国土空间优化的过程中，生态环境保护与发展需求的平衡是一大难点。随着城市化进程的加快，许多城市在进行城市更新时，往往过于注重经济和社会发展的需求，忽视了生态环境的保护^[3]。例如：旧城区的改造和土地开发往往涉及大量的建筑拆迁和土地征用，这可能导致绿地、生态走廊等自然资源的破坏，进而影响城市的生态系统服务功能。城市绿地、湿地等自然生态空间的减少，不仅破坏了城市的生态平衡，还可能加剧城市的热岛效应、空气污染等环境问题，影响居民的生活质量和健康。

另外，生态环境保护往往被认为是发展的限制因素，而实际上，忽视生态环境保护的过度开发可能会对城市的长远发展产生负面影响。城市的可持续发展要求经济、社会和生态效益三者的有机统一，但在实际操作中，很多城市在进行更新和优化时，往往将环境保护置于次要位置，导致资源的过度消耗和生态环境的不可逆破坏。如何在土地开发和生态保护之间找到一个平衡点，既满足城市经济和社会发展的需求，又保障生态系统的健康，成为当前城市更新中亟待解决的重要问题。

3 城市更新与国土空间优化的协同发展策略

3.1 科学规划引导下的土地资源优化利用

科学规划引导下的土地资源优化利用首先需要建立科学的空间规划体系，合理划分土地使用功能区。规划应依据区域经济发展、人口增长、资源环境承载力等因素，实施差异化的土地利用政策。在土地资源有限的情况下，重点发展高效、集约的土地利用模式。例如：在城市核心区可以采用高层建筑、地下空间等手段，提高土地的空间利用率；而在郊区或城乡接合部，可以通过合理的土地流转与土地复合利用来提升土地价值。通过科学的规划引导，可以避免资源浪费，优化土地供给结构，提高土地资源的综合效益。

此外，土地资源优化利用还需注重生态保护与可持续发展的原则，避免过度开发。在进行土地开发前，应开展环境影响评估，优先考虑生态脆弱区域的保护，避免将其用于高密度建设。应充分利用城市的空闲土地、老旧建筑物、地下空间等进行再开发和再利用，减少对新土地的需求^[4]。例如：利用城市空中花园、屋顶绿化等措施，不仅可以提升土地的绿色覆盖率，还能有效减少热岛效应和城市污染。在土地优化的过程中，还要加强对土地市场的监测与管理，防止土地资源的低效闲置和浪费。

典型的案例是上海的“城市更新与土地复合利用”模式，通过对老旧工业区的改造与功能转型，成功实现了土地资源的高效利用。例如：上海的苏州河沿线区域曾是一个典型的工业遗址，但通过科学规划和整合，转型为商务、文化、休闲和居住功能多元化的区域，不仅优化了土地使用效率，还带动了周边区域的经济发展与社会活力。这一模式证明了通过精细化的规划与政策引导，土地资源能够实现更加高效和可持续的利用。

3.2 多主体协同推进城市更新模式创新

多主体协同推进城市更新模式创新，首先，需要加强政府、企业和社会各界的合作，形成合力。政府可以通过政策引导、财政支持和土地供给等手段，为城市更新提供基础保障。与此同时，企业应利用其资金、技术和管理优势，推动创新型城市更新项目的实施，特别是在建筑设计、绿色技术应用和数字化城市管理等方面进行创新。社会各界尤其是居民和社区组织的参与至关重要，只有广泛征求民意、增加透明度，才能确保城市更新真正满足居民需求，提升社会认可度和执行效果。其次，城市更新模式的创新还应聚焦于开发多元化的资金来源与合作模式。传统的政府单一投资或土地出让模式已无法满足日益复杂的城市更新需求，创新的合作模式如公私合营（PPP）、土地信托基金等，可以有效吸引社会资本参与到城市更新项目中来。例如：企业和政府可以共同承担改造费用，并共享改造后的土地增值收益。同时，探索“社会资本+智慧城市”的模式，运用大数据、物联网等技术提高城市管理效率，并推动智慧建筑、绿色建筑等新型城市更新理念的实现。

典型的案例是深圳的“旧改模式与城市更新”项目。在多个旧城区的城市更新过程中，采取了政府主导、社会资本参与的模式。例如：罗湖区的旧改项目通过政府提供土地保障和政策支持，吸引了多家房地产开发公司参与其中。在项目实施过程中，企业不仅投资建设，还通过引入智能化管理技术，实现了高效的资源配置和环境管理。该模式不仅促进了区域经济发展，还有效提升了城市的整体形象和居民的生活质量，成为其他城市更新的借鉴案例。

3.3 绿色可持续导向的空间优化实践

绿色可持续导向的空间优化实践首先需要在城市规划中优先考虑环境保护和生态修复，制定绿色发展目标，并在空间布局中落实这些目标。例如：在城市更新过程中，应通过生态走廊、绿色屋顶和绿色建筑等措施提高城市绿化率，减少建筑能耗和碳排放。同时，

要加强城市雨水管理，利用透水性材料和雨水回收系统，减少城市硬化地面，降低城市热岛效应^[5]。通过绿色基础设施的规划和建设，可以有效地改善城市的生态环境，为居民提供更健康、宜居的生活空间。

此外，绿色可持续导向的空间优化还需要重视资源循环利用和能源效率提升。在建筑设计中应推广被动式建筑和零碳建筑，通过合理的隔热、采光、通风设计降低能耗；同时，采用可再生能源如太阳能、风能等，降低对传统能源的依赖。在土地利用上，应优先利用空置地、老旧建筑和城市空中空间进行再开发，避免过度开垦新土地，减少对自然资源的消耗。推动绿色交通系统的建设，优先发展公共交通，鼓励步行和自行车出行，减少汽车使用带来的碳排放。

典型的案例是北京的“绿色旧城改造”项目。在该项目中，北京市通过大规模的绿色改造计划，推动了多个老旧小区的绿色升级。例如：在东城区的部分旧城区，通过增建绿色屋顶、植树绿化、建设生态公园等措施，不仅有效提高了绿地覆盖率，还通过雨水回收系统、太阳能发电等技术，提升了建筑的能源效率和环保水平。这一改造不仅提升了居民的生活质量，还在环保和资源节约方面取得了显著成效，成为绿色可持续城市更新的示范案例。

4 结语

城市更新与国土空间优化的协同发展对于推动城市可持续发展具有重要意义。通过科学规划、创新模式、多主体协同及绿色可持续导向的空间优化，可以有效解决当前城市发展中的土地资源浪费、功能布局不合理以及生态环境压力等问题。未来，随着技术的进步与政策的引导，城市更新将朝着更加智能化、绿色化的方向发展，为实现更高效、更宜居的城市空间打下坚实基础。

参考文献：

- [1] 陈春林.国土空间规划背景下大中城市推进城市更新实施路径探讨[J].科学与财富,2023(16):82-84.
- [2] 任亚运.国土空间规划中城市更新与土地资源优化利用研究[J].智慧城市,2024,10(07):75-77.
- [3] 郭玉庆,解静文.城市化进程中的国土空间优化配置研究[J].城市情报,2024(18):140-141.
- [4] 康越,安平.绿色城市背景下城市街区更新改造设计研究[J].城市建筑,2024,21(15):30-34.
- [5] 万思清.生态保护与城市发展国土空间优化策略[J].世界家苑,2025(01):132-134.

建筑工程中绿色建筑设计策略与实践分析

张俊元¹, 戴智勇², 鲁 健³, 史佃强⁴, 徐启航⁴

- (1. 青岛青桥建筑设计有限公司, 山东 青岛 266000;
2. 青岛双益信息科技有限公司, 山东 青岛 266000;
3. 青岛嘉实装饰工程有限公司, 山东 青岛 266000;
4. 青岛润建工程项目管理有限公司, 山东 青岛 266000)

摘要 在“双碳”目标背景下, 建筑行业面临着巨大的挑战和机遇, 绿色建筑的受重视程度大幅提高, 绿色建筑设计在建筑工程中的应用也更加广泛。本文结合当前绿色建筑标准体系, 探讨绿色设计策略的具体应用方式, 并分析建筑工程各阶段的实施策略, 强调绿色技术在不同建筑类型中的实践路径, 同时根据相关工程经验提出优化方向。研究结果表明, 绿色建筑的推广不仅依赖于前沿技术的合理集成, 更需要贯穿全生命周期的系统化管理, 通过精准化设计、精细化施工及智能化运维, 确保绿色建筑理念的真正落地与长期可持续发展。

关键词 绿色建筑; 节能设计; 节水策略; 绿色材料; 智慧建筑

中图分类号: TU201.5

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.17.037

0 引言

建筑行业在我国国民经济建设中尤为重要, 是现代社会发展的基础, 持续推动建筑行业健康、稳定发展, 也是保证国家经济建设持续发展的前提。建筑行业在发展中对自然环境造成的影响不容忽视, 应在其融入绿色理念, 通过绿色建筑设计减少能源消耗和减轻环境影响, 为整个建筑行业的持续发展创造条件^[1]。

1 绿色建筑的基本概念与发展趋势

1.1 绿色建筑的定义及核心原则

绿色建筑是一种以生态友好、资源节约和居住舒适为目标的建筑模式, 强调在规划、设计、建造和运营的全过程中减少环境负荷, 优化能源与资源利用效率。核心原则涵盖节能、节水、节材和环保四个方面, 构建了衡量建筑绿色程度的基本框架。节能不仅涉及建筑能耗的削减, 更强调空间布局优化、自然采光通风以及可再生能源技术的集成应用; 节水依托高效器具、中水回用及雨水收集等措施实现水资源循环利用; 节材主张使用低碳环保建材, 推行装配式施工以减少浪费; 环保则关注空气质量、噪声控制和生态保护, 提升整体健康居住环境。这些核心要素共同作用, 使绿色建筑成为推动建筑行业转型、促进可持续发展的重要路径。

1.2 绿色建筑的发展历程

绿色建筑理念的系统化发展始于 20 世纪 70 年代全球能源危机时期, 最初关注降低建筑能耗, 随后伴

随可持续发展理念的深化, 绿色建筑逐步形成了系统化的理论和实践框架。进入 21 世纪, 世界各国在应对气候变化背景下加快推广绿色建筑, 以期实现低碳发展。我国绿色建筑的发展历经理念引入、政策推动、标准建立到全面实践的过程。近年来, 国家政策不断加码,

《“十四五”建筑节能与绿色建筑发展规划》等文件明确要求新建城镇建筑全面执行绿色建筑标准, 地方政府也相继出台配套措施, 推动行业向绿色转型^[2]。政策的强化不仅加速了绿色建筑的发展进程, 也促使建筑行业在技术创新与管理模式上进行深度调整, 使绿色建筑从理论概念逐步落地成为行业实践。

1.3 绿色建筑相关标准与评价体系

绿色建筑的推广需要一套完善的评价体系作为技术支撑。我国的《绿色建筑评价标准》(GB/T 50378-2019)是目前国内最具权威性的绿色建筑认证体系, 其指标体系覆盖土地利用、能源管理、水资源利用、材料循环、室内环境及运营管理等多个方面, 针对我国气候特征与建筑特点制定了科学合理的评价方法。相比之下, 国际上较为成熟的绿色建筑认证体系包括美国 LEED 和英国 BREEAM, 前者强调可量化的评分机制, 涵盖场地选择、能耗优化、资源利用及环境质量等方面, 而后者则侧重建筑全生命周期的环境影响分析, 并在评估维度的全面性及认证流程的严格性方面更具优势。我国的绿色建筑评价体系在借鉴国际先进标准的同时, 也结合本土建筑特点不断完善, 使绿色建筑的实施更

