

科海故事博览

KEHAI GUSHI BOLAN

(旬刊·1993年创刊)

2025年1月 第2期 (总第591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1月15日

定价：人民币15元

版权声明：

稿件凡经本刊采用，如作者无版权特殊声明，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 基于电阻型压力传感器的机械手夹持系统设计
..... 龙 毓, 宋振宇
- 004 基于逆流燃烧模式的超低热值气体处理方法研究
..... 孙 顺
- 007 激光切割下料钢板工艺优化与效率提升研究
..... 刘 佳
- 010 基于金属材料理化特性化工设备节能工艺的研究
..... 聂泽龙, 聂长曦, 李旭航
- 013 基于微分方程的交叉路口信号灯闪亮时间的数学模型研究——以武汉市为例
..... 刘 炜, 孔德山

智能科技

- 016 计算机网络安全风险评估模型的构建与应用
..... 梁冰芳
- 019 电力自动化系统与10 kV配电网运行管理分析
..... 石 岩
- 022 基于无人机和地拍结合实施的3D建模技术应用
..... 王立超
- 025 基于数据挖掘技术的土地管理决策支持系统研究
..... 冯 芳
- 028 基于图像处理的建筑外观损伤检测与自动化鉴定技术
..... 刘晓明, 门广闯
- 031 机电一体化技术在智能制造领域的深度融合与应用研究
..... 曹贻梦
- 034 基于输电线路电场分布特征的无人机巡检避障策略研究
..... 王少杰

应用技术

- 037 城市地铁区间隧道暗挖施工技术分析
..... 韩嘉辉

目录 Contents

040	生态城市建设中环境工程技术的应用	王新臣
043	节能环保技术在建筑工程中的应用研究	夏传慧, 彭润峰, 张争争
046	节能环保型施工技术在水利工程中的应用分析	刘丽
049	基于PC构件的新型装配式建筑施工技术研究	赵二鲁
052	预防性公路养护技术在高原公路养护中的应用	刘志云
055	房屋建筑施工中大体积混凝土裂缝控制措施的应用	孙鹏
058	节能降耗技术在电力工程输配电线路中的应用研究	陈磊
061	岩土工程施工中基坑边坡失稳及加固处理技术研究	庞伟杰

科创产业

064	储能技术在新能源电力系统中的应用研究	李昱婧, 张渊博
067	基于PDCA循环的电力工程造价管理研究	康小娇
070	基于大数据技术优化制造企业生产设备管理	马千里
073	施工方案对建筑工程施工阶段造价的影响分析	远航, 黄涛
076	虚拟现实技术在科技馆展览展示中的创新应用研究	王书林
079	民用机场航站楼机电设备全生命周期体系建设研究	刘少辉, 李哲青, 温嘉权
082	“智慧+开放+共享”理念下新形态实验室的构建与运营模式研究	张继梅, 李欣桐

技术管理

085	韧性城市应急管理的路径分析	姬娅小娟, 方建宁
088	水利工程施工组织设计与资源配置	陈永雄
091	建筑工程质量安全隐患监督管理方法研究	王丹云
094	市政工程给排水及污水处理施工方案探索	张建喜
097	市政道路桥梁施工质量通病的预防及处理措施	陈新东
100	“6S”管理法在生产车间安全管理中的应用与优化	曹春, 高丽
103	精细化管理在住宅建筑施工管理工作中的实践研究	刘博

科学论坛

106	高压直流输电线路防雷策略研究	周欣
109	组合式冷藏库变频调节的节能分析	蒋梦杰, 胡利烽, 赵炜豪
112	天然气管道腐蚀原因及防治措施分析	费卫荣
115	历史建筑结构的动态性能分析与抗震鉴定	张怀超, 张廷廷
118	内蒙古地区滑坡灾害成因分析及防治对策研究	徐立陶, 杨振江
121	国土空间规划视角下的自然生态空间整体性用途管制研究	贺丽雪
124	基于高寒气候特征的高原公路养护施工材料性能与耐久性研究	姚杰

基于电阻型压力传感器的机械手夹持系统设计

龙 毓¹, 宋振宇²

(1. 成都市技师学院(成都工贸职业技术学院), 四川 成都 610000;

2. 成都运达科技股份有限公司, 四川 成都 611730)

摘 要 自动化与机器人技术迅猛发展, 机械手在工业生产与日常生活中扮演着越来越重要的角色。机械手的灵巧操作能力在很大程度上取决于其感知环境的能力和对力的精确控制。本文提出了一种基于压力传感器的机械手前端夹持力感应系统硬件电路设计方案及其对应的软件方案, 通过对机械手压力传感器前端模拟电路进行优化设计, 实现对抓取力的实时监控和精细测量, 通过数据修正系数, 对采样结果进行修正, 再通过算法处理, 得出有效的压力数据, 以期对相关研究人员提供参考。

关键词 机械手; 压力传感器; 压力采集; 自动化

中图分类号: TP241

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.02.001

0 引言

随着自动化技术的快速发展, 机械手在各种领域中得到了广泛应用。想要使机械手能够稳定、准确地执行夹持操作, 机械手前端夹持力数据的监控和采集是至关重要的一环。传统机械手主要依靠预设的固定程序来执行操作, 这种设计往往忽略了对抓取过程中细微力变化的感知, 导致在处理易碎或形状不规则物体时的灵活性和适应性受限。随着技术的不断发展, 越来越多的机械手具备压力感知功能, 但部分采用电容压力传感器作为加持力感应系统, 量程不大且因其是非线性压力传感器, 所以不能精确地感知力量大小^[1]。本文提出了一种基于电阻型线性压力传感器的机械手夹持力感应系统设计, 通过高精度模拟前级放大电路来增强机械手前端信号的感知能力, 从而实现对抓取力的精确监控。本文主要讲解其硬件及算法部分设计。

1 硬件系统概述

通过电阻型压力传感器、前级高频滤波单元、放大倍率可调节的高精度小信号放大单元、低通模拟滤波器、高精度模数转换器并配合外围监控电路、超低纹波电源、超低纹波的电源及通信单元共同组成高精度的(系统精度

1%) 压力采集系统。系统图如图 1 所示。

2 单元电路设计及分析

2.1 压力传感器信号处理及采样

2.1.1 压力传感器选型

压力传感器采用 100 公斤轮辐式高精度压力传感器, 采用带屏蔽线缆的四线制接法: V_{ex} 为 10 V 供电电源, V_o 为传感器差分输出^[2]。

2.1.2 电阻型压力传感器工作原理

传感器在受到外力作用的时候会产生形变, 引起紧贴在传感器内壁上的应变片电阻线性增加或减小, 在有外部供电(比如 10 VDC)的情况下, 输出的差分毫伏信号也随之线性增加或减小。传感器通过内部组桥、调零、配平灵敏度、温补之后, 输出的信号 = 供电电压 \times 灵敏度。

例如, 稳压电源是 10 VDC, 灵敏度是 1.5 mV/KN, 则传感器到满量程时输出的电压 = $10 \times 1.5 = 15$ mV。

2.2 高精度模拟前级放大电路

高精度模拟前级放大电路由前级高频滤波单元、放大倍率可调节的高精度小信号放大单元、低通模拟滤波器单元、高精度模数转换器组成。

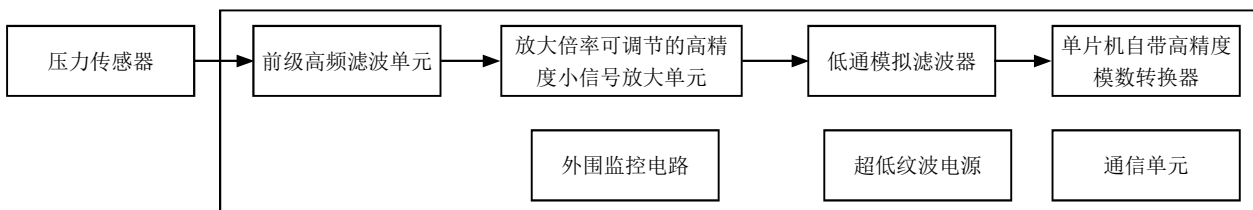


图 1 加持力感应系统硬件设计框图

2.2.1 前级高频滤波单元

前级高频滤波单元是一个三端无源滤波网络，用于二阶低通共模级差模 RC 滤波。前级高频滤波单元的主要作用为滤除空间射频耦合干扰，防止高能量的射频信号干扰系统运行。每个差分信号使用一个 10 M 欧姆电阻做保护性下拉，用于保护后级放大单元^[3]，具体见图 2。

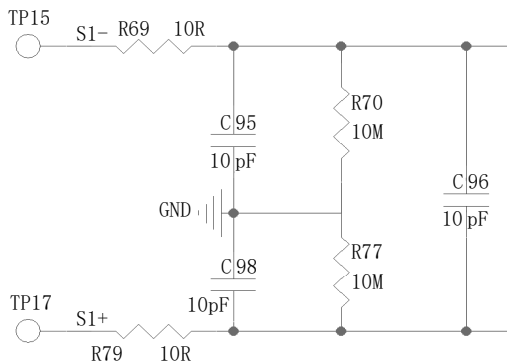


图 2 前级高频滤波单元电路原理图

2.2.2 放大倍率可调节的高精度小信号放大单元

使用仪用放大器 INA826 将信号从差分模式转化为单端模式，并将 0~15 mV 差分输入信号放大 100 倍左右到 0~1.5 V，放大器自带一个偏置电压输入引脚，在本设计中，我们把偏置设置到 ADC 采样的中心电压 1.5 V (见图 3)。

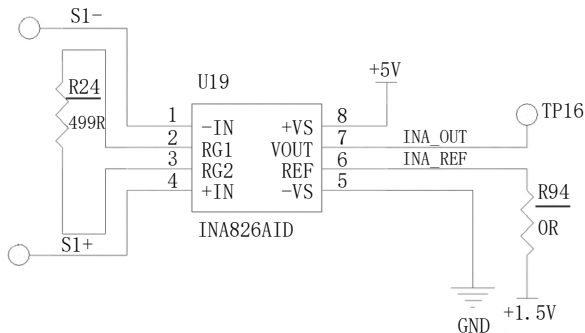


图 3 放大倍率可调节的高精度小信号放大单元电路原理图

2.2.3 低通模拟滤波器单元

采用一组七阶 Sallenkey 二级低通滤波器做信号滤波。该滤波器参数为巴特沃斯型，0~480 Hz 信号通带内无衰减，-3dB 转折频率 690 Hz。-40dB 阻带频率 1 350 Hz，阻带内单调无起伏。经过 Sallenkey 低通滤波器后和一级 RC 滤波后，输入到单片机 AD 输入脚。增设 Sallenkey 滤波器的主要作用是抗混叠及做低通滤波，防止高于 690 Hz 频率的信号干扰系统的正常运

行，并将不能滤除的高频电源噪声大大降低，从而提高压力传感器的采样精度。此单元是本设计系统的核心，能有效提高压力的采样精度^[4]。

2.2.4 高精度模数转换器

采用自带的 12 位 ADC 的单片机，其最大量化范围为 212 即 4 096，其参考电压为 3 V。当对 1.5 V 输入信号电压进行量化处理时，其采样结果为 $(1.5 \text{ V}/3 \text{ V}) \times 4 096 = 2 048$ ，经过 ADC 就可以将电压信号转化为对应的数值。

2.2.5 超低纹波电源

在模拟电路中，一个超低纹波的电源在提高压力传感器采样精度上有很大的帮助。在实际使用中，为保证采样精度和足够的分辨率，供给单片机模拟端及 AD 前级电路的电源纹波必须控制在 5 mV 以内。为达到这个目标，本设计在 +10 V 及其后级电路中全部使用高电源抑制比 (PSRR) 的 LDO 进行设计，每级 LDO 的电源抑制比不小于 70 dB。

该单元电路在接口输入 24 V 直流后，经过一组隔离开关电源转换为内部 +15 V 电源，内部 +15 V 电源给 DCDC 芯片转化为数字 3.3 V 输出供给单片机等数字部分电路使用。

内部 +15 V 电源经过一个线性稳压器 (LDO) 后转换为 +10 V 电源供给放大倍率可调节的高精度小信号放大单元、低通模拟滤波器单元使用，+10 V 电源再经过一级 π 型滤波器供给压力传感器使用。

+10 V 另经过一级 LDO 转化为模拟 3.3 V 供给单片机模拟部分使用，模拟 3.3 V 后级接基 3 V 准芯片，输出 3 V 基准电压供给单片机的 ADC 作为参考基准；模拟 3.3 V 后级接 1.5 V 基准供给高精度小信号放大单元作为信号偏置使用。

2.3 外围监控电路

外部电源监视网络主要是利用电阻分压网络及运放组成的分压网络单元，将外部 +10 V 电源、数字 +3.3 V 电源、模拟 +3.3 V 电源经过滤波分压等处理后，生成一个 0~3 V 的电压信号，输入单片机转化为电压值信号，从而判断系统电压是否在正常范围内。

2.4 通信电路

在 ADC 采集完数据后，必须将数据反馈给后台计算机进行实时计算。本设计使用带隔离的 485 通信电路，通信波特率 1 Mbps，隔离电压等级 500 V。隔离 485 通信电路的内部串口通过一个隔离器及一个 485 电平转换器实现 RS485 电气隔离，通信单元采用 3.3 V 的 485 收发器芯片 SP3485，隔离器使用 ADuM131E，隔离

电压 3 750 V, 通信速度 150 M. RS485 为 10 Mbps, 485 总线上采用 TVS 进行防护^[5]。

2.5 后台计算机

后台计算机安装有计算软件, 负责计算输出结果。

3 算法设计

3.1 信号提取

先将压力传感器通道数据前 50 个 ADC 值做均值, 设存储该数据的数列为 Z:

$$Z_{mean} = \frac{Z[1] + Z[2] + \dots + Z[50]}{50}$$

再将每个值对应减去均值:

$$Z[i] = Z_1[i] - Z_{mean}$$

根据计算结果的正负, 确定压力信号方向, 判断压力信号是否要取反, 若为 1 则取反, 否则不变, 取反过程如下:

$$Z[i] = -Z[i]$$

观察已有波形, 通过将压力传感器信号加权相加, 增强信号的上升沿与下降沿的梯度变化幅度, 有效屏蔽一些因复杂场景、个别信号源的因素影响有效波峰信号的提取。

3.2 峰值提取

对上下边的融合信号做峰值提取。

1. 压力融合数据:

$$K_i = \mu_i * (\alpha_i * Z) * (\beta_i * P_i)$$

其中 K_i 为压力数据的合成波; α_i 为当前压力数据的 Z 的校正系数; β_i 为压力当前传感器 P_i 的校正系数。

2. 提取波峰: 选取极值点作为波峰, 计算幅值的阈值, 因为存在机械手夹持货物与不夹持货物时, 幅值差异较大, 因此, α 选取较低的值, 此处选为 0.1:

$$\text{thresh1} = \min_val + \alpha(\max_val - \min_val)$$

为保证峰值的有效性, 在有效波峰阈值和时序阈值的范围内, 提取极大值点作为备选波峰, 为避免波峰位置的偏差, 将超过波峰 80% 的邻域范围内的信号值做均值作为有效波峰, 并且将超过波峰 80% 的时序点的中值作为有效波峰的时序点, 即机械手有效压力数据所在的时序点。获取有效压力数据。

3.3 传感器数据的量纲转换

将无量纲的传感器信号转换为以质量为量纲的信号, 存在一定的转换误差。在干扰较大和速度变化较大的情况下, 转化误差影响会较大。

为消除转化误差的影响, 将传感器信号转换为质量的参数字典化, 即将转换系数通过实验, 在不同压

力情况按限定范围分别计算, 从而实现最大限制的消除误差。

3.4 提取和筛选波峰

通过上述的波峰提取检测出压力峰值集合, 每个波峰包含数个峰值, 多次重复测量会得到同一个计量指标的一组值, 需要对同一个计量指标的一组测量值进行算法的有效性判定, 剔除异常结果, 结合标准差、均方误差等统计量, 输出计量指标的有效值。通过掩码方式, 将无效信号屏蔽, 不参与计算; 通过次重复统计方式剔除无效信号的波峰信息; 通过传感器的信号融合的方式, 计算有效波峰信息, 再将有效波峰信息提取和计算压力转换的结果。具体流程见图 4。

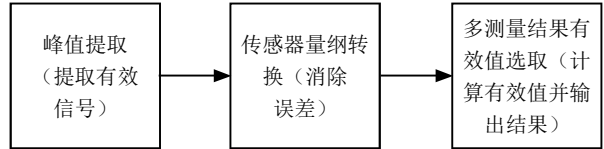


图 4 机械手加持力系统算法流程图

4 结束语

本文基于电阻型压力传感器的机械手夹持力感应系统设计为机械手的精准控制提供了一种新的优化路径, 经过试验, 其信号采样非常稳定, 压力与采样电压的对应关系为线性关系, 适用于机械手夹持力高精度采样, 较高的 ADC 采样精度及较低的电源噪声, 保证了 ADC 采样结果的准确性; 使用多阶 SALLENKEY 低通滤波器, 有效地消除了高频噪声, 有效提取出低频压力信号, 保证信号的真实性, 有效地防止信号混叠; 经过多次试验得出的压力校正系数和传感器校正系数, 保证了测量的准确性; 多次提取测量峰值及使用标准差、均方误差等计算手段提高了计算结果的准确性; 经过优化的算法及有效信号的多次提取, 保证了计算压力有效值的准确性。

参考文献:

- [1] 刘琪. 基于 STM32 的机械手夹持力控制系统设计 [J]. 电子制作, 2023(01):11-15.
- [2] 厉旻, 卢小霖, 李何良. 基于智能化管理的压力传感器计量检测方法 [J]. 自动化技术与应用, 2024(09):8-11, 20.
- [3] 陈冲锋, 潘露. 机械手夹持器的优化设计 [J]. 机械制造, 2020(10):15-16, 56.
- [4] 陈旭洋, 李文韬, 贾志鹏. 一种基于气动柔性驱动器的仿人机械手设计 [J]. 机器人技术与应用, 2023(02):12-15.
- [5] 吴德刚, 赵利平, 陈乾辉. 基于机器视觉的机械手夹持角自动化控制系统 [J]. 制造业自动化, 2022(02):187-190.

基于逆流燃烧模式的超低热值气体处理方法研究

孙 顺

(山东理工大学, 山东 淄博 255000)

摘 要 本文探讨了逆流燃烧模式在超低热值气体处理中的具体应用, 分析了该模式在提高燃烧效率、改善点火稳定性、减少污染物排放等方面的优势, 并指出应针对超低热值气体的特殊性质, 进一步优化燃烧室设计和气体处理技术, 以提升系统整体性能。结果表明, 逆流燃烧模式能够显著提高燃烧效率并优化热能回收, 有效降低设备腐蚀和结焦风险, 同时在控制污染物排放方面具有明显优势。

关键词 逆流燃烧; 超低热值气体; 燃烧效率; 污染物; 热能回收

中图分类号: TK16

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.02.002

0 引言

随着能源结构的转型和环保要求的提升, 超低热值气体的处理成为一个日益严峻的技术挑战。此类气体因其低热值、复杂成分和燃烧特性, 常常导致传统燃烧技术在点火、稳定性和效率方面表现不佳。与此同时, 过高的污染物排放和设备的高腐蚀性也使得其处理过程面临较大的技术和经济压力。逆流燃烧模式作为一种新兴的燃烧技术, 通过优化气流和热量分布, 显著提高了燃烧效率和污染物控制能力。本文研究了逆流燃烧模式在超低热值气体处理中的应用效果, 探索其在提升处理性能、减少环境负担等方面的潜力, 旨在为超低热值气体的高效治理提供理论依据和技术支持。

1 超低热值气体处理中的常见问题

1.1 点火困难且燃烧效率低

超低热值气体的点火困难是其处理过程中最常见且最具挑战性的问题之一。这类气体通常含有较低的热值和较高的水分, 且其成分复杂, 燃烧热值和温度远低于传统燃料, 这使得在常规燃烧系统中, 气体难以达到所需的点火温度, 从而导致燃烧不完全或熄火现象频发^[1]。同时, 由于气体燃烧过程中热量释放缓慢, 系统往往不能维持足够的热量以维持稳定燃烧, 进一步导致燃烧效率下降。传统燃烧设备针对超低热值气体的适应性较差, 通常需要较高的能量投入以启动点火过程, 并且在点火后难以保持稳定燃烧, 导致热效率远低于理想状态。低效燃烧不仅会加剧能源浪费, 还可能

导致后续气体处理和排放控制环节的负担加重。

1.2 设备耐久性与维护问题

在超低热值气体处理过程中, 由于气体成分中可能包含一定比例的硫化物、氯化物以及其他腐蚀性气体, 燃烧设备容易受到腐蚀和磨损。这些有害物质在燃烧过程中会与金属表面发生反应, 生成腐蚀性化合物, 从而缩短设备的使用寿命, 尤其是在高温和高负荷的工作条件下, 设备内壁和燃烧器容易出现烧蚀、裂纹等损伤, 导致设备性能下降, 甚至发生故障^[2]。此外, 长期的高温运行还可能导致积灰、结焦等问题, 进一步加剧设备的损耗和维护难度。设备的高频维护不仅增加了运营成本, 还可能影响生产的连续性和稳定性。与此同时, 由于超低热值气体处理设备往往需要较为精密的控制和调节系统, 因此其维护要求较高, 一旦出现故障, 修复成本昂贵且周期较长, 这对于长期稳定运行构成了挑战。

1.3 污染物排放难控制

超低热值气体的燃烧排放问题尤为突出。由于其燃烧过程中温度较低, 通常难以完全燃烧其中的有害物质, 特别是一些挥发性有机化合物 (VOCs)、一氧化碳 (CO)、氮氧化物 (NO_x) 以及颗粒物等污染物。这些污染物不仅对环境造成极大的危害, 还可能影响到周边生态和空气质量的改善。在实际操作中, 超低热值气体由于其高湿度和低热值特点, 燃烧过程中常出现不完全燃烧现象, 进一步导致有害气体的生成。同时, 气体中的含硫、含氯物质在燃烧过程中易形成

二氧化硫 (SO₂) 和氯化氢 (HCl)，这些酸性气体的排放会对大气和设备造成严重的腐蚀和污染^[3]。现有的气体处理设备在去除这些污染物时效果有限，通常需要通过二次污染物控制手段进行处理，如湿法脱硫、脱氮等，但这些过程又会增加能源消耗和设备负担。

2 超低热值气体处理中应用逆流燃烧模式的优势

2.1 提高燃烧效率

逆流燃烧模式在提高超低热值气体燃烧效率方面表现卓越。其核心机制在于对气流方向的精准调控，使燃料与氧气呈反向流动态势，进而达到更高效的热能传递效果。在传统燃烧模式中，气体通常需先与热表面接触后再启动燃烧反应。然而，在逆流燃烧模式下，燃料气体与燃烧空气的逆向流动特性使得未充分燃烧的气体能够被进一步加热且充分混合。例如，在工业炉窑的燃烧系统中，采用逆流燃烧模式时，燃气从燃烧器的一端进入，而空气从另一端流入，二者在炉内形成反向流动^[4]。未燃尽的燃气在与反向流动的高温空气相遇过程中，会被持续加热并与新鲜空气充分混合，能够提高燃烧效率。此外，此模式还可促使燃烧温度在整个燃烧器内分布更为均匀，减少过高或过低温度区域的出现频率。在垃圾焚烧发电厂的焚烧炉应用中，逆流燃烧模式使得燃烧室内的温度分布更加均衡，避免因局部高温导致的炉体材料过快老化以及局部低温造成的垃圾燃烧不完全问题，进一步提高热量利用效率。

2.2 改善点火与燃烧稳定性

超低热值气体由于其自身特性，往往存在点火困难且难以维持稳定燃烧的问题，而逆流燃烧模式在改善这一状况方面发挥着关键作用。通过气体与空气的逆向流动，该模式能够实现更为精确的温度调控，为点火过程提供有力支持。在燃气轮机的启动过程中，当采用逆流燃烧模式时，燃气首先进入热区，在与高温气流的接触过程中逐渐被加热至点火温度，相较于传统燃烧模式，大大提高了点火的成功率。此外，逆流燃烧模式通过对燃烧气流流动路径的优化设计，能够确保燃气均匀地与空气混合，实现稳定的燃烧进程。以化工生产中的小型燃烧反应器为例，逆流燃烧模式能够有效避免因气体分布不均而引发的局部熄火或温度波动现象^[5]。

2.3 增强热能回收利用

传统燃烧方式热量分布不均问题较为突出，大量热能在燃烧进程中被白白浪费，难以实现有效的回收

利用。然而，逆流燃烧模式展现出了强大的热能回收与利用能力。在钢铁冶炼过程中的热风炉应用中，燃气在与燃烧空气的反向流动过程中充分进行热量交换，燃烧后的高温气体被迅速引导回燃烧区，形成高效的热循环体系^[6]。这一过程不仅能够确保燃烧区温度的稳定性，还能显著提升热量的回收效率，减少热能在传输与转换过程中的散失。

2.4 减少污染物排放

传统燃烧方式因燃烧温度相对较低，常常导致燃料无法完全燃烧，从而产生大量有害物质。逆流燃烧模式则通过提高燃烧温度以及优化气体流动路径，有效解决了这一问题。在城市生活垃圾填埋气的处理过程中，采用逆流燃烧模式能够确保填埋气在较高温度下实现充分燃烧，从而大幅减少未完全燃烧的有害气体排放。此外，由于气流的逆向流动特性，该模式有助于气体在燃烧器内形成更为均匀的温度分布，有效避免了局部低温区域的产生。在生物质发电站的燃烧设备中，这种均匀的温度分布可显著减少有害气体的生成与排放^[7]。对于超低热值气体中普遍含有的硫、氯等有害成分，逆流燃烧模式借助更高的燃烧温度以及更充分的化学反应，降低了这些有害物质在燃烧产物中的残留量与排放量，从而极大地减轻了对环境的压力，符合日益严格的环保要求，为可持续发展提供了有力的技术支撑^[8]。

2.5 降低设备腐蚀和结焦风险

超低热值气体中的硫、氯及其他腐蚀性物质对设备具有较强的侵蚀性，容易引发设备腐蚀和结焦现象，严重缩短设备的使用寿命。逆流燃烧模式在降低此类风险方面具有独特优势。在炼油厂的加热炉应用中，该模式通过优化气体流动与温度分布，有效维持燃烧器内的温度稳定，避免局部过热情况的出现，从而减少了因高温导致的设备过早损耗^[9]。在煤化工生产中的气化炉中，逆流燃烧模式能够实现较为完全的燃烧过程，有效防止未燃尽物质的积聚。在传统燃烧模式下，这些未燃尽物质极易在设备表面形成积焦层，进而加速腐蚀进程。通过合理配置气流方向与温度参数，逆流燃烧模式显著降低了结焦的发生概率，减轻了设备的磨损程度。

3 超低热值气体处理中逆流燃烧模式的应用方法

3.1 依据具体需求，科学设计燃烧室

在超低热值气体处理中，科学设计燃烧室是应用逆流燃烧模式的首要步骤。燃烧室的设计应根据超低

热值气体的成分、流量及燃烧特性等具体需求进行量身定制。首先,燃烧室的尺寸和形状要根据气体流速、热传导效率和燃烧气体的温度分布来优化设计。通过合理设置燃烧室的入口和出口位置,可以确保燃气与空气的反向流动顺畅,并使燃料与氧气在燃烧室内得到充分混合^[10]。此外,燃烧室内壁的材质选择也至关重要,应选用耐高温、耐腐蚀的材料,以减少在长时间高温运行过程中产生的设备损伤。为了提高热量的利用效率,燃烧室的内部结构还应设计为具有良好热反射性能的形态,使热量在室内多次反射,从而提高燃烧效率。通过精细化设计燃烧室的每一个细节,可以实现超低热值气体在逆流燃烧模式下的高效燃烧,确保系统能够稳定运行并达到理想的热能回收效果。

3.2 精准控制燃烧空气和气体流量

精准控制燃烧空气和气体流量是逆流燃烧模式应用中的关键技术。超低热值气体的燃烧效率和稳定性与空气和气体的流量比密切相关,在设计过程中,需要根据燃料的特性和负荷变化,实时调节空气流量和气体流量的比例。首先,应通过气流控制系统精确调节空气的供给量,以确保燃烧过程中空气与燃料的混合达到最佳比例,从而实现完全燃烧。空气量过大或过小都可能导致燃烧不完全或能量浪费,因此,准确测量并调节进风量是至关重要的。其次,对于气体流量的控制,应根据超低热值气体的具体成分和浓度进行动态调节,确保气体在燃烧器内能够达到适宜的流速和温度分布。可以使用流量传感器和智能控制系统,根据实时检测数据来调整气体流量和燃烧空气的比例,以应对负荷变化和燃气成分波动。这种精准控制不仅有助于提升燃烧效率,还能有效避免传统燃烧模式中可能出现的燃烧不均匀和污染物排放问题。

3.3 合理采用高效燃烧器和助燃技术

在超低热值气体处理中,采用高效燃烧器和助燃技术是提升逆流燃烧模式性能的重要环节。首先,高效燃烧器的设计应针对超低热值气体的特性进行优化。由于这类气体燃烧特性较差,因此燃烧器应具有较强的点火能力和宽广的工作范围,能够应对气体成分和流量波动带来的挑战。例如,采用具有高温耐受性和精准空气流量调节功能的燃烧器,可以确保气体在进入燃烧室时达到适宜的预热状态,改善点火和燃烧稳定性。此外,合理应用助燃技术也是提高燃烧效率的有效手段。对于超低热值气体,使用催化剂或富氧燃烧技术可以有效促进燃烧反应的进行,减少气体的点

火延迟,并加速反应速率。富氧燃烧技术通过增加氧气供应,提高燃烧温度,进而提升燃烧效率并减少污染物的生成。同时,采用催化剂燃烧器可以降低燃烧温度和改善燃烧稳定性,减少对设备的损伤和腐蚀。通过合理选择和配置高效燃烧器与助燃技术,可以实现逆流燃烧模式下超低热值气体的高效、安全处理。

4 结束语

基于逆流燃烧模式的超低热值气体处理方法在提高燃烧效率、改善点火稳定性、增强热能回收、减少污染物排放等方面展现了显著优势。该技术能够有效克服传统燃烧方式在处理超低热值气体时面临的诸多挑战,提供了一种高效、环保的解决方案。然而,当前技术的进一步优化仍需在燃烧室设计、气流控制、设备耐久性等方面进行深入研究。随着燃烧技术的不断发展和环境法规的日益完善,逆流燃烧模式有望在超低热值气体处理领域得到更广泛的应用,推动能源利用的高效化和排放控制的严格化,从而为实现可持续发展目标做出更大的贡献。

参考文献:

- [1] 郑晓龙,胡惊雷,柯致远,等.3D打印泡沫陶瓷板内低热值气体的燃烧特性[J].工业炉,2023,45(03):7-12.
- [2] 钱叶剑,宫好奇,孟顺,等.低热值气体旋流燃烧器燃烧特性的数值研究[J].动力工程学报,2024,44(07):1019-1025.
- [3] 令狐志强,魏亚军,李玲燕.关于化工企业低热值废气综合利用的研究[J].山西化工,2020,40(04):92-93.
- [4] 魏小林,黄俊钦,李森,等.工业炉窑燃烧过程中节能减排问题的研究进展与发展方向[J].热科学与技术,2021,20(01):1-13.
- [5] 梁凯,崔亚军,崔久涛,等.催化燃烧技术处理石油化工企业含VOCs废气的工艺研究[J].当代化工,2017,46(04):707-710.
- [6] 王子坤,齐凤升,刘中秋,等.顶部射流优化热风炉内燃烧行为模拟[J].材料与冶金学报,2023,22(02):110-118.
- [7] 钱叶剑,宫好奇,孟顺,等.低热值气体旋流燃烧器燃烧特性的数值研究[J].动力工程学报,2024,44(07):1019-1025.
- [8] 涂汉超,余春江,解桂林,等.含氮低热值气体燃烧NO_x排放特性研究[J].热力发电,2018,47(10):6-11.
- [9] 丁帆.炼油厂加热炉热效率的综合检测探讨[J].化工管理,2018(24):132-133.
- [10] 高敏.旋转逆流燃烧器结构设计和燃烧过程数值模拟[D].淄博:山东理工大学,2022.

激光切割下料钢板工艺优化与效率提升研究

刘 佳

(四川纽克利科技有限公司, 四川 德阳 618000)

摘 要 本研究针对激光切割下料钢板工艺中存在的效率低、成本高等问题, 从激光切割原理和影响因素入手进行研究, 分析了激光切割的基本原理及影响因素, 设计并开展了正交试验, 分析激光功率、切割速度、激光频率、占空比和辅助气体压力等工艺参数对切割质量的影响, 并通过采用多目标优化方法确定了最佳激光切割工艺参数组合。研究表明, 优化后的工艺参数组合能够显著提高切割速度, 同时保证良好的切割质量, 以期期为激光切割下料钢板的实际生产提供有益参考。

关键词 激光切割; 钢板; 工艺优化; 多目标优化; 正交试验

中图分类号: TG48

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.02.003

0 引言

激光切割技术以其高精度、高效率、无接触等优点, 广泛应用于金属板材加工领域。然而, 传统的激光切割工艺参数往往依靠经验设定, 难以兼顾切割速度和切割质量, 导致生产效率低下、成本较高。因此, 对激光切割下料钢板工艺进行优化, 提升切割效率和质量, 具有重要的经济和社会意义^[1]。本文通过实验研究和多目标优化方法, 探索最佳激光切割工艺参数组合, 以期为提高激光切割下料钢板的效率和质量提供有效的技术手段。

1 激光切割基本原理及影响因素

激光切割技术的核心在于利用激光束的高能量密度精确切割材料, 激光作为受激辐射产生的光束, 其产生需要三个必要条件: 工作物质、泵浦源和光学谐振腔。工作物质是能够产生激光的介质, 如气体、液体或固体; 泵浦源为工作物质提供能量, 使其原子或分子跃迁到高能级; 光学谐振腔则用于增强激光输出, 保证激光束具有良好的方向性和单色性。低能级粒子吸收泵浦源提供的能量后跃迁至高能级, 形成粒子数反转, 处于高能级的不稳定态粒子自发或受激跃迁回低能级时, 会释放出相同频率、相位和方向的光子。大量光子在谐振腔内多次反射放大, 最终形成高能量密度、高方向性的激光束, 激光加工根据光能大小可分为热加工和冷加工两种。冷加工主要用于对热敏感材料如塑料的加工, 激光冷加工利用激光破坏材料分子键, 实现分子间的分离, 不会产生明显的热损伤和热变形。热加工则广泛应用于金属材料的切割、焊接和熔覆等, 例如, 在钢板激光切割过程中, 激光束通

过聚焦镜聚焦后, 会在材料表面形成极小的焦点, 能量高度集中。焦点附近的材料迅速吸收激光能量, 温度急剧升高至熔点以上, 甚至气化。同时, 辅助气体(如氧气)以高压喷射到切缝处, 将熔融或气化的金属吹走, 形成狭窄而精确的切口, 从而完成金属材料的切割^[2]。辅助气体除了清除熔融物, 在某些情况下还能参与氧化反应, 进一步促进材料的切割。激光功率、聚焦方式、辅助气体压力以及切割速度等参数都会显著影响切割质量和效率^[3]。激光切割具体如图 1 所示。

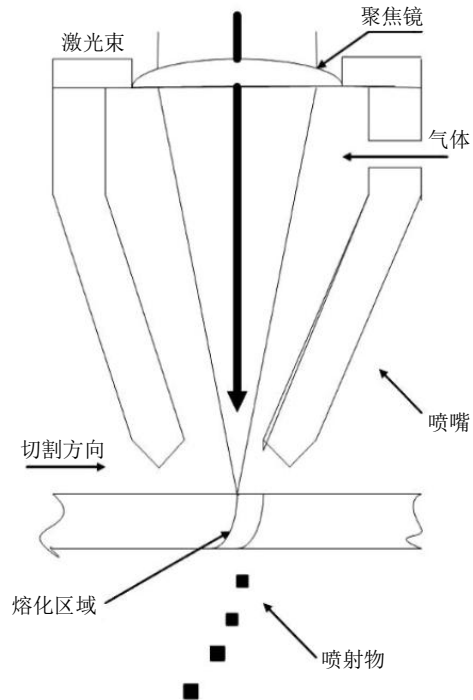


图 1 激光切割原理图

2 激光切割实验材料与设备

待切割材料为3 mm厚的Q235钢板,试件尺寸为500×500 mm。采用LC-F1000-L光纤激光切割机,激光器为IPG公司的YLS-1000,输出功率为1 kW,激光波长长1 070 nm,激光传输不依赖反射镜等器件,转换效率大于30%,具有良好的柔性布置能力,可应用于薄板切割的需要。试验检测仪器有TR200粗糙度测量仪、精密电子秤(精度0.001 g)。

3 激光切割实验结果及分析

3.1 激光功率对切割质量的影响

当激光功率较低(低于600 W)时,激光能量不足以完全熔化和气化材料,导致切割不完全,出现切不透的现象。即使勉强切透,由于能量不足以提供足够的动能将熔融金属充分排出切缝,熔融金属也会在切缝底部凝固,形成显著的挂渣,严重影响切割质量。切口表面由于热量不足以迅速清除熔融物,表面粗糙度也较大,呈现出不规则的波纹状,随着激光功率的增加(600~1 000 W),切割质量得到显著改善。切割完全率提高,不再出现切不透的情况,熔融金属的流动性增强,在辅助气体的作用下,能够更有效地从切缝中排出,从而减少了底部挂渣的现象,挂渣量的减少不仅提升了切割效率,也避免了因挂渣导致的后续加工问题。切口表面粗糙度也随着激光功率的增加而减小,这是因为更高的激光功率能够提供更充足的能量,使熔融金属在更短时间内完成熔化、气化和排出过程,减少了热量向周围扩散的机会,从而降低了切口表面的不规则性。实验结果显示,当激光功率达到1 000 W时,可以获得最佳的切割质量,此时测得的最小表面粗糙度达到5.433 μm 。

3.2 切割速度对切割质量的影响

切割速度较快时,激光束在单位面积上的作用时间缩短,单位面积所接收的激光能量降低,导致材料的熔化量减少,熔融金属的量也随之减少^[4]。较少的熔融金属更容易被辅助气体吹离切缝底部,从而减少了挂渣的产生,反之,当切割速度较慢时,激光束在单位面积上的作用时间延长,单位面积所接收的激光能量增加,导致更多的材料熔化,增加熔融金属的量,从而增加挂渣的可能性。切割速度为40 mm/s时,可以获得较低的表面粗糙度,达到5.624 μm ,因为较快的切割速度能够缩短激光作用时间,减少热量向周围材料扩散,从而降低切口表面的不规则性,获得更平

滑的表面,而较慢的切割速度则会导致热量扩散加剧,增加表面粗糙度。

3.3 激光频率对切割质量的影响

激光频率与单位时间内产生的激光脉冲数成正比,增加激光频率意味着在相同时间内产生更多脉冲,但每个脉冲携带的能量会相应降低,能量分布的变化直接影响材料的熔化和气化过程,进而影响切割质量^[5]。随着激光频率的增加,底部挂渣量也随之增,因为当激光频率较高时,每个脉冲的能量降低,导致材料的熔化和气化过程不充分。虽然脉冲数量增加,但每个脉冲的能量不足以提供足够的动能将熔融金属完全排出切缝,熔融金属的温度相对较低,黏度较高,难以被辅助气体有效吹除,容易残留在切缝底部,形成挂渣,激光频率与表面粗糙度的关系则较为复杂,呈现出非线性变化趋势,在一定的频率范围内,增加激光频率可以降低表面粗糙度,更高的频率意味着更频繁的能量输入,可以更有效地去除材料表面的熔融金属,减少表面不规则性,当激光频率为200 Hz时,可以获得较低的表面粗糙度,达到5.320 μm 。当激光频率继续增加时,表面粗糙度反而会增大,过高的频率导致每个脉冲能量过低,熔化过程不稳定,容易形成不均匀的熔融层,增加表面粗糙度。

3.4 激光占空比对切割质量的影响

激光占空比是指激光器在单位时间内工作的时间与总时间的比率,它直接影响激光能量的输出方式,进而影响激光切割的质量。

本实验研究了激光占空比对3 mm厚Q235钢板激光切割质量的影响,主要关注其对底部挂渣量的关系。实验结果表明,激光占空比与底部挂渣量之间存在显著的相关性,但并非简单的线性关系,而是呈现出先减小后增大的趋势。在较低的激光占空比下(例如20%),挂渣量相对较低,实验测得挂渣量为0.122 g,这是因为较低的占空比意味着激光器在单位时间内工作时间较短,峰值功率较高,高峰值功率能够提供足够的能量快速熔化和气化材料,形成大量高动能的熔融金属,更容易被辅助气体吹离切缝底部,从而减少挂渣。然而,随着激光占空比的增加,挂渣量也逐渐增加,当激光占空比达到80%时,挂渣量增加到0.671 g,较高的占空比虽然增加了总能量输入,但峰值功率降低了。较低的峰值功率导致材料的熔化和气化过程不充分,熔融金属的温度降低,黏度增大,流动性变差,更难以被辅助气体吹离切缝,从而增加了挂渣的可能性,

与低激光功率下产生挂渣的现象相似，都是因为能量不足以充分熔化和排出熔融金属导致的。

3.5 辅助气体压力对切割质量的影响

辅助气体压力是激光切割过程中一个重要的工艺参数，直接影响熔融金属的清除效果，进而影响切割质量。

实验研究了辅助气体压力对 3 mm 厚 Q235 钢板激光切割质量的影响，主要关注其对底部挂渣量和表面粗糙度的影响。辅助气体压力与底部挂渣量之间存在负相关关系，增加辅助气体压力可以有效降低挂渣量，更高的气体压力能够提供更大的吹除力，更有效地将熔融金属从切缝底部吹离，防止其凝固形成挂渣，较高的气体压力能够增强气流速度，提高熔融金属的清除效率。同时，辅助气体压力也影响切口表面的粗糙度。实验结果显示，当辅助气体压力达到 0.4 MPa 时，可以获得最低的表面粗糙度，达到 4.533 μm，更高的气体压力能够更有效地清除切口表面的熔融金属残渣，减少表面不规则性，从而提高表面光洁度。气体压力过低，熔融金属清除不彻底，容易形成毛刺或其他表面缺陷，而气体压力过高，虽然可以提高清除效率，但可能会导致切口变宽，甚至损伤工件。辅助气体压力对熔融金属清除效率的影响，与气流速度和喷嘴设计有关，更高的气体压力导致气流速度增加，使得熔融金属更容易被吹离切缝，合理的喷嘴设计可以进一步优化气流的形状和速度，提高熔融金属的清除效果。

4 激光切割工艺参数多目标优化

采用非支配排序遗传算法 NSGA-II 对激光切割 Q235 钢板的工艺参数进行多目标优化。优化目标为最大化切割速度 (V) 和最小化表面粗糙度 (Ra) 以及底部挂渣量 (W)。三个目标函数分别为：最大化 V、最小化 Ra、最小化 W。优化变量为激光功率 (P)、切割速度 (v)、激光频率 (f)、占空比 (D) 和辅助气体压力 (G)，根据单因素试验结果，确定各个变量的取值范围，并将其编码为遗传算法中的基因。

采用实数编码，每个变量的取值范围分别为：P(600~1 000 W)，v (20~60 mm/s)，f (100~300 Hz)，D (20%~80%)，G (0.2~0.6 MPa)。每个个体由 5 个基因组成，代表 5 个工艺参数。种群规模设置为 100，交叉概率设置为 0.8，变异概率设置为 0，算法运行至最大迭代次数 500 代或收敛时停止。采用 NSGA-II 算法的非支配排序和拥挤距离计算适应度值，选择非支配解和分布均匀的解进入下一代，具体应用效果如表 1 所示。

表 1 优化效果统计表

序号	激光功率 (W)	切割速度 (mm/s)	激光频率 (Hz)	占空比 (%)	辅助气体压力 (MPa)	切割速度 (mm/s)	表面粗糙度 (μm)	底部挂渣量 (g)
最优解 1	950	55	220	35	0.45	55.2	4.87	0.08
最优解 2	880	52	200	40	0.42	52.5	4.95	0.09
最优解 3	920	53	210	38	0.43	53.1	5.02	0.10
初始参数	800	40	150	50	0.3	40.0	6.25	0.25

从表 1 可以看出，通过 NSGA-II 算法优化后的工艺参数组合，显著提高了切割速度，同时有效降低了表面粗糙度和底部挂渣量。与初始参数相比，切割速度提高了约 13%~33%，表面粗糙度降低了约 15%~22%，底部挂渣量降低了约 60%~70%。这表明，多目标优化方法能够有效地平衡切割速度和质量之间的矛盾，为激光切割工艺参数的优化提供了一种有效途径。

5 结束语

本研究通过实验研究和多目标优化方法，系统地探讨了激光切割 3 mm 厚 Q235 钢板的工艺参数优化问题。实验结果表明，激光功率、切割速度、激光频率、占空比和辅助气体压力等参数对切割质量（包括切割速度、表面粗糙度、底部挂渣量）均有显著影响，可采用非支配排序遗传算法 NSGA-II，对上述五个参数进行多目标优化，在激光切割工艺参数优化中具有很好的有效性和实用性。

参考文献：

- [1] 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.
- [2] 陈谦哲, 刘列, 韩良华. 激光切割 Q235 钢板在救援破拆中的研究 [J/OL]. 激光技术, 1-11 [2024-11-26]. <http://119.29.172.80:8085/kcms/detail/51.1125.TN.20240620.1744.002.html>.
- [3] 黄伟溪, 李若涛, 李文威, 等. 激光切割高频动态复合运动轨迹规划与控制方法 [J]. 自动化与信息工程, 2024, 45(05): 54-61.
- [4] 张新建, 冯力力. 激光切割自动上下料与视觉定位加工系统的设计 [J]. 设备管理与维修, 2024(15): 21-23.
- [5] 秦涛. 基于 3 mm 厚碳钢薄板激光切割工艺的试验研究 [J]. 汽车实用技术, 2024, 49(10): 108-111.

