

科海故事博览

KEHAI GUSHI BOLAN

(旬刊·1993年创刊)

2025年6月第16期(总第605期)

主管：云南省科学技术协会

主办：云南奥秘画报社有限公司

编辑委员会：(按姓氏笔画为序)

马成勋 卢骏 刘杨 李鹏

杨璐 张乐 陈贵楚 陈洋

莫德姣 夏文龙 韩梦泽 蔡鹏

社长、总编：万江心

社长助理：秦强

编辑部主任：张琳玲

编辑：周翌 官慧琪 吴彩云

美术编辑：王敏

运营：李瑞鹏

外联：张娅玲

出版：云南奥秘画报社有限公司

地址：云南省昆明市护国路26号

邮编：650021

编辑部电话：0871-64113353 64102865

电子邮箱：khgsblzz@163.com

网址：http://www.khbl.net

国际标准连续出版物号：ISSN 2097-3365

国内统一连续出版物号：CN 53-1103/N

广告经营许可证：5300004000063

运营总代理：云南华泽文化传播有限公司

印刷单位：昆明滇印彩印有限责任公司

邮政发行：中国邮政集团有限公司云南省分公司

邮发代号：64-72

出版日期：2025年6月5日

定价：人民币15元

版权声明：

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

目录 Contents

科技博览

- 001 激光切割机精准加工过程除渣技术研究
..... 张宝芬
- 004 环保气体绝缘环网开关柜关键技术研究
..... 朱晓壘, 周志东
- 007 供热通风与空调工程施工关键技术研究
..... 张辉
- 010 市政道路软土地基沉降加固施工技术研究
..... 钟天资
- 013 基于湿度条件的建筑材料物理性能检测技术分析
..... 李波

智能科技

- 016 机械电气一体化在智能制造中的应用
..... 刘贵滕, 潘金霖, 陈雷, 魏清标, 赵竣元
- 019 智能建筑技术在现代建筑工程中的应用研究
..... 钱康
- 022 基于人工智能的电子信息资源实时共享方法研究
..... 刘意强
- 025 建筑工程施工技术创新与智能化发展趋势探讨
..... 任双杰, 李明川, 高征绪
- 028 无人机遥感技术在水文水资源监测中的应用探析
..... 李晶莹, 岳云奎
- 031 基于BIM技术的建筑设计与工程测量数据集成方法
..... 戴智勇, 鲁健, 张俊元, 衣贵彦, 王端涛

应用技术

- 034 BIM技术在建设工程项目中的应用
..... 宁廷磊, 邱进国
- 037 建筑工程施工深基坑支护技术的应用
..... 石才敬
- 040 路桥工程钢箱梁焊接变形控制方法研究
..... 许文超, 肖丽云, 张珊, 邢成林, 潘鹏飞

目录 Contents

- 043 顶管施工技术在市政给排水工程中的应用 郑 飞
046 污水处理厂机电工程安装施工技术实施要点 赵 伟
049 水利工程施工中的高边坡开挖支护技术应用研究 何贤翠
052 高层建筑深基坑支护工程施工技术与质量控制要点 刘 斌
055 高墩大跨径钢结构桥梁施工技术及其质量控制要点探析 李 键, 陶 玲

科创产业

- 058 污水处理厂电气节能降耗路径分析 朱子豪
061 机电一体化技术在机械工程中的应用 杜 波, 汤正军
064 公路养护工程的全寿命周期成本分析 任佳慧, 齐冰力
067 城乡交通网络智能路线规划系统设计 姜佳佳, 刘芸芸
070 电力工程技术在智能电网建设中的应用探讨 张浩然
073 新能源接入下电力工程储能系统容量配置研究 韦伟中, 回 慧, 赵潇凡, 潘大伟
076 660 MW 火电机组燃烧系统节能调控技术及其效果评估 杨思志
079 PLC 技术在钢铁冶金企业电气自动化控制中的应用研究 刘琳琳, 曹玉涛, 周艺丹

技术管理

- 082 激光技术在钢铁切割与加工中的应用 丁晓丽
085 建筑工程施工质量控制优化策略研究 李俊强
088 建筑工程土建施工技术控制策略分析 陈胜永, 刘传良
091 山区公路桥梁施工困难问题及解决对策 陈雁雁
094 电力工程电缆敷设施工技术及其防护措施分析 祝冬华, 王艳娜, 陈建建
097 水利工程建设管理的现代化与精细化分析 齐茂森, 王凯丽
100 基于 BIM 技术的装配式建筑施工精细化管理研究 田娜娜, 邓雷成
103 公路工程机械设备使用效率影响因素及提升策略 张家泉

科学论坛

- 106 醇基燃料生产工艺优化研究 徐 鹏, 张金峰
109 房建幕墙设计与施工技术研究 史 昀
112 电梯检验相关技术要点分析研究 关智勇
115 大直径顶管施工中的关键技术研究 覃庆湖, 陈泰成
118 照明节能技术在建筑电气设计中的创新应用 郭晓伟
121 轨道交通车站供配电系统运维优化探析 刘英豪
124 高层住宅建筑结构设计安全性分析与提升路径 王修森

激光切割机精准加工过程除渣技术研究

张宝芬

(济南锦鸿机械有限公司, 山东 济南 250000)

摘要 激光切割技术被广泛应用于现代制造业,但其渣滓严重地影响了加工的精度和效率。本文以激光切割机精准加工工艺除渣技术为研究重点,从热力学和流体力学的角度出发,分析了渣滓的生成机理及影响因素,对渣滓的形貌进行了分类和规律总结,系统探讨了传统除渣技术(气体吹扫和机械排渣等)的局限性,并介绍了智能感知、反馈控制及复合除渣等新型技术的研发进展,提出了工艺优化策略并对跨学科技术融合、设备创新和标准化评价体系等趋势进行预测,以期为促进激光切割机精准加工除渣技术发展提供理论支持和实践指导。

关键词 激光切割机; 精准加工过程; 除渣技术

中图分类号: TG485

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.16.001

0 引言

激光切割时渣的产生与累积常常影响加工质量与效率。所以,除渣技术就成了激光切割机进行精准加工时必不可少的环节。随着科学技术的不断进步与制造业的蓬勃发展,除渣技术得到了不断的创新与提高。本文从跨学科技术融合、设备创新与产业化方向以及标准化与评价体系三个方面,探讨了激光切割机精准加工过程中除渣技术的发展趋势,以期对相关研究和应用提供参考。

1 激光切割过程中渣滓形成机制的理论研究

1.1 热力学与流体力学模型

激光切割中渣的产生是一种复杂的、受多种因素作用的物理现象,涉及热力学和流体力学等多个方面。激光束施加在材料表面时会产生超高的能量密度导致材料快速熔化、汽化甚至到达燃点,并由此引起一系列复杂的物理化学变化。在热力学上,激光切割时能量输入和材料热物性参数关系密切。激光束中的能量在物质中吸收时将转化成热能,从而使物质的局部温度上升。温度到达物料熔点后物料开始熔化并形成熔池^[1]。熔池中液态金属经高温作用后会进一步氧化和蒸发,形成固态氧化物渣。从流体力学角度来看,激光切割时熔池流动对渣滓的生成与分布至关重要。熔池中液态金属受激光束影响会发生剧烈对流与湍流,从而使熔池中温度、组分及流动速度不均匀分布。这种不均匀性可使熔池中金属氧化物等杂质富集于某一区域,继而产生渣滓^[2]。

1.2 激光切割过程中渣滓形成机制的影响因素

激光切割产生渣滓是一种复杂多变的现象,产生

机理受诸多因素综合作用。一是激光参数是影响渣滓生成的一个关键。激光功率、切割速度以及光斑大小的改变将直接影响激光-材料间的作用,进而影响熔池生成、流动及冷却过程,继而影响渣滓生成。如激光功率增大使熔池温度升高、物料熔化蒸发加快、渣滓生成量增多^[3]。但切割速度增加将使激光作用于材料所需时间缩短,熔池形成及流动所需时间降低,因此有可能降低渣滓产生量。二是材料特性对渣滓的生成亦有重要影响。不同材料的热物性参数(如熔点、沸点、热导率)和化学成分差异显著,这些差异会导致激光切割过程中熔池的形成、流动与冷却过程不同,因而对渣滓产生影响。如高熔点和高热导率材料激光切割时形成熔池温度高、流动速度快,易形成大渣滓颗粒等。

1.3 渣滓形态分类与形成规律

激光切割时渣滓形态各异,渣滓分类和形成规律对认识渣滓产生机理和优化切割工艺至关重要。按渣滓物理形态及化学成分可粗略地分为氧化物渣滓、金属熔融渣滓及气体包裹渣滓三类。氧化物渣滓多是物料中金属元素在切割环境中与氧进行氧化反应生成,形貌多呈细小颗粒状或者片状,色泽一般呈黑灰色或者深灰色。该类渣的产生与切割时氧气含量、激光功率、切割速度等工艺参数有密切关系。氧气含量越高或者激光功率越大,物质表面氧化反应越激烈,导致氧化物渣滓越多^[4]。金属熔融渣滓是指激光切割时熔池中液态金属冷却后固化形成,形貌多为块状或者条状,色泽一般接近原材料。该类渣的产生与物料热物性参数、激光功率及切割速度有密切关系。激光功率越大

或者切割速度越慢,液态金属在熔池中流动时间越长,易形成大金属熔融渣滓。

2 精准加工过程除渣技术与优化策略

2.1 传统除渣技术

2.1.1 气体吹扫技术

传统的除渣技术主要采用气体吹扫技术,该技术通过高速气流吹除切割区域内的渣滓,避免了渣滓影响后续加工。气体吹扫的技术核心是选择适当的吹扫气体及吹扫气体的流量、压力和其他参数。常见的吹扫气体包括惰性气体(如氩气、氮气)和活性气体(如氧气、空气)。惰性气体由于不容易和金属起化学反应而常用来保护切割区域和减少氧化物渣滓;而且活性气体可以用来促进氧化反应并有助于除去金属熔融渣滓^[5]。选择气体流量时需要综合考虑吹扫效果与加工效率两方面因素,流量过大或过小时都会对除渣效果与切割质量造成影响。另外,实现气体吹扫技术需要兼顾切割工艺参数和吹扫参数相匹配。如激光功率越大或者切割速度越快,熔池中液态金属的流动就越激烈、渣滓产生量及飞溅程度随之增大。

2.1.2 机械排渣装置

激光切割精准加工中机械排渣装置一般被设计成与激光切割机一体化或者相匹配,可以对切割时的渣进行实时高效去除,保证加工质量及稳定性。机械排渣装置有很多工作原理,主要有刮板式、刷式和吸附式排渣^[6]。刮板式排渣装置是通过设置在靠近切割头一侧的刮板随切割头运动而刮除掉吸附在工件上的渣滓;刷式排渣装置是通过利用刷毛产生的摩擦力来清除切割区域附近的渣滓;吸附式排渣装置利用负压吸力对切割时的细小渣滓及烟尘进行吸附收集。这些设备的选型与设计需要依据特定的切割材料、厚度、形状及加工要求等因素进行综合考虑,才能保证除渣效果与加工效率达到最佳^[7]。机械排渣装置具有除渣能力大、适用范围广等优点,尤其适用于大型工件或者复杂形状切割时,能提供更加稳定可靠的效果。但此类设备也有其局限性,如可能会在工件表面产生不同程度的刮伤或者损坏、维护成本比较昂贵等。所以,在实践中需要从加工需求、成本效益及设备性能特点等方面考虑,科学、合理地选型与配置。

2.2 新型除渣技术的研发进展

2.2.1 智能感知与反馈控制

在激光切割精准加工中,智能感知及反馈控制技术的提出,为除渣技术创新提供了新思路、新方法。

该项技术将先进传感器及智能算法整合在一起,从而实现了切割过程渣滓产生及分布情况实时监控及精准控制。智能感知技术通过红外热像仪、激光测距仪以及图像识别系统这类高精度传感器来实现切割区域内温度分布、熔池状态以及渣滓形态的实时监控。这些传感器可以捕捉切割时的细微变化,并对后续反馈控制提供精确数据支持^[8]。利用基于实时感知的数据,反馈控制系统可以动态地调整激光切割机的各种工艺参数,如激光的功率、切割的速度和气体的流速等,从而有效地控制渣滓的生成。如在监控熔池中渣滓生成量升高后,该系统能自动降低激光功率或者提高气体流量来减少渣滓生成。同时,反馈控制系统也能根据渣滓分布来调整切割路径或者切割策略,规避渣滓密集区,保证切割质量与效率。

2.2.2 复合除渣技术

激光切割精准加工中复合除渣技术这一创新性解决方案已逐步成为人们研究和实践的热点。该项技术集各种除渣方法之优点于一身,其目的是通过协同作用达到高效彻底地去除切割时产生的渣。复合除渣技术一般集气体吹扫、机械排渣和新兴智能感知和反馈控制于一体。切割时先采用气体吹扫技术迅速去除绝大部分渣滓并降低渣滓对随后加工的扰动。同时,机械排渣装置对工件表面或者切割缝隙内粘附的顽固渣滓实施物理清除以保证加工区域清洁。另外,智能感知及反馈控制系统对切割过程渣滓产生进行实时监控,依据实时数据对切割参数及除渣策略进行动态调节,从而达到准确控制渣滓产生的目的。复合除渣技术的核心特点是具有综合性与协同性,将不同除渣方法有机地结合在一起,可使该项技术充分发挥其优点并产生互补效应,使除渣效率及加工质量得到明显提高。复合除渣技术比单一除渣方法适应性更强、灵活性更高,可以应对更复杂、更多变的加工需求及工艺条件。

2.3 工艺优化策略

激光切割精准加工中工艺优化策略的目的是通过对切割参数、材料特性和除渣技术等诸多因素进行全面分析,从而制定出科学、合理的加工方案来达到有效地控制切割产生渣滓的目的。一是根据不同种类材料及加工需要,选择适当的激光切割参数,例如激光功率、切割速度及光斑大小。通过对上述参数的准确调节,可使熔池形成及流动状态达到最优,并降低渣滓产生量。同时还要考虑物料热物性参数、化学成分等因素,以免物料特性造成渣滓。二是除渣技术在工艺优化策略中的选择和运用同样是至关重要的环节。

要根据加工需求及工艺条件合理选用气体吹扫、机械排渣、智能感知及反馈控制相结合的除渣方式，优化配置，联合应用。通过协同作用实现渣滓高效彻底去除，保证加工区域清洁度及加工质量。

3 激光切割机精准加工过程除渣技术发展趋势

3.1 跨学科技术融合

随着科学技术的快速发展，工业制造领域也在不断地进步，激光切割机在进行精准加工时，除渣技术也呈现跨学科技术整合趋势。这一发展趋势主要表现为除渣技术和材料科学、机械工程、自动化控制、计算机科学等众多学科深度融合。在材料科学领域中，新型材料层出不穷，给激光切割除渣技术带来了新挑战。为解决这些难题，研究人员正积极探索把材料科学最新成果运用到除渣技术中来，从而达到有效地控制新型材料在切割时产生渣滓的目的。如通过对物料热物性参数、化学成分等进行深入研究，对切割参数、除渣策略等进行优化，从而降低渣滓产生与累积。机械工程学科的不断进步，也给除渣技术带来了强大的支撑。通过先进机械设计与制造技术的引进，研究人员有望研发出效率更高、运行更平稳的除渣装置与机构来提升除渣效率与加工质量。同时，自动化控制技术还为实现除渣过程智能化、自动化，进一步提高激光切割精度、加工效率等方面提供了可能性。

3.2 设备创新与产业化方向

随着制造业高精度、高效率加工要求的不断提高，传统除渣设备及工艺已经很难适应现代工业生产要求。所以加强设备创新和推进除渣技术产业化进程已成为现阶段的一项重要工作。在设备创新上，要重视提高除渣设备智能化和自动化。通过引进先进传感器技术、机器视觉技术以及人工智能技术来实现切割过程渣滓产生及分布情况实时监控和精准控制。同时对除渣设备结构设计进行了优化，增强了设备稳定性与耐用性，减少了维护成本，满足了长时间高强度工业生产需要。以产业化为导向，积极推进除渣技术标准化和系列化生产。通过建立统一技术标准与生产规范等措施，增强除渣设备通用性与互换性，降低生产成本，推动技术广泛应用。另外，强化与上下游行业合作，打造完整产业链，促进除渣技术产业化进程，在精准加工过程中为激光切割机除渣技术发展提供更全面和更可靠的支撑。

3.3 标准化与评价体系

就激光切割机精准加工过程除渣技术而言，标准

化的目的是通过建立统一技术规范、操作流程及质量标准等，对除渣技术研发、生产及应用起到清晰的引导与基础作用。这样既有利于增强除渣技术通用性与互换性，降低生产成本，又有利于技术广泛推广与国际化合作。评价体系是对除渣技术的性能、效果和质量进行全面的评估，包括除渣效率、加工精度、稳定性、环保性等多个方面。通过构建科学合理的评价体系能够客观地反映除渣技术优劣程度，为技术研发、产品改进以及市场选择等方面提供强有力的支撑。同时，该评价体系也可以促进技术标准不断地完善与优化，将除渣技术提升到一个更高的水平。在构建标准化及评价体系过程中要注意与国际接轨、参考国际先进标准及评价方法，并根据国内激光切割机精准加工工艺实际状况制定出符合中国国情的技术标准及评价体系。另外，还应加大标准宣传与培训力度，增强业界对标准化重要意义的理解，促进标准广泛使用与执行。

4 结束语

本文在研究激光切割机精准加工过程除渣技术发展趋势的基础上，分析跨学科技术整合、设备创新及产业化方向、标准化及评价体系建立等促进除渣技术进步的关键要素。跨学科技术融合，推动除渣技术向智能化和自动化方向发展；以设备创新及产业化为导向，增强除渣设备性能及通用性，推动技术广泛应用；标准化和评价体系的制定，为除渣技术规范、标准化发展提供强有力的保证。

参考文献：

- [1] 王明红,沈贤怀,任杰,等.一种钢结构加工激光切割机用除渣装置:CN202320403123.4[P].2025-03-18.
- [2] 刘波,史小照,张万全,等.一种可自动除渣的激光切割机工作台:CN202211444884.0[P].2025-03-18.
- [3] 蒋旭,徐飞,刘镇嘉.激光切割机精准加工过程除渣技术研究[J].中国机械,2024(22):57-60.
- [4] 陈真值.一种激光切割机的管体除渣机构:CN20222795268.1[P].2025-03-18.
- [5] 彭文兵.光纤激光切割机台面熔渣去除工具:CN201921506889.5[P].2025-03-18.
- [6] 刘睿.高性能数控激光切割机进给误差补偿方法研究[J].激光杂志,2024,45(06):259-264.
- [7] 樊军,刘柳,王锐,等.高功率激光切割机厚板侧边悬空切割功能设计[J].锻压装备与制造技术,2023,58(05):20-22.
- [8] 马烁,刘江宁,张志同,等.激光切割机远程控制模块设计[J].自动化应用,2024,65(12):203-207.

环保气体绝缘环网开关柜关键技术研究

朱晓壘, 周志东

(浙江高压开关厂有限公司, 浙江 绍兴 312300)

摘要 环保气体绝缘环网开关柜技术对于电力系统具有重要的应用价值, 本文阐述了现有的环网开关柜的绝缘方式以及其所存在的局限性, 分析了环保气体绝缘材料的技术演变过程和环保气体绝缘环网开关柜的关键技术, 研究了该技术在复杂工况下的运行特性、维护与故障诊断方法, 并结合工程案例探讨了其推广应用的前景。研究表明, 环保气体绝缘环网开关柜具有较高的可靠性和环境适应性, 未来发展需要优化材料性能并提高工程应用的经济性。

关键词 环保气体绝缘环网开关柜; 电场优化; 泄漏防护

中图分类号: TM591

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.16.002

0 引言

环网开关柜作为电力配电网中的重要设备, 它的绝缘性能直接对供电系统的安全以及稳定产生影响。传统的空气绝缘和固体绝缘方式在紧凑型设备中存在局限性, 六氟化硫气体虽然有优良的绝缘以及灭弧特性, 但是它高温分解之后产生的产物腐蚀性较强, 还会给环境带来严重的影响。近年来, 环保气体绝缘技术取得了较大的进步, 新型混合气体以及优化结构设计切实提高了设备的绝缘性能与可靠性, 然而环保气体的击穿特性、电场优化、密封封装以及长期运行稳定性仍然是工程应用面临的挑战^[1]。本文依据现有的环网开关柜的绝缘方式, 分析环保气体的技术发展变化, 借助对环保气体绝缘环网开关柜的关键技术以及工程实践的研究, 优化环保气体绝缘环网开关柜的性能, 推动其在配电网中的广泛应用。

1 现有环网开关柜的绝缘方式及其局限性

环网开关柜的绝缘方式主要有空气绝缘、固体绝缘以及气体绝缘等几种类型, 其中空气绝缘依靠充足的相间距离抑制电弧以及击穿现象, 鉴于设备内部空间有限, 空气绝缘的电气性能较难得到提升。固体绝缘一般采用环氧树脂、交联聚乙烯等材料, 提高电气性能并减小设备体积, 然而在长期运行过程中, 固体绝缘可能由于热胀冷缩、湿度影响或者材料老化而出现裂纹, 引发局部放电甚至导致绝缘失效。气体绝缘方式当前广泛应用于高压和超高压设备, 六氟化硫气体凭借出色的绝缘强度和灭弧特性成为主流选择, 不过因其对环境存在不良影响以及潜在的泄漏风险, 未来发展受到一定程度的制约。在环保要求变得日益严

格的背景下, 新型环保气体绝缘技术的研究十分关键, 需要全面考量电场分布、封装可靠性以及长期运行维护面临的挑战, 满足环网开关柜在复杂环境中的应用需求。

2 环保气体绝缘材料的技术演进

气体绝缘材料的发展历程呈现出从常规气体至复合环保气体的技术演变态势, 面向不同的应用需求, 需要持续对绝缘性能以及环境友好性进行优化。传统的六氟化硫气体依靠其出色的电绝缘性能与灭弧特性, 在高压设备领域得到广泛应用, 然而其高温分解产物有腐蚀性, 还会对环境产生严重影响, 故而针对替代气体的研究成为行业所关注的要点。低温等离子体处理技术的运用提高了环保气体的绝缘能力, 使其在高电场环境中可维持稳定的电气特性。混合气体方案借助组合不同成分的气体, 实现较高的击穿强度以及较低的温室效应, 其中氟腈类气体与二氧化碳、氮气的混合方案在工程实践中表现出良好的适应性。材料界面的优化是提升环保气体绝缘性能的重要方向, 借助纳米涂层技术以及气体分子结构调整, 可以减少电荷积聚, 提高整体耐压能力。另外, 气体的密封性和稳定性直接关乎长期运行效果, 新型密封材料的应用在提高气体保持率的同时, 也提高了环网开关柜的整体安全性。随着环保法规变得日益严格以及电力设备技术的进步, 未来环保气体绝缘材料的研究将朝着高效、稳定、低碳的方向发展, 并在实际工程应用中不断进行优化^[2]。

3 环保气体绝缘环网开关柜的关键技术

环保气体绝缘环网开关柜的技术发展包含多个环节, 如击穿特性调控、电场分布优化、封装泄漏防护

以及复合绝缘结构设计等。环保气体的击穿特性对设备的耐压能力起着决定性作用,要依靠气体配比优化以及电场控制来实现可靠的绝缘性能。电场分布的优化会影响设备内部的电应力情况,合理的电场均匀化设计有利于提高整体绝缘强度。封装结构的密封性关乎环保气体的长期稳定运行,需运用高效密封材料以及泄漏检测技术来保障设备安全。复合绝缘结构融合固体材料与气体介质的优点,在提高耐压水平的同时,也提高了设备的环境适应能力。

3.1 环保气体的击穿特性控制

在高电场环境中,环保气体的击穿行为会受到多种因素的作用,其中涉及气体种类、压力、温度以及电极结构等方面。气体的分子结构对其极化率以及电子俘获能力起着决定性作用,会直接对耐压水平产生影响,恰当的气体配比使整体击穿强度得到提升,常见的做法有掺杂低电负性气体降低自由电子密度,或者引入高电负性组分提高电子俘获效应。压力控制也可以影响击穿特性,增加气体压力能提高分子碰撞频率,让带电粒子更易于被中和,提升耐压性能,不过过高的气体压力可能会增加泄漏风险,还会对设备结构提出更高的强度要求,需要在耐压能力与工程可行性之间探寻平衡。电极结构的优化可抑制局部电场提高现象,运用圆角设计或者屏蔽电极技术降低局部场强峰值,减少局部放电风险。气体的温度稳定性也会对击穿特性造成影响,温度升高可能会使分子密度降低,使耐压水平下降,需结合热管理措施提升整体性能。

3.2 环网开关柜的电场分布优化

开关柜内部电场分布状况直接决定绝缘介质承受能力,若局部电场过高可能引发局部放电,使绝缘失效。影响电场分布的因素包括电极形状、导体排布方式以及接地设计,合理电极轮廓可以减少电场畸变,采用球形电极或者圆角电极能降低局部场强,防止出现尖端放电现象。导体之间间距的优化可以有效改进电应力分布,适当增加导体间隙或者采用屏蔽层设计可以降低场强梯度,提升绝缘稳定性。接地系统合理布局也是优化电场分布的重要因素,均匀接地网设计能防止局部区域电势突变,减少潜在电场畸变区域。电场

优化过程需结合有限元仿真分析,借助计算不同工况下电场强度分布,评估优化方案有效性,还要结合实验测试进行验证^[3]。

3.3 环保气体的封装与泄漏防护

气体封装技术的可靠性会对环保气体绝缘环网开关柜的长期运行稳定性产生影响。在进行密封结构设计时,要将材料兼容性、环境适应性以及维护便捷性纳入考量范围。封装材料的选择对于密封性能起着决定性作用,常见的密封材料有高分子橡胶、氟硅材料以及金属焊接密封技术,材料的耐老化性与耐化学腐蚀性直接决定了其长期稳定性。对封装结构进行优化可以减少气体泄漏的途径,采用双层密封结构或者冗余密封技术能够提升密封可靠性,并且降低长期运行过程中的泄漏风险。气体泄漏检测技术属于封装防护体系的重要组成部分,如表 1 所示,常见的检测方法包括光学探测、超声波检测以及气体传感器监测,每种方法都拥有不同的灵敏度以及适用环境。泄漏防护措施需要与气体补充系统相结合,借助实时监测气体浓度的变化,及时采取补充或者封堵措施,保证设备可长期稳定运行。

3.4 复合绝缘结构与材料选型

绝缘性能的提升依靠合理的复合结构设计实现,固体介质与气体介质相结合,不仅可以提升绝缘强度,还能够维持较高的机械强度。介质界面的优化能提高整体电场均匀性,借助纳米填料改性技术不仅能够提升固体介质的耐压能力,还可以提高与气体介质的结合效果。复合结构的可靠性评估要结合电气性能测试和环境适应性试验,经长时间的耐压实验以及老化试验,验证材料的长期稳定性,保证设备在不同工况下可保持可靠的绝缘性能^[4]。

4 环保气体绝缘环网开关柜的工程实践

环保气体绝缘环网开关柜在实际应用过程中会涉及多种运行工况,不同的环境条件对该设备的性能提出各异的要求。对其运行特性展开分析,可看出设备在复杂电力系统中的具体表现,而运行维护以及故障诊断技术则决定着设备的可靠性与寿命。针对不同气

表 1 环保气体泄漏检测方法对比

| 检测方法 | 检测原理 | 适用范围 | 灵敏度 | 维护要求 |
|-------|--------------------|-----------|-----|----------|
| 光学探测 | 通过光谱吸收检测气体泄漏 | 适用于透明密封结构 | 高 | 需定期校准 |
| 超声波检测 | 通过气体流动产生的超声波信号识别泄漏 | 适用于高压设备 | 中等 | 维护要求较低 |
| 气体传感器 | 采用化学传感器感应气体浓度变化 | 适用于多种环境 | 最高 | 需定期更换传感器 |

候条件开展适应性研究,有利于优化设备结构,促使其可在高温、高湿、高海拔等环境状况下稳定运行。

4.1 典型工况下环保气体绝缘环网开关柜的运行特性分析

在电力系统运行阶段,环网开关柜需要在不同工况中维持稳定的电气性能。气体绝缘特性发生变化会直接对设备的耐压能力以及可靠性造成影响,不同的环境条件会使绝缘气体的物理参数产生变化,比如温度上升有可能使气体密度下降,对介电强度产生影响。负荷条件出现波动会对设备的温升特性造成影响,在高负荷运行状态时,柜体内部的温度升高可能会加快材料老化,对长期稳定性产生影响。短时过电压冲击给环保气体的击穿特性带来挑战,合理的过电压防护措施可以降低电气应力,提升设备的耐久性^[5]。运行特性的测试数据可借助实验分析得出,如表2所示,典型运行工况下的主要技术指标可为设备优化提供参考。

表2 典型工况下环保气体绝缘环网开关柜的技术指标

| 运行工况 | 气体压力 (MPa) | 介电强度 (kV/cm) | 设备温升 (°C) | 过电压耐受 能力(kV) |
|-----------|---------------|-----------------|--------------|-----------------|
| 标准环境 | 0.6 | 45 | 15 | 130 |
| 高温环境 | 0.6 | 40 | 30 | 120 |
| 低温环境 | 0.6 | 48 | 10 | 135 |
| 高负荷 运行 | 0.6 | 43 | 40 | 125 |

4.2 环保气体绝缘环网开关柜的运行维护与故障诊断

设备运行维护情况对电网安全有着直接影响,定期开展气体绝缘状态检查,能避免因绝缘劣化引发电气故障。典型故障模式有气体泄漏、局部放电以及机械部件老化,泄漏检测采用光学或超声波方式,局部放电检测借助超高频传感器监测,机械部件老化借助结合振动监测与开关操作特性分析判断。应用故障诊断技术可以提高设备运维效率,减少非计划停电情况,提高供电可靠性。

4.3 环保气体绝缘环网开关柜在复杂环境下的适应性研究

电力设备所处的运行环境较为复杂,在高海拔地区,低气压的情况有可能对环保气体的介电性能产生影响,而依靠优化气体的成分配比则可以提升绝缘强度。在高湿度环境中,设备的表面绝缘特性存在下降的可能性,运用防潮涂层能够减少凝露对设备运行所造成的影响。极端温度环境给密封结构带来挑战,密

封材料需有良好的耐温性,在高温状况下保持稳定,在低温状况下不会发生脆化。盐雾、高污染等环境可能使外绝缘表面出现污染积聚,优化外绝缘结构并结合自清洁涂层技术可以降低污染对绝缘性能的影响。针对不同环境适应性展开研究能够指导设备结构设计,提高设备在多种运行条件下的稳定性。

4.4 环保气体绝缘环网开关柜的工程示范与推广应用

技术的工程示范为大规模应用提供了经验,国内国外多个工程示范项目证实了环保气体绝缘环网开关柜具有可靠性。智能配电网开展建设需要高可靠性的设备支撑,环保气体的运用能够降低温室气体排放,符合绿色电网的发展趋向。在工程推广过程中,经济性以及技术可行性是影响应用范围的关键因素,优化制造成本、提高维护便捷程度能提升市场竞争力。标准化设计可以加快推广速率,不同电网公司需要依据标准化方案进行选型与部署,借助示范项目的总结,优化设备的适应性,促使环保气体绝缘技术在电力行业得以广泛应用。

5 结束语

环保气体绝缘环网开关柜技术是在传统六氟化硫气体绝缘的基础上进行优化而来的,具有更为出色的环境适应性以及电气性能。通过气体击穿特性控制、电场分布优化、封装密封防护以及复合绝缘结构设计等手段,此项技术切实提高了环网开关柜的绝缘水平,同时降低了对环境的影响。工程应用显示,环保气体绝缘环网开关柜在不同运行环境下都表现出较高的可靠性与稳定性,适用于复杂电网的应用场景。

参考文献:

- [1] 张丽强.两种布置方式的12kV环保型气体绝缘环网柜设计[J].电气技术,2021,22(12):105-108.
- [2] 杜仲江.新型环保气体绝缘环网柜的设计[J].上海电气技术,2024,17(01):73-75,24.
- [3] 胡全丹,赵树生,顾晓贺,李钊.12kV环保气体绝缘环网柜电场分析及优化设计[J].机械设计与制造工程,2024,53(03):25-28.
- [4] 王其中,李俊豪.12kV气体绝缘环网柜工频特性研究及优化[J].电工电气,2023(04):66-70.
- [5] 海龙.环网开关柜绝缘气体环保化探究[J].化工管理,2021(03):137-138.

供热通风与空调工程施工关键技术研究

张 辉

(济南能源工程集团有限公司, 山东 济南 250000)

摘 要 随着城市化进程不断加速与“双碳”目标推进, 供热通风与空调工程(HVAC)的能效与环保性能成为现代建筑领域的核心议题。然而, 当前施工过程中普遍存在噪声超标、温度波动大、结霜效率低下等问题, 导致系统运行能耗增加、用户体验下降。本文针对上述问题, 提出基于材料优化、智能算法与精细化管理的综合解决方案: 通过梯度配置消音材料、引入PID控制算法及热泵回收技术, 结合工程案例验证表明, 综合应用上述技术可使系统综合能效提升22%, 噪声值降低至45 dB以下, 结霜周期延长至15天以上。

关键词 供热通风; 空调工程; 降噪技术; 温度控制技术; 结霜处理技术

中图分类号: TU83

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.16.003

0 引言

供热通风与空调工程(HVAC)是现代建筑的关键系统, 负责调节室内环境并改善空气质量。全球建筑能耗中, HVAC系统占比高达40%, 能效直接影响碳排放。施工中常遇噪声超标、温度波动大、结霜效率低等问题, 如设备振动与气流噪声扰民, PID控制算法响应延迟致室温波动, 湿冷环境下蒸发器结霜影响热交换效率^[1]。

本文基于济南某商业综合体HVAC案例, 研究施工关键技术优化。通过理论、模拟与试验, 提出降噪材料梯度配置、神经网络温控算法改进、防霜层复合结构设计等创新措施。结果显示, 综合应用这些技术可提升系统能效22%, 降低噪声至45 dB以下, 为绿色建筑发展提供技术支撑。

1 供热通风与空调工程概述和意义

1.1 概述

供热通风与空调工程(heating, ventilation and air conditioning), 简称HVAC。其指空气调节系统利用冷媒和压缩机共同作用的蒸发和凝结过程使建筑室内温度、湿度发生改变, 进而实现对建筑室内环境的调节。

1.2 意义

在现代建筑中, HVAC系统不仅仅是提供温度和湿度调节的设备, 更是一种重要的环保节能手段。通过精确控制室内环境, HVAC系统能有效减少能源消耗, 降低建筑的碳足迹。同时, 供热通风与空调工程通过对建筑室内环境的调节为人们的生活和工作提供了舒适的环境。通过对室内温度的调节可以让人们避免严

寒酷暑的不适, 改善了人体的热舒适度。另外, 有效的通风系统还能够减少室内空气污染物的浓度, 降低患病风险。空调系统通过精确控制温湿度, 为人们创造了更加健康和高效的居住及工作空间。因此, 对于供热通风与空调工程的科学规划和精准施工是保障现代建筑品质不可或缺的一环。

2 供热通风与空调工程施工常见问题

2.1 噪声问题

在供暖、通风与空调(HVAC)系统的操作过程中, 噪声污染已成为一个普遍存在的问题。因此, 在施工阶段针对噪声问题采取有效的控制措施具有极其重要的意义。噪声的主要来源涉及两个方面: 一是通风设备的持续运转; 二是空调压缩机在作业时产生的机械振动。长期暴露于这种噪声环境, 不仅会对HVAC系统的使用寿命产生负面影响, 导致维护成本的上升, 而且会对建筑内部居民的日常活动和职业工作造成显著干扰。这种干扰不仅损害了用户的听觉舒适度, 而且可能对用户对HVAC系统的整体感知和使用体验产生不利影响, 从而降低了系统的使用效率和用户满意度^[2]。

2.2 室内温度调节不稳定问题

室内温度与湿度的精确调控是供暖、通风与空调(HVAC)工程的核心目标, 旨在满足人们对室内环境舒适度的基本需求。然而, 室内温度调节的不稳定性现象表现为温度的频繁波动和不可预测性, 导致室内环境出现忽冷忽热的情况。这种不稳定性不仅显著降低了用户的舒适体验, 而且可能触发一系列健康问题, 从而对居住者的生理和心理健康造成潜在影响^[3]。

2.3 结霜

结霜问题是供暖、通风与空调（HVAC）系统中普遍遇到的技术难题之一。该现象主要发生在蒸发器表面和空调冷凝器表面，其产生机制涉及热量传递和相变过程。结霜现象的存在，显著影响了设备在运行过程中的热交换效率。具体而言，霜层的形成会导致热阻增加，从而降低热交换速率，使设备长时间处于高负荷工作状态。这种状态不仅导致系统的运行效率下降，而且会增加能源消耗，进而增加了设备的运行成本。此外，持续的结霜过程还会对设备材料造成磨损，缩短设备的使用寿命，从而对 HVAC 系统的可靠性和经济性产生负面影响。

3 供热通风与空调工程中的关键技术

在供热通风与空调工程中，关键技术的合理应用，可有效预防供热通风与空调工程系统在实际运行期间的各种隐患，进而减少设备故障的发生，保证设备的良好运行。

3.1 降噪技术

在供热通风与空调工程施工中，降噪技术尤为关键。供热通风与空调工程设备在运行时会产生噪声，影响人们的日常生活和工作，因此降噪技术的应用至关重要。目前，供热通风与空调工程施工中降噪技术主要包括消音材料的选择、设备安装位置的优化以及减震装置的应用这三种方式。首先是消音材料的选择，消音材料在设计时要考虑运行设备的结构特点，结合设备运行时产生的噪声频率和强度以及消音材料的吸音性能，选择合适的材料进行有效隔音。其次是设备安装位置的优化，通过合理布局，避免设备噪声直接传入居住空间。利用消音材料隔绝设备噪声，避免噪声在传导过程中的扩大。再者是减震装置的应用，要

避免设备在运行中的振动传递至建筑结构，减少共振效应。在设备调试运行期间应进行多次噪声检测，调整设备参数，确保噪声控制在标准范围内避免因噪声过大引起振动。同时，采用高效减震装置，对设备运行时产生振动部位进行有效隔离，减少振动传递至建筑结构，进一步降低噪声影响。通过综合应用多种降噪技术，确保供热通风与空调系统在运行过程中噪声降至最低，为用户提供安静舒适的生活和工作环境^[4]。

3.2 温度控制技术

温度控制技术是供热通风与空调工程的核心环节。通过精确的温控系统设计，确保室内温度恒定舒适。采用传感器和智能控制系统，实时监测室内环境温度变化，针对不同环境空间对温度环境需求不同自动调节设备，同时通过对室外环境的检测调节设备运行状态，避免温度出现较大波动，影响用户舒适体验。设备控制系统（见图1）由空气处理机组、热湿独立控制装置、冷水机组组成。

在供热通风与空调工程施工过程中，在设备调试阶段应结合建筑结构特点、建筑物所处地理位置和气候条件以及当地最高气温和最低气温数据进行综合评估，优化温控策略。设备参数设计时还应结合室内空间功能、位置、大小等因素，精确计算所需热量，确保各区域温度均匀分布。热量的精确计算依赖于先进的传感器技术和智能算法，其计算公式如式（1）：

$$Q=M \cdot C \cdot \Delta T \quad (1)$$

式中， Q 为所需热量， M 为空气质量， C 为空气比热容， ΔT 为温差。

由式（1）可知，要想实现热量的精准控制，空气质量和温差是关键因素。因此，在施工过程中选用高精度的传感器至关重要，并需在使用过程中对传感器进行定期校准，确保数据准确无误，保证供热通风与

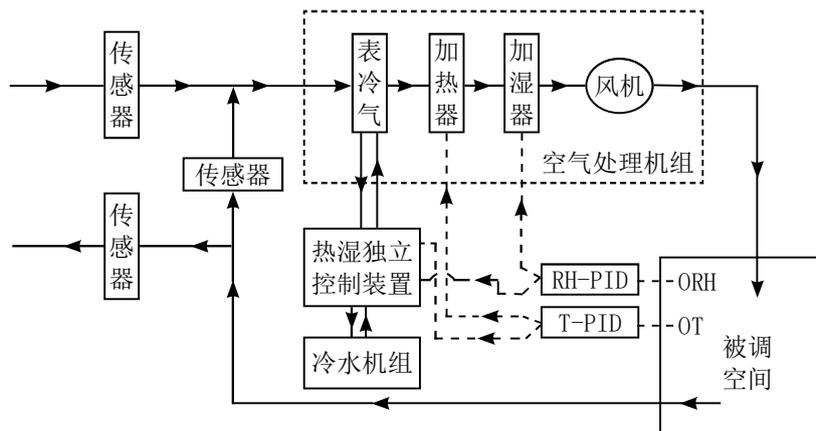


图1 设备控制系统

空调系统在运行过程中得到的数据具有高度的可信度,进而保证控制系统的性能评估和能源计算的准确性。

控制系统在工程施工调试中需要根据设计制定的参数实现系统调控,这包括多个当面的控制,例如温度、风机运行速度、阀门的控制等。在控制系统设计中采用 PID 控制算法实现各参数的精准控制, PID 控制算法的表达式如式(2):

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \cdot \int e(t) dt + K_d \cdot \frac{de(t)}{dt} \quad (2)$$

式中, $u(t)$ 为控制输出, $e(t)$ 为控制偏差, K_p 为比例系数, K_i 为积分系数, K_d 为微分系数。由式(2)可知,通过调整这些系数可以实现对控制系统的优化,以满足系统快速响应的需求。

例如:在供热期间,室内温度高于设定温度参数数值,控制系统通过调小供热设备输出实现温度的调节,可以通过式(3)算法快速实现:

$$u(t) = K_p \cdot (T_{sepat} - T_{roomm}) + K_i \cdot \int (T_{sepat} - T_{roomm}) dt + K_d \cdot \frac{d(T_{sepat} - T_{roomm})}{dt} \quad (3)$$

式中, T_{sepat} 为设定的室内温度, T_{roomm} 为实际的室内温度。通过不断调整 K_p 、 K_i 和 K_d 等参数,实现对室内温度的调节,确保室内温度的舒适。

3.3 结霜处理技术

结霜处理技术是保障供热通风与空调工程系统高效运行的关键。结霜会影响热交换效率,导致能耗增加,长时间的设备管道结霜可能会影响散热和堵塞风道,进而影响设备的正常运行,导致系统设备性能下降,甚至是损坏设备。针对供热通风与空调工程系统产生的结霜现象,施工作业人员在施工中可以通过合理选择保温材料、优化设备管线布置和细化施工组织管理等措施进行有效处理。首先是保温材料的选择,应优先考虑导热系数低、抗老化性能强符合国家标准的保温材料,如聚氨酯泡沫等,以确保设备、管道等设施能达到良好的保温效果。其次是优化工程系统管线布置,将冷热性能管线合理分离,使其二者之间保持一定的距离,有条件时可采用隔离材料将其分隔,避免冷热交汇,减少设备管线结霜风险。最后,细化施工组织管理,优化施工作业流程,确保施工质量。严格控制管线连接处的参数和焊接口尺寸,保证管线连接处的稳定性和密封性,防止冷热空气对流导致结霜。在施工过程中要将预留口进行合理封堵,避免冷热空气直接接触,减少结霜概率。通过这些措施,不仅能有效防止结霜现象,还能提升系统的整体运行效率,

延长设备使用寿命,确保供热通风与空调工程系统的稳定运行。

3.4 节能技术

供热通风与空调工程系统运行设备较多,需要较多的能源功耗,因此在系统正常运行状态下,节能技术的引入至关重要。在如今绿色发展的背景下,建筑行业也同样倡导绿色建筑理念,重视节能降耗。通过采用高效节能的空调系统、热回收技术以及智能化控制策略,可以有效降低能源消耗,减少碳排放。例如:应用热泵技术回收排风中的能量,将其转换为供热或制冷的能量,实现能源的循环利用。另外,引入智能化控制策略,通过传感器和智能算法调节设备运行状态,按需供能,从而避免过度能耗。此外,选择合适的保温材料减少热损失,结合建筑的自然采光和通风设计,也可进一步提高能效。同时,还可以利用自然条件的优势实现节能减排,例如采用自然风压进行通风,利用建筑外部空间布局引导风向,实现室内的自然通风,排出室内污浊空气,降低机械通风的依赖。使用太阳能收集系统也是供热通风与空调工程系统中不可忽视的一部分^[5]。

4 结束语

在供热通风与空调工程中应用关键技术是为了在工程设计、施工中预防与整治系统在运行过程中可能会出现的问题,确保系统高效稳定地运作。本文通过对工程中关键技术的分析与探讨,提出了相应的优化建议和解决方案。未来,随着技术的不断进步和创新,这些关键技术和方法将会进一步提升系统的性能,为人们提供更加舒适的生活和工作环境,同时也能降低运营成本,为环境保护做出贡献。这不仅符合国家的可持续发展战略,也满足了社会对绿色、高效、舒适生活环境的日益增长的需求。

参考文献:

- [1] 潘坤. 供热通风与空调工程施工技术要点与节能控制措施分析[J]. 门窗, 2024(14):16-18.
- [2] 张国平. 建筑工程供热通风与空调工程施工问题及解决对策[J]. 石油化工建设, 2024,46(01):131-133.
- [3] 赵娟莉. 供热通风与空调工程中施工关键技术研究[J]. 工程建设与设计, 2024(21):215-217.
- [4] 杨宇. 探析供热通风与空调工程关键安装技术[J]. 建筑·建材·装饰, 2024(04):115-117.
- [5] 郇绍洋, 杜斌, 刘怀臣. 浅析供热通风与空调工程施工技术要点以及 BIM 技术的应用[J]. 世界家苑, 2024(04):180-182.

市政道路软土地基沉降加固施工技术研究

钟天资

(深圳市政集团有限公司, 广东 深圳 518000)

摘要 在城市道路建设中,软土地基沉降是一个普遍且严重的问题,它直接关乎道路建设的质量与使用寿命。本文深入探讨了市政道路软土地基沉降的成因及其带来的危害,通过对软土地基特性的细致剖析,研究了相应的沉降加固施工技术,提出了一系列有效的加固处理方法,包括:排水固结法,适用于提高地基的承载力和稳定性;粉喷桩施工技术,可用于增强地基的整体强度;夯实法,适用于浅层地基的加固处理;土壤置换处理,针对地基土质不佳的情况进行改良;高压注浆法,用于填充地基中的空隙,提高密实度。本文旨在为市政道路建设领域提供有价值的技术借鉴。

关键词 市政道路;软土地基;沉降加固施工技术

中图分类号:U416.1

文献标志码:A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.16.004

0 引言

市政道路作为城市建设的基石,其质量优劣直接影响着城市的交通流畅度和居民的生活品质。然而,软土地基沉降问题始终是市政道路建设领域的一大挑战。软土地基的特征在于高度的流变性和可压缩性,以及较低的剪切强度,这使得它在外力作用下极易发生沉降。这种沉降不仅会导致道路结构变形,缩短道路使用寿命,还可能引发道路坍塌等严重的安全隐患。因此,对市政道路中的软土地基进行沉降加固处理,就显得尤为迫切和重要。

1 工程概况

某市的市政道路工程被策划为一条全长1 290.4米的城市次干路,其红线宽度达37米,设计时速设定为舒适的42公里。该道路布局科学合理,中央的机动车道宽敞明亮,宽达15米,确保了交通的流畅性。两侧各设有3.7米宽的非机动车道,为骑行者提供了安全与便捷。此外,道路外侧还贴心地规划了各宽3.7米的无障碍人行步道,体现了人文关怀的设计理念。在道路纵断面设计上,严格控制各项关键参数以确保行车平稳舒适。其中,最大纵坡严格限制在3%以内,最小纵坡为1.2%,而平均纵坡则被巧妙地设定为1.70%。同时,为保障行车安全,最大坡长被科学规划为200米;为满足道路设计的实际需求,最小坡长也不低于110米。此工程项目涵盖多个关键领域,包括道路建设、电力系统、污水处理、雨水管理、再生水利用、给水系统、桥梁施工、交通管理设施以及园林绿化等。施工团队将秉持匠心精神,严格按照施工图纸进行精心规划与

施工,整个工程预计将在约276天内高质量完成。高程范围被精心设定在52米至55米之间,地面高程则在53米至56米之间波动。至于土建施工部分,严格按照工艺要求,从下到上依次构筑了砾砂层、黏土层和素填土层,形成了一个稳固的道路地基持力层,为道路的长期安全使用奠定了坚实的基础。

2 市政道路软土地基的危害和影响因素

2.1 软土地基的危害性

软土地基作为市政道路施工中的一种特殊且棘手的地质条件,对工程顺利推进构成了巨大挑战。因其承载力和抗剪强度相对较低,若缺乏有效加固,施工后地基极易失稳,进而引发塌陷、沉降等一系列严重后果。特别是在市政道路通车后,持续的车载负荷会加剧路面凹凸不平的现象,这既严重影响道路交通的流畅性,又增加了交通事故的风险。因此,在市政道路工程中遭遇软土地基时,采取必要的加固措施尤为关键。只有经过妥善加固的软土地基路段,才能确保其使用寿命达到预期^[1]。

2.2 软土地基沉陷影响因素

软土地基沉陷的产生是多重因素综合作用的结果。当土质中易溶盐含量较高时,软土的敏感性会显著提升,可能导致突发性沉陷;而当难溶盐含量占主导时,沉陷则可能呈现一定的滞后性。此外,软土的沉陷还与土体的含水量、天然孔隙比及所受压力等因素密切相关。具体而言,天然孔隙比越小、含水量越高,软土沉陷的风险就越大。在含水量和孔隙比相对稳定的情况下,随着所受压力的增大,软土的湿陷性也会相

应增强。然而，当压力达到某一临界值时，继续加压反而会导致湿陷性减弱。

3 市政道路软土地基沉降加固施工技术

3.1 各种加固技术的优缺点及适用范围

排水固结法是一种既经济又实用的地基处理技术，特别适用于含水量高、土层较厚的软土地基处理。从成本构成来看，排水设施的建设占据了该方法的主要支出部分。然而，在施工过程中，如何合理布置排水系统并精确控制预压荷载，以确保处理效果，成为主要挑战。相比之下，换填法能够迅速提升地基承载力，效果显著，但成本也相对较高，并可能受到土源供应的限制。因此，该方法更适合用于处理软土层较薄、面积较小的地基。而施工难度则主要体现在边坡稳定控制以及新填土层的压实作业上。强夯法以其施工速度快、效果显著而著称，但可能会对周边环境产生噪声和振动影响，因此主要适用于饱和度较低的粗颗粒地基。在成本方面，强夯法主要涉及设备租赁和施工费用。施工过程中的难点在于如何精确调控夯击能量和次数，以达到最佳处理效果。水泥搅拌桩法则是一种有效提升地基整体性和稳定性的方法，且对周边环境影响较小。然而，该方法成本较高，施工工艺也相对复杂，主要适用于淤泥质土、粉土等软弱地基的处理。

3.2 软土地基沉降量分析

鉴于软土具备高天然含水量、大天然孔隙比及高压缩性等物理特性，在路基施工中采用此类土壤时，确实常会导致地面沉降的现象。软土应用于路基所引起的沉降，可科学地划分为以下三个阶段：初始沉降阶段（ A_1 ）、固结沉降阶段（ A_2 ，也即沉降发展阶段）以及次固结沉降阶段（ A_3 ，可视为沉降逐渐稳定阶段的一个延续）。沉降总量的公式为：

$$A(k) = A_1(k) + A_2(k) + A_3(k) \quad (1)$$

式中，用符号 k 表示时间年份，将沉降过程细化为以下三个阶段来深入剖析：第一阶段为 $A_1(k)$ ，此时，道路工程已圆满完成，然而，路面表层随后便遭受了强烈的荷载作用，致使地基迅速产生了剪切变形。这一变化触发了软土层内部结构的调整过程。尽管地基沉降速度在一定程度上因孔隙水缓慢排出而得到减缓，但沉降现象仍不可避免地发生了。紧接着，地基沉降进入了名为 $A_2(k)$ 的发展期阶段。在这一关键阶段，软土地基的上部区域逐渐展现出显著的弹塑性特性。随着外部荷载的持续累积，土层结构因孔隙内水分的不断缓慢释放而变得更加密实。

此阶段的沉降速率相较于 $A_1(k)$ 阶段有所上升，但与后续阶段相比，其沉降速度仍相对平稳。最终，第

三阶段 $A_3(k)$ ，即地基沉降的稳定期。在这一阶段，孔隙中的水在持续外部荷载的作用下基本排出，地基发生蠕变并逐渐达到固结状态。因此，沉降趋势明显放缓，并逐渐趋于稳定^[2]。

本研究利用软土地基加固技术解决沉降问题，首先对软土地基的整体固结度 γ 进行分析，计算表示为：

$$1 - \gamma = (1 - \gamma_1)^\circ (1 - \gamma_2)$$

$$\gamma_1 = 1 - \exp \left[\frac{-8 \frac{Dk}{S^2}}{\frac{r^2}{r^2 - 1} \ln(r) - \frac{3r^2 - 1}{4r^2}} \right] \quad (2)$$

$$\gamma_2 = 1 - \sum_{h=0}^{\omega} \frac{2}{C^2} \exp(-C^2 \frac{D^i k}{S^2})$$

式中， r 代表土体颗粒的半径，其单位为米（m）。 C 代表软土地基的压缩系数，单位为 $1/kPa$ ； γ_1 表示在水平渗流作用下，路基所达到的平均固结度，单位为 N/m^3 ，而 D 则是描述水平渗流方向上固结过程的矢量。相应地， γ_2 代表竖直渗流作用下的路基平均固结度，单位为 N/m^3 ， D^i 则是竖直渗流方向上的固结矢量。固结度是衡量土体稳定性、变形特性及强度变化的关键指标。鉴于本项目中软土层稳定性欠佳且埋藏较深，决定采用水泥粉煤灰碎石桩加固技术。该技术旨在有效应对沉降问题，并大幅提高软土结构的承载能力^[3]。

3.3 原材料选择

在水泥的选取上，通常倾向于采纳强度等级不低于 35 级的普通硅酸盐水泥。若施工区域面临如腐蚀性地下水等恶劣环境条件，则需改选具备抗腐蚀性能的水泥品种。针对碎石规格，设定了严格的标准：碎石的最大粒径不可逾越 48 毫米，扁平及长条颗粒的含量须严格控制在总量的 15% 以内，同时，碎石必须保持纯净，不含任何杂质。在选择粗集料时，要优先考虑干燥、表面粗糙且纯净的玄武岩。这些玄武岩需满足一系列高标准要求：粘附性等级需达到 5 级或以上，吸水率必须低于 3%，软石含量亦不得超过 4%。至于细集料，则采用人工轧制的类型，其表面应保持清洁无杂质。细集料的表观相对密度需超过 2.5，含泥量应控制在 5% 以下，同时，砂当量也需保持在 50% 以上，以确保其质量。在粉煤灰的选择上，密度不得小于 2.0 克 / 立方厘米，粒径范围需在 0.002 至 1.8 毫米之间，且水分含量必须严格控制在 3% 以内。

3.4 施工工艺

CFG 水泥粉煤灰碎石桩是一种由碎石、石屑、水泥及粉煤灰等原材料，通过水的混合作用凝结固化而成的桩体。优化这些原材料的配比，可以大幅度提升桩

体的强度,使其强度等级达到C25的最高标准。这类桩体在加固承载力超过26 kPa的淤泥质土等复杂地基工程中展现出了极高的应用价值。CFG桩的施工流程条理清晰,严谨而有序,具体涵盖以下关键步骤:首先,进行全面的施工前准备工作,包括对施工设备的清点与检查,以及施工人员的合理调配,确保施工条件完备。其次,严格按照设计人员提供的配合比,精确计量并混合各种原材料,这是保证桩体质量的关键环节。其次,利用测量板精确测定施工边桩与基桩的位置,进行精确的桩位布置与放线。桩基定位准确后,启动钻孔作业,并通过钻杆芯管连续注入预先均匀搅拌的混凝土。在钻杆芯管内混凝土充盈时,及时提升钻杆,确保混凝土均匀填充桩孔。完成一根桩的施工后,桩机迅速转移至下一桩位,重复上述流程,直至所有桩体施工圆满结束^[4]。

3.5 质量保障措施

相关研究表明,CFG桩的施工质量受到多种因素的共同作用。为确保桩体的高质量构建,以下三个方面需予以高度重视:

1. 精细的桩间土回填作业:鉴于CFG桩具备高密度特性,施工时必须高度警惕桩位偏差和桩体折断的风险。因此,我们通常采取人工夯实或机械压实的方式,将基坑回填土仔细夯实,直至达到桩顶以上约1.2米的高度(允许有±0.5米的浮动范围)。施工结束后,还需进行反开挖作业,凿除桩头,从而更有效地保护并支撑地表结构。

2. 坍落度与提管速度的精确控制:为确保施工质量达标,必须严格按照设计的混合料配比进行施工,并将坍落度精准控制在60毫米左右。坍落度过高或过低均会对施工质量产生不良影响。在拔管过程中,应维持每分钟3米至4米的匀速提拔,并确保提拔动作与供料的连续性,从而避免流动性不佳进一步加剧塌落风险。

3. 施工顺序的合理规划:为尽量减少桩间土的扰动,建议优先采用圆环形或正方形网格状的布桩方式。在特定情境下,也可选择间隔跳打法进行施工,以进一步优化整体施工流程。

3.6 软土地基沉降结果分析

经过全面而细致的数据分析,发现加固技术在道路工程中的应用显著提升了各项物理力学性质。具体而言,虽然弹性模量增长了7.4%,但压缩系数却实现了68.1%的大幅改善,这一鲜明对比凸显了加固技术在增强市政道路地基强度中的关键作用。为了更精确地评估加固技术的效果,沿地基中心线在100米范围

内精心设置了监测点,每隔10米安装一个地基变形监测器。通过对比加固前后的地基沉降量数据,并参照初始值,得出了明确的结论。数据显示,在软土地基的中心区域,加固技术的运用使沉降量大幅降低,中心点沉降量从原来的27.5厘米减少到10.05厘米,整体降幅达到63%。通过图1可以直观地看出,加固技术对市政道路软土地基的承载力和沉降量具有决定性影响。因此,在道路工程中广泛推广和应用加固技术,将有效解决软土地基沉降问题,为道路的安全性和稳定性提供坚实的保障^[5]。

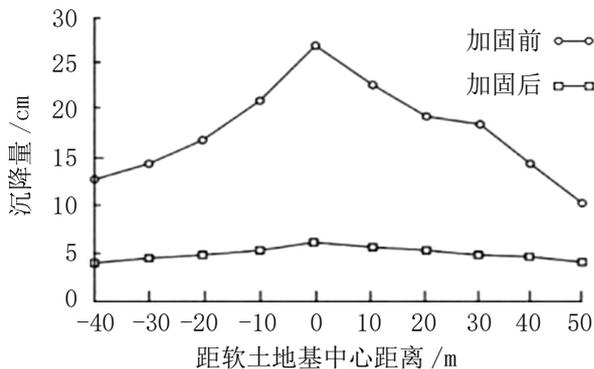


图1 软土地基加固前后沉降变形量对比

4 结束语

对市政道路软土地基沉降加固施工技术的研究,对于提升道路质量、确保交通安全具有至关重要的作用。在实际工程项目中,应根据具体的工程条件和要求,科学选择应用合理的加固方法。同时,还需结合工程实践,不断优化施工工艺和技术参数,以确保加固效果能够完全满足设计要求。此外,还应高度重视对软土地基沉降的监测与评估工作,通过及时发现并妥善处理潜在的安全隐患,可以为市政道路的长期稳定运行提供坚实的保障。

参考文献:

- [1] 黄敏,郭胜.市政道路工程软土地基沉降处理设计分析[J].四川水泥,2018(10):36.
- [2] 梁玮.软基加固施工技术在市政道路施工中的应用[J].交通科技与管理,2023,04(19):155-157.
- [3] 马志远.市政道路工程软土地基沉降加固技术[J].工程机械与维修,2023(03):217-219.
- [4] 杨斌.市政道路加宽工程地基沉降控制方法研究[J].市政技术,2021,39(03):17-20.
- [5] 张兴伟.市政旧桥加宽桩基础沉降施工控制技术研究[J].辽宁省交通高等专科学校学报,2020,22(01):1-3.

基于湿度条件的建筑材料物理性能检测技术分析

李波

(中交路星(北京)工程检测技术有限公司, 北京 100040)

摘要 为进一步优化建筑工程项目作业质量, 要从源头强化建筑材料应用水平, 充分关注湿度对建筑材料应用性能产生的影响, 全面检测基于湿度条件下建筑材料具体参数, 从而提高其应用强度和耐久性, 满足建筑工程稳定性作业需求, 在符合安全可用标准的同时提升综合效益。本文以湿度条件下建筑材料物理性能检测内容为研究对象, 对关键技术展开讨论, 旨在为提高建筑材料物理性能检测质量、保障建筑工程质量提供技术支持。

关键词 湿度条件; 建筑材料; 物理性能; 检测技术

中图分类号: TU511.32

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.16.005

0 引言

随着市场经济不断发展, 建筑市场中的建筑材料层出不穷, 为确保其应用效能, 要基于湿度条件落实规范化检测工作, 对包括力学性能、热学性能、尺寸稳定性等在内的具体参数展开精细化评估。在检测过程中, 发挥多元化检测技术的应用优势, 建立全面且规范的检测流程, 从而更好地维系建筑工程项目中作业材料的安全性, 提高建筑工程质量水平, 进一步维护建筑工程项目综合化管理的控制效果, 为建筑行业可持续发展奠定坚实的基础。

1 湿度条件下建筑材料物理性能检测的必要性

力学性能、热学性能和尺寸稳定性都是建筑材料的物理性能, 决定了建筑材料的应用质量和安全性, 为更好地发挥其应用效果, 要在湿度条件下落实精准的检测评估工作, 全面分析湿度条件对建筑材料物理性能产生的影响。为提高湿度条件下检出材料物理性能检测的水平, 要充分关注性能特征, 践行全要素检测, 确保关联特征检测的可行性, 从而更好地发挥建筑材料的应用性能, 为后续材料应用管理提供保障。只有满足检测标准且检测结果合格, 才能投入使用, 最大程度上确保建筑项目的结构稳定性和工程安全性。

2 湿度条件下建筑材料物理性能检测的要点

2.1 热学性能

在建筑材料应用前, 选购材料时要充分关注材料的能源消耗指标, 确保建筑材料应用质量的同时满足节能降耗的环保需求。因此, 要关注建筑材料热学条件下热传导效率、热膨胀系数、热阻情况和比热容性

能参数等, 将其作为关键评估的指标依据, 更好地判定建筑材料的应用情况。

一是热传导系数。建筑材料在使用过程中会受外界潮湿环境的影响, 材料内部孔隙充水, 影响热传导性, 进而影响热导率参数。

二是热膨胀系数。尤其是在高湿作业环境中, 外界水分较多, 远远超出建筑材料可吸水的阈值, 材料在过度吸水的情况下产生膨胀现象, 相应的热膨胀系数会出现不同程度的变化, 且热导率和湿度呈正比例增长关系, 变化范围会维持在 14.8% ~ 186.7% 之间。

三是热阻情况。建筑材料的热阻性能也是关键参数之一, 是建筑材料自身抵御热传导的水平和功能特性, 若使用环境中湿度参数逐渐增大, 建筑材料自身的热导率出现了增长的情况, 会直接导致热阻参数降低。为此, 在建筑保温材料使用过程中, 需严格控制环境的湿度水平, 一旦湿度超出阈值范围, 就会对材料自身的保温性能和应用效果造成严重的影响。

四是比热容性能参数。比热容代表的是单位质量建筑材料的热容量参数, 环境湿度会直接改变其比热容参数, 湿度增加的情况下水分会直接吸收多余热量, 使得建筑材料热响应特性受限。以多孔砖为研究对象, 当外界作业环境湿度从 0 升高到 20% 时, 多孔砖的比热容指标变化会在 20% ~ 30% 之间^[1]。

2.2 力学性能

对于建筑工程项目作业而言, 建筑材料的力学性能参数非常关键, 代表着建筑材料在外界力学作用条件下呈现出的变形规律、破坏形态等, 一定程度上也代表了建筑的机械性能。关键的力学性能指标有弹性、

强度、脆性、硬度等，要根据实际作业情况校准性能参数，确保其应用效果满足作业要求，提升综合作业安全水平。

一是强度参数。将强度细化为抗压强度、抗拉强度、抗剪强度以及抗弯强度参数，要结合实际作业环境要求校准相关参数，从而更好地了解材料是否满足应用要求。最关键的是，建材试件的具体形状、含水状态以及周围环境的温湿度变化等因素都会对建筑材料的强度水平产生不同程度的影响，只有保证参数评估的合理性，才能更好地发挥建筑材料的应用优势。在高湿作业环境中，多余的水分会直接侵入建筑材料，其内部压力也会随之发生改变，伴随着材料脱落、开裂等隐患，只有严格控制湿度条件，才能更好地提升材料的应用安全性。以木材为例，当湿度从30%上升到60%的情况下，材料的指标变化如表1。

表1 湿度对材料强度性能的影响

| 序号 | 内容 | 指标变化 |
|----|------|------------|
| 1 | 抗压强度 | -40% ~ 50% |
| 2 | 抗拉强度 | -30% ~ 40% |
| 3 | 抗弯强度 | -35% |

二是弹性和塑性参数。相应参数代表了建筑材料在外界作用力环境下出现的变形情况，或者是一定变形条件下整体建筑材料结构不受破坏的能力，湿度条件会对弹性和塑性参数产生较大的影响。由于材料自身具有热胀冷缩的特性，湿度使得材料出现不同程度的膨胀、收缩现象，并会对建筑材料的质量产生影响，腐蚀、霉变等问题较为常见，制约建筑材料的应用效能。

三是脆性和韧性参数。前者代表外界施加作用力后建筑材料无明显变化的性能指标，后者代表外界施加作用力后材料一定变形条件下不受影响的性能指标，两者都会受到湿度条件变化产生的影响。较为常见的是木质建筑材料，高湿环境会使得建筑材料较为脆弱，相应的韧性水平随之降低。若是环境的湿度非常低，则建筑材料的脆硬程度逐渐增大，韧性则无法满足作业需求。

四是硬度参数。在高湿作业环境中，材料自身的塑性变形能力逐渐增加，使得水分子不断渗入，影响建筑材料内各个材料分子之间的结合力效果，影响了材料的塑性变形能力，加之水分子加速材料的磨损状态，造成水分子和建筑材料表面的相互作用力逐渐增大，严重影响材料表面的质量效果，必然会降低建筑材料的硬度^[2]。

五是耐磨性。耐磨性是建筑材料非常关键的性能

指标，耐磨性一定程度上决定了建筑材料的使用寿命和后续运营的安全性，湿度条件会对耐磨性产生不同程度的作用，湿度增加后潮湿环境会使得建筑材料表面更加润滑，材料自身的耐磨效果随之降低。

2.3 尺寸稳定性能

当建筑材料在外界机械力、热力或者其他力作用下尺寸发生变化，其表现的性能就是材料自身的尺寸稳定性。尺寸稳定性会对建筑材料的应用安全性和使用寿命产生影响，只有维持较为合理的性能参数，才能优化建筑材料的应用效果。而湿度条件会对建筑材料的尺寸稳定性产生不同程度的影响，湿度增加使得建筑材料自身出现整体膨胀的情况，膨胀变形、开裂等一系列问题都会对后续应用效果造成严重的威胁。以石膏板为研究对象，当外界湿度条件出现变化后，湿度从原有的40%上升到60%，此时石膏板的实际尺寸也会出现不同程度的变动，长度变化率达到0.1%~0.2%、宽度变化率达到0.15%~0.25%，并且，石膏板的实际厚度也会出现不同程度的变化，使得整体材料的尺寸超出设计使用预期，影响其应用质量。若湿度条件无法有效控制，其变化程度会随之增大，必然会对建筑工程项目综合作业质量和安全性产生威胁^[3]。

总之，湿度条件下建筑材料物理性能会受到较大的影响，要对力学性能、热学性能、尺寸稳定性能进行规范化评估，充分了解具体的情况，从而更好地开展相应的检测分析作业，并制定相匹配的整改处理方案，提高建筑工程项目材料应用的安全水平，减少隐患问题对后续运营作业造成的影响。

3 湿度条件下建筑材料物理性能检测关键技术

3.1 热学性能检测关键技术

热学性能是影响建筑材料应用质量的关键要素，要选择合适的检测手段，充分关注湿度条件下材料热学变化，搭建合理规范的检测流程，从根本上提高建筑材料的使用安全性。

1. 稳态热流法和瞬态热线法。其主要是对建筑材料的热导率予以检测分析。在应用稳态热流法的过程中，要对建筑材料的试样进行恒定温度差条件下的测定，对比试样的热流密度参数和温度差参数，采用傅里叶传热定律就能进一步计算建筑材料热导率水平，对照材料的应用规范指标，评估其是否满足作业要求。瞬态热线法则是在检测过程中将热线布置在建筑材料试验内，记录瞬间通电后加热的实际情况，并绘制热线温度随时间变化的图形，了解变化前后情况后汇总数据并评估热导率是否满足作业标准^[4]。

2. 混合法和差示扫描热法。其主要是对湿度条件下建筑材料比热容进行检测分析。在应用混合法的过程中,操作人员要将待测量的建筑材料试样放置在具备一定质量的量热器内部,及时测量湿度条件变化后材料的比热容,创造相应的受潮条件,更直观地了解性能参数变化情况,以确保湿度条件控制工作更加合理。差示扫描热法则需要借助程序进行温度的调控,更精准地测定建筑材料试样和参照物热流量在不同温度环境下的变化情况,进一步了解湿度条件影响建筑材料比热容的状态,对比标准参数,就能合理评估材料是否可用。

3. 顶杆法和光学干涉法。其主要是对建筑材料的热膨胀系数进行测定。顶杆法需要将材料直接放置在加热炉内,两端连接固定支架和顶杆,通过实时性记录膨胀量计算热膨胀系数,判定湿度条件对其产生的影响。光学干涉法基于光学干涉原理,及时记录并汇总热环境下长度变化,计算热膨胀系数。

3.2 力学性能检测关键技术

在使用力学性能检测技术的过程中,技术的使用要基于力学性能特性,配合相应的技术手段,综合判定建筑材料的适用性,并判定建筑材料是否存在老化或者严重损伤的问题,最大程度上提高建筑工程项目结构的安全性。

1. 拉伸试验检测技术。该技术主要针对建筑材料的抗拉强度进行检测分析。依照设计要求,将待检测的建筑材料制作为标准拉伸试样后放置在万能材料试验设备中,根据固定速度对其进行轴向拉力的施加处理,绘制试样应变曲线示意图,检测人员通过对曲线图相关信息的校准和核对,就能综合判定建筑材料的屈服点,更好地评估屈服强度。紧接着,就能判定材料拉断前所能承受的最大应力抗拉强度和伸长率。

2. 弯曲试验检测技术。该技术主要针对建筑材料的抗弯强度和抗变形能力进行检测分析。以三点弯曲试验为例,将待测建筑材料制作为长条形试样,放置在固定的两个支撑点位后对试样的中间位置施加外力,试验设备会及时记录外力和位移变化的参数,绘制变化曲线后结合计算分析就能了解材料的挠度,进一步评估其抗变形水平^[5]。

3. 剪切试验检测技术。该技术主要针对建筑材料的抗剪强度进行测试。要配合使用面内剪切处理的手段,及时记录建筑材料试样在受到破坏后下剪切力变化情况,汇总数据并计算抗剪水平。

除此之外,洛氏硬度试验检测能对材料硬度进行测试,特别是石材地面材料质量检测分析评估工作中,

通过汇总关联数据能直观地了解材料的力学性能水平。

3.3 尺寸稳定性检测关键技术

湿度条件会对建筑材料尺寸稳定性产生影响,为此,要落实更加规范的检测手段,发挥技术优势,全面优化检测水平。

1. 尺寸变化测量技术。操作人员要在不同湿度条件下借助卡尺、千分尺等工具完成材料试样的测量作业,汇总包括试样长度、试样宽度、试样厚度在内的具体尺寸参数,进一步计算建筑材料的实际膨胀率和收缩率,以便于能完整地推断建筑材料的稳定水平。

2. 恒温恒湿箱试验技术。利用模拟不同材料使用环境的方式,将试样放置在可控温、控湿的箱体内部,分析不同湿度条件下试样尺寸的变化情况。

3. 动态湿胀检测技术。检测人员要借助动态湿胀仪完成测量参数的汇总,设定不同湿度条件,评估材料各种湿度环境中尺寸变化状态,以精细化的尺寸数据处理方式,更好地了解建筑材料尺寸稳定性^[6]。

除此之外,吸水膨胀率测试技术、湿度室试验技术等都能对不同湿度条件下建筑材料试样尺寸变化数据进行汇总,利用具体公式完成计算以评估材料的尺寸稳定性。

4 结束语

湿度条件下建筑工程项目作业材料物理性能检测具有深远的研究价值,要对力学性能、热学性能以及尺寸稳定性展开精准检测和规范化分析,了解不同湿度条件对于建筑材料物理性能产生的影响,从而全面评估其具体使用特性后优选适合建筑工程项目施工作业的材料,搭配规范化的技术作业手段,进一步提高建筑工程项目作业安全性,为建筑工程项目可持续发展提供保障。

参考文献:

- [1] 彭富军. 建筑材料中钢筋物理性能的检测探讨[J]. 智能建筑与工程机械, 2024, 06(06): 85-87.
- [2] 金英杰. 建筑材料防水试验检测物理性能试验指标的探讨[J]. 建筑工程技术与设计, 2020(23): 3084.
- [3] 林冬松. 新型建筑材料性能及其检测技术研究[J]. 中国建筑装饰装修, 2024(23): 101-103.
- [4] 杨旸, 李雪琼, 赵鹏清. 实验室水泥物理性能检测能力验证结果分析[J]. 建材发展导向(下), 2022, 20(04): 10-12.
- [5] 陈璞. 土木工程施工中绿色建筑材料的质量检测分析[J]. 现代工程科技, 2023, 02(08): 53-56.
- [6] 陆佳琦. 住宅工程施工中绿色建筑材料的质量检测方法研究[J]. 工程施工新技术, 2025, 04(05): 211-213.