具科学依据和可操作性,推动建筑行业向低碳、环保、高质量发展迈进。

2 建筑工程中绿色建筑设计策略分析

2.1 节能设计策略

绿色建筑的节能设计要求从建筑设计阶段开始就对各项环节深入研判,全面把握建筑的节能潜力。建筑围护结构优化可通过高性能外墙保温材料与节能门窗的合理组合来实现,外墙保温层常采用导热系数较低且耐候性强的岩棉板或聚苯板,外窗则宜选用双层中空玻璃搭配断桥铝合金框,既满足热工性能需求又能满足使用舒适度。在方案设计阶段应注重被动式设计策略的灵活运用,通过精确模拟分析确定合理的建筑朝向,南北向建筑布局适当拉长,便于最大化冬季日照收益;同时运用流体力学软件合理布局建筑开窗的位置及大小,促进室内自然通风换气,以此减少机械空调系统的运行依赖。可再生能源的集成需结合地域特点加以实施,太阳能光伏板在我国日照资源较充足地区可布置于屋面或南向幕墙,充分利用阳光直射产生电能供给建筑内部照明、设备动力等需求,而地源热泵系统则要求事先进行地质勘探评估,确定地下热交换井的布局与深度设计,以确保实际施工时的顺利进行与系统后续的稳定运行^[3]。

2.2 节水设计策略

在建筑节水策略实践层面,须构建完善的雨水收集与中水回用体系,具体做法包括设置屋顶雨水截流收集装置与地下蓄水池,通过过滤、沉淀及消毒处理后,用于绿地灌溉、景观用水及冲厕,设计时应明确雨水收集设施的容量计算,确保系统与当地降水条件合理匹配。高效节水器具的选择亦十分关键,洗手盆龙头、淋浴喷头等水龙头应全面更换为具有节流装置的出水器具,坐便器采用低容量冲水技术,并建议在公共卫生间配备感应式水龙头与感应冲厕阀,以便更加精准地控制用水量。生态水循环设计更注重细节的艺术化处理,通过透水铺装材料将地表水有效渗入土壤涵养地下水源,并借助生态草沟、雨水花园等景观元素,巧妙实现雨水调蓄与水环境优化双重目标,在保障功能性的同时创造人们亲近自然的心理感受。

2.3 绿色材料应用

绿色材料的合理选择与使用关系建筑工程的低碳发展目标,实际工程中应优先选用可再生或再生型材料,推荐在建筑结构中大量应用经过防腐防火处理的竹材和木材,并鼓励水泥供应商优先采用掺合料比例更高的低碳水泥,以减少碳排放。施工环节亦需严格

执行材料管理制度,通过精细化计算建筑材料的用量,减少因粗放施工方式导致的材料浪费,并落实建筑垃圾分类回收措施,对钢筋、模板及临时支撑材料实行重复利用^[4]。装配式建筑的具体实施依托模块化预制技术,在工程设计阶段即应明确建筑各构件的模数标准,以工厂规模化生产方式统一预制梁、柱、楼板及外墙板等构件,减少现场施工工作量与环境污染,并要求施工阶段严格控制现场装配误差,以保障最终建筑品质与精度。

2.4 室内环境优化设计

室内环境设计环节注重自然采光的最大化利用,应通过光环境模拟软件在设计初期确定合理的窗墙比,并合理设置遮阳设施防止夏季室内过热,同时选择色温适中的LED照明灯具,确保室内照明环境与人体生理需求协调统一。绿色空调通风系统需要依托先进的智能监测技术与空气循环净化装置,如设置具有热回收功能的新风系统,并采用低阻高效过滤器,实现室内温湿度及空气质量的动态调节控制^[5]。此外,在装饰装修选材阶段,应严格选择符合国家低VOC含量标准的内装材料,同时配备必要的室内空气净化设备,定期维护过滤装置与滤芯更换,保证居住者长久舒适安全的室内空气环境。

2.5 智慧绿色建筑技术

智慧技术的实施重点在于依托BIM(建筑信息模型)技术的精确构建,设计团队应在项目策划阶段即全面采用数字化设计工具,建立完善的三维信息模型,精确模拟建筑能耗指标、运营场景与维护管理情境,并通过物联网(IoT)传感设备实时监测建筑内能源、水资源使用数据和设备运行情况,构建统一的智能管理平台。该平台需要具备数据分析与优化控制功能,实时提供设备运行与节能方案反馈,动态调整建筑系统的运行模式。此外建筑运维阶段应实现智能化运维管理,通过集成监测设备与智慧运维平台,定期自动生成能耗报告、维护计划与预警提示,全面提高建筑后期管理效率并精确控制运行成本,促使绿色设计理念真正落地于工程的全生命周期中。

3 绿色建筑在建筑工程中的实践应用

3.1 绿色建筑在不同类型建筑中的具体应用

建筑类型的差异决定了绿色建筑策略与手段在实施过程中必须体现出明显的针对性,尤其是住宅、办公楼及公共建筑,其功能属性和使用要求各不相同,对绿色技术的应用方式自然也存在一定差异。在住宅建筑中,设计阶段需格外关注居住者的实际生活体验,

如强调住宅户型的南北通透性，通过合理布局获得更多自然采光和良好的通风条件，避免建筑内因日照不足而产生潮湿阴暗现象；施工阶段则注重外墙保温性能的优化，严密控制施工工艺，避免热桥现象影响后续居住舒适度；运营阶段加强智能化家居管理系统的集成，鼓励住户在日常生活中主动参与到能源节约与环境保护实践中，以形成持续且稳定的绿色生活模式。相较而言，办公建筑与住宅的使用特征截然不同，其节能设计策略应从建筑空间布局出发，注重开敞式布局与通透型办公空间相结合的设计手法，最大程度利用自然光降低人工照明能耗；空调系统则多以变频多联式空调搭配新风热回收系统为主，并结合智能楼宇控制系统实现能耗精准监测与实时优化；公共建筑因其空间尺度大、人员流动量高的特点，需优先实施屋顶雨水收集和景观中水循环利用系统，在公共卫生间配备高效节水装置和感应设施以应对人流高峰时期用水高峰；此外，采用生态透水铺装材料，结合景观绿化，形成生态雨洪调节设施，既能缓解城市内涝问题，也可塑造优美生态景观，提升公共建筑环境品质^[6]。

3.2 绿色建筑在设计、施工、运营阶段的实施策略

绿色建筑在工程实施过程中并非简单地对各个单项技术进行机械堆砌，而应贯穿设计、施工及运营各阶段。在设计阶段即要求设计单位明确绿色建筑的总体定位，充分整合各类资源形成整体设计方案。建筑设计团队需利用 BIM 建筑信息模型技术对方案细节进行优化推敲，模拟建筑的热工环境、采光性能及能源消耗情况，以此确定最优的技术路线，避免后期施工过程中产生设计变更。施工阶段则须推行绿色施工技术体系，实施现场施工精细化管理，明确材料采购计划并做好现场分类堆放，推广装配式建造工艺减少现场作业对环境造成的污染与破坏，并借助信息技术手段实时监督施工质量与进度，避免返工或材料浪费现象；运营管理阶段更需实现从传统物业管理向智慧绿色运维的转型，利用物联网传感设备实时采集建筑能耗、设备运行状态和环境监测数据，通过人工智能分析后台自动生成优化建议与维护计划，促进绿色建筑全生命周期高效运行^[7]。

3.3 绿色建筑项目的实践经验与实施优化建议

纵观近年来各类绿色建筑工程实践，可以发现部分工程在实施中存在绿色技术应用不精准或机械复制的问题，这就要求设计与施工单位在技术选型时充分考虑建筑所在地的气候特征、文化背景与实际需求，杜绝单一标准化的技术照搬做法。绿色技术措施应充

分考虑用户的接受程度与建筑实际功能需要。例如：住宅类建筑项目更应以居住体验与室内环境优化为核心诉求，办公楼与公共建筑则应注重能源效率与管理效率的平衡，避免出现技术冗余而造成资源浪费。在施工环节，建设单位应加强现场绿色施工的监督考核，制定明确细致的管理制度与规范，强化人员培训，使现场施工人员真正理解绿色建筑的理念和要求，以保证工程质量达到设计标准的同时，进一步降低工程实施过程中可能产生的环境破坏现象^[8]。在运营阶段，应积极借助现代化智能信息管理平台，开展系统化、智能化的管理实践，定期对建筑内节能、节水设备进行巡检与维护，确保设备高效运行，并适时提供明确的维护升级计划，有效避免因设备损坏或管理失误而引起资源浪费与环境破坏现象，真正实现绿色建筑理念在实际运营中的精准落地。

4 结束语

绿色建筑的发展需从全生命周期角度综合考量节能、节水、节材及智慧化管理，以构建高效的绿色建筑体系。绿色技术应用应结合建筑功能精准匹配，以提升建筑性能。在设计阶段，BIM 与能耗模拟优化技术集成度；施工过程中，装配式建造减少资源浪费，提升工程质量；运营环节，智能监测系统助力能耗优化，实现智慧管理。未来，绿色建筑需进一步强化政策、技术、管理协同，以标准化建设、精细化施工和智能化运维推动建筑行业可持续发展。

参考文献：

- [1] 梁军.绿色建筑设计的相关要素及其措施[J].科技资讯,2023,21(07):102-105.
- [2] 李美霞,钟媛玲.建筑节能绿色低碳标准的发展历程及比较分析[J].住宅与房地产,2024(29):92-94.
- [3] 刘建仪,邹清华.绿色建筑设计与施工技术的应用[J].工程建设与设计,2021(17):24-26.
- [4] 吕岩松.现代绿色建筑节能设计的发展及运用研究[J].城市建设理论研究(电子版),2023(24):70-72.
- [5] 常婧.基于低碳理念的绿色建筑设计及施工技术研究[J].佛山陶瓷,2024,34(10):153-155.
- [6] 陈萍.建筑工程中绿色建筑设计的具体应用探讨[J].房地产世界,2022(18):29-31.
- [7] 王琳.建筑工程中绿色建筑设计的具体应用分析[J].房地产世界,2021(15):38-40.
- [8] 何亚军.建筑工程项目中绿色建筑施工技术实践研究[J].建材发展导向,2023,21(24):159-161.