基于金属材料理化特性化工设备节能工艺的研究

聂泽龙¹, 聂长曦², 李旭航³

- (1. 山东三品新能源有限公司, 山东 济宁 272000;
2. 北京市地铁运营有限公司供电分公司, 北京 100000;
3. 兖矿能源集团有限公司, 山东 济宁 272000)

摘要 工业技术不断发展, 化工设备在生产过程中的能源消耗问题日益突出。金属材料作为化工设备的主要构成材料, 其理化特性直接影响着设备的能源利用效率, 通过分析金属材料的导热性、耐腐蚀性及表面特性等关键因素, 可有针对性地制定节能工艺方案, 从而降低设备运行能耗。本文基于金属材料理化特性开展化工设备节能工艺研究, 旨在为促进企业经济效益的提升提供有益参考。

关键词 金属材料理化特性; 化工设备; 节能工艺

中图分类号: TQ05

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.02.004

0 引言

化工设备节能工艺是指在保证生产质量和安全的前提下, 通过优化设备结构设计、改进操作方法、提升材料性能等多种技术手段, 以降低能源消耗、提高能源利用效率为目标的工艺技术体系。在当前能源价格攀升、环保要求日益严格的背景下, 深入研究材料特性与设备性能的协同关系, 对推动化工行业绿色转型具有重要的现实意义, 充分发挥金属材料独特性能, 结合先进工艺技术, 可为化工设备节能改造开辟新的发展方向。

1 金属材料理化特性与化工设备能耗的关系

1.1 金属材料的物理性质对设备能耗的影响

金属材料的物理性质在化工设备运行过程中扮演着关键角色, 直接影响着设备的能源消耗水平。金属材料的导热系数、热膨胀系数、密度和强度等物理特性, 决定了设备在运行过程中的热传导效率和能量损失程度。高导热系数的金属材料能够快速传递热量, 减少热量在传递过程中的损失, 提高热交换效率; 合理的热膨胀系数能确保设备在温度变化时保持良好的密封性能, 避免能量的泄露损失^[1]。同时, 金属材料的密度和强度特性影响着设备的整体重量和结构稳定性, 进而影响设备运行时的机械能消耗。

在实际应用中, 金属材料的物理性质与设备能耗之间存在着复杂的相互作用关系。材料的导热性能直

接决定了热交换设备的换热效率, 良好的导热性能可显著降低热能损失, 提高能源利用率。材料的表面粗糙度会影响流体与设备壁面之间的传热系数, 进而影响整个系统的能量传递效率。此外, 金属材料的弹性模量和屈服强度等力学性能也会影响设备在运行过程中的变形程度, 过大的变形可能导致设备密封性能下降, 造成能源浪费。因此, 深入理解金属材料物理性质与设备能耗的关系, 对于优化设备性能具有重要的指导意义。

1.2 金属材料的化学性质与设备运行效率的关联

金属材料的化学性质在化工设备运行过程中起着决定性作用, 与设备的运行效率密切相关。化工生产环境中往往存在各种腐蚀性介质, 金属材料的耐腐蚀性能直接影响着设备的使用寿命和运行状态。当金属材料与介质发生化学反应时, 设备表面会逐渐形成腐蚀产物, 这些腐蚀产物不仅会降低热传导效率, 还会造成设备壁厚减薄, 影响设备的结构完整性。同时, 金属材料的氧化还原性质也会影响设备表面的钝化膜形成, 良好的钝化膜能够有效阻止进一步腐蚀, 保持设备的正常运转效率。

在高温高压的化工生产条件下, 金属材料的化学稳定性显得尤为重要。材料的相变温度、化学活性以及与工作介质的相容性等特性, 都会对设备的运行效率产生显著影响。化学性质不稳定的材料容易在高温环境下发生组织变化, 导致材料强度下降, 设备变形

加剧,进而引起能量损失增加。此外,金属材料表面的催化特性可能会促进某些不良化学反应的发生,在设备内壁形成结垢或沉积物,这些沉积物会降低传热效率,增加设备能耗。

1.3 材料导热性能与设备热能损失的关系

材料导热性能在化工设备运行过程中扮演着核心角色,直接决定着设备的热能传递效率和能量损失情况。金属材料的导热系数是衡量其导热性能的重要指标,较高的导热系数意味着热量能够更快速地在材料中传递。在化工设备中,热交换过程频繁发生,材料的导热性能显著影响着热量在设备各部件之间的传递效率。当材料导热性能较差时,热量在传递过程中会产生较大的温度梯度,导致局部过热现象,不仅增加了能量损失,还可能引发设备性能下降和安全隐患,特别是在高温工况下,材料的导热性能对设备整体热效率的影响更为显著,良好的导热性能可以确保热量快速均匀地分布,减少热量积聚造成的不必要损失^[2]。

在实际生产环境中,材料导热性能会随着使用时间的延长而发生变化。设备表面结垢、材料老化以及腐蚀等因素都会降低材料的导热性能,造成热能传递效率下降,特别是在高温工况下,材料导热性能的变化更为明显,热量在传递过程中的损失会随之增加。材料导热性能的衰减会导致设备需要投入更多的能量才能达到预期的工艺要求,这种额外的能量消耗直接转化为生产成本的增加。同时,导热性能的下降还会引起设备内部温度分布不均,造成热应力集中,影响设备的使用寿命和运行安全性。在长期运行过程中,材料导热性能的变化还会影响设备的整体热平衡状态,导致能量分配不合理,增加系统的热损失。

2 化工设备常见能耗问题分析

化工设备在运行过程中面临着多样化的能耗问题,热量损失是最为突出的现象之一。在高温工况下,设备壁面与环境之间存在显著的温度差,导致大量热量通过传导、对流和辐射方式散失。设备接口处的热桥效应加剧了热量损失,特别是在管道连接和法兰部位,热量流失现象更为明显。随着设备运行时间的延长,金属材料表面会出现氧化、结垢等现象,这些表面状态的改变降低了传热效率,增加了能源消耗。同时,设备内部流体的湍流损失和摩擦损失也是能耗增加的重要因素,特别是在输送系统中,这种损失更为显著。

材料性能退化是导致设备能耗增加的另一个关键问题。在腐蚀性介质的长期作用下,金属材料会发生

局部或整体腐蚀,导致设备壁厚减薄,强度下降,需要增加运行压力来维持正常工作状态。设备密封部件在交变载荷作用下容易发生疲劳损伤,造成密封失效,引起工质泄漏和能源浪费。材料的疲劳损伤还会导致设备变形,影响传热面的接触状态,降低换热效率。在高温环境下,金属材料的蠕变现象会引起设备尺寸的永久变化,影响设备的运行精度和效率。这些问题相互关联,共同导致设备能耗的持续增加^[3]。

3 基于金属材料特性的化工设备节能工艺优化方案

3.1 优化材料选型,提升设备能效

金属材料选型优化是提升化工设备能效的关键环节,需要综合考虑材料的导热性能、耐腐蚀性、机械强度等多个方面的特性。在选材过程中,应充分考虑设备的工作环境、操作温度、压力等工艺参数,选择最适合的金属材料。对于热交换设备,可选用导热系数高的铜合金或铝合金材料,这类材料具有优异的导热性能,能够显著提高热交换效率。在腐蚀性介质环境下,应优先考虑耐蚀性能好的不锈钢或钛合金材料,这些材料能够有效防止设备腐蚀损坏,延长使用寿命。同时,还需权衡材料的热膨胀系数,选择合适的材料以确保设备在温度变化时保持良好的密封性能。

在具体应用中,复合材料的选用也显得尤为重要。通过合理搭配不同性能的金属材料,可以实现性能的优势互补。例如,在反应釜设计中,可采用双层复合结构,内层选用耐腐蚀性能优异的哈氏合金,外层选用导热性能良好的碳钢,既保证了设备的耐腐蚀性能,又提高了传热效率。对于高温高压设备,可选用高温合金材料,这类材料在高温下具有良好的强度和抗蠕变性能,能够确保设备安全稳定运行。在选材时还需考虑材料的加工性能和经济性,选择适合的焊接方法和表面处理工艺,确保设备制造质量。通过科学合理的材料选型,可以显著提高设备的运行效率,降低能源消耗,实现节能减排的目标。

3.2 表面处理技术在节能中的应用

表面处理技术在化工设备节能中发挥着重要作用,通过改善金属材料表面性能来提高设备的能源利用效率。表面处理技术主要包括物理处理、化学处理和复合处理等多种方式。物理处理方面,可采用喷砂、抛光等方法调节表面粗糙度,优化流体与壁面的接触状态,减少流动阻力和能量损失。化学处理技术如阳极氧化、化学镀等工艺可在设备表面形成致密的保护层,既能防止腐蚀,又能改善表面的导热性能。等离子喷

涂技术则可在设备表面形成具有特定功能的涂层，如低发射率涂层可减少辐射热损失，耐磨涂层可延长设备使用寿命，提高运行效率^[4]。

在实际应用中，复合表面处理技术展现出更大的优势。通过多层镀膜工艺可在设备表面形成具有多重功能的复合涂层，实现防腐、绝热、导热等多种性能的协同优化。例如，在换热设备表面采用纳米复合涂层处理，可显著提高传热效率；在反应釜内壁采用特氟龙涂层处理，可防止结垢和沉积物的形成，保持良好的传热效果。离子注入技术能够改变材料表层的物理化学性质，提高表面硬度和耐磨性，减少机械能损失。此外，表面微观结构的设计和调控也是提高能效的重要手段，通过在表面制造微沟槽或微凸起等特殊结构，可以增强传热效果，提高换热效率。表面处理后的性能监测和维护同样重要，需要定期检查涂层完整性，及时修复损坏部位，确保表面处理效果的持久性。

3.3 新型复合材料的节能效果研究

新型复合材料在化工设备节能领域展现出显著的应用价值，通过合理组合不同材料的优势特性，实现了性能的优化提升。金属基复合材料通过在基体金属中添加碳纤维、陶瓷颗粒等增强相，显著提高了材料的导热性能和机械强度。在高温环境下，碳纤维增强金属基复合材料表现出优异的热稳定性和抗疲劳性能，有效降低了设备的能量损失。陶瓷增强金属基复合材料则具有良好的耐磨性和抗腐蚀性，在化工设备的关键部位应用后，明显延长了设备的使用寿命，减少了因部件更换带来的能源浪费。同时，新型纳米复合材料的应用，通过纳米尺度的界面效应，进一步优化了材料的传热性能和表面特性。

在化工设备的具体应用中，多功能梯度复合材料展现出独特优势。通过在材料中设计功能梯度结构，实现了材料性能的连续过渡，避免了传统单一材料在使用过程中的性能局限。例如，在反应釜内壁采用耐腐蚀金属层与导热金属层的梯度复合结构，既保证了设备的耐腐蚀性能，又提高了传热效率。智能响应型复合材料的开发应用，使设备能够根据工况变化自适应调节性能，在温度剧烈变化时保持稳定的传热效果。此外，新型复合材料在制造工艺上也取得突破，通过3D打印技术可实现复杂结构的精确制造，为设备结构优化和性能提升提供了新的途径。这些创新性的复合材料应用，为化工设备节能工艺的发展开辟了广阔前景。

3.4 材料改性技术与能耗控制措施

材料改性技术在化工设备节能领域展现出巨大潜

力，通过物理改性和化学改性等手段对材料性能进行定向调控，有效提升设备的能源利用效率。物理改性方面，通过调控材料的晶体结构和显微组织，可以优化材料的导热性能和力学性能。例如，通过热处理工艺调控金属材料的晶粒大小和分布，可以显著提高材料的导热系数；通过冷加工和时效处理相结合的方式，能够改善材料的强度和韧性，减少设备变形带来的能量损失。化学改性技术则通过添加合金元素或表面化学处理，改变材料的化学组成和表面特性，提高材料的耐腐蚀性能和表面传热效果^[5]。

在能耗控制措施方面，材料改性技术的应用需要与具体工艺参数相结合。通过在材料中引入纳米级分散相，可以增强材料的导热性能和抗氧化能力；采用表面微合金化技术，能够在材料表层形成具有特殊功能的合金层，提高设备的耐磨性和密封性能。在高温工况下，通过在材料中添加稀土元素，可以提高材料的热稳定性和抗蠕变性能，减少高温变形造成的能量损失。同时，采用等离子表面处理技术对材料进行改性，能够在设备表面形成具有特定功能的改性层，既提高了设备的使用寿命，又降低了运行能耗。这些改性技术与能耗控制措施的有机结合，为化工设备节能提供了有效的技术支持。

4 结束语

金属材料理化特性与化工设备能耗的关系研究具有深远的理论和实践意义。通过深入探究材料特性对设备能耗的影响机制，揭示了材料性能与设备运行效率之间的内在联系。随着新型材料技术的不断发展，化工设备节能领域将迎来更多的创新突破，为实现工业生产的绿色低碳发展提供强有力的技术支撑。

参考文献：

- [1] 廖宇. 化工设备升级与节能改造方法分析[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024, 44(12): 33-35.
- [2] 李涛. 化工设备升级改造和节能技术探讨[J]. 中国设备工程, 2023(03): 216-218.
- [3] 乔平. 试论化工设备升级改造和节能技术[J]. 当代化工研究, 2020(17): 148-149.
- [4] 杨学民. 化工工艺及典型化工设备节能策略[J]. 化工设计通讯, 2020, 46(05): 125, 131.
- [5] 魏平霞. 关于金属材料理化特性化工设备节能工艺的探讨[J]. 世界有色金属, 2020(02): 140, 142.

基于微分方程的交叉路口信号灯 闪亮时间的数学模型研究

——以武汉市为例

刘 炜*, 孔德山

(湖北警官学院, 湖北 武汉 430034)

摘要 我国城市化进程不断加快, 交通拥堵问题日益严重, 尤其在交叉口等交通枢纽, 信号灯配时直接影响通行效率。现有信号灯控制策略, 特别是黄灯闪烁时间和红绿灯配时方案, 存在不合理现象, 导致交通流量分配不均, 事故频发, 效率低下。本文基于微分方程理论, 提出黄灯闪烁时间和红绿灯配时优化模型, 分析并解决信号灯控制中的问题, 通过对武汉市典型交叉口交通流数据进行计算, 验证了模型的有效性和可行性。研究表明, 优化后的配时方案能提高通行效率, 减少等待时间, 降低事故风险, 为城市交通管理提供新的优化思路。本文旨在为城市交通智能化和精细化管理提供理论依据, 并对交通信号控制的未来发展具有积极的意义。

关键词 微分方程; 交叉路口; 信号灯

基金项目: 湖北警官学院院级科研项目资助, 微分方程模型在公安交通管理中的应用研究(项目编号: HJ2024QN05); 湖北警官学院院级科研项目资助, 光学原理在公安交通安全管理中的应用研究(项目编号: HJ2024YB10)。

中图分类号: U491

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.02.005

0 引言

随着现代城市化进程的推进, 城市交通拥堵问题日益严峻, 特别是在交通枢纽的交叉口, 通行效率直接影响城市交通网络的流畅性。交叉口信号灯的设计和控制策略是交通管理中的关键因素。合理的信号灯配时可以有效缓解交通压力, 提高通行能力, 减少等待时间。然而, 许多交叉口的信号灯配时方案仍采用固定设置, 未考虑交通流量的波动和不同时间段的需求, 导致通行效率低下, 事故频发, 甚至加剧交通拥堵。在传统信号控制中, 黄灯闪烁时间通常是固定设置, 未根据交通流量的变化进行动态调整, 这种做法在高峰时段可能造成不必要的交通延误, 降低交叉口通行能力, 科学合理地调整黄灯闪烁时间成为关键问题。此外, 红绿灯配时方案也面临优化需求。传统的配时方式不能有效应对高峰时段的交通流量波动, 导致高峰期无法有效疏导交通。本文提出基于微分方程的优化模型, 分析武汉市典型交叉口的交通流数据, 探索动态调整信号灯配时的方案, 旨在为提高交叉口的通

行能力、改善交通状况提供借鉴。

1 问题提出

在城市交通管理中, 信号灯的设计和配时策略直接影响着道路交通的流畅性和安全性。黄灯作为红绿灯的过渡信号, 旨在给驾驶员提供足够的反应时间, 以避免红灯亮起时的紧急制动所引发的追尾事故。然而, 现有的许多交叉口的黄灯闪烁时间设置过于机械化, 未能考虑不同时间段、不同交通流量下的交通特点, 造成了交通流的低效运行, 甚至增加了交通事故的风险。尤其是在高峰时段, 许多交叉口的黄灯时间设置过长, 不仅影响了交通流的顺畅, 还导致了大量车辆在红灯亮起前的等待时间, 降低了交叉口的通行效率^[1]。

红绿灯配时, 即绿灯、红灯时间的分配, 通常是根据交叉口的交通流量、车辆类型等因素来设置的。然而, 许多交叉口仍采用固定的信号灯配时方案, 无法根据实时交通流量进行动态调整, 导致在交通高峰期车辆等待时间过长, 交叉口的通行能力大幅降低。这种固定的配时方式不适应复杂和多变的交通需求,

*本文通信作者, E-mail: 505730188@qq.com。

容易导致车辆拥堵、排队现象严重,增加了交通事故发生的概率^[2]。因此,交通管理部门亟需采用更加灵活和智能的配时策略,以提高交通流的整体效率和安全性。

此外,不同交叉口的交通需求差异较大,有的交叉口车流量较大,而有的交叉口则可能存在较为平稳的交通流量。为了提高交叉口的通行效率,需要根据实际的交通情况,动态调整红绿灯配时方案,以更好地适应交通流的变化。传统的交通信号配时方法往往难以应对这种变化,导致交通资源无法得到最优配置,进一步加剧了交通拥堵。为了解决这一问题,交通信号灯的智能化调整已成为研究热点之一^[3]。

微分方程作为一种数学工具,具有描述连续变化现象的优势,广泛应用于交通流的建模与分析。通过微分方程建模,可以准确地反映交叉口交通流的变化趋势,合理预测不同信号灯配时下的交通流状况,为优化信号灯配时提供理论依据。

此外,随着大数据和人工智能技术的发展,基于实时交通数据的动态优化模型也得到了广泛应用,进一步提升了交通信号灯配时的精准性和智能化水平^[4]。

因此,基于微分方程的信号灯配时优化模型,不仅能够改善交叉口的通行效率,还能有效降低交通事故的发生率,促进城市交通的可持续发展。

本研究通过建立黄灯闪烁时间与红绿灯配时优化的数学模型,探索一种基于交通流量变化的动态优化方法。以武汉市为例,通过实际数据验证该模型的有效性,旨在为城市交叉口的信号灯优化提供新的思路 and 方案,并为其他城市的交通管理改革提供参考依据。

2 模型建立

2.1 模型一:黄灯闪烁时间模型

交叉路口黄色信号灯的数学模型如下:

假设黄灯闪亮时间为 T ,则 $T=T_1+T_2+T_3$,其中 T_1 为驾驶员看到黄灯后的反应时间; T_2 为距停车线的刹车时间; T_3 为通过十字路口的时间。

在假设车辆长度一致,道路无维修、事故、违章等状况,不考虑天气、人流等对汽车行驶状况的影响下,令 m 为汽车质量, f 为摩擦系数, x 表示行驶距离,因此刹车制动力为 fmg ,根据加速度公式,有黄灯闪亮时间模型:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = -fmg$$

此方程初始条件是 $x(0)=0, \left. \frac{dx}{dt} \right|_{t=0} = v_0$ 。

假设道路交叉口长度为 L ,假设车身长度为 I ,则汽车通过路口的时间 $T_3 = \frac{I+L}{v_0}$,黄灯闪烁时间理论上应为 $T=T_1+T_2+T_3=T_1+\frac{v_0}{2a}+\frac{I+L}{v_0}$,其中, a 表示当在停车线前汽车开始减速时的减速度。

为了提高路口黄灯效率,我们考虑左拐车辆只要在对向直行车辆到达冲突点之前通过冲突点即可,并考虑在模型中把初始速度设定为常数 v_0 不合实际,因此,假设汽车驶入路口的速度 $v \sim U(v_0 - \frac{\Delta v}{2}, v_0 + \frac{\Delta v}{2})$,则 $T = \frac{1}{\Delta v} \int_{v_0 - \frac{\Delta v}{2}}^{v_0 + \frac{\Delta v}{2}} T(x) dx$ 。

最后综合修改,可以得到黄灯闪烁时间模型为:

$$T = T_1 + \frac{v_0}{2a} - (T_1 + \sqrt{\frac{2L}{a}}) + \frac{I + (L - L_1)}{v_0} \ln \frac{2v_0 + \Delta v}{2v_0 - \Delta v} \quad (1)$$

2.2 模型二:红绿灯时间优化模型

车辆在到达一个交叉口遇到拥堵时,据统计,司机在平均等待300s左右的时间时会出现厌倦情绪。因此,当第一辆车到达路口时,假设后面有 n 辆车,那么第 n 辆车如果能在300s内通过路口即交叉口交通相对通畅^[5]。

设第 n 辆车车头与信号灯距离为 S ,那么 $S=(n-1)(I+l)$,其中 l 表示两车之间的最小车距。

首先需要统计等待红绿灯的车辆数,通过超声波回声定位法和测速仪测量车辆速度,假设测速仪测量结果为 v_0 ,在交叉口安装超声波设备,在无车辆通过时超声波的往返时间为 t_0 ,当有车辆经过时往返时间会缩小,结合时间差可以计算出车辆长度 $I=v_0 t_0$,可以利用以下程序统计某车道上的车辆数。

```
#include<stdio.h>
int main() {
    double t,t0=*; // 假设 t0 为无车时的超声波往返时间
    int j = 0; // 初始化车辆计数器
    // 假设 t0 已经通过某种方式被设置为无车时的超声波往返时间
    for ( int i = 0; ; i++ ) {
        scanf ( "%lf", &t); // 读取当前超声波往返时间
        if ( t < t0 ) {
            j++; // 如果时间小于 t0, 则认为有车辆经过
        }
        printf ( "%f\n", t); // 打印当前时间
```

```
// 这里可能需要添加退出循环的条件
}
return 0;
}
```

接下来用微分方程求最小车距, 假设前车位置 $x_{n-1}(t)$, 后车位置 $x_n(t)$, 前后车速度差忽略, 司机反应时间 T_1 , 停车后应保持车距 l' , 则可得等式:

$$x_n(t) - x_{n-1}(t) = T \cdot \frac{dx_n(t)}{dt} + l'$$

两边同时求导得:

$$\frac{dx_n(t)}{dt} - \frac{dx_{n-1}(t)}{dt} = T \cdot \frac{d^2x_n(t)}{dt^2} = v(t)$$

综上, 得到最小车距 $l_0 = v(t) + l'$ 。

假设在 300 s 的等待时间中, 红绿灯信号改变了 k 次, 每次红灯时间为 $t_{\text{红}}$, 黄灯闪烁时间为 $t_{\text{黄}}$, 则 $S_0 = v(t) [300 - \frac{(k+1)}{2} t_{\text{红}} - kt_{\text{黄}}]$, 即在实际中可根据车速计算出 S_0 和车辆数 N_0 , 当车道上滞留车流长度大于 S_0 或等待车辆数大于 N_0 时, 则应减少红灯时间或增加绿灯时间, 以此疏通交通。

3 数值计算

3.1 模型一

根据研究和统计数据, 驾驶员典型的反应时间在 1~2 s, 此处假设 T_1 为 2 s, 沥青路面摩擦系数为 0.5~0.9 之间, 此处假设 0.7, 车长平均 5 m, 武汉市机动车经过城市道路交叉口的平均速度为 20 km/h (即 5.56 m/s), 武汉市关山大道与南湖大道道路交叉口单向 30 m。根据公式 (1) 代入以上数据, 得黄灯闪烁时间为 5.5 s, 而实际变化过程中闪烁时间只有 3 s, 应根据时间情况适当延长。

3.2 模型二

根据观测显示, 武汉市关山大道与南湖大道道路交叉口东西向长度 30 m, 车长和机动车平均速度假设与模型一相同, 则根据模型二结果计算最小车距, 最后得到 $S_0 = 161$ m 和 $N_0 = 23$ 。在实际上下班高峰期, 该向车道滞留车辆平均约为 28 辆, 故应适当延长绿灯时间, 与其他交叉口进行统一协调调度^[6]。

4 结论

本文基于微分方程的思想, 深入探讨了交叉口信号灯控制中的黄灯闪烁时间与红绿灯配时优化问题, 提出了两种优化模型, 旨在提高交通流效率, 减少事

故风险, 并为智能交通管理提供理论支持。

第一个模型通过分析交通流量与黄灯时间的关系, 提出了动态调整黄灯闪烁时间的优化方案, 能够根据实时流量的变化和交通密度的波动, 合理地调整黄灯闪烁时间, 从而避免了传统静态配时方法带来的过度等待或不必要的延误。

第二个模型进一步考虑了红绿灯配时与车辆速度、交通流量的关系, 提出了基于实时流量监测的优化方法, 通过获取实时交通数据来动态调整信号灯配时, 以最大化通行能力并有效降低交叉口的拥堵情况。为了验证模型的实际效果, 研究以武汉市典型交叉口的交通数据为基础, 进行了数值模拟计算, 验证了模型在高峰时段和不同交通条件下的有效性。

研究表明, 基于微分方程的优化方法能够有效提高交叉口通行能力, 减少等待时间, 降低事故发生率, 提高交通效率, 该优化方案还为城市交通管理提供了科学、灵活的决策支持, 能够根据实时交通数据做出及时的调整, 保障交通安全并减少资源浪费。尽管本研究取得了一定进展, 但模型中仍有改进空间, 未来研究可进一步优化车辆速度估算与检测精度, 考虑更多实际因素, 如道路条件与天气。同时, 随着人工智能和机器学习的发展, 结合智能算法的信号灯优化方法将实现更精确的控制, 并能够通过自学习不断优化配时策略。

参考文献:

- [1] Wu,J.,Li,X.&Zheng,L.Optimization of traffic signal timing based on traffic flow model[J]. Mathematical Problems in Engineering,2020,1-9.
- [2] Xie,K.&Qian,Z.Dynamic traffic signal optimization based on real-time traffic data[J]. Journal of Advanced Transportation,2021,1-14.
- [3] 陈宇,王凯,刘畅等.基于微分方程的交通信号灯配时优化模型研究[J].交通运输工程学报,2020,20(03):75-83.
- [4] 张雷,王欣,刘伟.基于交通流量的智能交通信号灯控制方法[J].智能交通系统,2021,15(04):45-52.
- [5] 李四光,张强,吴江.高峰时段交通信号灯配时优化方法研究[J].公路交通科技,2022,39(05):120-127.
- [6] 黄建华,陈浩,邓小锋.基于车流量和等待时间的交通信号优化方法[J].交通信息与控制,2019,17(06):95-102.

计算机网络安全风险评估模型的构建与应用

梁冰芳

(包头钢铁职业技术学院, 内蒙古 包头 014010)

摘要 为了提升计算机网络安全风险评估的科学性与实用性, 构建基于多维度、多层次指标体系的评估模型, 研究以熵权法与模糊层次分析法结合的权重分配方法为核心, 设计分层递进的评估架构并优化改进的BP神经网络算法, 分析风险数据并验证模型应用效果。结果表明, 该模型能够有效识别和量化网络安全风险, 评估结果准确性较高, 适用于复杂多变的网络环境, 具有广泛的实践价值与推广意义。

关键词 计算机网络安全; 风险评估模型; 熵权法; 模糊层次分析

中图分类号: TP393.08

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.02.006

0 引言

随着信息技术的快速发展, 计算机网络已成为社会运行的重要基础, 但随之而来的网络安全风险也愈发严峻。网络攻击手段日益复杂化、多样化, 传统的安全防护机制难以全面应对潜在威胁。构建科学、系统的网络安全风险评估模型, 不仅是保障网络运行安全的重要技术手段, 也是提升管理效率与优化资源配置的关键路径。风险评估模型的研究可为安全策略制定提供精确的数据支持, 进一步促进网络安全体系的动态调整与持续优化, 为构建可靠的网络安全环境奠定基础。

1 计算机网络安全风险评估指标体系构建

1.1 风险评估指标选取原则

在构建计算机网络安全风险评估指标体系时, 需要遵循科学性、系统性、可操作性和动态性四大基本原则。科学性原则要求所选取的指标能够准确反映网络安全风险的本质特征, 确保评估结果的客观性和准确性; 系统性原则强调指标体系应当全面涵盖网络安全的各个层面, 既要考虑技术层面的安全威胁, 也要关注管理制度和人员行为带来的潜在风险, 同时各指标之间应具有合理的层次结构和逻辑关系; 可操作性原则要求选取的指标应易于量化和测量, 评估过程应具有可实施性和可重复性, 避免选择过于抽象或难以获取数据的指标; 动态性原则则强调指标体系应具有适应性和灵活性, 能够随着网络技术和安全形势的变化进行及时调整和优化^[1]。

1.2 风险评估指标分类

计算机网络安全风险评估指标可从技术维度、管理维度和人员维度三个方面进行分类。技术维度指标

主要包括网络架构安全、系统安全、应用安全和数据安全等方面, 具体涉及防火墙配置、入侵检测、访问控制、加密算法、漏洞扫描等技术指标; 管理维度指标主要关注安全策略制定、制度执行、应急响应、资产管理等方面, 包括安全管理制度完善程度、安全事件处置流程、安全审计记录等; 人员维度指标则着重评估人员安全意识、操作规范性、培训效果等因素, 包括员工安全意识水平、违规操作频率、安全培训覆盖率等具体指标。

1.3 指标权重确定方法

在确定各评估指标的权重时, 采用熵权法和模糊层次分析法相结合的方式。熵权法是一种基于信息熵理论的客观赋权方法, 通过计算指标的信息熵来确定权重, 其计算过程如下^[2]: 首先对原始数据进行标准化处理, 然后计算第 j 个指标下第 i 个样本值的比重 p_{ij} , 接着计算第 j 个指标的信息熵 e_j , 最后得到第 j 个指标的权重 w_j 。而模糊层次分析法则是一种主观赋权方法, 通过构建判断矩阵, 计算特征向量, 并进行一致性检验来确定各指标的权重。两种方法的结合使用可以既保证权重确定的客观性, 又能体现专家的主观判断, 使得最终的权重分配更加合理。

1.4 指标体系模型构建

基于上述指标分类和权重确定方法, 构建一个多层次、多维度的网络安全风险评估指标体系模型。该模型采用层次结构设计, 由目标层、准则层和指标层组成。目标层为网络安全风险综合评估值, 准则层包括技术维度、管理维度和人员维度三个方面, 指标层则包含具体的评估指标。该模型不仅考虑了各指标之间的关联性, 还通过权重分配体现了不同指标的重要程度, 使评估结果能够更加准确地反映网络安全风险状况。

2 计算机网络安全风险评估模型设计

2.1 模型总体架构

计算机网络安全风险评估模型采用分层递进的架构设计，主要包括数据采集层、风险识别层、风险分析层和风险评估层四个核心层次。数据采集层负责通过自动化扫描工具、系统日志分析、问卷调查等多种方式收集网络安全相关数据^[3]；同时，增加基于人工智能技术的数据预处理模块，通过自然语言处理（NLP）解析日志文本信息，利用机器学习算法对采集数据进行清洗、分类和异常检测，从而提高数据质量与分析效率。风险识别层基于收集的原始数据，运用漏洞扫描、威胁建模等技术手段识别潜在安全风险。风险分析层采用定量与定性相结合的方法对已识别的风险进行深入分析。风险评估层则根据分析结果计算最终的风险评估值。在风险分析和评估层，引入改进的 AI 算法（如随机森林、深度神经网络等）以优化风险量化过程，并动态调整风险权重，以适应复杂多变的网络环境。模型各层次之间通过标准化的数据接口进行信息交换，确保评估过程的连续性和完整性。其中，风险评估层采用改进的 BP 神经网络算法处理来自下层的分析数据，通过训练样本优化网络参数，提高评估结果的准确性。

2.2 风险识别方法

采用资产导向与威胁导向相结合的风险识别方法。首先，通过资产清查建立完整的资产清单，包括硬件设备、软件系统、数据资源等，并对资产进行分类和价值评估。然后，基于 STRIDE 威胁模型识别潜在安全威胁，该模型涵盖假冒身份、篡改数据、抵赖、信息泄露、拒绝服务和提升权限六类典型威胁。同时，结合 CVE 漏洞库和 CNVD 漏洞库的最新数据，使用自动化扫描工具对系统进行全面漏洞扫描。在此基础上，建立资产—威胁—漏洞关联矩阵（见表 1），用于量化描述资产面临的具体威胁和存在的漏洞，矩阵元素取值范围为 [0, 1]，其中 0 表示无关联，1 表示完全关联，中间值表示部分关联程度。这种多维度的风险识别方法能够系统地发现和记录各类潜在安全风险，为后续的风险分析提供可靠的数据基础。

表 1 相关关联矩阵

资产 / 威胁类型	假冒身份	篡改数据	抵赖	信息泄露	拒绝服务	提升权限
网络设备	0.8	0.6	0.4	0.7	0.9	0.5
服务器系统	0.9	0.8	0.6	0.8	0.7	0.8
应用系统	0.7	0.9	0.7	0.6	0.5	0.7
数据资源	0.5	0.9	0.8	0.9	0.4	0.6

2.3 风险分析技术

采用定量与定性相结合的风险分析技术，主要包

括威胁程度分析、脆弱性分析和影响程度分析三个维度。威胁程度分析采用改进的贝叶斯网络模型，通过历史安全事件数据训练网络参数，计算各类威胁发生的概率；脆弱性分析基于 CVSS 评分系统，综合考虑漏洞的基础评分、时间维度评分和环境维度评分，得出系统脆弱性指数；影响程度分析则采用层次分析法，从资产重要性、业务影响范围和恢复难度三个方面进行评估。三个维度的分析结果通过以下风险计算公式综合得出风险值^[4]：

$$Risk = Threat \times Vulnerability \times Impact$$

其中：Threat 为威胁程度值，取值范围 [0, 1]；Vulnerability 为脆弱性指数，取值范围 [0, 1]；Impact 为影响程度值，取值范围 [0, 1]。

2.4 风险等级划分

基于风险分析结果，将网络安全风险等级划分为五个层次：极高风险（I 级）、高风险（II 级）、中等风险（III 级）、低风险（IV 级）和可忽略风险（V 级）。风险等级划分标准考虑风险值（R）、威胁级别（T）和影响程度（I）三个因素，并根据具体数值范围确定分类标准。其中，极高风险（I 级）指风险值、威胁级别和影响程度均不低于 0.8，需要立即处理；高风险（II 级）对应 0.6 至 0.8 之间，需优先处理；中等风险（III 级）为 0.4 至 0.6 之间，处理可纳入计划安排；低风险（IV 级）为 0.2 至 0.4 之间，仅需持续监控；可忽略风险（V 级）低于 0.2，可接受风险存在。

2.5 模型算法实现

核心算法采用改进的 BP 神经网络结构，包含输入层、隐藏层和输出层。输入层节点对应各个风险评估指标，隐藏层采用双隐层结构以提高网络的非线性映射能力，输出层对应最终的风险评估结果。网络的训练采用 Levenberg-Marquardt 优化算法，以均方误差作为性能函数。为了防止网络过拟合，采用早期停止法进行训练，并引入正则化项。主要算法实现步骤包括：数据预处理、网络结构初始化、权重优化训练、模型验证和结果输出。通过这种改进的 BP 神经网络算法，能够有效处理多维度的风险评估指标，并生成准确的风险评估结果。

3 计算机网络风险评估模型的实证应用

3.1 案例选取与环境

选取某省级电力企业的信息系统作为实证研究对象，该企业拥有完整的信息化基础设施，包括核心业务系统、办公系统和生产控制系统等。网络环境由企业内网、外网和生产控制网络构成，共有服务器 156 台、网络设备 89 台、终端设备超过 2 000 台^[5]。系统架构采用三层结构：接入层、汇聚层和核心层，并配备了

防火墙、入侵检测系统、漏洞扫描系统等安全设备。近三年内该企业曾发生过3起较大规模的安全事件，分别是DDoS攻击、勒索软件感染和数据泄露事件，这些事件对企业造成了不同程度的影响，为本次风险评估提供了重要的历史数据支撑。评估环境选择在企业正常运营期间进行，以确保采集的数据具有真实性和代表性。

3.2 评估指标数据收集

评估指标数据的收集采用自动化扫描与人工调研相结合的方式，数据收集周期为3个月。技术维度数据主要通过安全设备日志分析、漏洞扫描工具和网络流量监测获取，具体包括系统漏洞数量、安全补丁更新率、病毒感染率、非法访问次数等指标；管理维度数据通过文档审查、现场走访和问卷调查方式获取，重点关注安全制度执行情况、应急预案完备性、安全投入比例等方面；人员维度数据则通过员工安全测评、行为监测和培训记录分析获得。数据收集过程严格遵循标准化流程，确保数据的准确性和可比性。

3.3 风险评估模型实施

风险评估模型的实施分为四个阶段：数据预处理、风险识别、风险分析和风险评估。数据预处理阶段对收集的原始数据进行标准化处理，采用极值法进行数据归一化；风险识别阶段运用改进的STRIDE威胁模型对系统进行全面扫描，识别出47个潜在安全威胁；风险分析阶段使用改进的BP神经网络算法，网络结构为24-16-8-1，采用Levenberg-Marquardt算法进行训练，训练样本包括历史安全事件数据和模拟数据共200组。在模型训练过程中，学习率设为0.05，动量因子为0.9，最大迭代次数为1000次，当验证集误差连续6次上升时停止训练。通过交叉验证确定最优网络参数，最终模型在测试集上的均方误差为0.0082，相关系数为0.936，表明模型具有良好的泛化能力。

3.4 评估结果分析

基于风险评估模型的计算结果，该企业的整体网络安全风险等级为II级（高风险），综合风险值 $R=0.726$ 。具体分析表明：技术维度风险贡献度最高，占比达到45.3%，主要风险点集中在系统漏洞修复不及时和访问控制策略不严格两个方面；管理维度风险占比为32.8%，突出问题是安全制度执行不到位和应急响应机制不完善；人员维度风险占比为21.9%，主要体现在员工安全意识参差不齐和操作规范性不足。通过对评估结果的深入分析，识别出12个关键风险点，并按照风险等级从高到低排序，形成风险处置建议清单。评估结果还显示，相比上一年度的评估数据，该企业的整体风险值上升了8.2%，主要由于新业务系统上线带来的安全挑战和外部威胁形势加剧所致。

3.5 模型优化建议

为进一步优化计算机网络安全风险评估模型，可以从以下方面入手：第一，广泛应用人工智能技术以提升模型性能。通过引入深度学习算法（如卷积神经网络、图神经网络等）增强模型对复杂网络威胁的识别能力，同时结合时间序列分析技术，提高对持续性风险的预测能力。第二，在数据采集与处理环节，部署基于AI的实时监控系統，通过智能感知设备自动识别威胁模式并生成数据标签，提升数据输入质量。第三，在指标体系中，增加动态权重调整机制，利用自适应算法实时调控权重，以适应多变的网络安全环境。模型算法层面，引入多模型集成策略，将改进的BP神经网络与随机森林、XGBoost等算法结合，充分利用不同模型的优势，提高风险评估的鲁棒性和泛化能力。第四，面向网络等保体系的需求，结合AI技术构建基于等保2.0标准的自动化评估模块，为网络等级保护合规提供智能化支持。第五，在风险评估层，增加对交互式可视化工具的支持，使评估结果更易于理解和应用。此外，结合强化学习技术设计自动优化框架，使模型能够在动态环境中自主迭代与提升，最终实现更精准的网络安全风险预测与决策支持。

4 结束语

计算机网络安全风险评估模型的构建与应用需注重科学性、系统性和动态适应性，通过多层次指标体系和优化算法实现精准风险评估。未来，应重点发展基于人工智能的智能化评估方法，包括引入图神经网络、多模态学习等前沿技术，进一步优化风险识别和评估过程。此外，可结合网络等级保护2.0标准，开发面向行业应用的智能化评估工具，促进网络安全管理的规范化与自动化。结合大数据与人工智能技术提升模型的动态更新能力与决策支持水平，以应对复杂多变的网络安全形势。

参考文献：

- [1] 原毅,左斌,颜峰.基于层次分析的网络安全风险评估方法[J].网络安全技术与应用,2024(08):46-48.
- [2] 路凯,刘歆宁.计算机网络信息安全风险评估标准与方法研究[J].软件工程,2024,27(06):34-38.
- [3] 杨亮.基于人工智能技术的计算机网络安全风险评估系统设计[J].电脑知识与技术,2024,20(16):117-119.
- [4] 李薇.基于区块链的计算机通信网络安全风险评估[J].信息技术,2024(02):148-153.
- [5] 高语,单芳芳.基于改进神经网络的信息安全风险评估模型与指标体系构建研究[J].佳木斯大学学报:自然科学版,2024,42(02):28-31.

电力自动化系统与 10 kV 配电网运行管理分析

石 岩

(国家电网西安市长安区供电公司, 陕西 西安 710100)

摘 要 电力自动化系统与 10 kV 配电网的运行管理是现代电力工程中的重要课题, 其核心在于利用先进技术优化电网运行效率, 提高供电可靠性。本研究围绕电力自动化系统的组成与功能、智能化技术的应用以及 10 kV 配电网运行的关键环节展开探讨, 深入分析了电力自动化与配电网协同管理的策略, 包括数据共享、负荷调节方案以及智能配电网的全生命周期管理, 揭示了智能化和协同化技术对电网管理的深远影响, 并提出未来发展的方向, 以期为相关人员提供借鉴。

关键词 电力自动化; 10 kV 配电网; 智能化技术; 数据共享; 全生命周期管理

中图分类号: TM76

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.02.007

0 引言

随着电力需求的快速增长和供电安全性要求的不断提高, 传统电力系统的运行模式已难以满足现代化电网的复杂需求。电力自动化系统作为电网智能化的重要组成部分, 通过高效的数据采集、故障检测和自动控制能力, 为配电网的运行管理提供了技术支撑。如何利用智能化技术实现电力自动化系统与配电网的深度融合, 是提升电网运行效率和可靠性的关键。本文从技术与管理的双重角度出发, 探讨电力自动化系统与 10 kV 配电网在数据共享、负荷调节以及全生命周期管理中的协同策略, 旨在为构建高效、智能的现代电力网络提供参考。

1 电力自动化系统的基本组成与功能

电力自动化系统是现代配电网运行的核心, 其通过集成先进的传感技术、通信协议、控制算法和大数据分析, 实现了电网的实时监测、故障诊断、自动隔离与恢复等功能。例如, 智能配电终端采用模块化设计, 内置高性能处理器和多种通信接口, 支持 IEC 61850、DNP3 等标准协议, 可灵活接入各类传感器和执行器, 实时采集线路电流、电压、功率等参数, 并通过边缘计算实现毫秒级的保护动作^[1]。监控模块是电力自动化系统的基础部分, 其作用在于实时感知并记录电力网络中的关键运行数据, 如电压、电流、频率等, 通过与智能终端和传感设备的协作, 该模块能够形成多维数据流, 为后续的运行分析和控制提供可靠的依据。为确保监控的精准度, 电力系统通常依赖高精度传感器和分布式数据采集设备的支持, 数据通过高速通信网络传递至中央控制单元, 通过对这些数据进行智能

化处理, 监控模块不仅停留于“记录”层面, 更成为电网运行决策的重要参考。另外, 保护模块通过精密的故障检测技术实时监测电网运行状态, 针对短路、过载或其他异常现象采取自动化隔离措施, 确保非故障区域的电力供应稳定运行, 保护模块的设计高度依赖逻辑判断和自适应控制技术。现代保护装置在硬件层面整合了高速处理器, 能够在微秒级完成信号分析和决策, 而在软件层面, 结合动态保护算法和多场景学习模型, 使其具备了更高的灵敏性和判断力。例如, 针对复杂电网中可能出现的跨区故障, 保护模块能够通过综合数据建模精确锁定故障位置, 避免因局部问题导致整个电网瘫痪。

2 智能化技术在电力自动化系统中的应用

智能算法能够从复杂的电力运行数据中提取关键模式, 对不同负荷峰谷进行分类, 并基于场景模拟提前调整输配电策略, 这种预测能力直接改善了供需平衡, 使供电企业能够规避高峰时期的电网压力, 同时避免能源浪费。例如, 深度学习模型通过结合天气数据、历史用电记录以及实时负荷信息, 建立起全局性的负荷调节方案, 可以提升系统对突发情况的响应速度, 也使负荷分配更具前瞻性, 这种精准的调节能力为电网运行提供了更高的可靠性和经济性。另外, 通过先进的机器学习算法和多传感器数据融合, 系统可以在故障发生后第一时间定位故障点, 并根据预设策略实现自动隔离与恢复, 与传统依赖人工排查的方式相比, 这种智能化方式大幅度缩短了故障处理时间, 降低了对供电区域的影响。更重要的是, 智能技术的介入使得系统具备了预测故障的能力, 通过对设备运行参数

的持续监控，系统可以识别潜在的异常趋势，从而提前采取维护措施，避免事故发生。

3 10 kV 配电网运行管理的关键环节

3.1 配电网规划与结构优化

在10 kV配电网运行管理中，传统的线性规划方式难以适应现代用电需求的多变性，而结合大数据分析和负荷预测的优化技术为此提供了全新的解决思路，通过收集并分析历史用电数据、地理信息及区域经济活动特征，优化算法能够识别用电高峰区域，进而调整线路路径与变压器配置。与此配套的是电网分区供电模式的引入，以模块化的方式管理不同片区的用电需求，能够有效降低线损并简化维护流程。同时，采用环网供电模式或主干一分支混合模式，能在供电稳定性与经济性之间取得平衡，这种设计可以在突发故障时快速切换供电路径，减少停电时间，提升电网整体运行的冗余度与灵活性^[2]。随着分布式能源接入的日益普及，传统单向供电结构难以适应双向功率流的需求，因此在规划阶段需引入适应性设计原则，确保新建或改造的配电网能够无缝支持分布式光伏、风电及储能系统的接入。这一目标的实现依赖于智能设备的引入，如具有通信与远程控制能力的断路器及传感器，这些设备可以实时监测电网运行状态，还可在负载变化或故障发生时迅速作出调整，从而降低电网压力并提高供电质量。并且结合先进的数字孪生技术，通过模拟运行状态对规划方案进行多轮验证，可以提前发现潜在瓶颈并优化方案设计，减少后期改造成本。

3.2 故障诊断与快速恢复技术

在10 kV配电网的运行管理中，传统故障诊断方式依赖人工巡检，存在响应时间长、定位精度低的问题，而现代技术通过引入智能化和自动化手段，可以显著提升效率与精准度，故障定位技术中的基于电流波形和电压波动的在线监测方法尤为关键，通过在配电线路关键节点布设高灵敏度传感器，实时采集运行数据并上传至中央控制平台，系统能够借助模式识别算法快速辨别异常点。同时，结合大数据分析与历史运行数据对比，故障特性得以被细化，从而精确识别故障类型及发生位置，这一智能诊断机制的核心在于它能够在复杂电网环境中动态调整参数，应对负荷波动或外界扰动的影响。对于复杂故障场景，还可以利用分布式故障检测系统，将诊断任务分解至各分区节点，提高整体响应速度。快速恢复技术则聚焦于故障后的供电恢复，通过与故障诊断模块联动，系统能够迅速隔离故障区域并重新配置电力流向，而自愈功能的引

入使这一过程更加智能化^[3]。以自愈算法为例，当检测到某一区域供电中断时，系统会在毫秒级完成备用线路的动态评估与切换，无需人工干预即可恢复供电。快速恢复中还需要特别关注电网结构的拓扑优化，通过为每一供电单元预留备用路径，配合智能调度系统的实时优化，最大程度地限制停电范围。

3.3 配电网的设备维护与升级

在10 kV配电网的运行管理中，在线状态监测系统是当前维护技术的核心，通过在设备关键节点安装传感器，可以实时捕捉运行参数的微小波动，如温度、振动和电流异常等。利用这些实时数据，管理系统能够快速识别设备的运行状态，预测潜在的故障风险并提前采取措施，这种基于数据驱动的预维护模式可以提高设备的稳定性与可靠性，避免传统维护中“定期但盲目”的问题。同时，通过智能分析工具，可以对设备的运行寿命进行科学评估，为设备更换和系统升级提供重要的决策支持。设备升级则侧重于对配电网关键部件的性能提升，尤其是在智能化与数字化转型的背景下，智能开关设备的引入可以根据电网运行状态实时调整自身参数，在负载突变或线路异常时迅速响应，保障电网稳定运行。配电变压器的智能化改造也是升级的重要方向，通过嵌入通信模块和数据采集单元，变压器能够与电网其他设备形成信息交互，为全网的优化运行提供支持^[4]。配合先进的数字孪生技术，通过对设备运行场景的动态模拟，可以在升级规划中充分验证新设备的可行性和有效性，从而降低实施风险。

4 电力自动化系统与10 kV配电网的协同管理策略

4.1 电力自动化与配电网运行数据的共享

通过构建统一的数据交互平台，电力自动化系统与配电网能够在运行状态、故障信息以及负荷数据等方面实现无缝联动，这种共享机制依托高速通信网络和分布式存储技术让海量数据能在不同系统之间实时传输和处理。例如，配电网各节点传感器采集的电流、电压波动数据，通过边缘计算设备进行初步分析后，将关键信息上传至自动化系统的中央控制单元。中央系统结合历史数据和实时信息，动态调整调度策略，确保供电稳定，在这一过程中，数据的共享不仅打破了传统系统信息孤岛的限制，还显著提高了系统的响应速度和优化能力。另外，通过将配电网的运行数据与电力自动化系统的预测模型联通，系统能够实时监控线路运行状况，并对潜在风险进行预警，如电力自动化系统可以通过分析共享的负荷数据，预测可能出

现的过载风险,进而动态调整负荷分配,避免设备因过载而损坏^[5]。同时,故障诊断模块通过接入配电网传感器的数据流,能够迅速识别故障位置并触发自动化保护装置隔离故障区域,减少停电范围,这种基于数据共享的联动机制可以提升故障处理的精准性和效率,为供电系统的安全运行提供了全方位保障。通过数据共享的深入应用,电力自动化系统与 10 kV 配电网的协同效应被最大化发挥,为智能电网的发展奠定了坚实的基础。

4.2 基于电力自动化的负荷调节方案

在电力自动化的支持下,通过整合实时监测数据与历史运行数据,系统能够针对负荷波动做出精准预测,并动态调整配电网的运行参数以实现供需平衡,这种基于电力自动化的负荷调节方案,以智能算法为核心,能够从多维度分析影响负荷变化的关键因素,包括气候条件、用户行为模式和区域经济活动等。系统通过部署分布式传感器实时获取负荷数据,并结合深度学习模型生成精准的负荷需求曲线,为负荷分配提供科学依据。例如,在用电高峰时段,系统可通过自动化调节减少低优先级区域的供电负荷,优先保证关键区域的用电需求,同时通过合理分配储能装置释放的电量,减轻主网压力。随着光伏、风电等分布式能源的普及,传统电网的单向供电模式已被双向能量流动所取代,给负荷调节带来了新的复杂性,通过电力自动化系统,配电网能够实时监控分布式能源的发电量和接入情况,并将其纳入整体调节框架^[6]。智能化负荷调节方案可以根据分布式能源的实时输出动态调整电网的运行策略,如优先利用分布式能源满足局部负荷需求,同时通过协调控制将多余电量并入主网,这种优化措施能够减少对传统火电的依赖,提升可再生能源的利用效率,为绿色低碳电网的建设提供了重要支撑。配合智能断路器与自适应调度算法的使用,整个调节过程可以在毫秒级完成,真正实现负荷调节的高效化与智能化,这种基于电力自动化的负荷调节方案体现了技术与管理的深度融合,更为电网的可持续发展奠定了坚实的基础。

4.3 智能配电网的全生命周期管理

在规划设计阶段,数字孪生技术的引入成为全生命周期管理的关键。通过对配电网的数字化建模,运营者可以提前模拟不同运行场景,评估规划方案的可行性与效率,这种基于虚拟环境的分析能够识别潜在的瓶颈与风险,避免传统规划中因假设偏差导致的资源浪费与后期改造成本。数字孪生技术还支持对负荷

预测和资源分配的动态优化,为配电网的长远发展提供数据支撑,这一阶段的核心在于系统性思维,将电网的各个组成部分纳入整体框架中进行规划,为后续运行阶段奠定稳定、高效的基础。在运行维护与升级环节,智能配电网全生命周期管理依赖于实时监控与智能分析工具的深度融合,这一过程中,传感器网络与边缘计算设备形成了强有力的监测体系,能够持续采集设备运行数据,并在本地完成初步分析。实时监控不仅能帮助运营者快速响应突发问题,还为长期趋势分析与设备性能评估提供了重要的数据基础。同时,人工智能技术在故障预测中的应用显著提升了维护的精准度,通过对历史运行数据与实时监控数据的对比,系统能够准确定位设备的潜在隐患并发出预警。升级改造阶段,则需结合电网运行的大数据分析结果,对老旧设备进行针对性优化与更换,同时为新技术接入留出足够的扩展空间。

5 结束语

通过对电力自动化系统与 10 kV 配电网运行管理的分析可以看出智能化和协同管理在现代电网中的重要性。从数据共享到负荷调节,再到全生命周期的智能化管理,每一个环节都展示了技术与管理深度融合的价值,这种模式可以提升配电网的运行效率,还为电力系统的长远发展提供了新的思路。随着人工智能、大数据和物联网等新技术的进一步应用,电力自动化与配电网协同管理将迈向更加智能化的阶段,为绿色、稳定的电力系统建设提供坚实的保障。

参考文献:

- [1] 施锦月,张郁,贾露露,等.基于电力自动化系统的配电网供电可靠性提升技术研究[J].中国高新科技,2024(17):77-79.
- [2] 凌峰,郁从丽,袁一凡,等.基于改进遗传算法的低压配电网无功补偿自动优化方法[J].自动化应用,2024,65(15):258-259,264.
- [3] 谢旭峰,陈上上,潘攀,等.电力配网自动化系统配变终端电能质量综合治理功能设计探究[J].现代工业经济和信息化,2024,14(07):110-113.
- [4] 尹晓战.10kV配电网故障定位系统的研究[J].电工技术,2022(02):99-100,104.
- [5] 唐冠宏,黄潘永.改进决策树对10kV配电网分支线断线故障诊断与定位的优化分析[J].电工技术,2021(10):129-132.
- [6] 萧新敏.浅谈电力自动化系统与10kV配电网运行管理[J].技术与市场,2021,28(02):177-178.