机械电气一体化在智能制造中的应用

刘贵滕¹, 潘金霖¹, 陈雷², 魏清标³, 赵竣元⁴

- (1. 青岛宇通电力建设工程有限公司, 山东 青岛 266000;
2. 青岛中惠机械租赁有限公司建设工程有限公司, 山东 青岛 266000;
3. 山东山科合建项目管理有限责任公司, 山东 青岛 266000;
4. 青岛柏瑞通达建筑工程有限公司, 山东 青岛 266000)

摘要 机械电气一体化 (Mechatronics) 是现代机械设备发展的必然趋势, 越来越多的电气自动控制系统被用于机械设备之中, 在提高了机械设备控制的稳定性及加工精度的同时, 也有效地简化了机械电气线路与结构。本文探讨了机械电气一体化技术在智能制造领域中的具体应用, 重点涉及智能生产线、柔性制造系统、智能物流与仓储以及智能检测与预测性维护等应用场景, 并对系统集成复杂性、设备维护难题及数据安全风险等局限性提出了相应的解决策略, 以期对推动智能制造体系向更高效、更稳定、更安全的方向演进有所裨益。

关键词 机械电气一体化; 智能制造; 自动化控制; 柔性制造

中图分类号: TH-39

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.16.006

0 引言

全球制造业正处于由传统模式向数字化、智能化转型的关键阶段。在此背景下, 机械电气一体化技术以其多学科交叉融合的特性, 成为构建智能制造体系的重要支柱。该技术不仅整合了机械、电气、控制及计算机等核心领域的先进理论, 还借助传感、数据处理及闭环控制手段, 实现生产系统的智能自适应调节。当前, 新兴的信息技术如人工智能、物联网及 5G 通信的快速发展, 为机械电气一体化技术的进一步深化应用提供了有力支持。本文对该技术在智能制造中的多种应用场景进行系统梳理, 期望为产业升级提供理论支持与实践参考。

1 机械电气一体化的基本概念

机械电气一体化是一门融合机械工程、电气工程、计算机科学、控制工程等多学科的交叉学科, 旨在通过多领域技术的集成, 实现复杂系统的智能化、自动化和高效化。在机械电气一体化系统中, 机械部件与电子控制系统紧密结合, 形成高度集成的整体。这种集成不仅提升了系统的性能和可靠性, 还增强了其适应复杂环境的能力^[1]。机械电气一体化的核心在于将机械系统的精密性与电子控制系统的灵活性相结合。通过传感器实时获取系统状态信息, 利用计算机和控制算法进行数据处理和决策, 再通过执行机构对机械部件进行精确控制。这种闭环控制方式确保了系统的高精度和高效率。随着科技的进步, 机械电气一体化

技术不断发展, 逐渐融入人工智能、物联网等新兴技术。这使得系统具备更强的自主性和智能化水平, 能够在复杂多变的环境中自主完成任务, 进一步拓展了其应用领域。

2 机械电气一体化在智能制造中的应用场景

2.1 在智能化生产线中的应用

在现代智能制造环境中, 机械电气一体化技术被广泛应用于智能化生产线, 以实现高度自动化、精确控制及柔性制造。在该场景中, 机械、电气、控制和信息技术深度融合, 使得生产线具备实时感知、动态调整和自主优化能力。具体而言, 智能化生产线通常依赖于嵌入式传感系统来监测生产过程中的关键参数, 如温度、压力、速度和位移等, 并将数据传输至中央控制系统。中央控制系统基于采集的信息, 通过先进的控制算法优化生产节拍、调整设备工作状态, 确保整个生产流程的协调性与高效性。同时, 智能生产线普遍采用机器人自动化设备, 执行组装、焊接、喷涂等高精度任务。这些机器人搭载了高精度伺服电机和智能视觉系统, 使其能够精准识别工件并完成复杂操作。并且, 智能化生产线还利用工业互联网技术, 实现设备间的信息互联, 确保各个生产单元协同工作, 形成完整的智能制造体系。

2.2 在柔性制造系统中的应用

机械电气一体化在柔性制造系统 (FMS) 中发挥了关键作用, 使生产模式能够快速适应市场需求变化。

该系统依赖于模块化的数控机床、智能物流系统及自主调度控制策略,以支持多品种、小批量的生产模式。在具体实施过程中,数控机床与自动化加工单元通过网络化控制平台进行连接,并由统一的制造执行系统进行调度^[2]。机械电气一体化技术使得数控机床具备自适应加工能力,能够根据不同产品的规格和工艺要求,调整刀具路径、切削参数及进给速度,提高加工精度和生产柔性。此外,柔性制造系统通常配备智能物料搬运装置,如自动导引车或自主移动机器人,负责原材料和半成品的精准配送。这些智能物流设备采用激光雷达、视觉导航和 RFID 识别等技术,实现高效路径规划和避障操作,确保物料能够准确送达指定工位,从而提升整个系统的生产效率和智能化水平。

2.3 在智能物流与仓储中的应用

在智能制造体系中,物流和仓储环节直接影响生产效率及供应链响应速度,而机械电气一体化技术在这一领域的应用,使得物料输送、存储与管理更加高效和智能。具体应用方式包括自动化立体仓库(AS/RS)、智能分拣系统及智能搬运机器人。自动化立体仓库借助高精度电动堆垛机、传输系统及智能调度算法,实现对物料的自动存取。在该系统中,电机驱动的堆垛机按照指令精准移动,并通过传感器实时监测货物位置,以确保高效作业。智能分拣系统则采用光电识别、视觉检测及 AI 算法,对物料类别、尺寸及配送要求进行精准分类,并由机械臂或高速传输带完成自动分拣^[3]。此外,智能仓储系统通常配备 AGV 或 AMR,用于优化物料搬运路径。这些自主移动设备依赖电气驱动系统、智能导航技术和实时路径优化算法,使得物料搬运过程更具灵活性和可靠性,从而降低人工成本,提高仓储运作效率。

2.4 在智能检测与质量控制中的应用

在智能制造过程中,产品质量检测与控制至关重要,而机械电气一体化技术的应用,使得检测精度、效率及稳定性得到显著提升。典型的应用方式包括在线检测系统、智能视觉检测及自动校准技术。在在线检测系统中,高精度传感器与数据采集系统协同工作,实时监测产品尺寸、形状及物理性能,并利用 PLC 或嵌入式控制单元分析数据,从而判断产品质量是否符合标准。智能视觉检测系统则采用高分辨率工业相机、深度学习算法及图像处理技术,对产品外观、表面缺陷及色差进行精准识别。该系统可集成于生产线上,通过高速摄像机采集图像,并借助 AI 模型对缺陷特征进行判别,进而触发报警或剔除不合格产品。另外,自动校准技术广泛应用于精密加工领域,其核心在于

利用伺服控制系统、位移传感器及智能反馈算法,对机床或生产设备进行实时调整,以确保加工精度和一致性,从而提升整体产品质量。

2.5 在预测性维护与智能运维中的应用

机械电气一体化在智能制造中的另一重要应用场景是预测性维护及智能运维,旨在降低设备故障率、延长使用寿命,并优化维护成本。具体实现方式包括智能传感系统、云端监测平台及 AI 预测算法。智能传感系统通过振动、温度、电流及声学信号采集设备运行状态,并借助边缘计算技术进行实时数据处理,以识别潜在故障。云端监测平台则整合多个设备的数据流,构建大数据分析模型,对长期运行趋势进行评估。AI 预测算法结合历史数据及机器学习技术,分析设备健康状态,并生成维修建议或自动调整设备运行参数。例如:在智能制造车间中,伺服电机、液压系统及轴承等关键部件均配备状态监测传感器,一旦检测到异常信号,系统可提前预警,并安排维护计划,以防止突发性故障。另外,部分智能工厂采用数字孪生技术,构建虚拟设备模型,与真实设备同步运行,从而模拟故障发生过程,并优化维护策略,提高运维管理的智能化水平^[4]。

3 机械电气一体化在智能制造中应用的局限与解决方案

3.1 系统集成复杂性与技术标准不统一

机械电气一体化系统涵盖多个学科领域,涉及传感器技术、自动化控制、嵌入式系统、工业通信等多个关键环节。然而,当前行业内缺乏统一的标准化接口和协议,导致不同厂商的设备在数据交互和控制策略上存在兼容性问题,影响整体系统的协同运作。

为了提升系统的集成效率,应从标准化、模块化以及智能化调试入手。可推动开放式通信协议(如 OPC UA、Profinet、EtherCAT 等)的广泛应用,使异构系统能够实现无缝互联。鼓励行业组织与科研机构合作,制定设备互联互通标准,确保不同厂商的机械电气一体化组件能够兼容运行。同时,在机械结构、电气驱动以及控制系统层面采用可重构模块,提高系统的可扩展性。各功能单元可独立升级,使设备适应不同生产需求,同时简化集成过程。另外,利用虚拟仿真环境对系统进行建模,提前验证各组件之间的兼容性,优化集成逻辑,降低因设备不兼容导致的调试时间。

3.2 设备维护复杂度高与故障诊断难度大

在机械电气一体化系统中,设备高度集成,涉及精密机械部件、智能控制单元及电气驱动系统。长期

运行后,机械磨损、电气老化以及控制参数漂移等问题可能导致系统稳定性下降。此外,由于系统内部多个部件协同工作,单个部件的故障可能引发连锁反应,增加故障排查的难度。因此,需构建智能监测与预测性维护系统,即利用振动传感器、温度传感器、电流监测模块等实时采集设备运行数据,并结合人工智能算法分析运行趋势,预测关键部件的寿命,提前进行维护,减少非计划停机。并且,使用边缘计算技术于现场实时数据处理,提高响应速度,而云计算平台可存储长期运行数据,并进行大规模分析,生成设备健康状态评估报告,辅助决策制定^[5]。另外,还可结合机器学习和深度学习算法,使系统能够根据设备的运行状态自动调整维护策略。例如:在设备运行负荷较大时,调整关键部件的工作参数,降低故障发生概率。

3.3 数据安全与网络安全隐患

智能制造体系依赖大规模的工业物联网(IIoT)与云端存储,机械电气一体化系统的数据互联使其面临潜在的网络攻击、数据泄露及恶意篡改风险。例如:未经授权的访问可能导致设备运行参数被恶意修改,影响生产安全。需构建多层次的信息安全防御体系保证系统的稳健性与数据完整性,可采用区块链技术进行数据加密与溯源。区块链的分布式账本特性可确保数据不可篡改,提高制造数据的可信度,同时提升供应链数据透明度,避免因数据泄露导致的生产风险。同时,构建工业网络安全防御体系。利用深度防御策略(Defense-in-Depth, DiD),在网络层、设备层及应用层构建多级安全保护,包括使用VPN、工业防火墙、入侵检测系统(IDS),确保数据传输的安全性。除此以外,还需引入双因素认证(2FA)、零信任架构(Zero Trust Architecture)及基于区块链的身份管理系统,防止未经授权的设备或人员访问关键生产控制系统,提高整体安全性。

4 实践案例分析

某集团作为全球领先的工程机械制造商,其18号智能工厂被誉为“灯塔工厂”,充分体现了机械电气一体化在智能制造中的深度应用。该工厂通过集成智能装备、工业物联网和数字化仿真等技术,实现了生产过程的高度自动化和智能化。在生产过程中,工厂采用了大量智能装备,如机器人自动化设备,承担焊接、喷涂等高精度任务。这些设备配备高精度伺服电机和智能视觉系统,能够精确识别工件并执行复杂操作。同时,工厂构建了工业物联网平台,将机台设备联网,实现生产信息的实时采集、设备互联以及自动控制与

数据传输,最大化提升了设备利用率。此外,工厂在规划阶段利用三维仿真技术,对整个生产工艺流程进行建模,在虚拟场景中试生产,优化规划方案。通过仿真实验进行节拍平衡分析与优化,规划最优的装配任务和资源配置。

某集团旗下的青岛互联工厂是智能制造实践中的典型案例,充分展示了机械电气一体化在高度定制化生产中的深度融合。该工厂依托COSMOPlat工业互联网平台,实现了从用户下单到产品交付全过程的数据驱动和协同控制。在制造环节,自动化装配线集成了机器人系统、高速数控设备与智能传感装置,能够实时感知产品加工状态,并根据工艺要求动态调整生产参数。此外,工厂广泛应用机械电气一体化技术构建柔性生产单元,使其具备快速切换产品类型和自动调整生产节拍的能力,从而支持大规模个性化定制。整个系统通过统一的工业控制网络进行协调,保障了设备间的高效通信与联动,显著提高了生产效率与响应速度。

5 结束语

通过系统阐述机械电气一体化在智能制造中的典型应用,包括智能生产线、柔性制造系统、智能物流与仓储以及智能检测与预测性维护等环节,指出机械电气一体化技术凭借高度集成、精准控制和实时反馈机制,显著提升了制造过程的智能化水平。然而,系统集成复杂性、设备维护管理难度以及数据安全隐患等问题依然存在。为解决这些问题,建议构建标准化模块接口、推广智能预测维护体系、优化柔性制造架构及实施多层次网络安全防护策略。未来,随着人工智能、工业互联网及数字孪生等技术的不断进步,机械电气一体化在智能制造领域的应用将更加深入。

参考文献:

- [1] 蒋太强,王晓文,孙振明,等.机械电气一体化设备安装技术要点研究[J].造纸装备及材料,2023,52(05):70-72.
- [2] 何慧锋.纸箱包装机械电气设计在智能制造中的创新应用[J].现代制造技术与装备,2024,60(08):222-224.
- [3] 姜东全,陈秀.智能制造技术在农机设计优化中的应用研究[J].南方农机,2024,55(17):39-41.
- [4] 丁漪.机电一体化技术在汽车智能制造中的应用[J].汽车测试报告,2025(02):34-36.
- [5] 凌洪青.智能制造背景下机电一体化技术的发展探索[J].造纸装备及材料,2025,54(01):66-68.

智能建筑技术在现代建筑工程中的应用研究

钱 康

(中铁合肥建筑市政工程设计研究院有限公司, 安徽 合肥 230000)

摘 要 随着信息技术的迅猛发展, 智能建筑技术逐渐成为现代建筑工程领域的重要组成部分。本文详细论述了智能建筑技术的定义、特点及其在提高能源效率、提升舒适性、增强安全性和提高管理效率等方面的优势, 分析了智能建筑技术在住宅、商业、医疗、教育和公共建筑等领域的应用, 并展望了其未来发展趋势, 包括人工智能的应用、物联网的普及、能源管理与环境可持续性、人机交互的改进以及网络安全与隐私保护, 以期为相关人员提供借鉴。

关键词 现代建筑工程; 智能建筑技术; 自动化系统; 感应装置; 智能安防系统

中图分类号: TU855

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.16.007

0 引言

科技的发展深刻影响了建筑行业的各个方面。智能建筑作为现代建筑的一个重要分支, 通过集成先进的信息技术和自动化系统, 不仅提高了建筑物的功能性和使用价值, 还为人们创造了更加舒适、安全和高效的居住与工作环境。面对日益增长的能源需求和环境保护要求, 智能建筑技术显得尤为重要。本文详细探讨了智能建筑技术的优势、应用领域及未来发展方向, 以期对相关研究和工程实践提供理论基础和技术支持。

1 智能建筑技术的优势

1.1 能源效率提高

智能建筑技术通过集成多种传感器和自动化系统, 优化建筑物的能源使用。通过这些技术实时监测室内外环境参数, 如温度、湿度和光照强度, 并据此自动调节空调、照明及其他设备运行状态, 以实现最佳能效比。借助大数据分析, 智能建筑能够预测能源需求趋势, 提前调整设备操作模式, 减少不必要的能耗。太阳能板等可再生能源设施的整合, 进一步降低了对传统能源的依赖程度。智能电网连接使得建筑物可以根据不同时段的电价波动灵活调整用电量, 既节省了开支, 也缓解了高峰时段电网压力。精确控制与管理不仅限于电力使用, 还包括水资源和其他资源的有效利用, 可全方位降低总体能源消耗, 促进环境保护和可持续发展目标的达成。

1.2 舒适性提升

智能建筑内配置的感应装置与控制系统为使用者提供了更加舒适的生活和工作环境, 空气质量监控器实时检测室内二氧化碳浓度并联动新风系统进行调节,

确保空气新鲜流通。智能温控系统依据个人偏好设定最适宜的室内温度, 营造出舒适的居住氛围。窗帘和遮阳系统根据太阳位置及天气状况自动开合, 保证充足的自然光线进入的同时避免过度曝晒。声音管理系统根据不同区域功能需求调整背景噪声水平, 创造安静或活跃的空间体验。智能照明系统根据时间、活动类型和个人喜好自动调节亮度和颜色温度, 提供个性化照明解决方案。智能家居设备允许用户远程控制家电、安防系统等, 增加了生活的便捷性和安全性。所有这些技术共同作用, 提升了使用者的满意度, 提高了工作效率和生活质量。

1.3 安全性增强

智能建筑采用先进技术保障居民安全, 高精度摄像头与面部识别软件结合使用, 有效监控进出人员身份, 防止未经授权访问。火灾报警系统与自动灭火装置相连, 在检测到烟雾或高温时立即启动响应程序, 最大限度地减少损失。紧急呼叫按钮遍布各个关键位置, 确保任何情况下都能迅速求助。智能门锁支持指纹识别、密码输入等多种解锁方式, 增加出入的安全性和便利性^[1]。网络安全措施同样重要, 强大的防火墙和加密技术保护建筑内部网络免受外部威胁侵扰。视频监控系统不仅覆盖公共区域, 还延伸至停车场、走廊等地方, 全天候守护居民安全。综合安防平台整合了入侵报警、视频监控、门禁控制等功能, 实现了集中管理和快速响应。这种全面的安全防护体系极大地增强了建筑的安全等级, 为住户提供安心无忧的居住环境。

1.4 管理效率提高

智能建筑通过集中化的管理系统, 实现了对各项设施和服务的高效监管。物业管理人員可利用单一平

台远程监控和调度各类设备,从电梯维护到垃圾处理,一切尽在掌握之中。集约化管理模式减少了人力成本,加快了问题解决速度。数字化记录保存功能让历史数据易于检索,便于分析趋势并作出相应策略调整。自动化报告生成工具定期提供运营状况概览,帮助管理者及时了解建筑性能。通过优化资源配置,智能建筑不仅能维持高水平的服务质量,还能延长设施使用寿命,降低长期运营成本。物联网技术的应用使得不同系统之间可以无缝对接,形成一个智能化生态系统。在这个系统中,各种设备和应用相互协作,提高了整体运作效率,促进了物业管理向智能化方向发展。

2 智能建筑技术的应用领域

2.1 住宅建筑

智能建筑技术在住宅领域的应用日益广泛,其核心目标是通过智能化手段提升居住环境的舒适性、安全性和能源效率。自动化控制系统是住宅智能化的基础,能够实现对温度、湿度、照明和空气质量等环境参数的精准调节。例如:智能恒温器可以根据用户的生活习惯自动调节室内温度,智能照明系统能够根据自然光照强度动态调整亮度,确保室内光线始终处于最佳状态。空气质量传感器可以实时监测室内空气中的二氧化碳、PM2.5等指标,并在空气质量下降时自动启动新风系统。此外,智能安防系统通过视频监控、智能门锁和烟雾探测器等设备,为住户提供多层次的安全保障^[2]。用户可以通过手机应用远程查看家中的实时状态,并在发生异常情况时及时接收警报。能源管理系统的引入使得住宅建筑能够实时监测能源消耗情况,并通过优化算法降低能耗。例如:系统可以根据电价波动自动调整电器设备的运行时间,从而减少电费支出。智能家居设备的普及进一步增强了用户体验,用户可以通过语音助手或移动设备远程控制家中的各类设备,如窗帘、音响和家电等。

2.2 商业建筑

智能建筑技术在商业建筑中的应用主要集中在提升运营效率、降低能耗和优化用户体验方面。自动化控制系统能够实现对办公环境的智能化管理,例如根据人员密度调节空调和照明系统的运行状态。在办公区域,智能照明系统可以根据自然光照强度和人员活动情况动态调整亮度,既保证了照明需求,又减少了能源浪费。空调系统则通过温度传感器和 occupancy 传感器实时调节运行模式,确保室内环境始终处于舒适状态。能源管理系统通过实时监测和分析能耗数据,帮助管理者制定节能策略,从而降低运营成本。例如:

系统可以识别出高能耗设备并提出优化建议,或根据建筑使用情况自动调整能源分配策略。智能安防系统通过视频监控、门禁管理和入侵检测等功能,确保商业建筑的安全性^[3]。访客管理系统可以自动记录访客信息并生成访问权限,提高了管理效率。此外,智能建筑技术还支持会议室预约、设备维护和空间利用率分析等功能的自动化,显著提高了管理效率。

2.3 医疗建筑

智能建筑技术在医疗领域的应用旨在提升医疗服务的效率和质量,同时确保患者和医护人员的安全与舒适。自动化控制系统能够实现对病房、手术室和诊室等区域的温度、湿度和空气质量的精准调节,为患者提供舒适的康复环境。例如:手术室的空气净化系统可以实时监测空气中的微生物浓度,并在检测到异常时自动启动高效过滤模式。智能监测系统可以实时采集患者的生命体征数据,如心率、血压和血氧饱和度,并通过数据分析技术为医生提供诊断支持。能源管理系统的引入使得医院能够优化能源使用,降低运营成本。例如:系统可以根据不同区域的用电需求动态调整电力分配,或利用太阳能等可再生能源补充电力供应。智能安防系统通过视频监控和门禁管理,确保医院的安全运行。此外,智能建筑技术还支持医疗设备的远程监控和维护,提高了设备的利用率和可靠性。系统可以实时监测医疗设备的运行状态,并在检测到故障风险时自动发出预警。

2.4 公共建筑

智能建筑技术在公共建筑中的应用旨在提升公共服务的效率和质量,同时确保公众的安全与舒适。自动化控制系统能够实现对公共区域的温度、湿度和照明的智能化管理,为公众提供舒适的环境。例如:图书馆的照明系统可以根据自然光照强度和人员活动情况自动调节亮度,确保读者在不同时间段都能获得适宜的光线条件。智能监测系统可以实时采集建筑内的环境数据,如空气质量和人流量,并根据需求自动调节设备运行状态^[4]。能源管理系统通过分析能耗数据,帮助管理者制定节能策略,降低运营成本。系统可以根据建筑使用情况自动调整空调和照明系统的运行模式,避免能源浪费。智能安防系统通过视频监控和门禁管理,确保公共建筑的安全运行。

3 智能建筑技术的未来发展趋势

3.1 人工智能技术的应用

人工智能技术在智能建筑中的应用将推动建筑管理向更高层次的智能化发展,成为未来建筑技术创新

的核心驱动力。通过机器学习算法,建筑系统能够从海量数据中提取有价值的信息,并预测未来的环境变化趋势。例如:人工智能技术可以根据历史能耗数据预测未来的能源需求,优化设备运行策略,从而降低能耗并提高能源利用效率。在设备维护方面,人工智能技术能够通过分析设备运行数据识别潜在的故障风险,实现预测性维护,减少设备停机时间和维修成本^[5]。此外,人工智能技术在个性化服务方面的应用将显著提升用户体验。系统可以根据用户的行为模式和偏好自动调节环境参数,例如在用户回家前提前调节室内温度和照明。随着深度学习技术的进步,人工智能技术在智能建筑中的应用场景将更加广泛,如通过计算机视觉技术实现人员密度监测和异常行为识别,进一步提升建筑的安全性和管理效率。

3.2 物联网技术的普及

物联网技术的普及将进一步增强智能建筑的互联性和协同能力,为建筑管理提供更加高效和灵活的技术支持。通过将建筑内的各类设备连接到统一的物联网平台,系统能够实现设备之间的数据共享与协同工作。例如:照明系统可以根据空调系统的运行状态自动调整亮度,以优化能源使用;安防系统可以与门禁系统联动,在检测到异常情况时自动锁定相关区域。物联网技术还支持远程监控与管理,用户可以通过移动设备实时查看建筑状态并进行远程操作,如调节室内温度或查看能耗数据。随着 5G 技术的推广,物联网设备的通信速度和稳定性将得到显著提升,为智能建筑的全面互联提供技术保障。

3.3 能源管理与环境可持续性

能源管理与环境可持续性智能建筑未来发展的重要方向,旨在通过智能化手段实现能源的高效利用和环境的友好保护。智能建筑将越来越多地集成可再生能源技术,例如太阳能光伏系统、风能发电系统和地源热泵系统,以减少对传统能源的依赖。通过智能电网技术,建筑能够实现能源的优化分配和动态调节,例如在电价低谷时段存储电能以供高峰时段使用。能源管理系统通过实时监测和分析能耗数据,识别能源浪费的环节并提出优化方案,例如根据建筑使用情况自动调整空调和照明系统的运行模式^[6]。此外,建筑材料的环保化和施工过程的绿色化也将成为未来发展的重要趋势。如使用低碳建材和可回收材料可以减少建筑对环境的影响,而智能施工技术可以提高施工效率并减少资源浪费。

3.4 人机交互技术的改进

人机交互技术的改进将显著提升智能建筑的用户

体验,使建筑系统更加贴近用户需求。通过语音识别、手势控制和增强现实等技术,用户可以与建筑系统进行更加自然和直观的交互。例如:用户可以通过语音指令调节室内环境参数,或通过手势控制照明和窗帘的开关。智能建筑还可以根据用户的偏好和行为模式自动调整设备运行状态,提供个性化的服务。例如:系统可以学习用户的作息时间,在用户起床前自动调节室内温度和照明亮度。随着虚拟现实和增强现实技术的进步,用户可以通过沉浸式界面查看建筑状态或进行远程控制,进一步提升交互体验。

3.5 网络安全与隐私保护

网络安全与隐私保护是智能建筑技术发展过程中不可忽视的重要问题,随着建筑内设备的互联性增强,网络安全风险也随之增加。智能建筑需要采用多层次的安全防护措施,例如数据加密、身份认证和入侵检测,以确保系统和数据的安全。数据加密技术可以保护建筑内传输的数据不被窃取或篡改,而身份认证技术可以确保只有授权用户才能访问系统。入侵检测系统能够实时监控网络流量,识别潜在的安全威胁并采取相应的防护措施。在隐私保护方面,建筑管理者需要制定严格的数据使用政策,确保用户的个人信息不被滥用。系统可以采用匿名化技术处理用户数据,或在数据采集前获得用户的明确同意。

4 结束语

智能建筑技术凭借其独特的优势,在多个领域展现出广阔的应用前景。随着技术的不断进步,未来的智能建筑将更加注重人性化设计、节能环保以及信息安全。这不仅符合现代社会对于高品质生活的追求,也体现了人类对可持续发展的承诺。通过持续的技术创新和政策引导,智能建筑有望成为推动建筑行业转型升级的关键力量。

参考文献:

- [1] 李锦峰. 智能化技术在建筑工程管理中的应用[J]. 石材, 2023(07):117-119,144.
- [2] 王荣明. 智能建筑技术在现代建筑工程中的应用研究[J]. 智能城市, 2023,09(04):26-28.
- [3] 张庆勇. 智能建筑技术在现代建筑工程中的应用[J]. 江西建材, 2022(02):172-173,176.
- [4] 王荣明. 智能建筑技术在现代建筑工程中的应用研究[J]. 智能城市, 2023,09(04):26-28.
- [5] 张庆勇. 智能建筑技术在现代建筑工程中的应用[J]. 江西建材, 2022(02):172-173,176.
- [6] 郝赫. 现代建筑工程中的智能建筑技术应用研究[J]. 智能建筑与智慧城市, 2021(10):146-147.

基于人工智能的电子信息资源实时共享方法研究

刘意强

(单县公安局, 山东 菏泽 274300)

摘要 本文对基于人工智能的电子信息资源实时共享方法进行研究。首先阐述了电子信息资源在现代社会中的重要地位,接着概述了基于人工智能的电子信息资源实时共享方法的基本概念,分析了该方法的优势与挑战。然后详细阐述了该方法的四大核心技术:智能采集与预处理技术,用于高效、准确地获取和处理电子信息资源;智能分析与推荐技术,实现对信息资源的深度挖掘和个性化推荐;实时共享与协同技术,打破时间和空间限制,促进信息资源的共享和利用;智能合约与去中心化共享技术,确保信息共享过程的安全、透明和高效。本文旨在为提高电子信息资源的共享效率、准确性和用户体验提供参考。

关键词 人工智能; 电子信息资源; 实时共享; 智能采集; 智能分析

中图分类号: TP18

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.16.008

0 引言

在当今信息化高速发展的背景下,电子信息资源已成为推动社会进步、促进经济发展的重要基石。随着信息技术的不断革新,电子信息资源的数量和种类呈现出爆炸式增长,如何高效、准确地获取、处理并利用这些信息资源,已成为摆在人们面前的一大挑战。为了应对这一挑战,基于人工智能的电子信息资源实时共享方法应运而生。这一方法通过融合先进的人工智能技术,对电子信息资源进行智能采集、处理、分析和共享,实现了信息资源的实时获取和高效利用。它不仅能够提高信息采集的效率和准确性,还能够根据用户的需求和兴趣,为用户提供定制化的信息服务,极大地提升了用户的体验和满意度。

1 电子信息资源在现代社会中的重要地位

在信息化时代的大潮中,电子信息资源已然成为社会发展与进步不可或缺的重要基石。它如同一条无形的纽带,贯穿于政府决策、企业运营、学术研究乃至个人生活的方方面面,发挥着举足轻重的作用。电子信息资源以其独特的优势,如海量的存储能力、迅速的传播速度以及便捷的检索方式,极大地提升了信息获取和利用的效率,为人们的工作和生活带来了前所未有的便利。随着大数据、云计算等先进技术的蓬勃兴起,电子信息资源的规模和种类呈现出爆炸式的增长,不仅为各行各业提供了更为丰富和多样的信息来源,也进一步拓宽了信息应用的广度和深度。无论

是商业智能分析、科研数据挖掘,还是个人兴趣探索、知识学习,电子信息资源都扮演着至关重要的角色。然而,电子信息资源的海量性和多样性也伴随着前所未有的挑战。面对如潮水般涌来的信息,如何高效地采集、处理和分析,成为摆在我们面前的一道难题。同时,如何确保这些信息资源能够实时地共享和利用,充分发挥其价值,也是当今社会亟待解决的问题^[1]。正是在这样的背景下,基于人工智能的电子信息资源实时共享方法应运而生。这一方法借助人工智能技术的强大力量,为电子信息资源的有效利用提供了全新的思路 and 手段。通过智能化的采集、处理和分析,它能够快速准确地提取出有价值的信息,满足人们多样化的需求。同时,通过实时的共享机制,它能够打破时间和空间的限制,让信息资源在更广泛的范围内得到利用和传播。可以说,基于人工智能的电子信息资源实时共享方法,为我们应对信息化时代的挑战提供了有力的武器。

2 基于人工智能的电子信息资源实时共享方法概述

2.1 方法的基本概念

基于人工智能的电子信息资源实时共享方法,是一种融合了先进人工智能技术的信息共享新途径。这一方法的核心在于,利用人工智能的智能采集、处理、分析和共享能力,对电子信息资源进行深度挖掘和智能管理。具体来说,该方法通过模拟人类的智能行为,对海量的电子信息资源进行自动化的收集和整理。借

助智能算法,系统能够快速识别、分类和存储各类信息,为后续的处理和分析打下坚实的基础^[2]。同时,该方法还注重信息的智能推荐,通过深度学习用户的行为习惯和兴趣偏好,为用户提供更加个性化、精准的信息服务。最终,基于人工智能的电子信息资源实时共享方法实现了信息资源的实时共享和高效利用。无论用户身处何地,都能随时获取到最新的、有价值的信息资源。

2.2 方法的优势与挑战

基于人工智能的电子信息资源实时共享方法具有诸多优势。首先,该方法能够提高信息采集的效率和准确性,通过智能算法对海量信息进行快速筛选和过滤,获取有价值的信息资源。其次,该方法能够实现信息资源的个性化推荐,根据用户的需求和兴趣,为用户提供定制化的信息服务。此外,该方法还能够促进信息资源的实时共享和协同工作,打破时间和空间的限制,提高信息资源的利用效率和价值。

然而,基于人工智能的电子信息资源实时共享方法也面临着一些挑战。首先,技术难题是该方法实现过程中的一大障碍。如何设计高效的智能算法,如何处理大规模的数据集,如何保障信息的安全性和隐私性,都是需要解决的问题。其次,数据安全和隐私保护也是该方法需要关注的重要方面。在信息共享的过程中,如何确保数据的安全性和隐私性,防止数据泄露和滥用,是亟待解决的问题。

3 基于人工智能的电子信息资源实时共享方法

3.1 智能采集与预处理

在基于人工智能的电子信息资源实时共享方法中,智能采集与预处理构成了一个核心且基础的环节,为后续的智能分析和推荐提供了至关重要的数据支撑。智能采集是运用先进的智能算法,对海量、复杂且多变的信息流进行高效、精确的筛选和提取。在信息时代,数据如潮水般涌来,其中既蕴含着宝贵的知识和情报,也混杂着大量的无关信息和噪声^[3]。智能采集技术如同一位精明的信息筛选器,能够根据预设的规则和算法模型,迅速而准确地从信息海洋中捕捉到那些具有价值的信息资源。通过复杂的算法逻辑和数据处理技术,智能采集能够自动过滤掉冗余、错误或低质量的信息,确保获取到的是经过初步筛选的、高质量的信息集。然而,仅仅完成信息的采集并不够,因为原始信息往往存在格式不统一、数据质量参差不齐等问题,这就需要进行预处理。预处理是对采集到的信息进行清洗、去噪、规范化等一系列操作的过程。清洗操作

旨在去除信息中的错误、重复或无效部分,确保数据的准确性和一致性;去噪操作是通过算法手段消除信息中的干扰因素,提高数据的质量和可信度;规范化操作则是将不同来源、不同格式的信息统一转换成标准的格式,以便于后续的数据分析和处理。经过智能采集与预处理的信息,数据质量得到了显著提升,数据的可用性和可分析性也大大增强。这些信息已经经过了初步的筛选和处理,更加符合分析需求和预期。它们为后续的智能分析提供了丰富、准确、可靠的数据源,为挖掘信息的深层价值、创造新的知识提供了有力的支持。因此,智能采集与预处理在基于人工智能的电子信息资源实时共享方法中扮演着至关重要的角色,它是有效利用信息资源、创造价值的基础和前提。

3.2 智能分析与推荐

智能分析与推荐在基于人工智能的电子信息资源实时共享方法中占据着核心地位。这一环节充分利用了人工智能和大数据技术的强大能力,对电子信息资源进行深度、全面且细致的分析、分类和挖掘。通过运用先进的算法模型,智能分析技术能够对海量的信息数据进行高效的处理,从中提取出有价值的信息和知识。这些信息可能隐藏在数据的深处,通过传统的手段难以发现,但智能分析技术却能够凭借其强大的计算能力和智能算法,迅速捕捉到这些宝贵的信息资源。同时,智能分析还能够对信息进行分类和整理,使得原本杂乱无章的信息变得有序可循,为后续的信息利用提供了极大的便利。除了对信息进行深度分析外,智能推荐也是这一环节的重要组成部分。智能推荐系统通过深度解析用户行为轨迹与潜在需求特征,依托多维度数据构建精准的用户兴趣模型。该技术综合运用用户历史交互记录、个性化偏好标签及社会网络关联信息,形成动态更新的用户画像,并基于机器学习算法实现需求预测与匹配优化。通过持续挖掘用户行为模式中的隐含特征,推荐引擎能够自适应调整信息筛选策略,在提升信息触达效率的同时,有效增强用户决策满意度和系统使用黏性。这种数据驱动的个性化服务机制不仅重构了传统信息分发逻辑,更通过智能化匹配推动了用户体验的迭代升级^[4]。该服务范式通过算法模型对用户兴趣图谱的持续学习,显著降低了信息获取的认知负荷。用户无需投入大量时间进行主动检索与筛选,即可在智能引擎的推动下获得高度匹配的知识内容。这种技术架构在 AI 驱动的电子资源流通体系中展现出核心优势:一方面,通过需求预测与行为模式分析实现信息供给的精准化;另一方面,构建起用户画像与知识图谱的动态映射关系,推

动信息要素的优化配置。其深层价值不仅体现在检索效率的指数级提升,更在于促成知识资产的高效流通与个性化服务架构的升级,为数字时代的信息交互模式带来革命性转变。

3.3 实时共享与协同

实时共享与协同是基于人工智能的电子信息资源实时共享方法的一个显著且重要的特征。这一特征的实现,得益于云计算、物联网等先进技术的有力支撑。通过这些技术,电子信息资源得以实现实时的共享和访问,使得用户能够不受时间和地点的限制,随时随地通过网络获取到所需的电子信息资源。在实时共享方面,云计算技术发挥了关键作用。云计算提供了强大的数据存储和处理能力,使得电子信息资源可以被集中存储和管理,并通过网络实现即时访问。用户无需再担心数据存储的局限性和访问的延迟性,因为云计算技术能够确保信息的实时更新和快速传输。无论是在家中、办公室还是外出途中,用户都能轻松获取到最新的电子信息资源,满足其多样化的信息需求。同时,物联网技术也为实时共享提供了有力支持。物联网构建智能感知网络,实现物理实体与数字空间的虚实交融。这使得电子信息资源可以更加便捷地被获取和利用,用户可以通过智能设备实时访问到所需的信息,进一步提高了信息的获取效率和便捷性。除了实时共享外,协同工作也是这一特征的重要组成部分。利用人工智能技术,可以实现多个用户之间的协同工作,共同处理和利用电子信息资源。例如:在文献数据库中,用户可以添加标注、发表评论和进行分享,这些操作都能够被实时记录和更新,使得其他用户能够即时看到并参与到讨论中来。这种协同工作方式不仅提高了知识的共享和利用效率,还促进了用户之间的交流和合作,为电子信息资源的深入利用和创新提供了更多可能性。总之,实时共享与协同是基于人工智能的电子信息资源实时共享方法的重要特征,它使得电子信息资源能够更加便捷、高效地被获取和利用,同时促进了用户之间的协同工作和知识共享。

3.4 智能合约与去中心化共享

智能合约与去中心化共享是基于人工智能的电子信息资源实时共享方法中的一项创新举措,它为信息共享领域带来了全新的思路和手段。智能合约作为自动化执行的协议,其核心在于能够按照预设的条件和规则,自动完成信息共享过程中的各项任务,从而确保整个共享过程的安全、透明和高效^[5]。在传统的信息共享模式中,往往需要依赖中介机构或第三方平台

来协调和管理信息资源的共享。然而,这种模式不仅增加了信息共享的成本和复杂性,还可能存在信息泄露、数据篡改等安全风险。而智能合约的引入,则有效地解决了这些问题。它能够将共享协议以代码的形式固化下来,一旦满足特定的条件,合约就会自动执行,无需人工干预。这种自动化执行的方式,不仅提高了信息共享的效率,还大大降低了人为操作带来的风险。与此同时,去中心化的信息共享模式也是这一创新举措的重要组成部分。通过利用区块链等先进技术,可以实现信息资源的去中心化存储和共享。在这种模式下,信息不再集中存储在某一个或某几个中心节点上,而是分布在网络中的多个节点上。每个节点都有完整的数据副本,并且可以通过共识机制来确保数据的一致性和完整性。这种去中心化的方式,不仅去除了中介环节,降低了信息共享的成本,还提高了信息共享的透明度和安全性。智能合约与去中心化共享的结合,为电子信息资源的共享提供了新的可能性和机遇。它使得信息共享过程更加安全、透明和高效,同时也为信息共享技术的发展和應用开辟了新的道路。未来,随着技术的不断进步和完善,智能合约与去中心化共享有望在更多领域得到应用和推广,为社会的信息化发展和进步做出更大的贡献。

4 结束语

基于人工智能的电子信息资源实时共享方法是提高信息共享效率、准确性和用户体验的有效途径。该方法通过智能采集与预处理、智能分析与推荐、实时共享与协同、智能合约与去中心化共享等核心技术,实现了电子信息资源的高效利用和价值提升。然而,该方法也面临着技术难题、数据安全和隐私保护等挑战。未来,需要进一步加强技术研发和创新,完善数据安全保护机制,推动基于人工智能的电子信息资源实时共享方法的广泛应用和发展。

参考文献:

- [1] 孔垂猛,万春华.基于人工智能的电子信息资源实时共享方法[J].数字通信世界,2024(07):64-66.
- [2] 张鑫.电子信息与人工智能技术的融合应用[J].电子技术,2023(09):264-265.
- [3] 朱虹锦,杜攀.人工智能技术在电子制造业信息化能力提升中的应用[J].互联网周刊,2022(16):65-67.
- [4] 吴新杰,张拥军,陈晨.电子信息技术与人工智能的应用[J].电子技术,2023(05):100-101.
- [5] 卜丹丹.电子信息技术在人工智能领域的应用探讨[J].移动信息,2023,45(05):184-185.

建筑工程施工技术创新与智能化发展趋势探讨

任双杰¹，李明川²，高征绪³

(1. 泾清项目管理有限公司黄岛分公司，山东 青岛 266431;

2. 青岛海云创智商业发展有限公司，山东 青岛 266000;

3. 青岛昊鑫工程管理有限公司，山东 青岛 266400)

摘要 随着建筑工程领域发展速度不断加快，施工技术创新以及智能化转型已成为行业关注的重点，传统施工技术在应对多样化建造需求之际面临着诸多方面的挑战，然而现有创新成果和智能化技术的应用却给行业带来了新的发展机会。本文对建筑工程施工技术创新与智能化发展的现状展开剖析，探寻创新要点以及未来趋势，以期行业的高质量发展提供理论支撑及实践指导。

关键词 建筑工程施工技术；智能化；创新发展

中图分类号：TU74

文献标志码：A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.16.009

0 引言

本文围绕工程施工技术创新以及智能化发展展开探讨，涉及当下的状况、要点以及未来的趋势走向，剖析了传统施工技术存在的局限性，同时介绍了现有的创新施工技术成果以及智能化发展的实际情形，并针对材料、工艺以及管理这三个维度阐述了创新要点，提出了智能施工现场管理、智能化建筑产品与设施以及人工智能辅助设计与施工等智能化发展的方向，还就技术融合以及管理模式变革等方面探讨了施工技术创新与融合的路径。

1 建筑工程施工技术创新与智能化发展现状分析

1.1 传统施工技术的局限性

当前建筑工程领域，传统施工工艺在应对多样化建造需求时正面临前所未有的应用瓶颈。从施工效率分析，以人海战术为特征的现场作业体系存在较大短板，在极端气候频发的现实背景下，工人出勤率波动常导致关键节点工期失控。以砖砌体施工为例，人工操作的速率异常造成单日完成量不足机械化施工的40%，且垂直度偏差普遍超出规范允许值^[1]。在材料管控方面，经验主导的粗放管理模式导致资源浪费居高不下，混凝土现浇工程中材料损耗率常超过设计用量，当面对异型曲面或装配式构件安装时，传统工艺在三维空间坐标控制方面暴露出技术代差，与现代建筑工业化生产的毫米级精度标准形成明显落差，这种技术鸿沟直接造成竣工验收阶段的整改成本激增，加之工序衔接存在盲区，往往衍生出多重质量隐患。

1.2 现有创新施工技术成果

近年来，建筑行业技术革新呈现多点突破态势，多项创新工艺在实际工程中取得较大成效。以装配式建造为例，其核心工艺借助构件工厂化预制与现场模块化拼装，成功实现施工周期压缩，如万科集团在北京的住宅项目中采用该技术体系，较现浇结构节省工期达30%以上。在异形结构建造领域，3D打印技术呈现出独特优势，上海临港新城某景观工程借助该技术实现复杂异形构件的精准成型，突破传统模板限制，综合成本降低。BIM技术的深度应用正在重构工程管理模式，借助全专业数字化协同平台，项目各阶段实现动态模拟与碰撞检测，有效规避了传统施工中的设计冲突问题^[2]。

1.3 智能化发展现状

建筑工程领域正加速推进智能化技术深度整合，在施工装备升级方面，集成传感装置与自动化控制模块的智能塔吊已实现物料精准定位与自动化吊装，提升高危作业的安全系数与工效。在项目现场管理层面，结合计算机视觉算法的高清摄像装置构成的全域监控网络，可动态追踪人员防护装备佩戴状态、结构构件安装精度及混凝土浇筑质量等关键指标。此外，基于多维数据建模与机器学习技术的智能决策系统持续迭代，可实现资源调度策略的智能优化与潜在工程风险的预判分析。异构系统间的数据互通障碍以及初期部署的软硬件投入成本较高，仍导致中小型建筑企业在技术升级进程中面临阶段性滞缓。

2 建筑工程施工技术创新要点

2.1 材料创新

在建筑工程实践中,材料研发创新始终是推动施工技术迭代的关键突破口。当前市场涌现出众多有突破性特质的建筑新材料,其核心研发方向主要围绕材料力学性能优化、结构轻量化与环境友好性三大维度展开。以超高强混凝土为例,其抗压强度较常规产品提升达200%以上,能支撑异形曲面建筑的结构稳定性,还可缩减承重构件截面尺寸,实现建筑自重降低15%~20%,减少地基处理工程量并节约工程造价^[3]。在轻量化材料领域,碳纤维复合板等新型建材的应用使建筑整体荷载分布更为合理,同步提升建筑物抗震设防水平至8.5级标准,生态环保型材料的发展非常引人注目,例如利用建筑垃圾再生骨料制作的生态透水砖,配合无醛环保胶黏剂等创新产品,可将建筑施工阶段的碳排放强度降低,这为建筑全生命周期碳中和目标的实现提供了关键技术支撑。

2.2 工艺创新

工艺创新作为工程建设的关键驱动力,提升了项目实施的效率与品质水准。以当前广泛应用的建筑工业化生产技术为例,其核心的预制装配工艺已形成规模化推广态势,在受控的工厂环境中,模块化生产的混凝土墙板、叠合楼板等构件,其尺寸误差控制在毫米级,质量合格率较传统现浇工艺不断提升。这些标准化部件经物流系统配送至工地后,借助智能吊装机械进行精准拼装,施工周期较传统方式不断压缩^[4]。智能建造工艺正实现跨越式发展,3D打印技术在浦东新区某保障房项目中取得突破性进展,该技术依托三维建模数据直接成型建筑构件,无需人工干预即可完成异形结构的成型,使传统施工中模板支设与拆除的工时消耗降低。新型焊接材料如钛合金焊丝在超高层钢结构连接中的创新应用,配合自动化焊接机器人作业,使关键节点的焊缝探伤合格率达到99.8%,单日焊接效率提升,为建筑结构的全寿命周期安全提供坚实的保障。

2.3 管理创新

建筑工程领域的管理革新是保证工程高效实施的核心要素。在项目管控层面,基于建筑信息模型(BIM)的数字化解决方案为管理升级提供了技术支撑,借助构建三维可视化模型系统,有机整合工程设计、施工建造及运维阶段的全流程数据,管理人员可动态追踪工程进度、成本消耗与质量指标,形成全维度透明化监管。BIM系统的空间冲突检测功能可在施工前精准定位设计疏漏,有效规避因图纸问题导致的重复作业,借助云

端协同平台构建的实时交互网络,项目各关联方得以突破时空限制实现信息互通,设计单位与施工团队依靠即时数据共享较大地提升了协作效能^[5]。在人力配置维度,智能考勤与绩效评估系统的引入使施工队伍管理更具科学性,基于人员技能图谱的岗位适配机制有效提升了作业团队的专业素养。工程风险防控体系的创新建设非常关键,结合大数据分析和风险预测算法建立的预警机制,可提前预判并化解施工过程中潜在的各类隐患,为项目全周期稳定推进构筑安全屏障。

3 建筑工程智能化发展方向

3.1 智能施工现场管理

未来建筑工程领域将迎来智能化施工管理的深度变革,依托物联网构建的数字化协同网络将全面覆盖工地设备、建材及作业人员,凭借在重型机械中嵌入多源传感装置,可动态捕获塔吊起重吨位与位移轨迹、搅拌机运行周期及运输路径等关键参数,由此建立的设备全生命周期管理系统能优化机械调度策略,还可以预判潜在故障风险。视觉分析系统结合高清摄像与深度学习算法,可对施工人员的安全装备穿戴情况、高危区域越界行为进行毫秒级识别预警,提升安全监管效能。集成BIM模型与实时数据的智能管控平台,借助可视化驾驶舱将进度节点、质量验收、隐患整改等核心要素动态关联,项目管理者依靠移动终端即可全面掌握施工动态,实现从被动响应到主动干预的管理模式升级^[6]。

3.2 智能化建筑产品与设施

现代建筑工程正加速整合智能化设施与产品,其中有环境感知能力的智能门窗可根据室内外温差及光照强度自主调节开合角度,在实现自然通风与遮阳平衡的同时降低建筑整体能耗,依托环境传感器与人体感应装置的照明系统,可依据空间使用状态动态调整光源参数,在契合个性化光照需求的基础上实现能效优化。采用智能派梯算法的电梯系统依靠机器学习模型分析楼宇实时运载数据,对多台电梯进行协同调度,缩短候梯时长,实现电能消耗的精细化管理,其搭载的远程诊断平台可实时追踪运行参数并预判潜在故障。集成化智能家居系统已成为现代住宅标准配置,用户依靠移动终端应用程序即可实现家电设备、环境调节系统及安防装置的远程交互控制,自适应学习算法使系统可根据居住者习惯主动优化场景模式,真正实现空间功能与用户体验的有机统一^[7]。

3.3 人工智能辅助设计与施工

建筑工程领域正逐步将智能化技术深度融入全生

命周期管理流程。在设计环节,基于机器学习的智能系统可结合项目参数、地理信息及规范标准,在参数化设计平台中自动生成多版概念方案并借助数字孪生技术实现多维度效能验证。在建造实施层面,智能算法借助解析 BIM 模型与工程物联网数据,构建动态施工进度推演模型,该系统能预判工期偏差风险,还可以联动供应链实现建材采购周期动态调整与班组人员智能调度。集成计算机视觉的建造机器人已能借助激光点云扫描精准定位作业面,在钢结构构件加工、异形模板安装等工艺中实现毫米级操作精度,这种“数字孪生+智能装备”的创新模式正在重塑传统建造业的作业范式。

4 建筑工程施工技术创新与智能化融合路径

4.1 技术融合要点

建筑工程领域的智能化转型正呈现多维技术融合的创新图景,数据协同机制构建是首要突破点,智能系统与施工技术形成双向数据流交互。以预制构件施工为例,物联网技术架起生产端、运输端与安装端的数字桥梁,实现全周期数据在管理平台的实时汇聚与智能解析,这种动态反馈机制有效破解了传统施工的信息孤岛,使作业流程形成闭环优化。更具突破性的是感知技术与建筑材料的跨界融合,自诊断混凝土等智能建材的诞生,实质是将感知神经植入建材本体,借助嵌入式传感网络捕捉结构力学参数的细微变化。当监测数据突破临界阈值时,智能中枢系统能即时预警,生成多维度加固方案供决策参考。在工艺革新维度,3D 打印建筑技术的突破性进展体现在智能控制系统的进化,依靠融合机器视觉与深度学习算法,打印设备可动态调控轨迹精度与材料流量,这种类生物神经的调控机制使异形建筑的肌理构造成为可能^[8]。BIM 技术已演变为工程数字孪生的核心载体,其三维信息模型如同虚实映射的沙盘,集成全生命周期数据,更借助智能装备的物联接入实现施工要素的精准协同,以智能塔吊为例,其运行轨迹在 BIM 空间预先完成数字推演,规避物理碰撞风险,实现吊装效率的几何级提升。

4.2 管理模式变革

技术创新与数字化手段的深度结合正重塑建筑工程的治理逻辑。在组织结构层面,金字塔式管理架构加速向矩阵型协作网络转型,数字化协同平台的应用有效压缩了信息传递链条,项目负责人借助即时交互系统可同步对接施工班组与材料供应商,实现管理指令的精准直达。以项目管理 APP 为例,其构建了问题反馈的实时通道,形成了“现场问题—云端决策—移

动端执行”的闭环管理机制。在进度管控领域,传统滞后性的人工巡检被多维感知系统取代,基于机器学习算法的进度推演模型可整合设备运行参数与工艺创新数据,实现施工节奏的智能预判。某地铁项目引入盾构掘进工艺时,智能中枢系统凭借解析刀盘扭矩、土仓压力等 12 类实时参数,动态优化施工方案并调配资源,成功规避部分进度偏差风险。质量监督体系则实现了从离散抽检到全要素监控的质变,基于分布式传感网络的智能验收系统可捕捉施工全周期的质量轨迹,某超高层钢结构工程部署的焊接质量监测矩阵,运用热成像与声发射技术对 2.8 万条焊缝进行毫秒级检测,将质量缺陷的响应时效缩短至传统方式的 1/15。智能风险管控模型凭借量化评估技术创新实施中的多项风险因子,构建了囊括预防、缓冲、对冲的立体化风控体系,为工程全生命周期提供了韧性保障^[9]。

5 结束语

在工程领域中,施工技术创新以及智能化发展已成为推动整个行业实现转型升级的关键力量。通过材料、工艺以及管理等多个方面的创新,行业取得了一定的成效,随着智能化技术在工程中的深入整合运用,工程领域将会迎来更为广阔的发展前景,技术融合以及管理模式变革是达成施工技术创新与智能化深度融合的关键途径,可为行业的可持续发展增添新的活力。

参考文献:

- [1] 何文洪. 科技创新下的建筑绿色低碳施工技术研究[J]. 新基建科技, 2024, 33(12): 67-69.
- [2] 黄兴方. 框架结构施工技术在建筑工程中的应用[J]. 工程与建设, 2024, 38(06): 1361-1362, 1464.
- [3] 毕利春. 质量标准化在建筑工程施工技术创新中的应用[J]. 中国品牌与防伪, 2024(08): 94-95.
- [4] 于祥, 马铭. 建筑工程施工技术应用与创新[J]. 科技资讯, 2024, 22(15): 126-128.
- [5] 叶剑波. 房屋建筑工程中混凝土木胶合板模板施工技术的创新[J]. 全面腐蚀控制, 2024, 38(06): 66-68.
- [6] 郑信要, 常江, 孟庆竹, 等. 建筑工程施工技术中的安全管理创新技术研究[J]. 工程与建设, 2024, 38(03): 717-718, 726.
- [7] 周忠海. 建筑工程技术在绿色建筑施工中的应用与发展[J]. 安家, 2022(07): 133-135.
- [8] 范迪祿. 智能化背景下土木工程技术的应用创新[J]. 智能建筑与智慧城市, 2020(07): 93-95.
- [9] 周嘉星. 建筑工程技术的特点与发展趋势探讨[J]. 市场周刊: 商务营销, 2019(69): 1.

无人机遥感技术在水文水资源监测中的应用探析

李晶莹, 岳云奎

(黄河水利委员会山东水文水资源局, 山东 济南 250000)

摘要 本研究探讨了无人机遥感技术在水文水资源监测中的应用, 分析了传统监测方法的局限性, 并阐述了无人机遥感的技术优势, 重点介绍了无人机平台、传感器、多源数据采集及影像处理等核心技术, 进一步探讨了无人机在流域水体变化、洪水预警、水污染监测及降水蒸发监测中的应用, 并围绕数据采集精度、AI自动化处理及多源数据融合提出了优化策略, 以期提升无人机遥感技术在水文监测中的应用价值提供借鉴, 进而推动水资源管理的智能化与精准化发展。

关键词 无人机遥感; 水文监测; 数据采集; 影像处理

中图分类号: V19; P332

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.16.010

0 引言

水文水资源监测对防灾减灾与水资源管理至关重要, 传统监测方法受限于空间覆盖、数据精度和实时性。无人机遥感技术凭借高分辨率、灵活性等优势, 在水体变化、洪水预警、水质监测等方面展现潜力。随着传感器与数据处理技术的发展, 无人机水文监测面临数据精度、自动化分析及多源数据融合等挑战。本研究系统分析其应用现状、关键技术及优化策略, 旨在为无人机遥感在水文监测中的进一步发展提供参考。

1 无人机遥感技术在水文水资源监测中的应用背景与现状

水文水资源监测对防灾减灾和生态保护至关重要。《全国水资源监测体系建设总体工作方案(2024—2027年)》提出要加强现代监测手段, 推动无人机遥感技术的应用。传统水文监测依赖地面测站、人工测量和卫星遥感, 受空间覆盖、实时性及环境适应性限制, 难以满足高精度动态监测需求。无人机遥感凭借机动性和高分辨率优势, 在流域水体变化、洪水预警、水污染监测等方面展现出巨大潜力。现代无人机搭载多光谱、热红外及LiDAR传感器, 实现高精度水文监测, 并结合人工智能与云计算提升数据分析能力, 为水资源管理提供精准支持。同时, 无人机能够快速获取极端天气下的水文信息, 为洪水应急响应、地下水资源评估及生态修复提供更可靠的数据支撑, 使水文监测更加智能化、精细化^[1]。

2 无人机遥感水文监测的核心技术

2.1 无人机平台与自主飞行控制技术

2.1.1 无人机类型与适用场景

不同类型的无人机在水文监测中承担不同任务, 其性能参数影响作业效率与数据精度。多旋翼无人机具备垂直起降(VTOL)和悬停稳定性, 适用于局部水域监测、河道巡查及污染溯源, 特别是在空间受限或复杂地形环境下优势明显。固定翼无人机凭借较高升阻比、长航时与大航程, 可覆盖大尺度流域, 如湖泊、水库及流域径流监测, 获取高时效性数据。复合翼无人机结合固定翼和多旋翼特性, 采用混合动力推进系统和可变几何翼面设计, 兼顾续航能力和机动性, 适用于大范围流域测绘及复杂地形监测。水文监测任务应依据测区面积、航时、数据精度及环境适应性选择合适的无人机平台, 确保监测任务稳定执行, 提高数据采集效率。

2.1.2 无人机自主飞行与路径规划

无人机自主飞行与路径规划能力决定了水文监测的精度与效率, 当前系统结合GNSS、INS、VIO等多传感器融合, 实现精准飞行控制。基于航线优化技术, 可根据地形、水文分布和环境条件生成最优轨迹, 确保数据覆盖完整。无人机依托光学流SLAM、激光雷达SLAM提高导航稳定性, 并结合RTK-GPS提升定位精度至厘米级, 避障系统采用深度学习目标检测算法, 结合激光点云建模, 提高低空飞行安全性, 减少障碍物

干扰^[2]。自主返航控制基于通信检测与电池管理算法，在紧急情况下规避风险，确保数据采集连续性。多架无人机可采用编队飞行模式，通过智能控制算法与分布式导航，提高作业覆盖范围，优化数据采集效率，并在流域监测中形成稳定的数据链路，为水资源管理提供更精准的技术支撑。

2.2 机载遥感传感器技术及多源数据采集

2.2.1 多光谱与高光谱传感器

多光谱与高光谱传感器在水文监测中用于识别水体特征、评估水质状况和分析悬浮物浓度。多光谱传感器主要覆盖可见光和近红外波段，能够有效反映水体污染、藻类分布及水面植被变化，通常配备 4~12 个光谱通道，波段间隔在 10~30 nm 范围内。高光谱传感器提供更高的光谱分辨率，具备上百个窄带波段，可以精准分析水中溶解物、有机污染物及水生植物的光谱特征，波段间隔可低至 1~10 nm。为了提高数据精度，遥感影像在采集过程中需要进行辐射校正和噪声抑制，确保光谱信息的稳定性和一致性。

2.2.2 LiDAR 与热红外技术

LiDAR 技术通过激光测距测绘水体地形，可用于测量河床形态、水体深度和水面高程。水文监测中常用绿光激光（532 nm）穿透水面，测量水深时精度可达到 ±5 cm，并可生成高分辨率的数字地形模型。点云数据经过处理后，可用于流速计算和水流动力分析。热红外传感器则通过检测水体温度变化来监测热污染、地下水补给及水体蒸发，适用波段范围在 8~14 μm，温度测量精度可达 ±0.05 °C。结合高分辨率可见光影像，能够更全面地分析水文动态变化，提升遥感监测的综合能力。

2.3 遥感影像处理与水文特征信息提取

2.3.1 影像预处理与校正

遥感影像在用于水文监测前需经过辐射、几何和大气校正，以消除成像过程中因光照、地形和大气干扰造成的误差^[3]。辐射校正主要用于修正传感器探测到的光谱数据，使其与真实地面反射率一致，几何校正则通过地理配准调整影像坐标，使其与地形数据匹配，误差通常控制在 0.5 个像素以内。大气校正则能减少云层、水汽和气溶胶对光谱数据的影响，提高水体反射率计算的精确性。影像拼接过程中采用无缝镶嵌技术，可确保不同航次的影像间光谱和亮度一致，为后续的水文信息提取提供准确的数据基础。

2.3.2 深度学习在水体识别中的应用

深度学习技术在遥感影像分析中的应用提高了水

体识别的自动化程度和精度。卷积神经网络（CNN）被用于水体边界检测和分类，结合多尺度特征提取方法，可以准确识别河流、湖泊及湿地的形态特征。U-Net 等影像分割模型在水体分类中的识别精度可达 98%，能够有效分离水体与陆地边界。结合时序数据分析，深度学习还可用于水体面积变化监测，并辅助检测水质参数，如叶绿素浓度、悬浮物浓度等。优化后的算法支持并行计算，提高了水文遥感数据处理的时效性，使无人机获取的数据能够快速转换为有价值的水文信息。

3 无人机遥感技术在水文监测中的应用方向

3.1 流域水体变化监测

水体变化受降水、蒸发、人类活动等因素影响，传统监测手段依赖定点测量，难以实现高时空分辨率的数据获取。无人机遥感技术通过高分辨率影像与多光谱数据对水域边界进行自动提取，并结合 GIS 分析流域水体面积变化，基于 DEM 计算水量波动，构建动态水系分布模型。在实际应用中，无人机可定期对河流、水库、湖泊及湿地进行巡测，监测岸线侵蚀、水库库容变化以及水体扩张或萎缩情况。通过搭载水位传感器和 LiDAR，无人机能够对流域水面高程进行精准测定，并结合历史数据分析季节性水位变化。在城市水系治理中，无人机遥感可监测河道疏浚、人工湿地建设及水资源开发情况，优化水体连通性，为流域生态保护和资源管理提供精准技术支持。

3.2 洪水监测与预警

洪水灾害具有突发性，传统水文站点监测覆盖有限，难以及时获取洪水扩散情况。无人机遥感技术结合 LiDAR、热红外及多光谱影像，可在洪水发生前后快速获取地形变化和水面动态数据，利用高精度地形模型模拟洪水淹没范围，并结合降雨量数据分析潜在的受灾区域。在实际应用中，无人机可在强降雨或暴雨期间定期巡测重点河流、水库及低洼地带，实时监测水面扩张速度，并通过影像对比评估堤坝稳定性。多架无人机协同作业可覆盖更大范围，结合自动起降系统，无人机可在灾害发生后迅速执行应急侦察，提供实时影像数据，为防汛指挥中心提供洪水蔓延路径、水位上升趋势以及可能的溃堤风险评估，提高应急响应效率，减少灾害损失^[4]。

3.3 水污染识别与评估

水污染影响水生态安全，传统监测依赖人工采样，难以掌握污染物空间分布及变化趋势。无人机遥感技术通过高光谱、热红外及多光谱成像，可快速识别污染源、追踪污染扩散并量化污染浓度。在理论应用中，

多光谱数据可计算NDWI、TSS等水色指数,评估叶绿素、悬浮颗粒物和有机污染物含量。无人机搭载热红外传感器可探测异常水温,定位工业排污口,分析热污染范围。在实际应用中,无人机可监测工业废水排放、农业径流及湖泊污染,并结合时序影像分析污染源扩散趋势。影像数据结合地面水质监测设备,可形成污染动态监测系统,提高污染事故响应速度,并为河道治理、水生态修复及污染源控制提供科学依据。

3.4 降水与蒸散发监测

降水和蒸散发影响水资源平衡及农业灌溉,传统气象站监测覆盖有限,难以提供精细化数据。无人机遥感技术搭载微波辐射计、热红外及多光谱传感器,结合气象数据分析水汽含量与地表温度,计算蒸散发速率。在理论应用中,遥感影像结合能量平衡模型估算不同地表类型的蒸散发量,并分析降水对水资源的影响。在实际应用中,无人机可监测农田、湿地、森林的蒸散发,优化灌溉调度,提高水资源利用效率。在干旱监测中,无人机可定期测量土壤湿度,结合历史数据预测干旱趋势,为抗旱调度提供支持。在城市水资源管理中,无人机遥感监测不同地表蒸散发速率,为海绵城市建设、雨洪调蓄优化及绿化规划提供数据支撑。

4 无人机遥感水文监测技术的优化策略

4.1 提高数据采集精度

水文监测对数据精度要求较高,无人机遥感受天气、飞行稳定性、传感器性能等因素影响,导致数据误差较大。提升数据采集精度,需要优化传感器配置,提高影像分辨率,使水域边界、污染物扩散及水位变化等信息更清晰。飞行高度和角度的合理规划可减少影像畸变,在开阔水域,低空飞行提高分辨率,在地形复杂区域,调整航线避免影像遮挡。采用高精度定位系统,使无人机在飞行过程中保持稳定轨迹,减少姿态变化对影像采集的干扰。针对水面反射干扰,可调整拍摄角度或增加偏振滤镜,提高成像质量。在长时间监测任务中,无人机可定期重复相同航线采集数据,并结合地面监测站数据进行比对修正,提高监测数据的可靠性和一致性。

4.2 AI与自动化处理优化

无人机采集的水文遥感数据量大,人工处理成本高,效率低下,引入智能算法可加快数据处理,提高分析精度^[5]。基于影像自动识别技术,可快速提取水域面积、岸线变化及污染区域,减少人工干预,提高数据处理速度。针对水污染监测,可建立污染物光谱

特征库,使无人机影像自动匹配污染物类型,实现污染物快速分类和浓度评估。优化影像拼接、几何校正等处理流程,减少影像重叠误差,提高数据一致性。自动化处理系统可与实时数据回传技术结合,实现现场数据的初步分析,无需等待任务结束即可获得监测结果。在水资源管理中,自动分析系统可建立水文变化趋势模型,通过长时间数据积累,提高预测能力,使监测工作更具前瞻性。

4.3 多源数据融合与共享

单一数据源难以全面反映水文动态,无人机遥感需与地面测站、历史监测数据、卫星影像等结合,提高数据完整性。在融合过程中,可利用多时相影像分析水域变化趋势,并结合地面水位测量进行数据交叉验证,提高数据准确性。不同数据源间的信息共享需要建立标准化数据格式,避免数据不兼容影响分析结果。在水资源管理中,构建统一的水文数据库,将无人机遥感数据与水利部门监测数据整合,实现动态管理。共享机制的建立可推动多部门协作,提高水资源调度的精准度,使水文监测不局限于单一机构,而是形成更广泛的协同体系,为防洪、污染治理和水资源规划提供高效支持。

5 结束语

无人机遥感技术提升了水文监测的效率与精度,在水资源管理、洪水预警等方面发挥重要作用。未来,随着传感器技术和数据处理能力的提升,无人机遥感技术将在更复杂环境中实现更高精度、更广覆盖的实时监测。智能化和自动化技术的发展将提高数据分析效率,增强水资源管理的科学性。多源数据融合与信息共享的完善,将推动无人机遥感技术广泛应用于水文安全、生态保护和资源调配。低空飞行和远程控制技术的突破,使其在水文监测和防灾减灾体系中发挥更大作用,为水资源管理提供精准支持。

参考文献:

- [1] 梁旭. 无人机遥感测绘技术在工程测绘中的应用研究[J]. 工程技术研究, 2022, 07(20): 14-16.
- [2] 王松吉, 宋君, 陈沫. 无人机低空遥感技术在水文监测中的应用[J]. 珠江水运, 2023(17): 84-86.
- [3] 梁久龙, 李莉, 李润武. GPS技术在水文水资源监测中的应用研究[J]. 地下水, 2023, 45(05): 259-260.
- [4] 孙光宝, 李家明. 无人机低空遥感技术在应急水文监测中的应用研究[J]. 水上安全, 2024(18): 14-16.
- [5] 张宇博, 张强, 高宇, 等. 无人机在水文监测和信息化管理中的应用[J]. 东北水利水电, 2024, 42(08): 67-70.