焊接工艺对工程机械设备强度的影响

李鹏飞¹, 梁 为¹, 于伟龙², 滕晓洋³, 姚鲁兴⁴

- (1. 青岛双益信息科技有限公司, 山东 青岛 266000;
2. 青岛柏瑞通达建筑工程有限公司, 山东 青岛 266000;
3. 青岛宇通电力建设工程有限公司, 山东 青岛 266000;
4. 北京佳诚恒兴检测科技有限公司, 北京 100000)

摘要 焊接工艺在工程机械设备制造中占据核心地位, 其质量决定了设备的结构强度与服役安全性。焊接材料的匹配性、工艺方法的合理性、参数控制的精准度及缺陷防控的有效性, 均直接影响焊缝的承载能力。本文围绕焊接工艺对设备强度的影响展开系统分析, 探讨了高性能焊接材料的选择、先进焊接技术的应用及智能化工艺参数优化策略, 并提出了针对焊接缺陷的防控措施与质量管方案, 通过优化焊接工艺, 提高焊缝稳定性与设备可靠性, 以期为机械电力工程设备的制造与维护提供技术支撑。

关键词 焊接工艺; 机械电力设备; 焊缝强度; 工艺优化; 质量管控

中图分类号: TG44; TU60

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.17.038

0 引言

焊接是一种重要的综合工艺技术, 在国民经济建设中发挥重要作用, 其先进程度已经成为一个国家工业化水平的重要标志。工程机械产品中焊接结构件较多, 焊接结构件的优劣直接影响着产品的质量和使用性能。为了适应市场需求, 应对激烈的市场竞争, 工程机械制造厂商不断优化设计参数, 利用先进的生产工艺和设备, 提高焊接质量与效率, 不断提高市场竞争力^[1]。本文围绕电力工程机械设备中的焊接材料、焊接方法、工艺参数、焊接缺陷控制及质量管理等关键环节展开系统探讨, 并提出针对性的优化策略, 为工程实践提供技术参考。

1 焊接工艺概述及其在工程机械设备中的应用

1.1 焊接工艺的基本概念

焊接作为连接金属或其他热塑性材料的主要技术手段, 通过加热或加压, 或二者兼而有之的方式, 使材料在局部达到熔化或塑性状态, 进而实现永久连接。在工业生产的多个领域, 尤其是在机械电力工程设备的制造与维护中, 焊接技术的应用尤为关键。常见的焊接方式包括电弧焊、激光焊接以及摩擦焊等, 各具特色。电弧焊依靠电弧的热能来熔化金属, 适用范围广泛, 操作简便; 激光焊接以其高能激光束为焊接热源, 特点是焊接速度快、热影响区小, 适合精密焊接; 摩擦焊则是通过机械运动产生的热量来实现金属的连接, 其焊接接头具有极高的机械强度^[2]。在机械电力

工程领域中, 焊接不仅需要满足基本的结构连接要求, 还需承担起保证设备安全可靠运行的重任。由于机械电力设备常常承受复杂的负荷和恶劣的环境条件, 焊接工艺的选择和优化显得尤为重要, 直接关系到设备的性能和使用寿命。

1.2 焊接工艺在工程机械设备制造中的应用

工程机械设备如锅炉、管道和变压器外壳等, 在制造过程中对焊接质量的要求极高。这些设备通常在高温、高压或高腐蚀的环境下运行, 对焊接接头的强度、密封性以及耐久性提出了严格的要求。例如: 锅炉的焊接必须保证极高的密封性, 以承受长时间的高压蒸汽作用而不发生泄漏; 管道焊接则要求接头能够承受输送介质的压力和化学腐蚀; 变压器外壳的焊接需要确保结构的绝对稳固, 以适应各种气候变化和机械振动。这些典型应用凸显了焊接工艺在确保机械电力设备可靠性和安全性中的核心作用。为此, 工程师们必须精心选择适合各种应用场景的焊接材料和方法, 同时不断优化焊接工艺参数, 以提升焊接质量。此外, 通过采用先进的焊接技术, 如自动化焊接和智能监控系统, 可以进一步提高焊接作业的精确性和效率, 从而有效延长设备的服务寿命, 并减少维护成本。

2 焊接工艺对工程机械设备强度的影响因素

2.1 焊接材料的选择对强度的影响

焊接材料与设备母材之间的匹配性是影响焊接接头强度和可靠性的首要因素之一, 匹配良好的焊材可

显著提升焊缝整体承载能力与耐久性，而选择失当的焊材则会引发材料的不相容性与脆性开裂倾向。在实际机械电力工程应用中，焊接材料的物理化学特性，如熔点、热膨胀系数、导热性与抗腐蚀能力等性能直接决定着焊缝在长期服役环境中的稳定性。当焊接材料与母材在物理化学特性方面差异较大时，由于热膨胀系数不一致会导致焊接过程中产生过大的内应力，诱发开裂甚至连接失效；相反，焊接材料与母材间理化性能高度匹配则可在焊接接头区域形成均匀稳定的金相组织结构，从而显著改善设备的长期使用性能。

2.2 焊接方法对设备强度的影响

传统焊接方法如电弧焊、气焊等技术虽具有设备简单、经济易行的优势，但其热输入相对较大，容易在焊缝及热影响区内形成粗大的晶粒结构，降低金属韧性与抗疲劳性能，在长期服役的机械电力设备中往往表现出疲劳裂纹萌生的风险。现代焊接方法如激光焊与电子束焊，凭借高能束源实现高能量密度和精确的局部能量输入，可显著降低焊缝区与母材的热输入量，得到更加细致的晶粒组织，使焊缝具备更高的力学性能与更优异的耐疲劳表现^[3]。此外，不同焊接方法下，熔合率的高低、接头微观组织的均匀性以及焊缝致密度的变化均直接影响接头的强度与耐久性，因此焊接方法的合理选择尤为关键，应基于设备实际工况条件与性能要求进行科学决策。

2.3 焊接工艺参数对强度的影响

在具体实施焊接操作时，焊接电流、电压、焊接速度和热输入量等参数是决定焊缝质量和设备强度的重要因素，参数的微小差异都会对焊接接头的微观组织和性能造成明显影响。当电流、电压或焊接速度调整不当时，可能导致焊缝金属与热影响区内晶粒粗化、组织不均匀或夹杂气孔等问题，进而引发应力集中、脆化或裂纹萌生；科学合理地设置和控制焊接工艺参数，则可以有效避免上述问题的出现，提升焊接接头区域的机械性能。与此同时，预热处理和焊后热处理工艺也是调节焊接应力状态的有效手段，通过精确控制加热温度和时间参数，可有效降低焊接产生的残余应力，改善焊缝组织状态，从而大幅提高电力工程机械设备的强度与使用寿命^[4]。

2.4 焊接缺陷对设备强度的影响

焊接过程中不可避免地存在各种焊接缺陷，如气孔、裂纹、夹渣和未熔合等，这些缺陷的出现严重损害了设备焊接区域的整体强度与服役稳定性。以气孔缺陷为例，其产生的微小孔隙不仅降低焊缝截面积，也容易导致应力集中，诱发裂纹扩展；裂纹本身更是

焊接接头承载能力的致命弱点，即使微小裂纹也会在交变载荷条件下逐步扩大，最终导致结构破坏；夹渣和未熔合缺陷则会削弱焊接接头的有效连接面积，降低接头承载能力并使结构安全性大大降低。焊接缺陷产生的原因多样，包括焊接材料选用不当、焊接工艺参数控制失误或焊接操作技术不规范等多种因素，明确缺陷的产生机理，并采取有效的防控措施，对于提升电力工程机械设备强度具有重大意义。

2.5 焊接质量控制对设备强度的影响

严格的焊接质量检测与控制措施是保证电力工程机械设备强度的重要环节，超声波检测、射线检测及金相分析等方法的综合应用，为焊缝质量评估提供了准确可靠的技术支持。超声波检测可有效识别焊缝内部裂纹与未熔合等缺陷，射线检测则对内部气孔、夹渣具有良好的检验效果，而金相分析能深入研究焊缝显微组织状态，为焊接参数与工艺的优化提供了明确依据。在现代焊接技术体系中，智能化焊接监测与实时反馈控制技术的应用进一步提升了质量管控的精度与效率，如通过焊接机器人搭载智能监控系统，实时监测焊接过程中的热输入、熔池状态及缺陷形成迹象，并及时调整焊接参数，有效减少焊接缺陷的出现概率。这种实时质量控制模式，为电力工程机械设备制造过程中焊缝强度的可靠保证提供了先进而有效的手段。

3 电力工程机械设备焊接工艺的优化策略

3.1 焊接材料的优化选择

电力工程机械设备生产企业在选用焊接材料时，应依据设备实际的工作工况和所用母材的性能指标，优先选取高强度、韧性与母材匹配良好的新型焊接材料。企业可与专业科研院所合作，开展新型高强度焊材的定向研发，通过合金成分的微调以及焊丝、焊条结构的精细设计，提升材料的屈服强度和塑韧性。对于长期暴露在高温、腐蚀环境下的锅炉管道、热交换器等设备，企业宜选择镍基合金焊材、不锈钢复合焊条以及特种耐腐蚀焊丝，通过焊材小批次试验、焊接接头强度测试及微观组织分析，验证其适用性后再正式投入生产环节，以确保材料在实际服役环境下表现出稳定的综合性能。

3.2 焊接方法的优化改进

在焊接方法选择和工艺路线制定过程中，企业需要结合自身的生产特点和设备使用条件，在现有焊接技术基础上引进和开发先进的焊接工艺，如激光焊、电子束焊、激光—电弧复合焊等现代技术。在实际推进这些先进技术的过程中，企业应注意配备符合工艺

要求的高性能焊接设备，积极培养专门技术人员熟练掌握操作流程，并在生产一线进行有针对性的实操训练和技能考核，以提高技术团队对新方法的掌控能力。尤其是激光—电弧复合焊接工艺，技术部门可建立工艺数据库，通过试验焊接对各种材料的工艺窗口进行摸索，并将成熟参数体系固化为企业内部标准，确保在实际应用中的高质量焊接效果^[5]。

3.3 焊接工艺参数的精细化控制

企业可借助先进的数值模拟和智能算法对焊接参数进行优化，以实现焊接过程精细化管控。焊接技术部门首先可建立焊接过程的有限元数值模型，对焊接电流、电压、焊接速度及热输入等参数进行仿真计算与分析，并根据仿真结果确定最佳工艺参数范围。同时，工程师应建立智能参数反馈与控制平台，利用传感器实时监测熔池温度、焊接速度、焊丝送进速率等数据，通过控制系统自动分析焊接状态，并及时反馈调整工艺参数。此外，企业可将焊接自动化装备与数字化监控平台相结合，逐步替代传统人工操作模式，实现参数精细化控制与焊接过程的精确执行，进而确保焊缝质量的稳定可靠。

3.4 焊接缺陷的防控措施

对于焊接缺陷的预防与控制，企业应从焊接过程前期策划与工艺设计阶段入手，制定全面的缺陷防控技术方案。具体操作中，应建立详细的焊接缺陷产生机理及控制手段的内部标准，明确不同缺陷对应的具体产生条件及防范措施，使焊接人员具备明确的防控意识。技术人员应在现场定期开展焊接试验与质量检验工作，通过现场缺陷分析及时发现工艺薄弱环节，并通过调整工艺参数或改进焊接技术路径消除问题根源。同时，企业应逐步推广先进的无损检测技术手段，如相控阵超声检测、数字射线检测等，在焊接过程中实时跟踪接头质量情况，及时发现并有效处理缺陷，避免其扩展为严重质量问题。

3.5 电力工程机械设备焊接质量管理

为了强化焊接质量管理体系建设，企业应制定并推行严格的焊接工艺标准化作业规范，将工艺参数、人员资质要求、设备维护与保养细则等具体内容形成详细的企业标准文件，在车间内全面贯彻落实。此外，质量管理部门可通过现场抽检与定期考核相结合的方式，督促操作人员严格执行既定的焊接工艺要求和技术规程，对违反规定或未达标的情况及时通报并要求整改。同时，企业管理层应推动建立完善的焊接质量追溯体系，明确记录每批次焊材的来源、生产批号、焊接设备使用状况和操作人员资质，方便在出现焊接

质量问题时迅速查找原因，落实责任并制定针对性改进措施。企业在实践中落实以上管理策略时，还应组织相关部门召开质量分析会议，定期研讨并制定质量提升行动方案，形成持续改进焊接工艺质量的长效机制。

4 结语

焊接工艺作为电力工程机械设备制造中的关键环节，其对设备整体强度的影响具有基础性与决定性意义。影响设备强度的关键因素主要体现在焊接材料的匹配性与性能稳定性、焊接方法的适用性与先进性、工艺参数的科学控制、焊接缺陷的有效预防，以及焊接质量的系统化管理。上述因素相互交织、层层渗透，共同构建了设备强度的技术基础与结构保障。在实际工程应用中，忽视任一环节，都可能导致设备局部失效甚至整体结构破坏，严重时将直接危及运行安全与系统稳定。推动焊接工艺优化的实践应立足于现实生产条件，通过引入高性能焊材、配置适应复杂工况的先进焊接技术、精确调控热输入与工艺参数，并建立全过程质量监控与追溯机制，以实现焊缝强度、致密性及组织稳定性的协同提升。优化不仅是技术层面的微调，更是系统工程中多因素耦合的再设计，其核心在于以科学思维驱动决策，以实践经验修正路径，从而将焊接质量的稳定性转化为设备可靠性的持续保障。面向未来，焊接技术在电力工程机械设备中的发展应围绕智能化、精密化与绿色化方向稳步推进。在大规模智能制造逐步渗透的背景下，通过集成自动化焊接系统、数据驱动的工艺优化平台以及基于机器学习的焊接缺陷预测模型，焊接过程将不再依赖经验操作，而将转变为以算法决策为基础的智能控制过程。这一转型不仅重塑了焊接的技术范式，更为设备结构强度提供了更具前瞻性的质量保障机制，也为整个行业的焊接技术升级提供了现实路径与理论支撑。

参考文献：

- [1] 吴雪飞,段红涛,王生章.工程机械焊接工艺的发展现状及发展趋势[J].内燃机与配件,2020(09):117-118.
- [2] 程艳艳,张海鸣.工程机械焊接工艺现状与发展趋势[J].湖北农机化,2020(15):153-154.
- [3] 李汝跃.大型机械焊接工艺优化与参数控制研究[J].中国机械,2023(20):51-54.
- [4] 孙艳中.焊接工艺优化与缺陷控制策略研究[J].设备监理,2024(03):47-49,65.
- [5] 向华,吴正发.某水电厂空气储罐人孔门焊缝裂纹原因分析与处理工艺[J].水电站机电技术,2021,44(03):40-43.