基于无人机和地拍结合实施的 3D 建模技术应用

王立超

(中交一航局第四工程有限公司, 江西 南昌 330100)

摘要 在工程施工领域, 精准的 3D 建模至关重要。本研究开展以无人机与地拍结合实施的 3D 建模工程应用研究, 创新地融合航拍和地拍技术, 以弥补各自缺陷, 提升航拍精度, 从而提升建模精度。选用大疆悟 2 无人机及 SONY α 7R4 相机等设备, 按照流程采集拍摄影像, 经 ContextCapture 软件处理, 其凭借 SIFT 与 SURF 算法及良好兼容性, 得到更加精细的 3D 模型数据。天津海河柳林工程项目尽管受城市飞行限制、候鸟迁徙等因素影响, 但运用该方法有效应对了本项目的复杂环境, 全面记录了施工各阶段。结果表明, 通过该模型与 BIM 技术融合, 为工程管理提供了可视化交底、多维度进度掌控及安全质量监控, 对保障施工、降本增效、推动工程数字化发展起到了积极的作用。

关键词 无人机; 地拍; 3D 建模

中图分类号: TU198.3

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.02.008

0 引言

在智能化时代的背景下, 越来越多的学者在实景拍摄与建模结合领域进行深入研究, 并且取得了一定的高质量成果。李朋伟^[1]等凭借无人机遥感测绘技术对矿山地质地貌开展勘查工作, 所撰写的评价报告为矿山开发规划提供了关键依据, 精准指引资源合理利用路径; 刘颖^[2]等专注于道路工程检测, 巧妙地运用无人机实景 3D 建模技术全方位监测路床水平状况, 高效获取了精确数据, 深度剖析了路面平整度与承载性能, 为道路工程品质与行车安全提供了有力保障。杨莎莎^[3]等研究岩体施工方案优化, 积极融合无人机航拍与 3D 建模技术, 对工程主体稳定性进行严格评估, 为施工方案优化筑牢坚实理论支柱, 确保工程稳固推进。张特^[4]等聚焦多运动体系统领航者与跟随者同受扰的跟踪控制难题, 针对 3-DOF 直升机角度轨迹协同跟踪, 设计分布式鲁棒算法, 借估计器补偿扰动, 经仿真与“虚实结合”验证其有效性及必要性, 剖析误差界与参数关联及渐近跟踪条件, 为系统精准控制提供支撑。天津海河柳林项目施工子项多, 并且施工区域横跨天津市河西、河东、东丽、津南四个区域, 十分有必要采用地拍与航拍相结合的技术, 在项目应用中进一步完善建模, 提高结果的准确性, 分析无人机以及地拍所呈现的拍摄过程的底层原理, 并利用 ContextCapture 软件生成施工现场 3D 模型的理论, 得到更加准确的结果。

1 无人机拍摄流程

对于复杂的施工情况以及偶然性的多变天气, 本文结合工程项目实际情况以大疆无人机悟 2 机型作为参考对象来进行航拍流程的研究。为实现得到更加精准的 3D 模型, 首先与当地无人机使用限制管理部门对接, 在非限制区域内制定详细的飞行流程及飞行方案, 并根据现场情况合理安排飞行路线和飞行次数, 在准备好航拍之后, 再按照预先制定的方案进行飞行任务的拍摄和无人机测绘拍摄。

前期精心编制飞行路书, 关键是为了确定飞行中的关键控制要素, 要包含精准的经纬度、复杂地貌特征、周边鸟类活动规律、多变风向态势等关键数据, 保证飞行时相关信息的准确性。根据确定的飞行任务选适配无人机的配件, 从电池容量、镜头特性到数据传输和存储装备, 保障飞行作业任务顺畅、数据采集精准。

本次所应用的大疆无人机悟 2 机型拥有 2 400 万像素, 航片分辨率为最大 6 K, 满足建模需求, 并且随机自带双冗余 IMU, 飞行系统实时记录反应监视传感器数据, 保证航片稳定性和任务执行的安全性。

在路书完备的情况下, 根据现场情况进行合理飞行拍摄、完成飞行任务, 并尽量选择天气晴朗的时间段执行任务以保证拍摄效果。对于施工场地范围内航片采集, 应用五向航拍, 使无人机在制定范围内形成五种不同的采集路线, 五个不同的采集路线镜头俯仰

角度也不同,务必确保对拍摄范围内尽量无死角的影像采集,为之后地拍细化打下基础。大疆悟 2 无人机可以手动输入航拍路线及航拍高度,确保航片的稳定性,所以选择镜头的焦段应选择广角镜头,来捕捉到更大范围内的影像细节。

航片的重叠度也是需要考虑的因素之一,为防止细节丢失,每张航片的重叠度应该在 20%~30% 之间。另外,除上述拍摄流程细节需注意外,还要注意飞行区域、时速、机身稳定平衡参数、拍摄间隔时间等细节。在以上细节均处理得当的情况下,最终才能得到精细度较高的整体航片。

2 地拍拍摄流程

得到无人机航片之后,先用 ContextCapture 软件对航片进行数据采集,得到航片的建模模组。虽然通过以上步骤可得到精细航片,但由于无人机拍摄的局限性,对于施工现场的细部物体细节仍然无法具体体现,所以在处理完成第一遍后,要对无法详细识别的物体进行标注。根据物体数量、特征,制定详细的地拍拍摄方案。

本次应用到的地拍设备为 SONY α 7R4 相机搭配 SONY G 大师 24-70 焦段镜头,SONY α 7R4 相机拥有 5 600 万像素,成片能达到 8 K 分辨率,保障了建模时的超高清清晰度影像源;G 大师 24-70 焦段镜头同时拥有 2.0 最大光圈,如敏锐视觉捕捉器可以细腻定格物体微观的纹理,在光影变幻间锁住需要详细拍摄的细节,保证被拍摄物体细节部位最大程度保留,大幅度提升最后地拍成片的准确性、全面性。

在制定出详细的拍摄方案后,根据现场实际情况合理进行拍摄任务。拍摄物体细节时不应选择背光角度,要保证物体面光充足。若现场自然环境不能达到拍摄要求,则架设补光灯以保证被拍物体成片质量。在拍摄技术和方法上,选用五向移动延时拍摄法,以俯视拍摄全貌、仰视捕捉轮廓、正视聚焦核心、上顶面俯瞰结构、下底面剖析根基,多视角协同拍摄,保证物体每一处细节都能被清晰记录。为后续 3D 建模细节表达到位,在构建超精细实景模型进程中,做好地拍数据处理十分有必要,融合运用俯视、仰视、正视、上顶面、下底面全方位记录细节,充分细化航拍的不足,得到最终地拍成片^[5]。

3 ContextCapture 应用流程

3.1 影像处理

在前期流程中获取的航片与成片,需要经过第一遍软件筛选。此环节软件自动甄别重叠度过高或过低

片段,按照设置的规则实现精准处理,实时优化拍摄的影像的质量。其作为 3D 模型生成的基石,严格校准影像数据,确保后续处理稳定可靠^[6]。ContextCapture 的智能算法将深度提取影像的特征,为后续精准构建 3D 模型框架、细腻还原实景、提升模型精度做好基础工作,有利于建模流程高效、精确开展。

通过软件提取其中影像特征,包括但不限于颜色、形状、条纹特征等数字化模型,经高效机内运算,严密解析各影像间精确位置关系,架构模型数据底层逻辑,将得到所有拍摄影像的精准位置关系。地拍的成片则应在航偏完成建模后,补充细节时导入,使 3D 模型从宏观轮廓至微观纹理皆精准复现。

3.2 算法逻辑及操作流程

ContextCapture 软件的底层逻辑为 SIFT 匹配算法及 SURF 算法,SIFT 算法的优点在于其稳定性优良、提取信息的完整性良好;SURF 算法的优点则是运行速度的提升、具有良好的鲁棒性、能有效忽略外部信息干扰。两者相结合,得到精准可视化的 3D 成像^[7]。另外,ContextCapture 软件的兼容性也是一大优点,数码相机、智能手机、激光扫描仪、测量仪、无人机等端口的数据都可以作为信息支撑输入软件当中,从而得到精细至厘米级别的模型。其作为信息源输出时,也可应用在各种工程软件当中,如:CAD、BIM、MicroStation、Descartes、AECOSim Building Designer、OpenRoads、OpenPlant、Bentley Map、Bentley Substation 等。

在庞大算法的支持下,应用 ContextCapture 软件时的操作流程就会更加简易及流畅。完备导入形象素材后,等待软件自生成带文理模型,再对模型进行后处理,生成成果模型即可(见图 1)。

4 应用 ContextCapture 处理数据

在实际工程项目中,现场环境复杂多变,不确定性因素较多,对硬件设备及软件系统的灵活运用与应急停用要求极高。以海河柳林设计之都项目为应用实例分析,其地处天津市核心区,地理区位致使无人机飞行受限,市区内飞行高度上限仅 120 m,且工地与民航禁飞区存在交集,空域管制严格。因此,前期筹备阶段需深度考量人为因素,从飞行审批流程制定、空域协调策略规划,到设备性能调适、备用方案预设,均需详细准备。建立全方位风险预警机制,根据现场状况实时采用动态优化航拍飞行路径、调整拍摄参数,确保在复杂环境中采集数据的稳定性^[8]。

在现场飞行航拍作业阶段,由于当地时节属于夏末秋初,属于候鸟大规模迁徙的密集期,对于飞行安

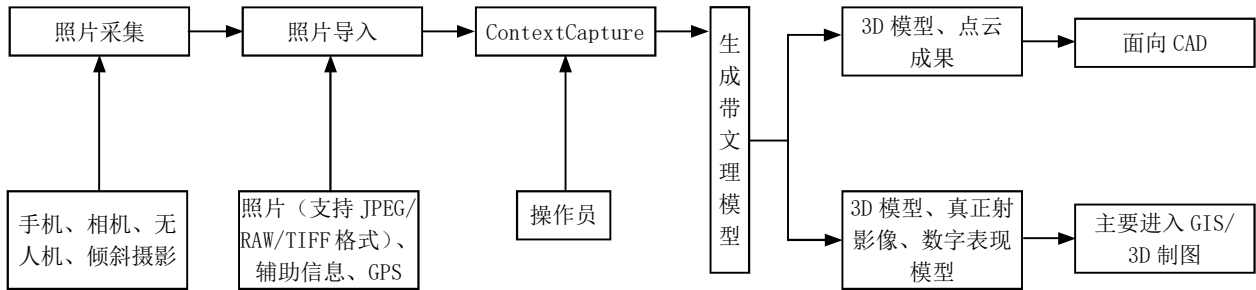


图1 ContextCapture 操作流程示意图

全的把控难度也较大，飞行安全管控形势严峻。为全力保障航拍飞行安全、规避潜在碰撞风险，需要将无人机避障系统的灵敏程度调整至高频状态，增强系统对周边环境的感知敏锐度，缩短响应时长，实现对候鸟及其他障碍物精准识别、及时规避，切实杜绝飞行事故，稳固维持作业流程顺畅推进，防止事故发生。

现阶段施工内容为市政道路及市政管线工程，无人机航拍时采用低空俯角拍摄机位居多，并且由于路基基坑内较为狭窄，无人机并不能全角度拍摄，所以二次地拍拍摄的任务量更多、更复杂。对于井室等隐蔽处的施工建筑，所需要拍摄的细节则需要更多细节化处理。

在施工全周期内，施工阶段不仅需要初始施工记录，此过程中的施工影像记录也是建模过程中不可缺少的部分。各阶段模型需紧密契合施工进度，为竣工验收提供更加直观的数据支持，其直观呈现工程实体特征，精准校验工程质量，提升验收通过率。在施工中，现场进度偏差、工艺合理性可借建模图像深度剖析、实时校准，为优化施工策略提供可靠依据，实现建设全程精准管控、高效推进。

在无人机对现场进行数据影像采集的时候，同样肩负着对现场安全、质量、进度的控制，对现场违纪行为的监控，对于危险施工的监察、控制。利用3D建模技术可视化以及参数化特点，对现场重大施工、复杂施工的节点提前进行施工现场模拟，提供可视化交底，减少现场事故以及施工问题的产生。

5 结束语

本研究成功构建了无人机航拍与地拍融合的3D建模体系，对公司在同类工程项目中应用人机航拍与地拍意义深远。在技术方面，二者协同弥补缺陷，大疆悟2与SONY α 7R4设备按照提前设置的流程采集影像，经ContextCapture软件强大算法加工，模型精度更高，真实还原了施工现场。此次应用研究依托天津海河柳林项目，证实了在复杂城市场景与严格的施工条件下，

可精准捕捉各类细节。在管理方面，该模型与BIM技术相结合，为工程全周期管理提供了精确的数据模型支撑。通过可视化交底让施工要点清晰易懂，实现多维度进度精准调配施工资源，实现安全质量隐患监控实时预警，有效规避风险、杜绝操作不规范，大幅降低了时间与管理成本，施工前精准模拟优化了施工方案，整体提升了施工效率与质量。通过在天津海河柳林工程项目基于无人机和地拍3D建模工程中的实际应用，在城市无人机飞行受限、施工区域和地形地貌多样性的条件下，实现了可视化交底、进度多维掌控、安全质量智能监控，使施工降本增效、质量跃升、管理精进，有力驱动工程领域数字化革新，为公司此类施工提供了经验。

参考文献:

- [1] 李朋伟,王雁林,徐友宁.基于无人机与Photoscan软件的矿山地质环境三维立体建模及应用[J].中国矿业,2021,30(09):73-79.
- [2] 刘颖,张勇,卢吉,等.基于无人机实景建模的机场道路路基平整度检测与分析研究[J].土木工程信息技术,2021,13(03):51-57.
- [3] 杨莎莎,郝龙,张康锁,等.邕宁水利枢纽坝基岩体施工过程数字化建模方法与应用[J].徐州工程学院学报:自然科学版,2021,36(03):76-85.
- [4] 张特,李世尧,朱波.内外不确定因素同时估计与补偿的鲁棒分布式跟踪控制[J].控制理论与应用,2021,38(07):1033-1042.
- [5] 同[2].
- [6] 同[3].
- [7] 同[4].
- [8] 王术波,韩宇,陈建,等.基于ADRC迭代学习控制的四旋翼无人机姿态控制[J].航空学报,2020(12):313-325.

基于数据挖掘技术的土地管理决策支持系统研究

冯 芳

(恩施市自然资源和规划局三岔镇自然资源和规划所, 湖北 恩施 445000)

摘 要 随着人工智能、大数据等技术的不断发展, 数据挖掘与决策支持系统在土地管理中的作用愈发重要, 该系统采用 Java 语言开发, 界面友好, 易于操作, 但数据挖掘技术在土地管理决策中仍存在数据挖掘算法的选择与优化、数据质量与预处理、决策支持系统的实用性与智能化等问题。本文探讨了土地管理中的数据挖掘与决策支持研究, 分析了数据挖掘技术在土地管理中的应用现状。结果表明, 通过构建基于数据挖掘的土地管理决策支持系统, 实现了数据采集与预处理、数据挖掘算法选择与优化、决策模型构建与验证等功能。

关键词 土地管理; 数据挖掘; 决策支持系统; 智能化; 算法优化

中图分类号: TP18; F301

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.02.009

0 引言

土地管控作为国家资源调配与筹划的重要范畴, 肩负着越来越重的数据运算与判定职责。信息技术的飞速发展, 特别是数据发掘技术的兴起, 为土地管理工作带来了全新的动力。数据挖掘技术依靠其卓越的分析实力, 可以高效发掘及运用庞大数据集中的隐藏资讯, 给土地管理决策带来有力的科学支撑。本文着重探讨土地管理中的资料探勘与决策辅助研究, 深入分析资料探勘技术在土地管理领域的运用实况, 旨在建立一套以资料探勘为基础的决策辅助体系, 同时针对其在实际运作中的成效展开严格评估^[1]。

1 数据挖掘技术与土地管理概述

1.1 数据挖掘技术在土地管理中的应用现状

在土地资源现状的调研过程中, 数据开采手段能凭借对大批数据的迅速分析, 精确捕捉土地资源的布局及其运用情况。在土地适宜性判定层面, 数据开采手段能够全面融合众多要素, 对土地资源的适配程度进行严格评估。在土地使用布局与土地监察管理中, 数据分析技术能协助管理者达成土地资源的精确管控与高效运用。

1.2 土地管理的基本概念与任务

土地治理是保障国家资源安危及可持续进步的关键途径, 其精髓在于借助法律、行政调控、经济调控及科技等诸多方式, 对土地资源施行整体性筹划、科学运用、有力维护及严格监管。这一流程中, 土地资源的勘探是基石, 凭借细致的地理数据及土地资源当

前状况勘探, 为接下来的布局、开拓、应用及守护提供数据依据。而策划即为导向, 旨在结合土地资源特性及社会经济发展的要求, 设计合理科学的土地利用方案, 以保障土地资源的最佳配置^[2]。

2 基于数据挖掘技术的土地管理决策支持系统构建

2.1 决策支持系统的基本原理与架构

决策辅助系统融合数据、模型、专业知识及用户交互界面, 为土地管理决策者提供有力支撑。本文所建立的决策辅助体系涵盖数据收集与前期处理、数据挖掘技术筛选与改良、决策架构搭建与证实等多个部分。系统数据收集组件能够处理遥感图像资料、地理资讯资料等多种数据源, 预处理组件则能显著提升数据品质, 为挖掘算法的筛选与优化打下坚实的基础。

2.2 数据采集与预处理

数据采集包括遥感图像、地理资讯、社会经济等众多来源的资料, 借助专业装置及软体程式实现迅速收集。预处理涵盖数据净化、形式转变及数据合并步骤, 以保障数据品质达到挖掘标准。在数据净化阶段, 利用算法剔除多余信息、补充遗漏项、修正不准确之处, 增强数据的完备性; 格式统一化则是将数据格式规范化, 方便后续操作; 数据融合则是把来自不同来源的数据集中到同一平台上, 便于进行全面分析。遥感图像资料通过卫星及无人驾驶飞行器进行收集, 清晰度可达米级乃至更精细的亚米级别, 给土地使用实际情况的调查及规划工作提供了确切依据。在预处理阶段, 运用自动化与部分自动化相互融合的手段, 来提升处

理的速度与效率。自动化流程借助算法技术自动甄别并调整错误数据，而半自动化流程则经人机互动平台，由专业人员针对繁琐数据进行深度加工处理。

2.3 数据挖掘算法选择与优化

在土地资源管理决策辅助体系中，数据发掘技术的挑选与改进是至关重要的一步。在处理特定种类数据时，各类算法均展现出其独有的长处与优势。例如，集群分类算法在辨识土地使用类型上成效显著，能够依据土地特征属性将相近的土地归入同一群组；相关性规则挖掘算法则精于揭示土地使用与经济社会进步间的联系，为土地规划利用提供科学凭证；归类预测算法则能够预估将来的土地使用动向，为土地管理策略制定提供预见性引领^[3]。

在算法改良进程中，通过调整参数配置、优化算法架构等举措，增强了算法的发掘效能与精确度。例如，在聚类分析算法的应用场景下，借助网络搜索及交叉验证等手段，实现了聚类参数的最优化选取，增强了聚类成效的稳定度与可信度。在关联性规则发掘算法中，通过改良频繁项目集合的产生及规则精简步骤，缩减了算法的时间繁琐度，增强了发掘效能。

3 基于数据挖掘技术的土地管理决策支持系统的实现与效果评估

3.1 系统实现

本文运用 Java 编程技术，构建了一套依托数据挖掘技术的土地资源管理决策辅助平台。该系统实现了数据收集、前期处理、数据挖掘算法筛选与改良、决策体系的搭建与核实等一系列主要功能。系统界面规划简洁清晰，操作流程设置直观且容易理解，足以满足土地管理决策者的真实应用要求。在具体落实层面，该系统运用了组件化架构设计，各个组件间连接紧密度较低，有利于后续的培养与更新。系统亦配备了多样的连接端口，便于同其他系统实现整合与资料共用。

系统在实际应用过程中，已顺利整合了多种来源的数据资源，诸如遥感图像资料、地理空间信息、社会经济统计数据等，实现了数据的迅速收集与优良的前期处理。在数据开采技术筛选与优化层面，系统根据土地管理决策的实际要求，自主选取恰当的技术，并经过对技术参数的细致优化，增强了数据开采的精确度和效能。系统还建立了多种土地管理决策方案，例如土地使用规划方案、土地监管检查方案等，为土地管理决策提供了科学支撑^[4]。

3.2 系统性能评估与效果分析

3.2.1 数据挖掘效果评估

本文通过对比试验，评测了群集分析、关联性规

律发掘、分类预估等多种数据挖掘方法于土地管理决策中的成效。具体评价指标涵盖精确性、查全率、F1 值等。实验成效表明，分类预估模型在各项评判标准上均展现最佳，精确度为 95%，召回率为 92%，F1 评分为 93%（见表 1）。这显示出分类预估模型在土地资源管理抉择上拥有更高的精确度和可信度。

表 1 算法性能评估表

算法名称	准确率	召回率	F1 分数
聚类分析	0.85	0.80	0.82
关联规则	0.90	0.85	0.87
分类预测	0.95	0.92	0.93

3.2.2 决策支持效果评估

具体内容如表 2 所示。

表 2 决策支持效果评估表

评估指标	系统输出结果	实际土地利用	评估结果
土地类型 1	林地	林地	正确
土地类型 2	耕地	耕地	正确
土地类型 3	建设用地	建设用地	正确
准确率	90%	-	高

3.2.3 系统性能评估

系统性能评估是保障决策支撑体系能满足土地管理决策实际要求的重要步骤。通过压力测验、稳固性验证等方式，对体系的响应时长、稳固程度以及可延伸性等性能参数实施了整体评估（见表 3）。

表 3 系统性能评估表

评估指标	评估结果
响应时间	<1 秒
稳定性	高
可扩展性	强

3.3 存在的问题与改进建议

在数据探索技术层面，虽然归类预估技术在试验中成效显著，精确度可达 95%，但技术的筛选仍要依据特定运用情境做出细致化改动，从而增强挖掘效能与精确性。建议强化对数据挖掘技术的探究与实践，特别是针对土地管理行业的独特要求，研发更为高效且精确的算法。

决策辅助系统虽然在实用性和智慧化层面已达到了基础的数据收集、前期处理及决策辅助效用，但在智慧化构建领域尚需进一步深化。建议强化决策支持系统的智慧化构建，采用深度学习等先进技术，实现决策模型的自主搭建与改良。优化人机操作交互界面，

增强系统的实用价值与便利程度,为土地管理决策者提供更为简便且高效的决策辅助^[5]。

4 基于数据挖掘技术的土地管理决策支持系统的未来发展趋势

4.1 智能数据挖掘算法的发展

1. 深度学习算法。深度学习算法凭借其卓越的学习效能和广泛适用性,在图像辨识、文本理解等诸多领域均成绩突出。在土地资源数据挖掘过程中,深度学习算法可用于土地用途分类识别、土地变动监察等领域,通过建立深度学习架构,实现对土地资源数据的深度发掘与分析,增强数据挖掘的精确度和速率。

2. 集成学习算法。集成学习算法通过融合多个独立学习模型的预测输出,能够大幅度增强整体的预测效能。在土地资源数据挖掘过程中,集成学习算法被应用到土地运用策划、土地法规执行监督等领域,凭借融合多样模型的预估成效,增强数据挖掘的稳固性和可信用度。

3. 强化学习算法。强化学习算法借助模仿人类的学习历程,能在繁复场景下执行自我适应的学习。在土地资源管理的决策辅助流程中,增强型学习算法被用于土地应用策略的改进、土地资源分配等领域,通过持续的试验与错误纠正及策略调适过程,制定出最佳的土地使用规划,提升决策的速度与精准水平。据有关研究显示,应用增强学习算法的土地管理决策支援体系,在模拟测试中相较于传统方式提升了大约 20% 的决策效能。

4.2 数据质量与预处理技术的提升

数据清洗技术能够有效提升数据质量,是数据挖掘前不可或缺的一步。在土地资源数据管理挖掘过程中,多余数据、不完整数据及错误数据都可能对最终的挖掘成效产生不利影响。据业界调研指出,运用数据净化手段后,数据品质能增进 20% 以上,大幅增强数据发掘的精确度。数据变换技术旨在将原始数据转换为适合挖掘的形式,通过归一化、离散化等方法,使数据更易于处理和分析。研究表明,恰当的数据转换能增强数据挖掘效能 15% ~ 20%。数据降维技术则通过减少数据维度,降低数据复杂性,提高挖掘效率。在某土地资源管理项目中,采用主成分分析技术进行维度缩减后,数据发掘时长减少了 30%,并且依旧维持了极高的发掘精确度。

4.3 决策支持系统的智能化与实用性提升

1. 智能决策模型构建。在土地资源管理决策辅助系统中,智能决策模型构建是核心步骤。借助先进的

机器学习技术,例如随机森林算法、支持向量机模型等,能够达到决策模型自动化建立与改良的目的。实验数据表明,应用智能决策体系后,土地利用规划的正确率提高了 15%,决策速度加快了 20%。

2. 人机交互界面优化。为了增强用户感受,未来土地管理决策支持系统的人机交互界面会进行全方位改进。通过运用可视化界面、智能化提议等效能,让决策者可以更直观地把握数据、更迅速地做出决定。用户测验显示,改进后的界面使操作时长缩减了 30%,用户满意程度提升了 25%。

3. 系统扩展与集成。为了提升决策支持系统的实用价值与灵活度,未来会着重关注系统的可延展性和融合性。通过构建一致性的数据规范及共通平台,实现不同系统间的数据交互与功能融合。例如,把地理信息体系与决策辅助系统相融合,能够实现土地利用情形的即时监控与规划修正,为土地管理工作提供更周全的决策辅助。

5 结束语

本文构建了依托数据挖掘技术的土地管理决策辅助体系,并通过试验检验了其成效。数据挖掘技术效能评测表明,分类预估算法于精确度、查全率及 F1 分值层面展现最佳成效。决策支持成效评估显示,系统所得结果与真实土地利用状况极度吻合,精确度高达 90%。系统效能评测结果表明,该系统响应时长不足 1 秒,稳固性极佳,且具备良好的延展性能。然而,数据开采技术的挑选与改良、数据品质与前期处理、决策辅助系统的应用性和智慧化等方面尚需进一步优化提升。随着智能化技术、庞大数据集等科技的持续进步,数据挖掘与评估将在土地管控中扮演愈发关键的角色。

参考文献:

- [1] 赵星. 大数据支持下的农机作业数据挖掘与决策分析技术研究[J]. 南方农机, 2024(05):182-184.
- [2] 李娟,张冰心,曹文琪,等. 基于空间数据挖掘的营销决策支持研究[J]. 内蒙古科技与经济, 2023(08):70-73.
- [3] 李军,刘举庆,游林,等. 时空大数据支持的土地储备智能决策体系与应用研究[J]. 中国土地科学, 2019(09):111-120.
- [4] 方豪文,周建中,贾本军,等. Redis 内存数据库在长江上游水资源管理决策支持系统中的应用研究[J]. 水力发电, 2021(07):33-38.
- [5] 陆和萍. 基于数据挖掘的高校计算机实验室管理水平评价研究[J]. 现代电子技术, 2021(13):115-119.

基于图像处理的建筑外观损伤检测与自动化鉴定技术

刘晓明, 门广闯

(山东鲁勘集团有限公司, 山东 济南 250104)

摘要 建筑作为人类生活和工作的基本场所, 其安全性和稳定性至关重要。然而, 随着时间的推移, 建筑外观往往会因为自然环境、人为因素等多种因素造成裂缝、脱落、腐蚀等损伤, 不仅影响建筑的美观性, 更重要的是可能威胁到建筑的结构安全。本文认为对建筑外观损伤进行及时、准确的检测与鉴定, 对于保障建筑安全、延长建筑使用寿命具有重要意义。

关键词 图像处理; 建筑外观损伤检测; 自动化鉴定

中图分类号: TP391; TU712

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.02.010

0 引言

传统的建筑外观损伤检测主要依赖人工巡检, 这种方法不仅耗时费力, 而且受限于检测人员的经验和技能水平, 可能存在漏检或误判的情况。随着计算机技术和图像处理技术的飞速发展, 基于图像处理的建筑外观损伤检测与自动化鉴定技术应运而生。这种技术利用高清摄像头、无人机等图像采集设备获取建筑外观的图像信息, 然后通过图像处理算法对图像进行分析和处理, 自动识别和定位损伤区域, 甚至可以对损伤程度进行量化评估。

1 基于图像处理的建筑外观损伤检测的必要性

1.1 提升检测效率与精度

建筑外观损伤检测是确保建筑物结构安全、延长使用寿命的关键环节, 即对建筑外观损伤进行的检测, 此乃至至关重要的步骤, 在众多检测手段中, 人工巡检这一传统方式暴露出不少弊端, 实施人工巡检耗时耗力, 检测人员的主观判断和经验局限, 使得检测结果的客观性与准确性难以得到保障, 在高层建筑或结构复杂的情况下, 进行人工巡检的难度与风险均大幅上升, 运用高分辨率相机与前沿图像处理算法, 图像处理建筑外观损伤检测技术得以全面、迅速地实施, 该技术具备自动识别和分析图像中裂缝、脱落、锈蚀等损伤特征的能力, 显著提升了检测的效率, 图像处理算法因其客观性与一致性较高, 确保了检测结果的精确性与可信度^[1]。

1.2 实现智能化与自动化检测

图像处理在建筑外观损伤检测领域的应用, 随着人工智能与机器学习技术的持续进步, 正迈向智能化与自动化的新阶段, 该深度学习模型在建筑外观损伤的自动识别、分类及定位方面表现出色, 实现检测任务无需人工介入即可高效完成, 检测效率得以显著提升, 人力成本相应降低, 检测过程亦变得更加便捷与灵活。此外, 智能化、自动化的检测技术还能够实现对建筑外观损伤的实时监测和预警。通过安装摄像头和传感器, 该技术能够实时监测建筑外观的变化情况, 一旦发现损伤特征, 立即发出预警信号, 提醒相关人员及时处理。这对于预防建筑安全事故, 保障人民群众生命财产安全具有重要意义。

2 基于图像处理的建筑外观损伤检测要点

2.1 图像预处理

建筑外观损伤检测的图像预处理, 旨在提升图像品质, 降低噪声干扰, 为后续的特征提取与识别作业打下坚实的基础。在图像处理领域, 校正、去噪以及增强等步骤构成了预处理的核心环节, 旨在实现格式的统一^[2]。

在图像处理领域, 几何畸变与色彩失真问题主要通过图像校正技术得以有效解决, 图像因拍摄视角、照明状况、设备功能等因素影响, 可能出现偏斜、变形、色调误差等现象, 运用几何校正、灰度级校正与彩色校正等图像校正技术, 能够有效恢复图像本来的

形状与色彩,进而显著提升图像的精确度。噪声对图像质量造成显著影响,其中高斯噪声与椒盐噪声尤为常见,它们共同构成了影响图像品质的主要障碍之一。在识别与图像分析中,噪声造成了干扰,图像处理中的去噪操作,通常运用均值滤波、中值滤波、高斯滤波等滤波技术,减少或彻底消除噪声对图像所造成的干扰。在图像处理过程中,去噪操作需兼顾保留图像中的关键信息,警惕过度平滑的风险,以防细节流失。提升对比与清晰度是图像增强的核心目标,以凸显图像中的损伤特征。对比度变换、空间滤波以及彩色变换等图像增强手段被广泛应用,调整图像亮度和对比度,实现对比度变换,从而强化图像明暗区域的界限;在图像处理中,滤波器运用空间滤波技术,对图像实施平滑或锐化操作,进而凸显或抑制特定图像特征;调整图像的色彩分布,运用彩色变换手段,显著提升了图像的可视化质量。为便于后续的加工与解析,必须将源自各渠道、样式各异的图片转换成一致的模式,如 JPEG、PNG、BMP 等,这些构成了图像的常见格式体系^[3]。

2.2 特征提取与识别

图像预处理工作完成后,紧接着便是进行特征提取与识别,损伤特征的信息,如裂缝、脱落、锈蚀等,均可通过图像进行特征提取。损伤识别与分类依托于提取出的特征信息,其过程是特征识别技术的核心所在。

在图像处理技术中,特征提取是建筑外观损伤检测的关键步骤,边缘检测、纹理分析及形状分析等构成了我们常用的特征提取方法体系。图像损伤特征的轮廓通过边缘检测技术精准提取,其中裂缝与脱落等损伤得以显现;表面结构信息,如锈蚀、污渍等,通过纹理分析被用于描述图像中的纹理特征;图像中的形状特征,如孔洞与裂缝,通过形状分析技术得以提取与剖析。为确保特征信息的精确与完整,特征提取环节必须精心挑选适配的算法及相应参数。在处理损伤类型的特异性和表征方式的同时,需对图像中的噪声影响及光线波动等要素进行考量,进而对特征提取算法进行相应的优化与调适。损伤的识别与归类依托于对特征信息的提取与运用,在众多特征识别技术中,模板匹配、机器学习以及深度学习等均扮演着关键角色^[4]。损伤识别与分类过程中,通过将提取出的特征信息与既定模板进行精准对比,得以高效实现;在机器学习领域,通过训练分类器这一模型,运用特征信息对损伤进行自动化识别与分类;卷积神经网络(CNN)等深度学习模型,在图像处理领域,擅长进行特征提

取与分类操作。为确保特征识别过程中的准确性与可靠性,需选择适宜的识别算法及模型。在图像识别领域,针对损伤类型多样性与近似度,以及图像噪声及光照条件波动,对识别算法实施优化与策略调整,以提升识别效能。算法在处理新出现的损伤类型时,需具备出色的泛化能力,以确保能够进行有效识别与分类。

2.3 后处理与评估

在特征提取与识别环节,必须对所得数据实施后续处理及效果评估,确保损伤检测结果精确。在处理过程中,必须对损伤进行精准定位,并对其严重性进行细致评估;对检测结果的准确性与可靠性进行评估,这一过程至关重要,依据从图像中提取的特征信息,精确锁定损伤在图像中的特定区域,以特征点为基础的定位策略及轮廓定位技术等手段至关重要^[5]。检测图像中角点、边缘点等特征点,进而通过定位技术精确锁定损伤的具体位置;损伤特征的轮廓信息提取后,基于此进行定位,进而精确识别损伤的形态与具体位置。损伤定位环节,对准确度与精密度要求尤为严格。在图像处理过程中,必须充分考量噪声干扰以及光照变化等关键因素,对定位算法实施深度优化与精准调整。在处理复杂的损伤状况时,往往需融合多样定位策略,以实现全面评估,依据所提取的特征信息与损伤定位的最终结果,对损伤的严重程度实施量化性评价,损伤程度评估方法涵盖以面积、长度、宽度等几何参数为依据的评定手段,亦包含以纹理、颜色等图像属性为依据的判定方式,在损伤程度评估这一环节,必须确保评估的精确性与公正性,在评估算法的优化与调整过程中,必须兼顾不同损伤类型之间的异同,同时应对图像噪声及光照变化等复杂因素予以充分考虑,为确保评估结果的可靠性,必须关注评估结果的稳定与一致。

在评估过程中,准确率、召回率与 F1 分数等成为衡量标准。在损伤检测中,准确率揭示了实际损伤与检测出损伤之间的比例关系;在损伤识别过程中,检测出的比例即召回率,对评估损伤的真实性具有至关重要的作用;F1 分数,即准确率和召回率的调和平均数,是衡量检测结果准确性与可靠性的综合指标,为确保评估成果的客观性与精准度,评估阶段需选择适配的指标与技巧,评估方法需考量损伤类型的多样性及其内在的相似性,并针对图像噪声及光照波动等元素,进行细致的优化与调适,确保评估结果的可靠性^[6]。

3 基于图像处理的建筑外观损伤自动化鉴定技术要点

3.1 技术原理

在自动化鉴定技术领域,传感器扮演着至关重要的角色,涵盖了高清摄像头、红外热像仪、超声波传感器、光纤传感器以及压电传感器等多种类型,捕捉建筑外观图像与温度分布,高清摄像头与红外热像仪协同作业,揭示裂缝、材料脱落及温度异常等损伤信息。光纤传感器与超声波传感器通过发射与接收超声波或光信号,对材料内部损伤与缺陷进行探测。在检测加速度率方面,压电传感器扮演着关键角色,它能够敏锐捕捉到实际冲击的到来,进而精准判断潜在损伤的具体位置,传感器搭载的无人机,于建筑区域复杂且难以接近的场合,执行了高效的数据搜集任务,无人机凭借精心规划的航迹与适宜的飞行速度,能够迅速地遍历建筑立面,捕捉到高清的影像与视频素材。通过无人机搭载的振动监测传感器,对建筑结构健康情况进行深入分析,对采集的信息进行繁琐的加工与剖析,精确辨识出损伤状况,通过运用图像处理技术,能够精准提取诸裂缝长度、宽度及其具体位置的损伤特征,借助模式识别算法实现损伤分类与量化,显著提升了识别的精确度。卷积神经网络等人工智能技术,尤其是深度学习在损伤检测领域中的应用,显著提升了检测的客观性与可靠性,大幅度降低了人工评估的必要性^[7]。

3.2 应用优势

建筑外观损伤自动化鉴定技术相较于传统的人工检测方法具有显著的优势。自动化鉴定技术能够实现建筑外观的快速、全面检测,大大缩短了检测周期。例如,无人机技术可以在短时间内覆盖大面积的建筑外观,而不需要人工攀爬或架设脚手架。此外,智能自动化监测技术还可以实现实时监测,及时发现潜在的损伤,提高响应速度。传感器和数据处理算法的应用,使得损伤检测更加精确和客观。高清摄像头和红外热像仪能够捕捉到肉眼难以察觉的细微损伤,而超声波传感器和光纤传感器则能够检测材料内部的缺陷。这些技术不仅提高了检测的准确性,还减少了人为因素的干扰,提高了结果的可靠性。自动化鉴定技术减少了大量的人力、物力投入,降低了检测成本。无人机和自动化监测设备的使用,避免了人工攀爬和架设脚手架等高风险作业,提高了安全性。

3.3 未来发展趋势

随着技术的不断进步,建筑外观损伤自动化鉴定技术将朝着更加智能化、高效化和标准化的方向发展。人工智能和大数据分析将在自动化鉴定技术中发挥更加重要的作用。基于深度学习的算法将能够更准确地识别损伤特征,提高检测的客观性和可靠性。同时,通过大数据分析,可以实现对建筑外观损伤的长期监测和预测,为建筑维护提供更加科学的依据。无人机和自动化监测设备将不断升级,提高数据采集和处理的速度和精度。例如,通过优化无人机的飞行策略和传感器配置,可以进一步提高数据采集的效率。此外,结合移动机器人技术,可以对受损建筑进行快速、全面的损伤检查,提高检测效率。建筑外观损伤自动化鉴定技术的标准化将有助于提高检测结果的准确性和可比性^[8]。

4 结束语

基于图像处理的建筑外观损伤检测与自动化鉴定技术是一项具有广阔应用前景的重要技术。它不仅提高了建筑外观损伤的检测效率和准确性,还为建筑安全评估和维护提供了有力的技术支持。随着计算机技术和图像处理技术的不断进步,该技术将进一步完善和发展,实现更加智能化、高效化和精细化的检测与鉴定。

参考文献:

- [1] 童宇,任瑛楠,孙沈鹏,等.基于贴花渲染的历史建筑外观损伤孪生技术研究[J].建筑施工,2024,46(11):1812-1816.
- [2] 张延.装配式建筑梁柱节点疲劳损伤检测方法研究[J].山东理工大学学报:自然科学版,2025,39(01):35-40.
- [3] 魏苏尧,郝志远.基于裂纹特征分区提取的建筑地下室混凝土剪力墙多损伤检测[J].建筑机械,2024(11):75-79,82.
- [4] 马思齐,孙沈鹏,谷志旺,等.基于形态特征的历史建筑石材外饰面外观损伤图像识别分类方法研究[J].建筑施工,2024,46(10):1626-1629.
- [5] 王晨.基于机器视觉的装配式建筑混凝土结构损伤检测[J].无损检测,2024,46(08):48-53.
- [6] 张萌,王灵芝,李守宇,等.不同变量圆竹建筑填充组合节点轴压损伤声发射特性研究[J].林产工业,2024,61(07):17-22.
- [7] 李秀丽,全萌凯.基于深度学习与图像处理的绿色建筑节能系统研究[J].信息系统工程,2024(06):9-12.
- [8] 王晓林,樊亚男.高层住宅建筑墙体裂缝损伤现场检测与鉴定[J].四川水泥,2024(06):139-141.

机电一体化技术在智能制造领域的深度融合与应用研究

曹贻梦

(山东世通国际认证有限公司, 山东 烟台 266000)

摘要 机电一体化技术与智能制造的深度融合是新一轮工业革命的重要方向。本文从机电一体化技术的内涵与发展、智能制造的特征与关键技术出发, 重点探讨了机电一体化技术在智能制造关键环节中的应用, 包括智能制造设备、智能生产线和智能工厂等方面; 通过分析典型应用案例, 揭示了机电一体化技术与智能制造深度融合面临的挑战, 并提出了加强跨领域协同创新、突破核心关键技术瓶颈、完善标准规范体系建设、促进产学研用深度合作等对策建议, 旨在对推动机电一体化技术与智能制造的深度融合、加快智能制造的发展与应用具有积极的意义。

关键词 机电一体化; 智能制造; 深度融合

中图分类号: TP27; TH16

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.02.011

0 引言

随着新一代信息技术的快速发展和制造业的智能化转型, 机电一体化技术与智能制造的深度融合成为必然趋势。2023 年 3 月, 我国政府工作报告明确提出, “推动制造业智能化转型, 促进先进制造业集群发展”。在此背景下, 深入研究机电一体化技术在智能制造领域的应用, 对于掌握机电一体化技术与智能制造深度融合的最新进展, 把握智能制造发展态势, 破解机电一体化技术在智能制造应用中的瓶颈制约, 促进机电一体化技术创新发展, 推动智能制造高质量发展具有重要意义。

1 机电一体化技术与智能制造概述

1.1 机电一体化技术的内涵与发展

机电一体化技术是一门融合机械、电子、控制、计算机等多学科的综合性技术, 其核心在于实现机、电、控、算等不同要素的有机融合与协同优化。随着人工智能、大数据、物联网等新兴技术的兴起, 机电一体化技术进入了以智能化、网络化、数字化为特征的新发展阶段。从最初的单一机电系统集成, 到智能传感与控制、机器人等智能装备的发展, 再到如今支撑工业互联网、智能工厂建设的智能化机电系统, 机电一体化技术经历了从自动化、数字化到智能化的发展历程。未来, 机电一体化技术将以自适应、自优化、自决策为目标, 实现从局部智能向系统智能、从单机智能向群智能、从刚性智能向柔性智能的跃升。

1.2 智能制造的内涵与特征

智能制造是以新一代信息技术与先进制造技术深度融合为主线, 以智能工厂为发展方向, 通过对设计、生产、管理、服务等制造全流程的智能化改造, 实现制造过程的智能感知、智能分析、智能决策和智能执行, 最终达成高质量、高效率、个性化、绿色化制造的新型制造模式^[1]。智能制造的显著特征在于, 设计智能化、制造智能化和产品智能化等多维度智能特性的交织融合, 人机物高度协同, 形成数据驱动的自主认知、动态优化、实时响应能力。支撑智能制造的关键技术包括人工智能、CPS、数字孪生、增材制造、机器人等, 通过智能感知、智能分析、智能决策、智能控制等功能的集成应用, 构建起智能化的新型制造系统。

1.3 机电一体化技术在智能制造中的重要性

机电一体化技术是智能制造的重要使能技术和基础支撑。它通过软硬件协同设计、多领域耦合分析等手段, 为智能装备、智能工厂等关键领域提供核心部件、集成系统与整体解决方案。机电一体化将智能感知、实时分析、自主决策、精准执行等能力嵌入制造装备全生命周期各环节, 助力实现设计、工艺、制造、管控的全流程数据驱动与智慧升级, 极大提升生产效率、产品质量与运营管理水平。因此, 加快机电一体化技术创新发展, 打造智能制造的坚实“筋骨”, 对于推动制造业高质量发展、塑造产业竞争新优势具有重要意义。

2 机电一体化技术在智能制造关键环节中的应用

2.1 智能制造设备中的应用

机电一体化技术是智能制造设备的核心构成要素。在智能机器人领域,多关节协同、多传感器融合、人机共融互动等机电一体化技术的广泛应用,推动了机器人向模块化、小型化、智能化方向快速发展。通过深度感知、实时分析、自主决策、灵巧操控等能力,机器人可自适应复杂工况,完成装配、焊接、打磨、搬运等多样化任务。同时,在智能传感器与执行机构领域, MEMS、压电/热电/磁电耦合驱动、微纳集成等机电一体化技术取得突破,传感器件实现小型化、集成化、低功耗、高灵敏度发展,新型执行器件不断突破功率密度、能量转换效率瓶颈,极大拓展了制造装备的感知、交互、控制、执行边界。未来,以机器人、智能传感/执行部件为代表的新型装备将成为智能制造的基石。

2.2 智能生产线中的应用

机电一体化技术是支撑智能生产线规划设计、过程优化控制的关键力量。生产线规划设计需要综合考虑工艺特点、设备布局、物流配送、人员组织等多方面因素^[2]。机电一体化建模仿真、参数寻优等技术可精准预测生产线的节拍平衡、瓶颈制约等,支持敏捷柔性的生产组织方式的快速构建。同时,在生产执行层面,机电一体化技术赋予生产线多源异构数据采集、实时分析、智能控制、自优化调整等新功能。数控系统、PLC、SCADA、MES等能实现纵向集成,可对设备协同、工艺参数、质量监测、能耗指标等全要素开展统一调度管控,构建起自感知、自学习、自适应的智能化生产单元。在产线内外部智慧协同支撑下,大规模个性化定制成为可能。机电一体化将促进形成标准化、可重构的智能产线,全面革新传统生产组织方式。

2.3 智能工厂中的应用

智能工厂是机电一体化、信息物理系统、工业互联网等新一代技术的集大成者。在工厂内,机电一体化支持构建具备全面感知、泛在互联、深度融合特征的CPS系统。通过多层级通信协议、边缘计算、工业以太网等技术,实现从单台设备、产线到整个车间的全连接;利用智能网关、RFID、数字孪生等新型装备,可对设备状态、工艺参数、物流信息、能耗指标等进行全面采集。在数据要素赋能下,ERP、MES、WMS等上层系统实现工厂范围内、供应链端到端的协同优化。同时,数据驱动的智能决策系统广泛应用于设备预测性维护、产能瓶颈智能识别、多目标生产调度、质量

缺陷溯源闭环等环节,极大提升了系统柔性,降低了管理门槛。可以预见,机电融合创新将彻底打破传统工厂的信息孤岛,最终实现设计、工艺、制造、管理、服务的全流程打通与动态迭代。

2.4 典型应用案例分析

机电一体化与智能制造融合发展的生动实践遍布各行业龙头企业。例如,格力电器依托300多项机电一体化核心技术,构建了研发设计仿真、生产制造数字化、智能物流配送、售后服务智慧响应等全链条数字化运营体系,突破了传统制造模式桎梏。一汽大众以机电一体化为纽带,加快关键制造装备国产替代,实现了冲压、焊装、涂装、总装四大工艺环节的机器人密集作业,生产效率提升30%以上,并借助ANDON系统、AGV小车、MES系统,打造透明化、柔性化的制造新模式。在工业富联智能制造基地,协作机器人、智能物流穿梭车、自动化立体仓库等新型装备大规模落地应用,使产品不良率降低了50%,人均产值提升了86%。未来,随着5G、人工智能等新技术与机电一体化加速融合,智能制造将迎来更大想象空间。

3 机电一体化技术与智能制造深度融合的挑战与对策

3.1 技术融合面临的挑战

机电一体化技术与智能制造的深度融合面临多维度挑战。首先,跨学科知识整合难度大,机械、电子、控制、信息等领域的融合需要突破传统思维模式。其次,技术协同创新不足,各环节间存在“短板效应”,制约整体性能提升。再者,数据互操作性差,异构系统间信息交互受阻,影响决策精度^[3]。同时,智能化升级成本高,中小企业难以承担全面改造投入。此外,安全可靠性问题突出,系统复杂度提升带来新的安全隐患。人才匮乏也是关键瓶颈,跨领域复合型人才较为稀缺。标准体系不健全导致技术推广受限,各自为政现象普遍。值得注意的是,技术伦理问题日益凸显,人机协作、数据隐私等引发社会关切。克服这些挑战需要系统思维,协同各方力量,在技术创新、标准制定、人才培养等方面持续发力,从而推动机电一体化与智能制造的有机融合与协同发展。

3.2 创新发展的对策建议

3.2.1 加强跨领域协同创新

机电一体化与智能制造的深度融合依赖于跨领域协同创新体系的构建。建立跨学科研究中心是关键步骤,通过整合机械、电子、控制、人工智能等领域的专业知识,可促进学科交叉与创新思维的融合。产学

研用协同机制的形成能够组建多元化创新团队,针对智能制造核心环节展开系统性攻关。任务导向型创新模式的推广有助于激发各方参与积极性,提高创新效率。开源社区的构建可降低技术门槛,推动核心算法、工具包的共享与优化。新型创新载体为跨界实验提供了实践平台,促进突破性创新的产生^[4]。在人才培养方面,双导师制的实施能够培养理论与实践兼备的复合型人才。知识产权保护机制和利益分配制度的完善是提高创新积极性的重要保障。加强国际合作则可引入先进理念与方法,推动本土化创新。通过多维度的协同创新,形成合力,加速机电一体化与智能制造的深度融合,推动制造业向更高水平发展。

3.2.2 突破核心关键技术瓶颈

智能感知领域,高精度、微型化、多模态融合的新型传感器研发是提升系统感知能力的关键。在控制技术方面,基于深度强化学习的自适应控制算法开发能实现复杂工况下的精准控制。高功率密度、高效率的智能执行机构技术突破将大幅提升系统响应速度与精度。在系统集成层面,面向智能制造的工业实时操作系统开发是解决异构系统协同问题的关键。数字孪生核心技术的突破能实现虚实融合的全周期管理。基于知识图谱的智能决策技术发展将显著提升系统自主性。在网络通信方面,低时延、高可靠的工业互联网技术攻关保障了数据实时交互。智能化工艺与装备的研发则是提升制造过程柔性及敏捷性的重要手段。这些核心技术的突破将构建自主可控的技术体系,为机电一体化与智能制造深度融合提供坚实支撑,推动制造业转型升级。

3.2.3 完善标准规范体系建设

机电一体化与智能制造融合的标准规范体系建设是技术创新与应用的基石。顶层设计的制定构筑了覆盖基础共性、关键技术、应用实施的多层次标准体系框架。基础标准研制工作统一了术语定义、性能指标、测试方法等,为技术创新奠定了共同语言基础。关键技术标准的推进,聚焦了智能感知、控制决策、系统集成等核心环节,更好地引导技术发展方向。应用标准的完善需要围绕智能装备、生产线、工厂等场景,制定实施指南与评估方法,以促进技术落地。新兴技术如人工智能、数字孪生等标准的研制引领产业发展前沿。标准制定过程中产学研用的协同确保了标准的科学性与适用性。国际标准化活动的积极参与提升了我国在该领域的话语权。标准实施评估机制的建立促进了标准的持续优化。系统化、科学化的标准体系建

设为机电一体化与智能制造融合发展提供了规范指引,推动了产业高质量发展。

3.2.4 促进产学研用深度合作

产学研用深度合作是推动机电一体化与智能制造融合的核心动力。共性技术平台的打造整合了高校、科研院所、企业等创新资源,为前沿技术联合攻关提供了基础。围绕行业痛点问题开展协同创新,建立产业技术创新联盟,加速了科研成果转化。研发众包模式的推广汇聚了全球创新智慧,可有效破解技术难题^[5]。开放式创新网络的构建促进了跨界资源流动与整合。产学研协同创新示范基地的培育探索了新型合作模式,为融合发展提供了样板。订单式人才培养深化了校企合作,培养了适应产业需求的复合型人才。科技成果转化机制的完善和技术经纪人制度的建立畅通了产学研用对接渠道。协同创新评价体系的构建激励了多方深度合作。这种多维度的协同创新形成了强大合力,加速了机电一体化与智能制造的融合发展,有力推动了制造业向智能化、高质量方向迈进。

4 结束语

机电一体化技术与智能制造的深度融合是实现制造业高质量发展的必由之路。本文从机电一体化技术与智能制造的概念、关键技术、典型应用等方面系统分析了机电一体化技术在智能制造领域的融合发展现状,揭示了融合发展面临的技术、标准、人才等方面的挑战,提出了加强协同创新、突破技术瓶颈、完善标准体系、深化产学研用合作的对策建议。相关人员需要在厘清基本概念的基础上紧扣智能制造发展的现实需求,聚焦机电一体化技术创新应用的薄弱环节,加大协同攻关、集成创新和工程应用力度,推动机电一体化技术与智能制造加速融合,助力制造业高质量发展。

参考文献:

- [1] 宋欣隆,刘启宸.机电自动化控制系统的一体化设计研究[J].中国设备工程,2024(14):145-147.
- [2] 纪宗军.智能制造背景下机电一体化技术的发展路径探索[J].产业创新研究,2024(12):13-15.
- [3] 王迅.智能制造背景下机电一体化技术在机械制造工程中的应用策略研究[J].造纸装备及材料,2024,53(06):79-81.
- [4] 喜珊.机电一体化技术在智能制造中的运用[J].科技风,2024(15):62-64.
- [5] 武涛,赵林林.智能制造背景下机电一体化技术人才培养研究[J].内燃机与配件,2024(06):155-157.