基于 BIM 技术的建筑设计与工程测量数据集成方法

戴智勇¹, 鲁健², 张俊元³, 衣贵彦⁴, 王端涛⁴

(1. 青岛双益信息科技有限公司, 山东 青岛 266000;

2. 青岛嘉实装饰工程有限公司, 山东 青岛 266000;

3. 青岛青桥建筑设计有限公司, 山东 青岛 266000;

4. 青岛众科兴工程咨询服务有限公司, 山东 青岛 266000)

摘要 BIM (Building Information Modeling, 建筑信息模型) 技术的应用推动了建筑设计与工程测量的数据整合, 但两者在数据格式、结构及应用目标上的差异, 使得高效融合仍面临诸多挑战。本文探讨了基于 BIM 技术下的建筑设计与测量数据集成方法, 提出了标准化数据转换机制, 旨在实现异构数据的精准匹配; 构建双向映射与误差优化策略, 提升测量数据与设计模型的适配度; 结合物联网与数字孪生技术, 搭建动态更新体系, 使 BIM 技术在施工及运维阶段具备持续优化能力。通过建立智慧运维系统, 构建建筑全生命周期数据闭环, 以为行业数字化管理提供理论支撑与实践路径。

关键词 BIM 技术; 建筑设计; 工程测量; 数据集成

中图分类号: TU17; TU712

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.16.011

0 引言

随着社会科学和信息技术的不断创新, 建筑工程技术也越来越成熟。从传统的手绘到信息图形, 逐步发展成为目前的 BIM 技术。这意味着我国的建筑设计技术已经到达了一个新的起点, 将进入一个新的阶段。BIM 技术利用数字技术直观地展示建筑的三维模型, 协调建设项目中的多个环节, 形成数据集成和共享, 保证建筑的质量和准确性, 促进整个建筑行业的发展。

1 BIM 技术在建筑设计与工程测量中的作用

1.1 BIM 技术在建筑设计中的数据管理

建筑设计过程是以信息为核心驱动力的连续交互过程, 这一过程中, 设计方案逐渐清晰, 设计成果也由初期模糊的构想演变为具体的图纸和模型。传统设计流程中信息的传递大多依赖二维图纸, 容易因数据表达的单一性而造成信息传达失真、交流阻碍甚至设计错误。BIM 技术的引入有效转变了这一局面, 赋予建筑设计过程更高的数据精细度与更为直观的表达形式, 将设计信息从二维图纸扩展为三维模型, 进而融入施工工艺、进度控制与成本分析等多维信息, 以此推动不同设计参与方基于统一的数字平台展开协同设计, 强化设计环节的数据交互效果。在设计过程中, 通过 IFC 等标准规范的采用, 建筑模型与数据内容得以统一

化, 解决过去因数据格式差异所引发的信息隔阂, 减少设计中人为因素造成的数据不准确或模型重复建构问题, 使得设计师们得以集中精力于创意设计本身, 促进方案质量提升与效率的显著改善^[1]。

1.2 BIM 技术在工程测量数据处理中的价值体现

工程测量所产生的庞杂数据, 来源通常较为广泛, 包括全站仪测量数据、GNSS 全球导航卫星系统数据、无人机航测数据及激光扫描获取的点云数据等, 各类数据的复杂性与多源异构性, 常常给后续的数据融合处理带来诸多困难。传统的测量数据处理模式往往局限于单纯的数据采集与初步加工阶段, 忽视了数据在施工现场中实时反馈与即时调整的实际需求, 难以实现测量数据的施工价值最大化。

BIM 技术的应用为工程测量数据的深层次处理开辟了全新视野, 依托高效的数据处理手段, 将各种异构数据转化为 BIM 平台能够直接读取的统一标准格式, 形成能够与设计模型直接匹配的数字成果, 进而通过误差校验与模型反演等手段提升测量成果的精度, 推动测量数据由传统的单向传递模式转变为“采集—处理—反馈—调整”的完整数据闭环, 使施工测量工作更具针对性与准确性, 进一步提高施工现场的效率, 保障施工质量。

1.3 建筑设计数据与工程测量数据之间的异构性问题

在实际建筑项目中，设计数据与测量数据因采集目的、内容与方法的差异，常出现明显的结构、格式及属性差异，这种数据异构性直接导致数据整合时的诸多难题。一方面，建筑设计多以建筑构件信息为核心，强调对象间的逻辑关联性与空间拓扑结构表达，往往采用BIM原生数据或IFC国际标准；另一方面，工程测量侧重精确坐标、位置、标高和空间数据的准确性表达，主要依靠GIS数据、LandXML文件、激光点云等异构数据。设计端模型数据一般具有强结构性和高语义性，能精准描述每个构件的详细属性，但却忽视空间数据的连续性表达，而测量数据虽具备极高的空间连续性和精度，却缺乏与具体构件的语义联系。这种差异性加剧了数据融合过程中的信息冗余和数据缺失现象，制约了BIM模型与工程测量成果的高效对接，削弱了BIM技术整体应用的优势。此外，施工阶段的设计变更和现场测量更新要求数据具备极高的时效性，这种动态更新的需求增加了数据融合处理的复杂程度，传统的数据处理方法明显已难以满足实际的需求。因此，探讨和研究一种能够兼容多源数据、有效衔接设计与测量数据特性的集成方法，成为当前推动BIM应用深化发展的关键所在。

2 基于BIM技术的建筑设计与测量数据集成方法

2.1 数据集成架构的核心逻辑与技术路径

构建合理有效的BIM数据集成架构，应从建筑设计与工程测量的业务需求和工作特性出发，按照数据流的方向和逻辑依赖关系，明确架构的关键节点与运行机制。具体实施时，须明确各类数据在架构内的角色定位、权重及权限，清晰划分设计模型、测量数据和施工现场反馈数据的交互界面与数据权限，确保数据在整个项目生命周期内无障碍、高效率地流动，并实现不同阶段的信息有效衔接。在整体框架的搭建过程中，还需重点融合地理信息系统（GIS）技术，以提供空间位置的高精度表达与分析功能，基于GIS与BIM模型的有效协同，能从宏观到微观全面展现建筑的空间信息^[2]。此外，物联网技术可作为集成架构的重要支撑，采用传感器网络实时采集施工现场的数据，提供准确及时的反馈信息，并将实时数据自动整合到BIM模型当中，从而搭建起从数据采集、传输到分析反馈的完整技术链条。

2.2 数据标准统一化及转换机制建立

由于建筑设计与工程测量过程中数据标准和格式存在较大差异，数据集成的首要前提便是实现数据的标准化统一，并在此基础上建立高效、可靠的转换机制。

具体实施中，以IFC、CityGML、LandXML等国际通用标准作为统一的数据格式依据，将设计过程产生的BIM模型与测量阶段生成的GIS、点云数据通过专业的数据转换工具或软件平台，如Autodesk Revit、Civil 3D、Bentley平台、FME等进行转换对接，确保各环节数据能有效兼容^[3]。在数据转换过程中，应严格遵循标准化的数据映射规则，通过预先设定的数据映射表、数据字典及标准构件库，实现从设计数据到测量数据的准确转换。此外，应设置数据接口模块以灵活处理各类异构数据输入输出问题，尽可能减少人工干预，形成自动化、规范化的数据转化与校验机制，防止因数据格式不统一而导致的模型误差或数据丢失问题。

2.3 建筑设计数据与工程测量数据的双向融合与模型优化策略

实现设计数据与测量数据的双向映射和融合，需要通过制定明确的数据匹配规则，准确识别并链接设计构件与测量数据之间的空间坐标、属性信息与构件标识，建立直接的空间语义关联关系。具体操作时，应优先建立以三维坐标系为基础的空间参照体系，通过空间坐标、标高数据精准地将点云、实测数据映射到BIM模型对应的设计构件上，再借助误差分析与校核方法，及时校正施工误差和模型偏差，确保融合后的模型准确、可靠。同时，可结合优化算法对模型误差进行逐步迭代修正，通过设置合理的误差阈值和精度范围，实现对融合后模型的自动精度校验。此外，为了提高数据分析与决策的效率和质量，应综合应用三维可视化技术与智能分析方法，将融合的数据以可视化图表、色彩渲染和动态交互的形式展现，从而实现复杂数据的直观表达与有效决策支撑。

2.4 数据的动态更新机制与自动化集成实现方法

施工现场的实际情况往往瞬息万变，传统的静态数据更新模式难以满足工程实际需求，因此需要建立一种动态数据更新和自动集成的有效方法，以确保测量数据能实时反馈到BIM模型，实现数据在设计、施工和管理之间的实时联动。具体操作中，应以物联网和无线传输技术为基础，在施工现场布设激光雷达扫描设备、自动化全站仪、无线传感器及无人机航测系统等实时测量装置，以无线通信方式实时获取现场施工的最新数据。同时，设计端须建立与之对应的自动化数据接收模块和数据校验分析程序，通过对实时数据的自动化解析、清洗、纠错和融合处理，实现设计模型的实时更新^[4]。此外，引入机器学习与人工智能技术构建智能处理模型，基于历史数据的学习与训练，有效提升测量数据处理的自动化程度。例如，基于机器学习建立点云数据自动分类模型、构件自动识别算

法等,以实现测量数据与设计模型的智能融合,从而有效减少人为干预带来的误差或延迟,使 BIM 的数据更新和集成更为高效且更具现实操作性。

3 基于 BIM 技术的建筑全生命周期数据管理

3.1 设计到施工阶段数据的无缝衔接与精准校验方法

实现建筑设计与施工阶段的数据精准衔接,关键在于构建设计信息与现场实际条件之间直接、高效的校核机制。设计阶段需结合施工经验及现场条件,基于 BIM 模型的虚拟施工功能提前模拟整个施工流程,进行构件碰撞检测、施工空间校核和施工进度预演,通过反复推敲和优化,形成满足现场实施需求的可施工性模型;设计模型交付施工现场时应配备相应的模型说明与实施指引,指导施工人员明确施工要点和工艺要求,避免设计意图与现场施工理解之间的偏差。在施工过程中,应依托传感器和激光扫描设备实时获取构件定位、安装精度及现场实际情况,将这些实时数据以无线方式及时传输至数据处理中心,通过 BIM 平台的自动分析功能,将现场测量数据与设计模型进行自动比对,快速识别构件位置误差或施工偏差区域,自动生成误差校正建议与调整方案,以指导现场施工人员实施精准调整和施工修正,实现设计到施工的精确衔接^[5]。

3.2 施工阶段的数据精细化管理与数字孪生技术的落地实施路径

施工阶段的数据精细化管理离不开完善的误差监控与分析调整机制,应构建全面的误差分析平台,通过布设在现场的实时测量设备,如无人机航测、全站仪、三维激光扫描仪等,对关键构件的位置、尺寸、标高进行高频率连续监测,实时捕获误差数据;采集到的测量数据自动回传至 BIM 平台后,可与设计原始模型自动进行叠加比对,生成直观的误差热力图与偏差统计图表,方便施工人员迅速了解误差分布及严重程度,指导后续施工调整决策^[6]。此外,施工现场数字孪生模型的实现是关键环节之一,具体实施时需以 BIM 原始模型为蓝本,借助实时采集的施工现场数据,以实时数据驱动虚拟模型的不断动态调整;同时数字孪生模型应完整映射施工现场环境,包括设备运行状态、人员与材料实时位置信息等,借助虚实融合展示与远程交互操作,为现场管理者提供动态的施工控制工具,指导现场作业精确实施,确保施工过程严格按照设计模型推进,保障现场施工质量。

3.3 运维阶段数据管理优化与智慧运维闭环构建策略

建筑竣工交付后,运维阶段的数据管理需以设施

管理(FM)系统为核心平台,将施工过程中累积的完整 BIM 数据移交至运维系统,建立结构清晰、内容完整、易于检索的数据资产库。设施管理人员应对原始交付模型和实际竣工模型进行差异比对,确认最终建筑设施的实际情况,并建立运维模型与物理建筑设施之间明确的对应关系;此外,可通过 RFID、物联网传感器与智能检测设备在日常运维过程中实时获取设施状态数据,并自动传输至 BIM 设施管理平台进行自动处理,平台据此即时分析设备运行情况、性能变化趋势及维护需求,生成相应的运维策略与方案^[7]。智慧运维系统的核心目标是实现运维管理的完整闭环,在日常维护工作中,当运维人员通过移动终端发现异常状况,可迅速上传信息至系统后台,后台自动定位到相应 BIM 模型中的问题构件位置与属性信息,智能匹配故障修复方案并快速下发维修指令,同时后台记录整个维护过程及结果,更新设施运行状态和维护历史记录,形成完整的数据链条,实现运维阶段数据的实时反馈与持续优化,真正做到建筑全生命周期内 BIM 数据的动态闭环管理。

4 结束语

基于 BIM 技术的建筑设计与测量数据的高效集成至关重要。本文通过标准化数据转换与误差优化策略,解决设计与测量数据脱节问题,并借助数字孪生技术,在施工阶段实现实时调整。在运维管理方面,构建智慧运维系统,形成建筑全生命周期的数据闭环,提升信息流通效率。未来研究可进一步优化数据融合算法,提高多源数据的兼容性,并探索人工智能技术在 BIM 数据集成中的应用,以推动建筑行业数字化进程。

参考文献:

- [1] 韩超.BIM 技术在建筑工程设计中的应用分析[J].住宅与房地产,2024(06):160-162.
- [2] 张敏,苏永波,王楠,等.面向 BIM 与 GIS 数据集成的快速转换方法研究[J].徐州工程学院学报:自然科学版,2023,38(02):63-70.
- [3] 尹紫红,兰富安,蒋良滩,等.基于 BIM+GIS 多元数据集成与融合方法研究[J].科学技术创新,2021(04):70-72.
- [4] 张珂.基于 BIM 技术的建筑工程协同设计与优化分析[J].集成电路应用,2024,41(01):128-129.
- [5] 张烈霞.基于多维建筑信息模型(BIM)的项目全生命周期数据管理及其工程应用研究[J].科技管理研究,2023,43(21):208-217.
- [6] 张春巍,鲍德仁,孙丽.智能建造技术的研究与应用展望[J].沈阳工业大学学报,2024,46(05):722-734.
- [7] 于庆源,徐从,崔勇骏.基于 BIM 技术的设计项目分布式数据集成协同设计平台[J].内蒙古科技与经济,2023(21):111-114.

BIM 技术在建设工程项目中的应用

宁廷磊¹，邱进国²

(1. 济南明东房地产有限公司，山东 济南 250000；

2. 济南鼎邦保温工程有限公司，山东 济南 250000)

摘要 在数字化与智能化技术深刻重塑各行业发展的新时代，建筑业作为国民经济的支柱产业，正经历着前所未有的转型变革。传统建设模式长期面临效率低下、资源浪费、协同困难等问题，已难以满足社会对高质量、可持续建筑产品的需求。建筑信息模型（BIM）技术作为贯穿建筑全生命周期的信息集成与管理工具，凭借其参数化设计、协同合作、数据驱动等优势，逐渐成为推动行业技术升级的核心力量。本文以某大型建设工程项目为实践载体，系统探讨了BIM技术在设计、施工及运维阶段的全流程应用，旨在为同类项目提供可借鉴的技术路径与管理经验。

关键词 BIM技术；建设工程；方案设计；施工模拟；工程量统计

中图分类号: TU17; TU71

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.16.012

0 引言

当前，全球建筑业正迈向以数据为核心的工业4.0时代。物联网、云计算、人工智能等前沿技术与建筑领域的深度融合，催生出“智能建造”的新范式。BIM技术作为建筑数字化的基础平台，通过三维可视化的信息模型整合几何、物理、成本等多维度数据，打破了传统二维设计的认知局限。BIM技术并非单纯的技术工具，而是推动建筑业生产模式变革的使能器，所以需要明确其技术原理，并结合工程实际情况加以运用，从而能够为建筑工程项目建设提供全面支持。

1 BIM技术在建设工程项目中的应用优势分析

1.1 可视化与沉浸式协同设计

BIM技术利用三维参数模型，能够使得建筑工程的设计意图更加直观，设计人员可以在虚拟的空间中进行交互设计，从而打破了传统模式下二维图纸的限制，能够提升设计人员之间的沟通效率，还可以在前期阶段发现设计方案存在的问题，提升设计方案科学性。例如：在某高层建筑的外立面设计中，前期阶段融合了BIM技术，通过对光照与人流模拟的分析，确定了幕墙设计方案，有效提升了幕墙的功能需求与美观平衡性。通常情况下，BIM技术的可视化功能，能够提升设计效率约40%左右，并缩短决策周期；多个专业的不同人员可以在同一模型下进行设计，比如结构工程师可以实时获取建筑模型中的整体布局参数，机电设计人员则能够对管线排布进行优化，从而可以避免信息孤岛问题，实现沉浸式的协同化设计。

1.2 全要素碰撞检测与错误预防

通过采用BIM技术，能够自动化识别建筑结构中的冲突问题，比如建筑结构、机电专业之间的冲突，将传统模式下的被动解决问题模式优化为事前预防模式，可以有效避免建筑设计存在冲突和错误问题。例如：在某医院建筑设计中，设计人员通过BIM技术模型分析后发现，通风管道和结构梁之间存在21处碰撞，为此对设计方案进行调整优化，减少净高损失0.3m，从而能够为医疗设备安装提供有利条件。通过采用事前错误预防的方式，能够有效避免返工风险问题发生，还可以预防成本超支、工期延误等问题^[1]。

1.3 施工模拟与资源优化动态管控

在建筑工程中引入BIM技术后，能够融合时间维度构建4D模拟施工模型，使得施工过程、施工资源等更加直观地呈现，从而为施工方案优化决策提供支持，比如在某地铁车站施工过程中，采用4D模拟技术后发现基坑支护和主体结构之间的工序存在矛盾问题，为此对其进行优化调整，使得工期缩短13%，可以全面提升施工效率。同时，BIM技术可以结合5D成本信息集成应用，对工程量进行自动化统计，并与工程预算进行实时对比，从而可以降低施工成本，提升工程建设经济效益。

1.4 全生命周期数据贯通与运维支持优势

BIM模型作为贯穿设计、施工、运维的信息载体，实现了建筑数据的连续性传递。在运维阶段，模型可转化为数字孪生体支持设施管理，比如某机场项目通

过 BIM 模型集成设备台账与运维记录,使故障响应速度提升 45%。结合物联网传感器数据,可实现能源消耗的实时监控与设备维护的智能预警,比如某办公楼项目运用 BIM+IoT 技术降低空调能耗 18%;模型还支持空间管理优化,比如酒店项目通过 BIM 分析客房使用效率,指导功能布局调整,提升运营收益。数据贯通机制不仅可以降低运维成本,还能够为建筑改造与资产处置提供完整信息基础,实现全生命周期价值最大化^[2]。

2 建设工程项目概况

某城市社区综合服务中心建筑工程项目,总建筑面积 2 428.5 m²,建筑高度为 12.3 m,地上 3 层,局部设备夹层 1 层,结构类型为钢筋混凝土框架结构,抗震设防烈度为 7 度,设计使用年限 50 年。本项目旨在打造集社区服务、政务办理、文化活动于一体的综合性场所,服务周边 3 个居民小区约 1.2 万人口,建筑呈“L”型布局,主入口朝东,与市政人行道无缝衔接。采用现浇钢筋混凝土框架,柱网尺寸 8.1×7.5 m,基础形式为钢筋混凝土独立基础,持力层为中风化砂岩,外墙为 200 mm 厚加气混凝土砌块+60 mm 岩棉保温层,外窗采用断桥铝合金 Low-E 中空玻璃,传热系数 2.2 W/m²·K。

3 BIM 技术的具体应用

3.1 方案设计阶段

在场地设计环节,BIM 技术结合 GIS 系统构建了 1:500 三维地形模型,精确还原了 0.8 公顷场地的原始高程数据,东高西低,最大高差 3.2 m;通过日照分析模块,对建筑 L 型布局的 12 种方案进行模拟,计算发现当建筑主体向东偏移 6.8 m 时,公共服务大厅冬至日满窗日照时长可从 1.2 小时延长至 2.4 小时,同时避免对西侧住宅楼产生遮挡;结合 CFD 风环境模拟,优化建筑迎风面形态,使冬季东北风下的风速降低 15%,有效改善建筑微气候,最终确定的建筑形体较初始方案减少土方开挖量 420 m³,降低场地平整成本 7.8 万元。

在功能空间布局阶段,BIM 模型通过空间距法分析对人流动线进行量化评估,原始方案中老年人日间照料中心与社区卫生站的水平距离为 18 m,经 Depthmap 软件模拟发现,该距离导致服务流线折返系数达 1.7(行业标准<1.5)。通过调整功能分区,将两者距离压缩至 12 m,使流线效率提升 38%;利用 BIM 模型对多功能活动室的声学环境进行 Odeon 软件模拟,优化墙面吸声材料布局,新增 6 处 50 mm 厚玻璃棉板,使混响时间从 1.8 秒降至 1.2 秒,达到文化活动类空间标准

要求;该阶段通过 7 次迭代优化,累计调整功能分区边界 14 处,空间利用率从 72% 提升至 85%。

在参数化设计应用方面,项目采用 Revit 自适应构件创建模块化隔断系统,通过 Grasshopper 平台编写算法,生成 3 种可变换隔断组合方案,当多功能活动室需要从会议模式的 150 座转换为舞蹈排练模式 80 人时,系统可自动调整隔断位置,转换时间缩短至 15 分钟(传统方案需 40 分钟);在屋顶花园设计中,利用 BIM 模型对乔木种植点位进行参数化布置,通过 Ladybug 插件计算日照覆盖时长,确保每株乔木获得≥4 小时直射光照,最终确定银杏、红叶石楠等本地适生树种的最佳种植密度,每 100 m² 种植 3 株,较常规设计减少植物数量 18%,降低后期养护成本。

在方案比选阶段,项目团队利用 BIM 模型生成 8 种设计方案,通过动态可视化进行多方案比选,重点对比了平屋顶与坡屋顶方案:平屋顶方案可降低结构荷载 15%,但太阳能板安装面积减少 20%;坡屋顶方案虽增加结构成本 8.5 万元,但提升光伏效率 12%。经全生命周期成本分析,为此采用折中方案,即局部坡屋顶设计,使增量成本回收期缩短至 6.8 年,该决策过程通过 BIM 模型量化数据支持,避免了主观判断的局限性^[3]。

3.2 施工模拟与管控

在施工模拟环节,项目采用 Navisworks Manage 软件进行 4D 施工模拟,将 Project 进度计划与 BIM 模型深度关联。通过模拟主体结构施工阶段发现,原计划在 3 层楼板施工时存在脚手架搭设与钢筋运输通道冲突,导致关键线路工期延误 5 天,经 BIM 优化调整后,决定采用分段搭设脚手架方案,将冲突区域施工工序错开 2 天,使关键线路工期缩短 8 天;在机电安装阶段,模拟发现空调水管道与消防喷淋管道存在 72 处空间冲突,其中 48 处位于地下车库区域,通过 BIM 协调会议,决定采用综合支吊架方案调整管道标高,避免后期拆改,节省成本 14.2 万元。施工模拟系统累计发现施工冲突 138 项,优化后减少返工风险点 85%,使总工期较传统计划压缩 12%。

在管线综合优化方面,基于 BIM 模型对机电系统进行深化设计,自动检测碰撞点 87 处,其中强电桥架与通风管道冲突占比达 42%,利用 BIM 协调平台,机电专业与土建专业协同优化,调整管线排布方案 23 版,最终确定采用双层支架系统,使地下车库净高提升 200 mm;在设备机房区域,对空调机组、配电柜等大型设备运输路径进行模拟,发现原方案设备尺寸超出电梯轿厢

尺寸,经与设备厂商协同,采用模块化拆分运输方案,避免结构拆改,节约工期6天,管线优化后机电安装工程量减少12%,支架材料节省18吨。

在质量管控方面,BIM模型与质检标准深度关联,自动生成质量控制点,比如在钢筋工程验收中,通过BIM模型提取梁柱节点钢筋三维视图,与现场实测数据对比,发现6处箍筋间距超标(设计80 mm,实测100 mm),整改合格率达100%;在幕墙施工中,利用BIM模型生成龙骨安装定位图,结合激光扫描复核,使幕墙垂直度误差控制在3 mm以内(规范允许偏差5 mm);预制构件安装前,通过BIM模型生成安装控制线,结合AR辅助定位,使构件安装精度达 ± 2 mm;质量管控系统累计生成质检记录432条,整改闭环率100%,质量通病发生率降低65%。

在安全管理方面,项目团队构建BIM安全预警系统,集成危险源数据库与施工模拟数据,比如在深基坑施工过程中,通过BIM模型模拟土方开挖顺序,结合监测数据,预警支护结构位移超标风险,提前采取加固措施,避免安全事故;在临时用电管理中,通过BIM模型规划电缆走向,避免与金属构件接触,降低触电风险;安全管理系统累计发出预警14次,整改隐患28处,实现零安全事故目标^[4]。

3.3 工程量统计

BIM模型通过参数化关联实现“一模型多用途”,建筑构件与清单规则深度绑定,比如墙体的材质、厚度、高度参数自动关联《建设工程工程量清单计价规范》计算规则,门窗构件自动统计洞口尺寸与数量;结构模型中,钢筋的型号、间距、锚固长度等参数与平法图集关联,自动生成钢筋下料表;机电模型中,管道管径、长度、连接方式参数与定额库对接,实现设备、管件数量的精准提取。经对比验证,BIM自动算量结果与手工算量偏差率控制在1.2%以内,其中钢筋工程量统计精度达98.7%,管道工程量统计精度达97.3%^[5]。

动态调整功能支持设计变更的实时响应,当设计方案调整时,BIM模型自动更新关联工程量,比如在本次项目中,某区域楼板厚度从120 mm调整为150 mm,系统自动更新混凝土体积计算,原设计 32.4 m^3 调整为 40.5 m^3 ,同步调整模板接触面积与钢筋用量;在幕墙系统优化中,通过参数化调整竖挺间距,系统自动重新统计铝型材长度与玻璃板块数量,使统计误差率从5.2%降至0.8%。

3.4 运维管理延伸应用

在现代建筑工程项目中,除了前期与施工过程控

制,后期维护管理也是重要的工作内容,是保障建筑工程高质量运行的关键所在,而传统运维管理模式效率低下,难以满足实际需求,为此可以采用BIM技术,将其融合在项目运维管理工作中,从而能够提升运维管理效果^[6]。在该项目的运维阶段,BIM技术通过全生命周期数据贯通与智能物联集成,实现了设施管理的数字化、空间运营的精细化与能源管控的智慧化。项目团队基于竣工交付的LOD500级BIM模型(含48 237个构件、关联设备参数2 132项),构建运维管理平台,使传统被动式运维转型为主动式智能管理。通过BIM模型与IoT传感器数据对接,实时采集设备运行参数,其中空调机组能效比提升12.3%,照明系统功率密度降低18%,综合能耗较传统建筑下降22%;在设备维护中,BIM三维定位功能将设备查询时间从平均45分钟缩短至12分钟,结合维修历史数据库生成预防性维护计划,使设备故障率降低35%^[7]。此外,BIM模型集成消防、安防子系统,实现火灾疏散路径自动规划,应急响应时间缩短30%。

4 结束语

在现代建筑工程项目领域中,BIM技术具有诸多优势,能够有效提升建筑工程施工效率与质量,为此必须掌握BIM技术的应用要点,将其贯穿于建筑工程全部过程中,为工程建设提供全面的技术支持。未来随着BIM与数字孪生、区块链等技术的深度融合,其将持续推动建筑业向智能化、绿色化方向演进,助力实现建筑高质量发展的战略目标,且BIM技术也在不断创新,通过与多项技术的融合,能够发挥出更大的优势。

参考文献:

- [1] 孙绍桐.基于BIM技术的建筑材料用量节约方法研究:以沈阳某地铁工程为例[D].辽宁:沈阳建筑大学,2023.
- [2] 张烈霞.基于多维建筑信息模型(BIM)的项目全生命周期数据管理及其工程应用研究[J].科技管理研究,2023,43(21):208-217.
- [3] 孙大鹏.BIM技术在工业建筑工程施工管理中的应用分析[J].中国建筑装饰装修,2023(04):57-59.
- [4] 覃轲,赖华辉,刘壕.基于MVD的建筑工程BIM子模型数据研究[J].城市建筑,2024,21(16):210-213.
- [5] 江曼,程红,张岭岭.基于BIM技术的建筑工程造价控制与管理探析[J].智能建筑与工程机械,2024,06(02):70-72.
- [6] 马春先.基于BIM技术的绿色建筑工程施工优化与效率提升研究[J].智能建筑与智慧城市,2024(02):120-122.
- [7] 同[5].

建筑工程施工深基坑支护技术的应用

石才敬

(广西中信恒泰工程顾问有限公司, 广西 河池 547600)

摘要 在高层建筑密集化与地下空间立体化开发趋势加速的形势下, 深基坑工程面临复杂地层扰动、高承压水渗透及紧邻建筑物保护等挑战。而支护体系的失效则易诱发围护结构倾覆、基底管涌及周边地层塌陷等连锁灾害, 导致主体结构失稳与地下管网损毁。本文从建筑工程施工深基坑支护技术应用意义入手, 对比分析了目前主要应用的深基坑支护技术, 并提出了该项技术的具体应用措施, 旨在为复杂环境下深基坑工程提供兼具结构安全性、经济合理性及环境友好性的支护技术解决方案。

关键词 建筑工程; 深基坑支护技术; 土体加固措施

中图分类号: TU753

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.16.013

0 引言

在建筑工程中, 深基坑一般指挖掘深度超过一定范围的基坑, 其开挖可能会对周围环境和结构造成影响, 甚至引发土壤坍塌、基坑失稳等危险, 而深基坑支护则是指在挖掘过程中通过采取支护措施, 以减少土地变形和加固周边土质^[1]。随着城市化进程加速与建筑空间集约化利用需求提升, 促使深基坑工程呈现超深、超大、接近既有结构等特征, 这促使其通过桩墙锚撑复合体系或土体加固工艺形成空间受力网络, 确保基坑开挖过程中边坡稳定及地层变形可控的支护技术备受关注。由此, 深基坑支护技术的理论深化与实践创新成为工程界研究热点。

1 建筑工程施工深基坑支护技术应用意义

1.1 保障施工安全与周边环境稳定

建筑工程施工中采取的深基坑支护技术通过构建围护结构体系与土体加固措施, 有效抑制基坑开挖过程中因土体应力释放、地下水渗流及外部荷载作用引发的边坡失稳风险, 保证地下空间安全开发安全。具体而言, 在复杂地质条件下, 支护结构通过传递与分散土压力, 控制坑壁变形速率及位移量, 避免突发性坍塌事故, 降低施工人员及设备的安全隐患。同时, 支护技术通过阻隔土体扰动波向外扩散, 减少对邻近既有建筑、地下管线及交通网络的附加沉降影响。在城市密集区, 即可显著降低因基坑开挖引发的路面开裂、管线破裂等次生灾害概率^[2]。此外, 当现代支护技术结合智能化监测系统, 还可实时反馈基坑变形、地下水位及支撑轴力等关键参数, 为动态调整施工方

案提供数据支撑, 进一步提升风险预控能力, 确保工程全周期安全可控。

1.2 提升工程整体质量与效率

建筑工程施工中深基坑支护技术的科学应用还能为地下结构施工创造稳定的作业环境, 避免因基坑变形超标导致的返工或加固成本增加, 从而提升工程整体经济性。具体而言, 支护技术通过合理设计支护体系刚度与变形控制指标, 可维持主体结构施工期间基坑侧壁的长期稳定性, 减少因支护失效引起的工期延误。例如: 多种组合支护技术通过协同发挥各自优势, 可在保证支护强度的同时优化施工工序, 缩短关键节点工期^[3]。此外, 支护技术标准化与模块化发展, 还能显著提升施工机械化水平, 降低人工依赖度, 提高施工效率。在质量管理层面, 支护技术作为临时性工程与永久结构的衔接界面, 其施工精度直接影响后续防水层铺设、底板浇筑等环节质量, 通过精细化施工与验收标准, 可为工程全生命周期质量奠定基础。

1.3 推动绿色建造与可持续发展

建筑工程施工中深基坑支护技术的创新应用同样契合绿色建筑理念, 以实现工程活动的生态友好性转型。其技术体系通过减少土方开挖回填量、优化围护结构材料用量及提升构件复用率, 降低对天然砂石、钢材等不可再生资源的依赖, 促进建造过程的资源集约化利用。同时, 部分支护结构设计在融合轻量化、高耐久性材料以及装配式施工理念下, 还可减少施工阶段能源消耗与碳排放强度^[4]。同时, 支护技术对地下水文系统的动态调控能力, 可精准平衡降水需求与

水资源保护间的关系,避免因过度抽排引发的地下水枯竭或地层固结沉降,维护区域生态水文循环的稳定性,从而助力建筑的可持续发展。

2 建筑工程施工主要深基坑支护技术

2.1 锚杆支护技术

作为建筑工程施工深基坑支护技术常见类型之一,锚杆支护技术通过预埋高强度的钢筋锚杆体,利用注浆固结工艺与土层或岩层形成协同受力体系,进而通过锚固段与自由段的力学传递实现对基坑侧壁土体的主动加固^[5]。换言之,其核心在于通过施加预应力,将锚杆轴向拉力转化为对土体的侧向约束力,从而抵消基坑开挖导致的土体侧向位移。目前,锚杆支护体系通常由锚头、自由段、锚固段三部分构成,并经历钻孔定位、成孔清孔、锚杆安装、注浆填充、张拉锁定及防腐处理等流程。其中,钻孔工艺需根据地质条件选择回转钻进、冲击钻进或螺旋钻进等方式,以此保证孔壁完整性与孔径精度;注浆材料则多采用水泥浆或水泥砂浆,通过压力灌注使浆液渗透至土层裂隙,形成包裹锚杆的固结体,增强锚杆与土体的黏结强度。因为具有承载力高、变形控制精准、施工灵活性强等特点,锚杆支护技术较为适用于土层条件复杂、基坑邻近既有结构或需分层开挖的深基坑工程。同时,其通过调整锚杆长度、倾角及布置密度,还可适应不同深度与荷载分布的支护需求。

2.2 地下连续墙技术

地下连续墙技术是一种通过专用成槽设备沿基坑周边分段开挖沟槽,并在槽内浇筑钢筋混凝土以形成连续封闭的竖向挡土结构,兼具承重、防渗与围护功能的深基坑支护技术。其施工工艺包括导墙修筑、泥浆护壁成槽、钢筋笼吊装、混凝土导管浇筑及接头处理等关键步骤。其中,导墙作为成槽导向与荷载承台,需依照轴线精度与结构刚度进行布置排列;随后的成槽阶段则依靠于液压抓斗、铣槽机或冲击钻等设备,以在膨润土泥浆护壁作用下维持槽壁稳定;钢筋笼则依据设计配筋进行整体预制,并通过大型吊装设备垂直置入槽内;最后的混凝土浇筑具体采用水下导管法,保证墙体连续性与密实度。地下连续墙的核心技术特征在于其高刚度与整体性,能够有效抵抗深基坑开挖产生的土压力与地下水压力,同时通过墙底嵌入不透水层或设置止水帷幕,显著降低基坑渗漏风险。因此,该技术特别适用于软土、砂层等不良地质条件下的超深基坑,或周边环境敏感需严格控制变形与振动的工程场景,例如地铁隧道、高层建筑核心筒基础等。随

着技术发展,其进一步延伸为“两墙合一”设计,即将临时支护墙转化为永久地下结构外墙,实现资源集约化利用,降低综合建造成本。

2.3 土钉墙支护技术

建筑工程施工深基坑土钉墙支护技术的原理是在基坑侧壁土体中分层植入土钉,并与喷射混凝土面层和钢筋网结合形成复合重力式挡土结构的被动加固体系。具体而言,其是通过土钉与周围土体的摩擦黏结作用,将局部不稳定土体锚固至深层稳定土层,形成加筋土效应,从而提高边坡整体抗剪强度与自稳能力。在具体施工时首先应对开挖后的坡面进行平整处理,随后才能采用机械或人工成孔方式植入土钉,通过压力注浆使水泥浆液渗透至土体孔隙,形成包裹土钉的固结体;随后在坡面铺设双向钢筋网,并分层喷射混凝土形成刚性面层,最终通过土钉端部连接件将面层与土钉连为整体。相比地下连续墙技术等支护技术,土钉墙支护具有施工便捷、材料消耗低的特点,适用于黏性土、粉土及部分砂土层中深度不超过12米的基坑工程,且在空间受限或需快速施工的场景中具有显著优势。与此同时,其技术局限性也较为明显,即在于对地下水位较高或流塑性土层的适用性较差,需配合降水或止水措施使用,且支护结构刚度相对较低,变形控制能力弱于排桩或地下连续墙,因此在周边环境敏感区域需谨慎选用。

2.4 钢板支护技术

钢板桩支护技术是建筑工程施工深基坑支护技术中应用最广的一种技术,其指通过将热轧或冷弯成型的U型、Z型或直线型钢板桩依次打入土中,利用锁口连接形成连续密闭的挡土墙结构,兼具挡土与止水功能的一种临时性支护技术^[6]。其力学性能依赖于钢板桩截面惯性矩与锁口咬合强度,以此通过桩体自身抗弯刚度抵抗土压力,并利用锁口间的密合性阻断地下水渗透路径。在具体实践中,其应依据设计荷载与地质条件选择单排或双排的钢板桩,并采用液压振动锤的高频振动功能将桩体压入土层,过程中需借助导向架控制垂直度与平面位置。在沉桩完成后,即在桩顶浇筑钢筋混凝土冠梁以进一步增强整体性,若遇到基坑较深则可增设钢支撑或对拉锚杆,用于分担侧向荷载。钢板桩支护的核心优势在于施工速度快、可重复利用以及具有优异的止水性能,在软土、淤泥土等低承载力地层中的浅至中深基坑(深度 ≤ 8 米),或需快速完成支护的抢险工程中更为适用。但是,其相比于其他技术在单桩抗弯能力相对有限,在超深基坑

中易因桩体变形过大导致支护失效,且硬质土层中沉桩困难,需配合预钻孔或水冲法辅助施工。此外,钢板桩在经历多次重复使用后的锁口磨损可能降低止水效果,需通过注浆或外包防水膜进行补强。

3 建筑工程施工深基坑支护技术的具体应用

3.1 前期准备

建筑工程施工中深基坑支护技术在具体应用前需进行全面的准备工作,以保证其后续的顺利应用。其中,首要任务是开展精细化工程勘察,通过钻探取样、原位测试与实验室分析,获取土层分布、地下水位、岩土力学参数等基础数据,重点查明软弱夹层、砂层液化区等特殊地质单元的空间分布特征。对于邻近既有建筑或地下管线的工程,还需同步开展周边环境变形敏感度评估,并采用三维地质模型与 BIM 技术建立场地空间关系图谱,为支护结构受力分析提供量化依据。其次,结合基坑深度、开挖范围、周边荷载等工程特性,采用极限平衡法、有限元数值模拟等方法进行多方案比选,确定最终支护结构选型和应用方案。此外,在技术交底环节,需通过三维可视化模型向作业人员解析支护结构与土方开挖的时空关系,重点标注支护构件安装定位精度、土方分层开挖厚度及边坡临时防护标准等控制要点。

3.2 具体实施

在建筑工程施工深基坑支护技术的具体应用中,分层支护法依据“分层开挖、及时支护”原则,将深基坑土方按预设厚度逐层向下开挖,并同步实施锚杆、土钉或内支撑等支护结构,最终形成动态平衡的受力体系以抑制土体应力释放引发的变形。在这个过程中,其核心在于控制每层开挖深度以及支护施作时序,目的是减少无支护暴露面积及暴露时间,并利用土体自稳性阶段完成支护结构荷载传递路径的闭环。其中在挖深度方面,通常为 1.5~3.0 米,但在黏性土或密实砂层中可适度增大分层高度,而在松散填土或高含水率软土层中则需减小分层厚度并缩短支护间隔。此外,针对分层支护法中如排桩+锚杆的复合支护体系应用,则该需协调桩体施工与锚杆预应力的施加顺序,保障桩身弯矩分布均匀化。此外,还需结合通过测斜仪、轴力计反馈的位移与支撑内力变化等实时监测数据,判断是否需增设临时斜撑或加密锚杆排距,并动态调整施工节奏,以实现变形速率与设计预警阈值的匹配。

3.3 完成验收

在建筑工程施工中,深基坑支护技术应用的实际

效果还需通过验收阶段进行确定和优化。具体而言,深基坑支护技术验收首先需依据设计文件与规范要求,建立涵盖支护结构位移、支撑轴力、锚杆预应力、地下水位变化及周边地表沉降的全参数监测体系,通过固定式测斜仪、轴力计、渗压计等设备实时采集数据。例如:对于地下连续墙等竖向支护构件,需采用低应变反射波法或钻孔取芯法检测桩身完整性。同时,运用灰色系统理论将验收数据进行关联度分析,对比施工阶段数值模拟结果与实测数据的吻合度,重点核查支护结构最大弯矩截面位置、土压力分布形态等关键力学响应特征是否处于设计允许偏差范围内。针对局部超限变形区域,采用预应力碳板加固或微型钢管桩托换等补救措施,并通过二次加载试验验证加固后结构承载性能。此外,在验收完成后需建立支护结构及技术应用监测档案,以便后续追溯。

4 结束语

建筑工程施工深基坑支护技术的创新应用通过精准控制地层损失率、优化围护结构受力模式及动态调控地下水渗流场,显著提升复杂地质条件下基坑工程的安全冗余度与经济合理性。同时,在具体应用中还需坚持技术选型需因地制宜且通过科学论证的原则,以此达到理想效果。展望未来,建筑工程施工深基坑支护技术发展将深度融合 BIM 逆向建模与机器学习算法,构建基于数字孪生的支护结构全寿命性能预测模型,推动装配式可回收支护构件等的应用,为超深地下空间开发提供可靠的技术保障。

参考文献:

- [1] 郭文丽.深基坑支护施工技术在建筑工程管理中的应用原则与技术分析[J].城市建设理论研究(电子版),2025(07):107-109.
- [2] 蒋孔林.深基坑支护技术在房建工程施工中的应用分析:以闽商大厦工程为例[J].中国建筑装饰装修,2024(24):147-149.
- [3] 陈超,曹辉.建筑工程中深基坑支护施工技术的应用分析[J].中华建设,2024(12):147-149.
- [4] 李花卉.深基坑支护施工技术在房屋建筑工程中的应用[J].城市建设理论研究(电子版),2024(31):120-122.
- [5] 戴志超.建筑工程施工中深基坑支护施工技术应用研究[J].广东建材,2023,39(12):94-96.
- [6] 张庆,贺海利.深基坑支护技术在高层建筑工程中的应用[J].工程机械与维修,2023(05):210-212.

路桥工程钢箱梁焊接变形控制方法研究

许文超¹, 肖丽云², 张 珊³, 邢成林¹, 潘鹏飞³

(1. 青岛宏基航泰建筑工程有限公司, 山东 青岛 266000;

2. 青岛璟峰泰建筑工程有限公司, 山东 青岛 266000;

3. 青岛交科建设集团有限公司, 山东 青岛 266000)

摘 要 钢箱梁作为大跨度桥梁的重要结构型式, 焊接变形问题直接影响桥梁施工质量与长期服役安全性。为系统地解决焊接变形难题, 本文重点研究了钢箱梁焊接变形的主要类型, 深入分析了角变形、纵向收缩、横向收缩、弯曲变形及波浪变形的形成机理, 并提出了从焊前预防、焊接过程控制及焊后补救三阶段的综合防控技术。结合实际工程应用成效验证, 证实了综合防控技术对结构几何精度提升、构件受力性能优化及施工效率提高具有显著作用, 研究成果旨在为同类工程提供理论指导及技术支持。

关键词 钢箱梁; 焊接变形; 变形控制; 路桥工程

中图分类号: U445.583

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.16.014

0 引言

近年来, 随着基础设施建设水平不断提升, 钢箱梁凭借良好的结构性能与跨越能力, 成为大跨径桥梁工程的重要形式。然而, 钢箱梁结构焊接过程中普遍存在热输入不均匀、焊接应力集中与局部应力释放失调等问题, 使构件产生不同程度的变形, 给后续拼装及使用性能带来隐患。由于钢箱梁整体尺寸庞大、结构复杂, 焊接变形控制难度较传统钢结构显著增加, 极易导致成型精度不足、局部力学性能弱化, 严重制约桥梁结构安全性与耐久性。因此, 探索高效、系统化的焊接变形控制方法, 已成为路桥建设领域的研究热点之一。

1 钢箱梁焊接变形的主要类型

钢箱梁又叫钢板箱形梁, 是大跨径桥梁常用的结构形式。一般用在跨度较大的桥梁上, 因外型像一个箱子故叫做钢箱梁。钢箱梁在焊接过程中因受热不均、局部膨胀与收缩不同步, 以及材料组织变化等因素影响, 极易发生形态复杂的变形。

1.1 角变形

角变形是钢箱梁焊接中最常见的局部畸变类型, 通常发生在 T 形接头、角焊缝及箱形构件的拼装过程中。焊接热源作用下, 母材熔化并发生局部膨胀, 而冷却后因收缩不均, 导致构件在焊缝附近产生明显的角度偏移。其形成机理主要受焊接顺序、线能量输入及焊缝布置方式的影响。当焊道分布不均或焊接参数设定不合理时, 角部区域极易出现向焊缝方向的偏转,

使结构局部应力集中。研究表明, 合理控制焊缝位置、采用交替施焊及刚性固定等措施, 可有效降低角变形的发生概率。

1.2 纵向收缩

纵向收缩主要表现为焊接完成后, 构件沿焊缝方向产生尺寸缩短现象。该变形源于焊缝区域的高温加热及冷却不均, 导致焊接接头产生较大的纵向残余拉应力, 从而引起整体收缩。影响因素包括焊缝长度、热输入速率及材料的线膨胀系数。实验分析表明, 线能量越大, 收缩量越显著, 且长焊缝收缩变形尤为明显。此外, 施工过程中若未采用合理的刚性约束, 纵向收缩会进一步影响箱梁整体线形。优化焊接顺序、降低单道焊接热输入及合理配置定位装置, 可有效缓解该类变形。

1.3 横向收缩

横向收缩指构件在焊接完成后沿垂直于焊缝方向的尺寸减小现象。该变形受焊缝横截面积、热影响区宽度及母材塑性变形能力的影响。通常情况下, 多层多道焊比单道焊更易引起横向收缩变形, 且焊道数量越多, 累计收缩量越大。横向收缩变形不仅影响钢箱梁的拼装精度, 还可能导致焊接区域的局部失稳。研究发现, 采用对称焊接工艺、预置反向变形以及分段组焊方式, 可有效降低横向收缩的影响, 并提高焊接质量的稳定性^[1]。

1.4 弯曲变形

弯曲变形是焊接过程中因热输入分布不均匀, 导致钢箱梁整体结构发生偏转的一种宏观变形形式。该

类畸变主要出现在较大尺寸构件或薄壁结构中,尤其是在焊缝分布非对称、刚性约束不足的情况下,弯曲变形尤为显著。其形成机理主要涉及焊接热膨胀与冷却收缩的非均匀性,使得构件某一侧收缩量大于另一侧,从而引起整体弯曲。理论分析表明,热输入不均、焊接方向不当及约束力失衡均会加剧弯曲变形的发生。优化焊接路径、采用双面施焊及刚性固定措施,可显著降低该类变形的影响。

1.5 波浪变形

波浪变形是一种发生在钢箱梁薄板区域的局部变形,通常表现为焊接完成后板件表面呈现周期性起伏状态。该变形的成因包括焊接过程中的非均匀热应力分布、母材屈服强度不足以及板材厚度较小等因素。焊接过程中,受热区域发生塑性变形,而冷却后因应力释放不均匀,导致板件出现波浪状起伏。数值模拟分析表明,多道焊工艺中,焊接顺序及热输入参数的不合理配置,均可能使局部应力集中,从而引发更严重的波浪变形^[2]。改善焊接工艺参数、优化板材支撑方式及合理设置冷却路径,是减少此类变形的有效手段。

2 路桥工程钢箱梁焊接变形控制方法

2.1 焊接前的预防

在路桥工程钢箱梁焊接环节,焊接前的预防对后续施工质量及结构线形精度具有重要意义。为有效控制焊接变形,应在设计及材料阶段充分考虑构件刚性、热变形参数及拼装工序,减少高温区与低温区交界处应力集中。设计图纸可在构件局部位置留出调整量,以便后续装配时进行更灵活的定位。焊前应对构件尺寸、板厚、焊缝长度等进行严谨核验,确保各环节符合施工要求。

施工单位通常会在地布设中设置固定平台,保证钢箱梁在装配阶段能够保持平直。定位夹具及辅助夹板可应用于关键拼焊区域,用于稳定工件相互位置并抑制过度伸缩。焊接坡口形状及宽度应依据材料厚度与受力需求合理确定,避免过大或不合理的焊缝截面导致过度热输入。部分项目会在结构连接处采用预变形措施,使构件在焊后能够回弹至接近设计位置,从而削减整体变形幅度。某些场景中可借助有限元分析软件,对焊接热循环和应力场进行数值模拟,以判断各可能焊接策略的可行性。该过程需要对材料物理参数进行精确获取,包括导热系数、弹塑性指标及热膨胀系数等。若环境温度较低,应事先预热特定部位,使材料处于相对均衡的热环境,从而减小骤冷导致的应力尖峰。

焊材及焊接设备也须在施工初期进行鉴别。焊材

牌号、熔敷效率及符合材料兼容性等因素,需要与设计规范及项目实际情况相互匹配。同时,焊机类型及送丝速度等参数可按照钢材厚度及构件刚度进行微调,力求达到合适的热输入尺度^[3]。现场准备环节还需要对操作人员开展专项技术交底,使其明确焊口形状、焊层顺序以及温度控制要领。

2.2 焊接过程中的控制技术

路桥工程钢箱梁在焊接阶段易出现应力集中与热变形。为减小此类影响,建议在施工时采用对称施焊与分段错位施焊,使热输入趋于均匀。若多层多道焊层数过多,极易导致累积应力升高,可在每道焊缝之间留出适当冷却间隔,并在焊缝背面布设散热装置,让高温区迅速降至安全范围。薄板构件通常更易发生波浪形畸变,可借助背板衬托并在焊缝邻近区域设置临时支撑,以确保板面在加热后仍能维持相对平坦。部分项目还会提前进行反向变形设计,即在焊接前对构件位置进行微量偏移,让后续焊接引起的回弹基本对冲此预偏量。该方法需基于严谨的热循环分析和构件受力特性研究,才能确保偏移值与回弹量相符。至于焊接电流、电压与焊速等工艺参数,要针对板材厚度、接头形式及施工环境进行动态调整,避免热输入忽高忽低,保障焊缝质量并减轻残余变形。

跳焊是应对长焊缝高温集聚的一项做法。其核心思路是在若干部位先施焊短段,然后在不同区域逐步衔接,使整条焊缝的热应力分布更加离散,从而降低纵向和横向收缩的叠加风险。该工艺对施工组织与焊道标识要求较高,需在每个阶段明确焊道起止位置与衔接顺序,方可避免漏焊或交叉错位。为确保过程可控,许多工程采用在线监测手段。红外测温仪可追踪焊缝及母材表面的温度波动,数据采集系统能将实测值与既定阈值比对,让施工人员适时调整焊接速度或补焊支撑。若观测到板面出现局部翘曲或应力集中迹象,还能立即变更焊缝走向或修改定位夹具的布置方式,防止变形逐步扩大。

当焊缝成形完成后,需要利用超声波冲击对焊趾部位实施短暂振击,让微裂纹趋于闭合,并使该区域的应力分布趋于平衡。振动时效也能借助机械振动促使残余应力向周边迁移,从而减轻局部畸变。一些工程会结合现场温度与构件刚度特征,选择适当的振动频率及时间,以取得更加理想的减应力效果。

2.3 焊接后的补救措施

路桥工程钢箱梁完成焊接后,若检测到局部畸变或残余应力集中,可尝试机械矫正。液压机与专用矫正设备能为受损区域提供外力,使结构缓慢回到较为

理想的线形。该过程应先评估构件厚度及内部应力分布,防止矫正中产生二次撕裂。火焰矫正可矫治小幅度凸起与角部变形,但需控制火焰温度与加热范围,避免金属组织出现软化或裂纹。

当整体线形存在明显偏移,可引入振动时效技术^[4]。在特定频率与振幅条件下施加振动,使过高的残余应力向周边区域重分配,并缓和局部应力峰值。结合红外或超声探伤能观察应力变化趋势,检验实施效果是否与预期吻合。对于波浪状薄板,可轻压波峰并在背面配合支撑结构,让板材在矫正后保持平顺。若浪形范围较广,还需依据数值模拟结果查明焊缝热输入不平衡、刚性约束不足等根源,再采取相应的补焊或重熔工艺,让材料再度加热并缓解波峰凸起。

焊缝缺陷也是需要关注的重点。一旦发现显微裂纹或未熔合,建议使用碳弧气刨打磨消除瑕疵,然后进行补焊以确保焊缝连续与强度达标。现场人员应对焊后处理环节进行仔细检测,包括尺寸复测与探伤检验,排查修复点是否满足设计精度。某些强度等级较高的钢材可能需要在完成补焊后进行后热处理,使组织结构在较均匀温度区间内再次平衡,减少内部残余应力的残留。

3 路桥工程钢箱梁焊接变形控制方法的应用成效

3.1 结构几何精度明显提升

钢箱梁焊接变形控制方法实施后,结构几何尺寸的精度得以明显改善,工程现场的测量数据显示,桥梁焊接完成后整体线形偏差显著降低。某特大跨径钢箱梁桥梁项目采用反向预变形及跳焊工艺,现场检测表明,主梁竖向变形控制精度由原先的 ± 15 mm缩小至 ± 5 mm以内,远超行业规范的相关标准。再如,某市政桥梁在采用局部刚性约束措施后,焊接完成后的横向收缩变形降至2 mm以内,达到设计预期,避免了后期矫正过程中的次生应力产生。这些实践案例证实,有针对性的变形控制措施可切实保证桥梁构件的精度,使施工线形达到预期标准,减少了不必要的返工成本。

3.2 构件受力性能显著优化

焊接变形的有效控制,改善了钢箱梁构件整体的力学行为,特别体现在疲劳性能及结构承载力方面的提升。以某高速公路桥为例,项目应用振动时效技术及超声冲击处理工艺后,钢箱梁焊缝区的残余拉应力平均降低约30%,现场疲劳试验结果表明,构件疲劳寿命相比传统方法提高超过25%。同时,另一座跨江大桥在焊接过程中实施热输入实时监测和焊后热处理工艺后,焊缝区的微观组织趋于稳定,母材与焊接热影响区之间的韧性差异显著缩小,钢箱梁整体抗冲击性能

提高约15%^[5]。这些实例说明,焊接变形控制技术不仅能保障焊接质量,而且对提高桥梁构件的整体力学性能具有直接促进作用,确保了桥梁的长期服役安全性。

3.3 工程施工组织效率有效提高

钢箱梁焊接变形控制技术的实施,在显著降低变形的同时,也大幅提升了工程施工组织效率,现场施工周期得到有效缩短^[6]。某跨海大桥工程中,通过优化焊接顺序与预热控制措施,焊接后的变形修复工作量降低了约40%,使施工周期提前了近两个月。此外,一座城市快速路钢箱梁项目应用在线变形监测技术及焊接工艺动态调整策略,工程实施期间,焊缝缺陷率由原先的8%降至2%左右,整体焊接施工效率提高近三成。例如:某大型枢纽立交钢箱梁施工时,现场实时温度监测技术的应用使焊接热输入精准受控,整体构件一次验收合格率提高至97%以上,降低了中间检测环节的反复性。这些成果表明,精细化变形控制手段有效减少了焊后修复的施工时间,并提升了施工现场整体管理效能。

4 结束语

本文针对路桥工程钢箱梁焊接变形问题提出了全过程的焊接变形控制技术,分析结果表明:精确预控热输入、刚性定位与约束、优化焊接顺序和补救矫正措施,可显著提升钢箱梁的施工精度和结构受力性能。未来研究中,应进一步探索智能化焊接技术的深度融合,利用实时监测、大数据分析与人工智能技术构建更为精准的变形预测模型,实现钢箱梁焊接变形的主动控制与精确干预。同时,亟需发展适应复杂施工环境的智能焊接装备,推动路桥工程钢箱梁焊接技术向自动化、智能化、精细化方向升级,为未来大型桥梁建设提供更强的技术保障。

参考文献:

- [1] 柴飞,刘中,徐向军.钢箱梁桥整体拼装焊接变形控制及补偿方法研究[J].金属加工(热加工),2023(02):51-55.
- [2] 田亚北.超宽钢箱梁节段焊接变形及焊缝疲劳性能研究[D].石家庄:石家庄铁道大学,2024.
- [3] 袁路.钢箱梁焊缝疲劳受力变形分析及加固方法研究[J].焊接技术,2024,53(04):138-141,154.
- [4] 李西亮.黄茅海大桥钢箱梁制作关键技术研究[J].山西建筑,2023,49(22):170-173.
- [5] 陈思.北支江过江通道桥梁钢箱梁现场焊接工艺[J].施工技术(中英文),2022,51(08):71-75.
- [6] 顾江淮.跨线桥钢箱梁安装工程施工技术探讨[J].交通科技与管理,2023,04(20):92-94.

顶管施工技术在市政给排水工程中的应用

郑 飞

(郓城县自来水有限公司, 山东 菏泽 274700)

摘 要 市政给排水工程作为城市基础设施的重要组成部分, 其建设质量和效率直接关系到城市居民的生活质量和城市的可持续发展。传统开挖式管道铺设技术因其施工周期长、对地面交通和建筑物影响大等弊端, 已难以满足现代城市建设的需求。在此背景下, 顶管施工技术作为一种高效、环保的非开挖管道铺设技术, 逐渐在市政给排水工程中得到广泛应用。本文探讨了顶管施工技术在市政给排水工程中的应用, 以期能够为相关工程实践提供参考。

关键词 顶管施工技术; 市政给排水工程; 顶管纠偏

中图分类号: TU992.05; TU991.05

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.16.015

0 引言

顶管施工技术, 又称非开挖管道铺设技术, 是一种在不破坏地表土层的情况下, 通过液压顶进设备将预制管道按设计线路顶入地下, 完成管道铺设的施工方法, 该技术具有施工精度高、综合成本低、对环境破坏小、可穿越障碍物等优点, 适用于城市繁华地段、交通要道及地下管线复杂的区域。为此, 需要结合市政给排水工程的实际情况, 设计科学的技术方案, 掌握关键技术要点, 并做好质量控制工作, 从而能够提升市政给排水工程质量, 促进城市建设与发展。

1 顶管施工技术在市政给排水工程中的优势分析

1.1 对地面交通和建筑物影响较小

在市政给排水工程中, 传统施工方式需要开挖大面积的土方, 从而会对地面交通造成严重破坏, 还会影响到周围构筑物, 使其稳定性降低, 而通过采用顶管施工技术, 通过在地下开展管道铺设工作, 能够不对地面造成影响, 确保地面交通流畅运行, 还不会影响周围建筑物。非开挖的特点及优势, 使其在城市繁华区域、交通流量较大区域以及地下管线复杂区域具有良好的应用效果, 可以在最大程度上避免对城市正常运行产生影响。

1.2 施工精度高

市政给排水工程对于施工精度的要求较高, 如果管道铺设精度无法达到要求, 很可能导致在后续运行过程中出现漏水等问题, 所以需要采用高精度的施工技术, 而顶管施工技术则能够很好地满足该要求, 顶管施工体系中包含精准的导向与纠偏设备, 可以对管

道铺设全过程进行实时监测, 一旦出现误差问题可以立即调整, 从而能够提升管道铺设施工质量, 减少后期运行维护工作量, 使得市政给排水工程能够保持长期稳定地运行^[1]。

1.3 性价比较高

市政给排水工程投资规模较大, 为了确保经济效益, 则需要采用先进的施工技术, 其中顶管施工技术具有较高的性价比, 主要是由于采用该技术不需要开挖大量土方, 可以减少施工总量, 并缩短施工周期, 且能够避免拆迁、改道等额外的费用, 从而全面降低工程投资, 避免出现资金浪费等问题。

1.4 环境适应性好

顶管施工技术具有良好的适应性, 在软土、砂石以及岩石等不同地质条件中, 都能够表现出良好的效果, 主要是由于顶管技术灵活性较强, 可以根据实际情况调整施工参数, 使得施工适应性提升, 从而为市政给排水工程提供了更加多样化的选择, 且该技术的污染性与破坏性较低, 基本不会对城市环境造成影响, 符合现代城市可持续发展的理念^[2]。

2 市政给排水工程概况

本市政给排水工程位于某新兴城市开发区内, 旨在满足该区域日益增长的居民生活用水及排水需求, 促进区域经济的可持续发展。该开发区规划总面积约 5 km², 预计常住人口将达到 8 万人。随着城市化进程的加速, 区域内住宅、商业及公共设施的建设不断推进, 对给排水系统的需求日益迫切, 所以本项目的实施对于提升区域基础设施水平、改善居民生活质量具有重要意义。

本工程采用双水源供水策略,主水源为距离开发区约10 km的一座中型水库,备用水源为城市供水管网,水库水质优良,经净化处理后可达国家饮用水标准;根据开发区规划及人口预测,设计日供水量为20 000 m³,变化系数取1.5,最大时的供水量为3 000 m³。在输配水系统方面,从水库至开发区设一条DN600的输水管道,全长约12 km,采用球墨铸铁管,确保供水安全;开发区内配水管网采用环状与枝状相结合的方式,主干管管径为DN400-DN200,支管管径为DN150-DN50,总长度约30 km;管网设有多个加压泵站,确保各区域水压均衡。在排水工程方面,采用雨污分流制,分别建设雨水管网和污水管网,提高排水效率,减少环境污染;根据开发区规划及排水量预测,设计日污水量为1.2万m³,雨水设计重现期取3年一遇;开发区内污水管道总长度约25 km,主干管管径为DN500-DN300,支管管径为DN200-DN100;在开发区下游建设一座日处理能力为1.5 m³的污水处理厂,采用A2/O工艺,出水水质达到国家一级A排放标准;雨水管道总长度约28 km,根据地形及汇水面积合理布置,管径为DN600-DN300;雨水通过管网收集后,就近排入周边河道或低洼地带,确保排水顺畅。

3 顶管施工技术在市政给排水工程中的应用要点

3.1 前期规划与准备

开发区内顶管施工沿线进行地质勘察,勘察范围覆盖整个施工区域,深度达到地下20 m,以准确掌握地下土层结构、岩性特征、地下水位及土壤渗透性等关键参数;采用钻探、原位测试及室内土工试验等多种方法相结合,共布置钻探孔50个,间距控制在50 m以内,确保勘察数据的全面性和准确性,勘察数据可以为顶管施工提供可靠的地质依据。

线路设计遵循“安全、经济、合理”的原则,结合开发区规划及给排水管网布局,设计顶管施工线路,确保线路避开重要建筑物、地下管线及不良地质区域;顶管线路总长度约1.5 km,其中穿越道路段采用曲线设计,半径不小于300 m,以适应地形变化,线路坡度控制在0.5%~1.5%之间,确保管道排水顺畅^[3]。

根据地质勘察结果和管道规格,选用泥水平衡式顶管机,该机型适用于软土至硬岩等多种地质条件,最大顶进力可达5 000吨,满足施工需求;配备液压千斤顶4台,单台顶力1 250吨;主顶油缸行程3 m,确保顶进过程的连续性和稳定性,并选用高精度导向系统,实现顶进方向的实时监测和调整。针对开发区内可能遇到的不同地质条件,定制化设计刀盘结构,

配备滚刀、切刀及刮刀等多种刀具,以适应软土、砂土及岩石的破碎需求;建立泥浆循环系统,包括泥浆池、泥浆泵及泥浆管道等,确保泥浆的循环使用,减少环境污染。泥浆池容积设计为200 m³,满足施工过程中的泥浆储存和循环需求。

3.2 工作井与接收井施工

本工程中工作井选在距离道路边缘10 m、地下管线密集区外20 m的开阔地带,根据顶管机型号及施工需求,工作井设计为矩形结构,长8 m、宽6 m、深12 m,井壁采用C30钢筋混凝土浇筑,厚度0.8 m,确保井体结构稳定。首先进行场地平整,设置围挡及安全警示标志,采用旋挖钻机进行分层开挖,每层开挖深度不超过2 m,开挖过程中及时进行井壁支护;井壁钢筋绑扎采用双层双向布置,钢筋间距150 mm,模板安装需确保平整、牢固,混凝土浇筑采用分层振捣,每层厚度不超过500 mm,确保混凝土密实度;井底开挖至设计标高后,进行素混凝土垫层施工,厚度100 mm,底板钢筋绑扎及混凝土浇筑同井壁施工标准,确保底板承载能力。施工过程中采用激光垂准仪进行井壁垂直度监测,每浇筑一层混凝土进行一次测量,确保井壁垂直度偏差不得超过1/500,并设置通风管道,采用轴流风机进行井内通风,确保井内空气质量符合安全标准^[4]。

接收井选在距离顶管线路终点5 m、地下水位较低的区域,同样设计为矩形结构,长6 m、宽4 m、深10 m,井壁及底板施工标准与工作井相同,确保接收井结构稳定。接收井开挖采用小型挖掘机配合人工进行,开挖过程中及时进行井壁支护,防止井壁坍塌;在接收井井壁内侧安装接收导轨及固定装置,导轨间距根据管道外径确定,确保管道能够顺利进入并固定;顶管机头到达接收井前,需对接收井进行清理及检查,确保接收装置完好,机头到达后采用千斤顶将管道缓慢顶入接收井,并与已铺设管道进行连接;管道连接采用橡胶圈密封连接,连接前对管道接口进行清理及检查,确保连接紧密、无渗漏;接收井施工完成后,需对井口进行封闭处理,防止杂物进入,并对井周进行回填及压实,确保地面平整及稳定。

3.3 顶进施工与注浆减阻

顶进设备配备4台200吨液压千斤顶,总顶力达800吨,行程为3 m,确保顶进过程的连续性和稳定性,并设置主顶油缸压力传感器和位移传感器,实时监测顶进力和位移。在顶管机安装调试完成后,进行初始顶进,首先启动液压千斤顶,将顶管机头缓慢顶入土中,顶进速度控制在每分钟5~10 mm,确保机头姿态稳定;

当初始顶进段完成后,进入正常顶进阶段。顶进速度可提升至每分钟 20~30 mm,但需根据地质情况和顶进力实时调整,每顶进 1 m 需停机检查机头姿态和管道连接情况;根据管道规格、地质条件和顶进距离,计算所需顶进力,本工程中 DN800 钢筋混凝土管道在软土中的顶进力约为每米 10~15 吨,硬土中约为每米 20~25 吨;在顶进过程中实时监测千斤顶的压力和位移,确保顶进力不超过设备额定值;每连接一段管道后,进行密封性检查,采用气压试验方式检查,试验压力为工作压力的 1.5 倍,保持时间不少于 30 分钟,确保无渗漏^[5]。

在注浆减阻施工时,选用优质膨润土和添加剂配制触变泥浆,泥浆比重控制在 1.05~1.15 之间,触变泥浆具有良好的流动性和触变性,能有效减少顶进阻力, DN800 管道每米注浆量约为 0.05 m³,总注浆量根据顶进距离动态调整。在顶管机头后方设置注浆管,注浆管间距为 3~5 m,确保泥浆能均匀覆盖管道周围。注浆管采用高压软管连接,便于灵活调整注浆位置,采用高压注浆泵,注浆压力控制在 0.2~0.5 MPa 之间。注浆泵具备流量和压力自动调节功能,确保注浆过程稳定可靠。在顶进过程中,同步进行注浆,注浆速度与顶进速度相匹配,确保泥浆能及时填充管道周围的空隙,从而可以有效减少地面沉降和顶进阻力;在顶进完成后,对管道周围进行补浆,补浆时从管道一端向另一端逐步进行,确保泥浆能充分填充管道周围的空隙,补浆压力略高于同步注浆压力,以提高注浆效果^[6]。

3.4 顶管纠偏

采用高精度激光导向系统,安装在顶管机头内部,通过激光束实时监测机头姿态和位置,激光发射器精度为 ±1 mm,接收器分辨率达到 0.1 mm,确保纠偏数据的准确性。在顶进过程中,每顶进 1 m 进行一次姿态测量,记录机头及管道的倾斜角度和位移量,当倾斜角度超过 0.5° 或位移量超过 10 mm 时,需进行纠偏操作;纠偏时主要采用千斤顶组进行微调纠偏,根据偏离方向调整相应千斤顶的顶进力,使机头逐渐回到设计轴线,每次纠偏量不超过 5 mm,避免过度纠偏导致管道应力集中;对于较长距离的偏离,采用分段纠偏的方法,每段纠偏完成后进行姿态测量,确认机头回到设计轴线后,再继续顶进^[7]。

采用水准仪或全站仪对管道沿线地面沉降进行监测,监测点间距为 10~15 m,监测频率根据施工进度和地质情况确定。施工后的检查与验收:地面沉降量应控制在设计允许范围内,本工程设定为不超过 30 mm,

如果地面沉降超过预警值,必须立即停机检查,分析原因并及时采取补救措施^[8]。采用全站仪对管道轴线和高程进行检测,每 50 m 设置一个检测点,测量管道的实际轴线和高程与设计值的偏差;管道轴线偏差不超过 ±50 mm,高程偏差不超过 ±30 mm,如果偏差超过标准,需进行纠偏处理,确保管道位置准确。

在管道安装完成后,进行闭水试验。试验段长度不宜超过 1 000 m,试验水头为管道设计水头加 2 m,保持时间不少于 24 小时;在试验水头下,管道无渗漏现象,本工程允许渗水量为每千米管道每 24 小时不超过 2.5 m³;在闭水试验合格后,进行通水试验,通水流量达到设计流量的 1.2 倍,持续通水时间不少于 24 小时;通水过程中,管道应畅通无阻,无堵塞现象,水流速度、流量等参数符合设计要求

4 结束语

顶管施工技术在市政给排水工程中的应用,具有显著的优势和广阔的前景,本文结合具体工程案例,对施工技术要点进行全面总结。实践证明顶管技术的应用效果显著,能够在对环境产生较小干扰的情况,确保给排水工程顺利实施,还可以提升工程质量、降低施工成本。未来,随着技术的不断进步和创新,顶管施工技术将更加高效、环保、智能化,为城市基础设施建设提供更加优质的解决方案,推动城市现代化建设与发展。

参考文献:

- [1] 孔凡龙,弓胜彤.市政工程顶管施工技术及其质量控制[J].建筑与装饰,2023(4):98-100.
- [2] 王朗.市政给排水工程中的长距离顶管施工技术的应用研究[J].科技资讯,2023,21(23):170-173.
- [3] 林鹏,林璐,何远圆.市政工程顶管施工中的沉井结构优化设计[J].城市周刊,2023(41):65-67.
- [4] 余国爱,陆致发,胡云现.市政工程顶管施工过程中常见问题及处理措施[J].云南水力发电,2023,39(12):46-51.
- [5] 宋国强.市政道路排水工程污水管顶管施工技术研究[J].运输经理世界,2023(19):16-18.
- [6] 宋心.市政给排水工程中的长距离顶管施工技术[J].工程建设与设计,2024(23):230-232.
- [7] 蔡国圜.长距离顶管施工技术在市政给排水施工中的运用[J].上海建材,2024(05):113-116.
- [8] 郑育芳.市政给排水施工中的非开挖顶管施工技术分析[J].工程建设与设计,2023(08):150-152.