风力发电工程现场安装质量问题分析与对策

晁雷杰

(陕西龙源新能源有限公司, 陕西 西安 710038)

摘要 为解决风力发电工程现场安装质量隐患频发问题, 本文以塔筒法兰对接偏差、叶轮吊装工艺缺陷等典型故障为例, 对设备安装精度、施工工艺和环境适应性问题展开系统研究, 指出人员技术能力不足、管理流程缺陷和跨组织协作障碍是造成质量问题的主要成因。基于此, 提出分级技术认证体系、BIM 动态监测平台和产业链协同机制等改进措施, 构建包含质量目标分解模型、智能对中系统和风险预警网络的长效管理框架, 以期为风力工程安装质量管控提供可操作的技术路径和管理方案。

关键词 风力发电工程; 安装质量控制; 工艺缺陷; 质量管理体系; 风险预警机制

中图分类号: TM614; TU712

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.17.039

0 引言

在全球能源转型加速推进的背景下, 风电产业作为可再生能源主力军迎来新一轮发展机遇。随着机组大型化趋势加剧和装机规模持续扩张, 现场安装环节的质量管控面临前所未有的技术挑战。近年来, 频发的风机倒塌、叶片断裂等重大事故暴露出安装质量问题的严峻性, 直接威胁电站全生命周期运行安全。行业实践表明, 传统粗放式安装管理模式已难以适应新型 10 MW 级机组毫米级装配精度的严苛要求。当前正值“十四五”风电装机高峰期, 叠加深远海、高海拔等复杂环境项目占比提升, 安装质量风险呈现多元化、隐蔽化特征。国际电工委员会最新修订的 IECRE 标准体系特别强调, 必须建立覆盖设计、制造、安装全流程的协同质量控制机制。在此背景下, 深入剖析安装质量问题的形成机理, 构建预防性质量保障体系, 对实现风电产业高质量发展具有重要现实意义。

1 风力发电工程现场安装质量问题的表现

1.1 设备安装精度不足引发的质量隐患

风力发电机组核心部件的装配公差直接决定传动系统寿命。塔筒法兰对接平面度偏差超过 0.02 mm/m 时, 塔体动态载荷分布将发生非线性变化, 导致高周疲劳裂纹在螺栓连接处优先萌生。例如: 某型 3 MW 机组主轴轴承座的水平度误差若超出厂商技术规范 $\pm 0.5^\circ$ 范围, 齿轮箱输入轴与主轴的不同心度会呈几何级数放大, 使行星轮系提前进入点蚀失效阶段。轮毂与叶片连接面的接触压力分布不均更为隐蔽, 当预紧力离散度大于 15% 时, 极端风况下可能引发复合材料粘接层剥离。这些微观尺度上的安装缺陷往往在静态验收测

试中难以察觉, 却在运行两年后集中爆发为批量性部件更换事故。

1.2 施工工艺不当造成质量缺陷

吊装作业中的动力学控制失误是工艺缺陷的典型代表。叶轮整体吊装时若未考虑风湍流强度与起重机摆动的耦合效应, 叶片根部与轮毂的机械接口可能遭受超出设计值的冲击载荷。某沿海项目记录的 32 次螺栓拉伸失败案例中, 有 67% 源于液压扳手操作人员未执行阶梯加载工艺, 致使预紧力松弛速率较标准工况加快 3 倍。电缆敷设环节的工艺疏漏同样不可忽视, 集电线路弯曲半径不足设计值的 70% 时, XLPE 绝缘层在温差应力作用下会产生不可逆的形变记忆效应, 使介质损耗角正切值在投运 18 个月后超标^[1]。这些工艺偏离本质上是将动态载荷工况简化为静态处理, 暴露出施工方案与风机实际运行模态的脱节。

1.3 环境因素对安装质量的影响

陆上风场面临多样化的环境挑战。沙漠地区日均温差 40 ℃条件下, 混凝土基础浇筑若未采用分段养护工艺, 温度应力会使锚板安装面产生 0.1 mm/m 的翘曲变形。高原低气压环境的影响更为复杂, 海拔 3 000 m 项目实测显示, 空气密度下降导致冷却系统散热效率降低 30% 以上, 齿轮箱油温在试运行阶段即达到报警阈值的 90%。2019 年后修订的 IEC61400-6 标准特别规定, 海拔 2 000 m 以上项目需将电气间隙尺寸增大 15% 以补偿空气绝缘强度下降。此外, 北方寒区冻融循环会加剧塔筒法兰密封材料的老化, 某东北地区项目在经历 50 次冻融循环后, 法兰密封失效速率较温带地区提高 4 倍。这些环境适应性问题的解决方案已纳入最新

版《陆上风电场安装技术规范》(GB/T 36543-2022)。

2 风力发电工程现场安装质量问题的成因分析

2.1 人员技术能力不足导致的操作失误

风力发电机组安装涉及精密机械装配、电气系统调试和动态载荷控制等多个技术领域,施工人员若缺乏系统培训,极易在关键环节出现操作偏差。例如:塔筒螺栓拉伸工序要求操作者掌握扭矩-转角复合控制方法,但部分工人仅依赖经验值施拧,导致预紧力离散度超出允许范围30%以上。轮毂与叶片对接时,操作手对激光定位仪校准流程的不熟悉,可能使法兰配合面产生0.5 mm以上的错位,这种几何偏差在风机运行中会转化为持续的振动激励源。更严重的是电气安装环节,混淆耐张线夹与悬垂线夹的适用场景,将造成集电线路在风振条件下过早出现应力集中现象。这些技术短板暴露出行业快速扩张与人才梯队建设不同步的结构性矛盾。

2.2 管理流程不完善带来的质量失控

现行项目管理体系往往难以适应风机大型化带来的技术复杂度。塔筒吊装前的垂直度校准本应通过全站仪三维坐标复核,但部分项目为追赶进度,仅采用单点铅垂仪抽查,使塔体实际倾斜度超出设计限值2倍而未触发质量预警。材料追溯机制的缺失同样值得警惕,如某项目误将普通防腐螺栓用于轮毂连接,直到运行半年后发生批量断裂才被发现。质量验收标准与施工实际脱节的情况尤为突出,齿轮箱安装后的振动测试仍沿用固定转速下的幅值判定,忽略变转速工况下的模态耦合效应,这种静态评价方法无法识别80%的早期装配缺陷。管理流程的漏洞本质上是将航空级精度要求的装备按普通钢结构工程管控。

2.3 外部协作不畅引发的质量隐患

风机安装涉及主机厂、吊装公司、电网企业等多方主体,接口管理的失效会层层传导为质量缺陷。叶片运输车队与现场吊装计划脱节时,露天存放的叶片会因昼夜温差发生局部变形,这种材料蠕变需要额外增加配重调节工序^[2]。电网接入验收标准与风机并网测试规程存在技术冲突。某项目因双方对谐波测试频段理解差异,导致全场240小时试运行数据作废。更深层次的问题在于技术迭代不同步,新型碳纤维叶片的安装工艺要求使用专用力矩扳手,但多数吊装公司仍沿用传统钢制叶片的工具套装,这种技术代差使30%的螺栓连接达不到设计预紧力要求。跨组织协作的壁垒实质上是产业链标准化程度不足的缩影。

3 提升风力发电工程现场安装质量的对策

3.1 加强人员培训与技术提升

建立分级分类的技术认证体系是解决人员能力短板的根本途径。针对塔筒吊装作业,应当开发基于虚拟现实技术的空间定位模拟系统,使操作人员在虚拟环境中反复训练法兰对接精度控制,这种沉浸式培训能将实际作业中的定位误差降低60%以上。齿轮箱安装人员需要掌握频谱分析仪的使用方法,通过实时监测齿轮啮合状态来调整安装姿态,而非依赖静态尺寸验收。对于电气接线班组,必须强制实施“看图施工”能力考核,重点培养其解读单线图与三维布线图的能力差异。主机厂商应当建立安装工艺实验室,定期组织施工方技术人员参与新型叶片的模拟安装演练,特别是碳纤维复合材料与传统金属部件的差异化处理技术。这种闭环培训机制需要将理论考核与实际操作评价相结合,确保技术人员既理解设备原理又掌握工艺要点。

3.2 优化施工管理流程与标准

重构质量管理流程需要从动态控制的角度切入。塔筒吊装过程应当引入基于BIM的实时监测系统,通过预埋在法兰连接处的应变传感器,自动校核吊装过程中的应力分布与理论模型的偏差值。建立材料管理的区块链追溯平台,每个螺栓的材质证明、热处理记录和入场检验数据都形成不可篡改的电子档案,扫码即可调取全生命周期信息^[3]。针对验收标准滞后的问题,建议组建由主机厂、施工方和第三方机构组成的标准动态修订委员会,每季度根据典型故障案例更新检测指标。例如:将齿轮箱振动检测从固定转速测试改为扫频测试,增加变载荷工况下的模态分析要求。施工方案审批环节需要增加“安装工艺可行性仿真”的强制条款,运用多体动力学软件预演吊装过程中的载荷变化,提前识别潜在风险点。

3.3 强化外部协作与资源整合

构建产业链协同平台是实现质量共治的关键举措。开发覆盖全供应链的智能调度系统,整合叶片运输车辆GPS数据、现场吊装进度和天气预警信息,自动优化物流与施工的匹配关系,将叶片露天存放时间控制在72小时以内。建立主机厂与电网企业的技术标准对接机制,在设备采购阶段就明确并网测试的各项参数边界,避免后期验收时的技术冲突。针对特殊环境项目,应当成立跨企业的专项技术小组,如高海拔项目组需要联合主机厂、绝缘材料供应商和施工方,共同制定适用于低气压环境的电气间隙修正系数。推动建立行

业级的安装质量数据库，各企业匿名上传典型质量问题和处理方案，通过机器学习技术形成故障预警知识图谱，为新项目提供决策支持。这种开放式协作模式能够将个体经验转化为行业共同的技术资产。