基于输电线路电场分布特征的 无人机巡检避障策略研究

王少杰

(安徽送变电工程有限公司, 安徽 合肥 230000)

摘要 输电线路巡检是保障电网安全运行的关键环节, 无人机凭借灵活、高效等优势被广泛应用于此领域, 但复杂的线路环境对其飞行安全构成挑战。本文以输电线路周围电场分布为研究对象, 深入分析了影响因素和分布规律, 提出了一种考虑电场避障的无人机巡检路径优化方法, 通过构建避障模型并引入改进的群智能算法, 在保证无人机飞行安全性的同时提升巡检效率, 旨在为输电线路无人机巡检提供新思路和技术支撑。

关键词 输电线路; 无人机巡检; 电场分布; 避障策略

中图分类号: TM75; TP391.4

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.02.012

0 引言

输电线路作为电力系统的关键组成部分, 其安全稳定运行至关重要。传统的人工巡检方式效率低、劳动强度大, 已不能满足现代电网的发展需求。近年来, 在智能电网和无人机技术的推动下, 无人机巡检凭借其灵活性、高效性等优势受到广泛关注和应用。然而, 输电线路周围复杂的电磁环境对无人机的飞行安全构成了潜在威胁。为充分发挥无人机巡检的优势, 亟需开展输电线路电场分布特征分析, 并研究适用于复杂环境的无人机避障策略和巡检路径优化方法。

1 输电线路电场分布特征分析

1.1 输电线路电场分布的影响因素

输电线路电场分布特征是一个复杂而多元的问题, 其影响因素涉及线路结构参数、运行工况、环境条件等多个方面。导线截面积、相序排列、相间距离、对地高度等几何参数直接决定了电荷的空间分布, 进而影响电场强度和分布形态。与此同时, 线路电压等级、电流大小等运行参数也在动态改变着电场。此外, 气象条件如温度、湿度、风速等因环境介质的绝缘特性会对电场分布产生影响。综合考虑这些因素的耦合作用, 建立精准的数学模型, 是准确把握输电线路电场分布规律的关键。

1.2 不同输电线路结构下的电场分布规律

针对不同结构型式的输电线路, 电场分布呈现出显著的差异性和多样性。对于水平排列的单回线路, 其电场强度在导线下方最大, 呈现出对称分布的特点; 双回线路由于相序的交错排列, 电场强度分布变得复

杂, 在不同高度和横向位置表现出明显的空间变化^[1]。铁塔塔身、横担、绝缘子串等附属结构的存在, 扰乱了线路附近的电场分布, 在局部区域形成电场畸变。多导线、分裂导线等特殊结构更是大大增加了电场计算的难度。梳理清这些结构差异引起的分布规律, 是开展环境影响评估和安全防护的基本前提。

1.3 电场分布特征对无人机飞行的影响

输电线路周围的强电场环境对无人机飞行安全构成潜在威胁。一方面, 无人机自身金属结构在电场作用下会产生感应电荷, 引起电势失衡和局部放电, 干扰了飞控系统和通信设备的正常工作。另一方面, 旋翼飞行器的复合材料机体在强电场中极易发生极化, 产生附加的静电吸引力, 会影响无人机的姿态稳定和轨迹控制。当无人机飞行于电场强度梯度变化剧烈的区域时, 无人机还可能受到非均匀电场力的作用, 出现偏离预定航线的失稳现象。综合分析电场分布特征及其与无人机的相互作用机理, 是发展主动防护技术、确保巡检作业安全的重要基础。

2 基于电场分布的无人机巡检避障模型

2.1 避障模型的建立

综合考虑输电线路电场分布特征, 创新性地构建一种无人机巡检避障模型。该模型聚焦环境感知、电场强度测量以及实时避障路径规划等关键要素。通过高灵敏度电场传感器阵列, 可实现对线路周围电磁环境的实时感知和精准测量。自适应电场数据处理算法能快速准确提取电场强度、梯度等关键参数。针对无人机飞行特性和避障需求, 改进人工势场法, 将电场

分布信息映射为虚拟排斥力,引导无人机远离高电场区域。势场叠加与动态搜索相结合,能实现实时避障路径快速规划和平滑优化,显著提升无人机飞行安全性和自主性。该避障模型体现了环境感知、信息处理、路径规划的高度融合,为复杂电磁环境下无人机自主巡检提供新的解决方案。

2.2 避障模型的仿真验证

为验证避障模型的可行性和有效性,在高逼真度三维仿真环境中进行系统测试。基于实际输电线路几何参数和运行工况,利用电磁场有限元分析软件精细建模线路周围电场分布,可获得全空间电场强度数值解。将电场数据与无人机电动力学模型相结合,构建硬件在环半实物仿真系统^[2]。通过设置典型线路环境和飞行任务,系统评估避障模型实时性、稳定性、平滑性等关键指标。仿真结果表明,该避障模型能快速感知和精准判断电场环境,生成安全、平滑的避障路径,成功引导无人机规避强电场区域。在复杂环境和高强度电磁干扰下,该模型仍表现出良好鲁棒性和自适应性,验证了其实际应用可行性。这为后续开展无人机巡检飞行试验奠定坚实基础。

2.3 避障模型的飞行试验

在仿真验证基础上,选取 220 kV 输电线路开展无人机巡检飞行试验,进一步评估避障模型实际效果。试验线路长 10 km,地形复杂多变,电磁环境干扰严重,对无人机避障能力要求较高。试验平台为轴距 1.5 m、空重 15 kg 多旋翼无人机,搭载高精度差分 GPS、惯性导航系统及自主研发机载电场传感器。利用飞控系统集成避障模型,实现自主避障和路径优化。试验过程中,无人机成功完成整条线路自主飞行和数据采集任务,飞行轨迹平稳,全程未发生碰撞或失控等安全事故。飞行数据分析表明,利用该避障模型,无人机能实时感知电场分布,提前规划出安全、高效飞行路径,根据电场变化自主调整航向和速度,避开杆塔、导线等危险区域。与未使用避障模型飞行相比,提高了飞行安全裕度,缩短了巡检时间,充分展示该避障模型在实际工程中的应用价值。

3 考虑线路电场分布的无人机巡检路径优化

3.1 以安全性和效率为目标的巡检路径优化模型

3.1.1 安全性指标的量化

创新性提出一种量化巡检路径安全性的综合指标,综合考虑电场强度、电场梯度、无人机与导线距离等多个影响因素,通过加权求和的方式归一化形成无量纲的安全性评价函数。引入模糊推理和专家评判机制,

自适应调整各影响因素权重,使安全性指标更加客观、准确、全面。将安全性指标嵌入路径优化模型作为关键约束条件,确保生成的巡检路径满足任务覆盖要求,同时保持在安全裕度允许范围内,避免无人机遭受电场干扰发生碰撞或失控。仿真和飞行试验表明,基于该安全性指标优化的巡检路径能够显著提升无人机生存能力和鲁棒性。

3.1.2 效率指标的量化

传统的巡检效率度量大多基于路径长度等简单几何指标,忽略了无人机电动力学特性、环境风场等因素的影响,难以真实反映实际飞行效率。针对这一问题,综合飞行器性能、线路参数、气象条件等多源信息,构建了一套多准则效率评价指标体系^[3]。通过对航迹长度、角度变化、爬升高度、速度分布等航迹特征进行统计分析,并结合无人机推进功率、电池续航等约束条件,构建综合能耗模型,实现了巡检效率的定量评估。同时,针对大规模线路网络,提出基于图论的分区域轨迹分解算法,实现局部与整体效率的兼顾。在保证完整覆盖输电线路的基础上,最小化无人机综合能耗,从而得到一条节能高效的巡检路径,为工程实际提供了重要决策依据。

3.2 改进的群智能优化算法

3.2.1 算法原理

群智能优化算法因其并行搜索、快速收敛等优势而在轨迹规划领域得到广泛应用,但对高维、多约束的输电巡检路径问题,标准的群智能算法容易陷入局部最优、收敛速度慢等困境。针对这一难题,创新性地融合多种群智能算法的优势,提出了一种改进的混合群智能优化方法。该方法将粒子群、萤火虫、蚁群三种经典算法有机结合,形成多层次协同优化框架。通过引入随机权重策略动态调整各子群体的搜索能力,在算法初期侧重全局探索,后期注重局部挖掘,在种群多样性和收敛速度间达到平衡。同时,针对输电巡检任务的特点,设计了基于备选航路集的编码策略,显著降低了解空间维度,缩短了算法搜索时间。此外,通过自适应变异算子保证种群持续进化,跳出局部最优。

3.2.2 避障约束的编码实现

如何在路径优化模型中合理刻画避障约束,并与群智能搜索算法有效耦合,是一个富有挑战性的问题。传统编码方式大多采用惩罚函数或复杂的约束处理机制,计算复杂度高且易引入额外参数。创新性地提出一种基于可行航路集的隐式编码策略,无需专门设置障碍物约束,通过飞行区域划分预先剔除非安全航路,生成的可行解天然满足避障条件^[4]。在此基础上,重

点攻克了航路集实时更新难题,设计了基于八叉树的自适应航路集划分算法,根据每次迭代后电场分布信息的变化,自动调整和丰富备选航路集,确保优化搜索始终在安全空间内进行,在计算效率、空间适应性等方面均优于固定航路集编码。该避障编码机制与群智能搜索有机融合,构成了一个简洁高效的统一计算框架。

3.3 算法性能分析与参数调优

3.3.1 收敛速度与解的质量分析

算法的收敛速度和解的质量是评判其性能的两项关键指标。首先,针对改进的群智能算法,通过理论推导获得了收敛性条件,证明了在合适参数下算法能够以概率收敛到全局最优。在此基础上,设计了一套基准测试函数,全面评估算法在不同类型问题上的搜索性能。通过大量仿真试验表明,改进算法无论在单目标、多目标还是多约束问题上,均能在合理的迭代次数内快速收敛到高质量的解,收敛速度和解的精度均明显优于多种同类算法。尤其针对大规模、高维输电线路巡检路径规划问题,凸显出显著的优越性,求解效率比经典智能算法提高1至2个数量级。在解的质量方面,通过与混合整数规划等精确算法的对比,证实了改进算法能够稳定找到接近最优的解,平均偏差率不超过5%,完全满足工程实际需求。

3.3.2 关键参数敏感性分析与调优

针对改进算法中的种群规模、学习因子、守角度阈值等关键参数,采用正交试验设计,对算法性能的敏感性展开了详细分析。研究发现,种群规模和学习因子对算法的收敛速度影响最大,而守角度阈值与解的质量关系更密切。据此提出了一种自适应参数调整策略,根据搜索进程动态调整各参数,在初期强调探索能力,后期突出挖掘能力,在收敛速度和解质量之间取得平衡^[5]。同时,针对输电线路巡检任务的特点,给出了各参数的优选取值范围,避免盲目尝试而浪费计算资源。在大量不同规模、不同复杂度的测试算例上,验证了参数自适应策略的有效性和鲁棒性,大大减轻了参数整定的难度,降低了算法对参数的敏感依赖,增强了工程实用性。

3.4 实例分析

3.4.1 某输电线路巡检方案优化

选取220 kV典型输电线路为研究对象,全长85 km,跨越山区、丘陵、平原等复杂地形,共283基铁塔。考虑线路实际运行工况、当地气象条件和无人机性能参数,构建三维数字场景模型。应用文中无人机巡检路径优化模型和改进群智能算法,对该线路巡检方案

开展系统优化设计。通过安全性和效率双目标均衡求解,获得最优巡检航线。优化方案在覆盖整条线路同时,巧妙避开强电场区域,无人机与杆塔导线保持安全距离,飞行路径平滑,转弯半径和爬升角度满足动力学约束。与经验设计巡检路径相比,飞行里程缩短18%,耗时减少22%,体现了本文方法优越性和实用价值。

3.4.2 优化前后方案对比

从安全性、经济性、可靠性等角度,对优化前后巡检路径开展深入对比。通过飞行轨迹三维可视化仿真,发现优化后无人机规避原方案中多处“危险区”,整个航线与高压设备间隔明显增大,有效降低飞行风险。定量计算表明,优化方案平均安全裕度提高32%,电磁干扰超标里程减少95%,避障能力大幅增强。受益于路径精简,单次巡检耗电量和任务用时减少20%以上,后续运维成本节约可观。通过蒙特卡洛仿真对比两套方案鲁棒性,原方案易受天气、干扰等不确定因素影响,优化方案航迹更稳健,适应更宽工况变化,线路覆盖率稳定在99%以上,充分保障巡检效果。

4 结束语

本文针对输电线路无人机巡检面临的环境挑战,从电场分布特征入手,构建了兼顾安全性与效率的避障优化方法。通过理论分析、数值仿真和飞行试验,验证了所提方法的可行性和有效性。研究成果丰富了输电线路无人机巡检的理论和方法,为后续开展工程应用提供了参考。需要指出的是,本研究还有进一步完善的空间,如考虑更复杂的气象条件、优化机载电场传感器性能、拓展到多无人机协同巡检等,这些都将是下一步研究的重点,通过产学研用各方的共同努力,无人机巡检技术必将在未来的输电线路智能运维中发挥越来越重要的作用。

参考文献:

- [1] 陈建新,袁思遥.输电线路无人机高空验电挂拆接地线技术研究[J].电子设计工程,2023,32(23):127-130,135.
- [2] 王涛,严永锋,汪滢,等.架空输电线路无人机巡检图像缺陷识别方法研究[J].科学技术创新,2023(23):132-135.
- [3] 武军,谢忠,王日照.基于激光雷达的输电线路导地线无人机巡检方法研究[J].东北电力技术,2023,35(11):37-31.
- [4] 吉琳.无人机巡检在输电线路中的应用研究[J].中国新通信,2023,26(22):56-58.
- [5] 王聘昊,贺凌飞.输电线路电场分布特征驱动下的无人机巡检避障策略分析[J].技术与市场,2023,31(09):73-78.

城市地铁区间隧道暗挖施工技术分析

韩嘉辉

(中铁十二局集团第四工程有限公司, 陕西 西安 710065)

摘要 城市轨道交通是减轻城市交通压力, 提升城镇化水平的一项重大举措。在城市轨道交通中, 区间隧道作为城市轨道交通中最主要的一环, 其建设水平对整个城市轨道交通的运行具有重大的意义。由于其占地面积小, 对地面交通的干扰小, 已被大量应用于城市轨道交通建设中。本研究通过对地下工程中地下结构物的分析, 提出了一种地下结构设计方法, 旨在为相关人员提供参考。

关键词 城市地铁工程; 区间隧道; 暗挖施工

中图分类号: U455.4

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.02.013

0 引言

随着城市地铁建设的快速发展, 暗挖施工技术在城市地铁区间隧道施工中得到了广泛的应用和研究。目前, 我国已经形成了一套完整的暗挖施工技术体系, 包括地表注浆加固、地下连续墙施工、隧道初期支护、二次衬砌等。在暗挖施工技术的研究方面, 国内学者主要关注施工工艺、施工参数、施工质量控制等方面; 在国外, 暗挖施工技术同样得到了广泛的应用和研究。国外学者在暗挖施工技术的研究方面, 主要关注隧道支护结构的设计、施工过程中的监测与控制等方面。

1 暗挖施工技术概述

1.1 暗挖施工技术定义

暗挖施工技术是一种在地下进行挖掘的施工方法。它通过利用地下空间, 实现在地面以下进行隧道或空间的施工, 从而达到建设目的。这种技术不仅可以在地下挖掘隧道, 还可以在地下挖掘空间, 如地下停车场、地下商场等。暗挖施工技术的核心是在地下进行开挖作业, 而不是在地面上进行开挖作业^[1]。

1.2 暗挖施工技术分类

根据施工方法的不同, 暗挖施工技术可以分为: (1) 盾构法: 盾构施工是采用盾构掘进施工的一种施工方式。盾构机是一种在地下进行开挖和支护的专用设备, 它可以在地下挖掘隧道, 同时对隧道周围进行支护, 以保证施工安全。(2) 矿山法: 矿山法是一种利用矿山设备在地下进行隧道挖掘的方法。这种方法通常用于挖掘较深的隧道, 如地铁隧道、矿山隧道等。(3) 地下连续墙法: 地下连续墙法是一种利用地下连续墙在地下进行空间挖掘的方法。这种方法通常用于挖掘地下空间, 如地下停车场、地下商场等。

1.3 暗挖施工技术优缺点

1. 优点: (1) 减少对地面交通的影响: 暗挖施工技术可以在地下进行施工, 从而减少对地面交通的影响, 降低施工对周围环境的影响。(2) 降低环境污染: 暗挖施工技术可以减少施工过程中产生的噪声、振动等环境污染, 提高施工现场的环境质量。(3) 提高施工安全性: 暗挖施工技术可以在地下进行施工, 从而降低施工过程中的人员伤亡风险^[2]。

2. 缺点: (1) 施工难度较大: 暗挖施工技术需要在地下进行施工, 施工难度较大, 对施工技术和设备要求较高。(2) 成本较高: 暗挖施工技术需要使用专门的施工设备, 如盾构机、矿山设备等, 导致施工成本较高。(3) 工期较长: 由于暗挖施工技术的施工难度较大, 导致施工工期较长, 对项目进度产生影响。

2 城市地铁区间隧道暗挖施工技术

2.1 隧道暗挖施工方法

1. 传统暗挖法: 传统暗挖法是采用人工或机械挖掘, 通过开挖面和支撑系统共同作用, 使地下隧道空间逐渐形成。传统暗挖法具有施工简单、成本低廉、适应性强等优点, 但同时也存在安全风险高、进度缓慢、对环境影响较大等问题。

2. 盾构法: 盾构法是通过盾构机在地下掘进, 同时在盾构机上设置衬砌系统, 从而形成隧道结构。盾构法具有施工速度快、安全性能高、对环境影响小等优点, 但同时也存在设备投入大、成本较高、施工难度较大等问题。

3. 顶管法: 顶管法是通过在地面上设置顶管机, 将预制的管道或拱部结构在地下推进, 同时利用顶管机上的支撑系统维持隧道空间。顶管法具有施工速度

快、对环境影响小、适用范围广等优点，但同时也存在设备投入大、成本较高、施工难度较大等问题。

4. 浅埋暗挖法：浅埋暗挖法是指在地表覆盖较浅的地下隧道施工中，采用暗挖法施工。浅埋暗挖法具有施工速度快、对地表影响小、成本较低等优点，但同时也存在安全风险较高、施工难度较大、适用范围有限等问题^[3]。

2.2 施工工艺流程

1. 前期准备工作：前期准备工作主要包括地质勘探、测量放线、施工方案设计等。地质勘探是为了了解隧道沿线地质条件，为施工提供科学依据。测量放线则是为了准确确定隧道位置和尺寸，保证隧道开挖的准确性。施工方案设计则是根据地质条件和施工要求，制定合理的施工方案，包括施工方法、施工顺序、施工设备等。

2. 隧道开挖与支护：隧道开挖是暗挖施工的关键环节，需要采用合理的开挖方法和支护措施，确保施工安全。常见的开挖方法有爆破法、盾构法、掘进机等。支护措施主要包括喷锚支护、钢拱架支护、混凝土衬砌等。

3. 隧道衬砌与回填：为确保隧道的稳定与安全，隧道的衬砌一般都是在现场浇筑或装配式的。回填是为了使隧道与周围土体紧密结合，减少土体对隧道的影 响，通常采用石屑、沙土等材料。

4. 施工过程中的监测与控制：施工过程中的监测与控制是为了保证隧道施工的安全和质量，主要包括监测隧道变形、应力、地下水位等，以及根据监测数据进行及时调整和控制。常用的监测方法有光纤光栅监测、电磁波监测、超声波监测等。

2.3 关键技术及应用

1. 地质超前预报技术：地质超前预报技术是指在隧道施工前，通过各种手段对地下地质情况进行探测和预报，以便在施工过程中能够及时发现和处理可能出现的地质灾害风险。地质超前预报技术包括地质勘探、地震勘探、电磁法、地下水监测等多种方法。通过这些方法，可以对隧道施工范围内的地质条件进行全面了解，为隧道支护和衬砌设计提供重要依据^[4]。

2. 隧道支护技术：隧道支护是对隧道进行有效的支护，以确保隧道的安全与稳定。常见的隧道支护技术有喷锚支护、衬砌支护、注浆支护等。其中，喷锚支护是一种通过喷射混凝土和锚杆加固来稳定隧道的技术，适用于各种地质条件；衬砌支护则是通过在隧道周围设置衬砌来抵抗地下水压力和土压力，保证隧道的安全；注浆支护则是通过注浆来填充隧道周围的

空隙，提高隧道的整体稳定性。

3. 隧道衬砌技术：隧道衬砌技术是指在隧道施工过程中，通过设置衬砌来保护隧道的结构安全。隧道衬砌的主要作用是防止地下水渗透、土压力和岩压力对隧道结构的破坏。常见的隧道衬砌技术有现浇混凝土衬砌、预制混凝土衬砌、钢衬砌等。其中，现浇混凝土衬砌和预制混凝土衬砌是传统的隧道衬砌技术，施工简单、成本较低，但强度较低；钢衬砌则具有强度高、施工速度快等优点，但成本较高。

4. 施工安全风险评估与管理：施工安全风险评估与管理是指在隧道施工前，通过评估施工过程中可能出现的安全风险，制定相应的风险应对措施，以确保施工的安全和顺利进行。施工安全风险评估与管理包括施工安全风险识别、风险评估、风险控制和风险监测等环节。通过这些环节，可以有效降低隧道施工的安全风险，保障施工人员的生命财产安全。

3 城市地铁区间隧道暗挖施工案例分析

3.1 工程背景与特点

地铁建设中，区间隧道的暗挖施工是一项至关重要的技术。相较于明挖施工，暗挖技术对地面的影响更小，能够更好地适应复杂地形和环境条件。这种技术的应用不仅有助于缓解城市交通压力，还能促进城市经济发展，减少施工活动对沿线城市居民日常生活的干扰。

本次案例工程位于某市的繁华商业区，该区域地质条件复杂，地下管线众多，且交通极为繁忙。由于地表空间有限且不宜大规模开挖，采用暗挖施工方案成为最佳选择。暗挖施工不仅能最大限度地减少对地面的扰动，降低对周边环境的影响，还能确保商业区日常运营的连续性，减少对当地居民和商户的干扰。具体而言，暗挖施工首先需要进行详细的地质勘查和风险评估，确定适宜的施工方法和技术措施。根据勘查结果，制定详细的施工方案，合理安排工序，确保施工过程中每一步都严格按照规范进行。在施工过程中，要特别注意地下管线的保护，防止因施工引发的管线破损和泄漏事故。此外，还需对隧道的支护和衬砌进行严格控制，确保隧道结构的稳定和安全^[5]。

3.2 施工方案与实施

案例工程采用了双侧壁导坑法进行暗挖施工。该方法是一种较为稳妥的施工方案，通过将隧道分成多个小段进行开挖和支护，可以降低施工风险。具体实施过程如下：（1）准备工作：在施工前，对工程进行了详细的地质勘察和环境调查，了解了地层和地下管

线的分布情况,制定了详细的施工方案和应急预案。(2) 导坑开挖:按照双侧壁导坑法的要求,将隧道分成多个小段,每段长约 10~15 m。在每个小段内,采用人工开挖导坑,并按照要求进行初期支护。(3) 全断面开挖:当每个小段的导坑开挖完成后,进行全断面开挖。在全断面开挖过程中,采用了混凝土喷射和钢拱架等支护措施,确保施工安全。(4) 衬砌和防水:在隧道开挖完成后,进行了混凝土衬砌和防水施工。在衬砌过程中,采用了模板台车和泵送混凝土等工艺,提高了施工效率和质量。(5) 路面恢复:在隧道施工完成后,对路面进行了恢复。在路面恢复过程中,采用了沥青混凝土路面和路缘石等工艺,确保了路面的美观度和使用性能。

3.3 施工效果与评价

案例工程的暗挖施工方案合理,实施过程严格控制,取得了良好的施工效果。具体表现如下:(1) 施工安全:在整个施工过程中,没有发生任何安全事故,保证了施工人员的安全和健康。(2) 施工质量:在施工过程中,采用了多种质量控制措施,确保了隧道结构的稳定性和耐久性。同时,路面恢复质量得到了业主和市民的好评。(3) 施工进度:该工程按照合同工期顺利完成,为后续工程提供了保障。(4) 经济效果:该工程的施工费用得到了有效控制,没有超出预算范围。同时,该工程的成功实施也为公司树立了良好的形象和信誉^[6]。

4 城市地铁区间隧道暗挖施工技术展望

4.1 发展趋势

在我国城市化快速发展的背景下,城市轨道交通是一种有效的途径。在城市轨道交通工程中,地下结构的地下结构是一种较为普遍的结构形式。城市地铁区间隧道暗挖施工技术将呈现以下发展趋势:(1) 绿色环保施工:在暗挖施工过程中,将更加注重绿色环保施工理念,降低对周边环境的影响。例如,采用盾构法施工,减少地面交通干扰,降低噪声和振动污染。

(2) 智能化施工:随着信息技术的发展,暗挖施工将向智能化、信息化方向发展。利用大数据、云计算、物联网等技术,实现施工过程的实时监控、预警和远程控制。(3) 精细化施工:在施工过程中,将更加注重精细化管理,提高施工质量和效率。比如,利用 3D 激光扫描技术,对隧道的开挖断面进行准确的定位,降低了过深、过浅等问题。

4.2 研究方向

针对城市地铁区间隧道暗挖施工技术的发展趋势,

未来研究方向包括:(1) 绿色环保施工技术研究:重点关注如何在暗挖施工过程中降低对周边环境的影响,如研究开发新型环保材料、节能减排技术等。(2) 智能化施工技术研究:研究利用大数据、云计算、物联网等先进技术,实现施工过程的实时监控、预警和远程控制,提高施工安全性和效率。(3) 精细化施工技术研究:探讨采用三维激光扫描等技术,实现隧道开挖轮廓的精确控制,减少超挖和欠挖现象,提高施工质量。

4.3 对策与建议

根据上述发展趋势与研究方向,提出了政府、企业及科研院所应密切协作,促进我国城市轨道交通地下工程的发展。主要的对策有:(1) 加强政策扶持:国家要制定相应的政策,促进建筑行业采用绿色、智能化、精细化的施工工艺,促进技术的研究与推广。

(2) 加大研究开发力度:企业要提高研究开发力度,并与其他研究院所开展深度合作,以促进我国地下工程的不断进步和发展。(3) 强化专业培训:培训一批具有专业素养、掌握先进技术的工程建设与管理人员,为我国城市轨道交通的地下工程建设与管理工作奠定坚实的基础。

5 结束语

在现代化的大、中、小规模地下铁路工程中,区间隧道的开挖是一项十分重要的工程。该方法运用的恰当与否,关系到整个项目的施工质量和地铁运行的安全性。建设企业应充分关注区间隧道的暗挖工艺,针对具体条件选取最适宜的暗挖工法,对各个工序进行严格的质量管理,从而进一步提升地下工程的整体水平。

参考文献:

- [1] 肖育斐,孙荣.城市地铁区间隧道暗挖施工技术研究[J].中国水运:下半月,2019,19(12):215-216.
- [2] 李宗运,吴蒙.施工监测在地铁隧道暗挖施工中的应用[J].市政技术,2019,37(02):110-112.
- [3] 谯恒.城市地铁区间隧道暗挖施工[J].建筑,2019(04):75-76.
- [4] 葛明,李霞,颜志坚.城市地铁隧道暗挖法施工穿越高架桥风险模糊综合评价[J].大连大学学报,2018,39(03):21-26.
- [5] 程森峰.城市地铁区间隧道暗挖施工技术分析[J].工程机械与维修,2023(02):225-227.
- [6] 邓本举.浅谈复杂地层条件下城市地铁区间隧道浅埋暗挖施工技术[J].科协论坛:下半月,2013(02):16-17.

生态城市建设中环境工程技术的应用

王新臣

(聊城市政务服务综合受理中心, 山东 聊城 252000)

摘要 在生态问题日益严峻的环境下, 注重落实生态城市建设发展工作已成为现阶段开展工作的首要任务。在生态城市建设过程中, 要结合实际发展情况, 与环境工程技术进行有机结合, 应用先进的技术和管理观念, 有效解决环境污染问题, 保障生态系统建设工作质量。在生态城市建设中应用先进的技术和制定明确的管理方案, 既可以合理把控污染问题, 也可以保证生态环境工作质量和效果, 还可以为提升实际资源利用效率提供可行的调整计划, 为经济发展提供更多元、更和谐的发展方向。本文对生态城市建设中环境工程技术应用方案进行了深入研究, 以期为推动生态城市发展提供可行性建议。

关键词 生态城市建设; 环境工程技术; 节能减排技术; 污水循环利用技术

中图分类号: X321

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.02.014

0 引言

在工业化飞速发展的环境下, 要想推动城市建设朝着生态化方向发展, 需要对建设发展给予高度重视和关注, 并充分将工业建设和生态建设进行有机结合, 根据城市化发展需求增强环境保护力度, 使其成为生态城市建设的主要发展方向。在生态城市建设过程中应当积极引入环境工程技术, 有效提升生态城市环境质量和实际能源消耗比例。开展此项工作需要经过长时间的技术、环境、策略探索, 还要与实际发展情况、建设进度多方面数据进行结合, 只有这样才能充分发挥环境工程技术优势, 针对性提高生态城市建设环保效果。

1 生态城市建设的重要作用

1.1 推动区域经济发展

在经济全球化加速发展过程中, 城市发展正逐渐向推动区域经济发展方向转变, 使其成为推动区域发展的主要动力^[1]。同时, 重视生态城市建设工作也可以为区域发展提供全新的发展路径, 以及为其提供更优质的经济发展方案。在具体发展过程中, 可以降低碳技术引入其中并充分发挥其优势, 对现有的产业结构体系进行更新和升级, 促进区域经济可以迈进绿色发展轨道中。而后, 在开展生态城市建设工作时, 还要与区域资源和相关配置进行结合完成和谐发展的任务。与此同时, 在促进发展过程中还要对循环利用给予高度重视, 根据经济发展情况、生态建设发展目标合理筛选实际运用资源。既可以减少资源浪费问题,

还可以为推动区域经济发展提供有力帮助与支持。

1.2 促进绿色健康发展

在城市化进程飞速发展的环境下, 工业水平与之前相比发展速度也非常快, 对城市环境方面产生了诸多不利因素^[2-3], 包括影响空气质量、水资源匮乏、生态环境受到严重影响。结合现阶段实际情况需要重视落实城市生态建设工作, 还要秉持和谐健康的理念, 对现有的城市配置资源进行科学合理的优化与创新。还应当根据城市化发展情况进行合理资源配置, 针对性提高资源应用效率和实际运用效果。同时, 在推动生态城市建设发展过程中, 还要将发展重点向促进绿色经济方向偏移, 积极开发清洁能源行业、环保建筑方案, 以及制定科学合理的二次循环利用方法, 为提升经济效益开辟全新的发展途径。将绿色和低碳进行有机结合, 既可以合理化降低能源消耗问题, 还可以为城市建设发展提供全新的发展思路, 为产业升级提供不竭动力源泉。

1.3 落实生态环境保护

根据对现阶段城市化发展情况进行研究分析, 传统的城市发展方式早已经无法满足人们日常实际需求, 甚至对于环境方面还会产生诸多不利因素。其中包含: 环境污染、空气污染、水资源污染问题, 如果不及时进行调整和改善会严重影响生态平衡和健康^[4]。因此, 在生态城市建设过程中, 需要积极应用绿色健康的管理方法, 充分挖掘城市与自然环境结合的共同点, 并制定科学合理的方案保护生态环境。同时, 还要对之前出现问题的环境进行修复工作, 如创建生态绿地、

森林公园都可以成为推动环境保护工作的重要内容。通过应用上述管理方法,既可以合理降低污染风险,还可以为人们提供充足的水资源补给和绿色健康休闲空间。

2 环境工程技术类型及特点

2.1 环境工程技术类型

根据对环境工程技术实际应用范围进行研究分析显示,此项技术的主要作用是治理环境污染问题。较为常见的工程技术类型主要可以分为:水污染、大气污染、固体废物处理等多个方面^[5]。上文中提到的水污染技术在进行实际应用时可能,还运用到生物法、化学方法来进行处理工作。并且,为了保障其质量还运用到新颖的活性污泥去除方法,以及运用生物脱模方法来进行工作,实际效果也非常显著;而进行大气污染治理时,会根据城市实际情况选择运用除尘技术、脱硝技术进行处理,有效保护环境;在进行固体废物物料处理时,可以运用燃烧、掩埋的方式进行处理。通过应用上述技术既可以充分保障环境工程实际效果和质量,还能为建设生态城市提供更具针对性的技术补充。

2.2 环境工程技术特点

在对环境工程技术实际应用优势和特点进行研究分析,主要体现在以下几个方面:第一,具有综合性强的本质特点,因在日常工作过程中会涉及物理、化学等多门学科内容,既要运用理论性知识还需要与实践经验进行结合解决问题;第二,实用性效果显著^[6]。将其应用到生态建设工程中,还可以充分发挥修复功能;第三,显著的创新性。在环境日趋复杂的环境下,环境工程技术也在随之发生转变,在具体应用过程中还衍生出较为新颖的技术和方法。其中有生物催化技术、光催化技术,都是现阶段较为新颖的技术,实际应用效果也非常显著;第四,还具有可持续发展特点,可以充分考虑到社会经济和生态发展变化和需求。同时,在进行实践应用过程中还可以针对性提高资源运用效果,并快速完成经济循环发展工作。与此同时,还可以从根本位置、过程管理、末端调整多个方面,早日完成生态城市建设和转型工作,为生态城市可持续发展提供充足保障支持。

3 生态城市建设中环境工程技术应用

3.1 节能减排技术

在生态城市建设发展过程中,为了针对性提高实际工作质量和效果,需要将减低能源消耗作为发展核

心,在保障生态平衡过程中也可以合理减低环境污染问题。应用节能减排技术对于生态城市建设具有积极作用和意义,应用减排技术后可以针对性提高能源使用频率^[7-8]。同时,在具体应用过程中运用节能技术还可以合理减少能源实际消耗量数量,有效保障能源可以得到高效运用。而后,在生态城市建设过程中还要为节能和减排两项技术提供充足的发挥空间,应用清洁能源技术可以合理化降低污染物实际排放量。在充分保障环境质量的同时,也可以更好地维护生态健康稳定发展。

3.2 污水循环利用技术

在生态城市建设发展和人口逐渐增长的环境下,进行城市污水处理工作成为推动城市化建设工作的主要内容之一。进行污水处理工作既可以将水资源循环利用技术进行实时更新,还可以为环境保护提供更真实可行的技术管理方案,为生态城市建设发展提供坚实的基础支持。应用污水循环利用技术,可以将污水中的营养成分进行提取,并应用专业的技术和设备转变为可以进行二次利用的水资源。实际使用范围也非常广泛,可以进行农田浇灌、工业生产、城市路政建设、园林绿化多个方面,还可以合理降低自然资源浪费问题。污水循环利用技术,其实就是运用净化原理,将污水转变为可以进行二次应用的清洁能源,在经过先进的技术和设备进行二次处理,保障水资源实际质量为生态发展提供帮助。

3.3 固体废物循环利用

在城市化进程飞速发展的环境下,城市固体废物实际排放量与之前相比正朝着上升趋势发展,因数量增多直接影响生态城市建设工作进度和管理效果。此时,根据现阶段实际情况应当合理运用固体废物循环利用技术,将原本废物进行内部转换成为更有价值的资源,并运用无害处理方法为生态环境提供保护。落实到具体工作时可以对产生的废弃物进行分类,分为可回收和可循环利用,这样做既可以减少成本支出,还可以实现绿色环保发展目标。此外,还需要运用循环再利用技术,有效降低废弃物对环境产生的污染问题。

4 生态城市建设中环境工程技术的应用方案

4.1 根据实际情况,重视建设资金投入

为了更好地推动生态城市建设工作,需要充分了解实际建设发展需求、建设发展目标,为其提供充足的建设资金补给。同时,还要针对性落实宣传引导工作,可以合理拓宽原有的宣传渠道。如:抖音、快手、

微信公众号宣传,在设计宣传内容时还要包含工程技术特点、城市建设目标、重要作用,有效激活人们参与生态建设监督管理工作意识。与此同时,还需要对现有的生态城市建设设备、技术人员进行适当补充,便于更好地发挥政府自身职能作用。拓宽融资渠道,还可以根据生态城市建设发展需求更新筹资管理制度和方案,更好地为生态城市建设提供充足的资金补给。

4.2 根据建设目标,加强质检监督管理

在经济飞速发展的环境下,开展生态城市建设工作,需要结合自身实际情况创建科学合理的建设发展目标。还要邀请职能部门、监督管理部门、质检部门加入,并建立有效沟通和联系。从观察分析角度出发,对生态城市建设发展过程中和结果给予正确的评价和判断,凸显其实际应用效果。同时,在建设发展过程中还可以邀请相关监督机构积极参与其中,根据过程和结果提出更详细具体的调整计划和方案。在具体监督管理过程中如果遇到徇私、失职问题时,需要追责到底并对其进行相关处理和管理。基于此,还要根据建设发展目标制定科学合理的监督管理方案,将管理政策和标准落实到城市化建设中的各个环节,为生态城市建设可持续发展提供有力帮助。

4.3 落实环境管理,增大人才培养力度

从环保角度对生态城市建设发展情况进行分析来看,开展各类环境工程管理工作时因缺少专业的环保人员,直接导致环境效果不理想和质量不高。结合当前实际情况,需要对环境管理工作给予高度重视,并注重培养环境工程技术人才。这样既可以为后续开展环境工程工作提供技术指导和支撑,还可以有效增强有关部门与高等院校之间建立紧密沟通与联系。在设置培养课程时,需要充分考虑到环境保护意识薄弱问题,增大培训和管理力度。对现有的环境保护课程内容进行更新,合理拓宽学习渠道和资源。可见,只有提高人才自身素质和专业能力后,才能更好地完成本职工作。分析其实际培训方案主要以,强化在职工作人员自身理论知识为主,并与实践管理活动进行结合。帮助工作人员可以运用正规的方式来提高能力,收获更充足的资源补给和技术补给。

4.4 根据城市建设,注重提高评估质量

根据对现阶段生态城市建设发展情况分析来看,要想高质量提升生态城市环境,需要将人与自然和谐共处的观念融入日常工作中。并且,还要充分发挥各个部门协同发展作用,合理运用环境工程技术进行生

态城市建设工作。在发展过程中还要定期对实际建设质量和效果进行评估,并制定科学合理的奖励方案和计划。运用激励的方式既可以激活工作人员热情和积极性,还可以保证生态工作建设质量。

此外,相关部门也要增大宣传力度,通过宣传的方式针对性提升人民群众对生态城市建设发展的重视度,以及强化责任意识。同时,政府方面也要积极配合生态城市建设工作,根据现场实际情况合理设置评估管理日期,以及应用新颖的环境工程设备对技术应用情况进行检查和评估。最后,还要总结生态城市建设评估反馈建议,对城市建设中出现的问题提出更具科学合理的解决方案和措施,为后续开展生态城市建设工作提供更真实、更科学合理的参考性建议。

5 结束语

在生态城市建设发展过程中,不仅需要认识到创建生态城市的根本作用以及对环境工程技术应用情况进行深入研究与分析,还需要根据生态城市建设实际情况制定科学合理的发展技术和方案,为推动城市可持续建设提供有力帮助与支撑。在建设发展过程中应当充分发挥环境工程技术特点,使其成为促进生态城市建设的重要工具。在具体开展建设工作时还需要科学合理地运用节能减排技术、污水循环利用技术、固体废物循环运用技术,为城市建设可持续发展提供更充足的技术和资源支持,提高生态城市居民生活质量。

参考文献:

- [1] 陈钰鑫.生态城市建设中环境工程技术的应用[J].中国科技期刊数据库工业A,2023(04):77-80.
- [2] 刘伟.环境工程建设在生态城市中的运用研究[J].电脑校园,2020(11):3729-3730.
- [3] 黄艳珍.生态城市中的环境工程建设技术的运用[J].百科论坛电子杂志,2023(18):285-287.
- [4] 朱婷.生态城市中的环境工程建设技术浅谈[J].百科论坛电子杂志,2023(19):211-213.
- [5] 许坤,张婷,陈泉.环境工程建设在生态城市中的应用[J].电脑校园,2020(12):4182-4183.
- [6] 贾宗森.环境工程建设在生态城市中的应用[J].中文科技期刊数据库(全文版)自然科学,2023(04):1-4.
- [7] 林大伟.生态城市中的环境工程建设技术的运用[J].国际援助,2022(29):136-138.
- [8] 孙志霄.环境工程建设在生态城市中的运用研究[J].房地产世界,2022(06):17-19.