污水处理厂机电工程安装施工技术实施要点

赵 伟

(秦皇岛排水有限责任公司, 河北 秦皇岛 066000)

摘 要 随着城市发展规模日益扩大, 污水处理厂的重要性日益凸显。污水处理厂承担着重要的职责, 与城市环境保护和环境改善密切相关, 更关系到城市的未来发展。本文以具体工程为例, 分析了污水厂在开展机电工程安装施工技术过程中的实施要点, 并探讨了安装注意事项, 旨在为提升机电工程安装质量提供参考。研究表明, 污水处理厂高度重视机电工程安装施工技术的应用, 明确技术要点, 不仅可以保证工程质量符合要求, 还能提高施工安全系数, 对施工成本进行有效的控制, 有助于推动新技术与新材料的应用。

关键词 污水处理厂; 机电工程; 安装施工技术

中图分类号: TU99; TU85

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.16.016

0 引言

近年来, 我国对污水处理工作予以高度重视, 该项工作不仅关系到生态环境的保护, 更关系到各大城市的未来发展, 与人们的生活和生产密切相关。国家积极开展污水处理厂建设, 同时对机电工程安装施工提出严格的要求。需准确把控机电设备安装施工要点, 熟练运用先进的施工技术, 才能有效保证安装质量, 避免设备在运行中出现安全隐患, 满足污水处理厂的各项需求, 提高污水厂的效益。

1 污水处理厂机电设备安装施工的重要性

污水处理厂主要用于处理各种污水, 利用多种处理方式将污水中的污染物去除, 使其达到排放标准。支撑污水处理厂运行的要素很多, 其中, 机电设备是其重要的组成部分。污水厂机电设备类型较多, 如水泵、潜污泵等。设备结构复杂, 安装难度高, 其安装质量直接关系到污水厂污水处理厂能否正常运行。安装机电设备时, 需加强对质量的有效控制, 熟练运用各种施工技术, 才能保证设备正常运行, 提高污水处理效率, 促进污水厂效益得到提升^[1]。正式安装机电设备之前, 安装人员需对污水处理厂的具体情况进行分析, 了解不同设备的运行环境是否符合要求。结合设备的安装说明书, 明确设备功能、结构、安装注意事项和安装步骤。通过这种方式, 安装人员可以严格遵循相关标准开展机电设备安装, 对安装质量进行严格把关与控制。设备安装完毕后, 还要及时安装管线, 确保安装内容准确无误, 没有遗漏, 才能满足后续污水处理需求^[2]。

2 案例简介

本研究以某城区生活污水处理厂改扩建工程为例。该工程涉及许多关键设施改良与建设, 如A20生物池、

终沉池、配水井、深度水处理车间、污泥回流泵房等。该工程施工中, 每一种设施施工具有独立性。施工涉及内容有砌体施工、装饰施工、设备与系统安装等, 通过分段施工的方式提高施工效率, 保证施工具有一定灵活性。该工程场地土壤为中软土, 具有一定的承载能力。此外, 施工场地地址条件良好, 可有效保证施工安全。

3 污水处理厂机电工程安装施工技术要点

3.1 配管施工

在机电工程安装施工中, 机电配管是一项重要内容。同时, 要将配管施工与土建施工同步开展, 一方面为后期开槽布设工作降低难度, 另一方面严格按照图纸要求, 将管道、接线盒和配电箱设置于指定位置^[3]。正式进行配管施工之前, 需加强对配管的检测, 保证其质量符合要求; 对材料质量进行全面检测, 确保材料质量达标。一旦发现材料存在扭曲、裂纹等问题, 或者配管发生变形, 需及时进行更换; 对配管检查时, 需保证管口有良好的平整度和光滑度, 配管内部没有任何杂物; 一旦发现管道有锈蚀, 需及时将其去除, 然后将防腐材料涂于管道内; 对配管进行连接时, 不可采用电焊工艺, 同时避免采用气割切割方式, 可利用管箍对其进行连接。配管施工涉及部分隐蔽工程, 例如: 暗配管, 若不能对施工进行有效把关, 就很难对其进行调整。因此, 要高度重视暗配管施工质量控制, 对其保护层厚度进行合理控制; 在接线盒和接线箱中穿入配管时, 需保证位置顺直和平滑, 对配管穿过两者后的暴露长度进行合理控制, 约为3毫米左右, 采用专业螺栓对管口位置进行固定, 安装期间, 需保证管口位置露出的螺纹丝扣数为2到3之间, 保证连

接紧密、安全。安装配管时, 尽量避免穿过变形的缝隙, 若必须要穿过, 则需要及时设置补偿装置, 保证管可以自由活动。安装钢配管、接线盒与配电箱时, 需对其开展接地保护, 避免出现触电的可能性。

3.2 粗格栅及提升泵房施工

在该工程中, 粗格栅及提升泵房工艺设备动力柜位于配电室 MOC1。在改造期间, 设置一个全新的动力柜 MOC1-5, 用于替换 MOC1-4, 提高工艺运行的稳定性与污水处理效率, 有助于优化配电系统。为有效提高安装质量, 满足后期维护需求, 需确保潜水电机电缆接线箱与工艺设备一同成套供应, 确保组件设计、制造与安装保持一致。安装期间, 需避免影响通行位置, 确保设备安全、可靠。安装动力电缆时, 首先要结合现有的配电室电缆沟, 对其进行敷设, 再沿着厂区电缆沟继续敷设, 直至到达粗格栅及提升泵房后, 将其穿过钢管, 引入工艺设备, 有效保护电缆。对管口进行封堵时, 采用高质量防火材料, 保证封堵严密。一旦管线长度超过规定, 或者线需要沿着伸缩缝穿过, 则要选择合适的位置, 设置过路箱, 保证电缆安全。

3.3 配线工程施工

在机电工程安装施工中, 配电工程施工是重中之重。施工人员要严格按照相应的规范和要求开展施工, 明确施工要点, 对施工质量严格把控。例如, 对电气线路与配管之间的最小距离进行合理控制, 严格遵循相应规范和要求, 对这一距离进行精准把控; 选择绝缘导线时, 需确定其规格与型号, 保证其具有良好的绝缘性, 且质量过关。配线施工阶段, 需加强对零线和保护地线的区分, 可采用不同颜色代表不同的线路, 避免线路混乱, 一般可采用黄绿色表示保护地线, 采用黑色表示零线。进行机电设备安装时, 在同一配线管中敷设不同电压与电流的导线时, 可能会产生电磁干扰, 需避免对其进行混合敷设, 要结合相应标准和规范, 将其分开敷设, 同时, 对这些导线进行有效隔离。将导线敷设在垂直方向管路之中时, 若导线长度比较长, 则需要将其在管口或接线盒中做好固定, 避免导线面临摩擦和损伤。开展电气连接时, 需保证连接位置稳定, 可采用加强型绝缘钢螺栓做好连接^[4]。

3.4 电缆安装

对电缆进行安装时, 要结合机电工程具体特征与具体设备, 采取合理的方式安装, 设置稳定支架, 满足电缆安装需求。对托架和支架进行固定时, 需严格结合设计方案的要求, 明确固定方式, 做好固定^[5]。需对支架的高低偏差最大值和托架支架左右最大偏差

值进行合理控制, 前者通常不超过 5 毫米, 后者不超过 10 毫米。污水处理厂的空间功能不同, 在不同空间安装设备时, 需考虑到设备的型号与种类, 合理布设电缆。一是将电缆布设与有坡度的位置时, 需保证支架与坡度一致。二是对电缆夹最上层和最下层到沟顶、沟底以及楼板的距离进行合理控制, 保证电缆安全。三是对电缆支架进行严格控制, 保证其得到有效固定, 避免因松动而导致电缆面临损坏风险。

3.5 氧化沟改造

对氧化沟进行改造时, 要考虑到在配电室 MCC2 安装工艺设备动力柜; 保留不少于 4 个接线盒, 目的是满足后续操作与维护需求, 确保曝气机得到控制; 应在保留接线盒的基础之上, 对电源进行连接。同时, 以成套的方式供应潜水电机电缆接线箱和工艺设备, 既可以方便安装, 又能为后续维护提供更多便利。安装工艺电机时, 明确安装位置, 可在地箱 LCP 设备旁边进行安装。对动力电缆进行敷设时, 要考虑到以下几点: 一是沿着现有配电室电缆沟与污水处理厂的电缆沟依次敷设, 直至抵达氧化沟。二是将电缆穿过钢管, 将其引入到电控箱之中, 实现对电缆的保护。三是采用高质量防火材料对管口位置进行封堵, 保证其具有良好的严密性。四是采用性能较高的不锈钢桥架, 保证其具有良好的抗腐蚀能力, 可以稳定运行。五是将钢板设置在桥架之上, 保证桥架的承载能力增强。六是对支架之间的距离合理控制, 避免其超过两米。

3.6 防雷接地系统安装

在机电工程安装施工中, 要将防雷接地系统安装在重要地位, 保证系统有良好的防雷接地效果。在具体安装时, 需针对每一个设备设置相应的接地系统, 减少雷击对污水处理厂所造成的影响。对防雷接地系统进行安装时, 需结合三类防雷保护标准, 加强对建筑和设备的保护, 避免其遭受雷击。通常设置 TN-S 保护接地系统, 对整个建筑中的机电设备进行连接, 使其成为庞大的接地系统, 有效保证设备安全可靠。需对接地电阻的最大阻值进行有效的控制, 避免其超过 1Ω , 一旦其遭到雷击, 也可及时将电流引入大地, 减少对设备造成的破坏, 保护工作人员人身安全。一旦接地电阻不能满足上述标准, 就要考虑设置人工接地极。对人工接地极进行布设时, 进一步降低接地电阻, 保证接地系统的性能更加完善。为了减少触电风险, 需将建筑内的保护干线和相关金属构件进行有效连接, 打造完整的接地网络, 实现等电位连接, 同时避免采用焊接工艺对金属管道进行连接。

若涉及电源、引入线和弱电设备等安装时,需设置浪涌保护装置,通过这一装置可对设备进行有效保护,避免其受到雷击。在电井内部,需加强对接地干线和楼板钢筋之间的连接,以每隔三层为标准,对其进行焊接处理,实现等电位连接,减少出现触电风险的可能性。做好局部等电位连接,将所有配电箱、钢管等设备进行连接,可采用导线、水平扁钢作为连接工具。将屋面内的所有金属构件和金属装饰构架等相关设备开展接地处理。对金属构架进行接地处理时,要选择不少于两个位置,将其与避雷引下线进行连接。对引下线进行设计时,可选择主钢筋作为引下线,保证其与接地体连接,并对接头位置进行焊接处理,焊接完毕后,开展防腐处理。若涉及弱电系统时,需提前留出管路^[6]。

3.7 等电位连接系统施工

需确保所有机电设备的金属外壳和金属门窗等环节得到有效连接,施工人员要采用总等电位连接端子板对上述内容进行连接,这样可以减少触电风险。开展等电位连接时,还要考虑设备是否与电源进线实现有效连接,这样可以保证所有金属部分接地。为了提高连接效果,需将铜制品作为主要的连接材料。

在等电位连接系统中,需对所有导体采取焊接的工艺将其进行连接,使其成为统一的整体,同时要严格保证焊接质量。对其进行连接时,也可选择光滑平顺的螺栓。同时,加强对隐蔽工程质量的检查,重点关注暗敷等电位连接是否符合要求,一旦发现问题,需及时进行处理。在施工图纸中清晰标记隐蔽工程的连接部位和线路,确保系统安全可靠。在施工期间,需对各参建方进行合理协调,使其能够彼此互相配合,确保施工任务顺利完成。

当等电位连接系统施工任务完成以后,需对其进行全面验收,保证质量没有问题以后,还要及时进行导通测试。明确导通测试的电压范围,最小值为4 V,最大值为24 V,可对设备的导通性能进行测试,同时还能保证测试安全可靠。选择测试电流时,需保证电流值超过0.2 A。当测试结果显示电阻数值小于1 Ω ,说明等电位连接效果符合要求。

4 污水处理厂机电设备的安装施工注意事项

4.1 做好前期准备工作

一是高度重视设备采购。要严格保证设备的性能和符合施工要求,确保后续施工顺利进行。通常要通过招标的方式与信誉度较高的生产商进行合作,从源头上把控设备质量。二是由经验丰富的安装人员

负责安装机电设备,保证设备的安装质量得到有效控制。三是做好交接工作,对机电设备产品进行有效的审核与对比,保证产品质量合格。安装人员和监理人员要高度重视设备检查,对各种零部件进行严格的检查,保证数量齐全,避免零部件出现质量问题。四是对现场材料进行规范化管理,由专业的管理人员负责对各类材料进行分类与保管,避免材料质量出现问题^[7]。

4.2 对安装过程进行有效管理

一是结合现场具体情况,明确设备安装位置。二是严格按照相关要求开展测量放线。三是对重点部位加大控制力度,需对接地电阻和接地网的敷设进行有效处理,加强对各道工序的有效控制。四是高度重视管道铺设,结合相应的检测标准,对管道的安装强度等相关内容进行选择和检查,提高管道密封性。此外,明确机电设备安装流程,提高安装人员的安全防范意识,使其严格规范自身行为。

5 结束语

在污水处理厂的机电工程进行安装施工中,要严格保证安装质量,这将直接关系到污水厂设备运行效果和污水处理效率。由于施工要点较多,需做好相应的准备工作,选择资质过关、信誉度较高的供应商开展合作,从源头上把关材料与设备质量,同时,对安装过程进行全面管理,对每个工序进行严格控制。在具体施工中,需结合污水处理厂的要求、机电工程施工特点和不同设备运行要求,严格把控机电工程的安装质量,提高机电设备运行的安全性和可靠性,提高污水处理效率。

参考文献:

- [1] 王锦涛.污水处理厂机电工程安装施工技术要点分析[J].四川水泥,2023(07):129-131.
- [2] 潘群波,郭旭彬,孟羿,等.污水处理厂安装工程主要施工技术分析[J].皮革制作与环保科技,2022,03(22):144-146.
- [3] 李世涛.污水处理厂安装工程主要施工技术[J].智能建筑与智慧城市,2020(03):92-94.
- [4] 姜晓刚.污水处理厂机电工程安装施工技术要点分析[J].住宅与房地产,2019(36):194,203.
- [5] 魏金羊.高原地区污水处理厂机电设备安装及调试对策[J].造纸装备及材料,2024,53(12):141-143.
- [6] 李建华.污水处理厂A2/O和A/O污水生化处理工艺的对比及选择研究[J].山西化工,2024,44(11):243-246.
- [7] 董佳.污水处理厂电气能耗路径分析与节能措施探讨[J].节能与环保,2024(06):65-71.

水利工程施工中的高边坡开挖支护技术应用研究

何贤翠

(肥西县淠史杭灌区管理中心, 安徽 合肥 231261)

摘 要 水利工程作为国家基础设施建设的主要组成部分, 其施工质量会影响到水利工程施工单位的发展。开挖和支护技术是高边坡施工中最主要的环节, 在施工中容易受各种因素影响而出现施工质量问题。本文主要针对水利工程施工中高边坡开挖支护技术进行了探讨, 并明确了钢筋铺设和锚杆支护等多种技术应用要点, 以期为确保水利工程高边坡开挖与支护施工质量提供参考。

关键词 水利工程; 高边坡开挖; 支护技术

中图分类号: TV551.4

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.16.017

0 引言

水利工程建设是一项重要的民生工程, 通过水利工程建设不仅能推动社会经济的发展, 还有利于确保人们的生活质量。但与其他工程项目相比, 水利工程施工周期长, 施工环境复杂, 施工难度大, 涉及的技术内容比较多, 还很容易受各种因素影响。所以, 为促进施工单位的发展, 确保水利工程施工工作顺利地实施, 在具体进行水利工程施工的过程中, 施工人员不仅要按照施工的流程, 还要充分应用高边坡开挖施工技术。同时, 施工单位要安排专门的人员, 加强水利工程施工质量的控制, 从而确保水利工程施工质量。

1 水利工程中高边坡开挖支护技术应用的重要性

1.1 有利于确保水利工程施工安全

施工人员利用高边坡开挖支护技术进行水利工程施工工作, 有利于确保施工安全。具体体现在以下两个方面: 一方面, 提高边坡稳定性。在开展水利工程施工活动的过程中, 利用锚杆和锚索等多种支护手段, 运用高边坡开挖支护技术, 做好边坡加固处理, 可确保边坡稳定性, 避免边坡发生滑塌的现象。另一方面, 减少地质灾害。在水利工程施工中, 充分应用高边坡开挖支护技术, 可降低出现地质灾害现象的概率, 避免威胁到施工人员的财产及生命安全, 保障整个水利工程的安全。

1.2 有利于提高水利工程施工质量

在水利工程施工中, 施工人员根据当前的施工情

况充分应用高边坡支护施工技术, 能确保整个水利工程的施工质量。第一, 满足设计要求。在具体应用这项技术进行水利工程施工时, 施工单位应按照水利工程设计要求, 引进先进的设备, 做好边坡精准开挖和支护处理工作, 以获得良好的支护效果, 从而满足设计要求。第二, 增强结构的稳定性。通过应用高边坡支护施工技术进行支护处理, 使边坡和水利工程主体结构形成一个整体, 有利于确保水利工程的稳定性。

1.3 有利于保障水利工程施工进度

施工人员在水利工程施工过程中应用高边坡开挖支护技术, 能降低施工的难度。以加固处理为例, 引入深层支护技术, 可提升边坡的安全性, 同时还有利于保障水利工程施工进度。例如: 在高边坡开挖工作过程中, 施工人员按照要求应用钻孔爆破开挖技术, 可顺利完成开挖作业, 缩短施工周期, 降低施工成本, 加快施工进度。

2 水利工程中高边坡开挖支护技术的要点

2.1 高边坡开挖技术

2.1.1 土质边坡开挖技术

土质边坡开挖技术是最重要的一种边坡开挖技术, 施工人员可将这项技术应用在水利工程施工中, 并做好土质边坡开挖工作, 促使水利工程施工建设工作有效地开展。具体可从以下两个方面入手: 一方面, 要做好地质勘察和评估, 明确和土质相关的参数, 如土质性质和坡度等, 再根据水位的变化, 选择开挖的坡度, 其目的是避免坡体变形^[1]。与此同时, 开挖坡度不能

过大,因为这会影响到坡体的稳定性。当前机械开挖和人工开挖以及爆破等方法应用最多的土质边坡开挖方法,施工人员在具体进行土质边坡开挖的期间,需要结合当前的情况,根据地质条件和周边因素,选择合适的开挖方法。另一方面,不管是排水,还是加固处理,在土质边坡开挖的过程中,施工人员要特别注意做好排水处理,其目的是保持坡体干燥,如果发现坡面不平整,需要按照要求对防护网进行铺设,并做好加固处理,增强边坡抗冲刷能力^[2]。在结束土质边坡开挖工作后,需要施工人员进一步修整边坡坡面,保持坡体美观,强化坡体抗侵蚀能力。

2.1.2 岩质边坡开挖技术

在岩质边坡开挖的前期阶段,需要工作人员加大勘察力度,做好地质勘察工作,并详细地分析岩土性质,采取取样的方法获取和岩石有关的信息,如岩石结构、岩石的岩性和裂缝分布,为以后的开挖工作提供重要的数据支撑。另外,还需考虑岩石的硬度和地形地貌,按照设计的要求,结合地质勘察结果,完善现有的开挖方案,在爆破和机械挖掘以及钻孔爆破等开挖方法中,选择合适的开挖方法进行岩质边坡开挖工作,并做好相应的清理^[3]。其中,爆破是最常用的开挖方法,具有三个应用步骤,分别为钻孔、装药、起爆,施工人员应按照步骤炸裂岩石,再进行进一步的清理。机械挖掘也是一种开挖方法,适用于岩土松软的情况,利用挖掘机能快速清理岩石。但要想提高岩质边坡开挖施工工作的质量,要特别注意在具体开挖施工期间的装药量和钻孔间距等爆破参数。在开挖期间,如果出现裂缝现象,要及时地解决,做好破碎处理。此外,还需要做好排水工作,保持施工区域更加清洁。在必要的情况下,需对碎石进行清理,避免造成排水口堵塞。

2.1.3 测量放线技术

在水利工程施工过程中,应用测量放线技术有利于提高边坡开挖的准确性,还能为以后的支护工作提供重要的数据支持。施工人员在边坡开挖的前期阶段,需要加大测量力度,利用全站仪和GPS等现代化测量设备以及水准仪等平面测量工具做好地形测量工作,得到施工区域的相关参数,比如高程、坡度以及地貌等,以便为日后开展放线工作提供数据基础。在放线方面,对于边坡的放线点位和放线标高,要按照工程设计要求,结合地形测量结果合理地布置,并在边坡的顶部和底部位置合理选择放线点位,其目的是提高坡面平整度^[4]。除此之外,还要结合设计要求,明确放线的标高,加强对开挖深度和坡度的控制,再利用测量仪器,

结合放线点位做好放线作业。具体可利用现代化测量设备,运用量角器实施放线作业,并在具体作业期间保证放线点位更加的准确,与放线标高相一致,防止放线作业出现较大的误差而影响整个施工工作。

在做好放线作业后,需要加大验收力度,并做好对放线数据和测量结果的记录,构建相应的档案,以便施工人员依据档案内容进行工程后续施工和验收工作。

2.2 边坡支护施工技术

2.2.1 锚杆施工技术

为确保水利工程施工活动顺利地展开,提高边坡稳定性,保障水利工程整体的施工安全,施工人员在施工期间要认识到边坡支护技术的重要性。其中,锚杆施工技术是最主要的施工技术,具有非常多的优点,如结构简单、便于施工等。其具体分为三个施工步骤,分别为锚杆布设、钻孔作业以及安装张拉,通过合理应用锚杆施工技术,能确保边坡稳定性^[5]。在进行锚杆施工的过程中,要做好施工的前期准备工作,结合施工具体情况,按照设计要求,根据锚杆的位置和间距以及长度等参数,完善现有的锚杆布设方案,确保方案具备可行性。施工人员要做好钻孔作业,因为这是锚杆施工最主要的环节,在具体钻孔作业过程中,要合理选择钻孔位置和钻头,并在岩土钻进过程中严格按照要求进行作业,确保钻孔参数与设计相符,锚杆能安全固定。钻孔作业结束后,需要将钢筋拉入钻孔中,并将水泥浆等具有耐久性的灌浆材料注入其中,而且在具体注浆过程中,要严格控制注浆速度,保证灌浆充满整个钻孔,实现锚杆和岩体相结合,确保支护稳定性。在安装好锚杆后,施工人员需要将张拉作业落到实处,其目的是强化边坡抗拉性能^[6]。锚杆施工结束后,要做好防护罩的设置,避免受外界环境的影响对锚杆造成破坏,以达到保护锚杆的目的。

2.2.2 深层支护技术

在施工的前期阶段,相关人员需详细分析岩土性质,做好地质勘察工作,获取和边坡有关的关键参数,如边坡地质构造、岩土性质和地下水位等,再结合实施地质勘察工作得到的结果选择合适的支护方法,完善现有的深层支护方案。根据边坡地质条件和倾向,按照工程要求合理设计支护结构,保障该结构能固定边坡,确保边坡稳定性^[7]。在深层支护施工中,锚杆是最主要的组成部分,施工人员要按照施工的要求做好锚杆施工工作,增强边坡稳定性,确保支护的效果。此外,还要做好喷锚网施工和防护层施工。第一,喷锚网施工。喷锚网通过对混凝土进行喷射,使边坡表

面形成坚固的防护层,提高边坡的抗侵蚀能力。但要想确保喷锚网施工工作顺利地实施,施工人员需采用合格的喷射材料,使用喷射设备进行喷锚施工作业,确保形成坚固的防护层。第二,防护层施工。防护层施工是深层支护施工中最主要的组成部分,施工人员要选择质量合格的防护材料,并在施工过程中结合地质条件,将防护材料合理地喷涂在边坡表面,确保形成坚固的防护层。

2.2.3 挡土墙支护技术

挡土墙支护技术是边坡施工中最重要的一种技术,合理应用挡土墙支护技术可避免边坡塌方现象,提升水利工程的安全性。施工人员在施工过程中要注重对挡土墙支护技术的应用^[8]。第一,在设计阶段,需要根据挡土墙的类型合理地明确挡土墙的高度和宽度等参数和技术指标,并完善现有的支护方案;第二,在挡土墙支护施工的过程中,施工人员首先要做好边坡开挖工作,保障开挖面更加的平整。在必要的情况下,需加大清理力度,采取有效的方法对坡脚的松散土石进行清理,保障挡土墙的基础能支撑在地基上;其次,可运用分段浇筑的方法进行挡土墙施工作业,确保施工的质量;最后,需按照要求对钢筋进行布置,以强化挡土墙变形能力。此外,在混凝土浇筑中还需特别注意浇筑质量,以保障混凝土浇筑的均匀性,并控制好挡土墙表面光滑度,必要的情况下要做修整处理。

2.2.4 混凝土喷涂支护技术

混凝土喷涂支护技术是水利工程施工中的一项重要技术。在施工过程中,施工人员需按照以下步骤开展施工作业。第一,做好预备工作。施工前要对边坡的表面进行清理,将松散的土石移除,保障混凝土能粘附在边坡表面上。这时如果边坡表面有的部分具有很大裂缝,施工人员要采取有效的方法去修补,提高混凝土的牢固性。第二,需结合施工具体情况准备水泥、沙子和骨料等喷涂混凝土的材料,并按照合理的配比进行相应的搅拌工作,提高混凝土的粘附性。再将塑料剂添加在其中,强化混凝土的性能。之后,施工人员佩戴好安全帽和防护罩,按照施工的流程使用喷涂机做好混凝土喷涂支护工作。在具体工作的过程中要特别注意对喷涂机角度的调整和喷涂的厚度,保障在边坡表面上均匀地喷涂混凝土,从而提高混凝土喷涂层的均匀性。

3 高边坡施工质量控制措施

在高边坡施工质量控制过程中,首先,要成立专门的质量管理部门,明确质量管理人员的工作职责,

要求质量管理人员进行有效的施工质量监督工作,实现施工质量的控制。在施工前期阶段,要严格按照支护方案要求,做好对施工人员的培训工作,提高施工人员的综合素质。严格把关钢筋和混凝土等材料的质量,在材料投入现场前抽取部分材料进行检测,确保施工材料的质量达到要求;其次,施工过程监控。在施工现场设置专门的监测点,以监测边坡变形的情况,并结合当前的施工情况,对施工参数进行调整;最后,构建档案管理系统。对施工关键数据进行记录,并全面审查施工记录,如发现问题要及时解决,以便施工人员依据施工记录进行后续的施工作业。随着现代信息技术的迅速发展和应用,在施工质量控制的过程中,工作人员可发挥现代信息技术的优势,合理应用现代信息技术。例如:应用人工智能技术深度挖掘监测数据,预测边坡的变形趋势,为施工决策的制定提供重要依据;应用BIM技术进行施工质量控制,构建高边坡三维模型,模拟不同支护方案的效果,以完善施工设计方案。

4 结束语

在水利工程施工中,施工人员根据工程的要求,合理地应用高边坡开挖支护技术,不仅能提高施工的质量,还能避免出现施工安全风险问题。所以,施工人员需重视对高边坡开挖支护技术的应用,在水利工程施工前期,根据水利工程实际情况,选择合适的高边坡开挖支护技术,充分发挥其优势,以提高施工质量。未来,随着科学技术水平不断提高,需持续地优化高边坡开挖支护技术措施,以满足日益增加的工程需求。

参考文献:

- [1] 王焯,王曦,张佳伟,等.水利工程施工中边坡开挖支护技术的应用[J].中国住宅设施,2024(02):187-189.
- [2] 杨正平.边坡开挖支护技术在水利工程施工中的应用[J].石材,2023(12):90-92.
- [3] 张帆.水利工程施工中的边坡开挖支护技术分析[J].水上安全,2023(07):170-172.
- [4] 卢雪涛.水利工程施工中边坡开挖支护技术研究[J].城市建设理论研究(电子版),2023(23):208-210.
- [5] 张璐.水利工程施工中高边坡开挖爆破与支护技术的应用[J].石材,2023(08):28-29.
- [6] 黄耀坤.边坡开挖支护技术在水利工程施工中的应用[J].黑龙江水利科技,2023,51(04):140-143.
- [7] 马秀芳.边坡开挖支护技术在农村水利工程施工中的应用策略[J].数字农业与智能农机,2023(04):38-40.
- [8] 徐力泽.水利工程中高边坡开挖与支护工程的施工要点分析[J].黑龙江水利科技,2022,50(10):73-75.

高层建筑深基坑支护工程 施工技术与质量控制要点

刘 斌

(深圳华创建筑装饰股份有限公司, 广东 深圳 518000)

摘 要 在城市化进程不断加速的背景下, 深基坑支护工程的施工安全与质量保障面临多重技术挑战。复杂地质条件下的支护结构选型、周边建筑变形控制要求、地下水文环境影响等因素交织, 使得传统施工经验难以满足现代工程需求。在当前行业实践中, 支护方案设计与现场施工的衔接断层、监测数据与工艺调整的反馈迟滞等问题直接影响了工程风险管控效能。构建动态化的风险管控体系, 实现勘察、设计、施工的全过程协同, 成为提升深基坑工程质量的关键突破口。本文对高层建筑深基坑支护工程施工技术与质量控制要点进行研究, 以期为相关人员提供借鉴。

关键词 高层建筑; 深基坑支护工程; 喷锚网支护施工; 护坡桩施工; 土钉支护施工

中图分类号: TU753; TU712.3

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.16.018

0 引言

高层建筑基础工程的安全性和经济性达到平衡状态, 这就对深基坑支护技术提出了更高的要求, 在软土地区, 支护结构会出现变形超标的情况, 而在富水地层进行降水作业时, 又会引发周边沉降等一系列问题, 这些问题充分暴露了传统施工方法存在的技术局限性, 由于支护体系和土体之间存在相互作用的动态特性, 施工过程控制成为保障质量的核心环节。构建全周期监控与预警体系, 在保证工程安全的同时还可以实现资源的优化配置, 这已然成为行业技术实现升级的一个关键方向。

1 高层建筑工程深基坑工程特点

1. 风险性。深基坑开挖深度较大且地质条件复杂多变, 施工时很容易碰到地下水渗漏、土体失稳以及基坑隆起等风险情况, 这些风险对施工现场人员的生命安全构成威胁, 也可能致使周边建筑和地下管线遭受损害, 甚至引发更广泛的环境问题, 风险防控成为深基坑工程首要任务, 要借助科学的地质勘察、精细的设计计算以及严格的施工管理来降低风险。

2. 区域性。区域性特点表现在深基坑工程受地理位置、气候条件、地质构造等自然因素影响较大, 不同地区地质条件差别极大, 像软土地区容易出现流变现象, 硬岩地区则可能面临爆破方面的难题, 深基坑

工程的设计与施工要充分考量地域特性, 根据实际情况采取相应措施, 保障工程的安全与稳定。

2 高层建筑深基坑支护工程施工技术

2.1 喷锚网支护施工

喷锚网支护施工属于一种复杂的地质工程技术, 它的核心价值在于达成对不稳定地质体的精确加固以及系统性控制, 这个过程并非单纯的技术操作, 而是一个囊括地质力学、材料科学和工程力学的多学科交叉综合性技术体系, 从施工的微观技术路径来讲, 喷锚网支护要建立一个以地质条件精准评估为根基、以结构力学计算为指引的全过程动态管理系统, 其技术实现路径可被概括为地质体—支护系统—受力机制的复杂耦合过程。在具体施工技术实践当中, 借助地质雷达、三维扫描等高精度感知技术, 对基坑地质结构展开精确测绘以及稳定性评估, 为后续支护设计提供科学依据, 施工时, 钢筋网的安装不只是简单的网格铺设, 还得基于有限元分析方法, 依据不同地质条件和应力分布特征, 进行针对性的网格布局以及受力点优化设计。锚杆作为支护系统的关键受力单元, 其深度、角度、间距的设计要综合考量地层岩性、裂隙分布、地下水位等多重复杂因素, 借助精密的地质力学模型模拟, 确定最优的锚固参数, 混凝土喷射阶段是一个高度精细化的施工过程, 要求喷射设备有高精度的喷

射控制能力,还需要对混凝土的配合比、喷射压力、喷射角度等参数进行实时动态调控,保证喷射质量的均匀性以及结构的整体性。在养护环节,要建立基于多参数监测的动态养护管理体系,依靠温度、湿度、应力等多维度传感器,实时监测混凝土的养护过程,并根据实时数据动态调整养护策略,最终来构建一个有高度适应性、智能感知和自我优化能力的地质工程支护技术系统。

2.2 护坡桩施工

护坡桩施工是高层建筑深基坑支护体系里的关键部分,其技术复杂程度以及工程安全状况直接和基坑稳定性与周边环境安全有关联,这项技术借助科学地布置倾斜或者垂直的钢筋混凝土桩或者钢桩,在基坑周边打造出一道有高强度承载能力的连续屏障,其主要作用是阻断土体滑移的路径并且平衡侧向土压力,以此有效地抑制基坑壁坍塌的风险,保证邻近建筑物以及地下管线的结构完整。在实施期间,桩体参数设计要综合考虑地质勘察数据、基坑开挖深度以及周边荷载分布,依靠三维有限元分析来确定最优的桩长、直径以及间距组合,像软土地区大多时候会采用大直径桩体来提高抗剪能力,钻孔阶段要依据地层特性选择合适的工艺,对于松散砂层适宜采用泥浆护壁法,借助动态调整泥浆比重一般控制在 1.15 g/cm^3 至 1.3 g/cm^3 来维持孔壁稳定性,而对于岩层地层则建议使用旋挖钻机配合护筒跟进技术,保证成孔垂直度偏差小于等于 $1/100$ 。

钢筋笼制作需严格遵循抗震设计规范,主筋连接采用机械套筒或焊接工艺,箍筋间距误差控制在 $\pm 20 \text{ mm}$ 以内。混凝土灌注环节需采用分层振捣技术,确保桩身混凝土密实度达到 95% 以上,同时预埋声测管用于后期桩身完整性检测。值得注意的是,桩间土开挖应遵循“分层分段、对称平衡”原则,单次开挖深度不宜超过 2 m ,且需配合锚杆或内支撑系统形成协同受力体系^[1]。

2.3 土钉支护施工

高层建筑深基坑土钉支护是现代工程地质技术里的核心解决办法,其有的复杂性与精确性比传统支护方法高出许多,从开展地质勘察一直到最终进行施工,每一个环节都得有严格的科学论证以及精细的工程管理,依据相关工程数据的统计情况,在复杂地质条件下,土钉支护技术可把基坑变形控制在 $5 \sim 8 \text{ cm}$ 的范围之

内,能有效降低工程风险系数大概 62% 。地质勘察阶段不光要开展常规的岩土工程调查工作,还要借助先进的地球物理勘探技术,像电阻率剖面法、地震波透射法等,精准测定地层结构、岩土体物理力学特性以及地下水动态变化,在支护设计方面,工程师要综合考量土质类型、地下水位、周边建筑物荷载等多种复杂因素,运用有限元分析方法精准计算土钉的最佳布置密度、角度以及锚固长度。以典型的黏土地层当作例子,土钉的有效锚固长度一般需要控制在 $8 \sim 12 \text{ m}$,锚固角度维持在 $15 \sim 30$ 度,并且要选择抗拉强度不低于 600 MPa 的高强度钢材,以此保证支护结构的整体稳定性。在施工过程中,土钉支护的关键技术囊括精确的分层开挖、分段支护、锚杆安装以及喷射混凝土面层施工。现代土钉支护已经广泛运用智能化监测技术,比如采用光纤光栅传感器、高精度 GPS 变形监测系统以及多点位移计,实现对基坑壁变形、土体应力的实时动态监控,水文地质条件的复杂性促使工程师采用系统性的降水技术,凭借深井降水、管井降水以及电渗等办法,将地下水位精准控制在设计允许的范围之内^[2]。

2.4 逆作拱墙施工技术

逆作拱墙施工技术是深基坑工程领域的一种创新性支护方式,它借助构建预应力自平衡拱形结构体系,把传统的被动支护转变为主动受力模式,这种技术适用于高水位软土地区或靠近敏感建构物的深基坑工程,其核心优势是利用拱结构力学特性,将侧向土压力转化成轴向压力,降低支护结构弯矩,提高材料利用效率。具体实施时要依据三维地质模型进行拱墙参数化设计,使用有限元软件模拟不同工况下拱脚反力分布,确定最优拱轴线方程,一般采用悬链线或抛物线型,拱墙厚度要根据跨度大小按照 $0.08 \sim 0.12 L$ 动态调整,混凝土强度等级不应低于 C35 以保证抗裂性能^[3]。

施工流程遵循“分段跳槽、随挖随支”原则,初期开挖导槽宽度应控制在 $1.5 \sim 2$ 倍墙厚范围内,采用跳槽法间隔施工相邻拱段,避免应力集中导致拱脚失稳。模板支撑系统需设置双向可调节螺杆,确保拱形模板轴线偏差 $\leq 5 \text{ mm}$,混凝土浇筑时采用分层分段对称浇筑工艺,每层浇筑高度不超过 800 mm ,并通过附着式振捣器实现密实度 $\geq 97\%$ 的质量控制标准。拱墙接缝处应预埋注浆管,在混凝土初凝后实施压力注浆,确保接缝抗剪强度达到母体强度的 85% 以上^[4]。

3 高层建筑深基坑支护工程施工质量控制要点

3.1 加强施工队伍的培训和管理

在高层建筑深基坑支护工程里,施工团队素质以及管理体系的构建需要进行系统规划并且全面实施,首先要创建分层次、多维度的培训机制,把理论学习和实操演练有机融合在一起,除了包含常规施工技术与安全规范外,还要着重强调深基坑特有的风险识别以及应对策略,培训内容应该有土体力学基础知识、支护结构设计原理、监测数据解读技能、机械设备操作规程以及应急处置流程等专业内容,同时也要兼顾BIM技术应用、绿色施工理念以及质量标准体系等前沿知识,保证施工人员在技术层面实现“知其然”与“知其所以然”的统一。培训方式要突破传统单向灌输模式,引入情景模拟、案例分析、虚拟现实等互动教学手段,并且建立定期考核与技能认证制度,形成“培训—实践—评估—再培训”的闭环机制,在管理体系构建方面,要以项目为中心,构建扁平化、网格化的组织结构,明确各层级职责与权限边界,建立透明高效的沟通渠道^[5]。

3.2 提高深基坑支护施工材料的质量

在深基坑支护工程里面,材料质量控制要实行全生命周期管理策略,从把控源头来说,要建立供应商资质评估以及动态管理体系,经过实地考察、样品测试以及历史业绩分析等多个维度进行评价,挑选出技术实力强、信誉度高的材料供应商,并且和其建立战略合作关系,材料选择要遵循适用性、耐久性、经济性相平衡的原则,依据基坑深度、周边环境敏感性以及地质水文条件,精准挑选符合工程特性的支护材料。比如对于深度超过20 m的基坑,混凝土强度等级不能低于C30,而且要选用抗渗性能不低于P8的配方,对于地下水丰富的区域,就需要采用防水性能优良的止水材料以及经过防腐处理的钢材,进场验收环节,要构建供方检验、发货检验、到货检验的“三检制”和专业检验、第三方检测、项目部复核的“三级把关”相结合的质量控制网络,重点检测钢材的屈服强度、伸长率以及冷弯性能,混凝土的坍落度、含气量以及立方体抗压强度,土钉与锚杆的拉拔力等关键指标^[6]。存储与养护阶段,要根据材料特性采取针对性保护措施,像钢材要放在通风干燥的地方并且进行防锈处理,水泥要采用先进先出的原则并且防止受潮结块,混凝土要根据气温条件确定养护周期和方式。在使用过程中,要实施动态检测以及适时调整策略,定期抽样送检并且追踪材料实际性能表现,及时发现并纠正偏差^[7]。

3.3 加强支护结构变形控制的监测和防范

在高层建筑深基坑支护工程当中,构建结构变形控制的监测与防范系统时要遵循多维度且全方位的设计理念,监测体系要包含时空维度,也就是要对支护结构施工的整个过程以及空间的全部范围开展动态跟踪,特别要留意开挖阶段以及降水过程里的变形响应特性。监测数据处理不能只局限于单点观测值的比对,要结合有限元分析、统计模型以及人工智能算法,建立起变形预警阈值动态调整机制,达成对潜在风险的早期识别。监测成果要和施工过程紧密相连,凭借建立闭环反馈机制,及时优化支护参数以及施工工艺,像调整支撑预应力、优化开挖顺序或者增设临时加固措施,针对不同的地质条件以及周边环境,监测重点也有差异,软土地区更注重地面沉降与隆起,砂性土地区要密切关注渗流与管涌风险,岩石地区则需监控节理裂隙扩展情况。防范体系建设方面,最关键的是把“被动响应”转变为“主动预防”,借助多级预警机制与分层次应急预案,针对不同预警等级采取相应防范措施,保证支护结构一直处于可控状态^[8]。

4 结束语

高层建筑深基坑支护工程施工技术与质量控制是确保工程安全与质量的关键。通过不断优化施工技术、加强质量控制要点管理,可以有效提升深基坑支护的稳定性和安全性。未来,随着建筑技术的不断进步和管理的日益完善,高层建筑深基坑支护工程将实现更高水平的安全与效益。

参考文献:

- [1] 刘凯.高层建筑深基坑支护工程施工技术与质量控制要点[J].中国建筑装饰装修,2025(03):124-126.
- [2] 赵晖.深基坑支护技术在高层建筑工程施工中的应用分析[J].建材发展导向,2024,22(12):79-81.
- [3] 张庆,贺海利.深基坑支护技术在高层建筑工程施工中的应用[J].工程机械与维修,2023(05):210-212.
- [4] 黄维.高层建筑地下室基坑支护工程结构设计与施工问题研究[J].石油工程建设,2021,43(05):152-153.
- [5] 孙文林.高层建筑地下室基坑支护工程结构设计与施工问题分析[J].建筑技术开发,2021,48(07):153-154.
- [6] 庞旭辉.高层建筑地下室基坑支护工程结构设计与施工处理[J].居舍,2020(14):74.
- [7] 徐敏.探究建筑深基坑支护工程的施工要点及施工管理[J].建材与装饰,2019(28):201-202.
- [8] 毛兴建.探究建筑深基坑支护工程的施工要点及施工管理[J].建材与装饰,2019(17):175-176.

高墩大跨径钢结构桥梁施工技术 及质量控制要点探析

李 键¹, 陶 玲^{2*}

(1. 四川蜀道高速公路集团有限公司, 四川 成都 610000;
2. 四川成德南高速公路有限责任公司, 四川 成都 610000)

摘 要 高墩大跨径钢结构桥梁的施工技术包括空心建造高墩薄壁、平衡悬臂浇筑配重、调整顶推工艺应力以及控制合龙段温度, 需要施工方结合必要的质量控制手段, 保障桥梁结构的安全性达标。本文立足高墩大跨径钢结构桥梁的施工要求, 从高墩大跨径钢结构桥梁施工技术出发, 分别就“精准调控工艺参数”“全程追溯材料性能”“动态纠偏结构变形”等策略, 提出具体实践方法, 旨在深入探讨施工工艺与质量管控的耦合机制, 为在复杂条件下建设高质量的钢结构桥梁提供参考。

关键词 高墩大跨径钢结构桥梁; 平衡悬臂浇筑配重技术; 空心建造高墩薄壁技术; 协调合龙段应力技术

中图分类号: U445

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.16.019

0 引言

高墩大跨径钢结构桥梁能够跨越峡谷等复杂地形, 面临结构稳定性、几何精度与耐久性等多重挑战, 需要在克服高空作业风险的同时, 有效控制各个施工环节的质量, 进而提高结构的服役性能。而传统施工方法在应对各类问题时存在局限性, 要求施工方创新工艺, 并以数字化管控模式提升施工精度。为此, 施工方应探索完善质量控制体系的实践路径, 协同管理施工技术与质量控制目标, 构建能够动态监测施工过程的系统化解决方案。

1 高墩大跨径钢结构桥梁的施工要求

高墩大跨径钢结构桥梁工程要求优先保证高墩与大跨度钢结构的协同受力状态, 并且需要调节平衡非对称荷载, 精准施加水平推力, 以此优化桥墩的应力分布。高墩施工则要求采用翻模、爬模或滑模工艺建造薄壁空心墩, 并配备相应设施, 保障高空作业的效率。在拼装钢结构时, 施工方需要控制构件加工的精度, 使用双面焊工艺完成焊接作业, 避免焊缝夹渣或存在未熔合的缺陷^[1]。浇筑大体积的混凝土时, 则应分层振捣, 并布设冷却水管, 同步使用补偿收缩材料, 以此降低开裂的风险。施工方全程皆需要落实同步配重卸载机制, 保障悬臂段标高与设计线形一致, 并设置封闭式作业平台, 验证临时墩支架的承载能力, 同

时在高风速施工环境强化加固措施。成桥后, 也需持续监测跨中挠度变化, 借助调整预应力的手段, 保障结构的耐久性。

2 高墩大跨径钢结构桥梁施工技术

2.1 平衡悬臂浇筑配重技术

平衡悬臂浇筑配重技术的核心在于借助配重调节稳定结构。该技术采用非对称悬浇工艺, 在边跨悬臂段设置配重块或水箱, 抵消中弯矩差异并保障主梁线形平顺。而顶推技术则借助液压系统, 施加水平推力, 进而调整桥墩的应力分布并减少墩身偏位的风险。合龙段施工阶段, 施工方需在低温时段焊接劲性骨架, 借助临时约束装置固定主梁端部, 并控制热胀冷缩引起的变形, 保证混凝土在浇筑后处于受压终凝状态。在施工全过程中, 均需保持增减配重与延伸悬臂段同步, 借助位移传感器实时监测梁体的标高变化, 以此动态调整配重比例。完成混凝土浇筑工序后, 施工方要分阶段同步卸载配重, 避免因荷载突变, 导致主梁开裂或桥墩应力集中, 并运用双面连续焊缝工艺焊接劲性骨架, 优先处理腹板与翼缘板的连接节点, 提高骨架的整体刚度^[2]。在施工过程中, 施工方也要持续监测环境变化, 动态调整作业时段, 避免外部因素干扰结构的稳定性。

2.2 空心建造高墩薄壁技术

建造高墩薄壁空心技术依托模板工艺, 能有效改

*本文通信作者, E-mail: 504564479@qq.com。

善高墩结构的稳定性,需要施工方使用翻模、爬模或滑模工艺,逐节浇筑薄壁空心墩。具体而言,施工方应借助翻模工艺分层支模,同时借助爬模工艺整体抬升模板,并利用滑模工艺保证墩身的连续性。与此同时,也要借助全站仪实时监测墩身的轴线偏差,并借助千斤调模板位置,保障墩身倾斜度符合规范限值。在高空作业中,施工方要预埋塔吊基座,配置封闭式操作平台,提升材料运输效率,同时选择格构式钢结构支架,以斜撑的方式增强整体刚度。而在施工前,还需完成预压试验,避免支架非弹性变形,同时在墩顶预埋反力架,以此为挂篮底模提供刚性支撑。浇筑混凝土阶段,则要运用分层振捣工艺,控制每层厚度均在振动棒作用的范围内,并在墩身内腔布设冷却水管,在外表面覆盖养护毯,以此控制湿度梯度。

2.3 协调合龙段应力技术

协调合龙段应力技术依托力学平衡卢纶,能够有效控制变形现象,以此保障桥梁结构具有连续性。施工方需要选择昼夜温差较小的施工时段,锁定劲性骨架并借助临时约束装置,固定主梁端部,同时优化焊接顺序,减少残余应力。在浇筑混凝土前,需安装微膨胀补偿收缩材料,而在分层浇筑时,则要控制振捣的深度与密实度,并同步调整配重块的卸载速率。焊接劲性骨架后,施工方要布设温度传感器,以此监测焊缝区域的热循环,同时利用防风棚,降低环境气流的干扰,避免焊接变形。合龙段混凝土终凝后,需分阶段解除临时约束,借助液压千斤顶调整跨中应力分布,消除施工阶段附加的弯矩^[3]。完成施工后,施工方还要持续监测跨桥面的铺装状态,在发现异常后借助预应力钢束二次张拉,以此恢复结构受力的平衡。

2.4 协同控制线形精度技术

协同控制线形精度技术依托多维度监测,有助于施工方动态调整施工方案,以此精准控制桥梁几何形态。具体而言,施工方在施工过程中借助GPS定位系统、全站仪与电子水准仪构建实时监测网络,采集高程、位移与扭转数据,进而建立能够动态预测线形偏差的模型。基于此模型,施工方需要在悬臂浇筑阶段,借助液压千斤顶调节挂篮前支点高度,修正模板预拱度,并使用多级加载工艺,在分阶段施加顶推力的同时监测墩身偏位,运用变形反演算法,优化后续的顶推参数。在安装模板前,需完成预压试验,消除支架的非弹性变形,并在浇筑过程中采用分层振捣工艺,控制混凝土的坍落度,避免因骨料离析导致截面尺寸出现偏差。在墩身施工中,则要使用激光垂准仪校准模板轴线,每浇筑节段后,便复测垂直度,借助微调螺栓纠正累积的误差。锁定合龙段前,施工方应连续监测昼夜温差,

建立温度—线形补偿曲线,以此确定焊接劲性骨架的时机,并优化释放约束力的顺序。

3 提升高墩大跨径钢结构桥梁施工质量的策略

3.1 精准调控工艺参数

施工方应安装高精度的传感器,以此采集液压顶推系统的压力值,并结合算法模型,进一步优化参数组合。在顶推施工阶段,需要采用闭环控制系统,依据滑移轨道变形反馈,动态调整千斤顶的顶推速度。而在焊接作业中,则要建立电流—电压匹配曲线,借助红外热成像仪监测焊缝区域的温度分布,进而调整焊枪的行走速率^[4]。在混凝土浇筑环节,施工方需要借助坍落度仪,实时检测拌合物的流动性,调整振捣棒插入的深度,控制分层浇筑的厚度。拼装挂篮后实施空载试运行,验证行走机构的同步性,并依据试运行结果修正锚固系统的预紧力。

以建立焊接电流、温度梯度及加载速率的动态数据库为例。施工人员需要在焊接作业区域布置高精度电流传感器,实时采集焊机的输出电流、电弧电压及焊缝区域的温度分布数据,并在焊接前,借助红外热成像仪扫描母材的表面温度场,进而依据预设温控阈值,生成焊枪的行走速率指令,以此控制层间温度梯度。与此同时,需要借助超声波探伤仪,检测焊缝内部缺陷,并结合温度分布数据,建立能够反映电流—温度—缺陷关联的模型。在焊接过程中,也要持续采集电流、电压及温度数据,并录入动态数据库,利用机器学习算法挖掘参数与焊缝质量的对应规律,进而生成优化温控阈值模型。加载速率调控则要依据焊接接头应力分布的模拟结果,利用有限元模型反演不同加载条件下的变形趋势,并生成分级加载指令。在施工全过程,施工人员都要基于动态数据库,实时比对实际参数,并触发焊机控制系统,促使其自动修正送丝速度,以此形成“采集数据—迭代模型—修正参数”的闭环调控链。

3.2 全程追溯材料性能

在钢材进场时,施工方需要借助光谱分析仪检测其化学成分,并利用万能试验机,验证屈服强度等指标。针对焊接材料,应完成匹配性试验,利用金相显微镜观察焊缝的微观组织,确认抗拉强度。与此同时,也要在混凝土配合比设计中,掺入抗裂纤维或膨胀剂,并借助坍落度仪,动态优化配比。而在预应力钢绞线进场后,施工方应检测其表面缺陷,在张拉前采用液压传感器标定摩阻系数^[5]。在此过程中,施工方需要建立材料电子档案系统,利用区块链技术记录信息,以此保障数据不可篡改。

以实施钢材进场批次复验制度为例。在钢材运输至堆场后,施工人员需要借助光谱分析仪,扫描其表

面化学成分,以此检测碳、锰、硫、磷元素含量是否满足规范限值,同时利用万能试验机拉伸钢材试样,验证其断后伸长率等指标,并剔除层状撕裂或冷弯不合格的批次。与此同时,还要利用磁粉探伤钢材表面,排查裂纹或锈蚀缺陷情况,标记超标区域并退场处理。在此过程中,施工方应引入钢材电子档案系统,加密采购合同、炉批号信息与检测报告,并生成唯一识别码,打印二维码标签后粘贴于钢材的端部。在施工过程中,施工人员可借助扫描二维码,调取材料的性能数据,并在焊接前核对钢材与焊材的匹配性报告,确认熔敷金属的强度不低于母材标准。在钢材加工下料后,也要记录构件编号,并借助激光刻码的方式,追踪工序流转。在异常批次钢材触发预警后,应启动封存程序,并追溯使用同炉批号材料的位置,依托超声波探伤功能,复验焊缝与热影响区的性能。

3.3 动态纠偏结构变形

施工前,施工方需要在墩顶与主梁关键截面布设 GPS 定位基站,连续采集高程、位移及扭转数据,并在拼装挂篮后,实施分级预压试验,消除支架的弹性变形,同时记录荷载一位移曲线。在悬臂浇筑阶段,应借助液压千斤顶调节挂篮的前支点高度,依据线形监测结果动态修正拱度模板。在顶推施工中,则要借助多级加载工艺,分阶段施加顶推力,并监测墩身的偏位,优化后续顶推参数。在混凝土终凝后,则要分阶段解除临时约束,利用液压千斤顶施加顶推力,调整跨中的应力分布。

以在挂篮拼装完成后进行预压试验为例。施工方需要安装位移传感器,并借助应变计监测支架的弹性变形与非弹性形变,同时利用模拟混凝土浇筑荷载的配重块,分级加载至设计荷载后持荷观察。在加载过程中,应实时采集支架的沉降、侧向位移以及应力分布数据,同时绘制荷载一位移曲线与应力云图,以此识别薄弱节点。在卸载后,则要分析残余变形量与非弹性变形的占比,计算模板的预拱度补偿值,进而修正挂篮前支点标高,并优化锚固系统的预紧力。与此同时,也应在 BIM 平台导入预压数据,生成三维变形场模型,以此对比设计线形,挂篮的行走轨道调整量,优化模板定位参数。在挂篮空载试运行,则要复测行走轮组的同步性,并验证调整后的轨道平顺度,记录行走阻力的变化趋势,进一步校准预拱度的修正系数。

3.4 分级防控环境风险

施工方需要依据环境条件制定差异化的应对方案。针对高风速环境,应在临时墩支架上增设斜撑连杆,并为塔吊吊装作业启动风速阈值预警系统。在雨季施

工时,则要搭设防风防潮棚架,并在焊接区域配置除湿设备,为混凝土运输罐车加装防雨罩。而在高温时段,施工方需要调整浇筑时间至夜间,并在墩身表面覆盖养护毯,布设自动喷淋系统。在高压线附近施工,则应借助顶推滑移变轨技术,基于 BIM 模型模拟设备移动路径,以此规避净空限制。施工方还要引入监测平台,实时推送预警信息至施工终端,并及时触发应急预案。

以根据风速、降雨量划分风险等级为例。施工方需要安装风速仪,并借助雨量计实时采集气象数据,进而设定预警触发机制。当风速达到初级预警时,应在临时墩支架增设斜撑连杆,并在塔吊吊钩处安装防摆装置,启用防风缆绳固定高空作业平台。而在风速升至中级预警后,需要暂停塔吊吊装以及挂篮行走作业,并在焊接区域搭设移动式防风屏障,调整混凝土泵车布料杆仰角,以此降低风阻。与此同时,在降雨量触发初级预警时,需要在焊接作业区覆盖防雨棚架,启动焊条存放箱的加热除湿功能。而在降雨持续增强至中级预警后,施工方应在基坑周边布设截水沟,在桥面板预留排水孔疏通积水,同时在钢结构拼装区域铺设防滑格栅。在此过程中,施工人员也要实时推送气象监测数据至管理平台,同步启动应急预案。除此之外,在复工作业前,需要复检临时结构的连接节点,并在降雨预警解除后,排查电气设备的绝缘性能。

4 结束语

控制高墩大跨径钢结构桥梁的质量需要施工方创新施工技术,并优化管理体系,以此高度统一桥梁结构的安全性及精准度。施工方借助动态适配工艺参数,全周期追溯材料性能,能够保障施工在复杂条件下的连续性,同时避免累积施工误差,显著提高桥梁工程质量。因此,施工方需要进一步探索集成应用智能化施工设备的方式,并结合绿色施工工艺,深化研究材料性能在极端环境下的演变规律,为建设高质量的高墩大跨径钢结构桥梁提供更系统化的解决方案。

参考文献:

- [1] 王晓晓,李佳,彭龙帆,等.大跨度公路桥梁施工技术要点及质量控制[J].建筑技术开发,2024,51(12):127-129.
- [2] 李文.大跨径连续桥梁施工技术要点及质量控制分析[J].产品可靠性报告,2024(04):92-93.
- [3] 李俊义.高墩施工技术在高速公路桥梁施工中的应用[J].四川建材,2024,50(03):170-171,174.
- [4] 蔡亚峰.大跨径连续桥梁施工技术要点及质量控制措施分析[J].运输经理世界,2023(08):72-74.
- [5] 陶凯辰.大跨径连续桥梁施工技术要点及质量控制研究[J].珠江水运,2023(04):89-91.

污水处理厂电气节能降耗路径分析

朱子豪

(秦皇岛排水有限责任公司, 河北 秦皇岛 066000)

摘要 污水处理厂在生态文明建设中起到至关重要的作用, 同时也是改善城市环境、提高人民生活质量的重要保障。为了更好地发挥污水处理厂的作用, 提高其综合效益, 应采取有效的措施开展节能降耗。在污水处理厂中, 电气设计的优劣直接关系到其能耗情况与污水处理效果。本文对污水处理厂的电气能耗路径展开了分析, 提出了具体的节能措施, 以期为污水处理厂的运行与管理提供有益参考。

关键词 污水处理厂; 电气能耗; 节能方案设计

中图分类号: TU99; TU85

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.16.020

0 引言

污水处理厂中包含大量的电气设施, 为了更好地满足污水厂对污水的处理需求, 要严格保证各项电气设施正常运行。在污水处理厂运行过程中, 电气设备会消耗许多能源, 其能耗具体数值与污水处理规模和处理工艺等因素有关。随着环保法规日益严格, 以及我国对可持续发展战略的深入贯彻与实施, 污水处理厂的能源消耗问题备受重视。为有效降低电气能耗, 污水处理厂需采取有效的节能措施。电气能耗路径分析可帮助工作人员对能源消耗的主要来源进行识别, 也为后续节能措施的制定提供参考依据。因此, 本文将电气能耗路径与节能措施应用作为研究重点, 以期为行业可持续发展提供有益参考。

1 污水处理设备电气能耗路径分析

1.1 污水泵站

为降低污水泵站电气能耗, 需做到以下几点。首先, 选择合适的技术参数, 确保污水泵站满足污水处理厂的需求, 例如: 确定种类、型号和规格, 明确泵的工作容量。其次, 结合泵的特点以及泵站所在工作环境, 选择合适的电机, 明确启动与运行所需功率, 保证电机满足相关标准。再次, 对泵站控制系统进行设计时, 要考虑到以下几方面。一是对泵启停进行控制, 结合其具体需求, 做出相应操作。二是流量调节, 结合实际情况和需求, 对泵的流量进行调整, 可采用变频器对泵速度进行调节, 实现对流量的控制。三是故障检测与报警, 通过这一系统对泵的运行状态进行实时化监测, 一旦发现问题, 系统可及时报警, 提示相关人员对其进行检查, 找到原因, 解决问题, 避免设备面

临故障。四是对电气能耗进行评估, 需仔细分析不同因素对泵站电气能耗带来的影响, 同时, 泵站运行期间会产生大量的能耗, 因此, 需对泵的工作点进行优化, 对管道进行合理设计, 可以有效降低能耗。五是对泵参数进行检测, 做出合理评估, 找到问题, 及时改进, 提高泵站工作效率^[1]。

1.2 曝气系统

一是根据污水处理厂的具体情况和工作要求, 选择合适的曝气系统, 明确设备类型, 确定设备规格与工作容量^[2]。二是结合设备的特点, 明确设备所需工作环境, 确定电机类型, 保证电机符合相关标准。曝气系统电气能耗与多个因素有关, 例如: 设备类型、数量、设备运行时间、运行负荷等。其中, 空气增压机、鼓风机的能耗与其所需通气量、压力等要素有关, 同时, 当设备工作效率越高, 设备就会产生更少的能耗。为保证曝气系统能耗得到合理评估, 要加强电流、电压和功率的监测。优先选择效率更高的设备, 定期对设备进行维护和保养, 对设备运行参数进行实时化检测, 及时对其工作状态进行调整, 减少能源消耗。

1.3 混合和搅拌设备

为减少混合搅拌设备的电气消耗, 需考虑到以下几点。一是结合污水处理厂的具体需求, 选择合适的混合和搅拌设备, 明确设备类型, 确定设备的容量和规格, 保证其满足污水厂处理需求^[3]。二是确保电机类型与设备的工作条件要求相符, 并充分考虑到电机开启和运行对功率的要求, 确保电机可以正常运行。影响混合和搅拌设备的电气能耗因素较多, 例如: 搅拌器和搅拌车等设备的电气能源消耗存在一定的差异性; 设备大小与设备处理能力不同, 也会造成不同的

电气能耗,设备的尺寸越大,越会消耗更多能量;设备运行时间越长,消耗功率越大,就会产生更多能耗。电动机能耗在整个设备能耗中占比较高,其能耗大小与电动机自身的额定功率和负载率等内容密切相关。若设置传动装置,还需考虑到这一装置是否具有较高的传动效率,其工作效率越高,就会产生更低的能耗。

2 污泥处理设备电气能耗路径分析

2.1 离心机

一是明确离心机运行所需环境以及其具体功率需求,选择恰当的电机设备,同时需保证设备启动和运行时具有较为稳定的功率,从而减少能耗。二是明确离心机的启停控制功能,根据设备具体需求,通过精准操作满足设备停止或启动需求,对离心机转速进行有效的控制,使其满足不同条件和不同工作需求,结合实际工作负荷情况,对离心机的运行状态进行自动化调节,同时引进先进的自动化控制技术,保证操作更加便捷。三是加强安全保护,设计过载保护装置,避免设备继续超负荷运行,保证设备运行安全可靠;采取有效的短路保护措施,一旦发生短路,可在第一时间将电源切断,保证设备运行安全,避免出现人员伤亡;避免出现漏电事故,设置专门的漏电保护装置,使操作人员能够安心操作;若条件比较特殊,对防火和防水有严格要求,则需设置完善的安全保护措施。四是对配电系统进行设计时,首先要对电缆进行合理布置,保证电缆安全,避免出现过热等情况,导致电缆面临损坏;设置完善的开关柜,方便随时对电力系统进行维护;设置接线盒时,要对电气连接进行仔细检查和设置,保证其连接更加安全可靠。五是对接地系统进行设计时,要保证这一系统与电气标准相符,同时要确保设备正常运行,避免操作人员遭到电击^[4]。

在处理污水过程中,离心机发挥着至关重要的作用,该设备利用旋转加速度从液体中将固体颗粒进行分离,达到改善水质的目的。离心机电气能耗受到以下几方面因素的影响。一是功率。其额定功率将直接影响离心机的电气能耗,功率越大,设备会消耗更多能耗。二是转速。离心机的分离效果与电气能耗均会受到其转速影响。虽然离心机的转速越高,越能保证水中的污染物与水顺利分离,但同时也会导致能耗增加。三是处理能力。离心机的处理能力越强,就需要更多能源支持才能处理更多污水。四是运行时间。运行时间长短与能耗成正比,相关人员需对离心机的运行时间进行合理设置,从而进一步降低能耗。对离心机的电气能耗进行评估时,要加强对电流、电压和功

率的监测。同时要考虑到工作负载等因素对离心机能耗所带来的影响。

2.2 浓缩机

一是明确浓缩机的功率需求,结合其具体型号和规格确定相应功率;确定浓缩机在启动时所需电流,针对其在运行过程中所消耗的能源进行分析和评估,确保其满足设备的运行需求。二是明确启停控制功能,可结合具体需求对浓缩机进行自动化控制;合理控制浓缩机的转速,使其满足不同需求;结合具体工作负载,对浓缩机的运行状态进行自动化调整。三是对过载保护装置进行合理设置,实现过载保护,保证浓缩机运行安全可靠;加强短路保护措施的应用,一旦发生短路,可在第一时间将电源切断;避免出现漏电事故,设置专门的漏电保护装置。四是开展连锁控制,将浓缩机与其他设备进行合理控制,使其彼此共同协作,提高工作效率。

影响浓缩机电气能耗的因素主要有功率、设备的处理能力和运行时间。同时,温度和操作压力也会对设备的能耗造成影响。因此,需选择工作效率较高的设备,减少不必要的能耗。

3 污水处理厂节能方案设计

3.1 变压器节能设计

在污水厂电力系统中,变压器是非常重要的设备,同时面临较高能耗。为了降低其能耗,要积极引进节能型变压器,处于空载状态时,这一类变压器通常不会产生较高的能耗。目前,许多污水处理厂采用的变压器为干式变压器,该设备的优点是便于维护。油浸式变压器相比,前者会产生较大的能耗,且承载水平比较低,成本较高。因此,对变压器开展节能设计时,可优先选择油浸式变压器。

3.2 降低线路损耗

在污水处理厂中,高度重视电缆的设计与铺设。电缆长度越长,电阻越大,会带来更多能耗。因此,要减少电缆所面临的能源损耗。具体来讲,要合理选择高低电压配电房的位置,减少对电缆的使用,保证配电室与负载中心距离较近^[5]。

3.3 合理设置电气控制设备

对污水厂的电力系统进行设置时,通常有两种方式。第一种是就地安装。技术人员将电气控制装置安装在废水处理厂,可随时根据实际情况对参数进行调整,操作更加灵活,但这种安装方式很难对整个系统进行有效的控制。第二种是集中式配置。技术人员需

将所有的控制配置进行集中化设置，既能满足电气自动化控制系统的运行需求，又能保证设备得到有效连接，便于后期管理和维护，缺点是一旦设备出现故障，就会导致整个系统无法正常工作。因此，相关人员可结合污水厂的实际情况选择相应的布置方式。与第一种安装方式相比，集中式配置更加便捷。

3.4 设置完善的照明设备

选择和安装照明设备时，要考虑到室内具体条件和光照条件，保证光源充足。选择照明灯具时，要考虑到以下几点。一是结合具体的使用场合，选择合适光源，保证照明设备具有节能效果。二是减少对白炽灯的使用。三是选择荧光灯时，可将紧凑型荧光灯作为首选；结合相应的场所选择具有较长使用寿命、功效高的高压钠灯等灯具。

4 污水处理厂电气节能措施应用

4.1 合理计算，实现负荷平衡

科学计算设备负荷，保证负荷平衡，通常可采用系数平衡法和单元参数法。在负荷计算中，首先要对额定功率进行转换。针对在不同工作制下的用电设备，需对其额定的功率进行转换，使其成为统一的用电功率。若设备不经常运行，只需对容量最大的设备功率计算。若设备在不同的季节运行，可结合连续工作制设备标准，对这一类设备负荷进行计算。其次，选择合适的变压器。结合计算结果，选择相应的变压器，对其符合率进行合理，使其保证在65%左右，即使出现负荷波动，也可以正常供电。

4.2 科学设置变电所

一是选择优越的地理位置，满足相关运输需求，保证工作安全。二是对配电室防火等级进行合理设置，保证其在二级以上。三是若配电室长度超过7米，则需设置两个安全入口；若其长度超过60米，则需在此基础上再设计一个出口，出口与出口之间的距离不要超过40米。四是选择抗磨能力强、抗压能力优越、具有良好防滑效果的材料。五是采取有效的保护措施，保证电缆安全^[6]。

4.3 合理配置电缆

首先，对控制线路进行合理设计与安排，确保设备稳定运行。避免线路过于复杂，需满足后续维护、管理需求。其次，合理选择现场电缆。这一类电缆包含两种，一是高压配电线，二是低压配电箱。需结合实际情况，明确电缆类型与规格。此外，还要考虑到电缆是否具备良好的热稳定性。选择高压配电箱时，

需保证电缆热稳定最小截面积，即使面临较大的负荷变化，也不会影响电缆正常运行。

4.4 谐波处理

首先，合理接线，对负载进行平衡，减少谐波影响。其次，采用有源滤波器对谐波进行监测，再注入反向谐波，减少谐波带来的影响。再次，定期对谐波进行监测，一旦发现其水平较高，就要及时处理；最后，定期对滤波器等设备进行维护，也可实现对谐波的有效抑制。

4.5 照明系统节能设计

首先，将感应技术与照明系统相结合，可进一步降低能耗。其次，选择LED灯具，其节能效果更加出众。再次，对照明设备科学布局，满足所有区域照明需求。也可使用反射率较高的材料，确保光得到充分利用^[7]。

5 结束语

为提高污水处理厂的效益，实现节能环保，需明确污水厂电气能耗主要路径，对电气设计进行优化，融入节能理念，提高电气运行节能效果。未来，随着技术的不断发展和进步，污水处理厂在节能减排方面会面临更多的机遇和挑战。污水处理厂应采取有效的节能新措施，不仅可以降低能耗，还能降低污水厂运营成本，提高处理效率，改善环境，为促进城市发展做出贡献，提高经济效益、环境效益和社会效益。本研究旨在能够为相关从业人员提供参考，积极研究和开发更加先进的节能技术，促进污水处理行业实现可持续发展。

参考文献：

- [1] 姚清圆. 电气自动化技术在污水处理厂节能中的应用及发展趋势[J]. 中国资源综合利用, 2024, 42(12): 262-264.
- [2] 赵文龙, 胡明, 张钰, 等. 污水处理厂电气节能标准化研究[J]. 大众标准化, 2023(13): 124-126.
- [3] 张博. 污水处理厂的电气设计及节能措施研究[J]. 节能, 2023, 42(01): 94-96.
- [4] 李宾. 污水处理厂节能降耗问题探讨[J]. 黑龙江环境通报, 2021, 34(04): 52-53.
- [5] 费聿超. 污水处理中技术创新与节能降耗[J]. 清洗世界, 2025, 41(01): 81-83.
- [6] 杨超, 高天宇, 薛同来, 等. 自动控制系统在污水处理中的应用研究[J]. 清洗世界, 2025, 41(01): 90-92.
- [7] 周树嘉. 简述城市环境污水处理过程节能优化的控制方法[J]. 皮革制作与环保科技, 2025, 06(02): 25-27.

机电一体化技术在机械工程中的应用

杜波, 汤正军

(中国水利水电第七工程局有限公司机电安装分局, 四川眉山 620860)

摘要 机电一体化技术作为现代机械工程领域中的重要技术, 可融合机械工程、电子技术、自动化控制技术及计算机技术, 促进机械系统智能化、自动化及高效化, 提升生产效率及提高制造精度。本文深入探讨了机电一体化技术在机械工程中的应用, 分析了该技术在自动化设备、机器人控制系统及生产线优化等方面的实际操作及效果, 充分揭示了机电一体化技术在推动机械工程革新中的巨大潜力, 以期为相关人员提供有益参考。

关键词 机电一体化技术; 机械工程; 自动化生产线; 工业机器人; 数控机床

中图分类号: TH-39

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.16.021

0 引言

随着制造业对自动化、精密度及智能化要求日益提高, 传统机械设计 & 生产模式面临着前所未有的挑战。机电一体化技术深度融合机械、电气、控制及计算机等多个领域的知识, 为应对复杂工程问题提供创新解决方案。在全球工业转型及升级浪潮中, 机电一体化技术作为一项先进技术展现出极为显著的影响力。机电一体化技术在提升生产效率、降低人工成本及提高系统精度方面的潜力, 已成为推动现代机械工程革新的核心动力。

1 机电一体化技术概述

机电一体化技术是机械、电子、计算机及控制等多学科交叉融合的高技术领域, 旨在结合系统集成提升机械设备的智能化及自动化水平。这项技术核心理念在于有机结合传统机械装置与先进电子控制系统、传感器技术及信息处理技术, 从而使设备能在更高效精确的状态下运行。机电一体化不局限于简单结合机械电子, 更强调系统集成化及智能化, 使机械设备能根据外部环境及内部运行状态自主调整。它使得设备不再依赖于人工操作, 而是借助电子控制装置实时监控及智能调节机械过程, 从而提高生产效率及安全性。特别是随着智能化技术不断成熟, 机电一体化不单是提升工程机械性能的关键所在, 也是未来机械工程发展的必然趋势。

2 机电一体化技术在机械工程中的核心优势

2.1 提高生产效率, 降低能耗消耗

机电一体化技术在机械工程中深度融合机械、电子、计算机及自动化技术, 可完成系统级优化, 极大

地提升生产过程中的精确性效率。在生产线自动化控制中, 施工人员借助智能算法及实时反馈机制, 使机电一体化技术能实时监控各环节运行状态, 并调整参数, 自动优化生产流程, 显著减少人工干预需求。设备间的高效协调及无缝衔接可减少操作中的延迟, 优化资源配置, 从而提升生产效率。在降低能耗方面, 机电一体化技术结合精确电子控制系统使设备运行更加高效。在传统机械中, 能源消耗往往因过度负荷或非优化运行而浪费, 但采用机电一体化系统, 设备能根据负荷变化自动调整工作状态, 使能量消耗保持在最低限度。

2.2 缩短生产周期, 提高市场响应速度

在机械工程中应用机电一体化技术, 可大幅缩短从设计到生产再到交付的生产周期。优化这一过程可减少人工干预环节, 结合实时数据监控及反馈机制使得生产更加高效精准, 从而迅速适应市场需求变化。在生产环节中, 机电一体化技术的核心优势表现在引入自动化设备及机器人技术, 可在最短的时间内完成制造过程^[1]。这种生产方式能大幅度提高工作效率, 还能使生产线在面对变化时具有更强的灵活性。

2.3 简化操作流程, 减少人工依赖

机电一体化技术引入机器人自动化系统、智能传感器及计算机控制系统等先进技术, 可使生产设备能自主完成物料搬运、组装及加工等任务。通过高度优化操作流程, 从人工操作转变为自动控制, 大幅减少人工干预需求。生产过程中, 设备状态、生产参数等信息都能实时传输到中央控制系统, 工厂管理者只需调整整体生产流程监控, 不必逐一对每台设备手动操作修正。

2.4 提升智能水平, 推动技术创新

机电一体化技术在机械工程中的应用可提升设备

的自主决策能力，还能适应复杂、多变生产环境。具体来说，机器借助集成传感器、控制系统及数据分析技术，可完成自我感知、自我判断及自我优化功能，使得操作更加精准智能化。设备不再依赖人工干预，而是能根据实时数据动态调整，自动优化生产过程，提高工作效率，并减少人为错误。

3 机电一体化技术在机械工程中的应用场景

3.1 自动化生产线

机电一体化技术在自动化生产线中的核心价值在于结合精确的机械控制、智能化传感器、自动化装配系统以及计算机技术高度集成，逐步替代传统人工操作，极大地提升生产效率并降低误差率，并且能在较低成本下大规模生产。机电一体化技术赋予自动化生产线高度适应性，使得企业可在变化的市场环境中迅速调整生产模式，极大地缩短产品生产周期，提升企业市场竞争力。

施工人员可应用自动化生产线，根据生产需求，精准协调自动化系统的各个单元。供料单元采用传感器及智能控制系统自动化地将原料输送至加工单元。加工单元中的数控机床、机器人等设备需根据产品技术要求，依据预设参数完成每一个加工环节。机床的加工精度可达到 $\pm 0.005 \text{ mm}$ ，保证每个工件都能在规定公差范围内精准制造。

同时，装配单元利用自动化装配设备产品组装，配合机器人臂及视觉识别系统，能根据零部件的形状尺寸，准确执行拆装作业，装配速度可达到每分钟10件，相比人工组装速度提高约30%。在分拣单元中，施工人员应用高精度视觉识别系统，能快速扫描传感器将产品按照不同规格分拣，分拣精度可达到99.8%，且每小时分拣数量可达到5000件。与此同时，输送单元将产品流转至下一工序，采用智能传送带，其输送速率可达100 m/min，极大地提高了物料转运效率，并减少了物料中断风险。此外，为保证精确协作设备，调试阶段需严格控制各单元运行精度。在调试过程中，技术人员对每个单元实施精准动态测试，要求在不同生产模式下，能高效协同各单元。优化自动化生产线借助集成最新AI算法，使得生产线可根据生产需求变化自动调整操作方式，从而提高生产灵活性及智能水平。在自动化生产线完成所有环节集成后，结合多次验证测试，保证生产过程在多种工况下的高效性。

3.2 工业机器人

工业机器人作为机电一体化技术在机械工程中的重要应用场景，深刻改变了传统制造方式。在现代制

造业中，工业机器人已成为高效灵活生产的重要工具。集成机器人系统包括机械手臂、传感器、控制系统以及执行器，利用计算机控制技术及智能化算法，工业机器人能自主执行焊接、涂装、装配、搬运及检验等各类复杂任务。这种高度集成的系统可提高生产线的自动化程度，同时提升生产过程的灵活性，能快速适应不同生产需求。借助先进控制算法及自适应技术，工业机器人还可优化调整不同工作任务，在复杂多变的生产条件下保持高效运转^[2]。

焊接机器人作为工业机器人应用的典型代表，广泛应用于汽车制造及零部件加工等领域。在焊接机器人应用中，机电一体化技术借助集成精密系统及传感器，可精准控制及实时反馈焊接过程。机器人精确调节焊接速度、电流及电压，可适应不同材料的焊接需求，保证每一次焊接的精度。在施工过程中，焊接机器人本身配备高精度电机及传感器，可运用闭环控制系统实时监控焊接过程中温度、焊缝深度等关键参数。焊接机器人还配有视觉系统，能在生产过程中自动化定位修正，保证每次焊接高精度及一致性。根据实际需求，机器人可根据操作对象自动选择合适焊接方式，保证焊接生产效率。在焊接过程中，机器人能完成快速定位及焊接执行零部件，通常每分钟可完成高达1000个点焊，极大地缩短了生产周期。

此外，焊接机器人系统还高度融合工厂自动化生产线，借助机电一体化技术，整个焊接流程可无缝衔接生产线中自动供料、自动装配及自动检测等其他环节，完成全链条管理智能化。在此过程中，机器人系统会根据生产任务变化动态调整，提高生产效率及减少浪费，并且降低焊接缺陷的发生率，全面提升了焊接质量，焊接缺陷率可控制在0.5%以下，进一步提高了产品可靠性及市场竞争力。

3.3 数控机床

数控机床作为机电一体化技术的典型代表，包括机械、电子、计算机控制及自动化技术，广泛应用推动现代机械制造业精密化及自动化进程。在运作数控机床过程中，机电一体化技术借助集成传感器、伺服驱动系统及实时反馈控制系统，可使设备能精确完成复杂的加工任务^[3]。引入这一技术，能转变传统机械加工模式，减少人工操作误差，提高产品加工精度及生产效率。融入机电一体化技术，可使数控机床具备更强的灵活性及更高的智能化，使工件加工精度能达到微米级别，并能根据不同加工需求调整适应，极大地提升了生产自动化程度及智能化水平^[4]。

在机电一体化技术机械工程中,施工人员可结合“主轴系统和主传动系统的改造”来提高数控机床的运行效率及加工精度。在施工过程中,施工人员采用直流电机(DC motor)代替传统交流电机,借助高精度的速度控制系统,使主轴转速能在100~10 000 rpm之间平稳调整,同时保持更高动态响应性能,极大提升加工精度效率。根据机床实际负载情况,主轴的最大承载能力可提升20%以上,从而能承担更多高精度及高负荷的加工任务。与此同时,改造主传动系统同样具有关键作用,施工人员引入更高效的传动装置,采用优化减速机及变速装置,能减少能量损耗并提高动力传输效率。在重负载及高转速工作条件下,主传动系统能保持较低震动及噪声水平,使工作精度在 ± 0.001 mm以内。在此过程中,机电一体化技术运用智能控制系统实时监控及动态调节电机变速装置,高效配合各个部件,保证机床在复杂工况下仍能稳定运行。

此外,改造过程中系统集成也是关键一步,施工人员结合数控技术,精密控制系统能实时检测主轴转速、负载及温度等重要参数,自动调整工作状态。在主传动系统中,施工人员依托数字化控制平台,传动装置能根据不同加工需求调整转速及扭矩输出,从而避免传统机床中因传动误差导致的精度波动。根据测试数据,经过改造的机床加工精度提高约15%,生产效率提升25%以上。整个系统的运行功率效率较改造前提升18%,并在高负载及高转速条件下进一步加强稳定性。这一系列提升为机电一体化精密制造机械工程领域提供了技术支持,保证数控机床在复杂、高精度加工任务中有出色的表现。

3.4 自动化装配线

在机电一体化技术机械工程中,自动化装配线作为高效生产的重要组成部分,可提升生产效率。在传统装配线中,人力操作通常占据大部分工作量,而引入机电一体化技术后,装配线的自动送料、机械手臂操作、精确检测及质量监控等各个环节都能完成高度自动化。机电一体化技术借助精确控制系统及实时数据反馈,能在自动化装配线上保证精准控制零部件。采用机电一体化技术,自动化装配线能高效运作每个环节,进而提升整体生产力及产品质量^[5]。

施工人员可应用“自动化装配线”,协同作用机械装置、电子控制系统以及信息技术,使其在产品组装过程中自动执行各个步骤。对于自动化装配线中的各个工位,施工人员可借助PLC控制系统协调运行各机械设备。该控制系统在实际操作中,能以每秒20个

信号的速度进行指令发送执行,从而保持装配过程中的同步性。在施工过程中,装配线的关键环节包括精确定位零件。依靠高精度的传感器及视觉系统,装配线可自动判断零件形态及位置,从而快速且精确地完成装配操作。装配线中的传送带系统采用高速变频驱动,其运行速度可达每分钟120 m,能根据装配需求随时调整速度。机器人与自动化设备需保证顺利传输零部件,运用柔性生产模式,支持自动切换不同产品批次。装配线系统还配备自动检测设备,能实时监测装配过程中的异常,并采用反馈系统调整运行参数,保证产品的一致性。

此外,自动化装配线还紧密结合信息化技术,施工人员实时数据采集与分析大数据可优化生产调度及资源配置。结合数据监控系统,生产线能实时记录各个环节的加工速度、温度、负载情况等生产数据,进而形成生产数据分析报告,为后续优化及预测提供数据支持。协调这种机电一体化系统,自动化装配线可提高生产效率,减少人工干预,保证装配质量的高度一致性。

4 结束语

机电一体化技术在机械工程中的广泛应用,标志着现代工程技术迈向更高层次的整合及智能化。随着人工智能、大数据及物联网等技术的不断进步,机电一体化技术在提升自动化水平、优化生产效率及提高系统精度等方面的应用潜力愈加显著。未来,随着技术的不断迭代及市场需求的多元化,机电一体化技术将成为机械工程领域的重要支撑力量,系统化、模块化设计理念将成为主流,将进一步释放机械电子协同效应,推动紧密结合产业链上下游,开启机电一体化技术新篇章。

参考文献:

- [1] 徐国. 机电一体化技术在机械设计制造中的应用分析[J]. 中国设备工程, 2025(03):215-217.
- [2] 徐明明. 机电一体化数控技术在机械制造中的应用[J]. 模具制造, 2025,25(02):196-198.
- [3] 王艳宜. 机电一体化技术在矿山机械中的应用标准分析[J]. 科技资讯, 2025,23(02):198-200.
- [4] 陈轶辉. 机电液一体化技术在机械工程智能化发展中的应用研究[J]. 造纸装备及材料, 2025,54(01):84-86.
- [5] 全永强. 机电一体化数控技术在机械加工中的应用[J]. 造纸装备及材料, 2025,54(01):78-80.