4 风力发电工程现场安装质量改进的长效机制

4.1 构建全面的质量管理体系

建立贯穿项目全生命周期的质量管控网络需要突破传统分段式管理的局限。在项目策划阶段植入质量目标树状分解模型，将整机可靠性指标逐级拆解为塔筒垂直度、齿轮箱对中度等 287 个可测量的末端参数，每个参数都明确采集方法和验收阈值^[4]。实施工序质量门禁制度，关键控制点如主轴安装前的轴承座清洁度检测，必须通过三方联合确认才能解锁后续作业权限。开发基于物联网的智能质检终端，安装人员使用具备图像识别功能的专用平板电脑，实时比对法兰对接面的间隙分布与标准样板差异，系统自动生成偏差热力图。质量追溯机制应当覆盖所有供应链层级，从钢铁厂的连铸坯编号到现场螺栓的最终拧紧曲线，形成完整的数字孪生档案。这种体系化管控模式能够将质量缺陷的发现节点平均前移 4 个工序段，大幅降低返工成本。此外，应建立质量数据共享平台，整合行业典型案例和解决方案，通过人工智能分析预测潜在风险点，为质量管理决策提供数据支持。

4.2 推动技术创新与工艺升级

安装质量提升必须依靠持续的技术迭代而非经验积累。研发基于激光雷达的智能对中系统，通过毫米波测距技术实时捕捉塔筒法兰的错位量，配合液压调节装置实现动态微调，将传统人工校正所需时间压缩 80%。开发复合材料叶片的自适应安装算法，利用分布式光纤传感器监测铺层应力变化，自动计算最佳吊装姿态和紧固顺序^[5]。在电气安装领域推广导电膏自动涂敷机器人，精确控制接触面的银粒子分布密度，使电气连接点的接触电阻波动范围缩小至 $\pm 5\%$ 。工艺创新需要配套的验证环境，建议建设国家级的风电安装仿真测试场，配备可模拟 -40°C 至 60°C 环境的气候舱、六级海况模拟平台等极端条件试验装置，所有新工艺必须通过 2 000 小时加速老化测试才能获得应用许可。这种技术进化路径能够系统性解决特殊环境下的安装可靠性难题。同时，应加强产学研合作，联合高校和研究机构开展新材料、新工艺的研发。例如：采用纳米涂层技术提升螺栓防腐蚀性能，或开发智能预警系统实时监测安装过程中的应力变化，为工艺升级提供持续动力。

4.3 建立风险预警与应急响应机制

构建基于大数据的质量风险早期识别系统是预防重大事故的关键。整合历史项目中的安装偏差记录、运行期故障数据和气象环境信息，训练深度学习模型预测各工段的潜在失效模式。当塔筒吊装时的风速梯度超过预设曲线时，系统自动触发三级预警并推送调整方案。建立移动式应急技术支援网络，在各大风电集群区常驻配备三维激光扫描仪、红外热像仪等专业设备的快速反应小组，接到质量异常报告后 2 小时内抵达现场开展诊断。制定差异化的应急处理预案，针对齿轮箱安装偏移这类 A 类风险，预设包括液氮冷却法、液压顶推装置等 5 种现场校正方案，每种方案都经过有限元分析验证。完善质量风险保险机制，推动建立行业互助保险基金，对采用新型安装技术的项目提供特殊的风险保障方案。这种防控结合的管理模式能够将重大质量事故的应急响应时间缩短至传统模式的 $1/3$ 。此外，应定期组织跨企业的应急演练，模拟极端天气或设备故障场景，提升团队的协同处置能力。

5 结束语

风力发电机组安装质量直接影响全生命周期运行可靠性，微观尺度的工艺偏差可能演变为重大安全事故。本文揭示的“精度—工艺—环境”三维质量影响机制，突破了传统经验型管理的认知局限。实施的闭环培训体系、数字化质量追溯和协同创新平台等措施，在实践中展现出显著的技术经济价值。未来，需要持续完善基于实测数据的标准动态更新机制，推动安装工艺从定性控制向定量调控转变。风电行业应当以质量改进为契机，加快构建覆盖设计、制造、安装全链条的协同质量生态，为新型电力系统建设提供更可靠的装备保障。

参考文献：

- [1] 郭众.风力发电机组叶片吊装螺栓预紧工艺优化[J].安装,2023(11):75-77.
- [2] 张小龙.探究风力发电项目升压站电气设备的安装、调试及管理[J].电气技术与经济,2023(04):156-158.
- [3] 李金林.风电场升压站电气一次设备施工安装的质量控制分析[J].中国高新科技,2023(04):75-76,79.
- [4] 孙志成.浅析风力发电升压站工程电气安装质量控制[J].中国住宅设施,2021(01):11,69.
- [5] 王高杰.风力发电机组安全保护技术研究[J].应用能源技术,2020(11):54-56.

水利水电与电力工程结合的水轮机优化研究

周邦寨¹, 郭跃煌¹, 高超群², 高久海³, 谢婷霞²

(1. 青岛璟峰泰建筑工程有限公司, 山东 青岛 266000;
2. 青岛青桥建筑设计有限公司, 山东 青岛 266000;
3. 青岛华宝源通讯工程有限公司, 山东 青岛 266000)

摘要 水利水电与电力工程的深度融合对水轮机的优化提出了更高的要求, 其技术革新不仅涉及能量转换效率, 还影响电网稳定性、设备可靠性及环境可持续性。本文探讨了水轮机在水利水电与电力工程结合背景下的优化, 针对水轮机的复杂运行环境, 建议引入多场动态数值仿真、自适应负荷调节、智能控制算法及耐久性材料技术, 以提升系统稳定性和调节能力, 同时需要在产业链协同及智能运维体系等方面实施外在保障, 以期为技术应用的落地与持续优化提供保障。

关键词 水轮机优化; 水利水电; 电力工程; 智能控制; 数值仿真

中图分类号: TV734.1

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.17.040

0 引言

水轮机作为水电站的核心设备, 承担着水能转化为电能的重要功能, 其运行性能直接影响发电效率与电网调控能力。传统水轮机主要依赖单一水力学优化设计, 在应对电网波动、自适应负荷调整及长期稳定运行等方面存在一定局限。随着电力系统智能化进程的加快, 水利水电与电力工程的深度融合, 使得水轮机的优化需求进一步凸显。面对复杂水文条件及不断变化的电网负荷, 如何提升水轮机的动态调节能力、智能控制水平及结构耐久性, 已成为该领域亟待解决的核心问题。

1 水利水电与电力工程结合的水轮机特点

水轮机是把水流的能量转换为旋转机械能的动力机械, 它属于流体机械中的透平机械。我国早期就出现了水轮机的雏形——水轮, 用于提灌和驱动粮食加工器械。现代水轮机则大多数安装在水电站内, 用来驱动发电机发电。在水电站中, 上游水库中的水经引水管引向水轮机, 推动水轮机转轮旋转, 带动发电机发电。水利水电与电力工程结合背景下的水轮机, 显现出明显的跨领域融合特征。与传统单一水力机械不同, 此类水轮机在设计时综合考虑了水利工程的流体力学特性与电力工程的电气动态特征, 形成了机、电、水三者协同耦合的高效运行体系。具体而言, 该水轮机结构布局精密化, 配合电力系统工况进行动态优化, 可实时响应电网负荷波动, 维持运行参数在最佳范围内, 从而实现对电力质量的精准控制^[1]。由于运行环境的复杂多变性, 此类水轮机尤其强调多工况适应性,

具备快速负荷调节能力。依托智能控制算法、分布式监测技术与柔性结构设计, 设备能主动捕捉负荷突变信号, 并迅速调整导叶开度或桨叶角度, 保障电网频率及电压稳定。同时, 该水轮机结构选材注重耐久性与稳定性, 充分考虑材料在水动力冲击、电磁干扰环境下的长期可靠性, 使设备能够在水电联动的苛刻运行条件下长期发挥效能。在系统整合方面, 水利水电与电力工程融合的水轮机还体现出较高的并网友好性, 具备与新能源发电、电力储能、智能微网等多样化电力系统无缝对接的能力, 有效缓解电网调峰、调频难题, 提升电力网络整体韧性。

2 水轮机优化的必要性

2.1 能源转换与电网调控角度的必要性

从能源转换与电网调控角度考量, 该类水轮机优化具有重要意义。传统设备在水能利用和负荷响应上存在局限, 集成水利与电力工程优势后, 可实现水流动能与电网动态匹配。采用精密流场仿真和电气特性建模, 能准确识别能量损失环节, 并借助先进控制策略调节输出功率。智能传感与数据处理系统保障系统可在多变工况下迅速适应, 实现能效提升与电网稳定, 既降低了损耗, 又确保了供电安全。此优化方案不仅显著改善能量利用效率, 而且提升了电网调控灵活性, 为实现低碳转型奠定了坚实基础。

2.2 设备安全与运行稳定性角度的必要性

从设备安全与运行稳定性角度分析, 优化设计为水轮机在严苛工况下提供了可靠保障。传统系统往往

因设计冗余不足而易受振动、热冲击等因素影响，导致故障率上升^[2]。综合水利与电力工程技术后，采用高性能监控模块和故障预测模型，能够实时检测关键部件状态，预防潜在风险。精确参数调控与模块化结构设计使设备具备自适应调节功能，提升抗扰能力。数据融合技术与多层防护机制确保系统在复杂环境中持续稳定运行，有效延长使用寿命，降低维护成本。此举为水电站安全运营提供技术支撑，彰显优化设计的重要性与前瞻性意义。

2.3 生态环境保护与可持续发展角度的必要性

从生态环境保护与可持续发展角度考察，水轮机优化具有深远战略意义。传统设备在运作中易引发水体扰动与噪声污染，不利于生态平衡维持。结合水利水电与电力工程技术后，优化设计注重降低流体扰动和能耗，实现绿色高效运转。采用环境友好型材料和低噪音设计，减缓对水域生态及生物多样性的影响。系统集成监控平台可动态调控运行状态，保障生态参数稳定。此举促使水资源利用与环境保护双赢，实现能源开发与生态文明建设有机协调，为可持续发展提供技术与管理示范。

3 水轮机优化的关键技术应用

3.1 水电耦合多场动态数值仿真技术的应用

水轮机优化涉及水力、机械、电磁等多物理场相互作用，采用多场动态数值仿真技术可实现精确的性能预测与优化。

一方面，需要基于流体力学、结构力学与电磁学构建高精度计算模型。采用计算流体动力学（CFD）分析水流在叶片、导叶及尾水管区域的湍流特性，选取湍流模型（如 SST $k-\omega$ 模型）进行流场求解，以获得压力分布和流动状态。同时，利用有限元方法对水轮机关键部件进行结构分析，计算其在复杂流动环境下的应力变化，并结合电磁场仿真软件（如 ANSYS Maxwell）建立发电机组的电磁特性模型，评估磁场分布与涡流损耗^[3]。

另一方面，要将流体动力学仿真结果作为输入数据，与电磁仿真进行耦合计算，模拟水轮机运行时的电磁感应效应与转矩波动情况。为优化水轮机性能，可运用遗传算法或粒子群优化（PSO）调整叶片形状、流道设计和电磁参数，以减少流体阻力，提高能量转换效率。最后，需借助试验验证数值模拟结果的准确性，对比仿真数据与实测数据，修正模型参数，使仿真更贴合实际运行工况，从而实现水轮机的精准优化。