节能环保技术在建筑工程中的应用研究

夏传慧, 彭润峰, 张争争

(曲阜市华兴建筑有限公司, 山东 曲阜 273100)

摘要 传统建造技术方法在建筑工程施工过程中无法有效实现对于生态环境的保护与资源的节约利用, 导致一系列的环境污染与资源浪费问题。在现代建筑工程中, 通过采用绿色建筑材料、推广先进的节能环保技术和设备、加强施工现场的环境监测和管理等措施, 可以显著提高施工效率和资源利用率, 减少施工过程中的废弃物和污染物排放, 为居民提供更加健康、舒适的居住环境。本文对节能环保技术在建筑工程中的应用展开了研究, 以期为同行人员提供参考。

关键词 节能环保技术; 建筑工程; 绿色建筑材料; LED 照明技术; 节地技术

中图分类号: TU74

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.02.015

0 引言

近些年, 为应对能源危机并建设环境友好型社会, 绿色可持续发展成为我国建筑行业的主旋律, 积极推动建筑节能已成为行业共识。节能环保技术在现代建筑工程中展现了广阔的应用前景, 能够在不影响建筑使用体验的前提下, 避免不必要的能源浪费, 将总体能耗控制在合理范围内, 契合节能环保理念。为进一步提高现场施工质量, 应深入研究和实践节能施工技术, 总结施工经验并注重技术细节, 促进节能施工技术的高质量应用和创新发展^[1]。

1 节能环保技术特点

1.1 循环经济

循环经济是指通过正常化的设计、施工和运营过程, 实现建筑材料与资源在整个项目周期(包括设计、施工、使用与拆除)中高效率、高质量的循环利用。循环经济主要体现在以下几个方面: (1) 优化设计阶段的用材及资源分配, 提倡绿色建筑理念, 最终达到节省资源和降低废弃物产生的目的; (2) 施工过程中, 强化施工现场管理, 通过精细化施工节约用料, 减少施工废弃物; (3) 对于拆除后的建筑垃圾, 进行垃圾分类和再利用, 减少填埋处理的垃圾量; (4) 支持厂家研发环保、耐用的建筑材料, 抑制过度消费, 拓展建筑产品寿命周期。

1.2 环境友好

节能环保技术在设计、施工及使用过程中, 以降低对自然环境的不良影响为主要目标, 环境友好具体表现为: (1) 减少高污染建筑材料的使用, 如污染严重的石棉材料; (2) 使用低排放生产工艺; (3) 提

倡环保工程, 即鼓励研发生态型建筑物, 采用流行的绿色建筑与生态性建筑观念, 配合富有生态价值的植被, 塑造出多样性、适应性、兼容性和生态价值均衡的综合性建筑空间^[2]。

2 节能环保技术在建筑工程中的应用

2.1 绿色建筑材料的选择

2.1.1 可再生材料

在建筑工程项目中, 采用可再生材料是促进节能环保技术实践的重要方面之一。可再生材料包括来自可持续管理森林的木材、竹材以及其他类似资源, 这些材料对环境影响较小, 有助于减少对非再生资源的依赖。根据统计数据显示, 使用可再生材料可以显著降低建筑项目的碳足迹。例如, 采用认证可持续木材替代传统木材, 可以减少温室气体排放。利用废弃或再生的材料也是一种有效的可再生材料应用方式。通过回收利用混凝土废料、废玻璃等材料, 在新建筑项目中减少原始材料的开采, 不仅有助于减少废弃物的产生, 还可以有效降低能源消耗和碳排放。因此, 在绿色建筑施工中, 合理选择和应用可再生材料是实现可持续发展目标的重要举措之一。

2.1.2 无害化建材

在节能环保技术实践中, 选择无害化建材是确保建筑环境健康与安全的重要手段。无害化建材是指在材料的生产、使用及处理过程中对人体健康和环境无危害的建筑材料。典型的无害化建材包括低挥发性有机化合物(VOCs)涂料、无甲醛刨花板等。数据表明, 使用低VOCs涂料可以有效减少室内空气中有害物质的含量, 改善室内空气质量, 提高居住者的舒适度。避免使用含有甲醛等有害物质的建材可以有效减少建筑

所释放的有毒气体,保障居住者和工作人员的健康。因此,选择无害化建材是节能环保技术实践中的重要策略之一。采用可再生、低碳和无害化的建材也有助于降低建筑物的维护成本,延长建筑的使用寿命,提高工程整体价值。

2.2 建筑废弃物回收及再利用技术

应用回收及再利用技术是对建筑废弃物进行高效的处理,推动了资源在整个建筑生命周期中的循环利用,从而降低整体资源损耗,推动建筑行业的可持续发展。在施工中,采用模块化和预制组件技术,使建筑的各个构件能够在拆卸时保持完整,提高再利用率,同时,通过合理的施工计划、人员培训和现场管理,减少施工废弃物的产生,确保材料得到充分利用。在建筑物拆除阶段,应遵循绿色拆除理念,充分利用现代化拆除工具和设备,实施科学的拆除和分类处理方案。通过垃圾分类、清洗和预处理,将废弃物中可回收的资源分割出来,如混凝土碎片可用于填充材料,废弃钢筋可进行再熔炼等,对于不可回收利用的材料,可以采用生物降解、填埋等方式进行环保处理,以降低潜在环境影响。为了实现废弃物的最大化回收和再利用,相关政府部门和行业应积极制定和推广相关法律法规、标准和管理办法,引导企业走可持续发展之路。此外,建立健全废弃物处理与再利用的市场体系,激发社会力量参与,建立废弃物回收、转运、处理和再利用的多层次产业链,共同促进建筑废弃物资源化和减量化管理^[3]。

2.3 LED照明技术

LED照明技术在绿色建筑节能环保技术中发挥着重要作用。首先,LED照明技术具有高效节能的特点,相比传统照明方式能够更充分地将电能转化为可见光而不是热能,从而大幅降低能源消耗。其次,LED照明技术可以实现智能化控制和调节,能够根据需求进行定时控制、光照强度调节、色温调节等满足不同场景和用户的照明需求,避免不必要的能源浪费。此外,LED灯具的设计灵活多样,可以根据建筑的特性和风格进行个性化的设计,提升建筑的美观性。与此同时,LED照明设备寿命更长,减少了资源的消耗,符合绿色建筑的可持续发展原则。最重要的是,LED照明技术能够提高室内环境的舒适性,为绿色建筑营造更加舒适、高效的照明环境。

2.4 水资源管理与循环利用技术

绿色建筑强调的是减少用水量和提高用水效率。采用先进的节水技术和设备,可显著降低施工过程中的用水量。一是施工前应进行详细的水资源评估工作,

确定项目所需水量并制订节水计划,包括选择低流量的冲洗设备、设置雨水收集系统以及灰水回收系统。雨水收集系统可以收集屋面雨水,经过适当处理后用于绿化灌溉和冲洗,减少对市政供水的依赖。灰水回收系统则将生活污水经过处理后进行再利用,如冲洗厕所或浇灌景观植物。二是施工过程中应采用节水工艺和技术,如采用干式施工法,以减少混凝土浇筑时的用水量,以及使用高效的节水冲洗设备。施工现场应设置合理的排水系统,防止水体污染,并确保雨水径流的自然渗透,从而维护地下水的平衡。三是安装智能监测和控制系统,实时监控和调整水资源使用情况,进一步提高水资源的利用效率^[4]。

2.5 节地技术

根据项目特点,设置现场用地指标,明确土地节约目标,结合不同阶段施工要求,合理划分功能分区,保证平面布置的合理性、紧凑性,提高土地资源利用率。充分利用既有用地,减少新增用地,采取临时用地保护措施,严格控制临时用地面积,统筹安排办公区、生活区,应该靠近施工现场,但必须保证安全。项目采用BIM技术建立现场模型,将建筑模型精准定位于场区内,结合整体施工部署,分阶段进行场平布置,可以更为细致、直观地把控现场情况,实现实时动态管理。同时,利用BIM模型开展施工模拟,分析交通动线的合理性,提高永久道路和临时道路的衔接利用水平。按照进度计划,合理安排大型建材入场时间,同时,产生的建筑垃圾要及时组织清运,减少现场土地占用。土石方工程对土地管理要求较高,优化深基坑施工方案,利用三维场地模型,对比分析不同方案所需挖填方量,采用合适的深基坑支护技术,有效减少开挖工程量,尽可能降低对周边土体的扰动,做到土方平衡调配。项目在土石方施工过程中,将后施工的幼儿园场地作为临时土方堆放场,这样可以有效减少土方外运量,实现高效用地的效果。除了减少土地破坏,还应该科学制订复垦方案,施工结束后,将建筑垃圾清理干净,恢复原有地形地貌和绿色植被^[5]。

2.6 噪声控制技术

在施工过程中,噪声污染是一个普遍存在的问题,对周围环境产生不良影响,如影响人们的生活质量、对建筑物结构造成破坏等。因此,采用隔音、吸音等降噪技术,降低噪声对周围环境的影响,是十分必要的。

1. 隔音技术在施工过程中的应用非常广泛。例如,在建筑物的外墙、屋顶等部位设置隔音墙,有效地降低外部噪声对室内的影响。此外,在建筑物内部,隔音墙也可以有效地减少噪声的传播,提高室内的舒适度。研

究表明, 隔音墙的隔音效果与墙体的厚度、密度、材料等因素有关, 合理的隔音墙设计能有效地降低噪声污染。

2. 吸音技术也是降低噪声污染的有效手段。吸音材料能有效地吸收噪声, 降低其传播过程中的强度, 从而减少噪声对周围环境的影响。研究表明, 吸音材料的吸音效果与其孔隙结构、密度、材料等因素有关, 合理的吸音材料选择能有效地降低噪声污染。

3. 噪声屏障也是降低噪声污染的有效手段。噪声屏障有效地阻挡噪声的传播, 降低其对周围环境的影响。研究表明, 噪声屏障的隔音效果与屏障的高度、密度、材料等因素有关, 合理的噪声屏障设计能有效地降低噪声污染。在施工过程中, 要根据具体的施工环境, 选择合适的降噪技术, 以达到降低噪声污染的目的。同时, 还要加强噪声污染的研究, 为降噪技术的发展提供科学依据^[6]。

2.7 密闭性及保温技术

密闭性及保温技术在建筑设计和施工阶段发挥着至关重要的作用, 有助于提升建筑物的热保效果和减缓室内外能量传递, 主要实现途径包括采用创新的窗框与玻璃设计, 例如, 运用双层中空玻璃和低辐射玻璃来减小室内热量流失; 针对墙体、屋顶以及楼板等部位, 优化建筑包围结构的热绝缘性能, 降低整体建筑的热损耗; 设置高效的空气屏障, 以提高建筑物的整体密封性并减少能量消耗; 改善建筑形态及空间布局, 使建筑物在各个季节都能充分利用太阳能, 从而达到节能的最终目标, 更好地满足建筑行业可持续发展要求。为确保密闭性和保温技术的有效应用, 要选用高效节能的门窗系统, 并采用气密性能优越的建筑材料, 在施工过程中, 对空调系统、管道系统等穿墙孔洞的封闭处理也需要细致入微, 以减少冷热空气交换和渗透, 在保温方面, 绿色屋顶、绿色外墙等技术可以作为有益补充, 为建筑物带来更多的节能手段。

2.8 构建垂直绿化空间

垂直绿化空间分为三种: 一是设置在建筑外立面的垂直绿化空间, 被称为墙体型垂直绿化空间; 二是依附于构件的组合绿化空间, 被称为架构型垂直绿化空间; 三是依靠攀缘植物打造的自然属性的垂直绿化空间, 被称为植物性垂直绿化空间。

1. 应根据建筑形体特点或是既有的垂直绿化进行设计, 同时考虑气候条件、通风与采光需求等, 以设计出最佳的垂直绿化空间。

2. 考虑垂直绿化空间对室内温湿度等参数的调节作用。注重阳台、走廊等区域的垂直绿化空间设计, 以发挥其改善室内环境的作用。

3. 从三维立体的角度分析, 打造立体式建筑绿化

空间。垂直绿化空间是发展立体绿化的一种手段, 可以增加城市绿化景观的层次性, 使其富有艺术观赏性, 同时也能够改善城市绿化覆盖率因可利用土地有限而造成的绿化覆盖率不足的问题。

2.9 应用智能建筑管理系统

智能建筑管理系统可以通过实时监测建筑内部各种能耗设备和系统的能耗数据, 如照明、空调、供暖等, 以及建筑外部的天气和环境参数。通过对这些数据的分析和优化, 系统可以实现能源消耗的监测和控制, 进而实现节能效果。例如, 系统可以根据室内外温度、光线强度等参数, 自动调整照明和空调系统的运行模式, 达到最优的节能效果。通过实时监测建筑内外的能耗数据和环境参数, 系统可以实现精细化的能源消耗监控和智能化的节能调控。这种智能系统不仅能够根据实时数据快速响应和调整, 优化能源利用效率, 降低能源成本, 还能避免人为因素对能源消耗带来的浪费和过度使用。此外, 系统还能够提供历史能耗数据分析, 帮助管理者进行能源消耗趋势的预测和分析, 进一步优化节能方案, 实现长期的节能效果。随着智能建筑技术的不断发展和应用, 这种能源监测与节能的智能系统将在建筑领域发挥越来越重要的作用, 为建筑能源管理提供更为智能、高效的解决方案^[7]。

3 结束语

全球能源危机和环境问题日益严峻, 节能环保技术在建筑工程中的应用变得愈发重要。节能环保技术在现代建筑施工工程中的应用, 不仅显著降低了能源消耗和环境污染, 还提高了建筑工程的质量和舒适度。随着人们对生态环境保护的重视度不断提高, 节能环保技术将在建筑行业中发挥越来越重要的作用。

参考文献:

- [1] 吴金瑞. 绿色建筑工程中节能施工技术的应用[J]. 佛山陶瓷, 2024, 34(04): 64-66.
- [2] 邹文祥. 绿色建筑工程中节能施工技术应用研究[J]. 房地产世界, 2023(21): 136-138.
- [3] 孙连营. 东北地区绿色节能建筑施工技术优选研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2009.
- [4] 周金华. 节能施工技术在绿色建筑中的应用与推广[J]. 建筑安全, 2018, 33(08): 16-18.
- [5] 赵君毅. 房屋建筑工程节能施工技术探析[J]. 中国设备工程, 2021(23): 218-219.
- [6] 张琳昌, 张伟. 基于低碳背景下的绿色建筑施工技术探讨[J]. 散装水泥, 2023(03): 150-151.
- [7] 张云. 建筑工程中绿色建筑施工技术应用研究[J]. 中国住宅设施, 2023(04): 160-162.

节能环保型施工技术在水利工程中的应用分析

刘 丽

(磴口县水利局, 内蒙古 巴彦淖尔 015200)

摘要 传统的水利工程施工往往伴随着资源消耗大、环境污染重等问题, 针对这些问题, 本文以某水利工程为例, 详细分析了基坑开挖、混凝土浇筑和铺设生态坡等施工环节中节能环保型施工技术的应用, 以期通过应用该技术提高能源利用效率、减少废弃物排放, 从而降低水利工程建设对自然环境的影响, 同时保证工程质量和经济效益。

关键词 节能环保技术; 水利工程; 基坑开挖; 混凝土浇筑; 铺设生态坡

中图分类号: TV52

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.02.016

0 引言

水利工程作为国民经济的基础设施之一, 在防洪、灌溉、发电、供水等方面发挥着不可替代的作用。在水利工程建设中引入节能环保型施工技术, 不仅有助于缓解资源压力, 保护环境, 还能提升水利工程的整体效益, 促进水利行业的可持续发展。本文将探讨节能环保技术在水利工程中的应用。在施工准备阶段, 通过优化混凝土配合比, 为后续施工奠定了绿色基础。在基坑开挖过程中, 采用湿法作业和扬尘控制等技术手段, 有效减少了施工对周边环境的影响。混凝土浇筑环节通过废弃物回收利用等方式, 实现了资源的高效利用和污染的最小化。通过铺设生态坡, 不仅恢复了工程区域的生态环境, 还提升了水利工程的整体美观度和生态效益。本文旨在为水利工程建设领域的可持续发展提供有益的参考和借鉴, 推动水利工程建设向更加绿色、低碳、环保的方向发展。

1 工程概况

本项目为某县级河流的堤防加固工程, 新建堤防长度为3公里, 旨在提高该地区的防洪能力, 保障下游村庄和农田的安全。

工程总投资约为3000万元人民币, 施工周期预计为6个月。新建土堤3.5公里, 其中主堤长3公里, 副堤长0.5公里; 堤防顶部宽度设计为4米, 堤身采用梯形断面, 迎水坡比为1:2.5, 背水坡比为1:2。堤防护坡采用生态护坡的方式, 喷射植被混凝土, 实现环保目的。在施工过程中, 将应用节能环保型施工技术, 使能耗降低10%, 减少废水、废渣排放15%, 并尽量减少对周边生态环境的影响, 推动小型水利工程向绿色、可持续发展方向迈进。

2 施工准备

准备环保、可再生的建筑材料, 优化混凝土配合比, 以实现节能环保, 具体配合比如表1所示。

表1 混凝土配合表

原料名称	规格 / 型号	用量 (%)
水泥	P.0 42.5R	30
再生骨料	5 ~ 20 毫米	35
粉煤灰	F类 I 级	7.5
矿渣粉	S95 级	6.5
减水剂	聚羧酸高效减水剂	3
水	饮用水	18

由表1可知, 在混凝土配制和浇筑过程中, 使用35%再生骨料替代部分天然骨料, 减少自然资源的消耗和CO₂排放量。使用前从废弃混凝土中回收并进行加工处理, 确保再生骨料的粒径、含泥量等指标满足设计要求。使用颚式破碎机初步破碎1~2小时, 再经过圆锥破碎机细碎2~4小时, 之后利用振动筛筛分1~2小时, 以分离出粒径为5~20毫米的骨料。筛分后的骨料送入洗砂机进行清洗, 以去除骨料表面的泥土、杂质及附着物, 保证骨料的清洁度, 减少搅拌过程中的粉尘产生和排放。在搅拌前5小时内将再生骨料进行浸泡处理, 使其预先吸收30%的水分, 以减少搅拌器的能耗, 提高搅拌效率。掺加7.5%粉煤灰、6.5%矿渣替代部分水泥, 降低水泥使用量和能耗, 同时提高混凝土的耐久性和抗裂性能。选用环保型外加剂, 3%聚羧酸高效减水剂, 减少CO₂排放量。

3 基坑开挖

使用全站仪精确放出基坑的开挖边界线，确保开挖位置的准确性。在开挖作业前，使用洒水车对施工区域进行洒水，每日洒水量约为 200 立方米，以减少粉尘污染。开挖过程中，应持续监测粉尘浓度，确保 PM10 浓度低于 150 微克 / 立方米^[1]。

使用挖掘机从基坑的一端开始，按照每次进尺 0.5 米的方式进行开挖，直至达到第一层 2 米深度。沿着基坑边缘打入钢板桩，每根钢板桩打入深度控制在 4 ~ 4.5 米，间距为 1 ~ 1.3 米，以进行边坡的初步支护。在完成第一层的开挖和支护后，按照同样的方法和步骤进行下一层的开挖和支护，直到 3 层基坑挖掘完成。开挖到距槽底 50 厘米以内时，测出水平标志线，并在槽帮上钉小木桩以控制标高，预留 20 ~ 30 厘米土层进行人工开挖，防止超挖^[2]。在基坑底部铺设一层厚度为 10 ~ 15 厘米碎石垫层，以提高基坑底部的承载力和排水性能。碎石垫层的粒径控制在 5 ~ 20 毫米之间，含泥量不超过 5%。对开挖出的土石料进行分类处理，可回收利用的土石料集中堆放，用于后续回填或其他工程；不可回收利用的废弃物按照环保要求妥善处理，避免随意丢弃^[3]。

4 混凝土浇筑

基坑挖掘完成后，开始浇筑混凝土，修筑堤防主体部分，图 1 是具体的施工流程图。

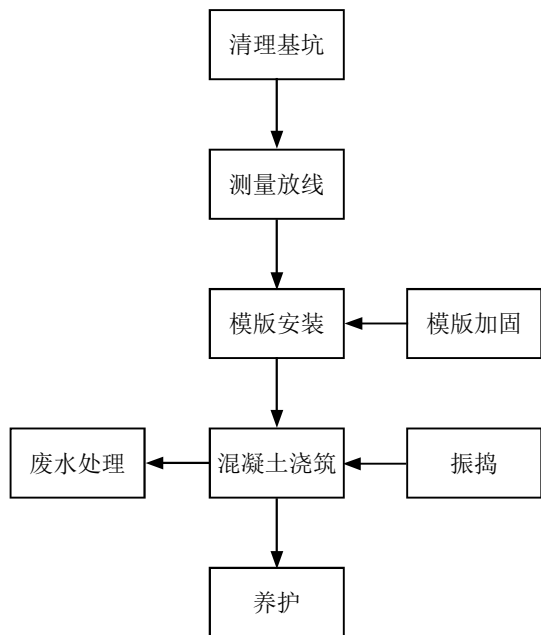


图 1 混凝土浇筑流程图

在进行基坑清理时，应使用安装节水型喷头的高压水枪清洗基坑底部，将每分钟的喷水量控制在 50 ~

80 升之间，将水压设定在 20 ~ 30 帕之间，既能有效清洗基坑，又能减少水资源消耗。在基坑边缘使用全站仪测量并标记出模板支架的安装点，确保每个支架的安装位置误差不超过 ±10 毫米。

根据标记点，安装模板支架。模板选用可重复使用的钢模板，减少木材消耗，降低资源浪费。依次将模板铺设在支架上，模板的拼接方向与混凝土浇筑方向一致，以减少浇筑时的阻力。在模板拼接处，使用卡扣将模板紧密拼接在一起，确保拼接缝隙不超过 1 毫米，并使用密封胶进行密封处理，避免因漏浆造成的材料浪费和环境污染。在模板四周设置支撑杆，支撑杆与模板的夹角保持在 45° ~ 60° 之间，每根支撑杆之间的距离控制在 1 ~ 1.5 米，以确保模板整体受力均匀，不出现变形或位移^[4]。模板安装后，使用垂直尺检查模板的垂直度和平整度，确保误差不超过 ±2 毫米。

浇筑时从基坑一端向另一端匀速推进，确保连续浇筑，减少冷缝产生。泵送压力控制在 10 ~ 20 MPa 范围内，泵送速度控制在每小时 80 ~ 120 立方米之间，避免因速度过快或过慢导致的混凝土离析或堵塞问题，节省混凝土资源。控制垫层混凝土厚度为 10 厘米，每浇筑 30 毫米使用激光水平仪检测一次，确保厚度误差在 ±5 毫米以内。采用高频振动棒进行振捣，振点间距控制在 30 厘米左右，振捣时间不超过 30 秒，每个振点的振捣次数平均约为 5 ~ 6 次。每次插入振捣的时间为 20 ~ 30 秒，直到混凝土不再显著下沉，不出现气泡，表面泛出水泥浆和外观均匀，停止振捣^[5]。混凝土浇筑完成后，采用双层覆盖法，持续养护 7 ~ 9 天。

考虑混凝土拌和废水碱性大，在絮凝中和池对混凝土拌和废水进行处理。具体流程如图 2 所示。

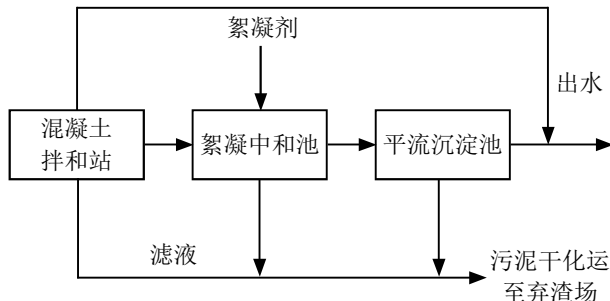


图 2 废水处理流程图

每立方米废水加入 0.5 ~ 1.0 千克绿矾，在加入绿矾后，废水经过 30 分钟的充分搅拌和反应，使绿矾与废水中的污染物发生化学反应，形成较大的絮凝体，便于后续的沉淀处理。随后，将废水排入沉淀池，对絮凝反应产生的絮体进行沉淀。停留时间控制约 2 小时，中和水质及去除粒径较大的泥沙颗粒，降低废水

的 pH 值和悬浮物含量，减少对环境的污染。沉淀池上清液供混凝土拌和系统回用，实现水资源的循环利用。絮凝池、沉淀池的沉渣由挖掘机直接清理，再经压滤机压滤脱水处理，以减少其体积和含水量，便于运输和后续处理。这些成渣最终被装车运至弃渣场，这一过程中尽量减少运输次数和距离，以减少运输过程中的能耗和排放。

通过应用上述节能环保型施工技术，不仅提高了垫层混凝土浇筑的施工质量，还显著降低了施工过程中的能耗和废弃物排放，实现了经济效益与环境效益的双赢。

5 铺设生态坡

浇筑完垫层混凝土后，利用植被混凝土浇筑技术铺设生态坡，其结合了混凝土施工与植被生长的原理，通过其基质材料和植被根系的共同作用，既实现了护坡功能，又修复了环境。图 3 是铺设生态坡的施工流程图。

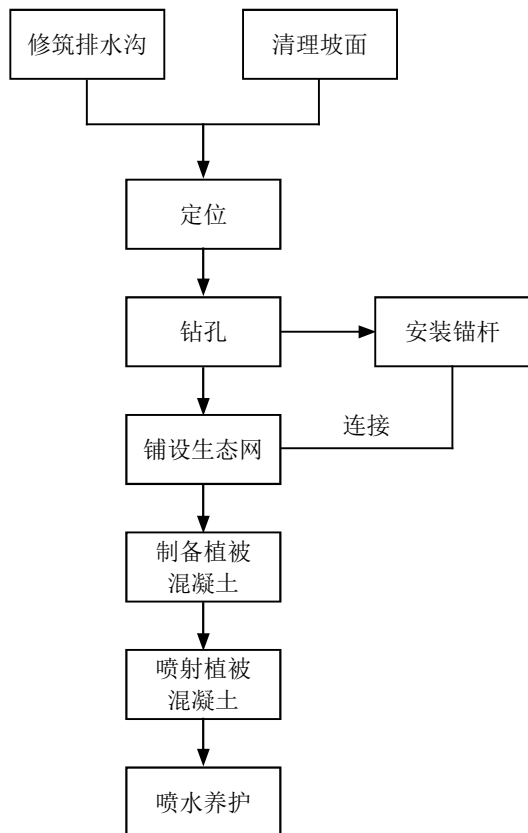


图 3 生态坡铺设流程图

在边坡四周、马道、边坡纵向每 20 米设置排水沟，以确保边坡排水顺畅，防止积水对植被混凝土造成损害。人工清除坡面淤积物、浮石、打掉突出岩石，

清理范围超出复合网铺设边界至少 50 厘米，使坡面平整。使用激光测距仪在坡面上每隔 1.5 米标记出复合网铺设的参考线，确保铺设位置准确。使用直径为 100 毫米的钻机在预定位置进行钻孔，孔深控制位 60 ~ 65 厘米。钻孔完成后，将预制的锚杆（长度为 60 厘米）缓慢插入孔洞中，直至锚杆底部接触孔底。立即开始注入水泥砂浆，注浆压力控制在 0.2 ~ 0.4 MPa 之间，确保砂浆能够充分填充孔洞并包裹锚杆。锚杆安装完成后，按照 1.5×1.5 米的间距，在坡面上铺设 $\phi 20$ 毫米的钢筋，形成交叉锚固的网格结构。

将植被混凝土按照水泥：腐殖质：长效肥：保水剂：生植土：绿化添加剂为 12:7:12:1:54:1 的比例充分搅拌，在复合网上方浇筑植被混凝土。使用泵车将搅拌好的植被混凝土均匀浇筑在复合网上方，喷枪口距岩面 1 米左右，喷射厚度控制为 10 ~ 15 厘米。在面层喷射层完成后，覆盖 28 克 / 平方米无纺布进行保墒。并采用半径约为 3 ~ 5 米的喷雾喷头，进行移动喷洒，确保覆盖面积均匀且有效减少水资源的浪费。通过应用这一工艺，可以实现对边坡的有效防护和绿化美化，提高生态环境的整体质量。

6 结束语

本文剖析了节能环保型施工技术在水利工程中的具体应用，从工程概况的宏观视角到施工准备、基坑开挖、混凝土浇筑及铺设生态坡等施工环节的微观实践，都展现了这些技术所带来的积极变革。通过优化设计方案、选用环保材料、采用低能耗设备、实施绿色基坑开挖技术、优化混凝土施工工艺以及铺设生态坡等措施，有效降低了水利工程建设对自然环境的影响，实现了经济效益与生态效益的和谐统一。未来期待更多创新性的技术和方法不断涌现，为水利工程的绿色发展注入新的动力，推动水利工程的绿色化转型。

参考文献：

- [1] 万云乾. 穿越城区铁路边坡抑尘绿色施工技术及配套装备 [J]. 建筑机械化, 2023, 44(05): 42-44.
- [2] 李相珩. GRF 绿色装配式基坑支护技术研究 [J]. 建筑机械化, 2022, 43(11): 101-103.
- [3] 张春杰, 强毅, 陈祥森, 等. 城市地下综合管廊深基坑支护施工方案设计 [J]. 建筑机械化, 2023, 44(03): 39-41, 74.
- [4] 孙振博, 韩小龙, 李恒. 房屋建筑工程施工中的节能环保技术应用分析 [J]. 建筑与装饰, 2024(06): 172-174.
- [5] 王恒, 王宾, 李锐, 等. 大体积混凝土施工方法及质量管理技术研究 [J]. 建筑机械化, 2023, 44(09): 87-89.

基于 PC 构件的新型装配式建筑施工技术研究

赵二鲁

(陕西秦晋建设工程有限公司, 陕西 西安 710075)

摘 要 随着科技的快速发展和人们环保意识的日益增强, 建筑行业的发展呈现出智能化和绿色化的趋势。为了满足人们对建筑的多元化需求, 混凝土预制件 (Precast Concrete, PC) 应运而生, 其具有安全稳定、绿色环保、高效率等施工优势, 被广泛应用于建筑施工中。相关人员应根据施工现场的需要, 在装配式建筑施工过程中合理应用预制混凝土构件, 从而确保建筑行业的可持续性发展。本文就装配式建筑 PC 构件的特点展开了探索, 简要分析了 PC 构件的应用要求, 研究探讨了基于 PC 构件的装配式建筑施工的技术要点, 以为相关人员提供借鉴。

关键词 PC 构件; 新型装配式建筑; 生产技术; 运输技术; 吊装技术

中图分类号: TU74

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.02.017

0 引言

传统的建造方法既耗费大量的能源, 又给生态系统带来了沉重的压力, 已很难适应当今世界能源节约与可持续发展的需求。PC 构件预制与模块化是一种新兴的建造方式, 在环境保护与节能方面具有极大的优势, 但是在施工技术和质量控制上还面临着许多需要解决的问题。

1 应用于 PC 构件的装配式建筑的施工技术的重要意义

1.1 有利于推动建筑行业“双碳”达标

相对于传统的现浇混凝土结构, PC 构件预制装配在厂房中进行, 能够有效地降低工程建设过程中的能耗, 进而实现全寿命周期的节能减排。同时, 对工业化生产过程中的环境进行更加严密的调控, 有利于提升物料利用效率、降低废料生成、降低二氧化碳排放量。建筑工程项目的建设周期越短, 能耗越低, 二氧化碳排放也就越低。PC 构件在厂区内进行装配, 而工地上的装配工作则以装配为主, 可缩短工地操作周期, 减轻对周围环境的污染, 有利于推动建筑业的低碳发展。通过对预制板进行规范化、模块化, 可实现对拆后物料的循环再生, 既能有效地减少废料的产生, 又能有效地减少新材料生产时的二氧化碳排放量^[1]。

1.2 可以有效提升建筑质量

厂房内具有较好的稳定性, 且不会受到外部天气的干扰, 能确保零件的一致性与精度, 进而提升建筑物的品质与耐用性。同时, 采用标准化的装配技术, 降低了人为误差, 保证了构件的外形和品质。因其在厂房内进行预制, 可对材料配比、混凝土强度等进行

严密的质量监控, 有效地防止了工程中普遍存在的裂缝、渗漏等问题, 提高了房屋的综合性能与使用年限。通过对预制件进行精细的结构设计与建造技术的精准控制, 可使其达到较高的规范化、模块化水平^[2]。

1.3 有利于提高建筑施工的安全性

在工厂中进行 PC 构件的制造, 可以降低工地上工作量。同时, 将大部分工程转移到厂区, 大大降低了工人的劳动强度, 减小了工程的安全隐患, 由于预制件的准确制作及制作过程的严谨, 可有效地降低工地上的不确定因素。通过对预制件进行标准化、模块化的设计, 实现了对预制件生产技术的规范, 减少了由于人为因素造成的安全隐患, 从而增强了生产技术的可控、安全。在新科技的运用下, 建筑工人的安全意识与技能都有所提高, 而新科技也可以是建筑工地上安全保护手段和装备, 例如: 自动起重装置、安全监测系统, 使建筑工地的安全性得到了极大的提高。

2 基于 PC 构件的新型装配式建筑施工技术应用要点

2.1 PC 构件的生产技术

利用自动流水线、精密模具等现代加工方法, 在保证零件加工效率的同时, 保证零件的尺寸精度与结构的稳定, 直接关系到后续组装及房屋的使用性能。采用标准化、模块化的制造技术, 为零部件的批量定制提供可能。这样的设计柔性使得在保证高质量的前提下, 能够在保证高质量的前提下, 实现对组件的多样化要求。通过对预制板在制造中的物料及废料进行有效的控制, 降低了对资源的消耗与对环境的影响。同时, 工厂制造降低了工地上的噪声、灰尘, 降低了

周围的污染,满足了“绿色”与“可持续发展”的思想。

2.2 PC 构件的运输技术

PC 构件的运送技术要求保证组件在从生产基地到工地的全程都是完整、安全的。因此,我们可以通过专用的交通工具及安装设备,与各种大小、外形的预制构件相匹配,并有效避免其损伤与变形,保障结构件的品质与建设进程。基于PC 构件的配送方法可以实现对配送路线及配送规划的最优选择,从而达到降低配送费用的目的。通过准确的运输计划与路径计划,缩短了货运的工期,防止了道路的堵塞与延迟,保证了工件能够按时抵达工地,进而保障了工程的顺利进行。由于信息科技的进步,PC 构件运输技术正持续整合到高级跟踪与监视系统中。该方法可以对零部件的位置与状况进行实时监测,保证在运送中出现的各种问题可以得到及时的检测与处置,对于减少物流风险、提高供应链的透明性与可信度具有重要意义^[3]。

2.3 PC 构件的吊装技术

采用精密的提升方法,对预应力混凝土梁进行整体提升,从而保证混凝土梁的合理、安全。在实施提升之前,应从构件形状、重心位置以及被吊物品的特性等方面来决定最优的起吊点与吊挂方式。通过对其进行详细的优化,既能有效地提升作业效率,又能有效地减少工程的风险,确保工程的安全运行。在进行吊装作业时,应结合工程规模、场地限制、荷载要求和场地状况等多种因素,选用合适的吊装机械,如塔式起重机、吊车等。选用适当的提升装置,可保证提升工作的正常进行,并可降低由于选用不当而引起的安全隐患。在进行吊装作业时,一定要按照有关的安全规程进行,并且要保证安全度符合规范^[4]。

2.4 PC 构件的高空散装技术

为了保证混凝土结构的精确、安全,必须在浇筑之前编制详尽的施工计划并进行仿真计算。其中,准确测量网格的位置,合理安排吊装位置,合理安排吊装序列,减少建设风险,提升建设效益。吊装作业对吊装与组装的要求较高。为满足高空作业的特定需求,必须采用塔式起重机及专用夹具等专用提升机械及工具,以保证部件在提升时的稳定,降低操作危险。建筑工人须受过专门训练,并有相关的资质及技术,以应付高空作业所遇到的各类问题。在此基础上,还应采取严密的安全监控手段,保证工人和工程的正常运行。

2.5 PC 构件的调整固定技术

通过对各部件的安装位置的调整,保证各部件之

间的连接是严密的,满足设计的需要。该方法可降低后期维修工作量,增强其完整性及耐久性能,对保障房屋的长期稳定与安全有着十分重大的作用。调节式紧固方法包括采用各种形式的紧固件和连接件,以满足各种部件的种类和装配条件。该设备及连接件的设计充分考虑了构件的重量、形状及受力特征,可将构件高效地固持于规定的部位,避免因风、地震等外力引起的变形或破坏,进而提升结构的抗震及抗风能力^[5]。

2.6 PC 构件的连接技术

有效的节点构造是保证装配式构件可靠的节点,是保证房屋整体安全性与地震安全性的关键。采用精密的装配与施工技术,将结构在服役过程中产生的开裂与变形降至最低。采用螺栓连接、焊接、套管注浆等新型连接方式,减少了现场的湿式操作,显著缩短了工期,增强了技术的柔性及适应性。通过对大量工程实例的分析,提出了一种基于计算机辅助设计的新方法。优良的连接技术可以提高建筑物的生命周期,降低日后的维护与替换费用。比如,使用抗侵蚀、抗老化等性能优异的节点,保证节点在极端天气环境中的长期稳定性能,减少节点故障带来的结构性问题及维护费用。

2.7 PC 构件连接部位混凝土的养护技术

适当的养护可以提高混凝土的力学性能,减小裂纹的发生,并能保证建筑物的外观光滑、完好,在一定的温湿环境下,通过对其进行合理的水化处理,可以有效地改善其力学性能。当混凝土与外界接触时,由于其自身的水分挥发,会使其水化环境恶化,最终导致其强度和耐久性能下降。采取适当的养护方法,如覆盖、喷洒或使用新的养护方法,可以有效地维持混凝土的潮湿状况,预防干燥开裂。养护剂能在混凝土表层生成具有较好持水性的C-S-H胶凝材料,从而抑制了水分的挥发,促使其不断水化,并不断增强其强度。同时,该技术的应用也可降低水的用量,降低对环境的影响,因此,该技术、经济和社会效益显著。

3 基于PC 构件的装配式建筑施工质量控制措施

3.1 优化结构

在设计过程中,利用CAD与BIM等先进技术,可实现PC 构件的准确建模与分析,并保证组件的受力与稳定。利用该方法,可以对工程中存在的各种问题进行合理的预测,并对其进行合理的设计。通过对预制件进行模块化的设计,实现了对标准化部件的再利用,从而达到了高效、经济的目的。同时,由于其标准化

的制造与应用,使得建造流程变得简单,场地建造的复杂程度大大降低,进而提升了建筑的精度与品质。在建造过程中,采用高精密的量测与定位,以保证预制件的准确安装。通过 3D 激光扫描与机械臂装配等方法,实现零件的定位与位姿监测,并适时调节,保证零件间的精准对接与衔接,最终实现结构的稳定与安全。

3.2 防水密封

经检索发现,具有优良抗污染性能、抗位移性能、混凝土粘附性、涂饰性及耐气候性的改性硅烷型聚氨酯封缝剂(SPU)在组合型墙体节点处具有优良的抗污染作用。该产品可在各种不同的气候情况下维持其稳定性,从而为建筑物提供一道持久、高效的防雨隔离墙。在组合结构中,采用封闭、开放式和压缩三种形式的组合墙体接缝,并采用“凹形空腔”等新的结构形式,从而有效地改善了结构的防渗效果。尤其采用“凹形空腔”的结构,使渗透通路加长,降低渗漏量,从而达到提高防渗性能的目的。在施工中,通过严格的控制,保证了封缝剂和基底完全黏结,并采取了多种防水手段,例如在封缝剂外面加装了一层防水薄片隔板或者是一条防水腰带,来防止封严被外部环境的直接腐蚀,从而达到了提高其使用寿命的目的。

3.3 精准对位

在工程建设中,运用先进的激光量测及 3D 扫描等手段,可保证 PC 构件的准确定位。该方法能够实现对装配过程中各杆件的定位及转角的实时监控,保证其符合设计要求,降低装配失误带来的误差,降低后期调试的难度。由于预制板均采用标准化的制造技术,产品质量稳定,通用性强,便于现场安装调试。采用规范的结构形式,使建筑工人能够迅速地确定结构中每一部分的定位及方位,从而大大地提升了工程的效率与精度。在安装之前,需制订一套具体的安装方案及安装程序,其中包含了组件的吊装次序及安装位置。在安装过程中,使用专业的提升设施、熟练的工人,可保证各部件的准确定位。在施工过程中,要有专门的监理工程师,对各工序的对位工作进行监测,以保证工程的质量达到规范要求。

3.4 构件修补

对于 PC 零件的几何尺寸误差,可以利用电角度磨结合钻石片进行微细切削,也可以利用同等强度的快硬型无收缩砂浆来弥补。该算法可在保证结构整体安全的前提下,对零件进行合理的修补,保证零件满足设计需求。构建产品质量管理体系,以图片、图表等方式对产品的外形及尺寸误差进行详尽的记载,对维

修工作起到了精确的引导作用。为了解决预埋件的变位问题,采用环氧树脂胶将预埋件与其固定在适当的地方,其选用及用量(A:B=1:30)已得到实践证明。另外,针对外表脱落、起砂等问题,采用部件修复溶液与快硬型不缩修复浆料相结合,可实现部件外形及结构的修复。

3.5 异形构件翻转吊装

通过研究发现,在吊装和运输过程中,由于起吊点、吊钉载荷及吊装方式等因素,容易导致吊装难度增加或破坏预制件。所以,在施工过程中,要对吊装点进行适当的设置,并在施工过程中预留一定的荷载。采用 AutoCAD 3D 造型软件,对预制构件进行 3D 造型,求出其中心点,并预先埋设吊钩,保证其吊装过程中的稳定与安全。对于外墙平窗、凸窗预制件,采取“一”形吊梁进行吊装,悬挂链条为双爪式链条,以保证预制件在提升时可竖向提升,从而保障了提升的稳定与安全。针对露台预制板,采取“口”字形提升,四爪式链条提升,保证了竖向提升,降低了提升时的失误及损坏的危险。

4 结束语

在社会快速发展及人们环保意识不断提高的背景下,装配式建筑这一新兴的营建模式正在逐步显示其潜在的价值与影响。以 PC 构件为基础的装配式建造方法因其高效、节能和环保等优点,在很大程度上克服了以往建造方法的不足,也为我国“双碳”战略的实施创造了条件。从长远看,伴随科技的持续发展与革新,其建造方法必将得到更广泛的推广,从而促进建筑业向绿色、智能化、可持续发展。

参考文献:

- [1] 王强,周闯,余奎,等.基于 PC 构件的装配式建筑施工技术研究[J].中国建筑装饰装修,2024(20):67-69.
- [2] 曹海涛,于超,张小波.基于 PC 构件的装配式建筑施工技术研究[J].中国建筑装饰装修,2024(13):85-87.
- [3] 程俊杰.装配式建筑工程中的 PC 构件施工技术研究[C]//《施工技术(中英文)》杂志社,亚太建设科技信息研究院有限公司.2024 年全国工程建设行业施工技术交流会论文集(下册).昆明铁新建设工程管理有限公司,2024.
- [4] 靖新颖,沈浩.浅谈新型装配式建筑 PC 构件模板设计及施工技术[J].佛山陶瓷,2024,34(02):142-144.
- [5] 张学文.基于 PC 构件的装配式建筑施工技术分析[J].陶瓷,2024(02):151-154.

预防性公路养护技术在高原公路养护中的应用

刘志云

(西藏自治区昌都公路事业发展和应急保障中心, 西藏 昌都 854000)

摘 要 高原恶劣的气候环境给公路养护带来了巨大的挑战, 亟需引入预防性养护理念和技术以延缓路面早期病害发展。本文立足于西藏自治区昌都市公路养护实际需求, 深入分析了预防性养护技术的应用价值, 剖析了当前高原公路养护面临的主要问题, 并提出了相应的应用策略建议。结果表明, 通过构建路面性能评估监测体系、健全标准规范体系、优化工程实施组织、创新资源配置调度机制等举措, 可显著提升高原公路预防性养护的科学化、精细化水平, 进而为高原地区公路养护事业高质量发展提供有力支撑。

关键词 预防性公路养护; 高原公路; 路面性能

中图分类号: U418

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.02.018

0 引言

独特的高原自然地理环境, 使得公路路面承受着更为严峻的考验。剧烈的昼夜温差、频繁的冻融循环加速了路面结构老化与损坏, 严重制约了公路使用寿命与服务品质。传统的事后养护模式已难以适应高原路面病害的快速发展趋势, 亟需从被动应对转向主动预防。昌都市作为西藏重要的交通枢纽, 探索推行预防性养护技术, 对于提升路网综合服务能力、保障区域经济社会发展具有重要意义。本文拟在厘清预防性养护内涵的基础上, 深入剖析技术应用价值、存在问题及优化对策, 以期为高原地区公路养护管理提供有益启示。

1 预防性公路养护技术在高原公路养护中的应用价值

1.1 提高高原公路路面性能与使用寿命管理

高原地区气候条件复杂多变, 强烈的太阳辐射、剧烈的昼夜温差、频发的冻融循环等因素叠加作用于路面, 导致沥青老化、裂缝产生速度远高于内地。针对高原特殊路况特征, 采用预防性养护措施对轻微损坏路段实施及时处治, 能有效阻断病害的进一步恶化。合理运用雾封层、稀浆封层等技术, 可显著改善路表防水性能、提高整体刚度, 从而延缓裂缝扩展、抑制车辙发展。同时, 借助就地热再生、功能层铺装等新工艺, 可最大限度利用旧路材料, 在提升路用性能的同时, 延长路面使用寿命, 降低全寿命周期养护成本。高原条件下科学实施预防性养护, 是实现路面性能提升与使用寿命延长的关键举措^[1]。

1.2 实现高原公路养护成本的科学管控机制

与事后修复相比, 预防性养护对病害的早期诊断与处置可收到事半功倍之效。一方面, 预防性养护介入的时间窗口更早, 此时路面损坏程度轻, 每单位面积所需修复材料与工时更少, 直接降低了养护成本; 另一方面, 通过及时消除路面病害隐患, 可有效减少后期大修、重修工程的发生频次, 最终实现养护总成本的节约。据昌都市多个高原路段应用效果监测显示, 实施预防性养护策略后, 养护直接费用较原有模式大幅降低, 资金使用效益得以明显提升。同时, 得益于先进信息化管理手段的应用, 养护部门能够更加动态、精准地掌握路况变化, 据此优化年度养护资金分配、合理安排养护任务, 进一步强化了对养护成本的主动管控能力。

1.3 保障高原公路全年通行条件与服务水平

高原地区自然灾害频发, 公路通行安全面临诸多不确定性风险。夏季暴雨引发泥石流、塌方等地质灾害, 冬季道路结冰积雪又带来严重的行车隐患, 给公路养护带来更大的压力与挑战。预防性养护以提升路面抗灾能力为核心, 通过加强排水系统维护、及时修复路肩破损、设置安全防护等措施, 可有效预防水毁、塌方等灾害的发生, 为安全畅通通行创造有利条件。同时, 昌都市不断健全完善应急保通机制, 优化部署除雪铲冰设备, 强化抢险救援物资储备, 最大限度减少灾害性天气影响, 为人民群众安全出行提供坚实保障。在预防性养护理念指引下, 高原公路通行能力和服务水平得以稳步提升, 为区域经济社会发展提供了重要的交通运输支撑^[2]。

2 当前高原公路养护面临的主要问题

2.1 高原气候导致路面结构快速损坏程度加剧

昌都市位于青藏高原东缘,海拔高、气温低、日照强,独特的高寒气候对公路路面产生强烈的不利影响。剧烈的昼夜温差使路面频繁经受热胀冷缩的考验,沥青路面裂缝、车辙、波浪等病害较常规区域发生更早、发展更快。而漫长的冬季低温又使路面材料逐渐趋于脆性老化,抗裂性能大幅下降,加之频繁的冻融循环作用,极易诱发块裂、网裂等严重破坏。高原路面结构在恶劣环境的长期“摧残”下,其服役性能损耗速度远超预期,这无疑加剧了预防性养护的难度,对材料选择、施工工艺、质量控制等方面提出了更高的技术要求。

2.2 养护材料与设备适应性存在局限性问题

养护材料和装备是预防性养护工程实施的物质基础,但高原条件下却频频受到“水土不服”的困扰。常规沥青材料老化速度加快,黏结力不足,封层容易出现脱落、开裂等早期损坏。运至高海拔地区后,沥青混合料的配合比与内地差异较大,其稳定性、可施工性能难以同时满足施工要求。同时,专用于高原条件的预防性养护材料品种十分匮乏,既有产品往往价格偏高、来源受限,制约了先进材料的推广应用^[3]。此外,高原低气压环境下,柴油发动机输出功率不足,导致养护设备普遍存在动力不足、作业效率低下等问题。养护材料与装备“高原病”的频发,已成为预防性养护规范实施的突出掣肘。

2.3 高原公路养护技术标准规范体系缺失

目前,国内尚无专门针对高原地区预防性公路养护的系统性技术标准与规范。既有的公路养护体系主要源于内地技术实践总结,其适用性与指导性难以充分满足高原地区特殊需求。以昌都市为例,预防性养护实践中普遍存在缺乏统一的作业规程可循、难以对施工过程实施有效质量控制等问题,影响了养护效果的稳定性和一致性。究其根源,缺乏一套立足高原实际、衔接各业务环节、科学合理的标准规范体系,亟需针对性开展关键技术攻关,系统总结工程实践经验,加快构建涵盖养护调查评定、材料设备选型、施工工艺优化、质量验收评价等全过程的技术标准,以规范和指导高原公路预防性养护科学有序开展。

2.4 公路养护资源调配效率与保障能力不足

昌都市路网密集、线路状况复杂多样,给预防性养护资源优化配置带来了诸多困难。传统的人工经验

式管理模式难以适应当前精细化、信息化的发展需求,养护计划的主观随意性强,缺乏科学合理的资源需求测算,难以实现资金、人员、装备的精准投放,造成资源错配与浪费并存。同时,高原极端天气频发,汛期施工受阻,冬季道路封闭,养护作业时间窗严重压缩。而应急物资储备不足、抢通保障能力滞后等短板进一步加剧了养护资源紧张局面,迫切需要以先进信息化技术为支撑,创新养护管理模式,构建动态感知、智能调度、高效协同的资源优化配置机制,不断提升高原公路预防性养护的资源保障水平。

3 预防性公路养护技术在高原公路养护中的应用策略

3.1 建立路面性能预防性养护评估监测体系

路面性能动态评估监测作为预防性养护的基础性工作,对高原公路养护具有重要意义。高原地区特殊的路况特征与病害演变规律决定了建立契合高寒环境需求的路面性能指标体系的必要性。首先,在指标选取方面,应着重关注路面防水性能、低温抗裂性能、高温稳定性等对预防性养护决策至关重要的因素,科学设定分级阈值标准,建立完整的评价指标链。其次,在监测手段方面,应综合运用视频图像、激光雷达、地质雷达等先进技术,配置车载式快速检测设备,实现对路面裂缝、车辙、槽深等关键损坏指标的自动化、精细化采集。再次,通过全面运用大数据分析、机器学习等方法,开发路面性能退化预测模型,准确把握路况发展趋势,为制定养护策略提供科学依据。随后,深入分析路面性能指标变化规律,建立路面性能与养护需求的对应关系,制定预防性养护时机与方案的优选方法。最后,将路面性能评价、快速检测、趋势预判、决策优化等环节深度整合,构建全周期、网络化、高度智能的预防性养护管理系统。通过数据感知、分析决策到一线执行的无缝衔接与协同联动,为精准实施高原公路预防性养护奠定坚实的技术基础^[4]。

3.2 完善养护标准与质量控制技术规范体系

标准规范体系的建立对预防性养护工作的有序开展具有重要的指导作用,针对高原地区技术规范缺失的现状,应立足昌都市实际需求,系统构建覆盖各业务环节与工作阶段的预防性养护标准规范体系。一方面,围绕高原环境下预防性养护材料配方、施工工艺、装备适应性等关键技术难题,充分借鉴国内外先进经验,深入开展试验研究工作,加快推进科技成果转化应用,形成具有自主知识产权的关键技术标准体系。

另一方面,细化完善预防性养护作业规程,明确日常巡查、路况检测评定、施工组织、过程控制、效果评价、资料归档等环节的具体操作流程、技术标准与验收规范,推动各项工作规范化开展。此外,构建多层次质量监管体系,严格执行原材料抽检、施工监理、竣工验收等制度,强化质量责任追究机制,建立健全奖惩制度。同时,加大质量管理信息化投入力度,积极引入物联网、移动互联等新技术应用,实现养护全过程数字化管控与可视化监管,持续推进技术标准优化更新。在此基础上,建立养护质量评价指标体系,定期开展养护效果评估与分析,及时总结经验教训,不断完善技术标准。通过标准引领与规范管控的有机结合,切实提升高原预防性养护质量管理的标准化与规范化水平。

3.3 优化预防性养护工程实施与组织保障

高原恶劣的自然条件对预防性养护工程组织实施提出了严峻考验。面对这一挑战,必须立足昌都实际,不断优化完善施工组织管理措施。科学编制施工计划至关重要,需充分考虑季节性特征对养护施工的制约影响,避开雨季、冬季等不利时段,统筹利用有限的作业窗口期,确保工程进度与质量同步可控。着眼装备升级,积极引进先进养护设备,配备多功能、智能化路面机械,全面提升高原施工机械化水平,破解人力不足、效率低下等瓶颈制约,为工程优质高效实施提供有力装备支撑。同时,应积极创新工程管理模式,大力推行专业化养护作业承包,充分发挥专业队伍在人才、技术、管理等方面的资源优势,推动工程组织向专业化、工厂化方向升级。此外,深化部门协同联动机制建设,强化与气象、交通、应急等单位的信息共享和行动配合,及时消除安全隐患,妥善应对汛期施工、交通组织等突发情况。在工程实践中,着力强化养护施工质量监管,严格执行工程质量验收标准,定期开展施工现场巡查,实时监控施工工艺和材料使用情况,切实保障工程施工质量^[5]。结合高原地区环境特点,建立健全安全生产责任制,加强施工人员安全教育培训,配备必要的安全防护设施,确保施工安全。通过组织管理与技术创新的深度融合,全面提升高原预防性养护工程实施质量与效率。

3.4 构建预防性养护资源配置与调度机制

资源是预防性养护工作的核心要素,面对昌都市辖区辽阔、路网错综的现状,亟需创新养护资源管理模式,提升资源配置效率与综合保障能力。借助大数

据分析、智能技术等现代信息手段,开发养护资源管理决策系统,通过对路况、交通、气象等数据的关联分析,准确预估资源需求,优化制定年度养护计划,实现资金、人员、装备的科学合理配置。着眼长远发展,构建覆盖全市的养护资源共享平台,整合分散的养护力量和装备,实现区域内资源的统一调度、实时流转,破解资源分散、错配等管理顽疾。同时,统筹应急资源配备,合理布设应急物资储备点,配齐配强应急抢险装备,完善极端天气下的应急预案,强化在险情发生时的快速反应能力。此外,积极推动“数字化+养护”发展,利用移动互联、物联网等新技术,构建集养护调度指挥、资源状态监控、施工过程管控等功能于一体的智慧管理平台。在资源管理中,注重加强养护队伍建设,开展技能培训和业务考核,建立健全绩效评价机制,持续提升养护人员专业素质。建立科学的资源调度决策机制,根据路况状态、养护需求、气象条件等因素,合理安排养护资源投入时序,提高资源使用效率。通过资源管理模式创新与信息化手段应用,为高原公路预防性养护高效实施提供强有力的保障体系。

4 结束语

高原公路预防性养护是一项长期而复杂的系统工程,需要从养护理念、管理机制、技术创新等方面系统发力。昌都市作为西藏自治区公路建设管养的重要区域,应加快建立完善符合高原特点的预防性养护体系,促进先进养护技术、信息化管理手段与高原公路养护实际深度融合,不断提升养护的专业化、精细化、智能化水平。通过加强部门协作、凝聚各方力量,着力破解制约高原公路高质量发展的瓶颈问题,推动昌都市乃至西藏自治区公路事业迈上新台阶,为高原地区经济社会发展提供安全、高效、可靠的交通运输保障。

参考文献:

- [1] 叶挺.预防性公路养护技术在公路施工中的应用[J].城市建设理论研究:电子版,2024(31):114-116.
- [2] 王金芯.预防性公路养护技术在现代公路养护中的应用[J].时代汽车,2024(20):186-188.
- [3] 白建良.预防性公路养护技术在现代公路养护中的应用[J].科技与创新,2024(19):170-172.
- [4] 姚雷磊.预防性公路养护技术在公路养护中的应用[J].价值工程,2024,43(06):112-114.
- [5] 田苗.预防性公路养护技术在公路养护中的应用[J].运输经理世界,2024(02):101-103.