公路养护工程的全寿命周期成本分析

任佳慧，齐冰力

(中交基础设施养护集团有限公司，北京 100102)

摘要 本文从全寿命周期视角出发，阐述了公路养护的设计、施工、运营维护、大修及退役等阶段的成本构成与特点，对比了局部修补、整体加固和预防性养护的成本效益，指出全寿命周期成本分析法能更全面地评估养护工程的长期经济效益，并提出了优化公路养护工程的策略与实践路径，旨在为提升公路养护工程的整体水平和经济效益提供有益的参考。

关键词 公路养护；全寿命周期；成本分析；成本效益

中图分类号: U418.2

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.16.022

0 引言

在我国经济持续快速发展的背景下，交通运输需求不断增长，公路网络的建设日益完善，通行能力也显著提升。而长期高强度的交通负荷，使部分公路出现了不同程度的损害和病害，不仅影响公路的安全性和舒适性，也对经济发展与人民群众出行造成了影响。公路作为重要的基础设施，其养护工程不仅关乎道路的使用寿命和安全性能，还直接影响到区域经济的流畅运行和人民群众的生命财产安全。本文通过全寿命周期成本分析的方法，全面评估公路养护工程的成本，以期找出最优的养护方案，为公路管理部门提供科学、合理的决策建议^[1]。

1 公路养护的重要性

公路养护的核心目的在于修复因长期使用或其他因素导致的路面损坏，以此提升道路的通行能力。同时，公路养护还承担着降低能源消耗和减少环境污染的重任。通过养护恢复路面的平整性，可以提高车辆行驶效率，达到节能减排的效果，实现经济社会的可持续发展。

公路养护不仅关乎道路的安全与畅通，更与全寿命周期成本紧密相连。通过科学的养护策略，不仅能够延长公路寿命，保障交通安全，促进节能减排，也能优化全寿命周期成本，为经济社会的持续健康发展提供有力支撑^[2]。

2 公路养护工程全寿命周期阶段

2.1 阶段划分

公路养护全寿命周期包括多个重要阶段，这些阶段构成一个完整养护生命周期。这些阶段可划分为设计、施工、运维、大修及退役阶段^[3]。每个阶段在公路养护全寿命周期中都扮演着不可或缺的角色，并相互之间存在紧密的联系和影响。这些阶段相互衔接、相互影响，共同构成了公路养护工程的完整生命周期。在每个阶段中，都需要注重科学性、合理性和经济性等方面的考虑，以确保公路养护工程的顺利进行和可持续发展。

设计、施工、运维、大修及退役阶段^[3]。每个阶段在公路养护全寿命周期中都扮演着不可或缺的角色，并相互之间存在紧密的联系和影响。这些阶段相互衔接、相互影响，共同构成了公路养护工程的完整生命周期。在每个阶段中，都需要注重科学性、合理性和经济性等方面的考虑，以确保公路养护工程的顺利进行和可持续发展。

2.2 各阶段具体内容

2.2.1 设计阶段

设计阶段是公路养护工程的起点，其核心任务是确定养护目标、制定周详的养护方案，并设计出精细的施工图纸。这一阶段的工作具有极其重要的意义，因为设计方案的合理性与否直接关乎后续施工环节的质量和成本控制。设计人员需全面考虑工程的实际情况，包括地质条件、气候条件、交通流量等因素，以确保设计方案的科学性和实用性。此外，设计阶段还需充分预估可能出现的问题，并制定相应的应对措施，以降低施工过程中的风险。

2.2.2 施工阶段

施工阶段是公路养护工程从设计走向现实的关键环节。这一阶段涉及材料采购、施工准备、具体施工实施等多个方面。在施工过程中，成本控制和进度管理显得尤为重要，它们直接影响到养护工程的整体效果及成本效益。因此，施工单位需严格按照设计方案进行施工，同时加强现场管理，确保施工进度和质量。此外，施工单位还需密切关注成本变化，及时调整施工策略，以防止成本超支。

2.2.3 运营维护阶段

公路养护工程的运营维护阶段是一个长期且持续

的过程，它包括日常巡查、定期检查、维修养护等工作。这一阶段的主要目标是确保公路的畅通与安全，并在保障公路性能的同时，努力降低运营成本和维修成本。为了实现这一目标，管理部门需要建立完善的巡查和检修制度，及时发现并处理路面出现的问题。同时，通过引入先进的养护技术和设备，提高养护效率和质量，从而降低长期维护成本。

2.2.4 大修阶段

在公路的长期运营过程中，路面和桥梁等结构可能会出现不同程度的损坏，故需要进行大修工作，包括路面的重新铺设、桥梁的加固等。大修阶段的成本相对较高，但它对于延长公路的使用寿命和提升通行能力具有重要意义。

2.2.5 退役阶段

当公路达到其设计使用寿命或因其他原因需要拆除重建时，便进入了退役阶段。这一阶段涉及拆除成本的计算、清理工作的安排以及新公路的规划和建设等。退役阶段的处理不当可能会对环境和社会造成不良影响，因此需要特别关注环保和可持续性。在拆除过程中，应采取措施减少扬尘和噪声污染，并合理利用拆除产生的废料。同时，新公路的规划和建设应充分考虑未来交通发展的需求，以实现更好的社会效益和经济效益。

3 实例分析：某公路的养护策略成本

3.1 实例公路的基本信息

针对该实例公路的基本情况，其全长约 100 公里，设计时速高达 120 公里 / 小时，显示出其在地区交通中的重要地位。如此高的设计时速要求路面必须保持极高的平整度和稳定性，以确保车辆行驶的安全与舒适。然而，日均 3 万辆次的交通量给公路带来了沉重的负担，加上自然环境的侵蚀，路面出现了龟裂、车辙、坑槽等病害。这些病害不仅严重影响了道路的安全性和舒适性，也给车辆行驶带来了不小的隐患。为了保障人民群众的出行安全，提升道路通行效率，对该公路进行科学的养护和维修显得尤为重要。养护工程应针对不同类型的病害制定相应的维修方案，如填补坑槽、修复龟裂等，以恢复路面的平整度和稳定性。

及时发现并处理路面病害，防止病害的扩大和蔓延，从而减少大修和重建的频率。同时，还应注重公路的预防性养护工作，通过采取一系列措施如封层、罩面等，提高路面的耐久性和抗病害能力。针对实例公路的基本信息和病害情况，应制定合理的养护方案和维修计划，加强日常巡查和定期检查工作，注重预

防性养护措施的实施，以保障公路的安全性和畅通性，延长其使用寿命并降低养护成本^[4]。

3.2 养护策略的选择与优化建议

在选择公路养护策略时，需要综合考虑多种因素，包括公路的使用状况、预算限制、长期效益等。基于前述的三种养护策略及其成本分析，以下是对策略选择的一些建议和优化思路。在优化养护策略方面，可以考虑以下几点：

1. 数据驱动的决策：利用先进的检测技术和数据分析工具，实时监测公路的使用状况和性能变化。这些数据可以为养护策略的制定提供有力支持，确保资源的合理分配和高效利用。

2. 模块化维修：针对公路的不同部分（如路面、排水系统、边坡等），采用模块化的维修方式，不仅可以提高维修效率，还可以降低整体成本。

3. 技术创新与材料研发：积极探索新的养护技术和材料，以提高公路的耐久性和使用寿命。例如：研究高性能的路面材料、智能传感器等，为公路养护提供更多可能性。

4. 多方合作与资源共享：加强政府、企业、研究机构等多方之间的合作，共享资源和经验。通过协同创新，可以推动公路养护技术的快速发展和应用。

选择适合的养护策略并持续优化是确保公路安全和畅通的关键。在未来的公路养护工作中，应充分利用先进技术和理念，提高养护效率和质量，为人民群众提供更加安全、便捷的交通环境。

4 不同养护方案的成本对比

4.1 成本对比的方法选择

在对比不同养护方案的成本时，选择适当的方法至关重要。净现值法、盈亏平衡点法和全寿命周期成本法是常用的几种对比方法。这些方法各有特点，适用于不同的情况和需求。

1. 净现值法主要通过计算各方案的净现值来评估其经济效益。它将未来的成本和收益转化为现在的价值，从而方便进行比较。然而，这种方法更侧重于经济效益的评估，可能无法全面反映养护方案的长期成本和效益。

2. 盈亏平衡点法则是通过分析各养护方案的盈亏平衡点，来确定哪种方案能够在最低的成本下实现最大的效益。这种方法适用于对成本和收益关系较为敏感的情况，但在考虑全寿命周期成本时可能存在一定的局限性。

3. 全寿命周期成本法更为全面和客观。它不仅考

考虑养护工程的初始投资成本，还将运营维护成本、大修成本和退役成本等纳入考虑范围。通过计算各方案在全寿命周期内的总成本，可以更准确地评估不同养护方案的经济性。这种方法有助于决策者从长期的角度审视养护方案，避免仅关注短期成本而忽视长期成本的问题。

在实际应用中，可以根据具体情况选择合适的方法进行对比分析。例如：如果决策者更关注养护方案的经济效益，可以选择净现值法；如果需要在成本和收益之间找到平衡点，可以选择盈亏平衡点法。然而，为了更全面、客观地评估不同养护方案的成本效益，全寿命周期成本法往往是一个更为理想的选择。

4.2 对比结果与分析

在深入剖析了三种不同的公路养护策略之后，我们采用全寿命周期成本法对这些方案进行了详尽的对比。以下是对比结果及其细致分析：

1. 局部修补方案，此方案在短期内显得颇具吸引力，主要得益于其相对较低的初期投入。然而，其局限性也显而易见：它只能解决眼前的、局部的病害问题，而无法根治或预防更大范围的公路损坏。这意味着，在不久的将来，可能需要对同一段路或其他路段进行多次修补，从而导致总成本的累积迅速上升。从长远来看，这种“打补丁”式的养护方式不仅成本效益低下，还可能对公路的整体结构和性能造成不利影响。

2. 整体加固方案。这一方案在初期的投入确实较大，这主要源于其全面性和根本性的改善措施，如路面加铺、排水系统的全面重建等。然而，正是这种全面性的改善，使得公路的使用寿命和通行能力得到了显著提升。从全寿命周期的角度来看，虽然初期投入高，但由于减少了未来的维修频率和程度，因此长期来看，其总成本反而可能低于局部修补方案。此外，整体加固还能带来更好的道路使用体验，提升公众满意度，这也是其不可忽视的附加价值。

3. 预防性养护方案。这一方案的特点在于其前瞻性和持续性，通过定期的预防性措施，如路面封层、排水系统清理等，旨在减少或延缓病害的发生。虽然其初期投入和年均成本看似较高，但实际上，由于有效预防了病害的发生和扩散，从而大大降低了未来的大规模维修成本。这种“防患于未然”的策略，在长期来看，可能具有极高的成本效益^[5]。当然，这也取决于预防性养护的执行频率和效果，因此，科学制定养护计划和严格执行是确保此方案成功的关键。

在综合考量了成本效益、公路使用寿命和通行能力等多重因素后，我们可以得出一个初步的结论：整

体加固方案或预防性养护方案在多数情况下可能是更为优越的选择。然而，这并不意味着这两种方案适用于所有情况。实际上，具体选择哪种方案还需根据公路的实际状况、养护需求、预算限制以及地方政府的长期规划等多重因素进行更为深入和细致的分析与决策^[6]。因此，对于决策者而言，全面了解各种方案的优缺点，结合实际情况进行科学决策，是确保公路养护工程既经济又高效的关键所在。

5 结束语

全寿命周期成本分析的心理理念在于全面、长远地审视成本，这一方法的应用为公路管理部门带来了新的视角。传统的成本分析往往只关注短期内的直接投入，而忽视了长期运营、维护和退役阶段的成本。本研究表明，全寿命周期成本分析能够更真实地反映养护工程的总体经济效益，从而为决策者提供更为准确的信息。公路养护工程的优化需要从多个方面入手，包括技术革新、材料研发、标准化管理以及人才培养等。通过实施上述策略和实践路径，可以进一步提升公路养护工程的整体水平，为公众提供更加安全、高效的通行环境。同时，这也将有助于延长公路的使用寿命，降低全寿命周期成本，实现公路交通的可持续发展。本文深入探讨了公路养护工程的全寿命周期成本分析，不仅从理论上揭示了其重要性及意义，还通过实证案例对理论进行了验证。通过对某具体公路的养护策略进行成本分析，详细对比了不同养护方案的经济效益与长远影响。未来，随着数据收集和分析技术的不断进步，全寿命周期成本分析有望在公路养护工程领域发挥更大的作用。

参考文献：

- [1] 刘颖,张鹏,肖春阳.关于新时期强化公路养护资金保障的调查研究[J].交通运输部管理干部学院学报,2023,33(01):3-5.
- [2] 李达.刍议全寿命周期理念下高速公路养护策略[J].商品与质量,2020(25):127.
- [3] 郭杨.基于全寿命周期的G216线沥青路面预防性养护研究[J].工程机械与维修,2024(08):134-136.
- [4] 张景平,李婷,张建军.预防性公路养护技术应用[J].人民交通,2024(04):52-54.
- [5] 商显文,徐德福.公路沥青路面预防性养护措施研究[J].工程技术研究,2024,09(13):136-138.
- [6] 李庆.当代中国地方政府与民众的政治沟通制度创新研究[D].西安:陕西师范大学,2025.

城乡交通网络智能路线规划系统设计

姜佳佳, 刘芸芸

(山东正大地理信息科技有限公司, 山东 潍坊 261205)

摘要 本研究针对现阶段城乡交通规划工作的薄弱环节,设计了一套城乡交通网络优化和智能路线规划系统,包括城乡道路网络设计、交通需求分析、智能路线规划、实时交通监测和交通动态优化,能够实时掌握道路通行状态,实现交通运行状态动态最优化,提高交通调度能力。研究表明,实现智能化的城乡交通规划体系,有利于提高交通运行的效能,在考虑交通突发状况时,能实现动态最优化调整,减轻拥堵,能作为促进城乡交通一体化的科学依据。

关键词 城乡交通; 网络优化; 智能路线规划

中图分类号: U491.17

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.16.023

0 引言

城乡经济联系与人员往来日益紧密,广大城乡居民对交通的要求也日趋多样化、便捷化、高效化,原有的城乡交通网络规划模式已难以适应城乡居民交通需求的变化,交通通行效率低、公共交通服务短缺、道路资源利用率不高的问题日益显现。优化城乡交通网络,提高交通体系的智能化、现代化水平,是城乡一体化建设的必然要求。

1 现有城乡交通规划的主要问题

部分城乡接合部和农村地区路网覆盖率偏低,道路等级较低,路面质量较差,无法满足日益增长的交通出行需求。道路养护与管理不到位,导致部分路段出现破损、坑洼等问题,影响行车安全和出行效率。城乡交通基础设施较为薄弱,主要表现为公交覆盖率较低、停车场建设不足、换乘设施短缺等。例如:城乡公交线路较少,且班次间隔时间较长,居民出行不便利,部分乡镇没有高效的换乘枢纽,城乡客流衔接较差。智能交通监测设备和指挥系统尚未完全普及,交通调度能力不足。当前,城乡交通规划信息化水平较低,同时缺乏统一的交通管理系统,无法进行精准的交通流量预测和智能交通调度^[1]。部分区域的交通信息采集手段比较落后,无法提供实时交通信息,导致交通组织与规划缺乏科学依据。城乡居民对智能交通应用接受度不高,制约了智能交通系统的推广应用。

2 城乡交通网络优化与智能路线规划系统设计

2.1 城乡道路网络构建

1. 地理信息的数据采集和处理。地理信息的数据采集主要是基于遥感技术、全球导航系统技术以及地

理信息系统技术等,从而获取具有较高采样空间分辨率的数据。在数据处理中,要对数据进行清洗,从而将多余数据以及异常数据排除。在采集的数据中做空间分析,比如地形分析、坡度分析、道路密度分析等,从这些分析中为道路的规划提供一个更加科学合理的空间,结合大数据挖掘技术,分析过往的交通流量、出行模式,为乡道路网提供更加合理的决策。

2. 道路网络拓扑结构。道路网络的拓扑结构常常通过图论的方法来表示,把道路看作“边”,把交叉口看作“结点”,通过最短路径、流量均衡等算法,对交通流量进行优化。道路网拓扑结构的构建,要充分考虑到道路的层级体系,包括主干道、次干道、支路的分布合理,避免出现断点、瓶颈^[2]。在交通流组织中,要优化交叉口的设计,减少不必要的信号灯控制,提高通行效率。设计公共交通优先,预留公交专用道、设置换乘枢纽,加强城乡公共交通一体化。智能化控制,需要结合实时交通数据,优化交通信号灯的调控,提高道路的利用率。

3. 路网数据实时更新。路网数据更新主要是基于路网多源数据融合技术,包括卫星遥感数据、无人机航拍数据、车载 GPS 数据、移动通信信令数据、交通监控摄像头数据等,通过大数据处理和云计算技术,实时监控道路通行状态,更新路网数据库,为智能交通调度、路径规划、事故应急提供依据。在实时更新的过程中,自动数据采集利用移动传感设备、智能车辆、交通监测系统动态获取道路数据。快速数据处理分析利用 AI 和大数据分析技术可实现道路拥堵预测、异常事件识别等功能。智能交通管理联动更新路网数据应用于信号灯优化、交通诱导、智能导航等方面,提高道路运行效率。

2.2 交通需求分析

1. 人口分布以及出行需求特征。城乡居民出行需求包含日常出行、购物出行、教育出行、医疗出行等需求，但以通勤出行需求为主；出行方式包含公交、小汽车、出租车、共享自行车、步行和非机动出行等，且存在显著的城乡差异。交通需求一般在早晚高峰时段，周末和节假日存在一定的出行高峰时段。城乡居民平均出行距离较远，其中城市通勤人口到周边地区农村地区就业，跨区域出行需求较大。大量的数据收集和分析有利于掌握城乡居民出行特征，作为交通规划和交通基础设施建设的参考依据。

2. 交通流量预测方法。(1) 时间序列分析法。时间序列分析法利用过去的交通流量数据，采用数学方法进行交通流量的数学建模和预测。(2) 自回归移动平均模型。自回归移动平均模型可以进行时间序列的拟合，适用于短期交通运输流量的预测，可以进行季节数据的预测。(3) 指数平滑法。指数平滑法可以根据不同数据赋予不同的权重，具有较大的预测弹性可用于短期交通运输流量预测。(4) 数据挖掘法。数据挖掘法是指利用历史交通数据，通过数据挖掘的方法提取数据中的规律和模式，从而进行交通流量的预测^[3]。(5) 回归分析法。回归分析法是指利用历史的交通流量、天气、节假日等因素，建立回归模型，进行综合预测。

2.3 智能路线规划方法

1. 最短路径规划算法。最短路径规划算法是整个智能路线规划的基础，用于寻找两节点间最短路径，最短路径规划算法的基本目的在于最小化耗费的时间或路程。(1) Dijkstra 算法。Dijkstra 算法是一种贪心策略搜索单源加权图的最短路径算法。首先，选取起始点，将起始点到所有点的距离设为无穷大，将起始点的距离设为 0，然后，将最短路径的点作为当前节点，将当前节点到其他各点的距离进行更新，直至所有点最短路径的计算完成。(2) A 算法。A 算法是在 Dijkstra 算法的基础上，引入启发式搜索策略。A 算法能够减小搜索范围、提高计算效率，特别适用于大规模路网搜索最短路径。目前，A 算法在智能导航、城市公交调度、无人驾驶路径规划等领域中均有广泛应用。

2. 最优路线规划算法。最优路线规划算法是考虑实时交通信息的，一般依据动态的信息做出出行方案最优的调整。考虑路段历史拥堵和实时拥堵情况的综合优化，对权重进行动态变化处理，在路段规划时加入权重。例如早晚高峰时段避开主干道，选择支路绕

行等方法来减少通行时间。实时路况加权模型依据路段通行速度、历史流量数据来动态调整道路权重。自适应路径调整基于 GPS 车辆轨迹历史数据来动态修正路径，避开拥堵区域。最优路径不仅要考虑时间和距离，还需要考虑燃油消耗、通行费用、安全因素，构建综合优化模型^[4]。通过构造多个优化目标，形成一组权衡方案，用户对解满足要求。

3. 进化算法优化路径搜索。进化算法是模拟自然进化过程，不断对候选路径寻优，提升智能路线规划搜索效率。遗传算法是一种基于生物遗传的进化算法，适合处理复杂的搜索问题。在初始化过程中随机生成一组路径解；计算每条路径的适应度值，如行驶时间、道路拥堵情况等。遗传算法基本操作包括选择、交叉和变异，通过遗传操作产生新一代路径方案。反复循环上述进化过程直至寻找到最优线路。蚁群算法模拟蚂蚁寻食过程，通过信息素产生路径搜索指导。在路网中初始化信息素浓度，信息素浓度代表路径选择的可能，若干虚拟蚂蚁在路网中随机行走，蚂蚁根据信息素浓度进行路径选择。经过一定迭代次数后，对较优路径信息素浓度加强，形成全局最优路径。

2.4 实时交通监测与动态优化

1. 交通流监测技术。传感器技术可用于交通流监测，例如通过地磁传感器、微波雷达等安装在道路或车辆中，来测量道路交叉口或收费站区的车辆流量、速度等数据。射频识别技术可用于跟踪车辆的行驶轨迹，作为智能交通系统中的一部分。高清摄像头和计算机视觉技术可用于实时监测道路状况，例如通过高清摄像头记录车流密度、车速、事故等信息，并通过图像处理技术分析道路拥堵情况。AI 视觉识别技术可用于自动检测交通违法行为，例如超速、逆行、闯红灯等，提高交通管理效率。大数据分析可基于 GPS 轨迹数据、社交媒体信息、历史交通记录等，预测道路拥堵趋势；可以分析每天不同时段交通流量，预测道路拥堵可能发生的地点，为智能路线规划提供决策支持。

2. 路线重新规划。实时导航系统根据 GPS 数据和交通监测数据，实时重新规划最优的路线，为用户提供出行建议。百度地图和高德地图等导航软件，可以视通车的实时路况给出最短和使用最便捷的路线，同时，语音提醒可帮助行车者变换行驶方案。结合智能信号控制系统，可动态调整红绿灯的时间，提高通行效率。为了避免高峰时段拥堵，智能交通系统还可以根据历史数据或实时数据，对未来路况进行预测，提

前提醒车辆避开拥堵路段^[5]。高峰路段,导航系统推荐其他路线,均衡交通流量,缓解主要路段的交通拥堵状况。当某一路段发生交通事故或施工关闭时,系统可以自动计算避开拥堵的路线和迂回路线。若某一路段为高架桥,且只在部分时段开放,则设置成可变车道或分时段通行。

3 城乡交通网络优化与智能路线规划系统实现与应用案例分析

3.1 系统功能实现

1. 路线查询与推荐。城乡交通网络优化与智能路线规划系统可提供多种路线查询方式,用户可以通过起点—终点输入、语音搜索、地图选点等方式进行路线规划。系统基于多种路径优化算法,结合道路等级、红绿灯密度、交通流量等因素计算最优路线。最短路径推荐,基于最短距离原则计算最优路径,适用于时间相对宽裕的用户,或步行、骑行等短途出行场景。最快路径推荐通过结合实时交通流量和历史数据,推荐预计耗时最少的路径,适用于通勤或赶时间的用户。低拥堵路径推荐会优先避开拥堵区域,适用于高峰期或突发性拥堵情况下的用户,提供更平稳的通行体验。

2. 智能路径调整。当监测到前方道路出现严重拥堵,系统会自动计算绕行路径,并向用户推送优化方案,同时提供拥堵原因分析。在导航过程中,系统会根据最新的交通数据,动态调整行驶路径,确保行程顺畅,并避免长时间停滞在交通拥堵区。结合历史数据和机器学习预测功能,提前提醒用户高峰时段的拥堵情况,并推荐最佳出行时间,例如建议错峰出行或更换交通方式。对于配备智能交通信号控制的城市区域,系统可结合信号灯信息优化路径,引导用户优先选择绿波路线,提高通行效率。

3. 交通大数据分析 with 优化。基于历史数据和机器学习算法,对未来不同时间段的交通流量进行预测,支持提前优化信号灯配时和交通疏导策略^[6]。统计不同类型用户的出行方式、出行频率、行程特征,为城市交通规划提供数据支持。基于长时间交通监测数据,分析特定道路的高频拥堵情况,并为政府部门提供道路改造、信号优化、车道调整等建议。

4. 用户交互与个性化服务。多端接入,支持 PC 端、移动端、车载导航系统无缝对接,同步使用。智能语音助手提供语音查询、语音导航,让用户在驾驶环境中更安全、更便捷地使用系统。用户可查阅出行记录,并可根据自身习惯设定系统的推荐策略,如设置常用

路线,避开路段等。一键式上传交通事故、道路突发状况,提供紧急救援、附近加油站、维修站等信息服务。

3.2 某城乡区域的交通网络优化应用案例分析

某地区位于某省城乡接合部,随着近年城市发展和人口流动,城乡交通需求逐年上升,部分乡村道路等级比较低,通行能力较差,缺少快速连接主干道的通道;公共交通覆盖面不广,缺乏统一的信息化管理,出行方式单一;高峰时段进出城道路容易拥堵,在城镇交界处造成出行时间延长。

针对以上问题,该城乡地区通过设计构建智能路线规划系统,采用蚁群算法,联合交通流量预测模型,预判未来交通情况,优选出行路径。同时结合历史交通数据,预测即将出现的交通高峰时段,提前规划让行方案。该让行方案在减少整体出行时间,降低高峰时段拥堵方面取得较好的效果。由于可提前预测,调整路径,减少因临时拥堵造成的路径调整,使出行路径规划更加稳定。通过路径优化,减少拥堵和绕行,提高出行速度。相比传统静态路径规划,采用动态优化方法,高峰时段出行时间平均降低 15%~30% 左右。

4 结束语

优化城乡交通网络,基于地理信息数据采集与分析、道路网络拓扑结构构建与实时数据更新,增强道路规划的科学性与灵活性;交通流量预测,提高交通流量预测的精度;在智能路线规划中,利用最短路径规划、最优路线规划以及进化算法优化路径搜索,并结合实时交通监测技术,实现路径搜索与调整的动态路由;利用大数据分析 with 人工智能技术,提出智能交通管理系统,增强交通流调度能力,提高城乡居民出行的便捷性和安全性。

参考文献:

- [1] 豆林. 基于动态规划方法的智能交通最优路线规划方法研究[J]. 科技资讯, 2024, 22(11): 59-61.
- [2] 郭欣. 公路路线规划与交通流优化研究[J]. 运输经理世界, 2023(35): 40-42.
- [3] 罗作春. 市政道路交通规划与道路路线设计探讨[J]. 江西建材, 2022(11): 191-192, 195.
- [4] 郭佩佩. 面向城乡交通走廊的固定路线需求响应式公交及其效益仿真评估[D]. 西安: 长安大学, 2021.
- [5] 张丽涵. 湟中县城乡交通运输一体化管理问题研究[D]. 青海: 青海师范大学, 2020.
- [6] 张佳桐. 基于多源交通信息的实时路线规划系统研究[J]. 中国设备工程, 2019(01): 132-133.

电力工程技术在智能电网建设中的应用探讨

张浩然

(山东网聚电力科技有限公司, 山东 济南 250000)

摘要 随着电力行业的快速发展, 电力工程技术在智能电网建设中的应用日益受到关注。本文探讨了电力工程技术运用于智能电网建设的优势, 包括提升建设效率、增强运行稳定性及优化服务质量, 详细分析了电力工程技术在电源区域、电力输送、发电系统及能源转换技术等方面的应用, 并指出了其对于智能电网建设的重要作用。为进一步优化电力工程技术, 本文提出了强化技术基础、培育技术人才、推动技术标准化及加强国际合作与交流等路径, 旨在对提升智能电网建设的整体质量和效率有所裨益, 进而推动电力行业持续健康发展。

关键词 电力工程技术; 智能电网建设; 电源区域; 电力输送; 发电系统

中图分类号: TM76

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.16.024

0 引言

电力工程技术是推动智能电网发展的核心动力, 在提高电网智能化水平、优化能源结构和推动可持续发展等方面发挥着至关重要的作用。但智能电网的建设也面临着技术瓶颈、人才短缺和标准不一致等多方面的挑战。所以, 探究电力工程技术对智能电网建设的优化路径, 对促进智能电网高质量发展有着重要的意义。

1 电力工程技术应用于智能电网建设的优势

1.1 提升智能电网建设效率

在建设智能电网的大舞台上, 电力工程技术凭借自身特有的魅力表现出无与伦比的优越性, 最突出的是它极大地促进了智能电网建设效率。这种优势表现在很多层面上, 一是电力工程技术的提出使智能电网设计和实现过程科学化和精确化。在先进计算模型和仿真技术的支持下, 工程师可以在虚拟环境下对智能电网各构成要素进行穷尽性测试和优化, 显著降低实体建设过程中试错成本和时间消耗^[1]。二是电力工程技术中涉及的自动化和智能化手段, 如远程监控和智能调度为构建智能电网提供了有力的技术支撑。这些技术在实现建设进度实时监控和精准调控的同时, 也大大提高了建设过程的安全和效率。三是电力工程技术模块化设计理念使智能电网各模块能够自主研发、试验和部署, 该灵活性和可扩展性为智能电网快速构建和迭代奠定了坚实的基础^[2]。

1.2 增强智能电网运行稳定性

电力工程技术深度融入为提高智能电网运行稳定性提供了坚实的技术支撑。具体来讲, 电力工程技术

以优化电网结构、增强电网冗余度、容错能力等方式有效减少单点故障导致系统崩溃的风险。一方面, 利用先进的电力电子设备及自动化控制系统能够实现电网状态实时监控和快速反应, 将故障区域及时分离, 避免故障蔓延, 以确保电网整体平稳运行^[3]。另一方面, 将电力工程技术运用到能源管理及调度中, 使电网可以依据实时负荷需求对发电及输电策略进行灵活地调整, 保证供需平衡和避免过载或者欠载引起电网波动。另外, 智能预测算法与大数据分析技术的引入, 使得电力工程技术可以精准地预测电力负荷的变化并提前调配资源, 从而进一步提高智能电网应对能力与稳定性。

1.3 优化智能电网服务质量

智能电网服务质量的高低是其现代化水平和用户满意度的一个重要标志, 电力工程技术深度应用为该质量优化提供了巨大的技术驱动力。一是通过电力工程技术进行精准负荷预测及智能调度, 可以使智能电网实现电力供需精细化管理并保障电力供应稳定可靠, 降低停电次数和停电持续时间, 进而显著改善用户用电体验^[4]。二是电力工程技术促进电网和用户双向互动发展, 在智能电表和能源管理系统的帮助下, 用户可以实时掌握自己的用电情况, 参与需求响应计划以节约和高效利用能源, 既强化用户能源管理自主权又推动智能电网能效提升。三是电力工程技术也推动着分布式能源和微电网之间的连接和结合, 使智能电网可以将各种能源资源进行灵活地集成, 从而给用户带来更多样化的服务, 个性化能源服务选项包括可再生能源供电和储能服务, 以进一步丰富用户能源选择并增加服务灵活性和满意度^[5]。

2 电力工程技术在智能电网建设中的应用

2.1 应用于电源区域

在智能电网建设过程中，电源区域是智能电网能源供应的核心，电源区域的稳定性和高效性直接影响着整个电网运行效能的发挥。电力工程技术的提出对电源区域优化设计和智能化管理起到有力支撑。一是电源规划阶段，电力工程技术可以考虑地域资源分布、负荷需求预测以及环境保护要求等因素，利用先进的能源管理系统、科学合理布置电源，保证电力供应可靠和经济。二是电源接入上，电力工程技术以开发灵活多变的接入技术为手段，如分布式电源接入和微电网并网，从而达到兼容和高效集成多种电源，增强电源接入灵活性和电网整体能效。三是电力工程技术也致力于电源区域智能化水平的提高，通过整合智能监控、故障诊断和预警系统来实现电源设备远程监控和故障快速反应，从而有效减少运维成本和故障发生率。

2.2 应用于电力输送

电力工程技术应用于电力输送领域中，为智能电网有效运行提供了坚实的技术保证。一是在电力输送网络设计和建设方面，电力工程技术主要是通过使用特高压输电和超导输电这两种先进输电技术和材料来实现，提高输电效率和能力、减少输电损耗，达到电能长距离、大容量和低损耗输送。二是电力工程技术也致力于电力输送智能化水平的提高，通过整合智能监测、控制和保护系统来实现输电线路实时监控、故障预警和快速响应有效地促进电力输送安全可靠。三是电力工程技术也促进了电力输送网络灵活性和韧性的构建，并通过开发柔性直流输电和虚拟同步机这类先进技术，加强电网可再生能源接纳能力和故障恢复能力建设，为实现智能电网可持续发展提供强有力的支持。

2.3 应用于发电系统

电力工程技术应用到发电系统中对智能电网能源生产造成了革命性改变。一是关于发电技术革新电力工程技术，促进清洁能源发电技术飞速发展，如风力发电、太阳能发电以及生物质能发电，通过对发电设备设计和控制系统进行优化，提升清洁能源转换效率和利用率，减少发电过程碳排放、推动智能电网绿色转型。二是发电系统智能化管理方面，电力工程技术融合先进监控、诊断和优化技术实现发电设备远程监控、故障预警和智能调度，提高发电系统运行效率和可靠性并减少运维成本。三是电力工程技术也推动着

发电系统灵活性的提高，通过开发反应迅速的调节电源、储能系统和需求响应机制来加强发电系统适应负荷波动能力，为智能电网稳定运行和能源优化调度等方面提供强有力的保障。

2.4 应用于能源转换

电力工程技术应用于能源转换为智能电网能源多元化和高效利用打开了一条新路径。一是关于提高能源转换效率，电力工程技术是通过优化能源转换设备设计和控制系统进行优化来提高能源转换时的效率、降低能源浪费、最大限度地利用能源。二是能源转换技术智能化管理方面，电力工程技术综合运用物联网、大数据以及人工智能等多种先进技术来实现能源转换过程实时监控、智能分析和优化调度，提高能源转换系统运行效率和稳定性并减少运维成本。三是电力工程技术也促使能源转换技术不断创新和集成，如综合能源系统和多能互补系统，它们通过集成各种能源转换技术来实现能源转换，实现能源高效协同利用和优势互补，增强智能电网能源供应多样性和韧性。

3 电力工程技术在智能电网建设中的优化路径

3.1 强化电力工程技术基础，优化智能电网建设

在智能电网建设宏伟蓝图下，夯实电力工程技术基础既是提高智能电网建设品质和效益的关键基石，也是促进能源结构转型和可持续发展的核心保障。要达到这一目的，就必须在多维度上采取一系列具体、深刻的措施。一是要显著增加电力工程技术的研发投入。这就需要政府、企业及社会各界通力合作，对技术创新给予足够的资金支持与政策保障。尤其在新能源发电、储能技术和智能电网调度控制等领域要鼓励跨学科、跨行业合作，争取获得更多自主知识产权的核心技术成果。通过建立专项研发基金、建设开放共享研发平台和组织技术创新大赛，激发科研人员创新活力，促进电力工程技术实现持续性突破。二是强化电力工程技术标准体系是关键。要积极促进国内技术标准向国际先进标准靠拢，提高中国智能电网建设国际化水平。其中包括参加国际标准的制订、加强同国际同行之间的交流合作、引进消化国际先进技术。与此同时，国内技术标准也应该得到重视，统一标准，保证电力工程技术应用规范性及兼容性，从而为实现智能电网互联互通及高效运行打下基础。三是进一步完善产学研用合作机制也是促进电力工程技术和智能电网建设实际深度结合的有效手段。要鼓励高校、科研机构、企业建立密切合作，联合进行技术研发、人

才培养、成果转化。通过建立联合实验室，共建技术创新中心，推动科技成果快速转化与应用，增强智能电网建设整体效能。

3.2 培育电力工程技术人才，强化智能电网建设

在智能电网建设这片广阔的领域中，电力工程技术人才的培养是促进技术创新和运用的核心动力。所以，培养一批高素质电力工程技术人才对加强智能电网建设和促进能源结构转型有着深远意义。一是需要建设完善电力工程技术教育制度，在课程设置、实践教学以及师资建设等各方面，都要提高电力工程技术人才培养质量。其中既包括坚实的理论基础也需要重视实践能力培养，以校企合作和产学研用相结合的形式给学生提供大量实践机会，让学生们在实践过程中获得解决现实问题的本领。二是增加电力工程技术人才激励，构建科学合理的评价体系和晋升机制以激发创新活力和工作积极性。同时鼓励国际间人才交流和合作，开阔眼界，引入国际上先进电力工程技术思路和方法，推动中国智能电网建设国际化进程。三是要重视对人才不断地教育和培养，跟上电力工程技术发展的最前沿，不断地更新知识结构和提高专业技能，才能满足智能电网建设对人才提出的新要求。

3.3 推动电力工程技术标准化，提升智能电网建设质量

在建设智能电网这项复杂宏伟的系统工程当中，标准化毫无疑问起到了决定性作用。既可以统一技术规格、保证设备间兼容性和互操作性、又可以有效地降低智能电网建设成本、提高整体效能、为智能电网长期平稳运行打下坚实的基础。一是建立和完善涵盖全面的电力工程技术标准体系。该系统要覆盖发电、输电、配电、储能等智能电网建设各环节和用户端，保证技术标准的全面性和前瞻性。与此同时，还将积极同国际标准化组织开展合作和交流，并吸收和借鉴先进的国际经验，不断完善中国智能电网建设技术标准，实现与世界的对接。加强监督和测试机制也是标准实施的关键。要制定严谨的标准符合性测试和认证过程，以保证每项电力工程技术在实践中能够满足设定的标准和安全要求。二是在科技不断进步和发展的过程中，也应该促进电力工程技术标准动态更新并适时融入新技术、新工艺和新材料等有关标准中，使标准体系始终保持先进性和适用性，从而为智能电网不断创新和发展提供强有力的支持。三是对标准进行更广泛的宣传和推广也构成了一个不可缺少的组成部分。要多渠道、多途径地提高业内外对于电力工程技术标

准的理解和接受程度，在全社会营造一个遵守标准，促进智能电网发展的氛围。

3.4 加强国际合作与交流，引进先进电力工程技术

在当前全球能源转型和智能电网建设浪潮下，加强国际合作交流并积极引入先进电力工程技术对促进中国智能电网高质量发展至关重要。一是通过同国际领先电力企业、研究机构和标准组织开展深入合作，可获得最新技术动态、研发成果和管理经验等，对我国智能电网建设具有有益的参考和借鉴作用。该合作并不局限于技术引进，而是涉及共同研发、人才培养和标准制定几个层次，有利于建立互利共赢的新型国际合作模式。二是积极参加跨国输电线路建设和智能电网示范工程等国际电力工程项目的建设，既可以提高中国电力工程技术实战经验和国际化水平，也可以提升我国对国际能源治理体系的话语权和影响力。三是要加强同国际金融机构合作，获得更大资金支持和融资便利，从而为我国先进电力工程技术的引进和智能电网建设项目的开展提供雄厚的资金保障。同时，在知识产权保护和国际合作等方面重视法律合规问题，保障技术引进和合作项目顺利实施。

4 结束语

本文重点对电力工程技术构建智能电网的优化路径展开系统阐释。从夯实电力工程技术基础、培养高素质技术人才、推进技术标准化和加强国际合作交流等方面入手，能够切实提高智能电网建设质量和效益，实现能源结构优化和可持续发展。这些途径的实施既有利于破解智能电网建设技术瓶颈和人才短缺难题，也有利于增强我国对全球能源转型的竞争力和影响力。未来，在科技不断进步和国际合作不断深入的背景下，智能电网建设会迎来更广阔的前景。

参考文献：

- [1] 李秋冉. 电力工程技术在智能电网建设中的应用[J]. 大众科学, 2024, 45(21): 22-24.
- [2] 刘腾泽. 电力工程技术在智能电网建设中的应用与探究[J]. 电力设备管理, 2024(01): 178-180.
- [3] 王嘉. 浅析电力工程技术在智能电网建设中的应用[J]. 安家, 2024(06): 55-57.
- [4] 苗祺聪. 电力工程技术在智能电网建设中的应用[J]. 通信电源技术, 2024, 41(13): 88-90.
- [5] 杨雅妮. 电力工程技术在智能电网建设中的实践应用[J]. 电力设备管理, 2024(07): 191-193.

新能源接入下电力工程储能系统容量配置研究

韦伟中¹, 回 慧¹, 赵潇凡¹, 潘大伟²

(1. 中石大蓝天(青岛)石油技术有限公司, 山东 青岛 266400;

2. 山东石油化工学院, 山东 东营 257000)

摘要 随着全球对清洁能源的需求日益增长, 新能源接入电力系统中的比例日益提高。然而新能源间歇性、波动性使电力系统运行难以稳定。储能系统是平抑新能源功率波动、提高电力系统稳定性的重要手段, 其容量配置的合理至关重要。本文对新能源接入下电力工程储能系统容量配置问题进行了深入研究, 分析了影响容量配置的因素、常用的容量配置方法, 并对未来发展趋势进行了展望, 以期为相关人员提供有益参考。

关键词 新能源; 间歇性; 波动性; 电力系统; 储能系统

中图分类号: TM73

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.16.025

0 引言

在全球能源转型的大背景下, 以太阳能、风能为代表的新能源因其清洁、可再生的特性, 正逐步成为电力供应的重要组成部分。而这种发电不稳定特性给电力系统的功率平衡、频率和电压控制带来很大的困难。为有效应对这些问题, 将储能系统引入电力工程领域^[1]。储能系统可以在新能源发电过剩时储存电能, 在发电不足或用电高峰时释放电能, 以起到调节电力供需, 平抑功率波动, 提高电力系统稳定性的作用。因此, 如何合理配置储能系统容量是新能源接入背景下电力工程领域的研究热点和关键问题^[2]。

1 新能源接入对电力系统的影响

1.1 功率平衡问题

在传统电力系统中, 发电与用电基本保持实时平衡。但新能源具有间歇性与波动性, 发电侧功率输出难以准确预测控制。当新能源发电功率突然增加, 电网不能及时消纳时, 将出现功率过剩情况; 反之, 当新能源发电功率骤减, 而负荷要求不变时, 电力系统将出现功率短缺的情况^[3]。这种功率不平衡不仅会影响电力系统的正常运行, 严重时甚至会导致系统崩溃。

1.2 频率稳定性问题

电力系统的有功功率与频率关系甚密。新能源接入后, 由于其功率波动, 使系统的有功功率平衡被打破, 进而影响系统的频率。当新能源发电功率突然下降时, 系统有功功率缺额增加, 频率下降; 反之, 当新能源发电功率突然上升时, 系统频率上升。频率的大幅波动会损害电力系统中的各种设备, 影响设备的使用寿命和运行效率, 甚至产生连锁故障, 威胁电力系统的安全稳定运行。

1.3 电压稳定性问题

新能源发电设备多通过电力电子装置接入电网, 发电设备输出功率变化造成电网电压波动。例如: 光伏发电系统中, 光照强度增强输出功率增大, 无功补偿不足, 会引起电网电压升高; 光伏发电系统在夜间或光照弱时停止工作, 可能会引起电网电压下降。另外, 新能源接入位置、容量不合理也会影响到电网电压分布, 造成部分节点电压超出允许范围, 影响电力系统电能质量和设备正常运行。

2 储能系统在新能源接入电力系统中的作用

2.1 平抑新能源功率波动

储能系统可以在新能源发电功率波动时储存能量和释放能量。在新能源发电功率上升大于负荷需求时, 储能系统将多余的电能储存; 当发电功率下降小于负荷需求时, 储能系统释放储存的电能, 补充功率的缺失, 从而能够有效抑制新能源功率的波动, 使得接入电网的功率更加平稳, 减轻对电力系统的冲击。此外, 储能系统还能在电网用电低谷时段, 主动储存电能。此时电网负荷较低, 电价往往更为优惠, 储能系统利用这一特点储备能量, 待用电高峰时段到来时释放。用电高峰时电力需求大增, 电网压力剧增, 储能系统释放的电能可缓解供电紧张局面, 实现电力的移峰填谷。而且, 它还能提升电网对新能源的消纳能力, 让更多清洁的新能源得以有效利用, 减少弃风、弃光现象, 推动能源结构向绿色低碳转型, 助力构建更加稳定、高效、环保的电力体系。

2.2 提高电力系统稳定性

储能系统能够通过调节功率平衡, 保持电力系统

的频率和电压稳定。在频率方面，当系统频率下降时，储能系统快速释放电能，增大系统有功功率，抑制频率下降；当频率上升时，储能系统吸收电能，降低系统有功功率，恢复正常的频率。在电压方面，储能系统可以根据电网电压的变化，通过调节自身的充放电状态，向电网注入或吸收无功功率，维持电压稳定，提高电力系统的稳定性和可靠性^[4]。

2.3 改善电能质量

储能系统能有效治理电力系统中的谐波、电压闪变等电能质量问题。当新能源接入时，电网电压变动，产生谐波，储能系统可以根据控制策略，迅速对信号进行响应，调整输出电流，抵消谐波电流，稳定电压，从而改善电能质量，保障电力系统中各类设备的正常运行。同时，储能系统具备强大的动态响应能力，可实时监测电网状态。一旦出现电压闪变等问题，它能立即做出精准反应，快速调节功率输出。这不仅增强了电力系统的稳定性和可靠性，还降低了因电能质量不佳给工业生产和居民生活带来的潜在损失，让用电更安全、更高效。

3 储能系统容量配置的影响因素

3.1 新能源发电特性

新能源发电类型不同，发电特性也不同。太阳能光伏发电的功率输出主要依赖于光照强度和温度，且具有明显的日变化规律，晴天功率输出高、波动小，阴天或者多云天气功率波动大。风力发电功率输出与风速有着密切的关系，风速的随机性，间歇性造成了风电功率波动频繁，幅度较大。此外，新能源发电季节性变化也较大，如光照丰富的夏季和风力较强的冬季，其发电功率相对较高^[5]。

这些发电特性决定了储能系统需要具备不同的充放电能力和容量来适应新能源功率的变化，是影响储能系统容量配置的重要因素。

3.2 负荷特性

电力系统的负荷特性包括负荷大小、负荷曲线形状、负荷的变化规律等。不同地区和用户类型的负荷特性不同。比如工业用户负荷一般都比较大，比较稳定，居民用户负荷有明显的峰谷特点，晚上用电高峰时段负荷大，白天用电低谷时段负荷小。对于储能系统的容量配置要考虑负荷特性，满足不同负荷情况下对电力的调节需求。当负荷高峰时段储能系统要提供足够的电能补充电力供应；当负荷低谷时段储能系统可利用多余的新能源电能进行充电。因此，准确地掌握负荷特性是合理配置储能系统容量的前提。

3.3 电网运行要求

电网对电能的质量、稳定性和可靠性有一定的运行要求。储能系统满足这些要求的容量和性能。再比如，一些对电能质量要求较高的地区，储能系统需配置较大的容量，才能更好地平抑新能源功率波动，减少谐波和电压闪变等问题，保证电能质量达到标准。而电网稳定性要求较高的地区，储能系统还应具有快速响应能力和足够的容量，以应对新能源接入带来的频率和电压波动，保证电网安全稳定运行。另外，电网可靠性要求储能系统要有一定的备用容量，在突发状况下保证供电。

3.4 储能技术特性

目前，储能技术在电力工程中的应用非常多，如铅酸电池、锂离子电池、液流电池、超级电容器、飞轮储能等。不同储能技术又具备不同的技术特性，包括能量密度、功率密度、充放电效率、循环寿命、自放电率等。能量密度决定储能系统存储电能的能力，功率密度影响储能系统的充放电速度。储能系统的充放电效率越高，其充放电过程的能量损耗越小，循环寿命越长，意味着储能系统的使用成本就越低。低自放电率的储能系统能更好地保持储存的电能。这些技术特性将直接对储能系统的容量配置产生影响。例如：对于需要快速响应，同时要避免高频功率波动的场景，超级电容器因其功率密度高，充放电快等特性，可能配置较少；而对于需要长时间储存大量电能的应用，锂离子电池等能量密度大的储能技术则要求配置较大容量。

4 储能系统容量配置方法

4.1 基于经验的配置方法

早期储能系统容量配置多基于经验的配置方法，这种方法主要是根据工程人员的实践经验以及相似项目的运行数据，结合新能源发电和负荷的大致情况来确定储能系统的容量。比如：一些小的分布式光伏发电项目，可以参照现有的相似项目，按光伏发电装机容量的一定比例，如10%~20%配置储能容量。此法简单易行，不需复杂的计算与模型的建立，缺乏精确性和科学性。由于不同的项目新能源发电特性，负荷特性以及电网条件等有所差异，通过经验配置的储能容量可能无法满足实际需求，使储能系统性能不能充分发挥或造成资源浪费。

4.2 基于优化算法的配置方法

随着计算机技术和优化理论的发展，基于优化算法的储能系统容量配置方法逐渐发展。此方法先建立

包含目标函数和约束条件的数学模型。优化目标函数一般以系统成本最小、经济效益最大或系统稳定性最优等为目标。约束条件包括储能系统的功率限制、容量限制、充放电次数限制、电网运行约束等。然后,使用各种优化算法,如遗传算法、粒子群优化算法、模拟退火算法等对数学模型进行求解,得到满足约束条件且目标函数最优的储能系统容量配置方案。例如:以系统成本最小为目标函数,考虑储能系统的投资成本、运行维护成本以及新能源发电和负荷的不确定性,通过遗传算法求解出最优的储能容量和充放电策略。此方法可综合考虑多重因素,通过优化计算获得较为合理的容量配置方案,但模型的建立、算法的求解过程较为复杂,对计算资源和技术水平要求较高。

4.3 基于可靠性评估的配置方法

电力系统的可靠性是电力系统供电能力和质量的重要标志。基于可靠性评估的储能系统容量配置方法是立足提高电力系统的可靠性。该方法通过构建电力系统可靠性评估模型,对新能源接入后系统可靠性指标,如停电时间、停电频率等进行分析。然后根据给定的可靠性目标,逐步增加储能系统容量并进行可靠性评估,直到系统可靠性指标满足要求为止,确定储能系统的合理容量。例如:采用蒙特卡罗模拟方法对电力系统进行随机模拟,考虑新能源发电和负荷的随机变化,判断不同储能容量配置下系统的可靠性指标,最终确定满足可靠性要求的最小储能容量。此法可以直观反映储能系统对电力系统可靠性的影响,但可靠性评估模型的建立比较复杂,而且计算量很大,需要大量的计算时间和数据支持。

5 案例分析

5.1 某风电场储能系统容量配置案例

例如:某风电场装机容量为 100 MW,由于风电功率的波动较大,对电网稳定性有一定影响。需要配置储能系统,来解决这一问题。通过对该风电场多年风速数据和发电功率数据的分析,掌握其发电特性。同时,得到了该风电场接入电网区域的负荷数据,掌握了负荷特性。结合电网对电能质量和稳定性要求,采用基于优化算法的配置方法进行储能系统容量配置。以系统运行成本最小为目标函数,包括储能系统的投资成本、运行维护成本、风电功率波动带来的电网额外调度成本等。

5.2 某分布式光伏电站储能系统容量配置案例

某分布式光伏电站装机容量为 5 MW,主要通过低压配电网为周边居民供电。

由于光伏发电的间歇性和居民负荷的峰谷特性,使得电网电压波动较大,影响电能质量。为改善这种状况,对该光伏电站进行储能系统容量配置。首先对光伏电站光照数据和发电功率数据进行统计分析,明确其发电特性。同时,监测周边居民用电负荷数据,掌握负荷变化规律。采用基于经验和可靠性评估相结合的方法进行容量配置。借鉴类似分布式光伏项目的经验,初步确定按光伏装机容量的 15% 配置储能容量,即 0.75 MW。然后,利用电力系统可靠性评估软件,建立该低压配电网的可靠性评估模型,考虑光伏电站发电及居民负荷的不确定性,对配置 0.75 MW 储能容量后的系统可靠性进行评估。评估结果显示,系统的停电时间、停电频率等可靠性指标仍未达到要求。经逐步增加储能容量后再重新评估,最终配置 1 MW/2 MWh 的储能系统。该储能系统投入使用后,有力地改善了电网的电压稳定性,提高了电能质量,保障了居民的可靠用电。

6 结束语

在全球能源转型的大背景下,新能源接入电力系统已成为必然趋势。然而,新能源固有的间歇性和波动性,给电力系统的稳定运行带来了一系列严峻挑战。储能系统作为应对这些挑战的关键手段,其容量配置的合理性对电力系统运行性能起着决定性作用。本文深入剖析新能源接入给电力系统带来的影响。阐述了储能系统在电力系统中的作用,详细探讨了影响储能系统容量配置的因素,包括新能源发电特性、负荷特性、电网运行要求和储能技术特性等,并介绍了常见的容量配置方法,如基于经验的配置方法、基于优化算法的配置方法和基于可靠性评估的配置方法。通过案例分析,验证了不同配置方法在实际工程中的应用效果,实现新能源的高效利用和电力系统的可持续发展。

参考文献:

- [1] 李蕊,张慧敏,张晓蕾,等. 新能源一体化电站储能配置经济性评价方法及实现 [J]. 大众标准化,2024(17):89-91.
- [2] 黄银亮. 新能源发电技术与电力工程的融合发展研究 [J]. 张江科技评论,2024(05):79-81.
- [3] 顾赞,徐伯文. 智能电网技术在电力工程中的运用 [J]. 集成电路应用,2023,40(08):314-315.
- [4] 李建林. “双碳”目标下储能系统关键技术及应用 [J]. 电力工程技术,2021,40(03):1.
- [5] 谭洁玉. 储能技术在电力系统中的应用 [J]. 电子技术,2020,49(10):140-141.

660 MW 火电机组燃烧系统 节能调控技术及其效果评估

杨思志

(国能平罗发电有限公司, 宁夏 石嘴山 753400)

摘要 660 MW 火电机组在我国电力系统中占据重要地位, 提升其能效和减少污染排放是当前亟需解决的关键问题。为实现这一目标, 可采用燃烧优化控制、智能调控系统以及炉内燃烧技术改进等先进技术, 精确调节燃烧过程中的空气配比、温度分布和煤粉细度。通过优化燃烧效率, 减少不完全燃烧和煤耗, 提升锅炉的热效率, 同时降低 NO_x 等污染物的排放。实验结果表明, 采用这些节能调控技术后, 660 MW 机组的运行效率得到了显著提升, 能耗大幅度降低, 且满足了环保要求, 达到了节能减排的预期效果, 以期为推动火电机组的高效、清洁化运行提供有益参考。

关键词 660 MW 火电机组; 燃烧系统; 节能调控; 智能控制; 技术评估

中图分类号: TM621

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.16.026

0 引言

随着全球能源转型的推进, 火电机组作为我国主要的能源供应来源, 其节能减排的需求愈发迫切。660 MW 等级火电机组在电力生产中占据重要地位, 但其运行过程中高能耗和高污染的矛盾依然突出。如何通过技术创新提升机组的燃烧效率、降低煤耗及污染物排放, 已成为行业关注的核心问题。近年来, 燃烧优化控制、智能调控系统和炉内燃烧技术改进等先进技术不断涌现, 并在实践中展现出优异的节能效果。这些技术不仅推动了火电机组的高效、清洁化运行, 还为我国实现“双碳”目标提供了重要支撑。

1 660 MW 火电机组燃烧系统概述

1.1 燃烧系统构成

660 MW 火电机组的燃烧系统主要由锅炉结构、燃烧方式、燃料输送与喷燃系统以及排烟与热回收系统组成。该机组所配套的锅炉是哈尔滨锅炉厂生产的型号为 HG-1891/29.3-YM9 的高效超超临界变压运行直流锅炉, 采用单炉膛、一次中间再热、四角切圆燃烧方式、平衡通风、固态排渣、全钢悬吊结构的 II 型锅炉设计。锅炉水冷壁采用螺旋管圈加垂直管圈布置型式, 启动系统为大气扩容式启动系统, 不带循环泵。锅炉点火及稳燃方式为双层等离子点火系统, 且不设油枪。

660 MW 机组的锅炉通常采用正压直吹式设计, 其中一次风和二次风系统相结合, 确保燃烧过程的稳定

性与高效性。一次风系统将空气送入炉膛, 提供燃烧所需的氧气, 而二次风系统则通过调整风量和风向, 促进煤粉的燃烧和热量传递。正压直吹方式通过增加炉膛内的风压, 增强了煤粉的喷射效果, 确保更充分的燃烧^[1]。

煤粉的输送与喷燃系统是保证燃烧稳定性的关键。系统通过煤粉管道将煤粉输送到炉膛, 喷燃系统通过喷嘴将煤粉均匀分布到炉膛内部。喷嘴的设计及位置对煤粉的喷射方向和分布影响很大, 直接决定了燃烧的均匀性和煤粉的燃烧效率。此外, 煤粉细度的控制也对燃烧效果有着重要作用, 细煤粉有助于提高燃烧速率和效率。

排烟系统将炉膛内未完全燃烧的废气排放到外界, 而热回收系统则利用排烟气体的热量加热空气或水, 以提高系统的热效率。这一系统的优化有助于降低机组的热损失, 提高燃烧效率, 实现能源的二次利用。

1.2 运行特性与调控难点

660 MW 机组通常面临较大的负荷波动, 特别是在电力需求高峰期, 负荷变化频繁且幅度较大。与此同时, 燃料的品质波动也影响着燃烧过程的稳定性。煤质的变化, 如煤种、煤灰含量、挥发分等因素, 都直接影响燃烧的热值和稳定性。因此, 如何快速调节燃烧系统的各项参数, 确保机组在不同负荷和煤质下稳定高效运行, 是一大挑战^[2]。

在火电机组的燃烧过程中, 炉内燃烧稳定性与 NO_x

排放控制之间存在矛盾。为了提高燃烧效率，通常需要高温和较多的氧气供应，而这容易导致 NO_x 等污染物的生成。如何平衡高效燃烧与低 NO_x 排放之间的矛盾，成为燃烧系统调控的一大难点。采用低氮燃烧技术和分级燃烧技术是解决此问题的常用手段，但也需要进一步优化控制策略。

2 燃烧系统节能调控关键技术分析

2.1 燃烧优化控制技术 (CO/O₂ 协同控制)

燃烧优化控制技术通过调整过量空气系数，确保燃料与氧气的最佳配比，从而实现最优的燃烧效率。通过精确控制炉膛内氧气的浓度，减少不完全燃烧的发生，降低未燃煤和灰分的排放，进而减少不可燃损失。这一技术能够实时监测 CO 和 O₂ 浓度，动态调节空气供给，确保燃烧过程的稳定性和高效性，最大化能源的利用率。

该技术基于多参数耦合模型，对燃烧过程中的多个变量进行实时调节。通过监测炉膛内的气体成分、温度和压力等关键参数，建立数学模型进行在线优化。控制系统能够根据实时数据自动调整燃烧参数，保证燃烧过程在不同工况下都能达到最优效率，从而提高机组的热效率，减少能源浪费^[3]。

2.2 智能燃烧调控系统

智能燃烧调控系统通过模糊控制、神经网络和专家系统等智能算法对燃烧过程进行自适应调节。这些智能算法能够根据系统运行状态和外部环境变化，自主优化控制策略，减少人为操作的干扰，提升燃烧控制精度。尤其是在复杂工况下，智能算法能够处理大量非线性和动态变化的数据，快速做出调整，提高系统响应速度和稳定性。

智能控制系统通过与 DCS 系统的深度集成，实现了对炉膛、燃料、空气和排烟等多维数据的实时采集。结合大数据分析和机器学习方法，系统能够对历史数据进行建模，预测未来工况变化，提前做好控制策略的调整。控制策略的设定基于最小煤耗和最低 NO_x 排放的目标函数，通过算法动态调整燃烧参数，以实现节能和环保的双重效果。

2.3 炉内空气分配技术优化

在火电机组的燃烧过程中，空气分配对于燃烧效率至关重要。通过动态调整一、二次风的比例及配风方式，可以确保炉膛内燃料的完全燃烧，减少热损失并提高锅炉热效率。根据实际工况，控制系统可以智能调节一次风和二次风的量以及风向，优化燃烧环境，保证燃烧过程中的温度和氧气分布均匀，从而提升整体热效率^[4]。

通过风粉浓度的在线监测技术，可以实时了解炉膛内的煤粉分布和风量分布情况。这一技术能够有效提高燃烧过程的均匀性，减少局部过热和不完全燃烧的现象。

2.4 燃煤质量适应性调控技术

火电机组通常面临多煤种混烧的情况，而不同煤种的燃烧特性差异较大。多煤种适配模型通过建立煤种的燃烧特性数据库，能够根据煤质的不同进行精确的燃烧调控。通过该模型，控制系统可以根据实际煤种的变化，自动调整燃烧参数，如风量、喷燃速度和煤粉细度等，确保每种煤种在锅炉中都能得到充分、均匀的燃烧。

煤质识别技术利用煤样分析仪、红外光谱仪等设备，实时检测煤质的各项指标，如灰分、挥发分和热值等。结合自适应调节技术，系统能够根据煤质的波动调整燃烧参数，确保机组在不同煤质条件下的稳定运行。

2.5 锅炉热力系统协同调控技术

锅炉的脱硝和除尘系统与燃烧控制的联动调节，能够确保燃烧过程中的污染物排放符合环保标准。通过联动控制，脱硝与除尘装置的工作状态与燃烧状态同步优化，减少了因污染物排放过高而导致的排放超标问题。此外，通过精确控制燃烧温度和氧气浓度，还能有效降低 NO_x 和 SO₂ 的生成，减少环保治理负担。

锅炉的热力系统和机组的协同调控能够进一步优化整体热效率。通过精确调整锅炉的水循环系统、蒸汽压力及温度，配合机组负荷的调整，能够最大程度地减少热损失，并提高机组的整体效率。智能控制系统会根据机组运行状态和负荷变化，自动优化锅炉的运行参数，确保系统在全负荷和部分负荷下均能高效运行，提升整体经济性^[5]。

3 节能调控技术效果评估方法与指标体系

3.1 评估指标体系构建

1. 热效率指标：热效率是衡量火电机组性能的核心指标之一，锅炉效率直接影响机组的能效水平。锅炉效率高意味着燃烧过程中能源的利用更加充分，减少了热损失，提升了整体的能源转化率。单位煤耗是衡量煤炭消耗量与电力生产量之间关系的重要指标，通过降低单位煤耗，能够有效减少能源的浪费，实现燃料成本的节约。

2. 环保指标：NO_x 排放浓度是评价燃烧过程环保性的关键指标之一。高效燃烧控制技术能够有效减少 NO_x 等污染物的生成，降低对环境的影响。飞灰含碳量

则反映了煤粉的燃烧效率，飞灰中含碳量高表明燃烧不完全，浪费了能源。

3. 经济指标：燃煤单耗成本是衡量煤炭消耗对经济效益影响的重要标准，节能调控技术可以通过优化燃烧过程，降低煤耗，从而减少燃料采购成本。维护成本变化则涉及设备维护和系统调节的经济性，技术改进有助于降低设备磨损、减少故障率，从而降低长期运行和维护的费用。

4. 稳定性指标：燃烧波动率衡量燃烧过程的稳定性，波动率越小，说明燃烧过程越稳定，能效越高。响应时间则是指调节系统对负荷变化或煤质波动的反应速度，快速响应能够保证系统在变化条件下保持稳定运行。

3.2 数据来源与评估方法

评估节能技术效果的主要数据来源是机组的历史运行数据，通过与调控前后的数据对比分析，能够直接反映节能措施实施前后的变化效果。这些数据包括锅炉效率、煤耗、排放量等关键指标。通过对比分析，能够量化节能措施对各项指标的改进效果，为技术优化提供依据。

多变量统计分析法可以对多个因素进行综合评估，识别出影响燃烧效率和排放水平的关键参数。灵敏度分析则能够揭示出各个技术措施在不同工况下的效能差异，确定哪些技术对节能效果的贡献最为显著。

模糊综合评价方法能够处理多维度、定性与定量结合的问题，适用于节能效果评估中不同指标的综合评价。而层次分析法（AHP）则通过构建层次结构模型，确定各指标的权重，帮助决策者合理权衡各项技术方案的优劣。结合这两种方法，能够对不同节能技术进行综合评估，并为技术选择提供科学依据。

4 技术应用中的实际问题与发展趋势

4.1 实际应用中的问题

在660 MW火电机组的实际应用中，运行工况受到负荷波动、煤质变化及外部环境的影响。尽管采用了燃烧优化控制技术和智能调控系统，但复杂的工况使得现有控制模型和算法面临适应性挑战，特别是在煤质波动较大时，控制系统难以及时准确调节，导致燃烧效率未能充分优化，甚至可能出现不稳定情况。

随着自动化和智能化技术的应用，火电机组的控制系统变得愈加复杂，增加了系统的维护难度。许多技术人员对新型智能控制系统缺乏深入理解，导致设备故障时无法及时诊断与修复，从而影响机组的正常运行。技术培训不足，操作人员在参数调节和系统维

护上不够熟练，增加了故障和事故的风险。此外，尽管部分机组已采用数据采集与监测系统，但数据的获取与反馈机制仍不完善，信息传递滞后，难以支持实时决策和调节。这使得系统调控效果可能受到延迟影响，无法达到最佳的节能和排放控制效果。因此，需进一步完善数据获取和反馈机制，确保实时监控和及时调整。

4.2 未来发展方向

未来，随着智能感知技术和边缘计算的发展，火电机组的控制系统将能够实现更精确的数据采集与实时反馈。高精度智能传感器将用于监测炉膛内的各项参数，边缘计算技术将在现场进行实时数据分析，大幅提高系统响应速度与精度。这些技术的结合将使燃烧过程更加精细化和智能化，提升机组的运行效率。

同时，火电机组的优化将不再仅限于燃烧调控，而是扩展到多能协同的综合调度。结合风电、太阳能等可再生能源的波动性，优化热电耦合系统的运行，能够提升电力系统的整体能效。多能协同调度不仅减少化石燃料的使用，还能更好地应对电网负荷波动，提高能源利用的灵活性和效率。

5 结束语

通过对660 MW火电机组燃烧系统节能调控技术的深入分析与评估，可以看出，燃烧优化控制、智能调控系统、炉内空气分配技术等关键技术提升了燃烧效率、降低煤耗和污染物排放方面发挥了显著作用。这些技术的实施不仅改善了机组的热效率和环保性能，还推动了火电机组向高效、清洁化方向发展。然而，随着现场工况的复杂性和技术应用中的问题，未来仍需加强系统的智能化、自动化水平，优化数据采集和反馈机制，并探索多能协同和碳排放管理的新途径，以进一步提高机组的整体经济性和环保能力。

参考文献：

- [1] 万宏斌.660MW超超临界火电机组深度调峰能力试验研究[D].兰州:兰州交通大学,2020.
- [2] 郑瑞祥.1000MW火电机组燃烧系统的建模与控制方法研究[D].北京:华北电力大学,2018.
- [3] 闫佩育.660MW大型火电机组的多模型非线性解耦控制方法研究[D].沈阳:沈阳农业大学,2023.
- [4] 王哲,高琪瑞,李辉,等.1000 MW超超临界火电机组燃烧系统虚拟仿真教学实验系统建设[J].中国现代教育装备,2022(07):4-6.
- [5] 郭建豪.多目标燃烧优化控制系统的设计与应用[D].北京:华北电力大学,2022.