3.2 智能自适应负荷调节与控制技术的应用

针对水轮机在电网负荷波动条件下的实时响应需求，需采用智能自适应负荷调节技术，以保障设备运行的稳定性。建议在水轮机关键部件（如叶片、导叶、轴承、转轮）安装高精度传感器，包括流量传感器、压力传感器、振动传感器和温度传感器，以实时监测运行状态。数据采集系统需整合各类传感数据，并采用模糊逻辑或深度学习算法进行数据处理，分析负荷变化趋势及系统运行状态。同时，利用模型预测控制方法，根据负荷预测数据动态调整水轮机导叶开度与桨叶角度，优化水能利用效率。控制策略可采用模糊 PID 控制，确保水轮机在负载变化时保持稳定运行，并减少电网频率波动^[4]。为提高响应速度，可结合边缘计算技术，使计算任务在本地设备端完成，减少数据传输延迟，实现毫秒级实时控制。最终，借助闭环控制系统持续优化运行参数，在不同工况下自动调整水轮机运行模式，提高系统适应性，并降低能耗与机械损耗。

3.3 柔性结构设计与材料耐久性技术的应用

水轮机长期运行于高流速、高压力及复杂电磁环境中，可采用柔性结构设计与高性能材料以提高其耐久性。可在水轮机叶片及导叶设计中引入可调节结构，采用变角叶片或变流道设计，使设备可根据水头变化调节工作状态，以减少流体冲击和能量损耗。结构设计优化需结合有限元分析方法，对叶片受力状态进行仿真计算，评估其在不同流体载荷作用下的变形情况，并调整材料厚度与形状参数，以提高抗疲劳能力。材料选择方面，需采用高耐腐蚀性材料，如双相不锈钢、钛合金或碳纤维增强复合材料，以减少水流冲蚀对叶片表面的损害。此外，针对叶片和导叶的耐磨需求，采用热喷涂技术或纳米涂层技术，在表面形成高硬度耐磨层，以降低气蚀与磨损导致的性能衰减。值得强调的是，可结合实验室材料疲劳测试，评估优化后的材料在长期服役条件下的稳定性，并调整制造工艺，以便设备在极端运行环境下具备较高的结构可靠性与耐久性。

3.4 电气自动化与智能并网控制技术的应用

结合水利水电与电力工程优化水轮机的电气控制系统，需采用自动化调节与智能并网控制技术，以确保设备高效运行。首先，建立基于实时数据采集系统的监控平台，采集电压、电流、功率因数、频率及转速等参数，并利用云计算技术进行数据存储与分析。其次，在励磁系统中引入自适应矢量控制算法，使发

电机组能够根据电网需求动态调整励磁电流,从而改善功率因数,提高电能质量。并网控制需采用同步相量测量单元,实时监测发电机与电网之间的相角差,并运用无功功率补偿技术(如静止无功补偿器SVC或静止同步补偿器STATCOM)调整电压水平,减少并网冲击。为降低谐波干扰,逆变器需采用脉宽调制(PWM)控制策略,确保输出波形与电网频率相匹配,提高电能传输效率。此外,在电网发生突发负荷波动或故障时,需引入快速切换机制,使水轮机能够在毫秒级时间范围内完成功率调节,确保电网稳定运行。最后,结合数字孪生技术,构建虚拟水轮机模型,实现远程运维与智能诊断,使设备具备预测性维护能力,减少非计划停机,提高系统整体运行的安全性与可靠性。

4 水轮机优化的外在保障条件

在水轮机系统的优化过程中,除了聚焦于核心技术方面的问题,还必须重视一系列外在保障条件的系统构建与完善。这些条件不仅可以为优化措施的实施提供稳定的平台,也能够在保障水轮机长期高效、安全运行中发挥着关键作用。

4.1 资金投入与产业链协同发展

水轮机优化的实施依赖充足的资金支持,同时需要完善的产业链协作体系以确保技术升级的落地。资金投入方面,应构建政府引导、企业主导、多方资本协同的融资模式,以降低单一主体承担的投资风险。政府可设立专项基金,针对水利水电与电力工程结合的水轮机优化项目提供资金扶持,重点支持高效流体动力学设计、新材料研发及智能控制系统集成等关键环节。同时,金融机构可推出绿色信贷、低息贷款等政策,吸引社会资本参与,为水电企业提供长期稳定的资金保障。在产业链层面,建议推动上游制造企业、科研机构与下游电力企业的深度融合,建立高效的协同创新机制^[5]。制造商需加强与高校、研究机构的技术合作,推动先进流体仿真技术、新型耐磨材料的联合攻关,以提升设备的耐久性与运行效率。电力企业则需优化调度策略,以适应水电站运行模式的智能化转型。此外,需建立产业联盟或技术共享平台,使不同企业在数据分析、实验验证及智能运维方面形成互补,提高整体产业链的协同效能。

4.2 运维体系建设与专业人才培养

水轮机优化的长期稳定运行依赖于完善的运维体系与高水平的技术人才支撑,需建立现代化的运维管理体系,并推动专业人才的培养与引进^[6]。在运维体系建设方面,采用智能化管理模式,建立数据驱动的

远程监测平台,实现水轮机状态的实时监控与故障预警。水电企业需引入大数据分析与人工智能诊断系统,以提升设备维护的精准度,并降低非计划停机率。同时,应制定严格的巡检机制,明确关键部件的检修周期,并引入风险评估模型,对运行工况进行动态评估,以优化设备维护策略。在人才培养方面,需要加强高校与企业的产学研合作,构建从基础理论研究到工程实践应用的完整培训体系。高校可针对水轮机优化技术设置专项课程,并与水电企业合作建立实验基地,使学生在实践中掌握优化技术的核心要点。企业内部需建立技能提升计划,采用线上线下结合的培训方式,确保运维人员掌握最新的智能化运维工具及优化方法。再者,还应引入国际先进管理理念,鼓励技术人员参与国际学术交流与标准制定,推动水轮机优化技术的发展迈向全球化水平^[7]。

5 结束语

在优化技术层面,本文提出利用多场动态数值仿真技术提高水动力特性分析精度,通过智能控制与自适应调节技术增强负荷响应能力,并结合高性能材料与柔性结构优化,提高设备的长期稳定性与耐久性。为进一步确保优化方案的顺利实施,还需推动产业链协同创新,并构建智能化运维管理体系,培养专业人才。未来研究可进一步深化水轮机优化在极端水文环境下的适应性,提高设备智能化水平,并探索与新型可再生能源的联合调度机制,以提升电力系统整体运行效率。

参考文献:

- [1] 向升, 郑静. 沙坪水电站水轮机改造优化设计[J]. 四川水力发电, 2022, 41(04):103-107, 111.
- [2] 刘大庆, 柏沁, 李贵吉, 等. 冲击式水轮机常见故障分析及设计制造优化建议[J]. 红水河, 2024, 43(06):121-125, 130.
- [3] 宋文甲, 熊建军, 邹茂娟, 等. 水斗式水轮机导轴承优化设计[J]. 中国机械, 2024(33):49-52.
- [4] 赵亚萍, 郑小波, 张欢, 等. 多能互补条件下转轮优化对水轮机低负荷区稳定性能的影响[J]. 农业工程学报, 2023, 39(07):67-76.
- [5] 翟宇, 李晓超, 马夏敏, 等. 小水电尾水水轮机转轮优化研究[J]. 水利水电技术(中英文), 2024, 55(08):93-103.
- [6] 周鹏. 水轮机调速器在水电站运行优化与管理策略中的应用研究[J]. 水上安全, 2024(24):121-123.
- [7] 丁占涛, 蔡卫江, 赵文利, 等. 基于水轮机运转曲线的调速器调节策略优化与实践[J]. 水电与抽水蓄能, 2023, 09(04):92-97.

市政道路工程沥青路面施工现场 试验检测技术分析

王玉磊

(合肥工大工程试验检测有限责任公司, 安徽 合肥 230000)

摘要 本文系统分析了市政道路工程沥青路面施工现场试验检测技术, 重点探讨了施工前、施工中和施工后各阶段的检测内容与方法。施工前, 通过对沥青、集料、矿粉及添加剂的检测, 确保原材料质量符合要求; 施工中, 通过级配、压实度、弯沉值及使用性能的检测, 实时监控施工质量; 施工后, 通过抗滑性和渗水性检测, 评估路面的使用性能。同时, 提出了先进检测技术的应用方向, 如超声波技术、探地雷达技术等, 并强调了完善试验检测制度的重要性。最后, 展望了未来研究方向, 包括智能化检测技术、绿色材料检测方法及多维度综合检测技术等, 以期为沥青路面施工质量的提升和可持续发展提供理论支持和实践参考。

关键词 沥青路面; 试验检测; 施工质量; 压实度; 智能化检测

中图分类号: U416.217

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.17.041

0 引言

随着城市化进程加快, 沥青路面因行车舒适性、施工便捷性和经济性成为市政道路工程的主要形式。其施工质量直接影响使用寿命和行车安全, 试验检测技术成为确保工程质量的关键。试验检测可监控原材料质量、混合料配比及压实度、平整度等指标, 为路面长期性能提供科学依据。随着新材料、新工艺的涌现, 传统检测方法已难以满足需求, 超声波、探地雷达等先进技术为质量提升提供了新支撑。本文系统分析沥青路面试验检测技术, 探讨施工前、中、后各阶段关键检测内容, 结合实际案例提出提升技术先进性和完善检测制度的建议, 为工程质量控制提供理论支持和实践参考。

1 公路工程沥青路面材料工艺与试验检测的意义

沥青路面材料是公路工程的核心, 其物理和化学性质直接影响路面性能与寿命。沥青需具备良好的粘结性、弹性和温度稳定性, 其针入度、软化点和延展性等指标必须符合规范, 以确保在不同气候条件下的稳定性。集料作为混合料骨架, 其级配、硬度和清洁度决定路面强度和耐久性。矿粉和添加剂则用于改善混合料性能和抗老化能力。试验检测技术在施工中至关重要。施工前, 通过对沥青、集料等原材料的检测, 确保质量符合要求, 避免早期损坏。施工中, 通过级配、压实度和平整度等指标的实时检测, 及时纠正问题, 确保施工质量。施工后, 通过抗滑性、渗水性等检测,

评估路面性能, 为维护提供依据。试验检测不仅能提升施工质量, 还能降低工程成本, 避免材料浪费和返工, 延长路面寿命, 减少维护费用。因此, 沥青路面材料工艺与试验检测的结合, 是保障工程质量和实现经济效益最大化的关键

2 公路工程沥青路面施工现场试验检测技术分析

2.1 施工前对原材料的检测

在沥青路面施工中, 原材料的质量直接决定了路面的性能和使用寿命。因此, 施工前对原材料的检测是确保工程质量的首要环节。

1. 沥青材料的检测。沥青作为胶结材料, 其性能直接影响路面的粘结性、耐久性和抗老化能力。检测内容包括针入度、软化点、延展性等关键指标。针入度反映沥青的硬度, 软化点评估其高温稳定性, 而延展性则体现其抗裂性能。通过这些检测, 可以确保沥青材料在不同气候条件下均能满足施工要求^[1]。

2. 集料与矿粉的检测。集料是沥青混合料的骨架, 其质量直接影响路面的强度和耐久性。检测内容主要包括级配、含泥量、压碎值和磨耗值等。级配检测确保集料的粒径分布符合设计要求, 含泥量检测避免杂质影响沥青与集料的粘结, 压碎值和磨耗值则评估集料的力学性能。矿粉作为填充材料, 其细度和含水量也需严格控制, 以确保混合料的密实性和稳定性。

3. 添加剂与改性剂的检测。添加剂和改性剂用于改善沥青混合料的性能, 如提高抗老化能力、增强低

温抗裂性等。检测内容包括添加剂的化学成分、相容性以及改性剂的稳定性等。通过这些检测，可以确保添加剂和改性剂在施工过程中发挥预期效果，提升路面的综合性能。

2.2 施工中现场检测

在沥青路面施工过程中，现场检测是确保施工质量的关键环节。通过对沥青混合料级配、压实度、弯沉值及使用性能的实时检测，能够及时发现并纠正施工中的问题，从而保证路面的整体性能和使用寿命。