房屋建筑施工中大体积混凝土 裂缝控制措施的应用

孙 鹏

(海陆建设(青岛)有限公司, 山东 青岛 266000)

摘 要 在房屋建筑施工中, 大体积混凝土裂缝问题一直是工程界关注的重点。裂缝的产生不仅影响建筑物的美观性, 更重要的是对结构的安全性和耐久性构成威胁, 采取有效的裂缝控制措施至关重要。本文分析了大体积混凝土裂缝产生的原因, 详细探讨了优化混凝土配合比、加强浇筑与振捣控制、合理设置伸缩缝和隔离缝、加强模板支护、采用预应力技术和真空浇筑技术等裂缝控制的策略, 以期有效降低大体积混凝土裂缝的发生率提供借鉴, 从而提高建筑物的整体质量和安全性。

关键词 房屋建筑施工; 大体积混凝土; 裂缝控制措施

中图分类号: TU755

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.02.019

0 引言

随着城市化进程的加速和建筑技术的不断发展, 房屋建筑施工中越来越多地使用到大体积混凝土, 然而大体积混凝土由于其体积庞大、水化热高、收缩变形大等特点, 容易产生裂缝问题。裂缝的存在不仅影响建筑物的美观性, 更重要的是对结构的安全性和耐久性构成潜在威胁。研究大体积混凝土裂缝控制措施, 提高建筑物的整体质量和安全性, 具有重要的现实意义和工程应用价值。

1 大体积混凝土裂缝产生的原因分析

1.1 水泥水化热

水泥在水化过程中会释放大量的热量, 使得混凝土内部温度升高。当混凝土内部温度与外部环境存在较大温差时, 会产生温度应力。当温度应力超过混凝土的抗拉强度时, 就会产生裂缝。此外, 水泥水化热还会引起混凝土的收缩变形, 进一步加剧裂缝的产生。

1.2 混凝土收缩

混凝土在硬化过程中会发生收缩变形, 这是混凝土材料本身的一种固有特性。收缩变形包括化学收缩、自收缩、干燥收缩和温度收缩等。其中, 自收缩和干燥收缩是大体积混凝土裂缝产生的主要原因之一。自收缩是由于混凝土内部水分蒸发引起的体积减小, 而干燥收缩则是由于混凝土表面水分蒸发导致的体积缩小。这些收缩变形会在混凝土内部产生拉应力, 当拉应力超过混凝土的抗拉强度时, 就会产生裂缝^[1]。

1.3 模板支护不足

模板支护关系到混凝土构件的形状、尺寸和稳定性。如果模板支护不足或不稳定, 会导致混凝土在浇筑过程中发生变形或位移, 进而产生裂缝。此外, 模板拆除过早或拆除方法不当, 也会对混凝土产生冲击和振动, 增加裂缝产生的风险。

1.4 外部因素

外部因素如温度变化、湿度变化、地基沉降等也会大体积混凝土裂缝的产生造成影响。温度变化会引起混凝土的热胀冷缩, 进而产生温度裂缝。湿度变化则会导致混凝土内部水分的迁移和蒸发, 引起收缩裂缝。地基沉降则会使混凝土构件受到不均匀的荷载作用, 产生应力集中和裂缝。

2 大体积混凝土裂缝控制措施

2.1 优化混凝土配合比

2.1.1 降低水泥用量

为了有效减少水化热, 降低水泥用量成为一种重要的技术手段。在实际操作中, 可以采用高强水泥, 这类水泥具有较高的早期强度, 可以减少水泥的用量。此外, 掺加矿物掺和料也是一种行之有效的策略。粉煤灰、硅灰等矿物掺和料不仅可以替代部分水泥, 降低水泥用量, 还能显著影响混凝土的性能。它们能够填充混凝土骨料之间的空隙, 使混凝土的微观结构更加致密, 从而提高混凝土的密实度和耐久性。同时, 这些掺和料还能与水泥水化产生的氢氧化钙反应, 生成更加稳定的化合物, 进一步提升混凝土的抗裂性能。

这样不仅可以有效控制混凝土的水化热，还能在保障混凝土强度的基础上，提升其密实度、耐久性和抗裂性能^[2]。

2.1.2 选用合适的骨料

在混凝土配制过程中，骨料的选用至关重要。骨料的种类、级配以及含泥量，都会直接影响混凝土的抗裂性能。质地坚硬的骨料是首选，这类骨料在混凝土中能更好地起到骨架作用，增强混凝土的力学性能和耐久性。同时，良好的级配能够使骨料在混凝土中分布更加均匀，减少空隙，提高混凝土的密实度和强度。此外，骨料的含泥量也是一个需要严格控制的关键因素。含泥量过高的骨料会显著降低混凝土的强度和耐久性，同时增加混凝土的收缩变形，进而增大裂缝产生的风险。因此，在选用骨料时，应确保其含泥量符合相关标准，以保证混凝土的性能稳定可靠。

2.1.3 掺加减水剂和缓凝剂

合理掺加减水剂和缓凝剂，是进一步优化混凝土性能、降低水化热并减少收缩变形的有效手段。减水剂通过化学作用，能够显著降低混凝土的水胶比，即在保持混凝土工作性能不变的前提下，减少水泥水化所需的用水量。这一改变不仅降低了混凝土的单位用水量，还减少了水泥的用量，有助于减少因温度应力引起的裂缝。缓凝剂则主要作用于混凝土的凝结时间，通过延缓水泥的水化反应，使混凝土在更长的时间内保持塑性状态。这不仅减少了因水化热积聚而导致的温升过快，还有助于混凝土内部的应力释放，减少了因收缩变形而产生的裂缝风险。

2.1.4 控制混凝土坍落度

坍落度大小直接关系到混凝土的浇筑质量和抗裂性能，是确保混凝土性能稳定、质量可靠的关键环节。坍落度过大，意味着混凝土过于稀稠，流动性过强，这不仅会增加混凝土在浇筑过程中的离析和泌水风险，还可能导致混凝土内部结构不均匀，降低其强度和耐久性。同时，过大的坍落度还容易使混凝土在振捣过程中产生气泡，影响混凝土的密实度和抗裂性能。相反，坍落度过小，则混凝土过于干稠，流动性不足，导致振捣不密实，影响混凝土的整体质量。此外，过小的坍落度还容易使混凝土在浇筑过程中产生裂纹，进一步降低其抗裂性能。因此，在混凝土配制和施工过程中，应严格控制混凝土的坍落度，确保其在规定的范围内波动。

2.2 加强浇筑与振捣控制

2.2.1 合理的浇筑方法

在浇筑大体积混凝土时，分段浇筑、分层浇筑、

隔层浇筑等方法被广泛应用于实际工程中，它们各自具有独特的优势。分段浇筑可以根据混凝土的尺寸和形状，将其划分为若干个较小的浇筑段，从而方便施工和管理。这种方法有利于混凝土的散热，减少了因水化热积聚而导致的温升过快问题。同时，分段浇筑还可以减少混凝土的收缩变形，降低了因应力集中而产生的裂缝风险。分层浇筑则是将混凝土分为多个层次进行浇筑，每层之间留有一定的间隔时间，以便混凝土充分散热和硬化。这种方法有助于混凝土内部的应力释放，减少了因收缩变形而产生的裂缝。同时，分层浇筑还可以提高混凝土的密实度和均匀性，增强了混凝土的力学性能。隔层浇筑则是在两层混凝土之间设置隔离层，以阻断上下层混凝土之间的热量传递和应力传递。这种方法进一步降低了混凝土的温升和收缩变形，提高了混凝土的抗裂性能。在浇筑过程中，要避免过快或过慢。过快的浇筑速度可能导致混凝土内部应力集中，而过慢的浇筑速度则可能使混凝土在浇筑过程中产生初凝，影响混凝土的整体质量^[3]。

2.2.2 振捣控制

振捣通过机械振动的方式，能够有效地排除混凝土中的气泡和空隙。在振捣过程中，选择合适的振捣器至关重要。振捣器的类型和规格应根据混凝土的种类、浇筑厚度以及施工环境等因素综合考虑。同时，振捣器的操作也应符合规范，避免对混凝土造成不必要的损伤。除了振捣器的选择，振捣时间和振捣强度的控制同样关键。振捣时间不宜过长或过短，过长可能导致混凝土过度振捣，造成离析和泌水；过短则可能使振捣不充分，留下气泡和空隙，影响混凝土的密实度和强度。振捣强度也应适中，过强的振捣可能导致混凝土表面产生裂纹，降低其抗裂性能；而过弱的振捣则可能无法有效排除气泡和空隙。

2.2.3 控制混凝土入模温度

混凝土入模温度是影响其内部温度分布和温差变化的关键因素，合理控制混凝土入模温度，对于防止混凝土因内外温差过大而产生裂缝具有重要意义。在夏季施工时，由于环境温度较高，混凝土在拌合和运输过程中容易升温，导致入模温度过高。此时，应采取有效的降温措施，如使用冷水拌和混凝土、在拌合站和运输车辆上设置遮阳设施等，以降低混凝土的拌合温度和运输过程中的温度升幅。这些措施有助于控制混凝土入模温度在适宜的范围内，减少因高温引起的混凝土内部应力集中和裂缝风险。而在冬季施工时，由于环境温度较低，混凝土在拌合和浇筑过程中容易受冷，导致入模温度过低。此时，应采取保温措施，

如加热拌合水、使用保温材料覆盖混凝土拌合物和浇筑部位等,以提高混凝土的拌合温度和浇筑时的温度。

2.3 合理设置伸缩缝和隔离缝

2.3.1 伸缩缝的设置

在大体积混凝土结构中,伸缩缝的设置是防止混凝土因收缩变形而产生裂缝的重要措施。伸缩缝通过将混凝土划分为若干独立的单元,使每个单元在收缩时能够自由变形,而不会对整体结构产生过大的应力。在设置伸缩缝时,必须严格遵循相关的规范和标准,确保伸缩缝的宽度、间距和位置等参数符合设计要求。这些参数的计算和设计应基于混凝土的收缩变形情况和温度应力,以确保伸缩缝能够有效地发挥作用。具体来说,伸缩缝的宽度应根据混凝土的收缩变形量来确定,以确保在混凝土收缩时,伸缩缝能够容纳足够的变形量,从而避免裂缝的产生。同时,伸缩缝的间距也应根据温度应力进行计算,以确保在温度变化时,混凝土内部的应力能够得到有效的释放,进一步降低裂缝的风险。此外,在设置伸缩缝时,还需考虑混凝土的浇筑方式、养护条件以及使用环境等因素,以确保伸缩缝的设置能够满足实际工程的需求^[4]。

2.3.2 隔离缝的设置

在大体积混凝土施工中,隔离缝的设置是一项关键的防裂措施。隔离缝通过将混凝土的不同部位分隔开来,减少了它们之间的相互约束和干扰,从而有效降低了因应力集中而产生的裂缝风险。在设置隔离缝时,必须严格遵守相关的规范和标准,以确保其宽度和深度等参数符合设计要求。这些参数的计算和设计应基于混凝土的收缩变形量和施工要求,以确保隔离缝能够充分发挥其分隔作用。隔离缝的宽度应根据混凝土的收缩变形量来确定,以确保在混凝土收缩时,隔离缝能够容纳足够的变形量,防止相邻部位因相互挤压而产生裂缝。同时,隔离缝的深度也应根据施工要求进行设计,以确保其能够深入混凝土的内部,形成有效的分隔层。此外,在设置隔离缝时,还需考虑混凝土的浇筑顺序、振捣方式以及养护条件等因素,以确保隔离缝的设置不会对混凝土的整体性能产生不利影响。

2.4 加强模板支护

模板的刚度和稳定性不足会导致混凝土变形不均匀,产生裂缝。因此,应加强模板的刚度和稳定性,并采取有效的支护措施。模板的支撑系统应牢固可靠,支撑点的位置和数量应根据混凝土的尺寸和重量进行计算和确定。模板拆除过早或拆除方法不当都会对混凝土产生冲击和振动,增加裂缝产生的风险^[5]。因此,

应控制模板的拆除时间和方法。模板的拆除时间应根据混凝土的强度和稳定性进行计算和确定。拆除时应采用合适的工具和方法,避免对混凝土产生冲击和振动。

2.5 采用预应力技术

预应力筋的布置和张拉应根据混凝土的收缩变形和温度应力进行计算和设计。预应力筋的数量、位置和长度应根据混凝土的尺寸和重量进行计算和确定。张拉时应采用合适的张拉设备和工艺,锚固系统应牢固可靠,能够承受预应力筋的张拉力和混凝土的荷载作用。保护系统应能够有效地防止预应力筋受到腐蚀和损伤,确保预应力筋的长期稳定性和耐久性。

2.6 采用真空浇筑技术

真空设备的选择和布置应根据混凝土的浇筑面积和深度进行计算和确定,真空设备应具有良好的抽气性能和稳定性,能够满足混凝土浇筑过程中的真空度要求。真空浇筑工艺的控制包括真空度的控制、浇筑速度的控制和振捣的控制等。真空度应根据混凝土的浇筑面积和深度进行调整和控制。浇筑速度应适中,避免过快或过慢。振捣应采用合适的振捣器和振捣强度,确保混凝土的密实度和抗裂性能。

3 结束语

大体积混凝土裂缝控制措施在房屋建筑施工中具有重要的应用价值。通过优化混凝土配合比、加强浇筑与振捣控制、合理设置伸缩缝和隔离缝、加强模板支护、采用预应力技术和真空浇筑技术等措施的综合应用,可以有效降低大体积混凝土裂缝的发生率,提高建筑物的整体质量和安全性。随着建筑技术的不断发展和创新,裂缝控制措施将更加完善和多样化,为房屋建筑施工提供更加可靠的技术支持和保障。同时,应加强对裂缝控制技术的研发和推广力度,推动裂缝控制技术在房屋建筑施工中的广泛应用和持续发展。

参考文献:

- [1] 张兴照. 高层建筑大体积混凝土施工及裂缝控制措施研究[J]. 中国住宅设施, 2024(03):166-168.
- [2] 吕世生. 大体积混凝土裂缝控制技术研究与应[J]. 江苏建筑职业技术学院学报, 2023,23(03):21-25.
- [3] 刘茂春, 梁治国. 房建工程大体积混凝土裂缝控制措施探索[J]. 技术与市场, 2023,30(08):101-103,107.
- [4] 贾兵飞. 某建筑基础大体积混凝土施工及温度裂缝控制措施研究[J]. 砖瓦, 2023(07):130-132.
- [5] 王鹏辉, 许琼鸽. 大体积混凝土裂缝控制技术在建筑工程中的应用[J]. 建筑结构, 2022,52(S2):1015-1018.

节能降耗技术在电力工程输配电线路中的应用研究

陈 磊

(国网浙江省电力有限公司绍兴供电公司, 浙江 绍兴 312000)

摘 要 随着我国工业化、城市化进程的加速, 电力需求持续攀升, 电力行业的能耗问题也日益凸显。输配电线路作为电力传输与分配的关键环节, 其能耗水平不仅直接关系到电力系统的整体效率, 更对环境保护、能源可持续利用等方面产生深远影响。本文深入探讨了节能降耗技术在电力工程输配电线路中的具体应用与价值, 分析了关键技术的实施策略, 并通过实例验证了其有效性, 旨在为相关研究者提供借鉴。

关键词 节能降耗; 电力工程; 输配电线路; 电网规划; 功率因数

中图分类号: TM726

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.02.020

0 引言

节能降耗技术在输配电线路中的应用, 不仅能够有效降低线路损耗, 提高电力传输效率, 还能减少碳排放, 促进环境保护, 对于推动电力行业转型升级、实现绿色发展具有重要意义。随着科技的进步和材料的创新, 节能降耗技术在输配电线路中的应用也呈现出更加多元化、智能化的趋势。

1 节能降耗技术在输配电线路中的具体应用

1.1 缩减导线长度

1.1.1 直线化设计输配电线路

在输配电线路的设计阶段, 公司充分考虑到线路长度对能耗的影响, 积极推行直线化设计理念。传统上, 由于地形、地貌等自然条件的限制, 输配电线路往往呈现出蜿蜒曲折的形态, 这不仅增加了导线长度, 还增大了线路电阻, 导致电能传输过程中的损耗增加^[1]。公司利用先进的测量技术和地理信息系统(GIS)对线路走向进行精确规划, 通过无人机巡检、卫星遥感等技术手段, 收集线路沿线的地形、地貌数据, 形成高精度的三维模型。在这一模型的基础上, 利用专业的线路设计软件, 对线路走向进行直线化优化。

1.1.2 配电室靠近电气竖井以缩短主干线长度

在配电系统的布局中, 配电室的位置选择对于降低能耗同样至关重要。公司在实践中发现, 将配电室设置在靠近电气竖井的位置, 可以大幅度缩短主干线的长度, 从而减少电能传输的损耗。为实现这一目标, 在配电系统设计阶段就进行了深入的规划和论证。首先分析了区域内用电负荷的分布情况, 确定了电气竖

井的位置。然后, 根据电气竖井的位置, 合理规划配电室的布局, 确保配电室能够尽可能地靠近电气竖井。

1.2 增加功率因数

针对电动机、镇流器等电感性负荷, 公司对其进行了全面的摸底调查, 掌握了各类负荷的功率因数现状。在此基础上, 采取了多种技术手段来提高这些负荷的功率因数。对于电动机, 推广使用了高效节能的电动机, 并通过合理的选型、匹配和调速控制, 使电动机在高效区运行, 从而提高了其功率因数。同时, 对电动机进行了定期的维护和检修, 确保其处于良好的工作状态, 减少因故障或老化导致的功率因数下降。对于镇流器等照明设备, 推广使用了电子镇流器、LED灯具等高效节能产品, 这些产品具有更高的功率因数, 能够显著降低无功功率的消耗^[2]。

1.3 谐波电流控制

1.3.1 抑制谐波电流对电力系统及线路运行的影响

谐波电流的存在, 会导致电网电压和电流的波形发生畸变, 进而引发一系列问题。在公司的实践中, 通过精确的谐波检测与分析, 掌握了电网中谐波电流的分布情况和特征。利用先进的谐波分析仪器和监测系统, 能够实时监测电网中的谐波含量, 为后续的谐波治理提供准确的数据支持。在掌握了谐波电流的具体情况后, 公司采取了一系列措施来抑制谐波电流的影响。优化了电网的结构和布局, 通过合理的电网规划, 减少了谐波电流在电网中的传播和放大。同时, 加强了对电力设备的选型和管理, 优先选用具有谐波抑制功能的设备, 如谐波抑制型变压器、滤波器等, 从源

头上减少谐波电流的产生^[3]。

1.3.2 采用滤波设置减少谐波干扰

为更有效地减少谐波干扰，公司在电网中广泛采用了滤波设置。根据电网中谐波电流的频率和幅值特性，精心设计了滤波器的参数和配置方案，这些滤波器能够有针对性地吸收或反射谐波电流，从而将其从电网中隔离出来，减少谐波对电力设备和线路的影响。在滤波器的选择上，公司注重性价比和实用性，选用了高效、可靠的滤波器产品，还将滤波器与电网中的其他设备进行了有效的整合和优化，确保了滤波器的稳定运行和最佳效果。通过滤波器的应用，公司成功减少了电网中的谐波干扰，提高了电力质量，为电力设备的正常运行和用户的用电安全提供了有力保障。同时，公司还加强了对滤波器的维护和管理，建立了完善的滤波器检修和更换制度。定期对滤波器进行检查和测试，及时发现并处理滤波器存在的问题，确保了滤波器的长期稳定运行和良好性能。

2 输配电线路节能降耗的关键技术

2.1 电网规划设计优化

合理的线路布局和科学的导线选型对于减少线路损耗至关重要。在电网规划设计的初期，公司就高度重视线损控制问题，采用了先进的电网规划软件，结合地理信息系统（GIS）进行精确的地形地貌分析，确保线路走向尽可能直、短，减少不必要的转弯和迂回，从而有效降低线路长度和电阻，减少电能传输过程中的损耗。为进一步控制线路中的线损，公司还引入了实时监测系统，这套系统能够实时采集线路上的电流、电压等关键数据，通过算法分析计算出线路的实际损耗情况，一旦发现异常或高损耗点，系统会立即发出警报，为运维人员提供及时的故障定位和处理依据。此外，公司还充分利用调度自动化系统，根据电网的实际运行状况，指定经济运行曲线。通过优化发电机的出力、调整负荷分配、合理安排电网的运行方式等手段，使电网在最佳经济状态下运行，进一步降低线路损耗^[4]。

2.2 电力变压器节能设计

2.2.1 严格选型，奠定节能基础

电力变压器作为电网系统中的核心设备，其能耗水平的高低直接关系到整个电网的能效表现。为了从根本上降低变压器的能耗，公司在变压器选型环节采取了极为严格的标准，将节能作为首要考量因素。在此背景下，低耗能的变压器成为公司的首选，其中，非晶合金铁芯变压器凭借其卓越的性能脱颖而出。非

晶合金铁芯变压器采用了先进的非晶合金材料制作铁芯，这种材料具有独特的磁学性能，使得变压器在空载和负载状态下的损耗都极低。与传统变压器相比，非晶合金铁芯变压器能够显著降低电网的能耗，为电网的节能降耗工作奠定了坚实的基础。

2.2.2 经济运行，提升能效水平

除了选用低耗能变压器外，公司还高度重视变压器的经济运行管理。为了实现这一目标，公司建立了完善的变压器负载监测系统，定期对变压器的负载情况进行全面、准确的监测。通过深入分析监测数据，结合电网的实际需求，对变压器的运行方式进行了科学合理的优化。在负载较轻的时段，为了降低铁芯中的磁滞损耗和涡流损耗，会适当降低变压器的运行电压，这一措施不仅减少了变压器的能耗，还有效延长了变压器的使用寿命。而在负载较重的时段，则会通过灵活调整变压器的并联运行方式，确保变压器能够高效、稳定地运行，从而满足电网的供电需求^[5]。

2.3 电网无功设计优化

无功功率的流动是导致电网损耗增加的重要原因之一。为了优化电网的无功设计，公司采取了无功补偿技术来控制无功潮流。在电网的关键节点上安装了无功补偿装置，如并联电容器组，这些装置能够根据电网的实际无功需求进行自动投切，确保电网的无功功率得到及时补偿，减少无功功率在电网中的流动。除了并联电容器设置外，公司还采用了串联补偿技术来进一步降低线路损耗。在长距离输电线路中安装了串联补偿装置，这些装置能够补偿线路中的电抗，降低线路的传输阻抗，从而减少线路损耗。此外，还积极推广同塔多回线路设计，这种设计方式能够充分利用杆塔资源，将多条线路架设在同一座杆塔上，不仅节省了土地和杆塔材料，还能通过线路间的电磁耦合作用，降低线路的无功损耗，提高电网的传输效率。

3 节能降耗技术在输配电线路中的实施策略

3.1 提高导线载流水平

3.1.1 材料革新：选用高性能导线

在电力传输过程中，导线的载流水平直接关系到线路的损耗和输电能力。为了有效降低线路损耗并提升输电效率，摒弃了传统的低载流导线，转而采用了一系列高性能导线，如铝合金导线和铜芯铝绞线，这些新型导线以其高导电率和高耐热性著称，能够在相同的输电条件下承载更大的电流。以铝合金导线为例，其导电率可达到铜导线的 60% 以上，而密度仅为铜的三分之一，这使得铝合金导线在保持较高导电性能的

同时,减轻了线路的重量。此外,铝合金导线还具有良好的热稳定性,能够在较高的温度下保持稳定的电气性能,从而降低了线路的电阻损耗和发热损耗。铜芯铝绞线则结合了铜的高导电性和铝的轻质特性,既保证了导线的导电性能,又降低了线路的成本。

3.1.2 技术升级:应用增容导线技术

为了进一步提高导线的载流水平,引入了增容导线技术,这种技术通过优化导线的结构和材料,使导线在保持原有外径和重量的基础上,具有更高的导电性能和机械强度。具体来说,增容导线采用了特殊的绞线结构和紧凑的排列方式,有效增加了导线的导电面积,从而提高了导线的载流能力。采用增容导线技术后,导线的载流能力可提高20%以上,而电阻损耗则相应降低,这不仅显著提升了线路的输电能力,还减少了因线路过载而导致的能耗增加和安全隐患。同时,增容导线的机械强度也得到了显著提升,能够抵御恶劣天气和外部环境对线路的影响,延长了线路的使用寿命。

3.1.3 管理优化:加强导线运维管理

在实施高性能导线和增容导线技术的同时,还注重导线的运维管理。为了确保导线的良好运行状态,定期对导线进行检查和测试,及时发现并处理导线存在的缺陷和问题。测试内容包括导线的电阻、绝缘性能、机械强度等指标,以确保导线满足设计要求和使用寿命。此外,还根据导线的实际使用情况,合理调整导线的运行参数。例如,根据线路的实际负载和温度情况,调整导线的电流密度和温度限制,以充分发挥导线的载流潜力。同时,还建立了完善的导线运维档案,对导线的安装、运行、维修等全过程进行记录和管理,为后续的导线维护和更换提供了有力支持。

3.2 采用新型节能材料

新型节能材料的应用,是公司实现输配电线路节能降耗的又一重要手段。紧跟科技发展的步伐,积极引进和推广具有优异节能性能的新型材料。在导线材料方面,除了采用高导电率的金属材料外,还尝试了碳纤维复合材料、纳米材料等新型导线材料,这些材料具有更轻的重量、更高的导电性能和更好的耐腐蚀性,能够显著降低线路的能耗和运维成本。在绝缘材料方面,选用了具有高绝缘性能、低介电损耗的新型绝缘材料,如交联聚乙烯绝缘料、硅橡胶绝缘料等,这些材料能够有效减少线路中的漏电流和介质损耗,提高线路的能效水平。此外,还在电缆附件、金具等配套设备上采用了新型节能材料。选用了具有低摩擦

系数、高耐磨性的材料制作电缆附件,减少了电缆在运行过程中的摩擦损耗;同时,还采用了轻量化、高强度的金具材料,降低了金具自身的能耗和线路的整体重量。

3.3 加强设备维护和管理

设备维护和管理是确保输配电线路节能降耗措施有效实施的关键环节。公司建立了完善的设备维护和管理体系,制定了详细的设备巡检计划,定期对线路中的设备进行全面的检查和维护。通过巡检,能够及时发现并处理设备存在的故障和隐患,确保设备的正常运行和良好状态。同时,还建立了设备故障预警机制,通过实时监测设备的运行参数和状态,提前预测设备可能出现的故障,并采取相应的预防措施。此外,加强了对设备运维人员的培训和管理。定期组织运维人员进行专业技能培训和安全教育,提高运维人员的业务水平和安全意识。同时,还建立了完善的运维考核机制,对运维人员的工作绩效进行定期评估和考核,激励运维人员更加积极地投入到设备维护和管理工作中去。

4 结束语

节能降耗技术在电力工程输配电线路中的应用,不仅是对传统电力传输方式的一次革新,也是推动电力行业绿色、可持续发展的关键举措。通过缩减导线长度、增加功率因数、控制谐波电流以及采用新型节能材料等一系列具体措施,有效降低了输配电线路的能耗,提高了电力传输效率,为构建安全、高效、环保的电力系统奠定了坚实的基础。加强设备维护和管理,确保节能降耗措施的长期有效实施,是实现电力行业节能减排目标的重要保障,应继续探索和创新节能降耗技术,为构建绿色低碳的社会贡献力量。

参考文献:

- [1] 胡浩男. 电力工程配电网线路节能降耗措施[J]. 中华纸业, 2024, 45(04): 106-108.
- [2] 周旭. 输配电线路中的节能降耗技术应用[J]. 集成电路应用, 2022, 39(11): 266-267.
- [3] 韩鹏. 电力工程输配电线路中节能降耗技术应用分析[J]. 中国设备工程, 2019(24): 66-68.
- [4] 张吉昊. 节能降耗技术在电力工程输配电线路中的应用探究[J]. 通讯世界, 2019, 26(10): 215-216.
- [5] 任媛, 张红颖. 电力工程输配电线路中的节能降耗技术措施研究[J]. 城市建设理论研究: 电子版, 2018(16): 1.

岩土工程施工中基坑边坡失稳及加固处理技术研究

庞伟杰

(山西冶金岩土工程勘察有限公司, 山西 太原 030000)

摘要 我国基坑工程不断增加, 边坡失稳事故频发, 已成为制约建筑业发展的瓶颈之一。本文系统分析了基坑边坡失稳的三大主要原因: 地质条件的复杂多变性、基坑开挖扰动引发的应力场演化、支护结构体系的合理性与可靠性, 并针对这些问题, 详细探讨了传统 HDPE 防渗膜加固、抗滑桩支护、排水加固以及复合型加固四种加固处理技术, 从工程勘察与设计论证、材料设备优选配置、施工过程精细化管理、加固效果跟踪监测与评估四个维度提出了加固处理技术的系统应用策略, 以期为确保岩土工程施工安全和质量提供技术支撑和管理依据。

关键词 岩土工程; 基坑边坡失稳; 加固处理技术

中图分类号: TU753

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.02.021

0 引言

我国城市建设快速发展, 地下空间开发利用日益增多, 深基坑工程不断增加。然而, 基坑边坡失稳事故时有发生, 严重影响工程安全和施工进度, 已成为制约建筑业发展的瓶颈之一^[1]。基坑失稳是一个涉及地质、结构、施工等多因素的复杂工程问题。如何针对性地开展基坑失稳机理研究, 创新发展基坑边坡加固处理技术, 优化勘察设计和施工方案, 已成为岩土工程界的重要课题。

1 基坑边坡失稳的原因

1.1 地质条件的复杂多变性

基坑边坡失稳问题往往源于场地岩土体的复杂性和不确定性。岩土介质的物理力学性质受其组成、结构、胶结状态等因素的综合影响, 表现出明显的非均质性、各向异性和不连续性特征^[2]。这种天然的离散性质使得土层的强度、变形等力学参数呈现出显著的空间变异性, 局部薄弱区域易形成潜在的滑裂面。当遇到软弱夹层、高液限土、膨胀土等不良地质时, 边坡失稳风险进一步加剧。与此同时, 岩溶发育区的溶洞、溶蚀裂隙等地下通道, 会加速地表水和地下水的侵蚀渗流作用, 不仅降低了土体抗剪强度, 还会引发土体的管涌、流砂、坍塌等工程灾害。

1.2 基坑开挖扰动引发的应力场演化

随着开挖面的不断推进, 土体应力状态发生剧烈调整和重新分配。开挖卸荷使基坑周围土体的水平向约束力降低, 土体产生侧向位移并逐步向基坑内部倾

斜。与此同时, 基坑底部土体在上覆土层荷载移除后, 孔隙水压力骤降, 有效应力增大, 导致土体出现弹性回弹变形。在这种动荷载扰动下, 土体应力路径呈现出明显的非线性特征, 强度参数随之衰减^[3]。一旦土体变形累积到一定程度, 超过其自身的屈服极限, 边坡就可能突然失稳, 甚至整体坍塌。尤其对于软土地基, 由于固结压缩和蠕变效应显著, 开挖卸载引发的剪应变局部集中更加明显, 极易诱发边坡的渐进性破坏。

1.3 支护结构体系的合理性与可靠性

基坑支护结构作为抵抗土压力、维护边坡稳定的重要屏障, 其设计与施工的合理性和可靠性直接影响着基坑工程的安全。不合理的支护方案选型, 例如刚度不足、嵌固段短、搭接位置控制不当等, 会导致支护结构内力分布不均、变形过大, 无法有效约束土体位移^[4]。支护结构设计参数的不当取值, 如混凝土强度等级偏低、钢筋配筋率不足、截面尺寸偏小等, 将削弱结构的承载能力和整体稳定性, 尤其在复杂地质和超深基坑条件下, 更易引发支护结构的屈曲失效和连续倒塌。施工工艺和质量控制的缺陷, 如成槽质量不佳、混凝土振捣不密实、钢筋保护层不足、锚杆预应力张拉不到位等, 也会显著降低支护结构的耐久性和使用性能, 加剧边坡失稳的风险。

2 岩土工程施工中基坑边坡加固处理技术

2.1 传统 HDPE 防渗膜加固技术

HDPE 防渗膜加固技术是一种传统而有效的基坑边坡加固方法。其工作原理是利用高密度聚乙烯膜的隔

水性能,在基坑侧壁形成一道防渗屏障,阻断地下水渗流,降低土体含水率,从而提高土体抗剪强度和整体稳定性。该技术适用于地下水位较高、渗透系数大的砂性土和粉土等透水性强的地层中,尤其对于较浅的基坑或地下连续墙施工中的防渗护壁,具有明显的加固效果。在设计中需要重点把控HDPE膜的厚度、搭接宽度、焊接质量以及与基坑支护结构的连接方式等参数。同时应在支护桩或地下连续墙等结构中预埋防水止水带,将HDPE膜边缘可靠固定,形成严密的防渗体系。必要时可在膜后设置排水盲沟,有序导排渗水,避免水压聚集诱发膜后土体流失和结构变形。

2.2 抗滑桩支护技术

抗滑桩支护技术是岩土工程施工中常用的边坡加固方法之一。其基本原理是通过在边坡土体内设置一系列垂直或斜向的钢筋混凝土桩体,利用桩周土体与桩体之间的相互作用,提高边坡整体的抗剪抗滑能力。当潜在滑动面上的土体产生位移时,位于滑动面下方的抗滑桩段可提供额外的抗剪阻力,而上方桩段则依靠土体的被动土压形成抗滑反力,共同抵抗滑动力的作用,达到稳定边坡的目的。该技术适用于各类土质边坡,特别是对于高陡边坡、软弱夹层边坡以及滑坡体等复杂地质条件下的基坑工程,具有较好的加固效果。但在饱和软黏土等特殊土层中,抗滑桩的加固机理有所不同,设计时需引起重视。

2.3 排水加固技术

排水加固技术是基坑边坡加固的关键措施之一。该技术通过设置合理的排水系统,有效控制地下水位,降低孔隙水压力,提高土体强度。在实际应用中,常采用明暗管排水、水平射孔排水、垂直降水井等多种形式,形成系统的排水网络。其中,水平射孔排水适用于岩质边坡,可在坡面钻设一定倾角的排水孔,及时疏导深层水压;垂直降水井则适合砂卵石层等透水性强的地层,通过管井抽水快速降低地下水位。为保证排水效果,需根据工程地质条件和水文特征,合理布置排水设施的位置、间距和深度,并做好排水管道的防堵塞处理。在软土地层中,还可配合真空预压等措施,加快固结排水速度,提高地基承载力。此外,应建立完善的监测体系,实时掌握排水效果和边坡稳定性,确保基坑施工安全。

2.4 复合型加固技术

复合型加固技术是岩土工程施工中基坑边坡加固处理的一种高效方法。该技术通过巧妙组合多种加固

手段,充分发挥各自优势,实现基坑边坡的综合加固。例如,可将抗滑桩支护与排水加固相结合,在提高边坡稳定性的同时,有效降低地下水位,减小土体软化风险。又如,将土钉墙与喷锚支护相融合,既能增强边坡浅层土体强度,又可有效约束深层位移,从而全方位提升边坡整体性能。值得一提的是,复合型加固往往能减少施工工序,缩短工期,节约成本。同时,其加固效果优于单一技术,且适用性更广。因此,复合型加固技术已成为岩土工程领域的研究热点和发展趋势,具有广阔的应用前景。

3 岩土工程施工中加固处理技术的应用策略

3.1 工程勘察与设计阶段的全面论证

加固处理技术的合理应用离不开前期扎实的工程勘察和审慎的方案设计,勘察工作应全面详实,既要查明场地的地层岩性、结构构造等基本地质条件,也要重点调查岩土体的物理力学性质、地下水文特征等影响稳定性的关键要素。对于特殊复杂地层,如饱和软土、多孔卵石、岩溶发育区等,要进一步加密勘察点位,提高勘察数据的代表性和可靠性。与此同时,设计阶段的方案论证要做到客观全面,采取多方案比选的方式,从技术可行性、经济合理性、工期保证性等角度对加固处理技术进行评判和优选。

3.2 加固材料与设备的优选配置

材料是加固施工的物质基础,其品质直接影响加固效果。设备则是加固施工的执行载体,先进可靠的设备是保障工程质量和进度的关键。因此,工程各参与方应高度重视加固材料和设备的优选配置,严把质量关,强化过程管控。对于材料选用,要本着因地制宜、优质优价的原则,选择品质稳定、性能可靠的产品。水泥、钢材、砂石等原材料,应优选信誉良好的供应商,对材料的技术指标进行严格把关,必要时开展进场检验试验。外加剂选型要慎重,避免盲目使用,宜通过室内外试验优化掺量,既要改善材料性能,又要兼顾经济性和环保性。在设备选择上,要立足工程实际需求和技术特点,优选先进实用、性能可靠的设备^[5]。大型设备如钻机、灌浆泵等,应选择自动化程度高、故障率低的知名品牌产品。小型机具如注浆管、搅拌器等,要兼顾性能和成本。设备进场前要检验核实,使用中应加强维护保养,定期检修校准,确保设备安全高效运转。

3.3 加固施工过程的精细化管理

由于加固施工多为隐蔽工程,不易实施全过程监

控,且诸多环节交叉作业,组织协调难度大,因此必须采取精细化管理模式,实现全要素、全过程、全方位的质量把控。首先,要建立健全的技术管理体系和责任制度,细化分解施工任务,明确各岗位职责,确保管理到位、责任到人。其次,要编制详细的施工组织设计和作业指导书,对关键工序、特殊工况制定针对性的技术措施,为精细化施工提供依据。再者,要加强材料设备管理,做好原材料抽检、设备性能校核等,为施工创造硬件条件。此外,要强化过程监控,及时发现并处置施工偏差,通过工序检验、巡视检查等方式控制一次成优率。最后,要完善信息化管理手段,利用物联网、大数据等技术实现材料、设备、人员的动态管理,为科学决策提供依据。唯有严而又严、细而又细地把控施工全过程、各环节,才能确保加固施工的高效有序进行。

3.4 加固效果的跟踪监测与评估

加固处理技术的实施成效需要科学评估和持续跟踪,开展加固效果的监测评估,一方面可及时掌握加固体的工作状态,预警安全风险;另一方面可客观评价加固设计的可靠性和施工的规范性,为优化完善提供依据。因此,工程各方应高度重视加固效果的跟踪监测与评估工作,将其作为质量管理和技术优化的重要抓手。首先,应在设计阶段制定完备的监测方案,明确监测目的、监测项目、仪器配置、测点布置、频率要求、预警值等。其次,要建立专业化的监测队伍,配备先进可靠的自动化监测设备,规范实施现场监测。再者,要加强监测数据的传输、存储、分析能力建设,及时编制监测报告,形成闭环管理。此外,应针对监测异常数据开展专题分析,查明原因,评估其对工程的影响程度。对于问题突出、风险较大的情况,应及时预警,采取应急处置措施。最后,要总结监测成果,评估加固效果,剖析设计施工中存在的不足,并针对性地提出优化建议,为后续类似工程提供借鉴。

复合型加固技术涉及多种加固处理手段,监测评估内容更为复杂。以土钉墙和微型桩组合的加固方案为例,应分别针对土钉、基坑桩及周围土体布设监测点。土钉方面,应监测土钉轴力、桩帽正反位移,评估土钉的受力状态和变形趋势。微型桩方面,应监测桩体的轴向力、倾斜度、桩间土压力等,分析桩基的整体稳定性。邻近土体方面,应布设深层位移计和孔隙水压力计,及时掌握土体变形发展规律。在开挖和施工各阶段,要严格执行信息化、自动化监测,确保监测数

据的准确性和连续性。当发现土钉轴力异常、桩帽位移超限、土体变形速率加快等预警信号时,应立即报告,开展应急处置^[6]。积极采取加密土钉、压浆封闭裂缝、设置支撑等补救措施,避免问题扩大化。工程竣工后,还应持续性地开展跟踪监测,评价加固工程的使用性能。通过比对分析设计预期和实际加固效果,找出设计和施工的薄弱环节,总结经验教训。同时针对性地开展技术攻关,优化土钉抗拔参数、改进钻孔成型工艺、提高桩体成桩质量,切实提升复合型加固技术的可靠性和适用性。

4 结束语

岩土工程施工中基坑边坡加固处理技术的合理应用是保障工程安全和质量的关键,需要工程各参与方协同发力,统筹兼顾,系统施策。在前期,要高度重视工程勘察设计,详细查明场地工程地质和水文地质条件,并在此基础上优化设计方案,合理选择加固技术。在施工阶段,要强化过程控制和精细化管理,严格把控材料、设备、工艺、人员等要素,确保加固施工的规范有序。同时,还要做好施工过程的跟踪监测和效果评估工作,及时掌握加固体系的工作状态,发现问题及时预警和处置。只有全过程、全方位、全要素地把控基坑边坡加固处理,建立健全技术与管理双优机制,才能为岩土工程筑牢安全防线,实现建设工程高质量可持续发展。

参考文献:

- [1] 刘海超.关于岩土工程基坑边坡失稳加固技术的探讨:以日照岚山疏港铁路工程对应项目为例[J].价值工程,2024,43(03):149-151.
- [2] 刁峰.岩土工程施工中基坑边坡失稳与加固处理技术的探讨[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2023(05):79-81.
- [3] 陈川,包毅辉.贺巴高速公路某路堑高边坡坍塌失稳治理及全过程监测分析[J].西部交通科技,2024(03):34-38,43.
- [4] 周伟.公路工程岩土边坡稳定性研究[J].广东建材,2023,39(08):101-104.
- [5] 季文魁.关于岩土工程中高填方边坡的稳定性分析与治理措施[J].中华建设,2023(02):113-115.
- [6] 肖春碑.粤北某国道边坡整体失稳机制分析及治理措施优化研究[J].铁道建筑技术,2024(10):204-208.

储能技术在新能源电力系统中的应用研究

李昱婧, 张渊博

(国网上海市电力公司崇明供电公司, 上海 202150)

摘要 随着电力系统的不断发展与科技的不断进步, 现阶段新能源类型的电力系统得到广泛应用。在新能源系统应用期间, 通常需要采取合理措施利用储能技术, 保障系统顺利运行。储能技术在新能源电力系统中的应用研究受到广泛关注, 相关理论研究及实践探索大量涌现。本文简单分析了储能技术在新能源电力系统中的应用价值与常见的储能技术, 深入探讨了相关的应用要点, 以供相关人员参考。

关键词 储能技术; 电力系统; 新能源电能

中图分类号: TM732

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.02.022

0 引言

近些年, 新能源电力系统在我国各地得到广泛应用, 系统的运行管理工作也在随之升级。但结合实际调研可以发现, 部分地区管理新能源系统时, 在储能技术的合理应用方面仍欠缺管理力度。本文围绕储能技术在新能源电力系统中的应用展开具体研究。

1 储能技术在新能源电力系统中的应用案例

1.1 可再生能源输出

在新能源电力系统中, 可再生能源, 如太阳能和风能的输出往往具有间歇性和不稳定性, 对电网的稳定运行带来挑战, 储能技术在其中发挥出关键作用, 在可再生能源发电高峰时储存多余的电能, 在需求高峰或发电低谷时释放, 从而提高能源的可靠性和可预测性。以某电厂为例, 该电厂装机容量为 500 MW, 其中风电装机容量占 30%, 光伏装机容量占 20%。由于风能和太阳能的间歇性, 电厂输出波动较大。为解决问题, 电厂引入储能系统, 采用锂离子电池储能技术, 储能容量为 100 MWh。通过储能系统的充放电控制, 电厂有效地平衡可再生能源的输出, 使得电力输出更加平稳和可靠。在引入储能系统前, 电厂日均输出波动率为 15%, 而引入储能系统后, 日均输出波动率降低至 5%。储能系统的应用还提高了电厂的发电效率, 使得年均发电量提高 3%。储能系统采用锂离子电池, 额定电压为 380 V, 额定容量为 100 MWh, 充放电效率达到 90% 以上。

1.2 电力调峰

电力需求在一天之内会有明显的波动, 高峰期和

低谷期的电力需求差异较大。传统的做法是通过发电机组的启停来调节电力输出, 但这种方式不仅效率低下, 还会对发电机组造成损害。储能技术可以在电力需求高峰时释放储能, 平衡供需差异, 减少对发电机组启停调节的依赖。上述电厂需要服务的区域电力需求波动较大, 为应对电力需求的高峰, 电厂引入压缩空气储能系统, 储能容量为 50 MWh。在电力需求高峰时, 储能系统释放压缩空气, 驱动发电机发电, 从而满足电力需求。引入压缩空气储能技术后, 额定压力为 7 MPa, 额定容量为 50 MWh, 释能效率达到 85% 以上, 年均启停次数降低至 300 次以下, 发电机组的磨损和维修成本减少。储能系统的应用还提高了电厂的响应速度, 使得在电力需求突变时更快地调整输出。

1.3 微电网和离网运行

在微电网和离网系统中, 储能技术同样发挥着重要作用, 可提供稳定的电力供应和能量储备, 使得微电网和离网系统实现独立运行。为保障该地区的电力供应, 该电厂建立微电网系统, 系统包括风电、光伏和储能系统三部分。其中, 储能系统采用液流电池技术, 储能容量为 20 MWh。通过储能系统的充放电控制, 微电网系统在离网状态下稳定运行, 为该地区提供可靠的电力供应。采用液流电池技术, 额定电压为 400 V, 额定容量为 20 MWh, 充放电循环寿命达到 5 000 次以上, 即使电网故障, 微电网系统也独立运行 4 小时以上, 大大提高了电力供应的可靠性和稳定性。

2 储能技术常见类型

现阶段, 在生态环保绿色节能等理念下, 储能技术的未来发展趋势已经向新能源方向转变, 储能技术

已成为新能源电力系统的重要组成部分，在电力系统的各供电环节中得到广泛应用。

2.1 发电方面

在新能源发电中，应重点关注不同类型清洁、可再生应用的情况，储能技术可以在电力不足时将自身存储的电力投入使用，实现电能的稳压、稳流。储能系统在电力需求低谷时储存电能，在高峰期释放，有效平衡电力供需，提高电网运行的稳定性。以风电和光伏为例，在实际应用过程中可利用多种储能系统确保各类新能源可靠使用，防止影响电网的稳定运行。通过引入储能系统，可以平抑新能源发电的波动性，提高电力供应的稳定性和可靠性。例如，在某地的电网公司中，通过大规模储能电站监控系统，实现风电、光伏和储能的协调控制，显著提高了新能源发电的稳定性。

2.2 输电方面

随着新能源发电规模的不断扩大，电网对输电设备的需求也在增加。储能技术的应用可以延缓输电设备的投资，通过在输电过程中储存电能，减少新建输电线路的需求，降低电网扩容的成本和对环境的影响。例如，江苏电网侧储能一期项目通过引入储能技术，有效缓解电网的输电压力，减少输电设备的投资。储能系统能够快速响应电网负荷变化，进行频率和功率调节，帮助电力系统维持稳定的电压和频率。在电力系统中引入储能技术，可以显著改善电能质量，提高系统的稳定性。例如，在镇江 101 MW/202 MWh 的电网侧分布式储能电站项目中，储能系统通过参与二次调频、调峰等辅助服务，有效提高电网的稳定性和可靠性。涵盖“光伏+储能+充电”的超级充电站项目通过应用储能技术，解决了光伏在应用过程中出现的不同供电、发电、供配电等不良问题。储能系统还发挥组合优势，带动光伏、储能、充电桩多向发展。这种综合能源站模式不仅提高了新能源的利用效率，还能促进新能源产业的协同发展。

2.3 配电方面

在配电环节，储能技术的应用能够缓解高峰电负荷需求，减少电网在高峰期的供电压力。通过延缓网络升级扩容，降低配电系统的建设成本。例如，河南百兆瓦电池储能示范工程，在大规模储能电站领域进行有益探索，为电网提供灵活性，提高电力系统的稳定性。储能系统还可以作为备用电源和应急供电系统，在电网故障或停电情况下迅速启动，提供可靠的应急

电力，这对于保障关键设施和用户的电力供应具有重要意义。例如，在医院等用能重点单位中，储能技术的应用能够在其中充分发挥重要的作用，医院的重点工作区域可以持续获得电力能源供给，为医院平稳运营提供坚实的电力保障。某电网侧储能项目通过引入储能技术，有效缓解了电网的输电和配电压力。该项目不仅提高了电力系统的稳定性和可靠性，还降低了电网扩容的成本。储能系统还能够通过多种不同的技术服务使电网的运行稳定性处于可控范围内。

2.4 用电方面

随着分布式发电技术的普及，越来越多的分布式电源接入电网。储能技术通过辅助分布式发电接入，有效提高电网运行的稳定性与运行效率、运行安全性。例如，在“光伏+储能+充电”的超级充电站中，储能技术的应用解决了一部分发电冗余和并网问题，促进分布式能源的发展。储能系统通过改善电能质量，提高用电的安全性和稳定性。在用电侧储能项目中，储能系统通过削峰填谷、容量调配等机制，不仅降低了用户的电费支出，还提高了电力系统的经济性和可持续性。例如，在澳大利亚和德国等国家，户用储能得到广泛应用，通过分时电价管理，帮助用户削峰填谷，实现经济效益和社会效益的双赢。某风光储示范工程是目前世界上规模最大、集风力发电、太阳能发电、储能和智能输电于一体的新能源综合利用工程，该项目通过管理能量与不同类型、不同规模的监控系统，显著提高了新能源发电的稳定性和可靠性。储能系统还通过削峰填谷、将可再生能源的多种功能优化，充分发挥出可再生能源的应用优势，为电网提供了重要的支撑^[1]。

3 储能技术在新能源电力系统中的应用要点

3.1 物理储能技术

压缩空气储能技术利用电力系统低谷时的富余电力，驱动空气压缩机工作，将空气压缩并储存在大型地下洞室、废弃矿井或人造储气罐中，在电网需要时，释放压缩空气推动涡轮机做功发电。该技术具有规模大、成本低、寿命长、清洁无污染等优点，但依赖大型储气装置，且效率受空气压缩和膨胀过程热损耗影响。现阶段我国已经提出不同的先进压缩空气储能试验示范项目，取得了突出的试验研究成就，在试验过程中，项目采用先进的压缩空气储能技术，利用盐穴作为储气装置，实现电能的高效储存和释放。该项目对于推动压缩空气储能技术的发展具有重要意义。

飞轮储能技术利用电动机带动飞轮高速旋转，将电能转化为机械能储存起来，在需要时通过飞轮带动发电机发电将机械能转化为电能。飞轮储能具有高储能效率、高储能密度、快速充放电、寿命长等优点，但成本相对较高，且对材料和制造工艺要求较高。飞轮储能技术在轨道交通领域得到广泛应用。例如，在某些地铁系统中，通过将飞轮储能装置在合适的场所中安置，能够优化能量的吸取与释放效果，实现能量的高效利用和节能减排。

抽水储能技术是目前技术最为成熟的大容量储能方式之一，应用期间可以在电力不足时将电能抽取，通过合适的技术手段转换成势能，最后在合适的时机再次投入发电使用。抽水储能具有使用寿命长、能量转换效率高、装机容量大、持续放电时间长等优点，且对环境友好无污染。我国已建成多座大型抽水蓄能电站，如广东惠州抽水蓄能电站等。这些电站不仅为电网提供了重要的调峰填谷功能，还参与电力系统的频率调节和电压控制等辅助服务，提高了电网的稳定性和可靠性。

3.2 化学储能技术

钠硫储能电池是一种高能蓄电池，具有高能量密度、高充放电效率等优点，但其运行需要较高的温度环境（约300~350℃），且对材料和技术要求较高。钠硫储能电池在电力储能领域得到广泛应用。例如，在某些风力发电站中，钠硫储能电池被用作储能装置，在风力发电过剩时储存电能，在风力不足时释放电能，实现风能的稳定输出^[2]。

锂电池具有高转化效率、高能量密度、自放电率低等优点，适合用于应急供电及旋转备用等场合，但锂电池的成本相对较高且存在安全隐患（如热失控等）。锂电池在新能源汽车领域得到广泛应用。在电力系统中，锂电池也被用作储能装置参与调峰填谷和辅助服务等工作。例如，液流储能电池具有绿色环保、可深度放电、使用寿命长等优点，其电解液通常储存在外部储罐中，通过泵送至电池堆进行反应发电。在某些工业园区内建设的分布式储能电站中，液流储能电池被用作主要储能装置参与电网的调峰填谷和辅助服务等工作。金属空气储能电池的负极，采用金属（如锌、铝等）作为活性物质与空气中的氧气反应产生电能。目前金属空气储能电池仍处于研发阶段，尚未大规模商业化应用。

3.3 相变储能技术

相变储能技术利用物质在相变过程中吸收或释放大潜热的特性进行储能和释能，具有储能密度高、温度波动小等优点，适用于建筑节能和工业余热回收等领域^[3]。冰蓄冷储能技术和电储热技术是相变储能技术的典型应用，在夏季高温时期通过夜间低谷电价制冰储存冷量，白天释放冷量，供空调系统使用，实现节能降耗；在冬季则通过电加热产生热量，储存于蓄热材料中，供采暖系统使用，提高能源利用效率。

3.4 电磁储能技术

超导磁储能技术利用超导线圈将电能转化为磁场能储存起来，在需要时通过逆过程将磁场能转化为电能释放，基于高储能效率、响应速度快等特点，可在实际应用中全面优化电力系统的电压和电频控制^[4]。超导磁储能技术目前仍处于研发阶段，尚未大规模商业化应用，但其在未来智能电网和微电网中具有重要的应用前景。超级电容器储能技术介于电容器和电池之间，具有多次反复储能能力，且能够提升瞬时功率输出。超级电容器具有充放电速度快、循环寿命长等优点，适用于需要瞬时大功率输出的场合。超级电容器在电动汽车快速启动和制动能量回收等方面得到应用。在电力系统中，超级电容器也被用作辅助储能装置参与调频调压等辅助服务工作^[5]。

4 结束语

不同类型的储能技术在新能源电力系统中的应用关系到新能源电力系统的整体运行、工作质量，必须聚焦于储能技术在电能质量、供电稳定性、发电规模等方面的应用价值，选择合适的储能技术，保障新能源电力系统的输送电等系列工作安全稳定地开展。

参考文献：

- [1] 朱正印,刁智伟,毕素玲,等. 新能源电力系统中储能技术的应用探究[J]. 电工技术, 2023(S1):253-255.
- [2] 裴森. 多重应用场景下的新能源电力系统储能技术[J]. 城市建设理论研究: 电子版, 2023(34):112-114.
- [3] 陈俊. 新能源发电技术在电力系统中的应用[J]. 光源与照明, 2023(09):231-233.
- [4] 张颖业. 新能源电力系统中储能技术的应用[J]. 低碳世界, 2023,13(05):73-75.
- [5] 王玥娇,张兴友,郭俊山. 储能技术在高比例可再生能源电力系统中的应用[J]. 山东电力技术, 2021,48(07):19-25.