PLC 技术在钢铁冶金企业电气自动化控制中的应用研究

刘琳琳, 曹玉涛, 周艺丹

(莱芜钢铁集团银山型钢有限公司板带厂, 山东 济南 271104)

摘要 可编程逻辑控制器 (PLC) 的主要工作职能涵盖了自动化控制系统、数据的实时采集与处理以及信号的精准输出等多个方面。在钢铁冶金领域, PLC 技术的应用尤为关键, 可通过编程软件对设备进行精确的控制和指令下达。在实际应用中, PLC 技术不仅可以减少人为操作错误, 还能及时调整生产计划以应对市场需求的变化, 确保生产线始终保持高效运作。本文围绕 PLC 技术在钢铁冶金企业电气自动化控制中的应用展开了探讨, 以期为促进钢铁冶金企业技术进步及产业发展提供参考。

关键词 冶金工业; 电气自动化; PLC; 生产过程优化

中图分类号: TP273; TF089

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.16.027

0 引言

钢铁冶金企业作为国民经济的支柱产业, 承载着推动我国社会进步和经济繁荣的核心使命。它们不仅在原材料供应方面扮演着关键角色, 而且在促进相关行业技术创新、提升国家工业化水平等方面发挥着不可替代的作用。随着全球制造业的不断发展, 钢铁行业对先进生产技术的需求日益增长。其中 PLC 技术因其灵活性强、适应性广以及易于编程等特点, 成为冶金工业自动化生产的关键技术支撑。采用 PLC 技术进行冶金生产线的自动化改造, 可以有效提高生产效率, 降低能源消耗, 减少人为错误, 并大幅提升产品质量^[1]。通过将先进的自动化控制系统与智能制造理念相结合, 钢铁冶金企业能够更好地适应市场变化, 满足客户需求, 进一步增强自身竞争力, 从而在激烈的国际竞争中占据有利地位。这不仅有助于企业自身实现可持续发展, 也对整个国家的工业现代化进程产生深远影响, 需围绕 PLC 技术在钢铁冶金企业电气自动化控制中的应用展开积极探讨, 提升各项工作的实际效率。

1 PLC 技术概述

PLC 采用微处理器作为其核心, 具备强大的计算和控制能力。通过精心设计的系统编程语言, PLC 能够处理各种输入信号, 并执行一系列复杂的逻辑运算。这些逻辑运算通常包括对数据的比较、排序、转换以及决策等步骤。一旦完成处理, PLC 会将结果准确无误地输出到指定的执行机构, 比如电机、阀门或其他类型的控制单元, 从而驱动机械或执行特定的操作任务^[2]。

与传统的控制设备相比, PLC 因其灵活性和可编程性而备受青睐。与手动操作模式相比, PLC 可以通过软件编程来实现更高级的自动化功能, 极大地提高了生产效率和精确度。这种自动化不仅仅体现在重复性的工作上, 也能应对更为复杂多变的生产环境。PLC 的工作方式特别强调循环扫描, 即按照预先设定的周期, 连续不断地读取输入的输入信号。每一次扫描都是一个完整的周期, 它涉及读取输入信号、执行用户程序以及刷新输出状态等一系列动作。这样的循环扫描确保了控制系统能够始终保持在最佳状态, 同时也为系统提供了一个安全的边界, 以防止出现意外的中断或错误。在每个扫描周期中, PLC 都必须确保对所有可能的输入输出点进行充分的处理。这要求 PLC 必须具有极高的响应速度和准确性, 以保证整个控制系统的实时运行。此外, PLC 还需具备足够的稳定性和可靠性, 以应对长时间的连续运行和频繁的开关操作。只有这样, 才能满足工业应用对于自动化控制系统的严苛要求, 确保生产过程的稳定和高效。

2 PLC 技术在钢铁冶金生产流程设计中的应用

PLC 技术的应用, 在冶金生产领域中起到了至关重要的作用。它将复杂的冶金工艺转变为一系列直观易懂的流程图, 使得企业内部人员能够通过简洁的图形界面, 深入了解整个冶金过程中的每一个环节。这些流程图不仅展示出设备的运行状态、原材料的消耗情况和生产成本, 还能反映出产品的产量和质量水平。由 PLC 系统驱动的冶金流程分析方法, 极大地提高了

操作人员与其他部门间的信息交流效率。在日常操作中，操作人员可以借助流程图来快速识别并处理各种异常状况，而不需要投入大量时间去查阅厚厚的纸质记录或翻阅过时的数据报告。这样的互动方式，不仅增强了工作效率，也促进了对自动化系统整体结构的理解，从而有助于避免冗余步骤的出现。例如：在石灰石这一关键材料的使用上，其在冶金生产过程中扮演着举足轻重的角色。石灰石作为主要的原料之一，经过精心设计的窑炉焙烧过程，其物理和化学性质会发生显著变化，最终转化为可以直接用于化工生产的重要原料。在这个过程中，PLC系统的作用不可或缺。企业人员需要充分利用PLC系统来监控石灰石焙烧和加工转化的各个关键工序。从材料和设备检查，到入窑焙烧加工，再到成品的外观检验和质量检测，所有环节都应当纳入PLC系统的监测范围之内。通过细致的流程分析，技术人员可以找到潜在的风险点，进而提出切实可行的改进措施，以确保生产过程的高效性和安全性。基于PLC系统提供的逻辑线索，技术人员应运用科学合理的分析方案，彻底排查石灰石焙烧与转化阶段的各种隐患。无论是设备故障、化学成分失控还是环境污染问题，都应该得到及时的诊断和解决。只有通过持续的优化和改进，才能保证冶金生产的稳定性和可持续发展。

3 PLC技术在钢铁冶金设备优化中的应用

PLC技术在冶金行业中的应用日益广泛，它的智能预警功能尤为重要。这种系统通过实时监测设备的运行状况，利用精密的算法分析出设备可能出现故障的迹象，并根据这些信息对故障发生的概率进行评估。这一预警机制为企业管理层提供了强有力的决策支持，帮助他们制定出更加科学和合理的冶金系统定期维护计划。PLC系统还致力于优化冶金设备的使用性能，这不仅能够提升生产效率，而且也是为了减少设备故障导致的停机时间。在冶金自动化生产中，系统的稳定性至关重要，一旦停机就意味着经济损失甚至生产中断。因此，通过精确的状态监测和预测分析，可以确保设备始终处于最佳状态，从而实现生产的连续性和高效性。为了达到这一目的，PLC系统配备了先进的状态监测软件。这种软件能够结合冶金生产的实际情况进行综合分析，通过动态监测的方式及时识别出设备运行中的潜在风险^[3]。例如：通过监测电磁阀、线圈设备、指示灯、行程开关、端子排等关键部件，软件能够有效地捕捉到可能导致故障的早期信号。一旦发现异常，软件将立即发出警报，并通过数字化传感器迅速传递给负责管理此部分的企业负责人。实时反馈

机制加快了问题解决的效率，因为相关人员能够在第一时间了解到设备存在的问题^[4]。随后，他们可以迅速采取相应的干预措施，如调整操作参数、替换损坏的设备部件或是执行紧急维修工作。这样的干预处理措施有助于最大限度地减少潜在的损失，并保障生产过程的安全和顺畅。

4 PLC技术在钢铁冶金电气自动化控制中的应用

4.1 高炉控制系统

钢铁冶金炼制过程中，高炉的温度是关键因素。它直接关系到铁水的熔炼效果和最终产品质量。因此，精确控制高炉炉温就显得尤为重要。在高炉内，PLC（可编程逻辑控制器）以其强大的计算能力和灵活性成为温度控制系统的核心。为了实现对高炉内多个关键点的温度监控，工作人员会将高灵敏度电热偶等温度传感器巧妙地布置在炉身的不同部位。这些传感器能够捕捉到炉内随时间变化的温度，并通过专用通信系统实时传送至PLC系统。PLC接收这些温度数据后，迅速而精准地进行分析。当检测到实际温度偏离预设值时，PLC会自动启动一系列调整机制。首先，它会分析当前的温度数据，判断是否需要调节热风炉的送风温度和风量。这可以通过控制热风炉的燃气阀门和空气阀门的开度来实现。通过精细调节燃气的供应量以及供气量，PLC能够有效地降低进入炉内的热风温度，从而帮助炉内温度下降。反之亦然，如果检测到的温度低于预设的安全范围，PLC则会相应地增加燃气的供应量或调整空气与燃气的比例，以提高送入炉中的送风温度。这样做的目的在于维持炉内温度的稳定，确保所有化学反应都能在适宜的条件下进行，进而保证炼铁的效率和质量。高精度的温度控制不仅有助于防止因温度波动导致的能源损失，而且还有助于延长高炉的使用寿命。通过及时的温度调节，高炉能够更好地适应生产需求，减少不必要的停机时间，从而提高整体的生产效率和经济效益。这种技术的应用大大提升了现代钢铁工业的智能化水平，使得钢铁厂能够更加高效、环保地运营。

4.2 转炉炼钢控制系统

在处理钢水的冷却过程中，降低速度和调整冷却位置是至关重要的操作。这些参数必须根据钢水中所含成分的具体要求以及炉内化学反应的实时状况来进行即时调整。以确保整个工艺过程的准确性与效率。随着PLC系统的引入，这一过程得到了进一步的优化。PLC系统能够与副枪等关键设备形成紧密的协作关系，从而实现高度协调的操作。例如：当PLC监测到钢水中的碳含量超出正常范围时，它会立即通过增加氧气

流量和吹炼时间等手段来应对这一情况，以确保碳元素可以得到充分的氧化分解。这种智能化的调控不仅有助于提高钢材的质量，而且还能显著提升生产效率，同时最小化可能产生的杂质影响，保证最终产品的纯度与性能。通过精确控制，PLC 的介入使得炼钢过程变得更加可控和高效。在此基础上，钢水成分得以更加均匀，内部的杂质含量大幅减少，从而显著提升了钢材的整体品质。此外，这种先进的控制技术也为钢铁生产企业带来了更高的经济效益，因为它们能够更加精确地满足市场对不同规格和质量钢材的高标准需求。

4.3 连铸机控制系统

PLC 系统通过整合模糊控制、神经网络等高级控制算法，能够有效地处理由液位传感器所采集的大量复杂信号信息，这些信息往往涉及钢水流动过程中的各种不确定性以及干扰因素。当液位传感器探测到钢水液位上升时，PLC 便会迅速做出响应，调整中间包水口的开度。这一操作不仅仅是简单地增大或减少水流的量，而是对钢水的流量进行精细而精确的调节。这种调节能力是基于对钢水流动规律深入理解的基础之上的，它使得钢水可以被更高效地导入到特定的凝固阶段，从而提高整个生产流程的效率和质量。如果液位传感器发现液位下降，PLC 会根据预设的逻辑指令，加大开口的开度，以增强钢水与模具之间的接触面积，促进钢水的充分流动，加速凝固过程，同时也有助于避免因液位波动过大而导致铸坯产生缺陷。通过这样的精准调节机制，PLC 确保了铸坯表面具有均匀的光洁度，而且内部结构得以保持均一，没有明显的瑕疵，进一步提升了钢材的质量标准。

4.4 轧钢控制系统

钢铁冶金炼制过程中，热传导特性和相变温度的差异是不可避免的。这些参数对于 PLC 控制而言至关重要，因为它们直接影响到加热过程中的温度控制。因此，通过对这些特性的细致分析和调整，可以优化加热策略，从而提高整个生产线的效率和产品质量。特别是在轧制速度发生变化的情况下，加热炉的温度也必须相应地进行调整。例如：如果轧制的速度加快了，意味着钢坯在炉内停留的时间缩短，这就需要 PLC 系统能够快速响应，并通过调整加热炉内不同位置的温度，来确保钢坯能够达到合适的轧制温度。这不仅需要精确的温度控制技术，还需要具备高度的自动化水平，以便在最短的时间内实现最佳的加热效果。

为了避免钢坯因局部高温而出现过热或未完全热透的问题，PLC 系统需不断监测和调整各区域的加热温度。这种精准控制不仅有助于提高钢坯的加热均匀度，

减少热应力和组织缺陷，而且还能后续的轧制工序提供高质量、均匀分布的材料，保证最终产品的性能符合预期标准。

5 PLC 技术在钢铁冶金网络通信中的应用

PLC 控制器成功地接收到来自现场的数据流后，便开始启动一系列复杂的分析和处理过程。这个过程涉及对大量数据进行筛选、分类以及逻辑处理，以确保所有数据都能被正确且高效地理解和利用^[5]。在这一阶段，PLC 不会停止其工作，而是继续通过现场总线系统向各个执行器发送指令。这些执行器可能是诸如阀门、温度传感器或者是其他任何需要精确控制的设备，它们将根据接收到的指令，如调节热风炉的阀门开度等，做出相应的动作。在连铸机系统的运行中，这种分布式控制的概念尤为关键。这里，结晶器液位传感器和拉坯速度传感器等传感器负责监控和反馈铸坯内部的状态信息，而这些信息随后会通过现场总线。由于现场总线具有极高的信息传输速度和可靠性，即使这些设备零散分布在工厂较大范围内，也能够确保信息传递的精确性。这种方式极大地增强了生产系统的协同性和控制精度，因为各部分之间可以实时交流信息，从而实现更为精细和高效的生产管理。

6 结束语

现代钢铁冶金企业中，PLC 技术的应用已经成为提高生产效率和管理水平的关键技术之一。通过 PLC 技术的整合与优化，企业能够实现对生产流程的精准控制，这不仅有助于减少能源消耗，还能显著提高产品质量和工作环境的安全性。此外，PLC 的网络功能使其能够快速响应市场需求变化，满足客户定制化的生产要求，增强了企业的市场竞争力。未来，随着更多先进算法和机器学习技术的应用，PLC 技术在钢铁冶金领域将会发挥更加广泛的作用。

参考文献：

- [1] 王欢. 探讨 PLC 在冶金生产自动化中的角色与应用[J]. 冶金与材料, 2024, 44(06): 55-57.
- [2] 郑虹. 冶金电气自动化保护系统中 PLC 技术的实践与研究[J]. 通讯世界, 2024, 31(06): 142-144.
- [3] 韩大为. PLC 技术在冶金自动化控制中的运用分析[J]. 冶金与材料, 2023, 43(01): 116-118.
- [4] 梁铁铸. PLC 在钢铁冶金企业电气自动化控制中的应用[J]. 中国设备工程, 2023(08): 115-117.
- [5] 张佳兴. 基于 PLC 在冶金工业自动化中的应用研究[J]. 有色矿冶, 2023, 39(05): 41-43.

激光技术在钢铁切割与加工中的应用

丁晓丽

(山东普雷赛斯数控设备有限公司, 山东 济南 250000)

摘要 激光技术是现代制造业中的一种重要手段,它在钢铁切割和加工方面显示出了显著的优越性。它的高精度、高效率以及非接触式加工等特性使得它在钢铁行业中的应用越来越广泛。本文从激光切割、焊接、再制造、表面改性及增材制造方面对激光技术在钢铁加工上的应用进行了系统的阐述,指出激光表面改性技术主要有淬火、熔覆以及合金化过程,能够显著改善材料的性能,LCD和SLM等激光增材制造技术为制造复杂部件开辟了新的路径。

关键词 激光技术; 钢铁切割; 激光切割技术; 激光焊接技术; 激光再制造技术

中图分类号: TG485

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.16.028

0 引言

随着科学技术的不断进步以及制造业的飞速发展,激光技术被越来越多地运用到钢铁加工领域。激光技术具有高精度、高效率、高灵活性以及环保性的特点,是钢铁加工领域中的一种重要手段。但面对越来越激烈的市场竞争与多样化市场需求,激光技术也需不断地创新与发展才能适应新的产业变化。为此,本文通过探索激光技术在钢铁切割与加工中的应用,为钢铁行业科技创新与产业升级提供参考。

1 激光技术在钢铁加工中的优势

激光技术应用于钢铁加工领域已显示出许多显著优越性。一是激光技术凭借无可比拟的高精度特性使钢铁加工过程中的微小细节精准操控成为可能。这种高精度并不只表现在切割、焊接过程中,而是渗透到加工流程中,使钢铁制品尺寸精度、形状精度都得到了空前的保证。二是激光技术高效率的特点也是它受到钢铁加工欢迎的一个重要因素。激光束能快速而精确地作用在被加工材料上,使加工速度明显提高,生产效率得到改善^[1]。相对于传统加工方式,激光加工不需要太多预热及冷却时间,极大缩短加工周期并降低生产成本。三是激光技术非接触式加工的特性是它应用于钢铁加工的亮点之一。传统加工方式通常要求刀具或者模具直接接触被加工材料,这样不但易使刀具磨损而且会给被加工材料带来机械应力。而激光加工完全可以避免上述问题,其采用高能激光束对材料表面进行直接加工,真正意义上的非接触式加工以达到保护刀具及模具、延长使用寿命、改善加工质量的目的^[2]。

2 激光技术在钢铁切割与加工中的应用分析

2.1 激光切割技术

激光切割是激光技术应用于钢铁加工领域的最主要手段之一。它是以高能激光束为基础,利用聚焦镜把激光束集中成一个极微小光斑,使之瞬间形成高温,让钢铁材料快速熔化、汽化,甚至到达燃点,同时在高速气流或者惰性气体的辅助下,熔化或者汽化后的物料被吹离开切口,从而达到准确有效切割的目的。激光切割技术应用于钢铁切割时表现出很多的优点^[3]。一是它具有切割精度高、切口平齐平滑、不需二次加工等特点,能达到更高质量要求。二是激光切割快速高效,可显著提高生产效率和降低生产成本^[4]。另外,激光切割技术适应性强、灵活性高,可针对不同切割需求对功率、频率、光斑尺寸等激光参数进行调节,这样就达到了切割不同厚度和材质的钢铁制品的目的。激光切割技术广泛应用于钢铁加工中,不管是板材、管材或型材,不管是平面切割或立体切割等,激光切割技术均可轻松对付。

2.2 激光焊接技术

激光焊接技术作为其在钢铁加工领域里的又一重要应用已逐渐成为现代工业必不可少的一种高效精密连接手段。该技术以高能量密度激光束为热源,并通过激光束运动轨迹及功率输出的准确控制,将钢铁材料快速升温到极小区域熔化,实现了无接触无污染焊接工艺。激光焊接技术具有精度高、效率高等核心优点。一方面,激光束聚焦特性使其在焊接时能量集中且热影响区较小,以确保焊接接头力学性能优异且尺寸控制精度高。另一方面,激光焊接快速、焊缝成

形美观, 后续加工工序减少, 生产效率显著提升。此外, 激光焊接技术以非接触式加工为特征, 规避传统焊接方法可能带来的机械应力及变形等问题, 利于维持工件原几何形状及尺寸精度^[5]。

2.3 激光再制造技术

激光再制造技术主要是通过高能激光束精确修复废旧或者受损钢铁零件, 使其再制造或者性能得到改善, 其目的是最大限度地利用废旧资源, 降低对新资源依赖程度。激光再制造技术具有精度高、效率高、环保性好等核心优点。通过对激光束功率、光斑大小及扫描速度等参数的准确控制, 可达到废旧钢铁零件表面微小缺陷的精准修复, 同时, 确保修复区域力学性能与原始材料持平^[6]。该工艺不但避免了传统再制造方法可能带来的热变形及残余应力等问题, 而且极大地改善了再制造零件质量及性能。

2.4 激光表面改性技术

2.4.1 激光表面淬火技术

激光表面淬火技术作为激光表面改性技术中的一项重要内容正在逐步成为改善钢铁材料表面性能至关重要的方法。这种技术是用高能激光束将钢铁材料表面很快加热到奥氏体相变温度之上, 然后再用自冷或者快速冷却等方法使其表面很快淬火变硬, 形成了一层硬度高、耐磨性好、抗疲劳性能强的马氏体组织^[7]。激光表面淬火技术具有局部加热和快速冷却等核心优点, 可在不降低材料整体性能的前提下实现钢铁材料表面准确改性。该工艺由于激光束能量密度高, 使加热速度异常快、加热区域小、准确, 避免了常规淬火方法可能出现的热变形、残余应力等问题。同时激光淬火表面硬度明显提高, 耐磨性及抗疲劳性能得到显著改善, 钢铁零件使用寿命得到有效延长。

2.4.2 激光表面熔覆技术

激光表面熔覆技术是指利用高能激光束使特定的粉末或者丝材迅速熔化沉积在钢铁材料的表面上, 从而形成性能优异的新型合金层或者复合层的技术, 从而达到增强材料表面耐磨、耐腐蚀或者特定功能化的目的^[8]。激光表面熔覆技术具有高精度性、可控性等核心优点。激光束高能量密度使熔化过程快速而局部化, 可准确地控制熔覆层厚度、组成及微观结构以达到准确调节材料表面性能。在该工艺中激光束加热冷却速率快有利于减小热影响区、减小材料热变形及残余应力、维持基材原力学性能及几何形状^[9]。另外, 激光表面熔覆技术具有效率高、柔性好、环境友好等优点。通过准确控制激光束参数及熔覆材料类型, 可

实现不同形状、大小及材料的钢铁零件表面熔覆, 以适应各种工况性能要求。

2.4.3 激光表面合金化技术

激光表面合金化技术, 是指利用高能激光束使含特定合金元素的粉末或丝材在钢铁材料的表面迅速熔化和融合而形成性能良好的合金化层, 从而达到增强材料表面耐磨、耐腐蚀, 显著提高特定功能性。激光表面合金化技术具有精确性高、深度可控等核心优点。激光束高能量密度使熔化过程快速而局部化, 可准确地控制合金化层厚度、组成及微观结构以达到准确地调节材料表面性能。在该工艺中激光束加热冷却速率快有利于减小热影响区、减小材料热变形及残余应力、维持基材原力学性能及几何形状。同时通过对合金元素种类及含量的调节, 可对合金涂层性能进行灵活设计, 使其能够满足各种工况对性能的要求。

2.5 激光增材制造技术

2.5.1 激光直接成型 (LCD) 技术

作为激光增材制造技术中的一个重要分支——激光直接成型 (LCD) 工艺已逐渐成为钢铁材料中高效高精度制造复杂结构件的一种新方法。这种技术利用高能激光束使金属粉末层层融化和准确堆积, 在计算机控制下直接构造三维实体零件, 从而达到无模具、近清洁成型制造数字模型至实体零件^[10]。LCD 技术核心优点是设计自由度高、材料利用率高。利用尖端的计算机辅助设计 (CAD) 和计算机辅助制造 (CAM) 技术, LCD 技术可以轻易地完成复杂结构件的集成制造, 不需要在传统制造上进行模具设计与制造, 极大缩短产品开发周期。同时 LCD 技术通过逐层堆积, 材料利用率更高、降低材料浪费, 与绿色制造理念一致。制造时 LCD 技术可以通过准确控制激光束功率、光斑尺寸及扫描速度等参数及金属粉末供给量与堆积方式来达到准确控制部件尺寸、形状与性能。

2.5.2 选择性激光熔化 (SLM) 技术

选择性激光熔化 (SLM) 技术, 作为激光增材制造领域的尖端技术, 正在逐步转变为钢铁和其他金属材料高精度、高性能三维实体制造的核心技术。该技术利用高能激光束对事先铺好的金属粉末层进行精准扫描与熔化, 从而达到逐层堆积构建的目的, 在计算机程序的引导下直接产生复杂的三维实体零件而不需要模具, 大大提高制造效率与灵活性。SLM 技术核心优点是制造精度高、材料性能优越。通过对激光束扫描路径、功率与速度及金属粉末粒度与分布等参数进行精确调控, SLM 技术可以构筑力学性能优良、微观结构与表面

质量良好的部件。该工艺中激光束快速加热与冷却特性保证材料组织均匀致密、热影响区减小、材料热变形与残余应力有效减小,进而保证零件高精度、高质量。另外,SLM技术的材料利用率较高、设计自由度高,容易实现个性化定制。这项技术通过分层堆叠的方法,能够达到近乎100%的材料使用效率,从而显著降低了材料的浪费。

3 激光技术在钢铁加工中的应用与发展趋势

3.1 数字化与高精度化发展

随着信息技术突飞猛进的发展,激光技术数字化和高精度化已经成为钢铁加工中不可逆转的发展趋势。这一趋势既表现为激光加工设备智能化和自动化程度的提高,也表现为激光技术和数字化技术深度结合,促进由设计向制造全链条的数字化转型。在数字化的进程中,激光技术正在逐渐与计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助制造(CAM)以及计算机辅助工程(CAE)这些数字化工具实现深度融合。利用数字化手段实现了对激光加工过程的准确模拟、加工结果的预测、加工参数的优化,提高了产品的加工效率与质量。同时数字化技术也使激光加工的工艺更透明化、可追溯,方便了质量控制与生产管理。在激光技术不断进步的同时,激光束聚焦精度、扫描速度和能量密度等关键指标也在不断提高,从而为高精度加工的实现提供强有力的保障。

3.2 多功能集成化加工

在激光技术不断进化的今天,多功能集成化加工已经成为促进钢铁加工领域技术创新和产业升级的一个重要发展趋势。这一发展趋势强调把激光加工技术和各种传统或者新兴加工技术有机地结合在一起,构成一个包括切割、焊接、表面改性和增材制造在内的综合加工系统。通过多功能集成化加工不但可以有效地提高加工效率与产品质量,而且可以使加工过程灵活定制,以适应市场越来越多样化的需求。多功能集成化加工系统以激光技术为核心驱动力起到了关键作用。激光束具有高能量密度、高聚焦性及高可控性等特点,使其能在加工时对热输入及能量分布进行准确控制,以实现各种加工功能无缝切换及高效协同。以激光切割及焊接集成加工为例,激光束参数及加工路径的准确调节可在确保焊接接头强度及质量的前提下实现钢铁材料快速准确地切割。

3.3 智能化与自动化融合

在未来激光技术发展蓝图上,智能化和自动化深度融合是促进钢铁加工领域向智能制造迈进的重要途径。

这一发展趋势既强调激光加工设备本身智能化升级,如通过融合先进传感器、机器视觉以及人工智能算法等技术来对加工过程进行实时监控、自适应控制及故障预警等方面,也注重建设覆盖设计、生产、管理等全链条自动化、智能化集成系统。智能化和自动化一体化激光加工系统可以显著提高加工效率、降低生产成本,同时提高加工过程灵活性及定制化能力。该系统对加工数据进行智能算法深度挖掘与分析,实现了加工参数自动优化、潜在质量问题预测与规避、加工过程高稳定性与一致性保障等。同时在自动化物流、机器人协作等先进技术的支持下,该激光加工系统可实现原材料供应、加工操作、成品检验全过程自动化,显著提高了生产效率与响应速度。

4 结束语

激光技术应用于钢铁加工领域,在提高加工效率、改善产品质量的同时,也可以更好适应市场越来越多样化的需求,推动着钢铁加工行业向绿色转型。未来,激光技术会向着数字化、高精度化、多功能集成化及智能化和自动化相融合等趋势发展,在钢铁加工行业将扮演更为关键的角色,为钢铁产业的持续增长提供坚实的技术后盾。

参考文献:

- [1] 牛广辉,张业建,林庆宇.激光诱导击穿光谱(LIBS)技术在低碳钢铁冶金行业的应用[J].中国无机分析化学,2024,14(02):168-175.
- [2] 任志国,王烁,王振兴,等.激光除锈技术对Q345钢表面残余应力和腐蚀性能的影响[J].表面技术,2024,53(19):164-172.
- [3] 唐沿扩.视觉系统在机器人全自动激光切割中的改进与应用[J].今日制造与升级,2024(06):113-116.
- [4] 贺美珍,乐聪聪,蒋燕麟.钢材用激光熔覆硬面涂层工艺及其实验研究[J].超硬材料工程,2023,35(01):38-42.
- [5] 郑升峰,王帅,齐红红,等.新型测绘技术在钢铁企业数字化转型中的应用[J].低碳世界,2024,14(05):25-27.
- [6] 叶安.激光技术在钢铁切割与加工中的应用[J].冶金与材料,2024,44(10):124-126.
- [7] 何琦,徐晨阳,侯泽然,等.激光热处理对超高强度钢扩孔性能的影响[J].塑性工程学报,2024,31(08):225-230.
- [8] 伍里峰,龙伟民,杨洋,等.钢的激光淬火研究现状[J].金属加工:热加工,2023(05):20-31.
- [9] 谭海林,赖春明,周家林,等.不同强度级别双相不锈钢激光焊接头的组织与力学性能[J].精密成形工程,2024,16(06):122-128.
- [10] 李朝进,刘媪.米巴赫激光焊机剪切装置装配方法优化[J].电工钢,2023,05(02):48-51.

建筑工程施工质量控制优化策略研究

李俊强

(韩大建设有限公司, 安徽 淮南 232200)

摘要 为探究建筑工程施工中质量控制问题并寻求优化策略, 本文分析了建筑工程施工质量控制的现状, 指出存在工程质量标准参差不齐、技术人员素质不一、施工材料质量不达标、现场管理不严格、施工设备维护不到位、安全质量控制不足等问题, 并针对这些问题提出了推动标准化施工操作、加强技术人员培训与考核、确保施工材料符合标准、强化现场管理和监督、定期进行施工设备检查与维护、统筹安全与质量管理等优化策略, 以期为相关从业人员提供有益参考。

关键词 建筑工程; 施工质量控制; 标准化施工; 现场管理

中图分类号: TU712.3

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.16.029

0 引言

建筑质量不仅关乎民众的居住体验与安全, 更影响着城市的整体形象与可持续发展。然而, 当前建筑工程施工质量却状况频出。工程质量标准缺乏统一规范, 技术人员专业素养良莠不齐, 施工材料以次充好现象时有发生, 现场管理混乱, 施工设备维护不及时, 安全质量控制不到位等问题, 严重威胁着建筑工程的质量。在此背景下, 深入研究建筑工程施工中质量控制的现状并探寻优化策略, 对保障建筑行业健康发展极为重要。

1 建筑工程施工中质量控制的现状

1.1 工程质量标准参差不齐

在建筑工程领域, 不同地区、不同企业所遵循的工程质量标准存在显著差异。部分小型建筑企业, 由于缺乏完善的质量管理体系, 在施工过程中往往仅依据自身经验或简单参照低标准规范操作。一些经济欠发达地区, 受限于当地建筑行业发展水平, 所采用的质量标准更新滞后, 难以与国家最新的建筑规范接轨^[1]。这导致在同一建筑项目中, 不同施工环节的质量要求模糊不清, 各工种之间的衔接缺乏明确标准, 容易出现施工漏洞。例如: 在混凝土浇筑环节, 因标准不统一, 可能出现水泥标号使用错误、水灰比调配不当等问题, 直接影响建筑结构的强度与稳定性, 严重威胁建筑的整体质量与使用寿命。

1.2 技术人员素质参差不齐

建设工程技术人员来源广泛, 受教育程度不同, 技术层次也不同。很多一线的建筑工人没有接受过

系统的专业训练, 主要依靠传统的经验来完成工作。有些专业技术人员虽然受过一定的教育, 但实际操作经验不足, 理论和实际脱节。一些大型建设工程采用了大量的新工艺和新材料, 而一些技术人员却不能很好地适应复杂的建设任务。例如: 在装配式建筑施工过程中, 技术人员对构件的吊装和拼接技术的要求非常高, 而由于技术水平的欠缺, 往往会造成构件的安装偏差, 从而影响到整个结构的精度和安全性。同时, 由于工程技术人员对施工规范、质量标准认识不统一, 导致施工过程难以达到高质量的统一要求。

1.3 施工材料质量不达标

施工材料是建筑工程质量的基础保障, 但目前市场上施工材料质量良莠不齐。一些不法商家为追求高额利润, 生产销售劣质材料, 如以次充好的钢材、强度不达标的水泥等。部分建筑企业在采购环节, 为降低成本, 选择价格低廉但质量无保障的材料供应商。在材料进场检验时, 部分企业检验流程不规范、检验手段落后, 无法有效检测出材料的潜在质量问题。例如: 用于外墙保温的材料, 实际保温性能与防火等级远低于产品标注, 不仅影响建筑的保温节能效果, 还存在严重的消防安全隐患。使用不达标的施工材料, 从源头上为建筑工程质量埋下了巨大隐患, 严重时可能导致建筑结构损坏、房屋渗漏等质量事故。

1.4 现场管理不严格

建筑施工现场管理涉及人员调配、施工流程安排、材料设备存放等多个方面。部分建筑企业现场管理制度不完善, 缺乏明确的责任分工, 导致施工过程中出现问题时相互推诿。在施工进度管理上, 因计划不合

理、调度不及时,常出现施工工序颠倒、窝工等现象。现场材料堆放杂乱无章,未分类存放且缺乏有效的防潮、防雨措施,导致材料损坏变质。施工设备随意停放,影响正常施工秩序^[2]。例如:在一些施工现场,不同工种的施工人员缺乏协调配合,同一区域内交叉作业频繁,不仅降低施工效率,还极易引发安全事故。现场管理的混乱无序,严重影响建筑工程的施工质量与进度。

1.5 施工设备维护不到位

建筑工程施工设备种类繁多,长期高强度使用易出现磨损老化等问题。但部分建筑企业对设备维护重视不足,未建立完善的设备维护保养制度。设备操作人员缺乏设备维护常识,日常操作中不按规范使用设备,加速设备损耗。设备维护资金投入不足,导致设备维修不及时,带病作业现象时有发生。例如:塔式起重机作为建筑施工中的关键设备,若长期未进行保养维护,其关键部件如钢丝绳、制动器等易出现故障,在吊运建筑材料过程中可能发生断裂、失灵等危险情况,不仅危及施工人员生命安全,还会造成建筑材料损毁,影响施工质量与进度,增加建筑工程的整体成本。

1.6 安全质量控制不足

建筑工程施工环境复杂,安全风险高,但一些企业安全质量意识淡薄,安全管理制度形同虚设。在施工现场,安全防护设施配备不齐全,如部分高空作业区域未设置有效的防护栏、安全网,施工人员未正确佩戴安全帽、安全带等。安全教育培训不到位,施工人员对安全操作规程不熟悉,安全风险防范意识差。安全检查流于形式,未能及时发现并排除安全隐患。例如:在一些拆除工程中,未制定详细的安全拆除方案,未对施工人员进行充分的安全交底,施工过程中随意拆除承重结构,极易引发坍塌事故,不仅造成人员伤亡,还严重破坏建筑结构,导致建筑质量无法保证,给后续修复与重建带来极大困难。

2 建筑工程施工质量控制的优化策略

2.1 推动标准化施工操作

施工单位要积极贯彻和落实国家和行业权威的建设标准和规范,编制覆盖施工各个阶段的具体操作规程。组织施工人员集中学习,加深对标准工序的理解和掌握。如砌体施工时,应明确规定砌块的排布方式、灰缝厚度和饱满度的规范,并规定每日砌筑高度的限值,使人为因素造成的质量波动降到最低。组建标准化施工监督员队伍,对施工现场实施实时巡查,发现

不合格的作业及时纠正,同时建立奖惩制度,对严格执行规范的施工班组进行奖惩,对屡教不改的班组进行处罚,以激励建设者自觉遵守规范^[3]。另外,定期组织标准化施工经验交流活动,使各个施工班组相互交流好的经验,互相学习,使标准化作业细节得到进一步完善。通过推进标准化施工作业,可以有效地提高各个施工阶段的质量稳定性,保证建筑工程的整体质量水准,降低了一些常见的质量问题,为以后的施工工序的顺利进行打下了良好的基础。

2.2 加强技术人员培训与考核

定期组织技术人员参加专业技能培训课程,培训内容不仅要涵盖传统施工技术的深化讲解,还要重点引入新兴建筑技术与工艺,如BIM技术在施工管理中的应用、绿色建筑施工技术等,拓宽技术人员知识面。邀请行业专家进行现场指导与案例分析,增强技术人员的实践操作能力。培训结束后,进行严格的考核评估,考核内容包括理论知识、实际操作技能以及对施工规范和掌握程度的掌握程度。考核结果与技术人员的薪酬待遇、晋升机会挂钩,激励其积极提升自身素质。为了提升培训效果,可建立线上学习平台,上传丰富的学习资料,方便技术人员随时学习巩固。例如:针对装配式建筑技术培训,考核时要求技术人员在规定时间内完成构件的精准吊装与拼接操作,并准确阐述施工要点与质量控制关键环节。通过持续的培训与考核,打造一支技术精湛、素质过硬的施工队伍,为建筑工程施工质量提供有力的人才支撑。

2.3 确保施工材料符合标准

建筑企业要建立严格的材料采购制度,优先选择信誉良好、资质齐全的供应商,对供应商的生产能力、质量管控体系进行实地考察。在采购合同中明确材料的质量标准、验收方式及违约责任,从源头保障材料质量。材料进场时,严格执行检验程序,运用先进检测设备与技术,对材料的各项性能指标进行全面检测。例如:对钢材的屈服强度、抗拉强度、冷弯性能等进行精确检测,对水泥的凝结时间、安定性、强度等级进行严格检验。建立材料质量追溯体系,一旦发现材料质量问题,可迅速追溯到采购环节与供应商^[4]。同时,加强施工现场材料的存放管理,根据材料特性采取相应的防潮、防锈、防火等措施,防止材料在存放过程中变质。另外,定期对库存材料进行抽检,确保材料质量始终处于合格状态。确保施工材料符合标准,为建筑工程质量提供坚实的物质基础,避免因材料问题引发质量事故。

2.4 强化现场管理和监督

构建完善的施工现场管理制度,明确各部门与岗位的职责分工,绘制详细的施工进度计划网络图,合理安排施工工序,避免施工工序颠倒与窝工现象。设立专门的现场管理团队,对施工现场的人员、材料、设备进行统一调度与管理。例如:对材料堆放区域进行合理规划,设置明显标识牌,按照材料种类、规格分类存放,并配备必要的防潮、防雨设施。加强对施工设备的停放管理,确保设备停放位置不影响施工通行与其他作业。定期召开施工现场协调会议,及时解决施工过程中出现的问题,促进各工种之间的沟通与协作。加强现场监督力度,监督人员要严格按照施工规范与质量标准进行检查,对违规操作行为及时制止并进行整改。同时,利用信息化手段,如安装监控摄像头,对施工现场进行 24 小时实时监控,以便及时发现。通过强化现场管理和监督,提升施工效率,保障建筑工程施工质量与进度。

2.5 定期进行施工设备检查与维护

建筑企业需制定详细的设备检查与维护计划,根据设备类型、使用频率及工作环境,确定检查周期与维护内容。安排专业维修人员定期对设备进行全面检查,包括设备的机械部件、电气系统、安全防护装置等。例如:对塔式起重机的钢丝绳磨损情况、制动器灵敏度、各连接部位的紧固程度进行细致检查,对混凝土搅拌机的搅拌叶片磨损、传动系统运行状况进行检测。建立设备维护档案,记录设备每次的检查、维修情况及更换的零部件信息。对于检查中发现问题,及时安排维修,维修完成后进行试运行,确保设备正常运行^[5]。加大设备维护资金投入,购置必要的维护设备与工具,定期对设备操作人员进行设备维护知识培训,提高其维护意识与操作技能。此外,引入设备故障预警系统,通过实时监测设备运行参数,提前预判设备故障,及时安排维护,保障设备稳定运行。通过定期进行施工设备检查与维护,延长设备使用寿命,保障设备在施工过程中的安全稳定运行,避免因设备故障影响施工质量与进度。

2.6 统筹安全与质量管理

建筑企业要牢固树立安全与质量并重的管理理念,将安全管理深度融入质量管理体系中,形成一体化管理模式。制定完善的安全质量管理体系,明确安全质量目标,如杜绝重大安全事故、确保工程质量一次性验收合格且达到优质工程标准;细化各部门、各岗位

的安全质量责任分工,签订安全质量责任书,将责任落实到人。将安全质量指标纳入绩效考核体系,设立安全质量专项奖金,对安全质量工作表现突出的部门与个人给予奖励,对出现安全质量问题的进行严肃处理。在施工现场,需加大安全防护设施投入,确保高空作业区域防护栏高度不低于 1.2 米、间距不大于 0.5 米,安全网符合国家标准且张挂严密;为施工人员配备符合标准的安全帽、安全带、安全鞋等防护用品,定期检查防护用品质量,及时更换损坏用品。加强安全教育培训,通过安全知识讲座、事故案例分析视频播放、安全演练等多样化形式,提高施工人员的安全意识与操作技能,如每季度组织一次火灾逃生演练、高处坠落应急救援演练等。在质量管理方面,严格执行施工规范与质量标准,加强施工过程质量控制,从原材料进场检验、施工工序质量检查到成品保护,进行全过程、全方位管控。例如:在拆除工程中,制定科学合理的安全拆除方案,方案中明确拆除顺序、安全防护措施、质量控制要点等,并进行详细的安全与质量交底,确保施工人员清楚掌握;施工过程中安排专人进行安全与质量监督,监督人员定时巡查,发现安全隐患与质量问题及时制止并督促整改。

3 结束语

建筑工程施工质量控制对保障建筑安全与功能意义重大。当前施工质量控制存在工程质量标准、人员素质、材料、现场管理、设备维护及安全质量等多方面问题。经研究提出推动标准化施工、强化人员培训考核、严控材料标准、加强现场监管、定期维护设备以及统筹安全与质量等优化策略。未来,随着建筑行业技术革新与管理理念升级,持续落实科学有效的优化策略,切实保障建筑工程施工质量,为社会打造更多优质、安全的建筑项目。

参考文献:

- [1] 郭春因.住宅建筑屋面防水工程施工技术要点及质量控制措施[J].居舍,2025(07):33-35.
- [2] 廖静.房屋建筑工程施工技术要点及质量控制策略研究[J].中国建筑装饰装修,2025(04):153-155.
- [3] 罗蝶兴.探讨建筑工程施工质量控制的有效措施[J].城市建筑,2025,22(03):207-209.
- [4] 王建华,丁冬.高层建筑消防工程施工中的常见问题及质量控制措施[J].今日消防,2024,09(12):76-78.
- [5] 刘锡敏.建筑幕墙工程施工技术中的节点设计与质量控制[J].城市开发,2024(13):112-113.

建筑工程土建施工技术控制策略分析

陈胜永¹, 刘传良²

(1. 济南能源工程集团有限公司, 山东 济南 250000;
2. 济南齐鲁建设项目管理有限责任公司, 山东 济南 250000)

摘要 随着建筑行业的快速发展, 建筑工程土建施工技术控制成为确保工程质量与安全的关键。本文阐述了优化建筑工程土建施工技术控制的重要意义, 指出其不仅是顺应科技发展趋势的需求, 也是应对市场竞争的必然选择, 更符合国家建设战略的要求; 分析了当前建筑工程土建施工技术控制中存在的钢筋施工技术难题、模板施工技术挑战、混凝土施工质量控制及防水施工技术缺陷等问题, 并提出了针对性的有效策略, 旨在对加强钢筋、模板、混凝土及防水等关键施工技术的控制措施有所裨益, 进而提升建筑工程的整体质量和安全性。

关键词 建筑工程; 土建施工; 钢筋施工技术; 模板施工技术; 混凝土施工质量控制

中图分类号: TU712.3

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.16.030

0 引言

在实际施工中, 钢筋、模板、混凝土及防水施工等技术仍面临诸多挑战。钢筋施工中的材料选择和加工问题、模板施工中的精度控制难题、混凝土施工中的质量控制不足以及防水施工中的材料选用和构造设计缺陷, 直接影响着建筑工程的整体质量。本文通过对这些技术问题进行分析, 并结合现阶段建筑行业发展的趋势, 有针对性地提出控制策略, 目的在于通过对施工技术的优化控制来促进建筑工程质量与效益的提高。

1 优化建筑工程土建施工技术控制的重要意义

1.1 顺应科技发展趋势的需求

伴随着科学技术的快速发展, 建筑工程领域技术革新日新月异, 各种新材料、新工艺和新设备层出不穷, 这给土建施工带来了空前的挑战和契机。所以, 对土建施工技术进行优化控制不仅可以促进施工效率的提高和工程质量的保证, 还可以带动行业技术的进步, 促进建筑业向着更高的水平迈进。具体来讲, 土建施工技术控制优化是建筑工程领域中科技进步的具体表现^[1]。现代科技如信息技术、智能技术以及自动化技术都在深刻地改变建筑工程施工方式以及管理模式。引进这些先进技术能够达到精准控制施工过程、提高施工精度与施工效率、降低人为误差等目的, 进而促进工程质量的提高。与此同时, 这些工艺的引进还促进土建施工工艺的革新与发展, 对建筑工程可持续发展起到强有力的支持作用。

1.2 对市场竞争的必然选择

建筑企业要想在竞争中立于不败之地, 就一定要不断增强企业核心竞争力, 建筑工程土建施工技术控制优化恰恰是应对市场竞争所必须选择的手段。一是土建施工技术控制优化有利于促进建筑企业施工效率与质量的提高。建筑企业在引进先进施工技术与管理方法的基础上, 能够在施工过程中做到精细化管理, 降低资源浪费、缩短工期, 进而提升施工效率。与此同时, 对技术进行严格把关也可以保证施工质量稳定可靠, 促进建筑产品整体质量得到提高。二是优化土建施工技术控制, 帮助建筑企业降低成本。成本是市场竞争中企业获取竞争优势最关键的因素。通过优化施工技术控制使企业能够对施工材料及设备进行精细化管理, 以减少无谓的浪费与损失, 进而降低施工成本^[2]。

1.3 符合国家建设战略的要求

国家建设战略通常是着眼长远, 以促进经济和社会全面、协调和可持续发展为目标, 建筑工程是国民经济的主要支柱之一, 其技术水平的提高和创新, 直接影响着国家建设的目标。对土建施工技术进行优化控制就意味着建筑施工过程中要更重视对资源进行合理使用、保护环境、提高能效等。这和我国实施的绿色发展、节能减排的战略方针是高度一致的^[3]。通过运用先进的施工技术与管理手段能够有效地降低施工中能耗与排放, 减少环境影响, 推动建筑行业绿色转型。与此同时, 对土建施工技术进行优化控制是促进国家基础设施建设质量不断提高的关键所在。国家建设战略通常包括交通、能源、水利等一大批基础设施建设项目,

而这些工程的开展需要较高施工技术来支持。通过对土建施工技术进行优化控制,能够保证基础设施建设稳定与安全,促进工程整体质量与使用寿命的提高,进而为我国经济与社会持续发展奠定坚实物质基础。

2 建筑工程土建施工技术控制中存在的问题

2.1 钢筋施工技术难题

建筑工程施工土建期间,钢筋施工技术起着关键的作用,它的好坏直接关系到建筑结构是否稳定安全。但目前钢筋施工技术控制面临许多困难和急需解决的问题。一方面,是钢筋在选材和加工上有失范。在实际的建设过程当中,一些施工单位为降低成本通常会选择质量不合格的钢筋材料进行施工,从而造成建筑结构出现安全隐患。与此同时,钢筋在加工过程中缺乏严格把关,如切割精度不够、弯曲角度存在偏差等等,这都将对钢筋力学性能以及使用效果造成影响^[4]。另一方面,钢筋连接绑扎技术有缺陷。钢筋连接方式有很多,主要有焊接、机械连接等,每一种连接方式均有具体适用条件与操作要求。但在实际的施工过程中,一些施工人员对于连接技术掌握得并不娴熟,造成连接质量不够稳定甚至存在隐患。

2.2 模板施工技术挑战

建筑工程土建施工中,模板施工技术的支持混凝土浇筑成型关键一环,技术控制精准度和效率对建筑结构质量和施工周期有着直接的影响。但目前模板施工技术在实践中遇到了诸多挑战,需要得到业界的高度重视。一是模板设计和选择面临着复杂多样的工程要求。不同建筑工程在结构形式、荷载要求以及施工环境等方面都存在着差异,这对于模板设计也就有了极高要求。模板需要有较好的稳定性、刚度及可拆卸性才能满足各种工况施工需要。但在实际施工过程中,一些施工单位对模板设计缺少创新,常常使用传统通用模板进行施工,很难适应不同项目的个性化要求,造成施工效率不高,甚至对工程质量造成影响。二是模板在安装和拆卸时的精度控制问题^[5]。模板在安装时需要保证位置精准、拼缝紧密,以免混凝土浇筑时漏浆和错位。同时,模板在拆除过程中还需要按照严格的施工流程进行施工,以免破坏混凝土结构。但是,在实际的施工当中,因为施工人员技术水平良莠不齐,模板安装和拆卸时的精度控制通常很难达到人们所期望的水平,加大了施工风险。

2.3 混凝土施工质量控制

混凝土作为建筑工程最为基本也是最为主要的建筑材料,施工质量控制的好坏直接影响着建筑结构是

否牢固、耐久以及安全。但是在实际的施工中混凝土施工的质量控制面临很多的挑战,需要给予高度的重视。一是混凝土原材料质量波动对施工质量起着至关重要的作用。水泥、骨料、外加剂及其他原材料性能稳定与否,对混凝土强度、工作性、耐久性有着直接的影响。实际建设中由于原材料的来源比较复杂,品质良莠不齐,再加上运输、贮存时环境的改变,常常会造成混凝土原材料性能的波动,从而对混凝土整体品质产生影响。二是混凝土配合比设计和调整对于施工质量起着决定性作用。合理的配合比可以保证混凝土工作性、强度、耐久性好。但实际施工过程中因工程条件改变,原材料性能差异及施工人员对配合比认识不到位等原因,常造成配合比设计不尽合理或者调整不够及时而影响混凝土性能发挥。

2.4 防水施工技术缺陷

建筑工程防水施工技术,是保证建筑结构免受水分侵蚀和延长其使用寿命的关键环节。但是目前防水施工技术在实践中暴露出了很多不足,给建筑工程质量和安全带来了潜在的威胁。一方面,防水材料在选用和使用上有缺陷。防水材料有很多种,其性能也不尽相同,选用适当的防水材料对于防水效果是非常重要的。但在实际生产过程中,一些施工单位为了减少成本,常常会选择质量不合格的防水材料进行施工,致使防水层容易出现老化、裂缝等问题,防水效果也大大降低。另外,防水材料在施工应用过程中规范性不强,如涂层厚度不够、接缝处理不当等等,这些都进一步弱化防水层的适用性能。另一方面,防水构造设计不合理也是导致防水施工技术缺陷的重要原因。防水构造设计需要充分考虑建筑结构受力特点,使用功能与环境条件等因素,才能保证防水层稳定耐久。但是在实际的设计当中,一些设计师对于防水构造并没有足够的认识,所设计出来的防水构造通常很难满足复杂施工环境以及使用需求,使得防水效果并不是很好。

3 建筑工程土建施工技术控制的有效策略

3.1 钢筋施工技术控制措施

鉴于建筑工程土建施工钢筋施工技术所面临的困境,采取有效控制措施是非常关键的。一是要严格把关钢筋材料质量关保证所购钢筋达到国家标准及设计要求,从根本上保证钢筋性能稳定。在钢筋处理环节中,需要强化工艺控制来提高切割、弯曲等处理精度,保证钢筋的尺寸精确和形状标准,才能适应施工的需要。二是钢筋的连接和绑扎技术需要引起注意。施工人员要熟练运用焊接、机械连接以及其他多种连接方式操

作要领,以保证连接质量的可靠性。绑扎时,要注意细节处理,比如绑扎点选取、绑扎力度控制,以免钢筋出现错位和松动。同时,要加强钢筋连接及绑扎质量检测,保证满足设计要求。三是对于钢筋防腐保护,要采取有效防腐措施。将防腐涂料涂于钢筋表面或者通过镀锌处理增强其耐腐蚀性能。另外,施工期间要尽可能避免钢筋与恶劣环境的长期接触,降低腐蚀风险。对已经发生腐蚀的钢筋要及时维修或者更换以保证建筑结构安全。

3.2 模板施工技术控制措施

建筑工程土建施工当中,模板施工技术能否准确落实,对确保混凝土结构成型质量起着关键性作用。对于模板施工技术所面临的挑战来说,采取有效控制措施是非常重要的。一是模板的设计需要充分考虑到工程的实际条件,主要是结构形式、荷载要求和施工条件,以保证模板设计的科学性和合理性,适应施工的需要。模板选型时应优先选择质量可靠,拆装方便并具有良好的环保性能的新型模板,降低施工成本和施工效率。二是模板的安装和拆卸工艺需要严格按照施工工艺流程进行,保证模板的安装就位精准、拼缝紧密,以免在混凝土浇筑时发生漏浆和错位现象。拆除时要注意混凝土结构的防护,以免破坏混凝土。同时,要加强模板安装和拆卸的质量检查,保证达到设计要求和验收标准。三是要对模板材料循环利用和环保性能进行有效治理。使用模板时,要注意对材料进行养护和修理,以延长其寿命。对废弃模板材料要分类回收再利用以减少资源浪费。同时要积极推广应用具有良好环保性能的模板材料来减少施工过程中的环境影响。

3.3 混凝土施工技术控制措施

就建筑工程土建施工而言,有效落实混凝土施工技术控制措施是保证混凝土结构质量和安全的重点。一是必须对混凝土的原材料,如水泥、骨料和外加剂等进行严格的质量控制,以确保它们的性能既稳定又满足设计标准。在原材料采购和进场检验环节中,要建立健全检验制度,坚决把不合格品退回,从根本上确保混凝土质量。二是混凝土配合比设计和调整需要准确无误。施工单位要结合设计要求和原材料性能等因素,按照工程的实际状况科学合理地确定混凝土的配合比。施工期间要定期检测混凝土拌和物的坍落度和含气量,以便及时调整配合比以保证其工作性能符合施工要求。三是混凝土浇筑和振捣工艺质量控制也非常关键。施工单位要编制周密的浇筑和振捣施工计划,并确定施工流程、技术要求和质量标准。浇筑时应注意混凝土均匀性、密实度和连续性,以免发生漏

振和过振。在振捣过程中,应选择适当的振捣设备并控制振捣频率和振捣时间,以保证混凝土中气泡完全溢出,增强混凝土密实度及强度。

3.4 防水施工技术控制措施

建筑工程土建施工过程中防水施工技术控制措施能否得到有效落实,是确保建筑结构防水性能和延长其寿命的关键。一是要严格控制防水材料质量选用国家或行业标准,防水性能好、适应工程环境要求的高质量防水材料。从材料采购到进场检验以及施工等环节都要建立健全检验和监督机制以保证防水材料质量的可靠性。二是防水构造设计需要科学合理地考虑建筑结构受力特点,使用功能以及环境条件等因素,保证防水层稳定耐久。在设计过程中要注意细节处理,比如在节点处进行防水构造设计等,以免防水层出现薄弱。同时要加强对结构设计师之间的交流与合作,以保证防水设计和结构设计相协调。三是防水施工期间质量控制非常关键。施工单位要编制周密的防水施工计划,确定施工流程、技术要求和质量标准。施工时,要注意施工工艺规范,如刷防水涂料遍数、厚度以及搭接处理,以保证防水层完整连续。与此同时,要强化施工人员培训管理,增强施工人员防水施工技能及质量意识,保证防水施工质量可控性。

4 结束语

严格控制原材料质量,这是保证土建施工质量的根本;科学合理地设计施工方案,这是促进土建施工效率提高的重点;加强建筑结构质量控制对确保建筑结构质量和安全至关重要。通过这些控制措施的落实,施工单位能够有效地应对各类技术挑战并促进土建施工技术水平的提高。未来,土建工程施工质量控制体系的持续优化,绿色建筑与可持续发展理念将得到深入贯彻,施工单位将全面提升工程品质,为建筑行业创新与高质量发展注入新动能。

参考文献:

- [1] 杜英.建筑工程土建施工技术质量控制策略研究[J].新材料·新装饰,2024,06(11):179-182.
- [2] 庞莹.建筑工程施工技术及质量控制措施分析[J].新城建科技,2024,33(05):181-183.
- [3] 李恩胜,苏华,刘延静.建筑工程土建施工技术控制[J].世界家苑,2024(15):19-21.
- [4] 魏千惠,苏光.住宅建筑工程土建施工中桩基础施工技术的应用[J].居舍,2024(10):56-59.
- [5] 焦恒国.住宅建筑工程土建施工中桩基础施工技术的应用[J].居舍,2024(20):41-44.

山区公路桥梁施工困难问题及解决对策

陈雁雁

(安徽昌达路桥工程集团有限公司, 安徽 合肥 230000)

摘要 为解决山区公路桥梁施工存在的困难问题, 本文以山区公路桥梁施工实际情况为例, 对其面临的问题进行了分析, 指出存在地形复杂、自然灾害频繁、交通条件差、工程技术要求高、环保要求严格等问题, 并提出了优化施工方案、加强安全管理、提高运输能力、引进先进技术、严格环保措施等应对方法, 以期能够为有效克服山区公路桥梁施工困难、保障施工顺利进行提供参考, 进而提高施工效率与安全性, 保护生态环境。

关键词 山区公路桥梁施工; 山区地形; 自然灾害; 交通条件; 环保要求

中图分类号: U415.6; U445.4

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.16.031

0 引言

随着我国交通基础设施建设的持续推进, 山区公路桥梁建设成为交通发展的关键环节。山区独特的地理环境, 为公路桥梁施工带来诸多挑战。复杂地形导致施工场地布置艰难, 施工难度大幅提升; 频发的自然灾害, 如泥石流、山体滑坡等, 严重威胁施工安全; 落后的交通条件阻碍物资及时供应, 延长施工周期; 高标准的工程技术要求和严苛的环保规定, 进一步增加了施工难度。在此背景下, 深入探究山区公路桥梁施工困难问题及解决对策, 对推动山区交通建设、促进区域经济发展具有重要现实意义。

1 山区公路桥梁施工面临的困难问题

1.1 地形复杂, 施工难度大

山区地形复杂多变, 山峦起伏、沟壑纵横。在进行公路桥梁施工时, 首先面临的就是场地狭窄且崎岖不平的难题。桥梁基础施工往往需要较大的作业空间来安置机械设备、堆放材料等, 然而山区受限的地形使得场地平整工作艰巨且耗时。例如在山谷间搭建桥梁, 可能一侧是陡峭的山坡, 另一侧是深谷, 施工设备难以顺利进场和展开作业。同时, 复杂地形还会导致桥梁跨度设计受限, 为满足跨越要求, 可能需要设计特殊的桥梁结构形式, 像大跨度斜拉桥或悬索桥。但这些特殊结构的施工工艺复杂, 对施工精度要求极高, 增加了施工难度与技术挑战, 任何一点偏差都可能影响桥梁整体质量与稳定性。

1.2 自然灾害频繁, 安全隐患大

山区地质条件不稳定, 自然灾害频发。暴雨极易

引发泥石流和山体滑坡, 泥石流裹挟着大量泥沙、石块, 以强大的冲击力冲向施工区域, 瞬间就能摧毁临时搭建的施工设施、掩埋施工材料和设备, 严重威胁施工人员的安全^[1]。山体滑坡则会破坏已完成的桥梁基础部分, 使桥梁施工进度严重受阻, 前期投入的大量人力、物力付之东流。地震也是山区可能面临的灾害, 虽发生概率相对较低, 但一旦发生, 对桥梁施工的影响将是毁灭性的, 会导致桥梁结构变形、坍塌, 造成巨大的经济损失和人员伤亡。

此外, 山区的强风天气也较为常见, 在桥梁高空作业时, 强风会增加施工人员的操作难度, 增大安全风险, 稍有不慎就可能发生人员坠落等事故, 给施工安全带来极大隐患。

1.3 交通条件差, 物资供应困难

山区交通网络不完善, 道路狭窄且崎岖, 部分路段甚至是蜿蜒曲折的盘山小道, 这使得大型运输车辆难以通行。施工所需的大量建筑材料, 如钢材、水泥、砂石等, 无法及时、高效地运达施工现场。例如: 从材料供应地到山区施工点可能需要经过漫长且路况不佳的山路, 运输过程中车辆容易发生故障, 而且为保障安全, 车辆行驶速度缓慢, 导致物资运输周期大幅延长。同时, 交通不便还使得施工设备的运输和维护困难重重。一旦施工设备出现故障, 维修人员和维修配件难以迅速抵达现场, 设备长时间停机不仅影响施工进度, 还增加了施工成本。此外, 交通条件差也限制了施工人员的通勤, 降低了施工人员的工作积极性和工作效率, 进一步影响了物资供应的及时性和施工的顺利进行。

1.4 工程技术要求高，施工周期长

山区公路桥梁所处的特殊地理环境，对工程技术提出了极高要求。由于地形复杂，桥梁结构设计需要充分考虑地形地貌、地质条件等多种因素，确保桥梁的稳定性和耐久性。在施工过程中，对于桥梁基础的施工技术要求尤为严格，如在软弱地基上需要采用特殊的地基处理技术，以提高地基承载能力。同时，山区桥梁的高空作业、大跨度施工等都需要先进的施工技术和设备。这些复杂的技术要求使得施工过程中需要不断进行技术攻关和创新，增加了施工难度和不确定性^[2]。而且每一个施工环节都需要严格把控质量，不能有丝毫疏忽，这必然导致施工周期延长。从桥梁的规划设计到最终建成通车，往往需要数年时间，还可能受到各种因素的干扰，进一步拉长施工周期。

1.5 环保要求严格，环境影响大

在当今注重生态环境保护的大背景下，山区公路桥梁施工面临着严格的环保要求。山区生态系统相对脆弱，施工过程中的开挖、填方等作业会破坏地表植被，引发水土流失。大量施工扬尘、噪声以及施工废水的排放，会对周边空气质量、声环境和水环境造成不良影响。例如，施工扬尘可能导致周边植物叶片气孔堵塞，影响植物的光合作用；施工噪声会干扰野生动物的栖息和繁殖；未经处理的施工废水直接排放，可能污染山区的溪流和地下水，影响周边居民的生活用水安全。为满足环保要求，施工单位需要采取一系列环保措施，如设置围挡减少扬尘扩散、采用低噪声设备和合理安排施工时间降低噪声影响、建设污水处理设施对施工废水进行处理达标后排放等。这些环保措施不仅增加了施工成本，还在一定程度上影响了施工进度。

2 山区公路桥梁施工面临困难问题的解决对策

2.1 优化施工方案，合理规划

在开展山区公路桥梁施工前，借助先进的地理信息技术，对施工区域地形地貌进行全面精准测绘，生成详细的三维地形模型。基于此模型，设计团队与施工专家紧密合作，深入研讨并优化施工方案。例如：依据地形起伏与地质状况，巧妙规划桥梁线路，尽量避开地质破碎带与陡峭山坡，选择地质稳定、地势相对平坦的区域设置桥位，从而简化基础施工流程，降低施工难度。在场地规划方面，充分利用山谷、缓坡等自然地形，合理布局材料堆放区、机械设备停放区与施工人员生活区，通过修筑临时便道，实现各区域

之间的便捷连通，保障施工材料与设备能够顺畅运输至作业点^[3]。同时，精心编排施工工序，运用项目管理软件对关键线路进行分析，明确各施工环节的先后顺序与时间节点，提前预见并解决工序间可能出现的冲突，确保施工过程有条不紊地推进，有效提高施工效率，减少不必要的资源浪费。在实际施工中，如某山区桥梁建设，通过前期细致规划，将原本需在陡峭山坡作业的桥墩位置调整至相对平缓地带，施工周期缩短了近20%，施工成本降低约15%。此外，在施工方案优化时，还应充分考虑季节因素对施工的影响，合理安排在适宜季节进行关键工序施工，如在旱季开展基础施工，避免雨水对施工质量的干扰。

2.2 加强安全管理，制定应急预案

构建完善的安全管理体系，明确各级管理人员与施工人员的安全职责，将安全责任层层落实到个人。定期组织施工人员参加安全培训课程，邀请专业人员讲解山区施工安全知识与应急处理技能，通过播放事故案例视频、开展现场模拟演练等方式，增强施工人员的安全意识与自我保护能力。在施工现场，设置充足且醒目的安全警示标识，对危险区域进行严密隔离防护，如在悬崖边缘、深基坑周边设置坚固的防护栏与警示灯。针对山区常见的自然灾害，制定详尽且具可操作性的应急预案。建立专业的地质灾害监测小组，运用先进的监测设备，如位移传感器、雨量计等，对施工区域周边的山体稳定性、降雨量等数据进行实时监测。一旦监测数据出现异常，立即启动相应应急预案，迅速组织施工人员按照预定疏散路线有序撤离至安全地带，同时安排专业抢险队伍对施工设施进行紧急加固或转移，最大程度降低灾害损失，保障施工人员的安全生命与施工设施的完好。例如：某山区桥梁施工项目，通过持续的安全培训与应急演练，在遭遇一次小型泥石流灾害时，施工人员能够迅速响应，按照预案有序撤离，未造成人员伤亡，且施工设备大部分得以妥善转移，将损失降到最低。另外，为提升安全管理效果，可引入智能化安全监测系统，对施工现场进行24小时全方位监控，及时发现并预警潜在安全风险。

2.3 提高运输能力，保障物资供应

加大对山区交通基础设施的改造力度，联合当地交通部门，对通往施工区域的既有道路进行拓宽、加固与修缮，改善道路通行条件，确保大型运输车辆能够安全、顺畅地行驶。与经验丰富、信誉良好的专业

运输公司建立长期合作关系,根据山区道路特点,配备性能卓越、适应崎岖路况的运输车辆,并对司机进行专项培训,使其熟悉山区驾驶技巧与应急处置方法。在施工场地附近选址建设大型物资储备库,运用信息化库存管理系统,根据施工进度计划与材料消耗规律,合理储备常用施工材料,如钢材、水泥、砂石等,确保在物资运输受阻时,施工能够持续进行。同时,搭建物资运输信息化平台,实时跟踪材料运输车辆的位置、行驶状态与预计到达时间,以便施工方根据实际情况及时调整施工计划,保障物资供应的及时性与稳定性,避免因材料短缺导致施工停滞^[4]。在某山区公路桥梁建设中,通过与运输公司合作定制特殊悬挂和轮胎的运输车辆,结合信息化管理平台,物资运输准时率从 60% 提升至 90% 以上。此外,为进一步保障物资供应,可探索多元化运输方式,如在地形极为复杂路段采用索道运输小型材料,提高运输效率。

2.4 引进先进技术,提高施工效率

积极关注国内外桥梁施工领域的前沿技术动态,结合山区公路桥梁施工的特殊需求,有针对性地引进先进的施工技术与设备。例如:在桥梁基础施工中,采用旋挖钻机进行钻孔作业,相比传统的冲击钻工艺,旋挖钻机具有成孔速度快、孔壁稳定性好、施工精度高的优势,能够显著缩短基础施工周期。在大跨度桥梁施工中,引入节段预制拼装技术,将桥梁节段在工厂进行标准化预制,再运输至施工现场进行快速拼装,不仅能够提高施工质量,还能减少现场高空作业量,降低施工安全风险。利用无人机技术进行施工现场的地形测绘、进度监测与安全巡查,无人机能够快速获取施工现场的高清影像数据,为施工管理提供准确、及时的信息支持,便于管理人员及时发现问题并调整施工方案。此外,大力推广应用建筑信息模型(BIM)技术,对桥梁施工全过程进行数字化模拟,提前发现设计与施工中的潜在问题,优化施工流程,提高施工效率与质量。如某山区特大桥建设,运用 BIM 技术提前发现设计图纸中 20 余处潜在问题,避免了施工中的返工,施工效率提高约 30%。并且,在引进先进技术时,要注重对施工人员的技术培训,确保其能够熟练操作新设备、运用新技术。

2.5 严格环保措施,保护生态环境

施工单位应高度重视环保工作,严格遵循国家与地方的环保法律法规,制定全面、细致的环保措施。

在施工前,委托专业的环境评估机构对施工区域的生态环境进行详细评估,明确生态保护重点与敏感区域。在施工过程中,采用先进的施工工艺与设备,尽量减少对地表植被的破坏。对于不可避免的开挖作业,及时采取植被移栽、表土剥离保存等措施,为后续生态修复工作奠定基础^[5]。设置完善的施工扬尘防治系统,在施工现场配备自动喷淋降尘设备,定期对施工场地与运输道路进行洒水降尘,对易产生扬尘的材料进行密闭储存或覆盖处理。选用低噪声施工设备,并合理安排施工时间,避免在居民休息时间进行高噪声作业,减少噪声对周边环境与居民生活的影响。建设专业化的施工废水处理设施,对施工过程中产生的泥浆水、混凝土养护废水等进行分类收集、沉淀、过滤、净化处理,确保废水达标后排放,防止对山区水体造成污染,切实保护山区生态环境的完整性与稳定性。例如:某山区桥梁施工项目通过实施环保措施,施工扬尘浓度降低了约 70%,施工噪声达标率提升至 95% 以上。而且,施工结束后,要持续跟踪生态修复效果,根据实际情况及时调整修复方案,确保生态环境得到有效恢复。

3 结束语

山区公路桥梁施工受复杂地形、频发灾害、交通不便、技术难题及环保要求等多重制约,困难重重。为应对这些问题,施工方需优化施工方案、加强安全管理、提升运输能力、引进先进技术并严格环保措施。这些对策可有效改善施工现状,保障施工顺利进行。未来,随着科技进步与管理水平提升,有望进一步攻克难题,实现山区公路桥梁建设更高效、安全、环保,促进山区交通事业蓬勃发展,推动区域经济持续增长。

参考文献:

- [1] 王冠,刘刚,郭保林.山区高速公路钢筋混凝土高墩施工技术[J].粘接,2024,51(08):165-168.
- [2] 盖明,李积程.山区高速公路桥梁施工技术要点分析[J].工程技术研究,2024,09(11):54-56.
- [3] 段剑辉.山区高速公路桥梁施工技术要点研究[J].运输经理世界,2024(16):74-76.
- [4] 李远.山区高速公路桥梁施工难点和施工管理策略研究[J].交通世界,2022(35):176-178.
- [5] 王林.山区高速公路桥梁桩基施工技术研究[J].工程技术研究,2022,07(02):80-83.