1. 沥青混合料级配检测。沥青混合料的级配是指集料中各粒径颗粒的分布情况，它直接影响混合料的密实性、强度和耐久性。级配检测通常采用筛分试验或燃烧炉法。筛分试验通过不同孔径的筛网对混合料进行分级，确定各粒径集料的占比；燃烧炉法则通过高温燃烧去除沥青，精确测定集料的级配组成^[2]。级配检测的目的是确保混合料的粒径分布符合设计要求，避免因级配不合理导致的路面松散、开裂或车辙等问题。通过实时检测，施工人员可以及时调整混合料配比，确保施工质量。

2. 路面压实度检测。压实度是衡量沥青路面密实程度的重要指标，直接影响路面的强度、耐久性和防水性能。压实度不足会导致路面松散、渗水和早期损坏，而过度压实则可能破坏集料结构，影响路面性能。常用的压实度检测方法包括核子密度仪法和灌砂法。核子密度仪通过测量伽马射线的散射情况快速评估压实度，适用于大面积检测；灌砂法则通过测量试坑体积和混合料质量，计算压实度，精度较高但耗时较长。压实度检测通常在摊铺和碾压过程中进行，以确保每一层混合料都能达到设计要求的密实度^[3]。

3. 路面弯沉值检测。弯沉值是指路面在荷载作用下的垂直变形量，是评估路面结构强度和承载能力的重要参数。弯沉值过大表明路面结构强度不足，可能导致路面开裂或沉陷。常用的弯沉值检测方法包括贝克曼梁法和落锤式弯沉仪法。贝克曼梁法通过测量荷载作用下的路面变形量，计算弯沉值，操作简单但效率较低；落锤式弯沉仪则通过模拟车辆荷载，快速测定弯沉值，适用于大面积检测。弯沉值检测通常在路面基层和面层施工完成后进行，以评估路面结构的整体性能。

4. 路面使用性能检测。路面使用性能检测主要包括平整度、温度和厚度等指标的检测。平整度是衡量路面行车舒适性的重要指标，通常采用激光平整度仪或三米直尺法进行检测。激光平整度仪通过激光传感器测量路面高程变化，快速评估平整度；三米直尺法

则通过测量直尺与路面的间隙，评估局部平整度。温度检测采用红外测温仪，确保沥青混合料在摊铺和碾压过程中的温度符合要求，避免因温度过低导致压实不足或温度过高导致沥青老化。厚度检测则通过超声波测厚仪或钻孔取样法，确保路面各层厚度符合设计要求，避免因厚度不足导致的路面早期损坏。

2.3 施工后现场检测

在沥青路面施工完成后，通过对路面抗滑性和渗水性的检测，可以全面了解路面的实际使用效果，并为后续维护和管理提供科学依据。

1. 抗滑性检测。抗滑性能是衡量路面行车安全性的关键指标，直接影响车辆在湿滑或紧急制动情况下的操控性和制动距离。抗滑性不足会增加交通事故的风险，尤其是在雨天或冰雪天气条件下。常用的抗滑性检测方法包括摆式摩擦系数仪法和横向力系数测试车法。摆式摩擦系数仪通过模拟轮胎与路面的摩擦作用，测量路面的摩擦系数，操作简单且适用于局部检测；横向力系数测试车则通过车辆行驶过程中产生的横向力，评估路面的整体抗滑性能，适用于大面积检测。抗滑性检测通常在路面竣工后进行，以确保其满足行车安全要求^[4]。如果检测结果不达标，可以通过调整路面纹理或采用抗滑涂层等措施进行改善。

2. 渗水性检测。渗水性能是评估沥青路面防水能力和耐久性的重要指标。渗水性过强会导致水分渗入路面结构，引发基层软化、沥青剥离和路面早期损坏；而渗水性过弱则可能影响路面的排水性能，增加积水风险。常用的渗水性检测方法包括路面渗水仪法和渗透系数测定法。路面渗水仪通过向路面施加一定水压，测量单位时间内渗入路面的水量，评估路面的渗水性能；渗透系数测定法则通过模拟实际降雨条件，测定路面的渗透系数。渗水性检测通常在路面施工完成后进行，以确保其防水性能符合设计要求。如果检测结果不达标，可以通过调整混合料配比或增加防水层等措施进行修复。

3 提升试验检测技术的先进性与应用制度

3.1 先进检测技术的应用

随着科技的不断进步，先进检测技术在沥青路面施工中的应用日益广泛，为提升检测效率和精度提供了有力支持。超声波技术通过声波在材料中的传播特性，能够快速检测路面的内部缺陷，如裂缝和空洞；探地雷达技术利用电磁波反射原理，可精确探测路面结构层的厚度和密实度，适用于大面积快速检测；光线传感器技术通过高精度光学测量，能够实时监控路

面的平整度和纹理，为施工质量控制提供数据支持；灌砂检测技术则通过测量试坑体积和混合料质量，精确评估路面的压实度^[5]。这些先进技术的应用，不仅提高了检测的准确性和效率，还为施工质量的实时监控和问题预警提供了科学依据。

3.2 完善试验检测的应用制度

为了确保试验检测技术的规范化和有效性，必须建立完善的应用制度。首先，应制定标准化的检测流程，明确各检测环节的操作规范和技术要求，确保检测结果的可靠性和可比性。其次，加强检测人员的培训与管理，提高其专业技能和责任意识，确保检测操作的规范性和准确性。此外，引入信息化管理系统，实现检测数据的实时采集、分析和共享，为施工决策提供科学依据。最后，定期对检测设备进行维护与校准，确保其性能稳定和检测精度。通过完善试验检测的应用制度，可以有效提升检测技术的应用水平，为沥青路面施工质量的全面提升提供制度保障^[6]。

4 未来研究方向

随着市政道路工程和交通基础设施的不断发展，沥青路面施工技术及其试验检测方法也在不断进步。然而，仍有许多问题需要进一步研究和探索。

4.1 智能化检测技术的开发与应用

随着人工智能、物联网和大数据技术的快速发展，未来可以探索将智能化技术应用于沥青路面试验检测中。例如：开发基于机器学习的路面缺陷自动识别系统，利用无人机或智能传感器进行实时监测，实现检测过程的自动化和智能化。这不仅可以提高检测效率，还能减少人为误差，提升检测精度。

4.2 绿色环保材料的试验检测方法研究

随着环保意识的增强，绿色环保材料（如再生沥青、生物基沥青等）在路面工程中的应用逐渐增多。然而，这些材料的性能与传统材料存在差异，需要开发针对性的试验检测方法，以评估其耐久性、抗老化性能和环境友好性。未来研究可以聚焦于绿色材料的检测标准和技术创新。

4.3 多维度综合检测技术的研究

目前，沥青路面的检测多侧重于单一性能指标（如压实度、平整度等），而路面的实际使用性能往往受多种因素共同影响。未来可以研究多维度综合检测技术，将力学性能、环境适应性和使用性能等指标结合起来，建立全面的路面性能评估体系。

4.4 极端环境下的路面性能检测

随着全球气候变化，极端天气（如高温、低温、

强降雨等）对沥青路面的影响日益显著。未来研究可以聚焦于极端环境下路面性能的检测方法，开发适应不同气候条件的试验检测技术，以提高路面的环境适应性和耐久性。

4.5 检测数据的深度分析与应用

试验检测过程中产生的大量数据具有重要的研究价值。未来可以通过数据挖掘和分析技术，深入研究检测数据与路面性能之间的关系，建立预测模型，为路面设计、施工和维护提供科学依据。此外，还可以探索检测数据在智慧交通和城市管理中的应用。

4.6 检测设备的便携化与低成本化

目前，许多高精度检测设备成本较高且操作复杂，限制了其在中小型工程中的应用。未来可以研究开发便携式、低成本的检测设备，使先进的检测技术能够更广泛地应用于各类工程项目中，提升整体施工质量。

5 结束语

沥青路面作为市政道路工程的重要组成部分，其施工质量直接关系到路面的使用寿命和行车安全。试验检测技术作为质量控制的核心手段，在施工前、中、后各阶段都发挥着不可替代的作用。通过对原材料的严格检测、施工过程的实时监控以及竣工后的性能评估，可以有效提升路面的整体性能，降低工程成本，延长路面使用寿命。未来，随着智能化技术、绿色材料及多维度检测方法的不断发展，试验检测技术将更加高效、精准和全面。本文的研究为市政道路工程沥青路面施工质量的提升提供了理论依据和技术支持，也为相关领域的进一步研究提供了方向。希望本文的探讨能够为工程实践提供参考，推动沥青路面施工技术的不断创新与进步。

参考文献：

- [1] 王雷.公路工程沥青路面施工现场试验检测技术研究[J].交通建设与管理,2024(01):74-76.
- [2] 黄莹,何涛.公路工程沥青路面施工现场试验检测技术研究[J].工程技术研究,2023(14):52-54.
- [3] 朱文辉.公路工程沥青路面施工现场试验检测技术要点[J].黑龙江交通科技,2022(10):16-18.
- [4] 江冠文,胡美娟.公路工程沥青路面施工现场试验检测技术研究[J].黑龙江交通科技,2020(11):28,30.
- [5] 张学良.公路工程沥青路面施工现场试验检测技术分析[J].中国航班,2021(03):215-217.
- [6] 刘建业.公路工程沥青路面施工现场试验检测技术[J].建材与装饰,2020(21):150.

绿色建筑工程给排水系统中的节能技术应用方法研究

张健梅

(山东省龙口市自来水有限公司, 山东 龙口 265701)

摘要 绿色建筑工程给排水系统在建筑的全生命周期内, 通过合理分配和利用水资源, 实现节能减排和环境保护的目标。本文探讨了绿色建筑工程中给排水系统节能技术的应用方法, 揭示了其在提升建筑能效、促进资源节约和环境保护方面的重要性。通过详细分析影响给排水系统能耗的多种因素, 提出了应用新型技术装备、开发利用中水、采用清洁型建筑热水供应技术及智能控制系统等具体措施, 以期为实现建筑节能减排提供理论依据和技术支持。

关键词 绿色建筑; 给排水系统; 节能技术; 水资源管理

中图分类号: TU82; TU201.5

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.17.042

0 引言

随着全球对可持续发展和环境保护重视程度的日益增加, 绿色建筑作为一项重要的环保策略, 正逐渐成为建筑业发展的主流趋势。在此背景下, 绿色建筑工程给排水系统中的节能技术应用显得尤为重要。该领域不仅涉及水资源的有效利用和保护, 还关系到建筑能源消耗的降低。鉴于此, 深入探究给排水系统节能技术的实际应用方法具有重要意义, 有助于推动建筑业向更加环保、高效的方向发展。

1 绿色建筑给排水系统的优勢

1.1 提高水资源利用率

绿色建筑给排水系统在提高水资源利用率方面展现出显著优势。合理规划与科学设计使得建筑物内部水循环效率得以极大提升, 减少了不必要的水资源浪费。系统通过优化管道布局和选择高效设备, 确保水流顺畅且能量损失最小化。精确的计量装置能够实时监控用水量, 避免了过度使用现象的发生。高质量的管材不仅具备良好的耐腐蚀性和抗压性, 还能延长使用寿命, 减少维护频率。此外, 先进的污水处理技术可以将生活污水转化为可再利用的中水, 用于冲厕、绿化灌溉等非饮用水用途, 进一步节约了宝贵的淡水资源。因此, 绿色建筑给排水系统凭借其卓越的设计理念和技术手段, 在提高水资源利用率方面发挥了重要作用, 为实现建筑节能减排提供了坚实基础。