基于 PDCA 循环的电力工程造价管理研究

康小娇

(山东省环能设计院股份有限公司, 山东 济南 250101)

摘要 在我国市场经济飞速发展的背景下, 电力工程项目的规模不断扩大, 工程造价管理也面临更为复杂的挑战。PDCA 循环法, 即规划、执行、检查、行动四阶段循环, 已经成为电力工程造价管理的重要管理工具。通过 PDCA 循环法在电力工程中的应用, 项目能够实现持续优化成本控制和资源分配, 从而实现经济效益和质量标准的双重目标。本文研究了基于 PDCA 循环的电力工程造价管理, 旨在为相关人员提供参考。

关键词 电力工程造价管理; PDCA 循环; 目标设定; 成本控制

中图分类号: TU27; TU723

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.02.023

0 引言

在迅速变化的市场经济与技术创新背景下, 电力工程项目的管理正面临日益复杂的挑战, 尤其是与成本相关的控制问题。PDCA 循环管理法在此领域中扮演着重要角色, 该方法由计划、执行、检查、行动四个阶段组成, 为电力工程成本控制与风险处置提出了系统性的解决策略, 并强调以最优化的资源分配实现工程经济效益和质量标准双重目标。将 PDCA 循环法应用到电力工程的成本管理中, 彰显了一种循环前进、持续更新的管理理念。在计划阶段, 管理者需要明确目标, 并进行必要的改进; 执行阶段则要求根据既定计划进行操作; 检查阶段则涉及对执行结果的监督与评价, 确保结果符合预定目标; 而行动阶段的核心在于根据检查结果进行调整, 将有效的过程固定化, 对未能达成的目标点采取改进措施。PDCA 循环法正是通过这样一种动态循环的方式, 激发不断创新与持续的改进过程, 成为提高管理效率和精细化操作的重要工具。

1 电力工程计划阶段的造价管理

1.1 目标设定与成本预测

针对电力工程项目, 在 PDCA 循环的计划阶段, 项目团队应当深入分析各环节, 为输电线路布置、变电站选址和施工作业等设定明确的目标, 需要综合考虑地形起伏变化对工程实施的潜在影响, 并以此为依据, 进行工程的具体规划。例如, 针对地形起伏变化, 需要做出适应的线路和变电站布局, 以确保工程的顺利进行和运维的长期可靠性。在成本预测方面, 考虑到工程材料、人工、机械等常规费用, 还必须充分评估地形因素所引起的额外开销, 例如, 新增支撑结构及远距离物资运输等。在此阶段, 应当采用动态预算控制模式, 及时更新和调整成本预测数据。依据实地勘

察的数据, 建立灵活的成本管理模式, 备有相应的风险预算, 对工期的潜在延误因素进行预测, 并设立专项资金以应对不确定因素, 如春季风沙、冬季严寒等气候条件带来的影响。例如, 对于工期可能会被春季沙尘及冬季严寒天气拖长的情况, 应在成本预算中预留出相应的应对手段和资金。将整体工程预算分为多个分区预算, 对各个阶段可能出现的风险和变动成本逐一评估并进行成本控制^[1]。

1.2 风险评估与应对策略

面对地震、滑坡和泥石流等自然灾害带来的工程风险, 电力工程项目团队在 PDCA 循环的风险管理阶段, 必须采取科学合理的风险评估和应对策略, 需要进行全面的风险评估, 识别出所有潜在的自然灾害源, 尤其是那些可能危及电力工程设施的风险点。项目团队需要调用地质勘探、气象分析、遥感信息等多种技术手段, 结合历史灾害数据, 进行综合性风险评估。风险评估后, 制定应对策略的原则应是预防为主, 防患于未然。一方面, 采用冗余设计原理, 在输电线路和变电站的工程设计阶段, 就将地震、滑坡等潜在灾害因素考虑在内。例如, 输电塔结构设计应该基于地震烈度和滑坡运动的力学测试, 增加必要强度, 并考虑使用耐腐蚀材料。在输电塔建设中, 也可采取抗滑桩加固技术或牺牲性稳定措施, 以减少山体移动对线路造成的影响。泥石流多发区应采取综合治理, 例如建设挡土墙和排水沟等。应对措施还包括利用先进监测技术的防灾预警系统, 为自然灾害提供实时预警信息, 降低灾害可能造成的损失。

1.3 资源分配与预算编制

在电力工程项目的资源分配与预算编制阶段, PDCA 管理循环要求综合考虑土地征用费用、环保成本、受

工程影响民众的补偿费用等多种因素，合理分配资源。该步骤需要精确测算土地征用费用和环境补偿费用，并将其纳入总体预算，以覆盖可能发生的额外费用。在预算编制中，结合对工程影响区域的社群调查，确保预算能够体现出对受影响社群的公平考虑，并促使公共利益最大化。重视潜在极端天气、自然灾害对工期、预算的可能影响，需要在预算中特别设立应对资源^[2]。例如，应对恶劣天气造成的材料损坏，增加材料采购费用；为保障工人健康与安全，在紧急天气情况下，应预留相应的应急经费。预算编制时应考虑资金的整体分配，确保资金能够支持每个工程项目环节的稳步进展，应对可能的资金缺口。此项工作强调预算编制的持续性调整和优化。项目团队应定期审视预算执行情况，结合工程进度、材料价格变动、天气状况等多方面信息，动态调整预算。为推进地区长远发展，预算编制应体现对社会可持续发展和环境责任的关注，促使资源分配在满足经济效益的同时，也兼顾社会公正和生态保护。

2 电力工程执行阶段的造价管理

2.1 成本控制与跟踪

在电力工程项目的执行阶段，运用持续改进的成本控制与跟踪系统为重要。项目团队必须采用动态成本控制系统，该系统要求建立跨部门协调机制，确保施工各阶段的支出情况能够得到精准地捕捉与分析。该系统涵盖材料采购、施工操作、机械设备使用和安全措施四项主要成本。在处理采购材料成本时，团队需要通过签订锁价合同或适时购货来规避远程运输可能引发的成本风险。由于电力工程项目通常覆盖广泛的地理范围，受地形条件限制，应急成本管理成为项目财务的重要组成部分。因此，在预算安排时不仅要留有余地，还需要审核每一笔额外费用的合理性，确保资金仅用于必要支出。应用现代电子数据管理系统，项目执行得以实时地监控及调整，提高了效率，并在必要时可调整资源分配^[3]。

2.2 施工过程管理

电力工程项目施工管理涉及复杂地形和严酷自然环境的适应问题，项目团队必须采取详尽的措施来妥善处理这一挑战。特殊地理环境要求制定周密的施工方案和技术路线，针对山地和河谷地区的施工需要特别的设计与工艺支持。项目管理者需要在确保安全施工的前提下，平衡施工效率与环境保护的关系。在实际施工过程的监控中，团队应用关键绩效指标（KPIs）来衡量并确保项目按计划进行。例如，在高海拔地区施工作业时，因复杂与艰苦的条件，管理者需要制定

针对性的措施保护工人健康，确保施工质量。特定地区风沙多和低温天气的情况，需要计划中包含有效措施来预防天气多变造成的不利影响。信息实时流通过程中的透明度和沟通效率需要不断优化来维护项目内部团队和外部利益相关者之间的协调一致。

2.3 质量与成本监测

实现电力工程项目的质量目标与其造价之间的优化配置是提高经济效益和保障项目长期稳定运行的关键。为此，建立全面的质量保证体系对于工程的各个方面以及每一个环节都是必需的。质量监管部门需要对工程建设的每一个步骤进行严格的审查和检验，包括对物资的选择、施工工艺等各个环节。特别是在地震频率高和地质条件复杂的区域，工程质量控制显得尤为重要。及时发现故障并解决问题，可有效减少后期维护成本，延长设施使用寿命。利用先进的信息技术进行成本监控、分析可发现和预防与质量相关成本的超支，使项目的实际成本控制更加精确。例如，项目管理软件和实时数据跟踪系统的应用，可极大地提高监测效率和准确性，帮助管理层更快速、更准确地做出决策^[4]。

3 电力工程检查阶段的造价管理

3.1 成本绩效评估

在该阶段，电力工程项目首先需要借助专业工具进行精确的成本计算，从而明确执行各项任务的成本与预期目标的具体差异，基于详实的预算数据，对对比分析实际发生的成本，从而实现成本消耗的量化描述。评估团队需要综合考虑地形、气候，以及供应链等各种可能影响成本的外在因素。考虑到地形对施工难度的影响，如同在黄土高原地区，风蚀对施工进度的干扰，或是在甘肃河谷，洪水风险造成的工程项目延误，都是在评估中不容忽视的变量。成本超支往往与地质条件、土地征用政策、环境保护要求等密切相关，这些都需要在成本绩效评估中明确其具体影响，应当将重点放在评估实际采取的成本控制措施的成效上，例如，分析采购本地材料在降低成本运输费用方面的实际作用。此类细致的分析有助于为项目后续阶段提供精确的成本监控，为决策层提供可靠的成本绩效数据。

3.2 偏差分析与原因探究

地区电力工程往往面临自然环境的复杂挑战，例如上述所列地区的气候变化带来的风险。要完善该环节的管理，首先需要建立一套标准化的数据收集和分析流程，以确保从项目初期到中后期的成本分析具有连续性与准确性。偏差分析必须详细考察成本与时间的偏差，详细记录在不合理延迟和非预期成本增加中的每一个因素，包括地质因素、政策法规变动、人为

失误等影响因素。项目团队需要从多维度进行系统性分析,如参照历史数据、借助现代项目管理软件等,以提高分析的科学与权威性。唯有精准识别导致成本偏差的每一个因素,才能够为项目管理层提供可靠的纠偏措施和决策依据。注重理性分析和实事求是的精神,考查偏差背后的根本原因,并以此为基础制定针对性的改进措施,以防止同类问题在未来重复发生。通过这个环节的深入挖掘,项目团队能够更为清晰地辨认偏差原因,并积极寻找预防和应对策略,从而提高成本管理的有效性^[5]。

3.3 经验教训的记录与总结

在 PDCA 循环的最后阶段,将经验教训的记录和总结作为提升管理质量的重要手段,是完善质量管理过程的关键一步。具有地区特色的项目,例如建设在崇山峻岭之间的变电站,其面临的问题和解决方案往往具有极高的个案价值。因此,在检查阶段,建立全面而详实的项目资料库是一个持续且关键的任务。该项目阶段不仅需要记录工程的技术实践和管理策略,还需要详细界定项目遇到的复杂问题及其解决过程,如特殊地质条件下的施工方法、高效协调跨区域供应链的经验等,并及时汇总归纳,这一过程需要项目团队各层级成员的积极参与,强调知识共享,确保从一线工人到项目高层管理者都能对资料库的维护和知识的更新负责。通过这种方式积累的经验和知识,不仅能够为同一地区未来的电力工程建设提供直接参考和实践指导,也对提升组织管理和创新能力具有显著的促进作用,进一步确保每一个项目都能在成本效益上实现最大化的管理目标。实施这一策略,不仅能帮助个人及团队掌握丰富经验,还能够系统化问题解决的逻辑,提高决策和管理水平。

4 电力工程行动阶段的造价管理

4.1 行动措施的制定

行动阶段需要对资源进行有效的分配和管理,例如人力、设备和材料,这包括在项目投标阶段提出合理的预算,以及在项目实施过程中对成本进行严格的控制。项目团队应对预算进行定期审查和调整,以应对可能出现的各种风险和不确定因素。设定清晰的目标和责任分配,同时确保所有团队成员理解并接受各自的责任,这样不仅有助于统一工作方向,还可以提高团队的整体执行力。将项目的进度和成本控制融入企业的整体战略中,通过流程和方法的优化,提高工作效率和项目的综合盈利能力。

4.2 实施行动与效果评估

在实施阶段,持续的过程监控和效果评估很重要。

基于前期规划,决定了具体行动要求需要在落实过程中进行严格的质量控制和进度跟踪。项目管理团队和现场施工人员进行准确无误的沟通是确保措施顺利实施的条件之一。项目数据的实时采集能够为效果评估提供坚实的基础。数据不仅限于直接的成本和进度信息,更需要关注项目实施对周边生态环境的影响,以及社会责任和经济影响等间接因素,具备全员的参与感,鼓励团队成员在整个过程中识别问题,提出改善建议。全面的效果评估可以揭示项目管理中存在的问题并提供改进的机会,这需要项目管理层就每一阶段的结果进行深入分析,例如对造价超支的案例评估,总结经验教训,提供有力的数据支持,以及时做出调整和改善。

4.3 标准化与持续改进

项目团队应基于在实际操作中的经验积累,对存在的问题进行识别与修正,这不仅需要运用数据分析的技术,还得积极主动地探索最佳方案。为了适应外部环境条件的变化,必须通过持续的监测与反馈机制,确保管理实践的进步,实现管理效率与成效的不断增长。不可忽视的是,地区的地理环境和文化特征对于管理流程的标准化与改进措施具有决定性作用,因此,设计这些流程时必须充分考虑地方特色。

5 结束语

在电力工程造价管理中,PDCA 循环模型已成为一种重要的管理策略,从规划、实施到检查与修正,工程造价管理的各个环节均深刻体现了循环迭代的管理理念,确保项目的成本控制在可控范围内。管理过程持续地对项目执行情况给出反馈,从而不断调整优化策略,不仅提高了资源运用的效率,也增强了管理活动的灵活性和对外部变化的应对能力。通过持续的 PDCA 循环迭代,电力工程造价管理在面对不可预测的市场与环境波动时,能够有效维持自身的竞争力,并最终完成既定项目目标。

参考文献:

- [1] 田笑,王瑞武.全生命周期造价管理在电力工程造价管理中的应用分析[J].电气技术与经济,2023(10):250-252.
- [2] 李磊.电力工程造价管理策略分析[J].电气技术与经济,2023(10):273-275.
- [3] 杨成雷.电力工程项目造价管理分析[J].中国招标,2023(12):130-132.
- [4] 祝瑞,赵乐乐.电力工程造价管理中全生命周期造价的应用分析[J].石河子科技,2024(06):47-49.
- [5] 宣丹.电力工程造价管理的现状与发展趋势[J].中国招标,2024(08):120-122.

基于大数据技术优化制造企业生产设备管理

马千里

(北京建筑大学, 北京 100044)

摘要 大数据技术作为一种处理和分析海量数据的技术体系,在现代社会中具有重要的应用价值,对涉及大量数据信息的生产制造企业而言具有广阔的应用前景,不论是生产设备、生产流程本身,还是与生产制造息息相关的原料采购、库存管理、市场营销等,均会产生海量数据。本文主要分析了大数据技术在制造企业生产设备管理优化中的应用价值,并围绕性能参数预测、故障预测、使用寿命预测、设备维护决策支持、设备风险管理支撑等维度,探讨相应的实践策略,以期为相关人员提供借鉴。

关键词 大数据技术; 制造企业; 生产设备管理; 故障预测模型

中图分类号: TP391; F273

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.02.024

0 引言

在数字化时代,大数据技术逐渐在各个领域得到广泛应用。制造领域应用大数据技术,能实现制造模式的创新变革,构建更加科学、高效的制造模式,形成能推进制造行业飞速发展的全新体系。制造企业生产设备管理中应用大数据技术,则能显著提升设备管理水平,进而更好地支持生产业务开展,有利于制造企业生产水平以及经济效益提升。

1 大数据技术在制造企业生产设备管理优化中的应用价值

1.1 制造企业生产设备管理概述

对制造企业而言,生产设备管理直接关系到企业的生产效率、成本控制、产品质量、安全生产、市场竞争力等方面,只有加强生产设备管理工作,制造企业才能在市场竞争中实现可持续发展。制造企业生产设备管理涉及设备选型、供应商评估、采购合同签订实施、设备安装计划制定、设备安装安全规范实施、设备调试、设备预防性维护、应急维修、保养计划制定与执行、设备实时监控、设备数据记录、技术更新、老旧设备改造、报废处理、设备登记、资产评估、人员培训、安全规程、事故预防、产品质量检测、维护成本控制、节能减排、配件供应、服务支持乃至行业标准等,内容多,管理难度大。如何实现对生产设备管理的有效优化,一直都是制造企业高度重视的难题。而在大数据技术的支持下,生产设备管理优化水平将得到显著提升。

1.2 大数据技术对生产设备管理优化的积极意义

第一,实现生产设备数据的全程全面采集。制造

企业生产设备类型杂且数量多,同时各设备从采购到安装、运行再到报废涉及大量数据信息,导致数据采集成为生产设备管理的一大难点。在传统管理模式下,制造企业难以实现对生产设备相关数据的完全采集。在数据本身有所缺失的情况下,针对生产设备的管理自然也很难做到优质高效。应用大数据技术,能实现对生产设备相关数据的全程全面采集,切实改善和解决生产设备数据采集不足的问题,为相应的设备管理提供充足的数据支撑。第二,提升检修效率。基于大数据技术的生产设备管理,能实现对海量相关数据的综合分析,也能实现设备检修维护过程的自动化与智能化,减少人为失误造成的影响,优化检修流程,保障设备信息数据获取的精准性与及时性,大幅提升检修效率^[1]。第三,强化对生产设备运行状态的实时监测。生产流程中应用大数据技术,能实现对生产设备运行状态的实时动态监测,通过数据分析及时发现设备的异常和故障,还能提供自动报警服务与智能维护服务,进而保障生产设备的安全、稳定、高效运行。第四,提高生产设备运行效率。基于大数据技术优化制造企业生产设备管理,能依托数据挖掘与分析实现对生产设备运行状况的综合分析,发现生产流程中存在的不足与问题,同时提供相应的改进优化服务,逐步推动生产设备运行效率提升。第五,实现全生命周期管理。在大数据技术的支持下,制造企业能实现对生产设备的全生命周期管理。从设备采购到安装、运行再到报废的全过程,均能基于大数据技术实现对相关数据的有效采集与分析,进而从宏观视角实现对生产设备的全生命周期管理,达到更加合理地进行预算规划、提升生产效率、降低成本、延长设备寿命、提高生产效率、

保障产品质量等目的。

2 基于大数据技术优化制造企业生产设备管理的策略

2.1 大数据驱动设备性能预测

2.1.1 性能参数预测

性能参数是影响和决定生产设备运行性能、质量、效率及安全的关键参数。制造企业的任何生产设备都有标准性能参数，设备只有在运行过程中长期维持性能参数的稳定，才能实现高质量运行，进而保障生产产品的质量，维持生产线长期处于良好运转状态。应用大数据技术驱动设备性能参数预测，能实现对设备运行状态的实时监测和预测，动态分析设备运行时的性能参数变化情况，从而实现对设备健康状态的可持续分析与智能评估，有效防止潜在风险的发生。基于大数据技术对生产设备运行时的各种性能参数数据进行采集，一般需通过传感器、物联网技术实现，实时获取设备运行过程中的温度、压力、电流、振动、气体流量、液体流量、声发射、油液等关键参数^[2]。经采集后的参数数据被上传至数据库时会经过数据清洗、去噪、标准化等处理，从而保障数据本身足够准确与可靠。经预处理后的数据会被系统进行特征提取处理，从中得到能作为设备运行状态与性能识别的指标数据。这些数据被大量用于机器学习模型，在模型与数据的共同作用下实现对设备性能参数的有效反映和预测。通过长期的模型训练与验证，能逐步提升模型本身的精准性与可靠性，进而充分发挥模型作用与价值，通过性能参数精准反映设备运行状态，实时把握设备运行情况，有效预测设备运行的潜在问题并提出优化建议，保障设备长期处于高效运行状态，防止性能参数不达标而导致生产质量、效率降低。

2.1.2 故障预测

在大数据技术支持下，制造企业能实现对设备异常与故障的实时监测，一旦发生故障能快速发现原因并采取措施进行处理，更能强化故障预测，从而在故障发生前进行处理，降低故障发生概率，保障设备的长期安全稳定运行。对设备故障的预测同样要依靠数据采集、数据预处理、特征提取与模型构建、模型训练与验证、实时监测和预测、结果分析优化等步骤实现，而且故障预测模型通常有基于统计方法、机器学习以及深度学习的三种类型。

1. 基于统计方法的故障预测模型是以数据统计为支撑，其包含时间序列分析模型、回归分析模型、概率模型。时间序列分析模型主要是对设备参数数据随

时间变化的规律进行分析研究的模型，从而预测设备在一段时间的负荷、温度、振动变化情况，实现对设备故障的预测；回归分析模型则是对自变量和因变量间关系的变化情况来对未知变量进行分析预测的模型，其在生产设备故障预测中主要用于设备关键部件的性能参数及其故障间的关系加以分析，实现对设备故障的预测；概率模型则是通过计算事件发生概率的方式来对未来事件进行预测的统计模型，其主要是基于设备故障历史数据分析的方式对设备未来出现故障的概率加以预测。基于统计方法的故障预测模型需要大量数据作为支撑，同时往往需要结合其他信息进行综合判断，方能有效提升模型预测的精准性与可靠性^[3]。

2. 基于机器学习的故障预测模型相较于传统基于统计方法的故障预测模型而言，在预测准确率与稳定性方面往往更具优势。线性回归模型在生产设备故障预测中有着广泛应用。该模型本身较为简单和常用，主要是通过建立深入特征和输出目标间线性关系的方式对生产设备运行状态加以分析和预测，不过其存在对输入特征间存在线性关系加以假设这一局限性，而且很难实现对非线性关系特征的有效预测。支持向量机也在生产设备故障预测方面有着巨大应用价值。支持向量机能对采集到的设备输入特征数据进行离散化处理，同时建立特征空间中的决策边界，以此实现对设备故障的分析预测，预测准确率较高，不过其在处理高维数据以及噪声较大的数据时存在明显局限性。神经网络作为以模拟人脑神经元结构为核心的机器学习模型，其在制造企业生产设备故障预测方面的应用价值巨大。生产设备故障往往涉及大量不同因素，很难依靠单一逻辑对其故障进行有效分析和预测。神经网络模型可基于多层前馈结构实现对输入特征的非线性映射与组合，从而真正做到从多个不同维度对设备故障进行有效预测，通过与深度学习技术的结合，能不断提升模型预测设备故障的精准性与可靠性。但是神经网络模型的训练过程复杂且耗时极长，相应的前期投入巨大。随机森林模型则是基于决策树的集成学习模型，其在设备故障预测领域的应用主要是依靠多个决策树的结合而实现，能在很大程度上改善单一决策树的局限性，同时还能较为轻松地对模型进行调优和改进，不过该模型的训练过程较慢且对高维数据与噪声较大的数据具有明显局限性。

3. 基于深度学习的设备故障预测模型以深度学习技术为基础，能从海量设备运行数据中提取出深层次、有意义的信息，进而抛开不相关数据的干扰与影响。应用深度学习技术构建故障预测模型，通过预处理数

据、选择模型、优化参数的方式获取设备数据并进行处理,能有效提取出有利于故障预测的信息,并通过合适的深度学习模型对设备运行情况以及故障情况进行分析和预测,从而实现对故障的准确预测。

2.1.3 使用寿命预测

对生产设备使用寿命进行预测,能有效协调设备运行与报废之间的关系,有利于生产效率提升、成本控制、设备使用寿命延长、设备可靠性提升、维护资源优化、生产计划可靠性提升、工作场所安全改善、产品质量提高等。设备使用寿命预测涉及设备运行时间、载荷参数、工作环境、维护保养质量等因素,需要对大量相关因素的数据进行分析预测。设备剩余寿命预测可通过机理模型与数据混合驱动的方式实现,依托 Forman 模型、扩展模型等失效机理模型和大数据技术的结合,确保设备剩余寿命预测的精准性。统计数据驱动主要有失效统计数据驱动与退化统计数据驱动两种类型,前者覆盖了指分布、Weibull 分布、Gamma 分布等,后者则包含 Wiener 过程、Gamma 过程、逆高斯过程、Markov 过程、随机回归模型、随机滤波、比例风险模型、隐马尔科夫模型、隐半马尔科夫模型等。另外,基于机器学习的设备剩余寿命预测既包含神经网络、支持向量机、极限学习机、随机森林等浅层机器学习方法,也包括深度自编码网络、深度置信网络、卷积神经网络、循环神经网络、混合深度网络等深度学习方法^[4]。

2.2 大数据支持设备维护决策

设备维护决策是制造企业进行生产设备维护管理的重点,直接影响和决定设备的短期与长期运行质量及效率。在大数据技术支持下,设备维护决策将变得更为轻松、精准与有效,从而降低错误决策给设备维护工作带来的负面影响,促进维护质量提升,以此保障设备长期处于安全、稳定、良好的运行状态。从维修决策优化维度看,基于大数据技术的生产系统能摆脱对维修人员的经验依赖,转而通过运算数据、状态数据、维修日志数据等的深度挖掘与分析对设备异常、故障以及寿命周期等进行精准预测,从而为相应的设备维修提供决策支持。维修人员可对大数据决策进行分析研究,从中获取设备健康状况、故障发生可能性、设备不同部件更换周期等关键信息,更好地进行维修决策。从备件管理优化维度看,基于大数据的决策支持可实现对设备备件的合理配置,综合考量设备全生命周期的不同因素对备件未来需求量进行预测,从而防止库存过剩或短缺^[5]。

2.3 大数据支撑设备风险管理

风险管理是制造企业生产设备管理的重要内容,

能帮助企业及时发现设备全生命周期中的各种风险并进行防范,从而助力企业有效应对机械设备领域的各种挑战,保障生产过程连续稳定,促进智能化、高效化生产的实现。基于大数据技术的生产设备风险管理流程为设备运行数据采集、维护历史数据收集、数据分析、故障风险因素识别、风险评估、风险控制策略制定、风险控制策略实施监控、风险管理过程总结反思等,能形成正向循环,有利于风险管理水平持续提升。设备风险因素通常包含设备年龄、使用环境、操作人员技能水平等。风险评估方法则通常有统计分析、专家评估、机器学习算法等,在大数据时代下统计分析 with 专家评估的有效性均得到了显著提升,而神经网络、支持向量机、随机森林等机器学习算法更是在设备风险管理方面有着巨大的应用价值。基于大数据技术强化设备风险识别并构建风险预警机制,对设备运行状态进行实时监测,通过数据深度挖掘与分析及时发现潜在故障并报警,必要时可对系统和设备运行状态进行智能调控,从而实现对故障的精准预测并提供智能化的风险防控和故障维护支持。

3 结束语

大数据技术在生产设备管理优化领域有着巨大的应用价值,制造企业应当积极引入大数据技术,依托大数据的优势推动生产设备管理的创新与优化,实现对设备运行情况的实时监测、综合分析 with 全面预测,以此保障设备能长期安全、稳定、高效地运行。在大数据技术的支持下,制造企业才能有效适应时代发展趋势,构建起更加科学、高效的运行管理模式,实现高度精准、全面智能的生产管理体系,提升生产制造整体水平,真正做到降本增效。

参考文献:

- [1] 王富春,梁云,周士翔.基于大数据的工业设备智能检测与远程运维系统研究[J].模具制造,2024,24(08):165-167.
- [2] 唐哲明.基于大数据分析的机械设备故障预测与风险管理[J].中国机械,2024(21):134-137.
- [3] 李远.大数据在设备管理提升水平与成效中的应用[J].模具制造,2024,24(06):241-243.
- [4] 班传波,李晨阳,刘航.大数据分析技术在机械能预测和维护决策中的应用[J].企业科技与发展,2024(03):105-108.
- [5] 陈晨.数据采集技术在工业大数据平台中的应用[J].现代工业经济和信息化,2023,13(05):81-82,116.

施工方案对建筑工程施工阶段造价的影响分析

远航, 黄涛

(青岛上合城市更新集团有限公司, 山东 青岛 266300)

摘要 本文深入探讨了施工方案在建筑工程施工阶段对造价的显著影响。施工方案作为指导施工全过程的核心, 其内容的合理性、方法的科学性以及技术的先进性均直接关系到工程造价的高低。通过分析施工方案中的施工方法、材料选用、设备配置、工期安排等关键因素, 揭示了它们对工程造价控制的内在机制。研究表明, 优化施工方案能够有效降低施工成本, 提高资源利用效率, 进而实现工程造价的合理控制。本文旨在为建筑工程施工阶段的造价控制提供理论支撑, 为实际工程项目的造价管理实践提供有益的参考。

关键词 施工方案; 建筑工程施工阶段; 造价; 成本控制; 资源管理

中图分类号: TU722; TU723

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.02.025

0 引言

在建筑工程领域, 施工阶段是项目资金消耗最为集中的环节, 也是工程造价控制的关键时期。施工方案作为施工活动的行动指南, 其制定与实施直接影响到工程项目的成本、质量和进度。随着建筑市场的竞争加剧和成本控制的日益重要, 如何科学合理地制定施工方案, 以实现工程造价的有效控制, 成为建筑行业亟待解决的问题。因此, 深入研究施工方案对建筑工程施工阶段造价的影响, 对于提高工程项目的经济效益、优化资源配置、推动建筑行业的可持续发展具有重要意义。

1 施工方案与工程造价的概述

1.1 施工方案的定义与内容

施工方案作为工程建筑施工过程中的核心, 其地位举足轻重。它不仅是施工团队进行现场作业的行动纲领, 更是确保工程顺利推进、质量达标、成本可控的重要依据。施工方案全面而详细地描述了工程的整体概况, 包括项目的规模、结构特点、设计要求等基本信息。同时, 通过对施工条件的深入分析, 如地质状况、气候条件、交通状况等, 施工方案为施工策略的制定奠定了坚实的基础^[1]。

在施工方法和施工工艺方面, 施工方案明确了各阶段的具体施工步骤、技术路线、材料选用以及设备配置, 确保施工过程的有序进行。

经济分析部分则对施工成本进行了预估, 包括人力、材料、机械等各项费用的预算, 为成本控制提供了重要依据。

施工准备工作计划则详细规划了施工前的各项准

备工作, 如场地平整、材料采购、人员培训等, 确保施工活动的顺利启动。

1.2 工程造价的定义与组成

工程造价作为评价工程项目投资合理性和效益性的关键指标, 其重要性不言而喻。它涵盖了从项目决策到竣工验收全过程的各项费用支出, 是项目管理者和投资者关注的焦点。工程造价主要由建筑安装工程费、设备购置费、工程建设其他费以及预留费等多个部分组成。

建筑安装工程费是工程造价的主要构成部分, 包括土建工程、安装工程、装饰装修工程等各项直接费用, 这些费用直接反映了建筑物或构筑物的实体成本。设备购置费则是指为项目购置的各种设备所支出的费用, 包括生产设备、辅助设备等, 这些设备是项目运营不可或缺的物质基础。工程建设其他费用则涵盖了项目在建设和运营过程中发生的各项间接费用, 如设计费、监理费、检测费等。预留费则是为了应对项目实施过程中可能出现的不可预见因素而预留的费用, 以确保项目的顺利实施和资金的合理调配。

2 施工方案对工程造价的影响分析

2.1 施工方案选择对工程造价的影响

在建筑工程的施工过程中, 施工方案的选择是至关重要的, 它不仅决定了施工的难易程度, 还直接关系到工程造价的高低。不同的施工方案往往意味着不同的施工方法、资源投入和工期安排, 这些因素共同作用于工程造价的形成。例如, 采用传统施工方法可能技术成熟、风险较低, 但也可能导致施工周期长、成本偏高; 而采用新型施工方法, 如预制装配式建筑

技术，虽然前期投入可能较大，但能显著缩短工期，降低现场作业成本，从而有效控制工程造价^[2]。

同时，投资回收和风险控制等造价目标也是施工方案确定时需要考虑的重要因素。施工方案的选择应充分考虑项目的投资回报周期，确保资金的高效利用。风险控制则要求施工方案能够预见并应对可能出现的施工难题和成本超支风险，通过合理的风险分配和应对措施，降低工程造价的不确定性。因此，在施工方案的制定过程中，必须综合考虑技术可行性、经济合理性和风险控制能力，以实现工程造价的最优化。

2.2 施工材料与设备选择对工程造价的影响

施工方案中对材料的选择和使用是工程造价控制的关键环节。不同材料的性能、价格、供应情况都会直接影响工程造价。例如，选择高性能、高价格的材料可能提高工程质量，但也会增加成本；而选择价格低廉但性能一般的材料，虽然初期投资较低，但可能因质量问题导致后期维护成本增加。因此，在材料选择上，需要综合考虑材料的性价比、耐用性以及与施工方法的匹配度。

施工设备的合理配置和利用率也是影响施工成本的重要因素。高效的施工设备能够提高施工效率，减少人工投入，从而降低施工成本。然而，设备的购置、租赁和维护成本也是不可忽视的。因此，在施工方案中，需要根据工程规模、施工难度和工期要求，合理配置施工设备，确保设备的高效利用，同时控制设备成本在合理范围内。

2.3 施工进度与工期控制对工程造价的影响

合理的施工进度和工期安排是工程造价控制的重要手段。通过科学的施工计划，可以避免施工过程中的浪费和加班工作，确保施工活动有序进行，从而降低工程造价。例如，合理的工期安排可以避免因赶工而增加的人工费用和设备租赁费用，也能减少因工期延误而产生的违约金和赔偿费用。

相反，施工进度的延误和工期的超支会显著增加工程造价。工期延误不仅会导致人工、材料、设备等成本的增加，还可能影响项目的整体进度和交付时间，进而对项目的经济效益产生负面影响。因此，在施工方案中，必须制定详细的施工进度计划，并加强对施工进度的监控和调整能力，确保工期目标的顺利实现。

2.4 施工工艺与技术创新对工程造价的影响

先进的施工工艺和技术创新是降低工程造价、提高施工效率的重要途径。通过采用先进的施工工艺，可以简化施工流程，减少施工难度和成本投入。例如，使用自动化施工设备可以替代人工完成重复性、高强

度的工作，提高施工效率和质量；而应用信息化技术则可以实现施工过程的精细化管理，减少资源浪费和成本超支。

施工方案中的施工工艺选择直接影响工程造价。传统的施工工艺因技术落后而导致施工效率低、成本高；而采用先进的施工工艺，如BIM技术、3D打印技术等，则能够显著提升施工效率和质量，降低工程造价。因此，在施工方案的制定过程中，应积极引入和应用先进的施工工艺和技术创新，通过技术手段实现工程造价的有效控制。同时，也需要加强对施工工艺和技术创新的研发和推广力度，推动建筑行业的持续进步和发展^[3]。

3 优化施工方案以控制工程造价的策略

3.1 加强施工方案的科学合理性

在建筑工程施工阶段，加强施工方案的科学合理性是控制工程造价的关键所在。为了确保施工方案的科学合理性，必须紧密结合工程的实际情况，充分考虑项目的规模、结构特点、地质条件、气候条件以及施工环境等多方面因素。

首先，要对工程进行全面而深入的调研，准确掌握工程的基本信息和特殊要求，包括对设计图纸的详细解读，对施工现场的实地考察，以及对相关规范和标准的深入了解。在此基础上，才能制定出符合工程实际、具有可操作性的施工方案。

其次，施工方案的制定应遵循科学的原则和方法。要运用系统工程的思想，将施工过程中的各个环节、各个要素有机结合起来，形成一个整体最优的方案。同时，要注重方案的创新性和前瞻性，积极引入新技术、新工艺和新材料，以提高施工效率和工程质量，降低施工成本。

再次，施工方案的制定还应充分考虑风险控制因素。要对施工过程中可能出现的风险进行全面评估，并制定相应的应对措施和预案。通过风险的有效控制和管理，可以进一步降低工程造价的不确定性，确保项目的顺利实施和资金的合理调配。

最后，施工方案的制定应是一个动态调整的过程。随着施工进度的推进和现场情况的变化，要及时对施工方案进行调整和优化。通过不断的反馈和修正，确保施工方案始终与工程实际相符合，为工程造价的有效控制提供有力保障。

3.2 提高施工材料与设备的管理水平

施工材料与设备是建筑工程施工过程中的重要资源，其管理水平的高低直接影响工程造价的控制效果。为了提高施工材料与设备的管理水平，必须合理选择

施工材料,避免浪费;同时,要优化施工设备配置,提高利用率。

在材料选择方面,应坚持质量优先、价格合理的原则。要对市场上的材料进行全面的调查和比较,选择性能优良、价格适中的材料。同时,要加强与供应商的沟通和合作,确保材料的及时供应和质量控制。在施工过程中,要严格控制材料的用量和损耗率,避免材料的浪费和损失。

在设备管理方面,要优化施工设备的配置和调度。根据施工计划和进度要求,合理安排设备的进场和出场时间,确保设备的高效利用。同时,要加强对设备的维护和保养工作,提高设备的可靠性和使用寿命。对于租赁的设备,要合理控制租赁期限和费用,避免浪费^[4]。

此外,还可以运用现代化的管理手段来提高施工材料与设备的管理水平。例如,建立材料与设备的信息管理系统,实现对材料和设备的实时跟踪和监控;运用物联网技术实现对设备的远程监控和智能调度;通过大数据分析来优化材料和设备的采购计划和使用方案等。

3.3 精细制定施工计划与进度控制

精细制定施工计划与进度控制是控制工程造价的重要手段之一。通过精细制定施工计划,可以合理控制施工进度和工期,减少浪费和加班工作,从而降低工程造价。

在制定施工计划时,应充分考虑工程的实际情况和施工条件。要对施工过程中的各个环节进行细致的分析和规划,确保施工计划的合理性和可行性。同时,要注重施工计划的灵活性和可调整性,以应对施工过程中可能出现的各种变化和挑战。

在施工进度控制方面,要加强对施工过程的监控和管理。要建立健全的进度控制体系,明确各级人员的职责和任务;要加强对施工进度的实时跟踪和反馈,及时发现和解决进度偏差问题;要加强对施工进度的风险评估和管理,确保施工进度的稳定和可控。

此外,还可以运用现代化的管理手段来加快施工进度控制的效率和准确性。例如,运用项目管理软件来实现对施工进度的实时监控和预警;运用数据分析技术来优化施工进度计划和资源配置;运用智能化技术来实现对施工过程的自动化控制和优化等。

3.4 推广先进施工工艺与技术创新

积极采用先进的施工工艺和技术创新是降低工程造价、提高施工效率的重要途径。通过推广先进施工工艺和技术创新,可以显著提升施工质量和效率,降低

施工成本,从而为工程造价的有效控制提供有力支持。

首先,要加强对先进施工工艺和技术创新的研发和引进工作;密切关注国内外建筑行业的发展动态和技术趋势,及时引进和消化吸收先进的施工工艺和技术成果;加强对施工工艺和技术创新的自主研发工作,形成具有自主知识产权的核心技术和专利产品。

其次,要加强对施工工艺和技术创新的推广和应用工作。通过示范工程、技术交流会等形式,加强对先进施工工艺和技术创新的宣传和推广;加强对施工人员的培训和教育,提高他们的技术水平和创新能力;加强对施工工艺和技术创新的标准化和规范化工作,形成统一的技术标准和规范体系^[5]。

此外,还可以运用政策引导和市场机制来推动施工工艺和技术创新的推广和应用。例如,通过制定优惠政策、提供资金支持等措施来鼓励企业采用先进的施工工艺和技术创新;通过建立市场机制来推动施工工艺和技术创新的转化和应用;通过加强产学研合作来推动施工工艺和技术创新的研发和推广等。

4 结束语

施工方案在建筑工程施工阶段对造价的影响是深远且复杂的,它不仅直接决定了施工过程中的资源消耗、工期安排和质量控制,还间接影响了项目的整体经济效益和市场竞争能力。通过对施工方案的细致分析和优化,可以有效地控制施工成本,提高施工效率,从而实现工程造价的合理化。随着建筑技术的不断进步和市场环境的日益变化,施工方案的制定与实施也需要不断创新和完善。未来的研究应进一步探索施工方案与工程造价之间的动态关系,以及如何利用现代信息技术和智能化手段来优化施工方案,提升造价控制的精准度和效率。这不仅有助于提升建筑工程项目的经济效益,还能为建筑行业的可持续发展注入新的活力。

参考文献:

- [1] 杨魁. 工程量清单计价模式下建筑基坑支护施工方案对工程造价的影响分析与施工方案优选[J]. 建筑与预算,2024(01):19-21.
- [2] 杜守忠. 建筑工程造价动态控制及施工方案的技术经济研究[J]. 散装水泥,2021(04):54-56.
- [3] 牛丽娟. 桥梁工程施工方案对工程造价的影响及应对措施[J]. 财经界,2021(12):54-55.
- [4] 周成旺. 简述施工方案对工程造价的作用与影响[J]. 四川水泥,2020(11):239-240.
- [5] 曾铮. 桥梁工程施工方案与工程造价控制研究[J]. 运输经理世界,2020(12):1-2.