电力工程电缆敷设施工技术及防护措施分析

祝冬华¹, 王艳娜², 陈建建³

(1. 山东伸达建设集团有限公司, 山东 菏泽 274000;

2. 山东聊建第四建设有限公司, 山东 聊城 252000;

3. 山东高强建业有限公司, 山东 滨州 256600)

摘要 本文围绕不同环境下电缆敷设方式的选择, 分析了地理、电缆沟、架空及水下敷设的施工工艺, 探讨了在施工过程中易出现的机械损伤、绝缘老化、外部环境干扰等问题, 并针对这些问题提出了防潮防水、防腐防火、电磁屏蔽及智能监测技术的应用等防护措施, 通过优化电缆敷设施工工艺和防护措施, 以期为提高电力工程施工质量与安全性提供借鉴, 进而促进电力工程的施工管理和技术发展。

关键词 电力工程; 电缆敷设施工技术; 机械损伤防护; 外部环境因素防护; 电磁干扰防护

中图分类号: TM757

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.16.032

0 引言

在电缆敷设过程中面临诸多挑战, 如施工质量控制难度大、环境因素影响显著、机械损伤与老化问题突出等。电缆敷设工程往往涉及复杂的地质条件, 如软土地基、地下水侵蚀、高温高湿环境等, 如何确保施工的安全性和电缆的长期稳定运行成为亟待解决的问题。研究电力工程电缆敷设施工技术及其防护措施, 对于提升施工质量和降低运维成本具有重要意义。

1 电力工程中电力电缆敷设施工技术

1.1 电缆敷设方式分类

1. 地理敷设。地理敷设是指将电缆直接埋设在地下土壤中, 通常适用于中低压电缆的输电系统。该方式施工较为简单, 初期投资相对较低, 且不占用地面空间, 不影响城市景观。地理敷设受土壤环境影响较大, 如地下水侵蚀、土壤酸碱度变化等会加速电缆护套的老化。电缆埋设深度通常在 0.7~1.5 m 之间, 需要严格控制回填土的密实度, 以防止外力损伤。电缆故障后排查和维修难度较大, 需要采用电缆故障检测设备进行精确定位。

2. 电缆沟及电缆隧道敷设。电缆沟及电缆隧道敷设方式适用于高压、超高压电缆输送, 特别是在城市核心区域、大型工业园区及电厂等场景中广泛应用^[1]。电缆沟通常采用砖砌或混凝土浇筑, 内部设有支架固定电缆, 并配备排水系统, 以减少积水对电缆的影响。而电缆隧道则用于更高电压等级的电缆敷设, 内部可容纳多回路电缆, 并设置通风、消防及智能监测系统, 确保运行安全。

3. 架空电缆敷设。架空电缆敷设是通过电杆或塔架将电缆悬挂于空中, 多用于输电线路的末端连接或特殊环境下的电缆过渡。该方式施工简便, 造价较低, 适用于短距离输电和山区等地形复杂区域。架空电缆易受到自然环境影响, 如强风、雷击、树木倒伏等, 存在较高的安全风险。架空电缆会影响城市美观, 且在高密度建筑区域难以实施。该方式主要用于乡村电网改造、山地输电以及工业厂区内部供电网络。

4. 水下电缆敷设。水下电缆敷设主要用于跨海、跨江输电、海上风电和海岛供电等应用场景。该方式需要电缆具备良好的耐水、耐腐蚀和抗机械损伤性能, 并在施工过程中采用专业的水下电缆敷设设备, 如水下机器人、浮标牵引系统等。水下电缆敷设的关键挑战包括潮流冲刷、海底地质变化、海洋生物侵蚀等, 需要采取加重护套、埋设保护或铺设防护管等措施以提高电缆的稳定性^[2]。该方式虽然造价高、施工难度大, 但在长距离海上输电、跨江跨河供电中具有不可替代的作用。

1.2 电力电缆敷设施工的关键技术

1. 电缆选择与布线规划。电缆的选择应根据电压等级、传输容量、敷设环境以及长期运行条件进行合理匹配。铜芯电缆导电性能优越, 适用于高负荷场景, 铝芯电缆则因成本较低而广泛用于中低压输电系统。电缆的绝缘层、护套材料和屏蔽结构也需要考虑, 尤其是在潮湿、高温、腐蚀性环境下, 需选用耐腐蚀、耐高温或低烟无卤电缆。在布线规划方面, 需要综合考虑电缆的载流能力、热效应、电磁干扰以及维护便

捷性。布线路径应尽量避免交叉重叠、高温区域和机械外力影响区域,合理设计电缆桥架、电缆沟或电缆隧道的布局。

2. 电缆接头及终端处理技术。电缆接头包括直通接头和终端接头,施工时需采用专业的冷缩或热缩工艺,以保证接头密封性和电气性能。直通接头的施工需严格按照工艺流程,确保导体对接良好,并使用绝缘胶带、热缩套管或环氧树脂进行绝缘处理^[3]。接头处应加强屏蔽和接地措施,以降低局部放电和电磁干扰的风险。终端接头主要用于电缆与设备的连接,其施工需确保电缆剥离长度合适,铜铝过渡接头需做好防电化腐蚀处理。对于高压电缆终端,还需安装应力锥,以均匀电场分布,防止绝缘击穿。户外终端接头需采取防水密封措施,如采用硅橡胶涂层或防潮密封胶,以提高耐候性。

1.3 特殊环境下的施工工艺

1. 高温、高湿环境敷设技术。在高温、高湿环境下,电缆的绝缘性能和散热能力受到严峻考验,常规敷设方式容易导致绝缘老化加速、导体载流量下降,甚至引发短路和火灾事故。在此类环境中,需采用耐高温、耐湿的特种电缆,例如交联聚乙烯电缆或低烟无卤电缆,并选用具有良好防水性能的护套材料,如聚氯乙烯或聚乙烯。在施工过程中,应采取通风降温措施,如在电缆沟、隧道内安装强制通风设备,或在电缆周围填充导热性能良好的材料,以提高散热效率。在高湿环境中,电缆接头和终端必须进行严格的密封处理,采用防水密封胶或热缩管进行包裹,以防止潮气侵入,降低绝缘击穿的风险。可采用防潮套管或特殊护套材料,以进一步提升电缆的耐湿性能。

2. 城市高密度管线区域施工难点及优化方案。城市高密度管线区域内,地面下往往布满供水、燃气、通信等各种管道,电缆敷设受限较大,施工难度高,且容易发生交叉施工干扰,影响施工进度和安全性。在施工前需进行详细的地下管线探测,可采用探地雷达、电磁探测等技术对现有管线进行测绘,并结合 BIM 和 GIS 技术建立三维地下管网模型,以优化电缆布线路径^[4]。在施工过程中可采用非开挖技术,如顶管、水平定向钻等工艺,在不破坏地表结构的情况下进行电缆穿越施工,减少对城市交通和周边环境的影响。为确保电缆的安全性,建议使用高强度护套或金属铠装电缆,提高抗机械损伤能力。应在施工完成后进行精准测量,确保电缆位置与其他管线不发生冲突,并采用智能监测设备进行实时监控,以减少后期维护难度。

2 电缆敷设过程中的防护措施

2.1 机械损伤防护

1. 施工中电缆保护管的使用。电缆保护管可以有效隔离电缆与外部环境,防止因外力挤压、冲击或腐蚀造成的电缆损伤。常见的电缆保护管材料包括 PVC 管、玻璃钢管和钢管等,不同材料的保护管具有不同的力学性能和耐腐蚀特性,可根据施工环境进行选择。例如,在机械损伤风险较高的区域,如交通道路下方或施工频繁的工业园区,可以采用钢管进行加强保护,以提高抗冲击能力。保护管的接头部位应采取密封措施,防止泥沙、积水进入管道内,影响电缆运行。

2. 机械牵引力度控制与监测。在机械牵引施工中,通常采用张力传感器实时监测牵引力,确保牵引力不超过电缆制造商推荐的安全范围。电缆牵引张力应控制在电缆允许最大张力的 50% 以内,在拐弯、转向或地形变化较大的区域,应适当降低牵引力,并使用牵引滑轮或导向装置减少电缆与地面的摩擦^[5]。为了进一步降低机械损伤的风险,可采用智能牵引控制系统,通过无线监测设备实时传输牵引数据,确保牵引力始终处于安全范围内。在电缆牵引完成后,需进行电缆外观检查,确认护套和绝缘层无破损,并进行绝缘电阻测试,确保电缆未因机械损伤而影响其电气性能。

2.2 电缆过载与绝缘老化防护

1. 载流能力计算与优化。载流能力是指电缆在长期稳定运行状态下,能够安全通过的最大电流值。如果载流能力计算不准确或未充分考虑环境影响,会导致电缆运行时温度过高,进而加速绝缘老化。根据负荷需求选用适当截面的电缆,避免电缆长期处于接近额定负荷的状态,从而降低发热量。电缆在电缆沟、管道或密集布置时,其散热能力降低,可采用分层敷设、增设散热装置或使用强制风冷措施,以提高散热效率。在智能电网环境下,可利用负荷管理系统对电缆的电流进行动态调节,避免短时间内的过载对电缆造成损害。

2. 绝缘材料的耐久性提升措施。采用耐高温绝缘材料,如交联聚乙烯绝缘电缆,其耐热性能优于传统的 PVC 绝缘材料,能承受更高的工作温度,减少因过热导致的绝缘老化。在绝缘材料中添加抗氧化剂、紫外线稳定剂等,可以有效减缓绝缘材料在长期运行中的氧化降解,提高电缆的使用寿命。采用多层复合绝缘结构或纳米填充材料,可提升绝缘层的电气性能和抗湿热能力,降低绝缘老化风险。对于敷设在潮湿或水下环境中的电缆,可采用防水绝缘材料,如乙丙橡胶绝缘电缆,同时外层增加防水屏蔽层,以防止水分

侵入导致绝缘性能下降^[6]。利用在线监测技术,如局部放电检测、红外测温等手段,实时掌握电缆的运行状态,及时发现绝缘老化隐患,提前采取维护措施。

2.3 外部环境因素防护

1. 防潮、防水、防腐技术。选用防水性能优良的电缆,如交联聚乙烯电缆或乙丙橡胶绝缘电缆,这些材料具有较强的抗水解能力,可有效降低水分侵入的风险。外护层是电缆防潮防水的第一道屏障,可采用双层护套或带有金属屏蔽层的铠装电缆,提高防护能力,对于海底电缆,还可采用特制的防水密封层,以防止海水侵蚀。在电缆沟、隧道等敷设环境中,应做好排水设计,如设置防水槽、安装排水泵,避免积水影响电缆运行。对于可能受到化学腐蚀的环境,如工业区或含酸碱气体的区域,可采用具有耐化学腐蚀性能的护套材料,如聚氯乙烯或聚乙烯护套,同时增加抗腐蚀涂层,或使用套管保护电缆免受腐蚀性介质侵害。

2. 防火防爆措施。耐火电缆采用云母带等高耐火材料作为绝缘层,在高温环境下仍能保持一定的电气性能,确保火灾发生时电力供应不中断,适用于消防设备、电力控制系统等关键设施。在普通电缆表面涂覆防火涂料,可显著提高电缆的耐火性能,防火涂料在高温下会膨胀形成隔热层,降低火焰对电缆的直接影响,延缓火势蔓延,为消防救援争取时间^[7]。在电缆沟、竖井等高密度布线区域,可设置防火隔板或防火封堵材料,防止火势沿着电缆蔓延。在电缆密集敷设区域,可安装温度传感器、烟雾报警器等设备,实时监测电缆温度和烟雾浓度,一旦发现异常情况,能够及时采取应对措施。对于易燃易爆环境,如石化厂区、煤矿等,应采用无火花电缆接头,同时电缆敷设应遵循防爆标准,如采用防爆密封接头和耐压防护管,避免因电缆故障引发爆炸事故。

2.4 电磁干扰防护

1. 电缆屏蔽措施。屏蔽电缆在导体外层包覆一层金属屏蔽层,如铜网、铝箔或金属编织层,可有效阻挡外部电磁波干扰,并减少电缆自身产生的电磁辐射。特别是在通信电缆、高压电缆及变频电缆敷设中,屏蔽层能显著降低干扰影响。为确保屏蔽效果,屏蔽层必须正确接地,通常采用单端接地或两端接地方式,使感应电流通过屏蔽层导向地面,避免干扰信号传输到电缆内部。在电磁干扰严重的环境,如变电站、工业控制系统区域,可采用双层屏蔽结构,即在电缆外部增加第二层屏蔽层,提高抗干扰能力,减少外部电磁场的影响。在敷设电缆屏蔽层过程中,应结合现场

电磁环境,合理选择单端接地或双端接地方式,以减少屏蔽层感应电流带来的干扰。

2. 交联与布线优化技术。三相电缆采用三角形排列方式,可有效降低相间电磁场的相互影响,并减少环流效应,提高电缆系统的稳定性。在高密度布线环境中,可采用分层交错敷设方式,避免同相电缆集中在同一层,减少电磁感应影响^[8]。控制电缆容易受到高压动力电缆的电磁干扰,因此在敷设时,应保持一定的间距,或采用独立的金属桥架和保护管道进行隔离,以降低干扰影响。在电缆敷设过程中,应尽量远离高频设备、变压器、大型电机等强电磁场区域,避免电磁干扰源对电缆的影响,也要避免长距离并行敷设高低压电缆,以减少感应干扰。对于弱电信号传输电缆,如通信电缆和信号控制电缆,可采用扭绞线设计,使相邻导体的电磁场相互抵消,从而降低干扰影响,提高信号传输质量。

3 结束语

在电缆敷设施工技术中,合理选择电缆敷设方式、优化布线规划及施工工艺,可有效提升供电系统的稳定性和安全性。在防护措施中,通过机械损伤防护、过载与绝缘老化防护、防潮防腐及电磁干扰抑制等综合防护措施,可显著增强电缆的耐久性和运行可靠性。针对高温、高湿、城市高密度管线区域及水下敷设等特殊环境,提出了针对性的优化方案,提高了电缆施工的适应性和安全性。

参考文献:

- [1] 宗鹏鹏. 电力工程施工中电力电缆敷设技术分析[J]. 电工材料, 2024(05):33-35.
- [2] 王薇, 答启文. 10kV 线路施工中电缆的敷设施工技术研究[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2024(17):13-15.
- [3] 王文波. 配电电缆施工技术在电力工业中的应用[J]. 电气技术与经济, 2023(10):168-170.
- [4] 陈峰. 10kV 配电电缆敷设施工技术研究[J]. 中国科技投资, 2021(32):103-106.
- [5] 关悦海. 电力工程中配电电缆敷设技术[J]. 科技与创新, 2021(09):153-154.
- [6] 尹江峰. 电力工程中配电电缆施工技术要点探究[J]. 中国设备工程, 2021(02):212-214.
- [7] 姜晔. 浅谈电力配电工程中电缆敷设技术的应用[J]. 绿色环保建材, 2020(09):177-178.
- [8] 朱锋伟. 电缆敷设施工新技术的研究与应用[J]. 四川水泥, 2019(10):282.

水利工程建设管理的现代化与精细化分析

齐茂森, 王凯丽

(山东龙跃兴设计集团有限公司, 山东 济南 250000)

摘要 在全球气候变化和城镇化进程不断加快的背景下, 水资源的合理开发与高效利用显得尤为重要。水利工程建设作为关乎国计民生的基础性产业, 其现代化与精细化管理不仅关乎防洪抗旱、供水保障等核心功能的实现, 更直接关系到生态文明建设和社会经济的可持续发展。然而, 当前我国水利行业仍存在技术落后、管理粗放等问题, 难以满足新时代高质量发展的需求。因此, 本文认为加快推动水利工程建设与管理的现代化与精细化, 既是应对挑战的必然选择, 也是实现长远目标的战略举措。

关键词 水利工程; 现代化; 精细化

中图分类号: TV51

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.16.033

0 引言

随着科技进步和管理理念的革新, 现代化与精细化管理正逐渐成为水利行业发展的重要驱动力。传统水利管理模式已无法适应日益复杂的水文环境和多样化的需求, 而现代信息技术的应用为破解这一难题提供了全新思路。通过大数据、云计算、物联网等先进技术的支持, 水利工程可以实现从规划设计到运行维护的全流程优化, 大幅提升管理效率和服务水平^[1]。同时, 精细化管理强调对细节的关注, 通过科学规划和精准执行, 确保每一项任务都能达到最优效果。这种转变不仅有助于缓解水资源供需矛盾, 也为构建人水和谐的美好未来奠定了坚实基础。

1 水利工程项目管理的现代化与精细化特点

随着科技的进步和社会的发展, 水利工程项目管理正朝着现代化与精细化的方向迈进。现代水利工程项目管理的核心在于充分利用信息技术和智能化手段, 提升项目实施的整体效能。例如: 通过大数据分析和物联网技术, 可以实时监测工程进度、质量及安全状况, 从而实现对整个项目的全面掌控。

此外, 云计算和人工智能的应用使得复杂的数据处理更加高效, 为决策者提供了科学依据, 有助于优化资源配置, 降低运营成本。精细化管理则体现在对细节的关注上, 它要求从规划设计到施工建设再到后期维护的每一个环节都做到精确无误。精细化管理强调标准化流程, 注重风险防控, 力求将误差降到最低。例如: 在水资源调度方面, 精细化管理可以通过精确

计算用水量和供水时间, 避免水资源浪费; 在施工过程中, 通过严格的质量控制措施确保每一道工序都符合标准。这种管理模式不仅提高了工程的安全性和可靠性, 还极大提升了项目的经济效益和社会效益^[2]。

2 现代化与精细化管理对水利工程的影响

现代化与精细化管理对水利工程产生了深远而积极的影响, 不仅提升了工程的建设效率和质量, 还增强了其可持续发展的能力。

现代化管理通过引入先进的数字技术, 如 BIM (建筑信息建模) 技术、GIS (地理信息系统) 技术以及物联网设备, 实现了工程全生命周期的可视化与智能化管理。这些技术的应用使得复杂的设计方案得以直观呈现, 施工进度与资源配置更加透明, 同时还能实时监控施工现场状况, 及时预警潜在风险, 极大降低了人为失误的概率^[3]。

与此同时, 精细化管理则从微观层面入手, 将工程的各个环节细化至最小单位, 通过标准化操作流程和严密的质量控制体系, 确保每一项工作都能达到最佳效果。例如: 在水资源调配工程中, 精细化管理可以精确计算各区域用水需求, 合理分配水量, 避免水资源浪费; 而在防洪排涝工程中, 则可以通过精准预测水位变化, 优化闸门启闭策略, 最大限度减少灾害损失。

此外, 现代化与精细化管理还促进了节能环保目标的实现, 例如采用绿色建材、推广节能设备等措施, 既降低了工程成本, 又减少了对生态环境的影响。

3 水利工程建设管理的现代化与精细化实践

3.1 构建智能化监测体系

构建智能化监测体系是实现水利工程建设与管理现代化与精细化的重要策略之一，通过部署传感器网络、无人机巡检和卫星遥感技术，可以实时采集水文、气象、土壤湿度等多维度数据，形成覆盖全域的信息感知网络。智能化监测系统能够自动分析数据，生成动态报告，为决策提供科学依据。例如：在大型水库管理中，通过安装水位计、流量计等设备，可以精确掌握库区水位变化情况，并结合历史数据预测未来趋势，从而优化蓄水和泄洪策略。此外，智能化监测还能及时发现安全隐患，如堤坝裂缝或渗漏等问题，通过预警系统通知相关人员采取应急措施，最大限度减少损失。智能化监测体系的应用不仅提高了数据采集的准确性和及时性，还显著增强了工程运行的安全性和可靠性。当监测到异常情况时，系统会立即发出警报，提醒管理人员采取相应措施。据统计，自系统投入使用以来，该市未发生一起因监测不力而导致的重大事故，大大降低了经济损失和社会影响^[4]。智能化监测体系还支持多源数据融合分析，例如：将水文站的数据与气象局的预报信息相结合，可以更准确地判断未来几天的降水强度和分布情况，为防汛抗旱提供有力支持。

3.2 推进数字化技术应用

推进数字化技术应用是提升水利工程管理水平的关键策略，BIM（建筑信息模型）技术的应用可以帮助设计师在项目初期就进行全面规划，通过三维建模展示复杂的结构关系，便于各方沟通协调。在施工阶段，利用BIM技术可以实现虚拟仿真，提前发现并解决可能出现的问题，减少返工率。同时，GIS（地理信息系统）技术能够帮助管理者更好地理解地形地貌特征，合理安排施工布局。此外，通过搭建基于云计算的项目管理平台，可以实现远程办公、在线审批等功能，提高工作效率。数字化技术的应用不仅提高了工程的建设精度，还大幅缩短了工期，降低了成本。经过调整后的新方案不仅优化了空间利用率，还减少了约15%的材料浪费。在施工过程中，施工方借助BIM模型指导现场作业，确保每一步都严格按照设计图纸执行，最终比计划时间提前两个月完成主体结构施工。与此同时，基于云计算的项目管理平台让所有参与者都能够随时随地查看最新进度和文档资料，极大地简化了沟通流程，提高了决策效率^[5]。

3.3 强化专业人才培养

强化专业人才培养是实现现代化与精细化管理的根本保障，水利工程是一项系统性工程，其覆盖范围广泛，涉及土木工程、环境科学、计算机等多个学科领域，因此需要一支高素质的专业人才队伍。高校作为人才培养的主要阵地，应加强与企业的合作，开设针对性强的专业课程，培养具备扎实理论知识和丰富实践经验的复合型人才。这不仅要求课程设置紧跟行业发展趋势，还需融入实际项目案例分析，帮助学生理解理论在实践中的应用。同时，高校可通过邀请行业专家授课、组织学生参与课题研究等方式，搭建理论与实践之间的桥梁，提升学生的综合能力。企业也需承担起人才培养的责任，建立完善的培训机制，定期组织员工参加技术交流会、研讨会等活动，持续提升员工的业务能力和技术水平。通过内部培训和外部学习相结合的方式，员工能够不断更新知识结构，掌握最新的技术手段。此外，企业还可通过设立专项奖学金、提供实习机会等形式，吸引更多优秀学生关注并投身于水利事业。这些措施不仅能够优化人力资源配置，更能为行业注入源源不断的活力。只有拥有一支高水平的专业队伍，才能确保现代化与精细化管理措施得到有效落实，推动行业的长远发展。

3.4 完善法律法规体系

完善法律法规体系是推动水利工程建设与管理现代化与精细化的重要保障，国家应当出台一系列专门针对水利工程管理的法律法规，明确各级政府、企事业单位和个人的权利义务关系，规范市场行为。例如：《中华人民共和国水法》《中华人民共和国防洪法》等法律文件应根据实际情况适时修订，以适应经济社会发展的新需求^[6]。这些法律法规既要确立宏观框架，又要细化操作细则，确保每一项政策都能真正落地执行。与此同时，还需建立健全配套规章制度，如工程招标投标管理办法、工程质量监督条例等，为各项工作的开展提供明确指引。此外，还需加强对违规违法行为的处罚力度，营造公平公正的竞争环境，促进行业健康有序发展。通过严格的监管机制，可以有效遏制非法转包、偷工减料等问题，维护市场秩序。同时，还需建立有效的监督体系，确保法律法规得到严格执行。唯有如此，才能为水利工程的高质量发展奠定坚实基础，推动行业迈向更高水平的现代化与精细化管理轨道。

3.5 加强跨部门协同合作

加强跨部门协同合作是实现现代化与精细化管理的有效途径,水利工程往往涉及水利、环保、交通等多个政府部门,只有打破部门壁垒,形成合力,才能更好地完成任务。为此,可以成立由相关部门组成的联合工作组,定期召开联席会议,共同商讨重大事项。例如:在跨流域调水工程中,上下游地区的政府需要密切配合,共同制定合理的分配方案;在河道整治项目中,则需要环保部门参与评估生态影响,确保工程符合环保要求。通过加强沟通协调,可以避免各自为政的现象,提高整体工作效率。为确保工程顺利推进,市政府牵头成立了联合工作组,由分管副市长担任组长,各部门负责人任成员。工作组每月召开一次联席会议,及时解决遇到的问题。在工程设计阶段,环保部门提出了增设污水处理设施的建议,得到了采纳;在施工期间,交通部门负责协调道路封闭事宜,保障了周边居民的出行安全。正是因为各部门通力协作,该工程仅用两年时间便顺利完成,不仅提升了城市的防洪能力,还改善了沿线的生态环境。

3.6 注重环境保护与生态修复

注重环境保护与生态修复是实现现代化与精细化管理的重要方向,在工程建设过程中,必须坚持“绿色发展”理念,将生态保护放在首位。例如:在修建大坝时,应充分考虑对鱼类洄游通道的影响,设置鱼道或鱼梯等设施;在开挖渠道时,要尽量保留原有植被,减少水土流失。此外,还应在工程竣工后积极开展生态修复工作,如植树造林、恢复湿地等,使受损生态系统尽快恢复正常功能。通过这些措施,不仅可以保护生物多样性,还能提升公众对水利工程的认可度和支持度。在建设过程中,项目组特别重视环境保护,聘请专家制定了详细的生态补偿方案。在穿越自然保护区段落时,采用隧道穿越方式替代传统的明渠开挖,最大程度减少了对野生动物栖息地的干扰。工程竣工后,又投入专项资金用于沿线绿化美化,种植了大量乡土树种,并建立了鸟类观测站,吸引了多种珍稀鸟类在此栖息繁殖。如今,这项工程已成为集防洪排涝、生态补水、旅游观光于一体的综合性项目,赢得了社会各界的高度评价^[7]。

3.7 建立绩效评价机制

建立绩效评价机制是检验现代化与精细化管理成效的重要手段。绩效评价不仅要关注工程本身的建设

质量,还要综合考量其社会效益、经济效益和环境效益。具体而言,可以从工程质量、工期控制、目标达成以及环保合规四个方面进行评估。工程质量是否达标,是否存在重大安全隐患是衡量项目成功与否的关键指标。项目是否按期完工,是否存在超预算现象直接反映了管理效率。是否达到预期目标,比如改善灌溉面积、提高防洪能力等,体现了项目的实际价值。是否符合环保要求,对周边环境的影响程度如何,则是评判工程是否可持续发展的核心要素。通过科学合理的指标体系,定期对各项指标进行量化考核,可以及时发现不足并加以改进,从而促使管理水平不断提高。这种动态评估机制不仅能够保证工程顺利实施,还能推动行业向着更高效、更绿色的方向迈进。

4 结束语

水利工程建设管理的现代化与精细化是一项系统工程,需要政府、企业和全社会共同努力。通过引入先进的技术手段和管理理念,不仅能够提高工程质量和运行效率,还能更好地保护生态环境,促进经济社会协调发展。未来,随着创新技术的广泛应用和管理模式的持续优化,我国水利事业必将实现跨越式发展,为推进国家现代化建设做出重要贡献。

参考文献:

- [1] 姚蓁. 浅谈水利工程建设现代化与精细化管理的若干问题[J]. 治淮, 2023(12):47-48.
- [2] 赵秀民. 浅析水利工程建设现代化与精细化管理建设[J]. 治淮, 2023(10):45-46.
- [3] 孟登斐. 水利工程监理现代化与精细化管理探讨[J]. 大众标准化, 2023(10):83-85.
- [4] 张亚南, 侯啸岳. 基于数字孪生技术的水利工程建设管理平台的应用[C]// 河海大学, 武汉大学, 长江水利委员会网络与信息中心, 湖北省水利水电科学研究院. 2023(第十一届)中国水利信息化技术论坛论文集. 山东黄河顺成水利水电工程有限公司, 济南黄河水务局天桥黄河水务局, 2023.
- [5] 林立. 探讨水利工程建设管理现代化与精细化管理的思考分析[J]. 陕西水利, 2022(09):177-178.
- [6] 马小双, 蔡文锋. 论水利工程的现代化与精细化管理[J]. 河南水利与南水北调, 2022, 51(07):78-79.
- [7] 郑旭. 农田水利节水灌溉工程建设管理存在的不足及改进方法[J]. 智慧农业导刊, 2022, 02(02):73-75.

基于 BIM 技术的装配式建筑施工精细化管理研究

田娜娜¹, 邓雷成²

(1. 青岛和信德工程造价咨询有限公司, 山东 青岛 266000;

2. 山东九棵松建设工程有限公司, 山东 青岛 266000)

摘要 本文研究了基于 BIM (建筑信息模型) 技术的装配式建筑施工精细化管理, 阐述了 BIM 技术与装配式建筑施工的协同机理, 指出 BIM 技术以其三维可视化、信息集成、协同作业等特点, 与装配式建筑的理念高度契合, 能够贯穿设计、生产、施工等全生命周期, 实现信息的无缝传递和共享, 并提出了基于 BIM 的装配式建筑施工精细化管理策略, 包括施工进度精细化管理、施工成本精细化管理、施工质量精细化管理和施工安全管理等方面, 并通过案例分析验证了策略的可行性和有效性, 旨在为相关人员提供借鉴。

关键词 BIM 技术; 装配式建筑施工; 精细化管理; 施工进度; 施工成本

中图分类号: TU71; TU741

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.16.034

0 引言

随着建筑行业的快速发展, 装配式建筑因其高效、环保、质量可控等优势, 逐渐成为现代建筑领域的重要发展方向。然而, 装配式建筑施工过程中的精细化管理仍然面临诸多挑战。BIM (建筑信息模型) 技术的出现, 为装配式建筑施工的精细化管理提供了新的思路 and 手段。本文旨在探讨 BIM 技术与装配式建筑施工的协同机理, 并提出基于 BIM 技术的装配式建筑施工精细化管理策略, 通过利用 BIM 模型进行计划编制、实时监控、成本预测、质量监控和安全预警等, 可以显著提高装配式建筑施工的效率、降低成本、提升质量、保障安全, 以期为提高装配式建筑施工精细化管理质量提供有益参考。

1 BIM 技术与装配式建筑施工协同机理

BIM 技术以其三维可视化、信息集成、协同作业等特点, 与装配式建筑的模块化设计、标准化生产、装配化施工等理念高度契合。在装配式建筑施工过程中, BIM 技术可以贯穿设计、生产、施工、运维等全生命周期, 实现信息的无缝传递和共享^[1]。具体来说, BIM 模型可以作为装配式建筑设计、生产、施工等各阶段的信息载体, 确保各阶段工作的准确性和一致性。在设计阶段, BIM 模型可以辅助设计师进行碰撞检测、优化设计方案; 在生产阶段, BIM 模型可以为预制构件的生产提供精确的尺寸和形状信息; 在施工阶段, BIM 模型可以指导施工人员进行精确的装配和调试。同时, BIM 技术

的协同作业功能可以打破传统建筑施工中的信息壁垒, 促进设计、生产、施工等各方之间的有效沟通和协作。通过 BIM 平台, 各方可以实时共享信息、协同工作, 共同解决施工过程中的问题, 提高施工效率和质量。

2 基于 BIM 技术的装配式建筑施工精细化管理策略

2.1 施工进度精细化管理

在装配式建筑施工的广阔实践中, 施工进度管理无疑是项目成功的核心要素之一。其不仅关乎资源的有效配置, 更直接影响到项目的成本、质量和最终交付时间。基于 BIM 技术的施工进度精细化管理策略, 为这一复杂过程提供了全新的视角和手段, 使得施工进度的管理更加精准、高效。

首先, BIM 模型在施工进度计划编制中发挥着举足轻重的作用。传统的进度计划往往依赖于二维图纸和人工经验, 难以全面、准确地反映项目的实际情况。而 BIM 模型则以其三维可视化、信息集成的特点, 为进度计划的编制提供了丰富的数据支持。通过深入挖掘 BIM 模型中的信息, 我们可以明确每个施工阶段的具体任务、责任分配以及时间节点^[2]。这种基于 BIM 技术的进度计划编制方式, 不仅提高了计划的准确性和可行性, 还使得各方参与者能够清晰地了解自己的任务和责任, 从而增强了团队的协作效率。

其次, BIM 模型的可视化功能为施工进度的实时监控提供了有力支持。在施工现场, 各种复杂的情况和变化层出不穷, 传统的监控方式往往难以及时、准确

地捕捉这些信息。而 BIM 模型的可视化功能，则如同为施工现场安装了一双“眼睛”，能够实时展现施工现场的动态情况。通过与计划进行对比，我们可以及时发现进度偏差，并采取相应的措施进行调整。这种实时监控和调整的方式，大大加快了施工进度的可控性和准确性，确保了项目能够按照既定的计划稳步前行。

最后，BIM 技术的施工过程模拟功能为施工进度的精细化管理提供了新的思路。在实际施工之前，我们可以通过 BIM 技术对施工过程进行模拟和仿真，提前识别潜在的问题和风险。例如，可以模拟预制构件的吊装过程，检查吊装方案是否可行，是否存在碰撞等风险。通过模拟，我们可以优化施工顺序和方法，避免在实际施工过程中出现问题。这种基于 BIM 技术的施工过程模拟方式，不仅提高了施工过程的效率和安全性，还降低了施工成本和风险，为项目的顺利进行提供了有力保障。

2.2 施工成本精细化管理

在装配式建筑施工管理中，成本控制的核心在于通过精细化管理手段实现资源的最优配置与全过程动态监管。基于 BIM 技术的应用，施工成本管理能够突破传统模式的局限性，形成多维度的协同控制机制^[3]。通过 BIM 模型整合工程量清单、资源价格信息及施工进度计划，可自动生成精确的成本预算方案，将建筑构件与对应的材料、人工及机械消耗量进行数字化关联，从而消除人工计算误差并提升预算编制的颗粒度。三维可视化模型使成本分布情况直观呈现，便于管理人员识别各阶段成本投入的重点区域，提前预判潜在超支风险并制定针对性控制措施。

在施工执行过程中，BIM 平台通过与物联网设备、项目管理系统的系统集成，可实时采集现场材料消耗量、机械台班使用情况及人工工时等关键数据，并与预算值进行动态比对。例如：当某预制构件安装进度滞后时，系统可自动分析其对后续工序资源需求的影响，及时调整材料供应节奏或劳动力配置方案，避免因进度偏差导致的资源闲置浪费。这种实时反馈机制使成本控制从静态的事后核算转变为动态的过程干预，显著提升管理响应的敏捷性。

此外，BIM 技术打通了设计、采购、施工等环节的信息壁垒，构建起供应链协同管理平台。基于模型中的构件参数化信息，系统可自动生成精准的物料需求计划，结合供应商产能、物流周期及库存状态进行采购策略优化。通过模拟不同供货方案对施工进度和成本的影响，能够实现准时化采购与智能仓储管理的有机结合，既避免材料过早进场占用资金，又防止供应

中断造成的工期延误。这种全链条的协同机制有效降低了供应链中的隐性成本，使资金周转效率与项目整体效益得到系统性提升。

2.3 施工质量精细化管理

在装配式建筑施工质量管理中，BIM 技术通过全流程数字化管控构建起质量风险预防与闭环管理体系。基于 BIM 模型嵌入施工规范、验收标准及工艺工法参数，可在虚拟建造阶段对预制构件尺寸公差、节点连接方式等关键质量指标进行自动校验，确保设计方案与施工标准的合规性。通过将质量检查项与模型构件属性关联，施工过程中可通过移动终端调取对应位置的工艺要求、检测标准及操作指引，辅助现场人员精准执行施工动作，避免因人为理解偏差导致的质量缺陷。三维可视化模型与施工进度联动的特性，使质量管控节点与工程进展自动匹配，系统可提前推送隐蔽工程验收、材料复检等质量控制任务清单，强化过程监督的时效性。

在动态质量监控层面，BIM 平台整合物联网传感器、无人机巡检及图像识别技术，实时采集现场施工数据并与模型预设参数进行智能比对^[4]。例如：通过激光扫描获取预制墙板安装后的实际坐标数据，系统自动生成偏差分析报告并标记超限部位，指导作业人员即时调整；利用 AI 算法对施工影像进行裂缝、空鼓等质量缺陷识别，实现问题发现从传统人工抽检向全天候自动化监测的转变。这种即时反馈机制使得质量问题在萌芽阶段即可被捕捉，结合模型模拟不同整改方案对后续工序的影响，为质量优化决策提供可视化支撑。

针对质量问题的追溯与整改闭环，BIM 技术通过构件的唯一编码体系实现质量信息全生命周期溯源。当发现某批次预制叠合板存在强度不达标问题时，可通过模型快速定位该批次构件的安装位置、施工时间及责任班组，追溯原始生产数据与质检记录，精准界定责任边界。整改过程中，模型自动关联缺陷部位的修复工艺库，生成包含施工方法、材料用量及验收标准的专项方案，并通过任务派发系统跟踪整改过程直至复核闭合。所有质量事件的处理痕迹均被完整记录并形成知识库，为后续工程提供经验借鉴，推动质量管理从被动纠偏向主动预防的持续改进循环演进。

2.4 施工安全管理

在装配式建筑施工安全管理中，BIM 技术通过数字化预控与动态感知构建起全周期、多维度的安全防护体系。基于 BIM 模型集成安全规范库与历史事故案例数据，可在虚拟建造阶段对施工方案进行安全风险智能识别。例如：通过模拟塔吊运行轨迹与预制构件吊装路径的空间关系，自动检测设备碰撞风险或安全作

业距离不足问题；结合施工进度推演临时支撑体系受力变化趋势，提前预警可能发生的结构失稳隐患。模型内置的力学分析模块可对大型构件拼装、高空作业平台搭设等高风险工序进行稳定性验算，辅助优化施工顺序及安全防护方案，从源头降低事故概率。

在施工过程中，BIM平台整合UWB定位系统、智能安全帽及环境监测传感器，实现人员、机械、环境要素的实时动态监控^[5]。通过将模型与现场空间坐标绑定，系统可精准追踪作业人员活动轨迹，当工人进入深基坑、高压电区等危险区域时自动触发声光报警；借助AI图像识别技术分析监控视频，实时捕捉未佩戴安全绳、临边防护缺失等违章行为并推送整改指令。环境监测数据（如风速、扬尘浓度、有毒气体含量）与预设阈值动态比对，异常情况即时触发预警并关联应急预案，三维可视化界面同步显示受影响区域及疏散路径，提升应急响应效率。针对安全培训与应急管理，BIM技术将传统二维安全交底升级为沉浸式三维动态演示。通过模型剖切展示复杂节点施工工艺及安全操作要点，结合VR设备模拟高处坠落、物体打击等事故场景，强化施工人员风险感知能力^[6]。应急预案演练阶段，基于模型模拟火灾、坍塌等突发事件的空间扩散路径，优化逃生路线设计与救援资源配置；通过数字孪生技术复现事故处理过程，自动评估应急措施的时效性与完整性，形成可迭代优化的处置知识库。所有安全事件的处理痕迹与经验反馈均被整合至模型数据库中，为同类工程提供风险防控参考，推动安全管理从被动应对向主动预防的持续进化。

3 案例分析

以“南京江北新区人才公寓装配式建筑项目”为例，该项目为江苏省首批装配式建筑示范工程，采用预制混凝土框架结构体系。在施工过程中，项目团队基于BIM技术构建全流程协同管理平台，实现设计、生产、施工环节的无缝衔接。在施工进度管理中，通过BIM模型与施工计划动态关联，模拟预制外墙板吊装与室内管线预埋的工序逻辑，发现原方案中塔吊与施工电梯的协同冲突问题，优化后避免了设备闲置与工序返工，保障了关键节点按时完成。

在成本管理方面，项目利用BIM模型自动关联构件编码与供应商信息，实现预制楼梯、叠合楼板等构件的精准下单与分批进场。通过模拟不同天气条件下混凝土养护周期对施工节奏的影响，动态调整材料采购计划，减少现场仓储压力。同时，结合BIM模型可视化交底，降低因施工误差导致的材料浪费，显著提升资源利用效率。

在质量管理方面，项目将BIM模型与施工规范库绑定，在预制梁柱节点安装时，通过移动端调取三维工艺指引，辅助工人精准定位钢筋套筒连接点位。现场采用激光扫描技术对装配完成区域进行点云比对，快速识别构件安装偏差，并依托BIM平台生成整改工单，实现质量问题从发现到闭环的全程追踪^[7]。

在安全管理方面，项目通过BIM模型预演大型构件吊装路径，优化塔吊布置方案，规避高压线安全距离风险。施工现场部署智能安全巡检系统，基于BIM空间坐标对深基坑、高空作业区进行电子围栏设置，实时监测人员越界行为并联动广播预警。此外，利用BIM+VR技术模拟脚手架搭设不规范引发的坍塌场景，强化施工人员安全操作意识。

该案例表明，BIM技术通过数字化预控、过程协同与闭环管理，有效解决了装配式建筑施工中进度协调难、成本波动大、质量隐患多、安全风险高等痛点，为同类项目提供了可落地的精细化管理范式。

4 结束语

本文探讨了BIM与装配式建筑施工的协同机理，并提出了基于BIM的装配式建筑施工精细化管理策略。通过施工进度、成本、质量、安全等方面的精细化管理，可以显著提高装配式建筑施工的效率、降低成本、提升质量、保障安全。案例分析进一步验证了这些策略的可行性和有效性。未来，随着BIM技术的不断发展和完善，其在装配式建筑施工精细化管理中的应用前景将更加广阔。

参考文献：

- [1] 张淑冉. 基于BIM的装配式建筑施工精细化管理研究[J]. 装饰装修天地, 2023(09):235-237.
- [2] 王万春, 朱丽, 崔玉, 等. 基于BIM技术装配式建筑工程造价全过程精细化管理的应用研究[J]. 广西城镇建设, 2023(02):98-106.
- [3] 侯本卿. 基于BIM技术的装配式建筑项目施工管理研究[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2024(09):31-33.
- [4] 李虎. BIM装配式建筑质量精细化管理研究[J]. 建筑工程技术与设计, 2024(01):73-75.
- [5] 徐登峰. 基于BIM技术的装配式建筑施工精细化管理研究[J]. 黑龙江科学, 2024, 15(10):162-164.
- [6] 周杨, 刘梦梦, 王宝雨, 等. 基于BIM技术与风险评估体系的装配式建筑施工安全管理研究[J]. 建筑结构, 2023, 53(S02):2089-2093.
- [7] 夏起雄. 基于BIM技术的装配式建筑施工管理与优化[J]. 城市建筑与发展, 2024, 05(12):91-93.

公路工程机械设备使用效率 影响因素及提升策略

张家泉

(四川路航建设工程有限责任公司, 四川 成都 610000)

摘要 在现代公路工程建设过程中, 提升机械设备使用效率是优化施工管理、控制工程成本的重要目标。然而, 设备选型与工况匹配度不足、维护保养周期执行不规范以及配件供应管理滞后等因素, 严重影响了机械设备的作业效率。本文从提升机械设备使用效率的意义出发, 提出精准选型匹配工况需求、规范维保周期执行标准、建设智能库存管理系统以及动态调度优化现场协调等提升策略, 以期为提高公路工程建设质量提供有益参考。

关键词 公路工程; 机械设备; 使用效率; 集约化管理; 全生命周期

中图分类号: U415.5

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.16.035

0 引言

公路工程是国家基础设施建设的核心领域, 机械设备作为现代化产业体系的技术载体, 优化其运行效率不仅是控制工程进度的关键变量, 更是资源集约化管理的核心议题。因此, 对公路工程机械设备使用效率进行研究探讨, 需建立多维度的分析框架, 这对于构建资源约束条件下的工程效率优化模型具有重大理论价值, 同时为基础设施建设的可持续发展提供支持。

1 提升机械设备使用效率对公路工程建设意义

公路工程作为大型基础设施建设, 涉及复杂的施工流程, 机械设备在其中承担着关键的技术支撑作用。施工人员优化机械设备的使用效率, 能够有效降低工程实施过程中的时间成本, 进而提升整体建设效能。

从资源管理角度分析, 提升机械设备使用效率能够优化公路工程的能源配置结构, 并据此进行设备选型, 可减少设备空转率或重复作业频次, 避免因低效运行导致的能源浪费^[1]。此效率改进不仅符合绿色施工理念, 更能降低全生命周期内的碳排放强度, 为公路工程的可持续发展提供基础保障。

除此之外, 高效率的机械设备运行状态还有利于延长设备服役年限, 降低维护成本, 形成良性循环的资源利用模式。

在工程质量控制层面, 提升机械设备使用效率有助于实现精准的施工参数, 公路工程对路面平整度、压实度等关键指标都有严格标准, 优化机械设备使用效率能够确保施工工艺的稳定性, 减少因设备故障或性能不足造成的质量偏差。

2 影响公路工程机械设备使用效率的因素

2.1 设备选型与工况匹配度不足

公路工程涉及的土方开挖对设备功率、作业半径等技术指标有特定要求, 在选型过程中若忽略地质条件等变量, 易造成设备超负荷运转或低效空转。部分环节过度依靠人工经验判断, 缺乏对设备作业效率的量化分析, 致使选型方案偏离工程实际需求。另外, 施工工况的动态变化也会加剧设备与作业场景的适配难度, 公路工程常面临地形起伏、材料特性差异等复杂条件, 设计人员若未建立设备参数与工况变化的联动评估机制, 可能致使设备在突发工况下响应能力不足, 影响单机作业效能, 间接拖累整体施工进度。工程人员在选型决策时更多关注设备购置成本, 较少结合公路工程项目的施工周期进行综合测算, 导致部分高精度设备因长期处于非标准工况下运行, 核心部件损耗速率超出设计预期, 增加后期维护频率, 降低实际有效作业时间。

2.2 维护保养周期执行不规范

在制定机械设备管理方案时若未建立科学量化的维保标准, 易导致预防性维护与实际损耗规律脱节。公路工程施工现场普遍存在高强度连续作业特征, 设备润滑系统、传动装置等关键部件的磨损速率具有显著差异性, 统一套用固定维保周期可能造成部分设备过度维护或必要维护缺失。部分人员缺乏对设备历史运行数据的系统分析, 设定的维保间隔没有准确反映液压系统密封件老化等具体损耗进程, 加速核心部件性能衰减^[2]。除此之外, 编制的维护规程未明确具体

操作标准,易使现场维保流于形式,同时公路工程常用设备对液压油清洁度、轮胎气压值等参数敏感度较高,维护过程中检测项目遗漏或精度偏差可能引发连锁性故障,压缩有效作业时间。公路工程中路基施工与路面铺装阶段对设备需求存在明显差异,机械采用均匀分布模式将造成高负荷期设备可用性降低,甚至因带病作业引发二次损伤,形成设备性能与工程效率的双重损失。

2.3 配件供应管理滞后

公路工程施工现场设备类型多样,不同机械的易损件消耗速率存在差异,通用化的配件储备模式难以精准匹配铣刨机刀具磨损、摊铺机输料板更换等特定需求。部分项目规划阶段缺乏对设备故障率的量化分析,配件采购计划与设备维护需求错位,进而造成库存积压占用资金。配件库存配置与实际损耗规律脱节进一步加剧供应矛盾,在制定配件管理方案时若未结合公路工程不同施工阶段的设备使用强度,易致使库存结构失衡。除此之外,工程人员在供应链设计环节若未预留区域以应对急性调配机制,可能延误公路工程突发故障的处置效率,因为部分进口设备专用配件受采购周期限制,跨省调拨流程繁琐,无法满足紧急需求。设备维修与配件到货周期不同步,易导致故障机械长期占用施工场地,影响后续工序衔接,增加二次搬运成本。

3 提升公路工程机械设备使用效率的实践策略

3.1 精准选型匹配工况需求

工程人员进行科学分析工程地质条件、施工强度分布及工期节点目标,能够筛选出与工况特征高度契合的设备类型,避免因设备性能冗余或不足导致的资源浪费^[3]。精准选型可保障设备在额定工况下稳定输出,减少非必要的机械损耗,为提升施工流程提供设备保障。此适配性优化直接作用于工程效率,依靠缩短设备空转时间、降低故障率等方式,增强公路工程全流程的机械使用效率。

在实际操作中,工程人员需构建多维度的选型分析模型,以公路工程实际需求为导向,整合设备性能参数与施工场景特征。第一步建立设备数据库,设计人员可系统性收录各类机械的额定功率、作业半径、油耗指标等基础数据,同步整合历史工程中不同设备在相似工况下的作业效率记录。数据库按土方开挖、沥青摊铺等工序分类,结合工程地质勘探报告中的土壤硬度等参数,生成设备选型推荐图。第二步强化设备全生命周期管理理念,把选型决策延伸至运维成本核

算领域,分析设备折旧率、故障率曲线,综合评估不同型号设备在公路工程长周期施工中的综合成本效益,避免因单一追求技术指标而忽略经济性平衡。此类分析需结合工程预算,形成选型优先级排序规则,确保设备性能与工程目标之间精准对接。第三步制定参数标准化对照体系,统一设备选型与工况描述的量化指标,工程人员由此联合行业协会,将公路工程常见工况分解为承载力需求、作业精度误差、环境温湿度范围等可量化参数,形成设备选型匹配度评分表。该体系以赋值权重反映不同参数的重要性差异,例如:冻土区域施工中设备低温启动性能的权重高于常规工况,评分结果要直观展示候选设备与目标工况的契合程度,为决策提供可视化支撑。第四步应用智能化选型辅助工具,借助BIM技术构建三维施工场景模型,输入工程进度、材料特性等数据后,系统自动匹配设备库中符合功率输出范围且能耗阈值达标的机械类型,可显著降低人工比对成本,同时提高选型方案的科学性。

3.2 规范维保周期执行标准

科学合理的维保周期能够有效延缓设备性能衰减,减少突发性故障对施工连续性的干扰。依靠精准匹配设备损耗规律,可确保液压系统密封性、传动部件润滑度等关键指标始终处于安全阈值内。此预防性维护机制不仅能降低设备全生命周期维修成本,还能避免因核心部件失效导致的连锁性故障,为公路工程机械化施工稳定性提供保障。

工程人员依据设备类型、作业强度及环境特征制定差异化维护方案,将公路工程常用机械按动力系统、传动结构、控制精度等维度分级管理。针对沥青摊铺机、双钢轮压路机等精密设备,设计人员设定维保周期需重点考虑液压油清洁度;对于挖掘机、推土机等重型机械,则以底盘行走机构润滑为核心指标。开发数据驱动的维保,在设备关键部位安装振动传感器、油液检测仪等装置,实时采集轴承温度、齿轮箱金属碎屑浓度等参数。系统凭借机器学习算法分析数据变化趋势,自动预测滤清器堵塞、制动片磨损等故障发生概率,动态调整维保工单生成时间。推行维保作业标准化流程是保障执行质量的核心手段,据此编制可视化维保手册,将维护任务分解为检查、清洁、调整、更换等标准步骤,同时手册配套二维码标签粘贴于设备醒目位置,扫码即可调取三维拆解动画,确保操作精度。建立维保效果追踪评价机制,在每次维护完成后,运用设备运行数据监测维护效果。例如:更换挖掘机空气滤芯后,持续跟踪发动机进气负压值与燃油消耗率间的变化趋势,验证滤芯更换的必要性。强化施工

进度与维保计划的协同管理能减少效率损失, 工程人员结合公路工程工序衔接特点, 在路基压实高峰期前集中安排压路机全面检修, 在沥青摊铺间歇期进行摊铺机液压系统维护。引入第三方维保质量审计机制可提升标准执行刚性, 委托专业机构定期抽检维护记录, 审计结果与设备管理绩效考核挂钩, 未按标准执行维护的班组需重新接受操作培训。

3.3 建设智能库存管理系统

智能库存系统的本质是建立需求预测与资源调配的动态平衡, 依靠数据驱动决策实现配件供应与设备维护节奏间的精准匹配。与此同时, 工程人员整合设备运行数据、施工进度计划, 能预判不同阶段的配件消耗规律, 为优化库存结构提供科学依据^[4]。该机制可突破人工管理的响应延迟, 确保设备维修需求触发时配件即时可用, 减少非计划停机对施工连续性的冲击, 从根本上支撑公路工程机械化作业的高效性。

实际操作中, 工程人员在设备仓库货架部署传感器节点, 实时采集铣刨机刀头磨损量、压路机振动轴承寿命等数据, 同步传输至中央数据库。系统根据设备运行状态自动计算配件剩余寿命, “沥青摊铺机输料板厚度降至 3 毫米时触发预警, 生成采购订单并推送至供应商端口”。仓库采用射频识别 (RFID) 电子标签管理, 配件入库时自动更新库存数量, 设备维护人员凭借手持终端扫码即可快速定位所需配件, 减少领用流程耗时。开发多维度需求预测模型, 设计人员整合历史工程数据, 建立基于施工阶段、设备类型、环境条件的配件消耗分布图。针对山区公路项目, 模型自动提高挖掘机斗齿、破碎锤钎杆等易损件的安全库存值; 针对雨季施工场景, 增加发电机空气滤芯的储备量, 并且系统结合当前工程进度模拟未来的配件需求。实施库存分级分类管理策略可优化资源利用效率, 工程人员可根据配件紧急程度划分 ABC 三类库存: A 类为液压泵、控制主板等高价长周期配件, 设置最低安全库存并签订供应商优先供货协议; B 类包含滤清器、密封圈等中频消耗件, 采用经济订货批量模型控制库存成本; C 类涵盖螺栓、垫片等通用标准件, 实行供应商代管库存模式。搭建供应商协同平台, 设计人员需在系统中嵌入供应商评价模块, 依据供货及时率、质量合格率等指标动态调整采购优先级。

3.4 动态调度优化现场协调

公路工程施工现场具有多工序交叉的特征, 不同机械设备的作业半径、移动路径与施工时序存在复杂的空间关联。科学调度能够有效解决设备等待冲突、

作业面闲置等低效问题, 凭借时空资源的最优配置可提升设备协同作业效能^[5]。除此之外, 精准把握各施工阶段的核心设备需求强度, 构建起任务分配与资源供给的动态平衡, 确保关键设备在适宜作业窗口发挥最大效能。

建立物联网感知网络是实施动态调度的数据基础, 工程人员在主要施工机械安装工况传感器, 实时采集设备位置、作业状态及燃油消耗数据: 当沥青摊铺机工作时长超过设定阈值时, 系统自动标记为待维护状态并暂停新任务分配; 压路机完成当前路段压实作业后, 位置坐标实时上传至调度中心。数据运用 5G 网络回传至云端分析平台, 形成包含设备可用状态、作业进度的动态数据库, 为智能调度提供实时数据支撑。开发自适应调度算法, 构建多目标优化模型, 统筹考虑施工进度、设备性能与运输成本等变量, 此算法依据路基开挖段土方量, 自动匹配挖掘机与自卸车的数量配比, 确保装车环节不出现机械等待。搭建可视化调度指挥平台, 将施工区域划分为网格化单元, 利用三维数字孪生技术呈现各单元内的设备分布状态, 同时平台用不同颜色标注设备负荷状态, 红色代表超负荷作业, 绿色表示待命可用, 调度人员拖拽设备图标至目标网格即可生成调令。

4 结束语

提升公路工程机械设备使用效率能有效降低工程实施过程中的资源浪费, 同时契合绿色施工理念, 为公路工程的可持续发展奠定基础。未来, 随着科技的不断进步, 提升机械设备使用效率仍有广阔空间。一方面, 可进一步深化智能化技术在机械设备管理中的应用, 提高设备管理精细化水平。另一方面, 需综合考虑工程学、管理学等多学科知识, 构建更为完善的机械设备使用体系。

参考文献:

- [1] 何远鑫. 高速公路施工中的大型机械设备管理策略研究 [J]. 交通科技与管理, 2025, 06(03): 138-140.
- [2] 徐鹏. 公路工程机械化施工技术与选择探析 [J]. 汽车周刊, 2025(02): 38-40.
- [3] 王代勇, 杨旭. 公路工程中机械设备智能油耗监控系统的应用 [J]. 交通科技与管理, 2024, 05(19): 160-162.
- [4] 李国良. 节能环保视域下公路工程机械设备的配置与管理策略探讨 [J]. 汽车周刊, 2024(08): 175-177.
- [5] 张敏捷. 分析节能环保视域下公路工程机械设备的配置与管理 [J]. 汽车周刊, 2024(08): 181-183.

醇基燃料生产工艺优化研究

徐鹏, 张金峰

(陵县旭日化工有限责任公司, 山东 德州 253000)

摘要 使用醇基燃料替代传统化石燃料、优化生产工艺和环境影响评估对于促进能源结构转型至关重要。本文首先对醇基燃料的主要生产原料, 如煤基、生物质和其他相关原料进行了深入分析, 并进一步探索了这些原料在燃油车中的多种应用技术, 包括甲醇燃料发动机技术、燃料供应系统的改进以及尾气处理系统的优化等; 其次, 提出了传统煤制甲醇技术、化工副产品制甲醇技术以及甲醇生产技术, 注重能效提升、碳排放控制、原料多元化以及生产过程清洁化等醇基燃料生产技术优化策略, 以期降低碳排放、促进醇基燃料生产工艺可持续发展提供有益参考。

关键词 醇基燃料; 生产工艺优化; 环境影响评估

中图分类号: TQ517

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.16.036

0 引言

醇基燃料, 尤其是甲醇, 作为一种低碳和环保的能源来源, 因其原料来源广泛、高效的燃烧效率和较少的排放污染等优点, 逐步受到了广泛的关注。但醇基燃料生产工艺还存在原料来源简单、能效不高、碳排放量高等问题。所以, 优化醇基燃料生产工艺研究以提高其生产效率具有现实意义及广泛的应用前景。

1 醇基燃料生产工艺现状分析

1.1 醇基燃料的主要生产原料

1.1.1 煤基原料

醇基燃料是清洁、有效的能源替代燃料, 生产原料多样且可持续是醇基燃料能够被广泛使用的主要依据。其中, 煤基原料是我国传统能源转化形式之一, 在醇基燃料生产过程中起着举足轻重的作用。煤基原料经过气化、合成等一系列复杂化学反应后可转化成醇类燃料, 这一转变过程在提高煤炭利用效率的同时也降低了煤炭直接燃烧对环境造成的污染^[1]。

1.1.2 生物质原料

随着人们环保意识的增强以及可持续发展理念深入人心, 生物质原料用于醇基燃料的生产越来越受到人们的关注。它们不仅可再生性强, 其转化过程所产生的二氧化碳和其他温室气体也可通过光合作用为植物所吸收, 使碳循环达到均衡^[2]。生物质原料种类繁多, 既为醇基燃料提供了大量原料可供选择, 也为能源可持续发展、降低温室气体排放等提供了一条重要路径。生物质原料以农作物秸秆、林木废弃物、城市有机垃圾、

农业加工剩余物和水生植物为主。这些材料可再生性强、资源丰富、成本低、环境友好^[3]。

1.1.3 其他原料

在生产醇基燃料的过程中, 除了使用煤基和生物质作为原料之外, 探索和应用其他类型的原料也具有不可忽视的重要性。这类其他材料主要涉及天然气、石油及其他化石能源中的一些成分, 也包括一些特殊的工业废弃物及副产物。这些材料的引进不仅扩大了醇基燃料原材料来源, 而且为最大限度地利用资源、友好保护环境提供新思路。作为传统的化石燃料、天然气和石油的某些成分, 如甲烷和乙烯, 在某些特定的催化环境中, 能够经过化学过程转变为醇类燃料^[4]。尽管该工艺比生物质原料转化要复杂得多, 但是在技术切实可行的情况下可以高效地利用已有化石能源基础设施并顺利地进行能源结构过渡。

1.2 醇基燃料在燃油车中的应用技术

1.2.1 甲醇燃料发动机技术

甲醇以其燃烧完全、排放低的特点成为高效清洁替代燃料之一, 在燃油车改造及新能源车辆研制等领域得到了广泛的应用。甲醇燃料发动机技术涉及发动机燃烧系统改进、甲醇燃料供应控制等。从发动机燃烧系统来看, 甲醇燃料发动机需针对传统汽油或者柴油发动机点火系统、喷油系统和燃烧室结构做适应性改造。甲醇燃烧特性明显不同于汽油及柴油, 必须准确控制点火时刻、喷油压力及喷油量, 才能保证甲醇燃料的稳定高效燃烧^[5]。与此同时, 还需对燃烧室形状及材质等方面加以优化, 才能提高燃烧效率并降低

排放。甲醇燃料供给控制中，甲醇燃料发动机需安装专用甲醇燃料供给系统。系统由甲醇燃料储罐、甲醇泵、甲醇滤清器和甲醇喷射器组成。甲醇燃料经供给系统准确计量后喷入发动机燃烧室中，在空气中混合形成可燃混合气。供给系统是否稳定可靠，对甲醇燃料发动机性能及排放都有显著影响。

1.2.2 燃料供给系统改造

传统燃油车的燃料供应系统主要是为汽油或柴油设计的，但醇基燃料，如甲醇和乙醇，在物理和化学属性上与传统燃料有着明显的不同，因此，燃料供给系统须作相应改造才能满足醇基燃料供给需要^[6]。燃料供给系统改造内容如下：一是完善燃料储存与输送系统。醇基燃料一般黏度小、挥发性强，需采用专用储罐、输送管道等设备来避免燃料泄漏挥发。同时醇基燃料对于金属、橡胶等物质有一定腐蚀性，所以，在选材、设计结构时需充分考虑耐腐蚀性。二是对燃料喷射系统进行了优化。醇基燃料燃烧特性不同于汽油或者柴油，所以，必须对喷射器喷射压力、喷射角度以及喷射时机进行调节，才能保证醇基燃料能完全雾化并且与空气均匀混合，进而提高燃烧效率，减少排放。

1.2.3 尾气处理系统优化

尽管醇基燃料具有环保和可再生等优点，但是它在燃烧过程中排放的尾气需要尾气处理系统做相应优化才能达到越来越苛刻的环保法规。尾气处理系统优化重点是减少有害排放物产生与排放。对于醇基燃料来说，燃烧后的尾气可能含有甲醛、乙醛及其他醛类化合物和尚未充分燃烧的醇类及烃类，这两种醇类都会给人类健康及环境带来潜在危害。所以，在尾气处理系统中需要加入对这些有害物质进行净化的设备，如醛类捕捉器和氧化催化器，才能有效地降低它们的排放浓度。另外，尾气处理系统在优化过程中也需要考虑净化效率与稳定性的提升。受醇基燃料燃烧特性的影响，尾气中有害物质的浓度及类型可能会随着工况的改变而发生波动，需要尾气处理系统能适应此变化并稳定净化效果。

2 醇基燃料生产工艺优化策略

2.1 甲醇生产工艺发展

2.1.1 传统煤制甲醇工艺

传统煤制甲醇工艺作为醇基燃料制备领域中的基础和核心长期以来一直在工业生产这一广阔的舞台上发挥着举足轻重的作用。该工艺流程既肩负着实现煤炭资源向清洁能源甲醇高效转化的任务，同时也是促

进醇基燃料行业不断向前发展的主要基石。具体来讲，煤制甲醇的传统工艺由气化、合成和精馏三个关键环节组成。气化阶段煤炭原料进入气化炉，经过高温高压极端工况气化反应产生 CO（一氧化碳）、H₂（氢气）为主的气化气。该工艺将煤炭初步转化成气态能源，并为之后的合成反应打下坚实的基础。通过采用一系列物理、化学手段对其杂质、污染物以及有害物质进行有效脱除，保证气化气纯度以及品质达到后续合成反应高标准要求。这一环节对保证整个工艺过程稳定、产品质量可靠具有重要意义。合成阶段将净化后气化气和特定催化剂进行化学反应得到甲醇粗品。该工艺要求对反应条件进行精确控制，如温度、压力以及催化剂类型与用量，从而保证合成反应顺利进行并最大限度地提高甲醇产率。

2.1.2 化工副产品制甲醇

在化学工业的生产流程中，经常会生成大量的副产品气体，这些气体通常包含氢气（H₂）、一氧化碳（CO）或二氧化碳（CO₂）等成分，这些成分是制造甲醇的关键原料。传统的做法是将这些副产品气体以废气的形式排出，既浪费资源又污染环境。但这些副产品气体经先进化工技术与工艺创新后可得到高效捕集、提纯与利用并转化成高价值化学品甲醇。化工副产品生产甲醇工艺一般由气体收集、提纯、合成、分离组成。设计一个高效收集系统来保证副产品气体被充分捕集以避免资源浪费。然后，经过脱硫、脱碳、脱氯等系列净化处理将气体中杂质及污染物脱除，确保后续合成反应顺利进行。合成阶段将净化气体与催化剂反应得到甲醇。

2.1.3 二氧化碳捕集制甲醇

在全球气候变化、资源日趋紧张的严峻形势下，甲醇生产工艺特别是基于 CO₂ 捕集制甲醇技术已经成为化工领域的研究和实践重点。该创新技术的目的是通过对大气或者工业排放的 CO₂ 进行捕集和利用，结合可再生能源生成的氢（H₂）催化合成反应，转化成具有清洁和高效双重特点的能源甲醇后又被用作重要化工原料。该项技术以 CO₂ 资源化利用为核心，既能有效减少温室气体排放，减缓全球变暖态势，又能对促进能源结构优化调整和化工生产转型产生深远影响。甲醇生产工艺的本质是 CO₂ 捕集和转化高效技术体系建设。在 CO₂ 捕集部分，通过化学吸收，物理吸附或者膜分离先进技术实现工业废气或者大气 CO₂ 高效准确捕集。这些技术手段各有特点，可针对不同的应用场景及需求进行灵活取舍，从而保证捕集效率和经济性之间的最佳

平衡。并且在氢气的生产中,充分利用电解水这一可再生能源技术来保证生产全过程低碳、环保和可持续性。电解水制氢技术具有清洁无污染等优点,是生产甲醇不可缺少的环节,它为 CO_2 加氢还原反应过程提供了一个稳定可靠的氢来源。进入合成阶段后, CO_2 和 H_2 经特定催化剂催化进行加氢还原反应得到甲醇。催化剂的筛选和设计对提高反应速率,优化产物选择性和降低能耗起着至关重要的作用。通过对催化剂性能的持续优化,可以进一步提高甲醇生产效率和产品质量,给化工行业发展带来了新的生机。

2.2 生产工艺优化方向

2.2.1 能效提升与碳排放控制

醇基燃料生产工艺优化中能效提升的目的是通过技术革新与管理优化,来降低生产过程能源消耗、提高能源利用效率以降低生产成本、提升市场竞争力。同时加强对生产过程余热的回收再利用是提升能效的一个重要途径。通过对生产过程中产生的废热进行回收和再利用,不仅可以降低能源的浪费,还可以为其他生产环节提供热源,从而实现能源的分级利用。碳排放控制策略是为了满足全球气候变迁和环境保护的紧迫需求,其主要目标是降低醇基燃料制造过程中的温室气体,特别是二氧化碳(CO_2)的排放量。这就需要在制定与执行生产工艺时充分考虑到碳循环利用与减排策略。一方面,可通过优化原料选择与配比来减少含碳原料用量以降低碳排放。另一方面,探索并实施碳捕获、利用与封存(CCUS)技术,将生产过程中产生的 CO_2 进行捕集、提纯,并用于其他工业生产或地质封存,实现 CO_2 的资源化利用和永久减排。

2.2.2 原料多元化与可持续性

传统的醇基燃料制造大多依赖于化石燃料,如煤炭、天然气和石油等,这不仅导致了资源的快速消耗,还引发了严重的环境污染和温室气体的排放。为迎接这一挑战和醇基燃料生产可持续发展,多元化原料变得更加重要。这涉及对非化石材料的研究和应用,如生物质资源、农业废料、城市废物和各种工业副产品等,这些材料的来源非常丰富,且可再生性强,可有效降低对化石燃料依赖和碳排放。原料多元化不只是指资源被大量使用,还需要生产工艺灵活适应。对于不同类型原料,需研发相应预处理技术、转化技术及催化剂等,才能保证原料向醇基燃料高效稳定转化。如生物质资源转化工艺需解决木质素解构、半纤维素发酵和纤维素酶解关键技术难题。

2.2.3 生产过程清洁化

在醇基燃料生产工艺优化革新过程中,将生产过程清洁化作为制造及环境保护的关键环节。生产过程清洁化的目的是通过先进生产技术与严格环境管理措施的应用,使生产过程所排放的污染物与废弃物尽可能减少或者消除,从而保证生产活动所造成的不利环境效应达到最小。要达到这一目的不仅要依靠生产设备及流程的完善,还必须精细化管理整个生产流程,从选料、加工到产品输出等各个环节都要按照循环经济3R原则与质量管控“三不”原则来完成。原料选择阶段要优先选择环保、可再生、低毒原料,减少生产过程中有害物质的导入。在加工转化时,又需要使用高效、节能、污染少的生产技术与装备,如密闭式反应系统、连续化生产流程及智能化控制系统来降低能源消耗与污染物排放。与此同时,强化生产过程环境监测与排放控制,保证废气、废水、固废及其他污染物达标排放也是实现生产过程清洁化发展的重要保证。

3 结束语

本研究在分析醇基燃料生产工艺现状的基础上,有针对性地给出工艺优化策略。在原材料选择上,要积极促进原材料多元化发展,充分利用生物质和其他可再生资源以降低对化石燃料的依赖性。从生产工艺上看,要重视能效提升与碳排放控制、利用先进生产技术、减少能源消耗与环境污染等。同时强化生产过程清洁化管理以保证醇基燃料生产更环保、更有效率。未来,在科技不断进步及政策不断扶持下,醇基燃料生产与应用的前景会更广阔。

参考文献:

- [1] 凌青青,钟卉菲,徐铮.醇基燃料的发展与应用[J].浙江化工,2023,54(07):5-10.
- [2] 邢晓东,林俊岭,朱倩,等.生物质能醇基燃料合成技术研究[J].辽宁化工,2023,52(06):829-832.
- [3] 张利军,赵严,张伟.醇基燃料使用安全现状分析及对策研究[J].现代职业安全,2023(02):68-70.
- [4] 王永刚,孙伟喜,李小刚,等.高效节能型醇基生物燃料气化炉灶:CN202222311252.9[P].2025-03-12.
- [5] 连方方.醇基燃料事故统计及行业安全对策探讨[J].现代职业安全,2023(08):36-39.
- [6] 于静,王惠峰.关于醇基液体燃料安全监管现状的思考[J].化工安全与环境,2023,36(08):69-71.

房建幕墙设计与施工技术研究

史 昀

(西安航天城市更新建设有限公司, 陕西 西安 710000)

摘要 房建幕墙设计与施工技术涵盖结构优化、材料应用、施工工艺及智能化管理等多个方面, 其随着建筑行业的发展不断升级。本文介绍了房建幕墙设计与施工技术的概念及特点, 重点分析了轻量化材料、装配式施工及 BIM 技术在幕墙工程中的应用。轻量化材料如铝合金、碳纤维复合材料、ETFE 膜等通过降低幕墙自重提高结构安全性和施工效率; 装配式施工技术采用工厂预制和现场装配, 以提高幕墙安装精度, 缩短施工周期; BIM 技术通过三维建模、碰撞检测、施工模拟等手段优化幕墙设计, 提高施工效率及运维管理水平。房建幕墙设计与施工技术将向智能化、绿色化方向发展, 提高建筑节能性能, 实现更高效、安全、环保的建筑体系。

关键词 房建幕墙; 轻量化材料; 装配式施工

中图分类号: TU767; TU238

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.16.037

0 引言

房建幕墙设计与施工技术作为现代建筑工程中的重要组成部分, 随着城市化进程的加快和高层建筑的发展需求不断提升, 逐渐显现出其关键作用。幕墙不仅具备良好的装饰效果, 还承担着建筑外保护层的重要功能, 涉及结构安全、节能环保、防火隔热等多方面技术要求。随着新材料、新工艺的不断应用, 如玻璃幕墙、石材幕墙、金属幕墙等类型日益丰富, 幕墙系统的性能和施工质量也不断提升。BIM 技术、绿色建筑理念等现代建筑技术的引入, 幕墙设计与施工更加精细化、智能化, 幕墙设计不仅需考虑建筑美学, 更要满足结构力学、物理性能和耐久性等综合指标, 施工过程中也必须严格控制工艺流程与质量标准, 因此掌握先进的幕墙设计与施工技术, 对提升建筑整体质量与安全性具有重要意义。

1 房建幕墙设计与施工技术的概述

房建幕墙是指建筑物外围护结构中不承重的外墙部分, 通常由面板和支撑结构组成, 安装于主体结构外侧, 起到遮风挡雨、隔热保温、美化外观等作用, 幕墙系统包括玻璃幕墙、金属幕墙、石材幕墙等多种类型, 广泛应用于高层建筑、公共建筑和商业综合体中, 幕墙与传统墙体相比, 幕墙具有重量轻、安装便捷、装饰效果好和可替换性强等优势, 幕墙作为建筑表皮在实现建筑功能与美学设计之间起着桥梁作用, 同时还需满足结构安全、节能环保、隔音防火等多重性能要求。幕墙类型主要包括玻璃幕墙、金属幕墙、石材幕墙、陶板幕墙、光伏幕墙等, 每种类型在材料、结构、

施工工艺上各有特点, 而现代幕墙设计强调轻量化、高强度、环保节能, 施工技术则趋向工业化、装配式和智能化发展, 随着新材料、新技术的不断应用, 如智能玻璃、可呼吸幕墙、双层节能幕墙等, 幕墙的性能不断提升为建筑提供更优质的外围护系统, 总体而言房建幕墙技术是建筑工程的重要组成部分, 其发展对提升建筑质量、节能环保和智能化管理具有重要意义^[1]。

2 房建幕墙设计与施工技术的特点

2.1 多功能性与高性能化

房建幕墙不仅具有装饰功能, 还承担着防风雨、隔热、隔音、遮阳、防火等多重功能, 现代幕墙采用高性能材料, 如 Low-E 玻璃、中空玻璃、铝合金面板、复合板材等大幅提升幕墙的保温、隔音、耐候性能, 幕墙系统通常具备良好的结构稳定性和抗震性能, 能够抵御风荷载、地震力等外部作用, 此外部分幕墙还集成了智能调光玻璃、光伏发电、智能通风等功能, 提高建筑的能源利用效率。例如: 光伏幕墙能够利用太阳能发电, 实现建筑自身供电, 智能调光幕墙则可根据光照条件自动调节透光率, 增强建筑的舒适性和节能性^[2]。

2.2 安装精度要求高

房建幕墙设计与施工过程中, 安装精度要求高是其显著特点之一, 这是由于幕墙通常安装在建筑物的外立面, 位置高、面积大, 任何微小的误差都可能影响整体的外观效果与结构安全, 因此幕墙设计与施工从测量放线、连接节点布置、构件加工到现场安装, 每一个环节都必须严格控制精度。例如: 玻璃幕墙中

玻璃板块与框架之间的缝隙必须保持均匀，连接件的位置和角度也需精确安装，以确保幕墙整体的稳定性和密封性，安装偏差过大不仅会影响建筑立面美观，还可能导致幕墙漏水、变形甚至结构失稳等严重问题。同时，现代建筑对幕墙系统的性能要求越来越高，抗风压性、气密性、水密性等都与安装精度密切相关，施工单位需配备专业的安装团队，使用先进的测量仪器与施工工具，确保各项安装指标符合设计标准，以保障幕墙系统的安全性、耐久性和功能性^[3]。

2.3 防水防渗性

幕墙的防水防渗性是其设计与施工过程中必须重点关注的技术要点，由于幕墙长期暴露在自然环境中，需承受雨水冲刷、风压变化以及温湿度影响，其防水性能直接关系到建筑的耐久性。为了确保幕墙具备良好的防水防渗能力，通常采用多道防线设计，如密封胶、排水系统、防水垫片等措施。在幕墙接缝处需采用优质耐候硅酮密封胶进行填充，以防止雨水渗透。同时，通过合理的构造设计确保雨水能快速排出，减少积水可能。此外，幕墙板块之间应采用防水垫片或橡胶条，以增强密封效果。在施工过程中，施工人员需要严格控制拼接缝隙的宽度和密封胶的施工质量，避免因胶缝不均或老化导致渗水问题。定期维护也是保证防水效果的重要手段，需定期检查幕墙密封胶的老化情况并及时修补。

2.4 施工工艺标准高

幕墙的安装精度直接影响建筑的整体质量、美观度和使用性能，因此在设计与施工过程中必须严格控制精度，由于幕墙由多个预制板块或构件拼装而成，其连接部位、密封性能及结构稳定性都依赖于高精度的安装技术，在设计阶段需采用精确的计算和测量方法，确保幕墙构件的尺寸、形状和安装位置符合设计要求，施工过程中必须使用高精度测量仪器，如全站仪、激光测距仪等，以此对幕墙龙骨、板块进行定位和调整，以减少累计误差，在安装时需严格按照施工工艺要求进行操作，以确保各部件之间的严密对接，避免出现错位、翘曲或缝隙过大等问题。

3 房建幕墙设计与施工技术分析

3.1 轻量化材料应用

在房建幕墙设计与施工中，轻量化材料的应用已成为关键技术方向之一。工程师在设计初期应根据建筑功能、立面效果及结构承载能力选定适合的轻质材料，如铝合金板、蜂窝铝板、玻璃纤维增强塑料(GFRP)、高强度纤维水泥板等。幕墙构造应合理设置骨架系统，

采用铝型材、钢材或复合材料构件，通过标准化设计方式实现组件轻量化，如在面板加工中需采用数控切割、预制拼装等高精度工艺，确保构件尺寸精确，便于现场快速安装；在节点设计上应预设调节点与限位装置，以便于轻质板材在安装过程中进行微调，确保立面平整度和缝隙一致性。在施工阶段，现场搬运和吊装过程中应采用专用吊具和吸盘设备，避免轻质面板因形变或受力不均而损坏，构件安装顺序应按照先主龙骨、后次龙骨、再面板的流程进行，确保结构稳定；在连接方式上可采用干挂系统，通过专用挂件、插销或铝合金卡槽将轻质面板牢固固定于龙骨系统上，并使用防脱落装置加强安全性；在密封工艺方面，板缝处应采用耐候硅酮密封胶、EPDM橡胶条等材料进行密封处理，提升整体密封性能和抗渗能力，在施工过程中还需进行多次复核测量，确保安装精度符合设计要求，同时做好防护措施，避免轻质材料表面划伤或污染，确保幕墙整体效果^[4]。

3.2 装配式施工技术

在房建幕墙设计与施工中，设计人员需在项目前期根据建筑外立面造型、结构节点和功能需求，将幕墙系统划分为若干标准化的模块单元，每个模块包括面板、龙骨、连接件及必要的密封和保温层需在设计图中明确其几何尺寸、安装顺序、连接方式等参数。为满足工厂预制条件则需采用BIM技术进行三维建模和构件冲突检测，并生成构件加工图纸和安装指引，确保设计数据与加工数据的一致性。同时，工程师应在设计阶段预留各类管线穿墙位置和设备接口，确保后续安装过程中不发生干涉，模块的尺寸应充分考虑运输与吊装的限制，在满足功能的基础上便于施工机械作业，提高现场安装效率。在生产与运输阶段，装配式幕墙构件需在工厂内按照标准化流程进行精密预制，面板材料如玻璃、石材、铝板等应通过机械化设备切割加工，龙骨系统则通过数控机床精准制造并进行预拼装，所有构件应在工厂进行预拼合调试，检查各连接点的配合精度，确保现场安装质量，密封胶条、隔热材料和五金连接件也应在工厂阶段完成安装，以减少现场作业时间和出错率。预制完成后的幕墙单元应标识清晰，按照施工顺序编号分类，采用专用支架或包装进行运输，在运输过程中应采取防震、防碰撞、防雨淋等措施，特别是对易碎材料如玻璃构件，应使用木箱、缓冲垫等加以保护，并在现场设立专用堆放区，避免材料混放、变形或污染，为安装环节提供有序保障。在现场施工阶段，装配式幕墙系统需按照预定顺序和标准化流程进行吊装和安装，施工单位应根据图纸进

行测量放线, 确保基准点、立面位置和垂直高度等参数精准无误, 随后使用塔吊或吊篮等起重设备将幕墙单元逐一吊至指定位置, 通过预埋件与主体结构进行连接, 连接方式可采用螺栓固定、插销式卡接、导轨滑入等机械连接方式, 连接完成后需进行扭矩检查和稳固校准, 确保安装牢固可靠。工程师可以在模块拼接处提前设置定位件, 以保证缝隙统一和模块对齐。缝隙处的密封处理需现场完成, 使用专用注胶设备或密封条嵌缝, 并及时进行防水检测。在整个施工过程中应配备专业技术人员进行全过程质量控制, 包括模块定位、连接节点安装、密封工艺验收等, 确保安装误差控制在设计允许范围内。施工完成后应进行整体验收和清洁处理, 确保外观一致、构造严密, 为幕墙系统的后期维护和使用打下坚实基础^[5-6]。

3.3 BIM 技术辅助设计

在房建幕墙设计与施工中, 设计人员根据建筑总体方案利用 BIM 软件构建幕墙系统的三维数字模型, 包含面板、龙骨、连接节点、嵌缝、密封、保温等所有构造细节, 各构件应赋予完整的参数信息, 如几何尺寸、材料属性、连接方式、受力条件等, 确保模型具备可视化与数据化功能。设计人员在建模过程中通过与结构、机电、装修等专业模型进行整合与碰撞检测及时发现与解决构造冲突、安装空间不足等问题, 从而优化幕墙构造布置。而对于复杂幕墙形体还可基于 BIM 平台进行形态分解、节点细化、模块划分, 以此实现标准化与参数化设计, 并将各部分模型导出为详图和加工图, 指导后续生产与施工环节。在施工准备与深化设计阶段, BIM 技术的使用方法进一步体现在构件拆分、排布优化与施工模拟中, 设计单位依据建筑立面模型将幕墙系统划分为标准化单元模块, 结合幕墙的分格方式、支撑系统及受力体系, 对每一个单元进行编号和属性定义。设计人员可以利用 BIM 软件进行构件排布与图纸提取, 自动生成加工清单、数量统计表及施工图纸, 减少人工错误。设计人员可以通过三维建模对不同幕墙材料(如玻璃、石材、铝板)进行分层显示与材质模拟, 确保施工单位充分理解设计意图, 设计单位可利用 BIM 模型进行安装流程模拟, 分析吊装路径、施工顺序、操作空间等信息, 为现场施工提供可视化操作指引。设计人员还可以将构件模型与二维码绑定, 实现构件信息追溯、定位管理和进场验收, 确保每一个构件在现场正确就位并满足安装需求。

在现场施工与过程管理阶段, BIM 技术的使用方法主要包括施工进度控制、质量检查和数据交付等方面, 施工单位可将 BIM 模型与施工进度计划(4D)关联,

建立动态进度模拟模型, 分阶段展示幕墙安装顺序和作业安排, 帮助现场施工团队合理组织人力和设备资源。施工单位可以在现场施工过程中可通过移动终端或 BIM 浏览器调用模型信息, 实时核对幕墙构件位置、连接方式及安装要求。在质量管理方面施工人员可利用模型开展尺寸复核、安装偏差比对、节点对照检查等操作, 并记录质量问题与整改建议, 上传至 BIM 平台形成问题闭环。同时, 项目管理人员可在平台上建立施工日志、影像记录与材料验收档案, 实现数据可追溯与项目精细化管理, 在项目竣工后设计与施工模型可交付给运维单位, 形成数字化幕墙信息档案, 支持后期维护与更换^[7]。

4 结束语

房建幕墙设计与施工技术的不断发展, 推动了建筑行业向高效、安全、环保的方向迈进。随着轻量化材料的应用、装配式施工技术的普及、BIM 技术的深度融合, 幕墙系统的性能得到了显著提升, 施工精度和效率大幅提高。现代幕墙不仅满足建筑外观的美学需求, 还具备良好的节能、环保和智能化特性, 为绿色建筑和可持续发展提供了有力支撑。未来, 随着智能建造、人工智能、数字孪生等技术的进一步发展, 幕墙设计与施工将更加智能化、集成化, 实现更高水平的建筑品质和管理效率。通过不断优化设计方案、创新施工技术、提高运维管理水平, 房建幕墙将成为现代建筑工程领域的重要支撑, 推动建筑行业迈向更高质量的发展方向。

参考文献:

- [1] 郭艳隆. 高层建筑玻璃幕墙设计与施工技术探究[J]. 门窗, 2024(05):13-15.
- [2] 王向东. 酒店工程项目幕墙设计及施工技术应用研究[J]. 中国建筑装饰装修, 2024(14):176-178.
- [3] 杨经兴, 罗朝辉, 陈红宇, 等. 基于悬挑格栅的幕墙装饰施工技术设计方案设计与研究[J]. 现代装饰, 2024, 593(24):10-12.
- [4] 刘永生. 异型铝板幕墙设计要求与施工技术研究[J]. 门窗, 2023(06):1-3.
- [5] 方文鏢, 耿怀欣, 郑春. 基于 BIM 的建筑外饰面光伏板与玻璃幕墙装配式施工技术[J]. 工程建设与设计, 2024(13):229-231.
- [6] 刘平, 敖显平, 金铮. 大悬挑屋面双曲面铝板幕墙装饰工程施工技术研究[J]. 中国建筑装饰装修, 2023(22):167-169.
- [7] 孟绍锋. 建筑玻璃幕墙设计方法研究[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2024(03):189-192.