1.2 减少环境污染

绿色建筑给排水系统在减少环境污染方面具有重要意义。系统采用高效的污水处理技术, 将生活污水

经过净化处理后重新利用或安全排放, 有效降低了对自然环境的污染。先进的过滤和消毒工艺能够去除污水中的有害物质, 确保水质达到环保标准。合理的雨水收集系统可以将屋顶和地面的雨水进行储存和再利用, 减轻了城市排水系统的负担, 防止了降雨期间的内涝现象。此外, 绿色建筑给排水系统还注重减少化学药剂的使用, 避免了二次污染问题。通过优化设计, 系统能够最大限度地降低污染物的排放量, 保护了周边生态环境。由此可见, 绿色建筑给排水系统在减少环境污染方面效果显著, 成为推动城市可持续发展的重要力量。

1.3 降低能源消耗

绿色建筑给排水系统在降低能源消耗方面表现出色。系统采用高效节能设备, 如智能水泵和节能阀门, 大幅减少了电力水资源消耗。智能化管理系统能够实时监控各个节点的数据信息, 及时发现并解决潜在问题, 避免了因设备故障导致的能耗增加。先进的热回收技术可以将废水中的热量进行回收再利用, 降低了热水供应过程中的能源需求。合理的管道布置和选材方案减少了水流输送过程中的能量损失, 提高了系统整体效能^[1]。此外, 系统还采用了太阳能热水器等清洁能源设备, 进一步降低了传统化石燃料的使用量, 减少了温室气体排放。

2 影响绿色建筑给排水系统能耗的因素

2.1 建筑高度与楼层分布

建筑的高度及其楼层布局对给排水系统的复杂性和能耗水平具有显著影响。高层建筑由于垂直距离较

长，水流输送过程中能量损失较大，尤其在高楼层供水时，需要更大的动力支持以克服重力影响。不同楼层的功能差异也会导致用水需求模式的变化。例如：商业区、住宅区和公共设施区的用水量及时间分布各不相同。此外，楼层分布还会影响管道的设计和布置，某些区域可能需要额外的增压设备或储水设施来满足用水需求。因此，建筑高度与楼层分布决定了给排水系统的设计难度和运行成本，复杂的楼层结构增加了系统的能耗压力，使得系统优化变得尤为重要^[2]。

2.2 给排水管道布局与材料

给排水管道的布局方式及选用的管材类型直接影响系统的整体效能。合理的管道设计能够确保水流顺畅，减少不必要的能量损耗。直线型管道相较于弯曲管道，摩擦阻力更小，从而节省能量。高质量的管材不仅具备良好的耐腐蚀性和抗压性，还能延长使用寿命，降低维护频率。劣质管材可能导致漏水、堵塞等问题，增加系统的维修负担和运行成本。此外，管道材质的选择还需考虑建筑物的具体环境条件，如温度变化、化学物质侵蚀等，以保证系统的长期稳定运行。因此，精心挑选适合建筑需求的管道布局方案和优质管材，对于构建高效节能的给排水系统至关重要，任何不当选择都会加剧系统的能耗负担。

2.3 管道连接方式与阀门类型

管道之间的连接方式及所用阀门种类都会对给排水系统的运行效率产生重大影响。密封性良好的连接技术可以有效防止漏水现象发生，保障系统稳定运行。不同类型的阀门在调节流量大小、控制压力平衡方面发挥着重要作用。合适的阀门能够在不影响正常使用的情况下，精确调控水流速度和压力，避免不必要的资源浪费。然而，不恰当的连接方式可能导致接头处泄漏，增加系统故障率和维护成本。阀门选型不当则可能导致系统无法正常调节，造成水资源浪费和能源消耗增加^[3]。因此，在实际工程中，根据具体需求选择合理的管道连接方式和阀门型号，是保障给排水系统高效运作的重要环节，任何疏忽都会直接影响系统的性能表现。

3 绿色建筑工程给排水系统中的节能技术应用方法

3.1 应用新型技术装备

1. 高效节能水泵的引入。高效节能水泵在绿色建筑给排水系统中的应用，显著提升了系统的整体能效。高效节能水泵通过优化设计和先进材料的应用，减少了能量损失，提高了输送效率。此外，这类水泵具备智能控制功能，能够根据实际需求自动调节运行状态，

确保系统始终处于最佳工作模式。水泵的智能化管理不仅降低了能耗，还延长了设备使用寿命，减少了维护成本。因此，在选择给排水系统设备时，优先考虑高效节能水泵是提升系统效能的重要策略之一，其卓越的性能可以为企业带来了可观的经济效益。

2. 智能水表的应用。智能水表作为现代化给排水系统中的重要组成部分，提供了精确的用水计量功能。智能水表通过无线传输技术，实现了数据的实时采集与远程监控，使管理者可以随时掌握用水情况。这种设备不仅提高了计量精度，还具备异常检测功能，一旦发现漏水或异常用水行为，系统会立即发出警报，便于及时处理。智能水表的数据分析能力也为优化用水策略提供了有力支持，帮助企业制定更加科学合理的水资源管理方案，从而达到节约用水的目的，展现了其在绿色建筑中的重要作用。

3. 智能化管理系统。智能化管理系统集成了多种先进技术，如物联网、大数据分析等，为给排水系统提供全面的解决方案。该系统能够实时监测各个节点的状态，收集并分析大量数据，帮助管理者做出精准决策。智能化管理系统可以根据实际需求动态调整供水量和排水速度，确保整个系统始终处于最优工作状态。此外，该系统还具备故障预警功能，提前发现潜在问题，减少突发故障带来的损失。

3.2 开发利用中水

1. 中水处理设施的建设。建设完善的中水处理设施是实现水资源循环利用的关键步骤。中水处理设施通过物理、化学和生物等多种工艺，将生活污水转化为可再利用的中水。这些工艺包括沉淀、过滤、消毒等环节，确保处理后的水质符合相关标准。中水处理设施不仅减少了市政污水处理压力，还为建筑物内部的冲厕、绿化灌溉等提供了稳定的水源。经过处理后的中水质量可靠，使用安全，极大地缓解了城市水资源紧张的问题，为可持续发展提供了有力保障。

2. 中水回用的具体应用。中水回用的具体应用场景广泛，涵盖了冲厕、绿化灌溉、景观补水等多个方面。冲厕用水占据了建筑物总用水量的较大比例，采用中水代替自来水进行冲厕，既节省了宝贵的淡水资源，又降低了运营成本。绿化灌溉方面，中水同样发挥了重要作用，尤其在干旱地区，中水回用成为维持植被生长的重要手段。此外，中水还可用于景观补水，美化环境的同时，减少了对新鲜水资源的依赖。中水回用技术的应用，不仅提升了水资源利用效率，也推动了绿色建筑理念的进一步普及。

3. 中水回用的经济效益。中水回用技术在带来显著环境效益的同时，也产生了可观的经济效益。由于中水处理设施的投资相对较低，运行成本可控，企业可以在较短时间内收回投资成本。此外，中水回用减少了对外部供水的需求，降低了水费支出，可为企业节约成本。同时，中水回用项目的实施，有助于提升企业的社会形象，吸引更多环保意识强的客户群体。

3.3 采用清洁型建筑热水供应技术

1. 太阳能热水器的应用。太阳能热水器以其环保特性成为清洁型建筑热水供应的理想选择。太阳能热水器通过吸收太阳辐射能，将其转化为热能，用于加热水。这种设备无需消耗传统化石燃料，避免了温室气体排放，具有显著的环保优势。太阳能热水器的设计结构简单，安装方便，适用于各类建筑。在阳光充足的地区，太阳能热水器能够满足大部分热水需求，大大减少了能源消耗。此外，太阳能热水器的长期运行成本低，维护简便，为企业节省了大量运维费用，体现了其在绿色建筑中的重要地位^[4]。

2. 空气源热泵的应用。空气源热泵作为一种高效的清洁能源设备，广泛应用于建筑热水供应系统。空气源热泵通过从空气中提取热量，并将其传递到水中，完成加热过程。相比传统电热水器，空气源热泵的能效比更高，运行成本更低。空气源热泵不仅适用于家庭用户，还可以满足商业建筑的热水需求。其工作原理决定了它在低温环境下仍能保持较高效率，适应性强^[5]。此外，空气源热泵的环保特性使其成为未来建筑热水供应的发展方向，受到越来越多用户的青睐。

3. 清洁能源驱动热水供应系统的推广。清洁能源驱动的热水供应系统在绿色建筑中得到广泛应用，不仅因为其环保特性，还因为其显著的经济效益。这类系统减少了对传统化石燃料的依赖，降低了温室气体排放，符合可持续发展的要求。通过合理规划和科学管理，清洁能源驱动的热水供应系统能够在经济效益和环境保护之间找到平衡点，实现双赢局面，推动绿色建筑理念的进一步普及和发展。

3.4 应用智能控制系统

1. 数据实时采集与分析。智能控制系统的核心在于数据的实时采集与分析。借助物联网技术，系统能够实时获取各个节点的数据信息，如水流量、水压等参数。通过对这些数据的深入分析，管理者可以全面了解系统的运行状况，及时发现问题并采取相应措施。数据采集设备的高精度和稳定性保证了信息的准确性，为后续的分析和决策提供了可靠依据。系统生成的报

告详细记录了各项指标的变化趋势，帮助管理者制定更加科学合理的管理策略，确保系统始终处于最佳工作状态。

2. 自动调节供水量和排水速度。智能控制系统能够根据不同时段的需求变化，自动调节供水量和排水速度。这一功能有效避免了水资源浪费和系统过载现象的发生。例如：在用水高峰时段，系统会增加供水量以满足需求；而在低谷时段，则适当减少供水量，降低能耗。此外，智能控制系统还能根据实际情况动态调整排水速度，确保排水系统的顺畅运行。通过这种精准调控方式，系统不仅提高了管理水平，还大幅降低了能源消耗，展示了其在绿色建筑中的重要作用^[6]。

3. 故障预警与维护管理。智能控制系统具备强大的故障预警功能，能够提前发现潜在问题，减少突发故障带来的损失。系统通过对各节点数据的持续监控，一旦发现异常情况，立即发出警报，并自动生成详细的故障报告。这使得维护人员能够迅速定位问题所在，及时采取修复措施，避免系统长时间停机。此外，智能控制系统还支持远程诊断功能，维护人员可以通过网络远程访问系统，进行初步检查和故障排除，提高了工作效率。

4 结束语

绿色建筑工程给排水系统中的节能技术应用是一个系统工程，涵盖从建筑设计阶段的选材考量到施工过程中的细节把控，再到后期运营管理的全方位优化。通过采用新型技术装备、开发利用中水、实施清洁型热水供应技术及引入智能控制系统等多种措施，可以有效提升给排水系统的能效水平，促进资源节约与环境保护目标的实现。

参考文献：

- [1] 王妍宁.基于多准则决策的给排水系统优化研究[J].建筑科技,2025(01): 6-8,20.
- [2] 范国涛,赵林.可持续发展理念下的商业综合体给排水系统优化策略[J].中国建筑金属结构,2025(01):170-172.
- [3] 丁洋,崔岩,韩丽君.城市给排水系统防漏与堵漏技术研究及实践[J].建设科技,2025(01):60-62.
- [4] 张雪,宋祥辉.绿色市政理念下的城市绿色给排水系统建设[J].绿色建造与智能建筑,2025(02):36-38,42.
- [5] 陶彦.建筑给排水系统安装工程施工技术分析[J].产业与科技论坛,2024(21):34-36.
- [6] 哈兆亿.浅析农村给排水系统规划及生活污水处理措施[J].新农民,2024(35):37-39.