电梯检验相关技术要点分析研究

关智勇

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

摘要 电梯作为现代建筑中不可或缺的垂直运输工具,其安全性和可靠性直接关系到人们的生命财产安全。电梯检验技术是确保电梯正常运行和预防事故的关键手段。通过对电梯的机械系统、电气控制系统和安全保护装置进行全面检验,可以及时发现潜在故障和安全隐患,避免因设备老化或操作失误引发的安全事故。随着电梯使用频率的增加和技术的不断更新,电梯检验技术的研究与应用显得尤为重要,它不仅能够保障电梯的安全运行,还能为电梯的维护和管理提供科学依据。本文对电梯检验相关技术要点进行了研究,旨在为相关人员提供借鉴。

关键词 电梯检验技术;机械系统;电气控制系统;安全保护装置

中图分类号: TU857

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.16.038

0 引言

随着智能化技术的快速发展,电梯检验技术正朝着自动化、精准化和高效化的方向迈进。传统的电梯检验主要依赖人工操作和目视检查,存在效率低、误差大的问题。而现代检验技术通过引入传感器、物联网和大数据分析,能够实现对电梯运行状态的实时监测和故障预警^[1]。通过振动传感器和温度传感器,可以实时采集电梯的运行数据,并通过智能分析平台进行故障诊断和趋势预测。电梯检验技术的智能化发展不仅能够提高检验的效率和准确性,还能为电梯的预防性维护提供数据支持,推动电梯行业的可持续发展^[2]。

1 电梯检验的重要性

1.1 保障乘客安全,降低事故风险

电梯检验是保障乘客安全的关键环节,通过对电梯的机械系统、电气控制系统和安全保护装置进行全面检查,可以及时发现并修复潜在故障,避免因设备老化或操作失误引发的安全事故。例如:对电梯的钢丝绳、制动器和限速器进行定期检验,可以预防因部件失效导致的坠落或卡梯事故。此外,电梯检验还能够确保电梯在紧急情况下的正常运行,如火灾或地震时,电梯的安全装置能够及时响应,保护乘客的生命安全。定期的电梯检验不仅能够降低事故发生的概率,还能为乘客提供更加安全、可靠的乘梯体验。

1.2 延长设备寿命,降低维护成本

电梯检验对于延长设备寿命和降低维护成本具有重要意义,通过定期的检验和维护,可以及时发现并解决电梯的机械磨损、电气故障和结构缺陷等问题,

避免因小问题积累导致的大规模故障。例如:对电梯的导轨、轿厢和门系统进行定期润滑和调整,可以减少摩擦和磨损,延长设备的使用寿命^[3]。此外,电梯检验还能够为设备的预防性维护提供科学依据,通过数据分析预测设备的故障趋势,提前采取维护措施,降低突发故障的概率。定期的电梯检验不仅能够减少维修成本,还能提高设备的使用效率,为业主和物业公司创造更大的经济效益。

1.3 遵守法律法规,提升社会信任度

电梯检验是符合国家法律法规和行业标准的重要要求,根据《特种设备安全法》和相关技术规范要求,电梯必须定期进行安全检验,并取得合格证书后方可投入使用。通过电梯检验,可以确保设备符合安全标准,避免因违规操作或设备不合格引发的法律纠纷和经济损失。此外,电梯检验还能够提升社会公众对电梯安全的信任度。例如:在公共场所和高层建筑中,电梯的安全检验合格标志能够为乘客提供心理保障,增强其对电梯安全性的信心。定期的电梯检验不仅能够提升企业的社会责任形象,还能为社会的和谐稳定提供有力支持。

2 电梯检验相关技术存在的问题

2.1 检验技术手段相对滞后

目前,电梯检验技术手段仍以传统的人工检查和目视观察为主,缺乏高效、精准的检测工具和方法。例如:对电梯的机械系统和电气系统的检验,主要依赖检验人员的经验和主观判断,容易因人为因素导致误判或漏检。此外,现有的检验设备和技术难以全面

覆盖电梯的复杂结构和运行状态,如对电梯导轨的微小变形或钢丝绳的局部磨损,传统检验手段往往难以发现。这种技术手段的滞后性不仅影响了检验的效率和准确性,还可能导致潜在安全隐患的积累,增加了电梯事故发生的风险^[4]。

2.2 智能化检验技术应用中存在的不足

尽管智能化技术在电梯检验领域展现出巨大潜力,但其实际应用仍存在诸多不足。例如:传感器、物联网和大数据分析等技术在电梯检验中的应用尚未普及,许多检验机构仍依赖传统的手动记录和纸质报告,缺乏实时监测和数据分析的能力。此外,智能化检验技术的成本较高,许多中小型检验机构难以承担相关设备和系统的投入,导致技术推广受限。智能化检验技术应用的不足,不仅限制了检验效率的提升,还影响了电梯安全管理的科学化和精细化水平。

2.3 检验标准与规范不统一

电梯检验的相关标准和规范在不同地区和行业之间存在较大差异,导致检验结果的可靠性和可比性不足。例如:对于电梯的检验周期、检验项目和合格标准,不同地区可能采用不同的技术规范,甚至同一地区的不同检验机构也可能存在执行标准不一致的情况。这种标准与规范的不统一,不仅增加了检验工作的复杂性,还可能导致检验结果的偏差,影响电梯安全管理的有效性^[5]。此外,随着电梯技术的快速发展,现有的检验标准和规范可能无法完全适应新型电梯的检验需求,进一步加剧了检验工作的难度和不确定性。

3 电梯检验相关技术要点

3.1 传统检验技术

传统电梯检验技术主要依赖人工操作和目视检查,是电梯安全检验的基础手段。检验内容包括对电梯的机械系统、电气控制系统和安全保护装置的全面检查。例如:对电梯的钢丝绳、制动器、限速器和导轨进行磨损和变形检查,以及对电气接线、控制柜和安全回路的测试。传统检验技术的优势在于操作简单、成本较低,适用于大多数常规检验场景。然而,其局限性在于检验效率和准确性较低,容易受到检验人员主观因素的影响,难以发现微小或隐蔽的故障。尽管如此,传统检验技术仍然是电梯检验中不可或缺的一部分,为电梯的安全运行提供了基本保障。

3.2 无损检测技术

无损检测技术在电梯检验中的应用,为发现设备内部缺陷和潜在故障提供了重要手段。常用的无损检

测方法包括超声波检测、磁粉检测和渗透检测等^[6]。例如:通过超声波检测技术,可以对电梯的钢丝绳和导轨进行内部缺陷检测,发现肉眼难以观察到的裂纹或腐蚀。无损检测技术的优势在于无需拆卸设备,能够在不影响电梯正常运行的情况下进行检验,提高了检验的效率和准确性。然而,其局限性在于设备成本较高,对检验人员的技术要求较高,且难以全面覆盖电梯的所有部件。无损检测技术的应用,为电梯的安全检验提供了更加科学和精准的手段。

3.3 智能化检验技术

智能化检验技术通过传感器、物联网和大数据分析,实现对电梯运行状态的实时监测和故障预警。例如:通过安装振动传感器、温度传感器和载荷传感器,可以实时采集电梯的运行数据,并通过智能分析平台进行故障诊断和趋势预测。智能化检验技术的优势在于能够实现全天候、全方位的监测,及时发现潜在故障并发出预警,提高了检验的效率和准确性。此外,智能化检验技术还可以与电梯的控制系统集成,实现自动化的检验流程和报告生成。然而,其局限性在于设备成本较高,技术复杂,且对数据分析和处理能力要求较高。智能化检验技术的应用,为电梯的安全管理提供了更加高效和智能化的解决方案。

3.4 远程监控与诊断技术

远程监控与诊断技术通过互联网和通信技术,实现对电梯运行状态的远程实时监控和故障诊断。例如:通过安装远程监控设备,可以将电梯的运行数据传输到云端平台,由专业技术人员进行远程分析和诊断。远程监控与诊断技术的优势在于能够实现跨地域的实时监控,减少现场检验的频率和成本,提高故障处理的效率。此外,远程监控技术还可以与电梯的维护管理系统集成,实现预防性维护和故障预测。然而,其局限性在于对网络通信的依赖,以及数据安全和隐私保护的问题。远程监控与诊断技术的应用,为电梯的安全检验和维护提供了更加便捷和高效的手段。

3.5 虚拟现实(VR)与增强现实(AR)技术

VR与AR技术在电梯检验中的应用,为检验人员提供了更加直观和高效的检验工具。例如:通过VR技术,可以模拟电梯的运行场景,帮助检验人员熟悉检验流程和操作规范。通过AR技术,可以在实际检验过程中叠加虚拟信息,如设备的结构图、检验步骤和故障提示,提高检验的准确性和效率。VR与AR技术的优势在于能够提供沉浸式的检验体验,减少检验人员的操作失误,

提高检验的效率和安全性。然而,其局限性在于设备成本较高,技术复杂,且对检验人员的培训要求较高。VR与AR技术的应用,为电梯的安全检验提供了更加先进和创新的解决方案。

4 电梯检验相关技术的完善措施

4.1 统一检验标准与规范

电梯检验标准与规范的不统一是影响检验结果可靠性的重要因素。为解决这一问题,应制定全国统一的电梯检验标准,明确检验周期、检验项目和合格标准,确保检验结果的一致性和可比性^[7]。同时,建立电梯检验标准的动态更新机制,及时适应新型电梯技术的发展需求。此外,加强对检验机构的监管和评估,确保其严格执行检验标准,提高检验结果的公信力。通过建立电梯检验标准的宣传和培训平台,提高检验人员对标准的理解和执行能力。统一检验标准与规范的实施,将为电梯安全检验提供更加规范和科学的依据。

4.2 建立电梯检验技术研发中心

为提升电梯检验技术的创新能力,应建立专门的电梯检验技术研发中心,集中资源开展技术攻关。研发中心可以联合高校、科研机构和企业,共同研发新型检验设备和技术,如高精度传感器、智能分析算法和自动化检验系统。同时,研发中心还可以承担电梯检验技术的标准化和规范化研究,制定行业技术规范,推动检验技术的普及和应用。通过建立研发中心,可以为电梯检验技术的持续创新提供平台支持,推动行业技术水平的整体提升。

4.3 加强检验人员培训与认证

检验人员的技术水平直接影响电梯检验的质量和效率,为提升检验人员的专业能力,应建立完善的培训与认证体系。例如:定期开展电梯检验技术培训班,邀请行业专家授课,涵盖传统检验技术、无损检测技术、智能化技术等内容。同时,建立检验人员的资格认证制度,通过考试和实操评估,确保检验人员具备相应的技术能力。此外,鼓励检验人员参与技术交流和行业论坛,了解最新技术动态,提升自身技术水平。通过加强培训与认证,可以为电梯检验行业培养更多高素质的专业人才。

4.4 推动电梯检验数据共享平台建设

数据共享是提升电梯检验效率和质量的重要手段,应推动建立全国统一的电梯检验数据共享平台,整合电梯运行数据、检验记录和故障信息,实现数据的互

联互通。例如:通过平台可以实时监控电梯的运行状态,分析故障趋势,为预防性维护提供数据支持。同时,平台还可以为检验机构和企业提供数据查询和分析服务,提高检验工作的科学性和精准性。通过推动数据共享平台建设,可以为电梯检验行业提供更加高效和便捷的数据支持,推动行业的信息化发展。

4.5 加强国际合作与技术引进

电梯检验技术的国际化合作是提升行业技术水平的重要途径,应加强与国际先进检验机构和企业的合作,引进国外先进的检验技术和设备,如高精度无损检测仪器和智能化检验系统。同时,参与国际电梯检验标准的制定和修订,推动国内标准与国际接轨。此外,鼓励国内检验机构和企业参与国际技术交流和展会,学习国外先进经验,提升自身技术水平。通过加强国际合作与技术引进,可以为电梯检验行业注入新的活力,推动行业技术的快速发展和创新。

5 结束语

电梯检验相关技术的完善是保障电梯安全运行、提升检验效率和推动行业发展的关键。通过建立电梯检验技术研发中心,加强检验人员培训与认证,推动电梯检验数据共享平台建设,以及加强国际合作与技术引进,可以为电梯安全管理提供更加科学、高效和创新的解决方案。随着智能化、无损检测和远程监控等技术的不断进步,电梯检验将迈向更高水平,为公众安全提供坚实的保障。同时,统一检验标准与规范的实施,也将为行业规范化发展奠定基础。

参考文献:

- [1] 王帅. 电梯曳引钢带的检验分析[J]. 中国设备工程, 2023(19):150-152.
- [2] 范世杰. 电梯检验检测工作及检测现场的安全管理分析[J]. 机械管理开发, 2023,38(06):75-76,100.
- [3] 何清锋, 向周霞. 电梯安全性能影响因素和强化电梯检验检测的策略分析[J]. 中国设备工程, 2023(08):186-188.
- [4] 刘毅, 杨旭. 电梯检验检测中的相关问题与对策分析[J]. 大众标准化, 2022(21):180-182.
- [5] 王豪. 浅谈电梯检验信息化技术的应用[J]. 中国电梯, 2022,33(09):36-37.
- [6] 代立. 电梯检验检测技术的应用和未来发展[J]. 中国战略新兴产业, 2022(08):149-151.
- [7] 李健. 电梯检验的相关技术特点研究[J]. 中国设备工程, 2022(02):165-166.

大直径顶管施工中的关键技术研究

覃庆湖¹, 陈泰成²

(1. 广西云之龙工程检测有限公司, 广西 南宁 530000;

2. 云之龙咨询集团有限公司, 广西 南宁 530000)

摘要 大直径顶管施工技术因其有非开挖的优势, 成为地下建设的重要手段。本文结合梧州市龙圩区龙城路与城南大道交叉口至龙圩区政府交叉口(城南大道与苍海大道交叉口)路段项目, 对大直径顶管施工的关键技术展开研究, 包括地层条件适应性、地下水影响、规划以及施工环境对施工可行性的影响等方面, 并且重点探讨了掘进设备选型、管节拼装、推力系统与摩阻控制以及施工监测技术, 旨在通过剖析不同工况下的施工策略, 提出优化方案, 为提升施工效率与安全性提供参考。

关键词 大直径顶管施工; 掘进设备; 管节拼装; 施工监测

中图分类号: TU990.3

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.16.039

0 引言

随着城市化进程加速推进, 地下管线建设的需求持续增多, 传统的开挖施工方式由于对地表环境会产生较大影响、施工周期偏长以及成本较高等一系列问题, 正逐渐被非开挖技术所替代^[1]。顶管施工技术作为一种有高效特性的地下管道铺设途径, 在减少地面扰动以及降低环境影响等方面具有独有的优势^[2]。本文结合梧州市龙圩区龙城路与城南大道交叉口至龙圩区政府交叉口(城南大道与苍海大道交叉口)路段项目, 阐述大直径顶管施工主要的影响因素, 并分析关键的施工技术, 为工程实践提供指导。

1 工程概况

梧州市龙圩区龙城路与城南大道交叉口至龙圩区政府交叉口(城南大道与苍海大道交叉口)路段, 为城南大道周边区域范围的较低路段, 亦为龙圩区交通主干道节点, 下雨时经常发生内涝, 严重影响交通。该工程新建 d2600 溢流渠主要分流排放城南大道现状 2.5×2.5 m 主干渠未及时通过现状苍海大道至下小河 d2000 分流渠排水放的雨水入苍海湖。新建 d2000 分流渠则排放苍海大道已设计 d1500 管收集的雨水和极端条件下 d2600 溢流渠的壅高水位水入苍海湖。本工程新建 d2600 管道顶管施工 797 m, 明挖施工 30 m。本工程单次顶进最长距离为 120 m, 长距离顶管容易出现的问题是管道偏差大、后座顶力不足。顶管一次顶进达 100 m 以上, 顶进阻力大。采取注浆减阻技术减小摩阻力, 加设中继环技术来克服摩阻力。管道超长工序繁杂, 操作困难, 进度难于控制, 安全施工性要求高, 所以须加强大投入、加强管理, 做足各项安全措施。

2 大直径顶管施工的应用背景

随着工程需求不断增加, 大直径顶管施工成为地下空间开发过程中的一项重要手段, 对施工设备、技术参数以及施工管理等方面提出了更高标准要求。城市化进程不断加快使地下空间利用需求明显提高, 供水、排水、电力、通信等各类管线建设面临着严格的要求。在地表空间有限的情况下, 地下管线施工要同时考虑施工效率、环境保护以及安全可控性等多方面因素, 非开挖技术成为了主要的发展趋向。大直径顶管施工因有占地少、噪声低、对交通影响较小等特性, 成为城市地下基础设施建设的选择。随着大规模市政工程的不断推进, 顶管技术逐渐应用于长距离管道铺设, 在穿越河流、道路、铁路以及建筑密集区域时, 大直径顶管施工降低了对地面设施的干扰, 提高了施工的可行性, 针对不同的地层条件, 施工工艺持续进行优化, 适应砂土层、黏土层以及复合地层等复杂环境。

3 大直径顶管施工的影响因素

地下管道工程在进行施工时, 其过程会受到多种外部因素的限制与约束, 在地层条件、地下水分布状况、线路规划以及周边环境等多个方面, 这些因素都将会对施工的进度、结构的稳定性以及成本控制产生直接的作用与影响。

3.1 地层条件对顶管施工的适应性

在掘进过程当中, 地层力学特性对设备选型、施工参数以及支护方式起着决定性作用。软土层容易导致管道出现下沉现象, 采用同步注浆以及加固措施, 砂层地层的透水性相对较高, 有可能引发涌水以及坍塌情况, 需要对开挖面稳定性加以控制; 黏土层虽然

有一定的自稳能力，不过在掘进过程中可能会产生比较大的摩阻，对推进效率造成影响，岩层条件要求刀盘拥有较强的破岩能力，还要关注掘进机的磨损状况，保障施工的安全性；在混合地层进行施工时，地层特性发生变化可能会造成掘进不均匀，需要依据不同的土质采取相应的掘进控制策略。在不同的地层条件之下，施工过程中需要全面考虑土体变形、支护方式以及施工速度，保障工程的安全性以及经济性。表1展示了不同地层条件对顶管施工的影响以及适应性。

3.2 地下水对顶管掘进与稳定性的影响

在施工过程当中，地下水的分布状况以及水压条件会对掘进的稳定性以及施工的安全性产生影响。当水位处于较高水平时，开挖面会受到水压力的作用，可能导致管道出现浮动现象或者掘进失去稳定，需要采取降水或者止水的措施来降低风险。在渗透系数比较大的地层当中，地下水容易沿着掘进通道渗透进来，造成施工困难，在砂层和砾石层的环境下，水土流失有可能引发地表沉降，对周边的建筑以及道路造成影响。在掘进过程中，水压发生变化也可能会对泥水平衡系统的稳定性产生影响，如果控制不当的话，可能会导致超挖或者管道发生偏移。针对不同的地下水条件，可以通过设置止水帷幕、注浆加固以及调整掘进参数等方式来减少水给施工带来的不利影响，合理的排水设计以及施工方案优化可有效提升施工的稳定性，降低施工风险以及对环境的影响^[3]。

3.3 顶管线路规划对施工可行性的影响

合理的路线设计可使施工难度降低，对周边环境的影响减少，并且还可以提高工程的经济性。线路走向要依据地质条件、水文环境以及地面建筑布局展开综合分析，保证掘进过程可稳定且可控。在地层变化较大的区域，线路选择应当避免出现急转弯，减少掘进过程中管道姿态调整所面临的难度。在地下水丰富的地段，线路规划需要对止水措施的布设加以考虑，减少施工期间的渗透风险。在地下管线密集的区域，线路需要避开关键管道或者采用特殊保护措施，防止

相互之间产生干扰。在高密度建筑群区域，线路设计应当尽量降低施工影响，选择较深的埋设方式或者调整掘进路径，保证地面沉降可控制在合理范围之内。线路长度以及坡度设置会对施工的可行性造成影响，过长的线路有可能增加摩阻力，此时需要对推力系统进行优化，而坡度过大则会对掘进姿态的控制产生影响，规划时需要依据设备能力合理进行调整。

3.4 施工环境与周边建筑对顶管施工的限制

高层建筑基础深度较大，在顶管掘进过程中有可能影响地基稳定性，施工之前要开展地质勘察，分析建筑基础的受力状况，并且采取恰当的支护加固措施。在城市道路、铁路以及地铁线路下方施工，需评估管道埋深对交通设施的影响，保证掘进过程不会对地表结构产生不良影响，同时要结合施工监测系统适时调整掘进参数。在历史建筑和文物保护区附近施工，要关注地面沉降控制，合理调节掘进速度和压力分布，防止地层扰动致使建筑损坏。在居民区或商业区施工，噪声控制以及施工时间安排需符合环境要求，采用低噪音设备和隔音降噪措施可降低对周边环境的影响。地表开挖和管道运输过程可能影响现有交通系统，合理的施工组织以及交通疏导方案可减少城市运行的干扰，提升施工的协调性与安全性^[4]。

4 大直径顶管施工中的关键技术

鉴于不同的地质环境、施工深度以及线路规划要求，要采用有针对性的技术手段，以此来降低施工风险，提升工程稳定性。

4.1 大直径顶管掘进设备的选型与适配

掘进设备的选择会对大直径顶管施工的安全性、稳定性以及推进效率产生直接影响，地层条件复杂性，要求设备有针对性的适应能力。不同类型的掘进机在施工过程中呈现出不一样的特点，泥水平衡顶管机适合应用于高水压、富水的地层，它借助泥水循环系统维持开挖面的稳定性，减少对周围地层的扰动。土压平衡顶管机适用于软土地层，依靠舱内土体的支撑作用平衡外部土压力，防止在掘进过程中出现坍塌和渗

表1 不同地层条件对顶管施工的适应性

| 地层类型 | 主要特点 | 施工影响 | 应对措施 |
|------|-----------|----------|----------------|
| 软土层 | 土质松散，沉降大 | 管道易下沉 | 采用同步注浆，提高地层稳定性 |
| 砂层 | 透水性强，流动性大 | 易产生涌水、坍塌 | 控制开挖面压力，采用止水措施 |
| 黏土层 | 粘性高，自稳性强 | 推进阻力大 | 采用合理的润滑措施，降低摩阻 |
| 岩层 | 强度高，破碎性大 | 刀盘磨损快 | 选用适配刀盘，提高耐磨性 |
| 混合地层 | 土质变化大 | 掘进稳定性差 | 调整推进参数，优化土压控制 |

漏问题。岩石顶管机配备高强度刀盘系统以及破岩装置,在硬岩地层可有效提升掘进效率,减少设备磨损,并且降低施工风险。复合式顶管机结合了泥水和土压平衡技术,可适应地层变化较大的复杂地质环境,凭借切换不同模式匹配不同地层特性,提高施工的连续性和稳定性。在进行设备选型时需要考虑施工直径、推进距离、地层软硬程度、地下水丰富程度等因素,同时要匹配适宜的推进系统和土体改良技术,优化施工过程。

4.2 大直径顶管施工中的管节拼装与密封技术

合理的拼装工艺可降低施工时出现的误差,提升管道整体的密封性能以及结构强度,管节对接时要严格把控轴线偏差,运用高精度激光测量技术以及自动纠偏系统保证管道拼装的连续性与稳定性。管节在掘进过程中会承受推力、摩擦力以及地层压力的作用,合理的拼装顺序以及推进力分布可减少接头处的应力集中现象,提升管道整体的承载能力。密封技术是保证管道防水性能的关键部分,常见的密封方式有橡胶圈密封、膨胀密封垫密封以及注浆密封。其中橡胶圈密封依靠弹性变形来填充管节接缝,防止地下水渗透;膨胀密封垫密封依靠吸水膨胀形成密封层,提高密封效果;注浆密封采用高性能防水浆液填充接缝,提高整体防水能力。为了提高拼装精度以及密封效果,管节制造过程中要严格控制加工误差,保证管节尺寸、接口形状以及表面质量符合设计要求。拼装过程中,采用液压顶紧装置以及精确定位系统,可减少拼装错位以及接缝开裂问题,提升管道的整体性能^[5]。

4.3 推力系统与摩阻控制技术

合理的推力分配可以有效地降低掘进时遇到的阻力,提升施工效率,还可以减少管道结构受力不均的问题。液压推力系统是目前大直径顶管施工主要采用的推进方式,借助多级液压千斤顶作用于管节后端,把管道逐步推进到设计的位置。在不同的地层条件下,推力系统的设置需要做出合理的调整,以此来适应不同的摩擦阻力以及地层变形特性。摩阻力是影响顶管施工效率的一个关键因素,润滑系统借助往管节外壁注入膨润土浆液、聚合物溶液等润滑材料,可有效地降低管道与周围土体之间的摩擦,提高推进效率。在软弱地层中,润滑材料可防止土体对管节产生过度的挤压力,避免在掘进过程中出现推进险阻或者管节受损的状况。在砂性土和硬岩地层,润滑浆液的选择以及注入方式需要进行优化,保证润滑效果的稳定性与持续性。在长距离顶管施工中,摩阻力的累积效应可能会致使推进力不足,合理设置中继间可以分阶段释

放推力,提升整体推进的可控程度。在施工过程中,实时监测推力的变化,结合地层反馈来调整推进力分布,可降低因单点受力过大而导致的管节损伤风险,提高施工的稳定性和效率。

4.4 施工监测与姿态控制技术

精确的数据采集以及实时的调整可保证管道掘进精度,降低地层扰动,提升施工安全性,姿态控制技术借助测量掘进方向、坡度、深度等参数,保障管道依照设计轴线前行,防止因偏差导致结构受力出现异常状况。将惯性导航系统与激光导向技术相结合,可提供高精度位置信息,帮助施工人员及时对掘进参数进行调整,提升管道定位精度。地表沉降监测借助在地面设置沉降监测点,可获取地表位移数据,分析施工对周边环境所产生的影响。当沉降超出预警阈值时,可采用调整掘进速度、优化土体加固措施等措施进行补救,减少对地表建筑物以及地下管线的影响,管道内部应力监测可分析管节的受力状态,避免因局部过载造成结构损坏。在掘进过程中,实时监测推力、刀盘扭矩、掘进速度等关键参数,结合大数据分析对施工策略优化,提高施工效率^[6]。

5 结束语

大直径顶管施工属于城市地下管线建设的重要技术,其施工效果会受到地层状况、地下水情况、线路规划以及施工环境等诸多因素的作用。面对不同的地质条件,合理选择掘进设备、优化管节拼装技术、把控推力系统以及摩阻,可切实提升施工的稳定性和效率。另外,通过施工监测以及姿态控制技术,可保障掘进精度,减少地层受到的扰动,降低施工过程中存在的风险。

参考文献:

- [1] 王乐天,宁小亮,黄鹏辉.大直径深埋顶管施工对地表沉降的影响[J].地质科技通报,2022,41(06):323-330.
- [2] 鹿森刚.大直径超长距离顶管在软土中顶进关键技术研究[J].山西建筑,2024,50(06):105-110,114.
- [3] 朱庆波.长距离大直径平行双管曲线顶管的技术研究与工程应用[J].科学技术创新,2023(02):144-148.
- [4] 丁东强.大直径长距离曲线顶管施工测量关键技术及应用[J].山西建筑,2025,51(02):107-111.
- [5] 黄伟山.大直径顶管机接收关键技术[J].云南水力发电,2024,40(05):107-109.
- [6] 李永波,马青青,王丽敏,等.顶管施工对既有地铁结构变形和内力的影响分析[J].天津建设科技,2024,34(05):26-31.

照明节能技术在建筑电气设计中的创新应用

郭晓伟

(青岛华堂建筑设计有限公司, 山东 青岛 266000)

摘要 为解决建筑照明系统中能源利用效率低、运行成本高等问题,本文对照明节能技术在建筑电气设计中的创新应用进行了研究,提出了以高效光源、智能控制、日光利用与仿真技术为核心的系统化节能策略。在电气设计各阶段引入负荷优化、模块化布局及多系统集成,强化照明系统的动态响应与运行效率,构建全过程节能控制体系。同时,通过典型建筑项目的实证分析,验证相关技术路径在实际工程中的节能效果与应用价值。研究内容涵盖设计前期策略制定、系统构建技术、智能运维体系及多场景应用,实现了照明系统从设计端到运行端的整体节能优化,以期为建筑电气设计人员及相关工程实践提供理论支撑与技术参考。

关键词 照明节能技术; 建筑电气设计; 智能控制系统; 日光利用技术; 照明仿真技术

中图分类号: TU85; TU113.66

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.16.040

0 引言

随着城市化进程加快与建筑规模扩大,建筑能耗持续增长,其中照明系统占据显著比重。传统照明设计普遍存在光源效率低、控制手段单一与运行管理粗放等问题,导致能耗浪费与使用体验下降。在绿色建筑与智慧城市理念推动下,照明节能技术不断向智能化、集成化方向发展,成为建筑电气设计的重要组成部分。深入探讨照明节能技术与建筑电气设计的融合路径,对于推动建筑能效提升与电气系统高质量发展具有重要意义。

1 建筑电气照明系统概述

建筑电气照明系统作为建筑电气工程的重要组成部分,直接关系到建筑空间的功能实现、视觉舒适度及能耗水平。其构成主要包括照明电源配电系统、灯具配置方案、控制系统及相关布线结构。照明系统需依据建筑用途、功能分区、照度标准与使用频率进行差异化设计,并结合光源类型、安装位置、配光曲线等参数实现高效配光与能效控制。在技术实施过程中,需综合考虑照度均匀度、眩光限制、显色指数及功率密度等关键指标,确保满足《建筑照明设计标准》等规范要求。现代照明系统普遍采用LED作为主流光源,通过与智能化控制终端结合,实现分区控制、调光调色及动态响应机制,有效提升能效比与光环境质量。同时,照明回路的电气负荷需与建筑配电系统整体协调,保障系统运行的可靠性与安全性^[1]。

2 照明节能技术的分类与原理

2.1 高效光源与灯具技术

高效光源与灯具技术是建筑照明系统节能优化的基础,其关键在于提高光源的发光效率和灯具的配光性能。当前主流的LED光源具备较高的发光效率和较低的功率密度,典型发光效率已达到130~160 lm/W,相较于传统荧光灯(60~90 lm/W)和白炽灯(10~15 lm/W)具有显著节能优势。LED光源具有启动速度快、色温可调、寿命长等特点,平均使用寿命可达30 000~50 000小时,远高于高压钠灯或金属卤化物灯,有效降低更换频次与维护成本。在灯具设计方面,通过优化反射器结构、采用高透光率扩散罩及改进散热模组,可显著提高系统总光效和热稳定性。配光曲线的合理选择有助于改善照度均匀度与垂直照度,实现空间光环境的均衡分布。此外,采用高显色指数($R_a > 80$)的LED模组可有效保障视觉舒适性,特别适用于对色彩还原度要求较高的场所。通过高效光源与先进灯具的协同配置,照明系统不仅显著降低单位面积能耗($\leq 9 \text{ W/m}^2$),同时为后续智能控制系统的负载响应提供技术支撑。

2.2 智能控制系统

智能控制系统通过实时调节照明运行状态以匹配使用需求,是实现建筑照明节能的核心机制之一。系统基于传感器反馈与算法决策,实现自动调光、区域控制及用户行为响应。常见控制技术包括基于DALI (Digital Addressable Lighting Interface) 协议的

地址控制、KNX 总线的多系统集成控制及基于 ZigBee 的无线照明网络。以光照传感器为例,当室内照度高于设定阈值时,控制器可自动调暗灯具输出,实现与自然光的动态补偿;而红外与微波感应器则用于实现人来即亮、人走即灭的状态切换,显著降低无效运行时长。通过定时控制、场景预设与负载分组管理,系统可在满足使用需求的前提下降低约 30%~50% 的照明能耗。在大型建筑中,智能照明系统常与 BAS (Building Automation System) 集成,通过数据总线实时传输运行状态,支持能耗监控与远程诊断。此外,控制策略可依据建筑使用特性进行定制化编程,实现照明曲线的动态适应与能效最大化^[2]。

2.3 日光利用与照明仿真技术

日光利用技术通过建筑设计与工程手段引导自然光进入室内空间,以实现照明负荷的有效削减。关键手段包括合理设置开窗面积与位置、采用高透光率建筑材料、布设光导管系统及增加反射面设计。例如:通过在建筑南向设置大面积低辐射玻璃幕墙,可在保证热工性能前提下提升日光采集效率,平均日光照度可达 300~500 lx。光导管系统通过采光罩采集室外自然光,经内壁高反射率管道 ($\rho \geq 0.98$) 传输至建筑内部,有效提高深层空间照明均匀度。为实现自然光与人工照明的协同控制,常采用光感与时控联合策略,在照度不足时由智能系统自动补光,从而实现系统动态调节与节能运行。

照明仿真技术作为日光利用的设计与评估工具,可以通过建筑信息模型 (BIM) 与专业软件 (如 DIALux、Relux、Radiance) 对光环境进行数字建模与分析。仿真可输出垂直照度分布、眩光指数 (UGR) 与日照时长等关键指标,为光环境设计提供定量依据。通过日光利用与仿真技术的集成应用,可使建筑整体照明能耗降低 15%~30%,并优化视觉舒适性与空间体验,成为绿色建筑照明设计的重要支撑手段。

3 照明节能技术在建筑电气设计中的融合路径

3.1 电气设计阶段的节能策略

在建筑电气设计阶段,照明节能策略应贯穿于方案设计、初步设计与施工图深化的全过程,依据建筑功能与使用特性进行分区负荷建模与节能控制逻辑构建。首先在方案设计阶段,应利用光环境分析技术对自然采光潜力进行评估,依据空间朝向、层高与使用频率制定照明需求曲线,确保最大限度的匹配光源布局与照度标准。初步设计阶段需对照明负荷进行精细化预测,结合建筑照明功率密度控制要求 (如办公建筑不高于 9 W/m^2 ,商业建筑不高于 11 W/m^2),选取适配的灯具

类型与配电方式,实现负载均衡配置与供电系统高效协同。在施工图设计阶段,通过构建模块化照明回路与智能终端控制结构,明确回路划分、控制分区及线缆路径,提高施工可操作性与系统可维护性。同时引入逻辑编程与数据总线设计方案,确保照明控制系统可兼容多协议并具备拓展性,为后期节能运行提供稳定的技术平台。通过全过程嵌入式节能策略实施,建筑照明系统可在设计阶段实现能耗水平的前置控制,配合智能管理系统,整体照明能耗削减率可达 30% 以上^[3]。

3.2 模块化与集成化设计

模块化照明设计通过标准化单元的组合作方式提高系统构建效率与运维灵活性,其核心在于将照明系统划分为多个功能单元,包括光源模块、控制模块、驱动模块及通信模块,各模块之间通过预设接口实现快速连接与互操作。在建筑电气设计中,模块化设计有助于实现回路分区精细化管理与故障快速定位,尤其适用于大型办公楼、商业综合体与多功能公共建筑。模块结构中普遍采用 DC-DC 恒流驱动技术,支持宽输入电压 (典型值为 100~240 V) 与恒定电流输出,提升灯具兼容性与稳定性。在空间布局上,通过 DIN 导轨或嵌入式模块安装方式实现布设标准化,避免传统系统中控制线路复杂、维护难度大的问题。系统设计还需满足 IEC 62386、EN 60669 等国际标准要求,以确保不同模块间协议统一与信号传输稳定。

集成化设计侧重于将照明系统与建筑内其他弱电系统 (如空调、新风、遮阳、安全等) 进行功能融合,实现多系统协同运行与能源共享管理。在控制架构上,常采用基于 IP 或 RS485 总线的多层级组网结构,实现楼宇自动化系统 (BAS)、照明管理系统 (LMS) 与能源管理平台 (EMS) 的互联集成。通过统一的控制平台,照明系统可根据环境参数与用户设定指令实现跨系统响应,如根据温度变化自动调节照度水平或联动遮阳系统优化自然光利用效率。控制逻辑通过集中控制器与本地智能节点协同执行,系统响应时间低于 200 ms,保障控制的实时性与精确性。数据层面通过 MODBUS、BACnet 等协议实现能耗数据的集中采集与分析,为节能策略的动态调整提供数据支撑,显著提升建筑电气系统的运行效率与智能化水平。

3.3 智能化运维体系建设

智能化运维体系建设是提升照明系统能效与运行可靠性的重要保障,其核心在于通过传感器网络、控制终端与数据平台构建覆盖全过程的监测与管理机制。系统依托实时数据采集与边缘计算能力,实现对照度水平、开关状态、功率因数、能耗数据等多维度参数

的动态感知与分析。在基础架构中,采用多节点分布式布置的智能网关可支持 ≥ 100 路照明回路同时接入,并具备边缘计算功能,实现本地化策略执行与数据冗余保护。平台层通过能耗可视化系统对照明运行状态进行图形化呈现,结合历史数据回溯与算法模型,实现负荷预测、异常预警与故障定位,系统响应时间控制在1 s以内。智能化运维体系还集成生命周期管理功能,可根据光源使用时长与亮度衰减曲线生成维护计划,优化人力资源配置与备品备件管理。此外,基于人工智能的自学习控制模块可通过分析人员活动模式与环境变量自动调整照明策略,进一步提升能效水平与空间适应性。经实测,成熟的智能化照明运维平台可将整体运维成本降低20%以上,并将系统节能潜力提升至35%左右,充分体现其在建筑电气系统中的关键价值^[4]。

4 典型应用案例分析

4.1 商业综合体照明节能设计实践

上海某大型商业综合体在照明系统设计中引入多项节能技术,实现了建筑电气系统的高效运行与绿色运营。该项目总建筑面积约18万 m^2 ,照明设计依据区域功能分区采用不同照明方案:公共走廊区域选用高光效LED线性灯,光效达145 lm/W;商铺区域采用轨道射灯与智能调光系统相结合的方式,根据营业时段和客流密度进行动态调节。在控制系统配置方面,采用基于KNX协议的分布式智能照明控制系统,具备分区控制、时段管理与感应联动功能。系统内嵌环境传感器用于实时监测照度和人员活动,并联动BAS系统实现多系统融合响应。建筑照明功率密度控制在 $7.2 \text{ W}/\text{m}^2$,低于国家标准限值 $13 \text{ W}/\text{m}^2$,年综合节电量达约42万千瓦时,年碳排放减少约350吨。项目采用能耗监测平台对照明负荷进行实时分析,并设有能效诊断模块用于长期运行优化。

4.2 公共建筑智能照明系统改造工程

北京某市级政务服务中心于2021年实施照明系统智能化改造工程,目标为在不改变原有建筑结构的前提下降低照明能耗并提升管理效率。建筑总面积约5.6万 m^2 ,原系统以荧光灯为主,平均照明功率密度为 $11.5 \text{ W}/\text{m}^2$,照明年能耗超过65万千瓦时。改造过程中全面替换为高显色指数($R_a \geq 90$)、低蓝光危害的LED灯具,并引入基于DALI总线协议的智能控制系统。各照明区域依据功能属性设定独立控制策略:服务窗口区采用光照传感联动控制,会议区域采用场景控制与定时策略,辅助区域采用红外感应与日光调节结合机制。系统通过本地控制器与中心平台双向通讯,实现状态同步、

策略下发与数据采集功能,系统平均响应时间小于150 ms。改造后平均照明功率密度下降至 $6.3 \text{ W}/\text{m}^2$,节电率达到45.2%,年度电费节约了约35万元。智能控制系统平台还设有远程诊断与预警功能,支持异常运行自动告警与能耗异常趋势识别,为建筑长期节能管理提供技术支撑。

4.3 高校建筑照明设计中的节能创新

南京某高校新建理工科综合教学楼项目在照明设计中全面引入节能与智能化协同理念,建筑面积约3.2万 m^2 ,功能涵盖实验室、教室、报告厅及学生自习区等多类型空间。设计阶段通过DIALux软件模拟日照与照明覆盖,优化灯具布置方案,实现教学空间照度均匀度 ≥ 0.7 且无眩光干扰。项目采用定制化高光效LED面板灯(光效 $\geq 150 \text{ lm}/\text{W}$),结合无线ZigBee控制系统实现分区调光与场景记忆控制,照明控制模式依据课表动态编程设定。实验室区域引入人因照明调控逻辑,根据时段及任务需求调整色温(范围为3 000~6 500 K),增强作业效率与视觉舒适性。系统集成至校园能耗管理平台,与空调、新风系统协同控制,实现跨系统负荷调节与节能联动。实际运行数据显示,该建筑照明系统年综合能耗约下降32%,自适应控制策略使得高频使用区照明利用效率提高约28%^[5]。

5 结束语

照明节能技术在建筑电气设计中的应用不仅优化了能源使用结构,也提升了空间环境的功能品质与运行效率。从高效光源的选型到智能控制系统的集成,再到自然光的引入与精细化运维,各环节均体现出技术手段与设计策略的协同创新。通过合理融合节能理念与电气设计流程,建筑照明系统在保障使用需求的同时实现了显著的能耗降低与管理智能化。未来,随着人工智能与建筑信息技术的不断发展,照明节能将在智能建造与绿色建筑体系中发挥更加关键的作用。

参考文献:

- [1] 吴祖军.照明节能技术在建筑电气设计中的应用[J].住宅与房地产,2025(04):123-125.
- [2] 郑小林.基于智能化技术的建筑电气照明节能系统[J].中国照明电器,2025(01):165-168.
- [3] 唐玉莲.照明节能技术在建筑电气工程中的应用探究[J].建材发展导向,2024,22(17):130-132.
- [4] 贾文海.照明节能技术在建筑电气工程中的应用研究[J].中国照明电器,2024(06):22-24.
- [5] 王庆美.照明节能技术在建筑电气工程中的应用探析[J].中国高新科技,2023(17):119-121.

轨道交通车站供配电系统运维优化探析

刘英豪

(济南轨道交通集团有限公司, 山东 济南 250000)

摘要 轨道交通车站供配电系统是保障运营安全与稳定的核心基础设施。随着线路密度增加与运行强度加大, 传统供配电系统在智能化水平、故障响应能力和管理效率等方面逐渐暴露出短板。在新技术驱动下, 优化运维策略、提升系统可靠性成为当前发展的关键。本文指出通过融合智能化运维手段、引入大数据与物联网技术, 并强化人员专业能力建设, 可有效提升系统运行效能与安全水平, 为轨道交通高质量发展提供有力支撑。

关键词 轨道交通; 供配电系统; 运维优化; 技术创新; 安全保障

中图分类号: U239.5; U223

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.16.041

0 引言

随着城市轨道交通系统向规模化、复杂化、高密度方向发展, 车站供配电系统的重要性愈发突出。供配电系统不仅关系到整个交通网络的能源供应与基础保障, 更直接影响列车运行、乘客服务以及车站日常运营的安全性及稳定性。在高负荷、全天候运行环境下, 供配电系统面临着设备老化、环境干扰、管理模式滞后等多重挑战。特别是在当前能源结构调整与信息技术快速发展的背景下, 如何实现供配电系统的高效运维与风险防控, 已成为轨道交通领域亟待解决的关键问题。借助技术手段推动系统设计升级与运维管理模式革新, 是实现供电系统稳定运行、提高服务品质和保障运营安全的现实路径。

1 轨道交通车站供配电系统的基本构成与运行原理

1.1 轨道交通车站供配电系统概述

轨道交通车站的供配电系统是保障列车运行、设备运作和乘客服务正常进行的核心能源支持体系。其主要功能包括电力的引入、变压、分配和终端供电, 构成轨道交通运行体系的关键支柱。系统通常从城市公共电网接入双路高压电源, 通过主变电站完成降压和稳压, 再输送至各车站配电室, 最终为各类用电设备供能。考虑到轨道交通运行的高密度、高强度与高安全性要求, 该系统需具备良好的稳定性、抗干扰能力和应急供电功能, 能够在复杂环境下维持持续供电并快速响应突发故障。

1.2 系统设计的关键要素

轨道交通车站供配电系统的设计必须兼顾安全性、可靠性、经济性和可维护性, 在多项关键因素之间取得科学平衡。首先, 电源接入的可靠性至关重要, 需

配置双电源自动切换装置, 以保障任一电源故障时系统仍能持续运行。其次, 对不同等级负荷的分类供电也是核心设计原则, 确保一级关键负荷在紧急状态下仍然稳定供电。同时, 车站内部空间资源有限, 变电所的科学布局对于提升系统效率和降低能耗具有现实意义^[1]。此外, 保护与监控系统的完善也是设计重点, 通过故障检测、自动报警和远程控制功能提升系统的智能化水平。在当前绿色低碳发展背景下, 供配电系统设计还需融入节能理念, 引入高效设备与智能节能控制技术, 实现可持续运维。

1.3 供配电系统的运行原理与工作流程

轨道交通车站供配电系统的运行遵循集中供电、分层控制和就地保护的基本原则, 确保电力输送稳定、安全与高效。运行过程中, 首先由城市电网引入双回高压电源接入车站主变电站, 通过变压器将高压电转换为适用的中低压电力。随后, 经由高低压开关设备分送至信号、车控、照明、通风空调等多个用电系统, 实现多点精准供电。运行中, 依托 SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition, 数据采集与监视控制) 等自动化系统开展电力参数实时采集与远程监控, 可实现对运行状态的全程掌控与预警响应^[2]。在遇到故障、电压波动或外部突发事件时, 系统能够快速切换备用电源, 重新配置负载, 最大限度保障车站运营连续性与设备安全。

2 轨道交通车站供配电系统的运维管理现状

2.1 运维管理的基本理念与目标

轨道交通作为城市公共交通的核心载体, 其运行效率与服务高度依赖于供配电系统的稳定支持。车站作为线路中的重要节点, 承载着多种关键电力负

荷,包括列车牵引、通信信号、车站照明、通风空调、安防监控等,任何电力中断或运行异常都可能引发系统性的服务中断。因此,构建科学、高效、可持续的运维管理机制,成为支撑轨道交通安全运营的必要条件。

在理念构建方面,当前供配电系统运维管理广泛引入“全生命周期管理”思路。该理念强调对设备从设计、采购、安装、调试、运行到报废全过程的闭环管理,注重设备技术状态与运行环境的动态适配。在这一基础上,现代运维不仅聚焦于故障排查和修复,更侧重于通过状态评估、趋势预判和数据分析提前干预,减少运行中的不确定性,提升整体可靠性和资源配置效率。

2.2 现行运维模式与管理措施

1. 目前,轨道交通供配电系统普遍采用“集中管理、属地执行”的组织架构。运维管理中心对全网供电系统实行统一调度与技术指导,各车站或片区设置专门的维护班组,承担设备检查、数据记录、日常操作及应急处理任务。这种组织形式有助于保障调度统一性与现场执行力之间的平衡,同时便于管理制度的落实与技术规范的传达。

2. 日常运维工作以人工巡检与周期性维护为主要手段。巡检任务覆盖高低压配电设备、变压器、电缆线路、应急电源及保护装置等多个环节,通过定点巡查与关键参数记录掌握设备运行状态。在此基础上,还需开展周期性电气检测,如局部放电测试、热成像扫描、电气绝缘试验等,用以发现设备老化趋势或潜在安全隐患。

3. 在管理措施方面,设备履历台账制度、故障统计分析机制和维保计划执行评估体系构成了支撑日常运维的重要基础。通过台账记录设备使用年限、维护频率、故障类型与更换记录,能够为系统更新和风险控制提供决策依据^[3]。

2.3 运维优化的重要性

随着轨道交通网络规模不断扩大,供配电系统的运行环境呈现出高密度、高负荷、高复杂度的特征。设备布局日益多元、技术类型不断更替、运行节奏持续加快,对运维工作的专业化程度与管理水平提出了更高的要求。在这种背景下,传统以“被动维修”为主的运维模式难以充分满足对供电连续性、安全性与可控性的全方位需求。为适应这种变化趋势,运维管理亟须向主动预防、智能感知与协同决策方向转型。通过建立运行状态动态评估机制,实现从“事后维修”向“状态维护”“预测维护”转变,能够在潜在问题形成前予以识别和干预,从源头降低系统运行风险。

信息化平台的广泛应用也为运维优化提供了坚实支撑,通过集成设备运行数据、检修记录、故障报警与专家知识库,构建了跨层级、跨系统的数据协同机制,提高了综合研判能力和响应效率。

3 轨道交通车站供配电系统运维优化策略

3.1 智能化运维技术在轨道交通供配电系统中的应用

推动智能化运维是提升供配电系统运行效率与安全水平的核心路径。当前,轨道交通车站供配电系统逐步向“状态感知、数据决策、智能控制”模式演进,其核心在于借助传感器、自动化控制系统和智能诊断工具,实现对设备运行状态的精准监测和故障趋势的提前识别。智能运维不仅能够显著降低人工干预频率,还能在大规模设备管理中保持高度的可控性和实时性。在具体实践中,智能化运维系统通常以SCADA为基础,结合电力自动化终端(如智能开关柜、保护装置)与辅助诊断平台,构建一体化的在线监控体系。系统通过对电压、电流、温升、局放等关键参数的实时采集与分析,实现对供配电设备运行状态的数字化呈现与动态评价。

3.2 大数据与物联网技术的运用

1. 大数据和物联网技术的融合应用,进一步推动了供配电系统运维的“可视化、预测化、集成化”发展。通过构建以数据为核心的运维平台,将来自变电设备、开关柜、配电线路、环境监测系统的数据进行统一采集与建模,能够在庞大的信息体系中识别出运行中的异常特征与风险点。

2. 数据挖掘技术在故障趋势识别中的应用尤为关键。通过对历年故障记录、电力波动情况、设备状态参数等信息的关联分析,能够建立基于风险等级的预警模型,为设备维保计划提供数据支撑^[4]。例如:通过对配电系统中断电频率、电压波动幅度与温升变化的交叉分析,可动态评估设备健康指数(EHI),并设定预警阈值,实现分级干预。

3. 物联网技术在设备互联互通方面也展现出独特优势。通过部署无线传输终端与边缘计算模块,实现设备层级的信息采集与本地处理,再将关键数据汇总上传至中央平台,不仅提高了数据传输效率,还增强了系统的容灾能力与弹性。在某些城市地铁系统中,已实现对站区供电、信号设备、电梯扶梯等系统的统一接入和综合监管,使跨系统故障响应更加高效、精准。

3.3 运维管理模式的优化

1. 运维管理模式的优化不仅体现在技术层面,更关键在于组织结构与制度体系的重塑。传统“以设备

为中心”的管理方式，正逐步向“以数据驱动、风险导向”为核心的新型管理架构转型。通过构建精细化分级管理机制，根据设备类别、重要性、使用年限与运行环境等因素制定差异化运维策略，实现资源最优配置与管理目标精准落地。

2. 实施“集中运维与属地响应”相结合的组织结构，有助于提升协同效率。集中管理平台负责数据分析、策略制定与运维调度，而属地站点则承担具体操作与现场应急响应。在信息技术的支撑下，这种模式能够打破传统层级割裂的局限，实现技术与现场、管理与执行的高效联动。

3. 在制度层面，推动绩效考核机制与运维质量挂钩成为提升系统管理水平的重要手段。通过构建基于故障率、响应时间、能耗水平与巡检合规率等指标的考核体系，增强运维团队的目标导向与主动性管理意识。例如：个别先进线路已设立“设备运行责任人”制度，将重点设备的运行质量与维护效果与责任工程师挂钩，形成“责任到人、结果可查”的闭环体系。

3.4 故障预警与预防性维护措施

1. 故障预警与预防性维护是实现“从被动响应到主动防控”转变的关键环节。在高强度运行环境下，设备不可避免地会产生老化、磨损、接触不良等问题，而传统依赖故障发生后的修复模式难以适应高效运营的现实需求。

2. 构建分级预警系统是提升预测能力的重要策略。基于对设备运行关键参数的长期监测与分析，可为不同类型的故障设定多个风险等级，如轻度异常、可控偏差、临界故障等。不同等级对应不同响应措施，从在线观察到计划性检修，形成分层处置机制，避免资源浪费与维修盲区。

3. 预防性维护则强调在设备出现故障迹象前即开展干预措施。这一策略的有效性取决于对运行数据的准确分析与趋势判断能力^[5]。例如：在供电系统中，当某段高压电缆出现轻微的绝缘电阻波动并伴随电缆头局部放电信号时，系统可自动判定为“早期劣化状态”，并生成维保建议，指导技术人员对相关部位进行专项检查。这类前置维护在延长设备使用寿命、减少计划外停运方面发挥了显著作用。

3.5 提升运维人员专业技能

1. 设备系统的复杂性和技术体系的多样化，对运维人员提出了更高层次的能力要求。当前，运维队伍不仅需掌握传统电气知识，还需具备数据分析、智能系统操作、应急响应组织等综合能力。

2. 培训体系的系统化建设是保障人员能力持续提升的基础。通过建立分层级、模块化、多场景的培训机制，使人员能够在理论掌握与实操训练中同步提升。例如：一些城市轨道交通企业已建设仿真培训平台，通过虚拟仿真技术再现供配电系统运行状态与故障过程，运维人员可在模拟环境中完成故障识别、应急处置与维修操作，显著提高实战能力。

3. 技术认证机制也逐步成为标准化管理的重要组成部分。为确保技术操作的规范与安全，部分城市轨道交通公司已实施关键岗位准入制度，要求运维人员持有专业资质或通过内部认证考核后方可上岗。这不仅增强了制度执行力，也保障了供配电系统在高风险场景下的运行安全。

4 结束语

轨道交通车站供配电系统作为现代城市基础设施中的关键能源保障环节，其稳定性与先进性不仅关系到运营安全与服务效率，更深层地反映出城市交通治理能力与技术发展水平。在运行复杂性日益增强、服务标准不断提升的背景下，唯有不断推动供配电系统在技术、管理与人员能力等多维度的协同演进，方可支撑轨道交通向更高质量、更高韧性的方向持续发展。智能化、数据化、专业化的运维路径不仅是一种技术趋势，更是一种体系优化的战略选择。未来，面对城市交通系统运行场景的多样化与运行风险的动态化，必须坚持前瞻性布局、机制性重构与人本化管理并重，才能真正构建起高效、安全、可持续的供配电运维新格局，为城市公共交通的深层次转型提供持久动能与制度支撑。

参考文献：

- [1] 刘翰超. 轨道交通电气系统中的照明节能设计[J]. 电子技术, 2023, 52(07): 262-263.
- [2] 朱荫莉, 路飞. 城市轨道交通中低压配电系统设计[J]. 黑龙江交通科技, 2023, 46(02): 170-172.
- [3] 季颀淞, 张永明, 颜哲, 等. 基于“光储直柔”的城市轨交基地供配电节能改造研究[J]. 建设科技, 2023(19): 45-49.
- [4] 高杰, 林珊, 梁庆宁, 等. 双碳策略下城市轨道交通变压器的低碳技术创新及应用研究[J]. 电气技术与经济, 2024(12): 139-141.
- [5] 何文杰. 城市轨道交通智能疏散系统的应用[J]. 安装, 2024(11): 44-46.

高层住宅建筑结构设计安全性分析与提升路径

王修森

(启迪设计集团股份有限公司西安分公司, 陕西 西安 710000)

摘要 高层住宅建筑在投入使用过程中易受自身重量、风压等因素影响, 导致结构稳定性下降。为增强高层住宅建筑结构设计安全性, 本文从经济适用、安全合理和质量角度分析了高层住宅建筑结构设计安全性, 探讨了影响结构设计安全性的地质条件、结构选型、荷载组合和材料性能等因素, 并针对这些因素提出了地质条件、结构选型、荷载组合、材料性能、安全设计等方法, 旨在为确保建筑在长期使用过程中的稳定和安全提供有益借鉴。

关键词 高层住宅建筑结构设计; 安全性分析; 地质条件; 结构选型; 荷载组合

中图分类号: TU973.3

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.16.042

0 引言

高层住宅建筑投入使用过程中受到自身重量、风压的作用造成结构稳定性下降, 甚至引发安全事故。基于此, 高层住宅建筑设计过程中应重视结构设计安全性分析, 合理规划空间布局方案, 提高建筑结构设计水平, 从而提升高层建筑的运行水平。因此, 针对高层住宅建筑结构设计分析, 通过掌握从承重墙、梁、柱、节料要素, 以满足高层住宅建筑功能性需求, 进一步强化高层住宅建筑结构设计的安全性。

1 高层住宅建筑结构设计原则

1.1 经济适用原则

高层住宅建筑结构设计中秉承经济适用原则, 就是在满足安全、舒适、美观、质量的基础下, 通过合理的结构设计降低施工成本, 具备较高的经济性。应该原则引导下, 高层住宅建筑设计时应从结构选型、材料选用、构造细节方面深入研究分析保证整个建筑达到安全性、稳定性效果, 避免存在材料消耗量过大、施工难度升高的情况, 从而有效降低高层住宅建筑全生命周期的成本。经济适用原则应用的过程中从结构体系选择方面出发, 如选择经济高效的框架-剪力墙或主体结构, 采取精细化设计方式减轻结构自重、提高能效比, 达到节能减排、绿色发展的目的。

1.2 安全合理原则

高层住宅建筑设计时遵循安全合理的原则, 保证结构设计满足建筑正常使用、施工以及抵抗自然灾害的作用, 确保在恶劣条件下具备较高的安全性。安全合理原则保证在高层住宅建筑结构设计时充分考虑到各种荷载作用以及受力条件, 使结构部件具备较高的

承载力、刚度以及稳定性。同时, 高层住宅建筑结构设计遵循安全合理性原则, 还要指导结构方案优化设计, 选择合适的结构布置和传递路径提高整个建筑结构的抗震性和抗风性。此外, 安全合理原则指导设计人员在结构设计中突出细节方面的设计, 如节点连接、钢筋锚固的关键位置加强设计, 避免局部破坏导致整体结构失稳^[1]。

1.3 质量保证原则

高层住宅建筑结构设计中遵循质量保证原则, 从初步设计到施工图设计, 再到施工过程中质量检查和验收, 各环节满足质量验收标准使其各项性能符合高层住宅建筑运行需求。质量保证原则要求设计人员优化改进设计方案, 确保其施工顺利进行, 工程质量合格且具备可操作性、可维护性, 防止设计难度过高而难以实现从而影响高层住宅建筑质量。同时, 质量保证原则根据设计要求进行方案简化, 并在施工过程中严格执行施工图纸和规范, 确保结构部件尺寸、形状、位置达到设计标准。此外, 质量保证原则还要加强施工材料和质量控制, 落实各项质量检查验收工作, 进而提高高层住宅建筑的安全性、稳定性。

2 高层住宅建筑结构设计安全影响因素分析

2.1 地质条件影响

高层住宅建筑结构设计阶段考虑到现场地形条件变化, 由技术人员进入现场展开全面勘测, 从土质类型、密度、含水量、压缩性方面分析确定适宜的设计方案。如果高层住宅建筑施工现场为软土地基, 其承载力不足、压缩性高, 容易发生沉降现象, 需结合软土地基性质采取合理的软土地基处理措施以保证地基结构强

度和稳定性达到技术标准。由技术人员进入现场勘测地下水位变化情况,如果地下水水位上升极易引发地基强度下降、承载力不足,也会造成地基侧向压力增加造成建筑的稳定性下降。此外,如果高层住宅建筑所在地区受到地质构造活动的影响较为严重,如地震、断层导致建筑工程安全性无法保证。结合高层住宅建筑设计要求分析现场的地下水位、地质构造变化情况,确定适宜设计方案,使其具备较高的抗震性以满足建筑工程运行要求^[2]。

2.2 结构选型影响

高层住宅建筑结构设计的过程中,结构选型需分析建筑受力条件、稳定性方面,确保其受力条件达到合理性要求,避免受到过大荷载作用而给整个建筑项目安全性产生不利影响。由于高层住宅建筑往往建设在城市核心地带,特别是一些地质灾害发生率较高的区域,如果不能采取合理的结构设计方案,在地震发生后给人们生命安全造成侵害。有些高层住宅建筑结构本身比较复杂,在结构设计选型时虽然理论上计算具备可行性、受力条件良好,但在具体施工时难度高、工艺复杂、成本高,且施工过程中极易因为质量控制不到位而造成结构性能降低,对整个建筑物运行效果、经济效益和安全性产生危害。

2.3 荷载组合影响

高层住宅建筑结构投入使用过程中受到多方面荷载作用,如自重、固定设备、人员、风荷载、雪荷载、地震荷载,这些荷载在不同时间段和条件下单独作用或者同时作用在建筑结构上形成复杂的荷载组合。如果高层住宅建筑结构设计并未对各种荷载组合效应进行分析,一旦在极端条件下共同作用引发高层住宅建筑结构承载力不足,会造成变形、开裂、倒塌的严重事故。高层住宅建筑结构使用寿命比较长,在长期投入使用过程中结构受到各种荷载的作用以及环境侵蚀,如温度变化、湿度变化腐蚀。如果结构设计中荷载组合设计并未达到科学性、合理性,在长期投入使用过程中因为荷载累积损伤加速结构老化破坏,会对整个建筑安全性产生不利影响。此外,高层住宅建筑荷载组合设计不当导致其正常使用功能无法达到要求。如设计阶段并未考虑到活荷载的分布和变化,会在高层住宅建筑使用中存在局部超载现象引发严重事故,危害人们生命安全和正常生活^[3]。

2.4 材料性能影响

高层住宅建筑结构设计过程中考虑到材料性能因

素的影响,这关系到整个建筑项目的安全性。如果在高层住宅建筑设计阶段选择的材料强度未达到设计标准,该结构受到正常荷载时发生变形、破坏,对整个建筑物安全性产生不利影响。高层住宅建筑项目随着高度、层数不断增加,对于材料的强度也有更加严格的要求。由于高层住宅建筑对于安全性方面要求较高,特别是在地震极端荷载作用下,所以必须保证建筑结构具备较高的抗变形能力,能够吸收和分散地震作用力,避免出现严重的破坏问题。如果在高层住宅建筑设计时所选择的材料延性不足,在地震作用下容易发生脆性破坏而引发倒塌风险。对于高层住宅建筑长期投入使用时,其结构受到环境因素侵蚀影响,如温度变化、湿度变化、化学腐蚀。一旦选择的材料耐久性、抗腐蚀性能不合格,高层住宅建筑结构性性能下降明显,甚至发生破坏现象,无法保证其运营的安全性^[4]。

3 高层住宅建筑结构安全设计与提升路径

3.1 地质条件安全设计

高层住宅建筑结构安全设计阶段考虑到地质条件因素的影响,进入现场进行全面地质勘查,确定地基承载力、压缩模量、抗剪强度的各项指标。通常情况下,高层住宅建筑地基承载力特征值应在 200 Kpa 以上,确保长期投入使用过程中具备较高的稳定性和安全性。该承载力参数是根据设计和以往经验确定,需综合分析建筑高度、层数、结构类型、地基土特性确定,从而保证地基结构的承载力和稳定性合格。地质条件安全性设计中关注地下水的影响,特别是地下水位较高的情况下极易发生地基土软化,承载力降低,无法满足承载稳定性要求。高层住宅建筑设计安全性分析时重点加强地质条件的安全性设计,保证地基结构在投入使用过程中的强度合格。同时,由技术人员进入现场展开全面勘察分析是否存在断层、滑坡的不良地质,还要确定地震烈度的相关参数以保证高层住宅建筑的安全性合格。针对地震烈度较高的区域,在高层住宅建筑结构设计时,需要按照工程项目的建设楼层高度与地质条件的类型,通过设置抗震缝、采用隔振支座的方式,全方面提高高层住宅建筑抗震性能^[5]。

3.2 结构选型安全设计

高层住宅建筑结构设计过程中,根据结构选型的安全设计要求,保证在建筑结构受到风荷载、地震荷载作用下依然具备较高稳定性。对高度在 100 m 以上的高层住宅建筑,其弹性层间位移角限值为 1/550,能够有效抵抗侧向荷载的持续影响。高层住宅建筑结构

选型时分析截面尺寸、配筋率参数,确保建筑结构运行达到稳定性的标准。如框架结构形式设计中,梁柱截面尺寸根据荷载大小、跨度参数合理设计,保证其配筋率符合抗震设防的标准,即使极端的地震作用下依然能够保证安全性和稳定性。同时,高层住宅建筑结构选型时还要分析建筑自重和荷载传递路径的优化。选择科学合理的住宅建筑结构设计方案,采用适宜的结构部件连接方式,达到荷载有效传递以及分散的效果,避免出集中、变形的安全风险。针对高度在150 m以上的高层住宅建筑选择使用筒体结构或框架—剪力墙的复合结构体系,从而提高高层住宅建筑的稳定性和抗震性^[6]。

3.3 荷载组合安全设计

高层住宅建筑结构安全性设计时进行荷载组合安全性设计,分析恒荷载、活荷载、风荷载、雪荷载、地震荷载的多种荷载组合效应,在多种荷载组合的条件下运行具备安全性。恒荷载设计时从自重、固定设备的角度分析,其参数值结合建筑材料设计参数和材料密度方面计算。对于高层住宅建筑来说,恒荷载标准值通常超过 2.0 kN/m^2 。活荷载设计阶段需分析人员、家具、可变设备的因素,通常高层住宅建筑中活荷载标准值为居住区域 2.0 kN/m^2 或公共区域 3.5 kN/m^2 。风荷载和雪荷载参数值选取过程中,需根据高层住宅建筑所在地区的气候条件确定。风荷载分析时,从建筑高度、形状系数、当地风压出发进行计算。如果高层住宅建筑高度在100 m以上,风荷载标准值为 2.0 kN/m^2 或更高。雪荷载根据当地的降雪量、雪压参数计算。对于北方地区来说,降雨、降雪比较频繁,雪荷载标准值为 0.5 kN/m^2 或更高。地震荷载参数值选择过程中,根据建筑物所在区域地震设防烈度计算。对于地震设防烈度较高的地区,高层住宅建筑在地震荷载选取时严格按照地震荷载取值确定,保证地震作用下具备较高安全性。通常来说,地震荷载标准值需从建筑高度、抗震设防烈度方面计算分析,其参数值通常为 $0.2 \sim 0.4 \text{ g}$ 不等^[7]。

3.4 材料性能安全设计

高层住宅建筑在结构安全设计时,材料性能安全设计极为重要。为确保高层住宅建筑结构在多种荷载作用下保持稳定性、安全性,需重点开展材料性能安全设计,严格执行国家标准和技术规范,保证材料强度、延性、耐久性各项指标合格。高层住宅建筑主体结构设计时选择混凝土、钢材材料施工,其强度、耐

久性应符合技术标准。通常情况下,混凝土抗压强度C30以上,即28天龄期后每立厘米混凝土承载力达到30 MPa。钢材屈服强度应超过345 MPa,即在拉伸实验的条件下,其屈服点为应力值达到345 MPa。在材料性能安全设计时做好上述各项参数试验和控制工作,确保高层住宅建筑长期投入使用过程中,在受到多种荷载共同作用时,依然能够保持较高的稳定性和安全性。而在材料性能安全设计阶段,其延性设计也必不可少,通过冲击延性试验的方式确定延性参数值,确保在地震等极端荷载条件下依然能够保持良好的稳定性和安全性^[8]。此外,材料耐久性设计也是保证高层住宅建筑结构安全性的关键。材料应具备耐腐蚀、耐风化的性能,抵抗自然环境中温度、湿度、化学侵蚀的影响。如混凝土材料其抗渗等级应在P6以上,防止水分侵入内部而造成结构性能下降。

4 结束语

考虑到影响高层住宅建筑结构安全性的因素较多,高层住宅建筑结构设计应加强安全分析,从结构设计出发选择最适宜的设计方案,保证建筑工程结构安全性合格,对提升建筑工程质量和运营水平有积极作用。避免在投入使用过程中引发坍塌、变形、损坏的严重事故,确保人员生命安全不受侵害,也能为我国建筑工程领域的高水平可持续健康发展奠定基础。

参考文献:

- [1] 王会萌. 结构优化设计在建筑工程设计中的意义和应用[J]. 中国住宅设施, 2022(01):82-84.
- [2] 林家豪. 建筑结构设计提高结构安全性的思路分析[J]. 住宅与房地产, 2021(30):49-50.
- [3] 张虎. 试论在建筑结构设计如何提高建筑的安全性[J]. 居舍, 2021(19):91-92.
- [4] 秦志生. 建筑结构设计如何提高建筑的安全性[J]. 四川水泥, 2022(06):142-143,146.
- [5] 王瑞平. 试论建筑结构设计优化策略[J]. 房地产世界, 2022(16):43-45.
- [6] 李强. 超高层建筑结构设计优化与安全性分析[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2023(33):73-75.
- [7] 王邦建, 李瑾. 建筑结构设计的安全隐患及优化对策研究[J]. 工程技术研究, 2023,08(14):161-163.
- [8] 杨岗. 分析如何在建筑结构设计提高建筑的安全性[J]. 建材发展导向, 2022,20(24):26-28.