虚拟现实技术在科技馆展览展示中的创新应用研究

王书林

(广西科技馆(广西青少年科技中心), 广西 南宁 530022)

摘要 本文深入探讨了虚拟现实技术在科技馆展览展示中的创新应用以及面临的挑战,通过对多个维度的分析,揭示了虚拟现实技术如何重塑科技馆的展览体验与科普功能,并结合最新案例与数据阐述其应用成效;详细剖析了在技术瓶颈、内容创作困境、成本效益考量以及教育效果评估等方面的挑战,并提出相应的应对策略,旨在为科技馆领域更好地运用虚拟现实技术提供全面的理论依据与实践指导,从而推动科技与科普事业的协同发展。

关键词 虚拟现实技术;科技馆;展览展示;创新应用

中图分类号: TP391.9; G265

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.02.026

0 引言

科技馆作为科学普及与文化传播的重要场所,其展览展示方式的创新对于提升公众科学素养具有关键意义。虚拟现实技术的出现,为科技馆突破传统展示局限带来了前所未有的契机。通过模拟真实与虚拟的融合环境,虚拟现实技术能够使观众以更加直观、沉浸式的方式与科学知识互动,极大地拓展了科技馆的教育边界与影响力。

1 虚拟现实技术在科技馆展览展示中的创新应用

1.1 构建沉浸式虚拟展览空间

虚拟现实技术通过头显设备、空间定位与追踪系统,为观众打造了全方位沉浸式的展览空间^[1]。观众不再是被动地观看展品,而是能够“走进”虚拟场景之中。例如,上海科技馆推出的“星际穿越之旅”虚拟现实展览,利用高分辨率的虚拟环境模拟了银河系中的各种天体景观与星际航行场景。观众佩戴VR设备后,仿佛置身于宇宙飞船之中,能够近距离观察恒星的演化、行星的表面特征以及星际尘埃的奇妙构造。根据观众体验反馈数据显示,超过85%的观众表示这种沉浸式体验让他们对宇宙科学的理解更加深刻,且在展览中的停留时间平均延长了50%,充分证明了沉浸式虚拟展览空间对观众吸引力与知识传递效果的显著提升。

1.2 实现高度互动的展品展示与科学实验模拟

在科技馆展览中,虚拟现实技术实现了展品与观众的双向互动。以虚拟科学实验为例,北京科技馆的“物理探索乐园”VR展区,观众可以通过手柄操作虚拟实验仪器,进行牛顿力学、电磁学等经典物理实验的模

拟操作。在进行虚拟的“电路连接实验”时,观众能够自由选择电路元件、连接线路,并实时观察电路的通断、电流电压的变化以及灯泡的亮灭等实验结果。这种互动性不仅增强了观众的参与感,还能够让观众在反复尝试中深入理解科学原理。

1.3 展示宏观与微观世界的奇妙景象

虚拟现实技术能够突破人类视觉的限制,展示宏观宇宙与微观粒子世界的景象。科技馆利用这一特性,为观众呈现了许多平时难以触及的科学领域。例如,深圳科技馆的“微观探秘”展览,借助虚拟现实显微镜技术,观众可以将视角缩小到纳米级别,观察细胞的内部结构、微生物的活动以及分子的化学反应过程。

1.4 促进跨时空的文化与科学交流

虚拟现实技术为科技馆的展览展示增添了跨时空的维度^[2]。通过数字化重建历史场景与文化遗产,观众可以穿越时空与历史对话。例如,西安科技馆的“历史长河”VR展览,重现了古代丝绸之路的繁华景象,观众能够以商人、学者或旅行者的身份体验古代丝绸之路上的贸易往来、文化交流与科技传播。同时,在科学交流方面,国际科技馆之间利用虚拟现实技术开展远程协作展览与学术研讨,观众可以同步参观不同国家科技馆的特色展品与展览项目,促进了全球范围内的科学文化交流与合作。

2 虚拟现实技术在科技馆展览展示中的创新应用数据体现

2.1 观众参与度与停留时间数据

根据对全球多家科技馆引入虚拟现实技术展览后的数据分析,观众在虚拟现实展览区域的参与度显著

高于传统展览区域^[3]。以东京科技馆为例,在引入虚拟现实技术后的一年时间内,其特定 VR 展览的日均参观人数较之前增长了 2.5 倍,且观众在该区域的平均停留时间从原来的 15 分钟提升至 45 分钟。这一数据充分表明虚拟现实技术能够有效吸引观众的注意力并激发其探索欲望,使观众更愿意投入时间深入了解展览内容。

2.2 知识理解与记忆提升数据

教育心理学研究机构对参与科技馆虚拟现实科学展览的观众进行了长期跟踪测试。结果显示,在参观完虚拟现实科学展览后的一周内,观众对相关科学知识的理解与记忆程度相较于参观传统展览有明显提升。例如,在关于“生态系统多样性”的展览测试中,参观虚拟现实展览的观众对生态系统概念、物种相互关系等知识点的正确回答率平均提高了 35%。这得益于虚拟现实技术的沉浸式、互动式特性,使观众在多种感官刺激下更深入地加工与存储科学知识。

2.3 观众满意度与推荐意愿数据

通过大规模的观众问卷调查发现,科技馆虚拟现实展览的观众满意度普遍较高。在对全球 50 家科技馆的调查中,虚拟现实展览的平均满意度达到了 8.5 分(满分 10 分)。其中,约 70% 的观众表示非常愿意向亲朋好友推荐虚拟现实展览项目。观众满意度的提升不仅源于新颖的展示方式,还在于虚拟现实技术能够满足不同年龄段、不同知识背景观众的个性化学习需求,为观众提供了更加丰富、多元的科普体验。

3 虚拟现实技术在科技馆展览展示中的创新应用挑战

3.1 技术层面的挑战

1. 设备性能与兼容性问题。尽管虚拟现实技术近年来取得了长足发展,但设备性能仍存在一定瓶颈。例如,部分 VR 头显的分辨率虽然在逐步提高,但与人类视觉的清晰度要求仍有差距,在展示精细图像或文字信息时可能出现模糊现象^[4]。同时,不同品牌、型号的虚拟现实设备之间以及与科技馆现有信息系统的兼容性较差,导致设备集成与维护成本较高。据行业调研数据显示,约 40% 的科技馆在引入新的 VR 设备时遇到了兼容性问题,需要额外投入技术力量进行系统整合与调试。

2. 动作追踪与交互精准度不足。在虚拟现实展览中,观众的动作追踪与交互精准度直接影响体验质量。目前的动作追踪技术在复杂动作捕捉、多人交互场景下仍存在误差与延迟。例如,在多人同时参与的虚拟现实科学实验或游戏互动中,可能出现手部动作识别不准

确、交互反馈延迟等问题,破坏了沉浸式体验的连贯性。相关实验数据表明,在多人互动的 VR 场景中,动作追踪误差平均可达 5 毫米以上,交互延迟时间约为 50 ~ 100 毫秒,这对于对精度要求较高的科学展示与实验操作来说是一个亟待解决的问题。

3. 眩晕与不适问题的困扰。长时间使用虚拟现实设备容易引发观众的眩晕与身体不适,这是限制虚拟现实技术广泛应用的重要因素之一。眩晕产生的原因主要包括视觉与前庭觉的不协调、画面刷新率不足以及头部运动追踪的延迟等。据医学研究机构的调查,约 35% 的观众在连续使用 VR 设备 30 分钟后会出现不同程度的眩晕症状,严重影响了观众的参观体验与停留时间,也对科技馆的展览运营造成了一定的困扰。

3.2 内容创作层面的挑战

1. 高质量内容创作的专业人才短缺。虚拟现实展览内容的创作需要融合多学科知识与技能,包括计算机图形学、三维建模、动画设计、交互设计、科普教育等。然而,目前既具备深厚技术功底又熟悉科普教育内容创作规律的复合型人才极为稀缺。科技馆在开展虚拟现实展览项目时,往往难以组建一支专业全面的创作团队,导致内容创作质量参差不齐。据市场调研数据显示,在虚拟现实内容创作领域,复合型人才缺口高达 60% 以上,严重制约了高质量虚拟现实展览内容的产出。

2. 内容创作成本高昂且更新周期长。创作高质量的虚拟现实展览内容需要耗费大量的资金与时间。从三维模型的精细构建、逼真的材质纹理绘制到复杂的动画制作与交互程序开发,每个环节都需要专业软件与硬件设备的支持,成本极高。而且,为了保持展览的新鲜感与吸引力,内容需要定期更新,但由于创作过程的复杂性,更新周期往往较长。以一个中等规模的科技馆虚拟现实展览为例,初始内容创作成本可能高达数百万元,而更新一次内容的时间间隔通常在 1 ~ 2 年,这对于科技馆的运营成本与持续发展构成了巨大挑战。

3.3 成本与效益层面的挑战

1. 设备采购、维护与运营成本高。虚拟现实设备的采购成本一直居高不下,高端 VR 头显、动作追踪设备以及配套的高性能计算机系统等硬件设备动辄数十万元^[5]。此外,设备的日常维护、软件升级以及技术人员培训等运营成本也不容忽视。对于科技馆来说,在有限的经费预算下,大规模采购与部署虚拟现实设备面临着较大的资金压力。据统计,一家中等规模科技馆若要建设一个较为完善的虚拟现实展览区域,设备

采购与初期运营成本将占全年预算的30%~50%，这在一定程度上影响了科技馆对虚拟现实技术的应用推广。

2. 投资回报难以准确评估与量化。科技馆引入虚拟现实技术的投资回报难以用传统的经济指标进行准确评估。虽然虚拟现实展览能够吸引更多观众、提升科技馆的知名度与社会影响力，但其带来的经济效益往往是间接的、长期的，且难以与具体的展览项目直接挂钩。同时，在社会效益方面，如公众科学素养的提升、科普教育的普及程度等，目前还缺乏一套科学、完善的量化评估体系。这使得科技馆在决策是否加大对虚拟现实技术的投入时面临诸多不确定性，也限制了社会资本对科技馆虚拟现实项目的参与热情。

3.4 教育效果评估层面的挑战

1. 传统评估方法的局限性。传统的教育效果评估方法主要基于考试、问卷调查等形式，难以全面、准确地衡量观众在虚拟现实展览中的学习效果。在虚拟现实环境中，观众的学习过程更加复杂、多元，涉及认知、情感、动作技能等多个维度的交互与变化。

2. 学习过程数据的采集与分析困难。虚拟现实展览过程中会产生大量的观众学习行为数据，如观众的视线移动轨迹、交互操作记录、在虚拟场景中的停留时间等。由于虚拟现实系统的复杂性与数据格式的多样性，数据采集过程可能存在数据丢失、不完整等问题。而且，对海量的学习行为数据进行深度分析需要强大的数据分析算法与专业的数据挖掘人才，科技馆在这方面的技术储备与人才支持相对薄弱，难以从大数据中提取有价值的教育效果评估信息。

4 虚拟现实技术在科技馆展览展示中的创新应用对策

4.1 技术研发与优化合作

科技馆应加强与高校、科研机构以及科技企业的产学研合作，共同开展虚拟现实技术的研发项目。例如，设立联合研发实验室，针对虚拟现实设备的性能提升、动作追踪精准度优化以及眩晕问题的解决等关键技术难题进行攻关。通过整合各方资源，加速技术创新成果的转化与应用，为科技馆提供更加先进、稳定的虚拟现实技术解决方案。

4.2 人才培养与引进机制创新

科技馆与高校、职业院校合作开设虚拟现实内容创作相关专业课程与培训项目。课程设置应注重跨学科知识的融合，涵盖计算机技术、艺术设计、科普教育等多个领域，培养适应虚拟现实展览内容创作需求的复合型人才。同时，建立实习基地与就业推荐机制，

为学生提供实践机会，吸引优秀毕业生投身科技馆虚拟现实展览事业。

4.3 成本控制与多元化合作模式探索

科技馆在虚拟现实设备采购过程中，应采用集中采购、租赁合作等方式降低成本。例如，多个科技馆联合进行设备集中采购，通过批量采购降低设备单价，并争取更优惠的售后服务条款。同时，对于一些使用频率较低但又不可或缺的高端设备，可以考虑与设备供应商或专业租赁公司建立租赁合作关系，根据展览需求灵活租赁设备，减少设备闲置成本。

4.4 教育效果评估体系构建与完善

构建适应虚拟现实展览的多维度教育效果评估指标体系，除了传统的知识掌握指标外，还要增加对观众学习过程中的技能提升、情感态度变化、科学探究能力培养等方面的评估维度。例如，通过观察观众在虚拟实验中的操作熟练度、解决问题的能力以及在展览过程中的兴趣表现、参与度等指标，全面衡量观众的学习效果。

5 结束语

虚拟现实技术在科技馆展览展示中的应用为科普工作带来了创新与变革的机遇。通过沉浸式体验、互动式展示等多种创新应用形式，虚拟现实技术显著提升了观众的参与度、知识理解与记忆效果以及满意度，为科技馆的科普功能发挥注入了新的活力。然而，在应用过程中也面临着技术、内容创作、成本效益以及教育效果评估等多方面的挑战。通过加强技术研发合作、创新人才培养与引进机制、探索成本控制与多元化合作模式以及构建完善的教育效果评估体系等一系列对策措施的实施，有望逐步克服这些挑战，推动虚拟现实技术在科技馆展览展示领域的健康、可持续发展。

参考文献:

- [1] 张洁,白俸荣.虚拟现实技术在科技馆教育展示中的应用研究[J].信息与电脑:理论版,2024(14):248-250.
- [2] 黄晴芳.基于沉浸式体验的公共图书馆数字阅读实体空间建设研究:以浦东图书馆为例[D].上海:华东师范大学,2022.
- [3] 唐禹.“互联网+”时代新媒体技术在科技馆科普教育中的应用[J].中国新通信,2023,25(11):70-72.
- [4] 王茹,李杨.科技馆里的奇妙世界:科学实验与展示的魅力[J].科学之友,2024(10):143-144.
- [5] 段永朝.六根重塑:元宇宙的盛宴?:《虚拟现实的终极形态及其意义》推荐序[J].民主与科学,2023(02):70-77.

民用机场航站楼机电设备全生命周期体系建设研究

刘少辉, 李哲青, 温嘉权

(广州白云国际机场股份有限公司, 广东 广州 510000)

摘要 民用机场航站楼内机电设备具有体量大、分布广、专业多的特点, 开展全生命周期管理是实现设备高效、规范、精细管理的重要手段。本文以某枢纽机场新建航站楼为例, 从航站楼机电设备管理的机制建设、信息建设和目标建设三个方面阐述了设备全生命周期管理体系的主要内容, 明确了机电设备管理制度、业务流程、信息管理、人员管理等内容, 推动全生命周期理念在航站楼设备管理中的应用, 以期为其他航站楼设备管理提供参考。

关键词 航站楼; 设备管理; 全生命周期; 机电系统

中图分类号: V35

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.02.027

0 引言

设备全生命周期管理也称设备资产全生命周期管理 (Equipment-Asset Life-cycle Management), 是以企业的生产经营为目标, 通过一系列技术、经济措施, 对企业所用设备的移交入账、使用运行、保养维修、更新改造、报废处置等全生命周期进行动态管理, 实现设备在全生命周期内消耗费用最低、综合产能最高的目标^[1]。目前, 设备全生命周期管理已广泛应用于医疗、民航、能源、化工等各个领域的设备资产管理中。

民用机场航站楼在日常营运过程中涉及各类设施设备管理内容繁杂、工作量大, 其中供配电、消防、暖通空调等各类机电设施设备具有分布密集、运行规模大、管理跨度大等特点^[2], 尤其需要设备管理人员建立完善的设备全生命周期管理体系, 以充分发挥设备的使用价值, 实现经济效益的最大化。本文以某枢纽机场新建航站楼为例, 开展航站楼内机电设备全生命周期管理体系建设研究, 从机制建设、信息建设和目标建设三个方面明确全生命周期管理体系的建设要点, 为同行业机场各类设施设备的全生命周期管理提供参考意义。

1 项目概况

本项目为某枢纽机场新建航站楼, 航站楼建筑面积为 42.2 万平方米, 按满足年旅客吞吐量 3 000 万人次、高峰小时旅客量 9 090 人次的运行需求设计。航站楼内的机电设施设备涵盖供配电系统、给排水系统、计量系统、消防系统、空调系统、照明系统、建筑弱电系统、电梯系统、行李系统、登机桥及桥载设备系统、

智慧能管系统等, 专业设施设备数量预计 10 万余个, 工程概算预计 30 余亿元, 具有资产体量大、分布范围广、复杂程度高、维保工作量大等特点。若不利用科学手段开展上述设备管理, 不仅无法有效发挥资产的服务价值, 也难以以为旅客创造一个舒适的候机环境和提供优质的服务。

2 民用机场航站楼机电设备全生命周期体系建设

2.1 机电设备管理机制建设

2.1.1 组织管理

航站楼管理单位是航站楼机电设备的管理主体。机电设备管理宜遵循“归口管理、分级负责”的原则, 可结合航站楼管理单位的组织架构, 拟构建三级设备资产管理体系: 第一级为设备资产归口管理部门, 主要负责航站楼各类设备资产的综合管理, 包括建立资产管理制度、各流程管理工作监督与审核、统筹上报相关管理问题等; 第二级为设备资产管理部门, 主要负责具体管理其职责范围内的各类设备资产, 包括资产的购置、使用、维护、盘点及处置等工作; 第三级为机电设备资产使用及运维单位, 主要负责根据机电设备资产特点进行正确使用、有效维护, 确保设备资产处于良好的运行状态。

2.1.2 流程建设

机电设备全生命周期管理是全流程、全链条的管理, 其内涵不仅包括设备资产全生命周期流程管理, 也包括各流程节点内各相关业务的流程管理。明确设备资产各业务相关流程, 建立清晰的流程管理机制, 是机电设备资产全生命管理的有力保证。表 1 中结合

设备全生命周期内各业务管理特点，明确了设备资产自移交入账、运行、使用、保养、故障维修、专项维修与技术改造、报废、资产评估^[3]、备品备件管理等机电设备管理重点业务的流程机制，实现设备各业务的全方位闭环管理。

2.1.3 制度建设

为规范航站楼各类机电设备资产的全生命周期管理，将各类设备资产管理构架和流程建设以制度的形式确认下来，做到“有章可循、有据可依”，航站楼管理单位应建立完备的设备管理制度体系，主要可分为以下三个层级：

1. 固定资产实物管理制度。航站楼管理单位作为区域管理单位，需结合航站楼实际，建立设备资产实物管理制度，作为开展航站楼各类机电设备资产管理的通用管理制度。设备资产实物管理制度应对周期内各阶段的业务范围、管理职责、业务流程做出明确要求。

2. 设备资产专项管理制度。航站楼管理单位需要结合固定资产实物管理制度以及各类设施设备具体技术特性，制定针对分体空调、消防控制主机、照明灯具等各类系统、各类设备资产的专项管理制度，做到管理的有的放矢。设备资产专项管理制度应对设备的使用、运行、维护保养、报废、应急处置等各方面管理作出明确参数要求，如关键运行参数、维护保养周期、报废条件、应急启动条件等。

3. 设备资产专项运维制度。各类设备资产专项运维制度是对应设备资产专项管理制度的具体细化，是规范设备运维作业、保障设备平稳运行、提升旅客出行

体验的重要前提。设备资产专项运维制度可由航站楼管理单位组织设备维保单位协助编写，应包括以下内容：一是设备作业清单，明确各类设备的类型、数量、点位、技术参数等内容，为维保工作计划、巡查路线制定奠定基础；二是设备标准化作业手册，包括设备的操作人员要求、操作规程、技术标准、应急预案等内容；三是设备运维的监管、考核，根据各类设备的维保工作计划、维保周期、维保标准制定监管、考核方案。

设备管理体系建立后，需根据设备实际管理情况，定期开展制度优化，确保制度科学、可持续执行。一是收集反馈意见，主动收集各管理部门、运维单位对设备管理的反馈意见与建议，全面了解制度的执行效果与存在问题；二是科学评估分析，对收集到的反馈意见进行科学评估与分析，找出制度中存在的不足与改进空间；三是实施优化改进，根据评估结果开展建、改、废、留制度修订工作，提升制度的科学性与实用性；四是加强宣传推广，通过制度宣贯会、内部培训等方式加强修订制度的宣传推广，确保各类部门及运维单位能够及时了解并掌握最新设备管理要求，以提升设备管理的科学性。

2.2 机电设备信息管理建设

为确保机电设备信息满足全生命周期管理的要求，需明确信息管理要求，规范信息管理工作。机电设备信息管理建设包括以下内容。

2.2.1 建立设备管理台账

对每一台机电设备单独建档。自设备采购之日起至设备报废处置之日，应在台账中记录设备资产入账等

表1 设备流程管理机制

设备管理业务	设备管理流程
设备移交与入账	设备移交→设备清点→资产实物标签号分配与粘贴→设备入账→记账凭证办理
设备使用	使用前检查→设备使用→使用情况监督与检查
设备运行	年度检查计划制定→计划审批→计划执行→数据监测与采集→数据统计与分析
设备维保	年度维保计划制定→计划审批→计划执行→执行监督与检查→执行结果研讨与分析
设备故障维修	故障报修→现场保障→故障维修→故障记录与分析
设备项修与改造	资产评估→方案制定→项目审批→项目执行→项目验收→项目后评价
设备报废	报废申请→报废审批→报废处理→销账手续办理
设备资产评估	功能性评估：资产重要性分级→梳理设备资产的主要技术性能参数→设定功能性评估指标→计算设备资产各评估指标得分情况→制定针对性管理措施 安全性评估：资产重要性分级→建立设备资产危险源库→评估设备资产安全风险的概率和严重性→制定针对性管理措施
备品备件管理	年度采购、库存、使用计划制定→计划审批→计划执行→库存与供应信息检查→执行结果研讨与分析

每个节点环节的属性信息更新情况；同时实时记录设备维修、保养等运行信息，包含维修时间、维修人员、更换备件情况、故障情况等内容，并及时归档至设备档案中，便于及时了解设备信息，分析设备状态^[4]。

2.2.2 定期开展账实核对

定期开展全面细致的账实核对工作是保障信息准确性的关键环节。一方面，管理人员需建立完善的核对机制，明确核对流程与责任分工，并将核对结果及时反馈在台账中；另一方面，管理人员可借助数字化、信息化工具有效开展台账信息核对工作。通过系统与人工核对的“双管齐下”，确保台账中的每一项信息与实物设备均能保持高度一致。在核对过程中，一旦发现任何差异或错误，应立即采取行动进行更正，并深入调查问题的根源，以防类似情况再次发生。

2.2.3 注重信息共享应用

机电设备全生命周期管理涉及设备管理部门、财务部门、使用单位、委外维保单位等。覆盖部门多，流程长，且各部门在业务中有各自需处理的业务信息。为加强信息的流通及应用，需打破部门之间的信息壁垒，利用信息共享平台或系统等先进技术，实现设备管理信息的实时流通与共享，以提高信息的利用效率，对设备资产全生命周期内各环节信息进行全面分析，全面掌握设备状态，挖掘效能提升空间，提升设备管理水平^[5]。

机电设备全生命周期信息管理是一个复杂而精细的过程，需要不断探索与创新。只有从明确信息内容、建立科学管理台账、开展全面账实核对等多个方面入手，才能确保信息的准确性与时效性，为企业的发展提供有力的保障。

2.3 机电设备目标管理建设

为了管理体系内各制度规范、信息管理要求等能够有效落实到未来航站楼运行期的管理实践中，需要做好各机电设备目标管理建设工作，才能将各类制度和要求真正转化为具有可操作性的实践措施。

2.3.1 目标制定

航站楼管理单位应结合上一年度设备资产的运行管理情况及本单位年度重点工作内容，制定本年度设备资产管理工作计划，计划应包含本年度设备资产管理工作目标、关键绩效指标、重点工作措施、实施推进计划等。其中关键绩效指标是能够引导航站楼管理单位设备资产管理水平持续进步的指标，具体可结合设备资产在上一年度的运行、维保情况，包括但不限于设备资产可利用率、故障次数、故障时间、平均故障间隔期、平均修故障处理时间、库存备件周转率、

成本指标、能耗指标以及其他技术特性制定的专用指标等。

2.3.2 人员管理

人是机电设备全生命周期管理的主体，只有提高设备管理人员、运维人员对设备资产管理的专业性和积极性，才能确保设备的有序平稳运行。航站楼管理单位可以年度为单位，制定与人员管理相关的活动开展计划，并纳入人员的工作考核中。一是定期开展设备资产管理业务培训，采用内部及外部培训相结合的方式，确保人员的知识和技能满足业务需求；二是定期开展知识技能竞赛，以人员资质标准、技能水平与业务需求相匹配为标准，促进人员技能提升；三是定期组织课题研究、安全服务三人小组等活动，对取得成果的技术研究予以一定的奖励，提升人员参与设备资产管理的主观能动性。

2.3.3 管理总结

根据年度设备资产的使用、运行、维保、改造、评估等情况，以及对设备管理人员、运维人员的管理考核情况，航站楼管理单位应开展设备资产管理总结，评价工作开展情况，查找存在问题，制定下一阶段的管理措施，并形成年度总结报告。

3 结束语

航站楼机电设备全生命周期管理体系建设不仅涉及设备全生命周期内各业务流程、制度规范的建立，还需要信息管理、目标管理等各项机制的共同配合。一方面，完备的设备全生命周期管理体系可实现航站楼机电设备资产的规范化、精细化管理，有力地保障了航站楼的高效、安全运行；另一方面，设备全生命周期管理体系也为航站楼机电设备资产管理的信息化、数字化提供了理论指导，确保将设备资产管理需求真正落实到应用实践中。

参考文献：

- [1] 于国军. 企业设备设施全生命周期管理[J]. 大众标准化, 2024(15):117-118,121.
- [2] 顾明捷. 企业设备全寿命周期管理信息化系统设计[J]. 软件, 2023,44(10):101-103.
- [3] 张海明. 机械设备安全性与可靠性评估及改进方法[J]. 中国高新科技, 2023(21):31-33.
- [4] 吴琼兴, 刘可伟, 曾平. 基于TPM思想的设备全生命周期管理平台的开发与实现[J]. 机电工程技术, 2023,52(08): 157-160,175.
- [5] 王丽娜. 全生命周期设备管理系统在大型钢铁联合企业的应用与实践[J]. 数字技术与应用, 2023,41(06):97-99.

“智慧 + 开放 + 共享”理念下新形态实验室的构建与运营模式研究

张继梅¹, 李欣桐²

(1. 乌鲁木齐职业大学, 新疆 乌鲁木齐 830000;

2. 华东师范大学, 上海 200333)

摘要 在信息技术飞速发展的背景下, 传统的实验室管理模式和运作体系正逐步显露出资源使用效率低下以及封闭性过强的问题, 已无法适应不断扩大的科研、教育及技术创新的需求, 探索并实施基于“智慧+开放+共享”理念的新形态实验室构建与运行模式至关重要。本文深入探讨了新形态实验室构建与运营模式, 旨在为科研和教育领域提供新的思路和方法, 从而推动科技创新和经济发展。

关键词 新形态实验室; 智慧; 开放; 共享; 运营模式

中图分类号: G48

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.02.028

0 引言

随着信息科技的迅猛发展, 实验室作为科研、教育与技术革新核心基地的角色日益凸显, 其管理与运作策略也需不断革新以适应时代需求。过往的实验室管理多采取封闭运作模式, 导致资源运用效率欠佳, 难以满足现代科研、教育与技术开发的迫切要求^[1]。因此, 探索并构建一套崭新的实验室管理体系显得尤为必要。新形态实验室集智慧、开放与共享之优势于一体, 旨在构建一个集成技术创新、资源优化与协作互动的综合平台, 为科研、教育和技术发展提供更为高效、便捷的实验条件与服务支持。

1 新形态实验室的构建

1.1 建立数字化实验室平台

通过整合先进信息技术, 包括云服务、大数据分析、人工智能等, 搭建数字化实验室平台, 构成新形态实验室设施的核心基石^[2]。此系统重点在于实现实验数据的即时获取、解析、评估及储存, 为研究者提供快捷、高效的资料服务。数字化实验室平台不仅能够提高实验数据的精确度与可信度, 也可利用数据分析为科研人员供给决策指引, 促进科研革新。在平台建设阶段, 需加强数据的规范化与标准化处理, 确保来自各种源头、采用不同格式的数据能在平台上顺畅连接并高效处理。此外, 平台还需具备强大的安全保障机制, 以确保实验数据的安全性和私密性不受侵犯。

1.2 构建物联网环境

为了确保实验室环境的全面监管与操控, 新形态

实验室需在内部设置多样化的传感器与智能装备, 构建物联网生态系统。这些装置能即时检测实验室的各项环境指标(包括温度、湿度、光照等), 同时监控设备运作状态(比如运转时长、能耗情况)以及实验流程的核心参数。通过网络将信息汇总至中心管理系统, 科研工作者能够及时掌握实验室运作状况, 迅速识别并解决潜在问题。另外, 构建物联网环境可提升实验室的自动化程度, 并为远程监督与管理开辟了路径。即便科研人员身在异地, 也可通过移动设备或计算机终端随时监控实验室状态, 执行远程操作与调控。

1.3 开发智能化教学软件

为满足实验教学的需求, 新形态实验室需研发智能化教学工具^[3]。此工具应集成虚拟实验平台、网络教育资源及智能指导模块, 旨在辅助学生深入理解并掌握实验原理, 优化教学成果。同时, 虚拟实验环境能重现实际实验情境与操作步骤, 让学生在仿真环境中实践操作, 从而减少真实实验的潜在风险, 确保安全。网络教育资源则汇集多样化的学习资料, 如实验指南、视频解析、实例研讨等, 以适应不同学习者的个性化需求。另外, 智能指导系统则依据学生的学习动态及反馈, 提供定制化的学习建议与支持, 有效解决学生在学习过程中遇到的问题。

1.4 搭建智慧实验室管理系统

为了构建智慧实验室管理系统, 新形态实验室需整合并管理其内部资源、设施及人力信息。此系统旨在优化资源配置、实现实验流程自动化与数据智能解析, 以提升实验室整体管理和运营效率。智慧实验室

管理系统能够对实验室全链条资源进行精细化管控,包括设备的预订、运作及维护等环节。借助智能调度算法,系统能自动匹配最优资源给实验人员,有效防止资源闲置或冲突。同时,系统实时监控实验进程,并详尽记录,确保实验执行的合规性与精确度。另外,针对实验数据管理,系统自动收集、处理并分析数据,为科研工作者提供数据支撑与决策参考。

1.5 构建虚拟开放共享实验室平台

为了创建一个无界限、资源共享的虚拟实验室环境,新形态实验室应搭建一个虚拟开放共享实验室平台^[4]。该虚拟开放共享实验室平台内包含的虚拟实验设施、材料与数据资源均能实现无缝共享与访问。同时,平台内置在线沟通与协作功能,便于科研人员间的学术互动与合作。另外,在平台的建设中,需着重考虑用户体验与互动性。引入虚拟现实、增强现实等前沿技术,以营造沉浸式实验体验,使用户犹如身临其境于真实实验室。值得注意的是,平台设计应兼顾友好性与易用性,确保科研人员能便捷地学习与操作。

2 “智慧+开放+共享”理念下新形态实验室运营模式的核心要素

2.1 智慧化管理

秉承着“智慧+开放+共享”的核心思想,实验室的智能化管理体系得到全方位展现。借助物联网技术,实验室中的各种设备,包括实验仪器、传感器、数据收集装置等,可实现无缝连接,构建一个高度智能化的网络体系。该系统不仅支持远程监测和智能调度设备,让管理者能即时了解设备动态并根据实验需求灵活配置资源,而且还具备强大的数据处理能力,为实验室的日常运营提供了精准的数据支撑。另外,实验室应构建完备的数据收集、存储及分析机制,利用大数据分析工具深入挖掘运行数据,使管理者能更精确地把握实验室运作状态,识别潜在问题,并基于科学决策优化资源配置与提升使用效率。

2.2 开放合作

秉持着“智慧+开放+共享”的核心价值观,实验室以开放合作作为其发展的关键驱动力。实验室积极推广多元主体参与的开放协作模式,并邀请来自高校、研究机构、企业等社会各层面的伙伴共同参与,合力构建一个包容多样、跨学科的协作网络^[5]。在此网络中,各参与者能实现资源共享与优势互补,将实验资源、前沿技术、大数据等宝贵资产对合作伙伴开放。此外,这一平台也为深度和广泛的交流合作提供了舞台,促进不同领域、背景的科研团队与个人之间的跨界协同创新。另外,协同创新作为开放合作的最终目

标,为实验室注入了持续的创新动力,并为解决科研难题提供了新颖的策略与方法。通过跨界的合作方式,实验室汇集多方智慧,共同应对科研挑战,加速科研成果的转化与应用,实现科技与经济的深度融合。

2.3 共享服务

基于“智慧+开放+共享”的理念,实验室旨在提供全方位高效的服务。实验室积极构建了一个集成化的服务平台,整合实验预定、设备管控、数据解析、技术咨询等多元功能,以简化用户的操作流程并降低使用成本。用户只需通过单一入口,就能便捷地获取所需资源和服务,无需在不同平台或部门间切换,从而显著提升实验的执行效率及成功率。

为了适应用户多元化的需要,实验室还需积极提供定制化的实验方案与技术支持^[6]。通过深入了解用户的具体需求与研究目标,实验室为用户提供量身定制的实验策略,并提供针对性的技术辅助与解决方案,不仅有利于增强用户的满意度和忠诚度,也加深了实验室与用户间的合作与信任。此外,实验室积极建立社群平台,为用户搭建一个交流、合作与知识共享的空间。在这里,用户能与同行专家互动,共享科研成果与经验,共同培育积极的科研氛围与创新生态。

3 “智慧+开放+共享”理念下新形态实验室构建与运营模式实施的策略

3.1 技术驱动

1. 前沿技术探索与应用。为了扶持颠覆性科技创新,如量子计算、生物科技与纳米材料等领域,实验室特设专项风险投资基金,不仅直接资助关键项目,还搭建一站式孵化平台,为初创团队提供资金与市场对接的全链条服务,加速科研成果商业化。同时,鼓励跨学科学习与融合,通过交叉学科研究基金,促进多领域专家深入合作,共同开拓未知领域,以推动科学理论与技术革新。此外,实施技术预见计划,定期发布科技趋势报告,确保研发活动始终紧跟科技前沿,精确指导技术发展路径与资源分配。

2. 人才梯队建设。为了吸纳优秀科学家与技术精英,实验室不仅需提供有竞争力的薪酬福利,还应精心规划个性化的职业成长路径,全力支持科研活动,并营造国际化的工作氛围。同时,实行导师制度,为每位年轻科研人员指定资深导师,提供个性化的指导与支持。积极启动青年才俊计划,通过项目赞助、国际交流与职称晋升等措施,加速青年人才的成长与卓越表现。此外,定期组织技术研讨会及领导力培训课程,邀请行业权威与管理专家进行讲授,旨在提升团队成员的专业技能与领导能力,构建多样化的复合型人才梯队。

3. 智慧化平台构建。构建功能多样的实验室信息管理系统(LIMS),实现实验数据的即时捕获、智能解析、安全保存及深入剖析,并实施实验过程的自动化与规范化管理,以提升实验效能与数据品质。同时,借助物联网技术,整合实验室内的仪器设备、实验材料、环境指标等要素至LIMS平台,以支持远程监管、智能排程和异常警报,进而构建智慧化、无人值守的实验空间^[7]。此外,利用大数据分析 with 人工智能手段,对实验数据进行深层次挖掘,揭示科学原理,预测实验成果,为科研决策提供科学支撑。通过智能推荐机制,为研究者量身定制实验设计与资源对接方案。

3.2 制度保障

1. 合规与风险管理。构建全面的合规体系,它不仅应囊括实验室运作的各个环节,确保各项活动均遵循适用的法律与规章,还需通过持续的培训与教育,增强全体人员的合规观念。此外,设立风险管理小组,由具备深厚经验及专业知识的成员构成,定期审视实验室可能遭遇的风险,如科研风险、市场风险、财政风险等,并制定应对策略与预案。这些行动旨在有效减少实验室运营中的风险,为科研工作的顺利开展提供稳固支持。

2. 绩效考核与激励机制创新。为激活团队的创意潜能与工作热忱,采用一种融合KPI与OKR的绩效管理策略。KPI旨在为团队与个人确立清晰的工作重心,聚焦于关键任务;OKR则激励团队设定富有挑战性的目标,并为此规划详细的行动方案与关键成果。另外,积极尝试多元化的激励手段,如股权激励与项目分红等,使团队成员能直接享受到科研成果带来的经济效益,进而更大力度地激发其创新活力与工作积极性。

3. 知识产权运营。构建健全的知识产权管理体系,涵盖专利申报、商标注册与版权认证,以确保科研产出受到全面法律保障。同时,积极寻求专利授权与技术许可等合作机遇,旨在将实验室的创新成果转化为经济效益。此外,加强与产学研协同机构的合作,借助技术转移与联合研究项目,加速科技成果的产业转化,为实验室带来可观的经济与社会价值。

3.3 多方合作

1. 产业联盟与生态构建。目前,单打独斗已难以适应当前复杂多变的科技环境,故而寻求与产业链上下游企业合作,共建产业技术创新联盟成为必要之举。该联盟集合了跨领域的企业精英与专家,通过定期互动、资源共享以及联合研发等手段,共同突破核心技术难题,制定行业标准。此外,积极参与构建产业生态,借助开放平台吸引多元创新资源,营造共赢的良性循

环,为实验室的科研创新提供持续的动力源泉。

2. 国际合作深度化。除了积极融入国际项目与国际组织之外,实验室还需探索更为深入的合作模式。比如,设立海外研发基地或联建实验室,与全球顶级科研单位及企业构建紧密合作关系。借助资源共享、协同创新与人才互换机制,加强国际间合作,引入先进的国际技术与管理模式,激发实验室的创新动力。此外,积极参与国际科技交流与合作会议,提升实验室在全球科技领域的知名度与影响力。

3. 公众科普与教育。提升公众的科学素养与培育未来的科学家是科普教育的核心目标。实验室应当高度珍视科普教育的使命,主动与各级学校及科普中心等伙伴携手,共同举办形式多样的科普教育项目。安排领域专家深入校园,为青少年学子呈献生动活泼的科学讲堂与实践演示,以点燃他们对科学的好奇与热情。此外,应邀请青少年进入实验室,亲自动手体验科研流程,近距离感受科学的魅力。

4 结束语

新形态实验室作为科技发展的新引擎,正以其独特的魅力和巨大的潜力引领着科研和教育领域的变革。通过智慧化管理、开放合作和共享服务的运营模式,新形态实验室不仅提高了科研效率和质量,还促进了资源的优化配置和高效利用。通过技术驱动、制度保障、多方合作的实施策略,新形态实验室不断激发创新活力,推动科技进步和经济发展。新形态实验室将继续发挥其独特优势,为科研和教育领域注入新的动力,为人类社会的进步和发展做出更大的贡献。

参考文献:

- [1] 胡国强,张森,王敏.智慧实验室“三融一新”模型构建及实践探索[J].实验室研究与探索,2024,43(10):215-220.
- [2] 刘海增,郑钢丰,邱轶兵,等.工业智能化背景下高校虚拟智慧实验室的构建:以安徽理工大学为例[J].遵义师范学院学报,2024,26(04):144-148.
- [3] 潘访.信息化驱动下的高校实验室管理模式变革与创新研究[J].福建开放大学学报,2024(03):93-96.
- [4] 刘芳,秦兴国.人工智能技术在实验室智能管理中的应用研究[J].大众科技,2024,26(03):1-4.
- [5] 岳利可,梁兴雨.基于互联网技术的实验室智慧管理平台研究与构建[J].实验室科学,2024,27(02):193-196.
- [6] 陈军,蔡金玲.智能开放共享实验室平台的搭建及应用[J].中国现代教育装备,2024(07):60-64.
- [7] 信彩岩,宋章永,张金平.新时代高校开放共享实验室的智慧化管理初探[J].基础医学教育,2023,25(01):52-55.

韧性城市应急管理的路径分析

姬娅小娟, 方建宁

(石河子大学, 新疆 石河子 832000)

摘要 城市面临自然灾害、基础设施老化、救援资源不足等问题, 需要从制度、空间、组织、社会和技术五个维度提升城市应急管理的韧性。本文深入分析了城市应急管理面临的挑战和传统模式的局限, 并提出了基于韧性理念的城市应急管理路径。研究表明, 通过完善制度体系、加强基础设施建设、优化空间布局、加强组织建设、厚植社会根基和推动技术融合, 可以有效提升城市应对突发公共事件的能力, 保障城市的安全和可持续发展。

关键词 城市应急管理; 制度韧性; 空间韧性; 组织韧性; 社会韧性

基金项目: 国家自然科学基金项目“新疆乡村教育现代化高质量发展的动态监测与预警机制研究”(项目编号: 72264033)。

中图分类号: X91

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.02.029

0 引言

当前城市应急管理面临多重挑战, 全球气候变化和城市扩张导致洪水、台风、地震、疫情等灾害风险上升。城市基础设施老化, 突发事件易造成广泛影响。紧急情况下, 救援资源不足且分配不均, 救援效率低。同时, 传统应急管理模式存在局限, 过度关注事后处置, 忽视了预防与恢复, “重救轻防”难以有效应对突发事件。跨领域协同不足, 部门间缺乏统一指挥和协同机制, 导致资源整合和响应效率低。因此, 探索韧性城市应急管理新路径, 对于提高城市应对突发公共事件的能力具有至关重要的意义。本研究将韧性作为核心概念, 深入分析城市应急管理在制度、空间、组织、社会和技术等方面存在的韧性不足, 从风险、系统、发展、主体等多个维度分析推动传统城市应急管理向韧性城市升级的逻辑, 旨在有助于相关人员更全面地理解韧性城市应急管理的内涵和意义。

1 文献述评

1.1 韧性的界定及相关研究

韧性一词最初源于物理学, 用于描述材料在受到外力作用时吸收能量并在变形后恢复其原始状态的能力。随着时间的推移, 这一概念逐渐被引入生态学、心理学、社会学和城市研究等多个学科领域。在经济危机期间, 一些社区通过互助组织、共享资源等方式缓解居民的生活压力, 维持社区的稳定, 体现了社区层面的韧性^[1]。城市韧性则是指城市系统及其所有组成部分在面对自然灾害、社会动荡、经济危机等干扰因素时, 能够抵抗、吸收、适应并从这些影响中迅速

恢复的能力。城市作为复杂的巨系统, 其韧性涵盖了基础设施、经济、社会、环境等多个维度。具有高韧性的城市在遭受地震灾害后, 其建筑物能够保持较好的抗震性能(基础设施韧性), 经济能够通过产业调整 and 应急资金支持快速恢复(经济韧性), 社会秩序通过有效的应急管理和社区互助得以维持(社会韧性), 环境通过合理的规划和修复措施减少灾害影响(环境韧性)^[2]。

1.2 城市应急管理的相关研究

城市应急管理是指城市政府及其他社会组织为预防、应对可能发生的突发事件, 减少突发事件对城市的危害, 在突发事件的事前、事中和事后所进行的一系列有计划、有组织的管理活动。现代城市面临的突发事件类型更加多样化, 包括自然灾害、环境污染、公共危机事件、城市设施安全事件等。城市应急管理开始向科学化、专业化、制度化方向发展, 各国纷纷建立了相关的法律法规和应急管理机构。

1.3 韧性在城市应急管理中的研究

传统的城市应急管理侧重于应对突发事件的具体措施和行动, 而韧性理念强调城市系统在面对干扰时的整体能力, 包括吸收、适应和恢复能力。它促使城市应急管理从单纯的应对思维向预防、适应和恢复相结合的综合思维转变^[3]。在响应阶段, 高效的应急管理行动有助于维持城市系统的功能, 减少灾害对城市的影响, 也是韧性的重要体现^[4]。在恢复阶段, 城市的恢复能力直接关系到其韧性水平, 如城市通过合理的重建规划和社会经济恢复措施, 能够更快地恢复到灾前状态或建立新的稳定状态, 提升城市的韧性。同时,

基于韧性的城市应急管理框架的首要目标就是提升城市应对各种突发事件的综合能力,确保城市在面对自然灾害、社会危机、经济波动等干扰因素时能够保持其基本功能和结构的稳定^[5]。

2 城市应急管理面临的问题

2.1 制度韧性薄弱

一是常态化制度功能发挥失常。城市安全隐患排查工作常呈运动式开展,未形成常态化机制,日常监督与重点防控环节薄弱,难以持续有效甄别和管控风险,对城市安全构成威胁。二是非常态制度结构存在缺失。应急特殊时期,临时授权制度缺乏清晰规范与流程指引,致使权力执行无序,极大地降低了应急处置效率与效果。三是制度更新滞后于实际需求。一方面,内容更新迟缓,不能及时跟上新风险和新需求的变化节奏;另一方面,在面对不同应急场景时调整缺乏灵活性,缺少弹性机制来依据实际情况快速优化。

2.2 空间韧性不足

一是空间设施韧性差。部分城市建筑在设计与建造环节未充分考量抗灾性能,诸多老旧建筑难以达到现行抗震、防风、防洪等标准,致使其在灾害侵袭时极易受损乃至坍塌。二是开放空间利用不充分。城市中广场、公园等开放空间存在明显不足,其数量与分布往往难以契合应急避难需求。并且在初始设计阶段忽视了应急功能的融入,内部必要的应急设施严重缺失,在应急避难场景下无法有效发挥作用。三是缓冲空间缺乏,规划合理性欠佳。城市早期规划过于注重建筑面积,公共空间和住宅设计缺乏冗余性,应急避难场所和消防通道配备不规范,公共空间被占用现象严重。

2.3 组织韧性匮乏

一是动员指挥效能欠佳。应急动员能力薄弱,领导核心未能充分施展其引领与协调整合职能。在危机情境下,难以迅速凝聚各方力量,各部门、各层级之间信息传递不畅、协同作业缺乏默契,无法构建高效的联动机制。二是物资储备规划失当。物资储备匮乏且统筹规划存在严重缺陷,对城市可能遭遇的各类突发事件预估不足,储备物资的种类、数量难以契合实际需求。三是居民自治参与不足。居民自治功能渐趋弱化,参与应急管理的积极性与能力亟待提升。社区层面应急组织架构松散,居民缺乏系统的应急培训与教育,自救互救意识淡薄。

2.4 社会韧性欠佳

一是社会互助氛围不浓。城市居民多为“社会人”,“理性经济人”特质突出,邻里应急互助观念孱弱,居民之间缺乏紧密情感联系,在应急时重点关注自身

利益,难以形成团结互助氛围,不利于共同应对危机。二是公众应急意识和能力薄弱。一方面,公众对各类灾害的认识不足,缺乏预防和应对灾害的主动性;另一方面,公众在面对突发事件时,往往容易惊慌失措,不知道如何正确地进行自救和互救。三是脆弱人群关怀欠缺。城市对特殊脆弱人群管理分散,且受数字技术影响,老年人等脆弱群体接收信息不畅,培训不足,使其在应急中易被忽视,面临较大风险。

2.5 技术韧性缺失

一是智能融合缓慢,应急技术平台赋能滞后。城市系统性、集成化的智慧应急建设尚处于起步阶段,在监测预警、响应处置和灾后恢复等环节缺乏有效的智能化技术支持,导致风险评估不科学、指挥调度不高效、恢复重建缺乏精准依据等问题。二是数据共享梗阻,应急处置信息流通不畅。应急管理过程中纵向数据共享存在部门分治、标准不一等问题,横向信息沟通存在信息鸿沟、渠道不畅等现象,严重阻碍了应急协同和科学决策。三是技术应用局限,应急管理功能发挥受限。现有应急技术平台功能有限,如应急综合信息平台仅能开展部分业务,无法满足自然灾害等多领域风险防控需求,且在数据监测、分析和共享等方面存在短板。

3 韧性城市应急管理的建设路径

3.1 完善制度体系,强化执行监督,提升城市应急管理制度韧性

一是规范常态化制度,确保应急管理有序运行。建立系统、稳定的安全隐患排查机制,明确风险评估预警标准与流程,完善应急预案体系并加强演练。通过细化制度规定、加强监督考核,确保各项制度有效执行,提升应急管理的科学化、规范化水平。二是填补非常态制度空白,强化应急管理支撑保障。明确社会主体参与应急管理的权责与流程,构建科学合理的资源调用制度,确保应急物资供应及时充足。建立健全应急反馈学习机制,加强经验总结与反思,推动应急政策优化和治理策略提升。三是优化制度更新机制,提升制度适应性与灵活性。建立动态监测与评估机制,及时发现制度漏洞与不足,根据风险变化和应急管理实践经验,适时修订完善制度内容。加强制度创新研究,引入先进理念与方法,提高制度的适应性与灵活性,为城市应急管理提供坚实的制度保障。

3.2 加强基础建设,优化空间布局,提升城市应急管理空间韧性

一是优化基础设施建设。针对老旧小区等重点区域,加快基础设施及其配套设备的建设与改造,加强

老旧小区的物质基础,提高其应对物理冲击与社会风险的能力,增强基础设施韧性与空间品质^[6]。二是开放整合,融入应急功能。城市应打破传统的部门壁垒与空间局限,以开放的姿态整合各类资源要素,全方位融入应急功能。在物理空间层面,合理规划城市布局,确保公共场所、基础设施等具备应急避难与救援功能。三是优化城市应急缓冲空间布局。通过整体规划和合理化建设,结合城市实际情况,优化空间扩张结构,提前在旧城改造中规划应急避难与缓冲空间。合理布局公共文化体育场所,预留充足应急缓冲区域。

3.3 加强组织建设,优化协作机制,提升城市应急管理组织韧性

一是强化领导动员,提升应急指挥协同效能。加强城市党组织与各单位党组织的常态化联系,强化社区居委会对基层治理主体的统筹协调,构建完善的信息沟通与资源共享机制。通过明确责任分工,形成协同联动的应急指挥体系。二是明确主体责任,增强服务机构应急参与度。明确管理服务机构在应急管理中的职责,增强其风险防控意识与应急服务能力。培育和扶持社会组织发展,建立政府与社会组织的合作机制,充分发挥社会组织在资源调配、专业救援等方面的优势。三是激发居民自治,促进公众积极参与应急管理。加强社区应急管理宣传教育,提高居民对社区安全的关注度与责任感,增强居民的社区归属感与身份认同。建立健全居民参与应急管理的制度机制,鼓励居民参与社区风险排查、应急演练等活动,培育居民的自主管理与互助合作精神,提升居民在应急管理中的自我组织和自我服务能力。

3.4 厚植社会根基,提升应急能力,增强城市应急管理社会韧性

一是培育互助文化,增强群体协作凝聚力。通过社区建设、文化活动等多种途径,增进居民之间的情感联系与信任,打破身份隔阂,强化社区归属感。鼓励居民在应急情境下积极开展物资共享、志愿服务等互助行为,培育共同应对危机的责任意识,形成强大的社会凝聚力。二是强化教育普及,提升个体自救与互救能力。加强应急知识宣传教育体系建设,丰富宣传形式与内容,如开展专题讲座、社区培训、线上课程等。增加应急演练频次,确保演练覆盖各类突发事件场景,使居民熟练掌握自救互救技能,增强应对突发事件的实际能力。三是关注脆弱群体,建立精准帮扶与信息畅通机制。建立完善的脆弱人群信息管理系统,利用数字化技术实现信息实时更新与精准追踪,确保在应急状态下能够及时提供针对性帮扶。针对老年人等特殊群体面临的数字鸿沟问题,开展专项培训

与个性化服务,拓宽信息获取渠道,保障其在应急管理中的知情权与参与权,提升城市应急管理的公平性与包容性。

3.5 推动技术融合,优化数据共享,提升城市应急管理技术韧性

一是加快智能融合,健全应急技术平台功能。全力加快物联网、大数据、人工智能等技术与应急管理的深度融合,构建功能完备的智能应急管理平台。实现对城市各类风险源的全面感知与实时监测,提高预警的及时性与准确性。二是突破数据共享瓶颈,构建应急信息共享生态。需建立统一的数据标准与规范,整合各部门分散的数据资源,打破信息孤岛。打造城市应急管理数据共享平台,确保数据在纵向各层级政府部门、横向不同应急管理主体之间的顺畅流通,实现信息的及时传递与共享。三是加强技术创新应用,提升应急管理综合能力。积极鼓励和支持应急管理相关技术研发创新,探索如智能机器人、无人机、虚拟现实等新技术在应急救援、模拟演练、灾情评估等方面的应用场景与模式。

4 结束语

本文剖析了城市应急管理困境与传统模式的短板,从多维度提出韧性城市应急管理路径。经研究发现,制度、空间、组织、社会和技术层面的韧性提升是关键。完善制度体系能保障应急有序,优化空间布局可增强物理抗灾力,强化组织建设利于协同应对,厚植社会根基可促进公众参与,推动技术融合以实现智能管理。城市应急管理应持续深化韧性理念应用,整合各方资源,全方位提升城市应急管理韧性,保障城市安全稳定地发展。

参考文献:

- [1] 丁佳艺,王琳,于琪,等.基于韧性理论的城市老旧小区公共卫生安全建设思考[J].城市建筑,2020,17(12):3-9.
- [2] 吴新叶.超大型城市社区应急治理的“韧性”路径探索[J].北京社会科学,2023(09):83-94.
- [3] 赵鹏霞,朱伟,王亚飞.韧性社区评估框架与应急体制机制设计及在雄安新区的构建路径探讨[J].中国安全生产科学技术,2022,14(07):14-19.
- [4] 黄永,余廉.城市生命线系统应急能力:一个基于韧性理论的分析框架[J].城市观察,2023,04(05):123-134.
- [5] 解为瀚,汪伟全.韧性治理视域下社区应急管理的行动逻辑[J].社会科学,2024,04(03):49-53.
- [6] 潘懿.基于韧性治理的城市社区应急管理路径优化研究[D].南宁:广西大学,2022.

水利工程施工组织设计与资源配置

陈永雄

(四川鑫盛天睿工程设计咨询有限公司, 四川 成都 610000)

摘要 水利工程是国家基础设施建设的一部分, 其对社会经济发展、生态环境保护以及灾害防范等方面都有重要作用。在水利工程建设过程中, 施工方存在设计不合理、技术管理不足等问题。本文深入探讨了水利工程施工组织设计与资源配置的方法, 为施工单位提供实用的方案, 以期为我国水利工程领域不断突破提供借鉴, 从而实现水利建设工作的提质增效。

关键词 水利工程; 施工组织设计; 资源配置

中图分类号: TV5; TU721

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.02.030

0 引言

在水利工程施工中, 施工组织设计与资源配置是工程实施必不可少的两个环节。施工组织设计旨在科学规划施工, 动态调整施工内容以应对各种问题。而资源配置则涉及优化调配人力、物力、财力等各类资源, 直接关系到工程的实施效果, 深入研究施工组织设计与资源配置的策略, 能提高施工效率, 并有效控制成本、缩短工期, 为水利工程的成功实施提供坚实的保障。

1 施工组织设计的基本原则

1.1 科学性原则

施工组织设计的科学性是确保工程顺利实施的基础。科学性要求设计师在设计过程中充分考虑工程的实际情况, 采用合理的施工流程。施工组织设计应基于详尽的前期调研, 准确掌握项目的地质条件、气候特征以及施工环境, 确保所有施工步骤有据可依。施工组织设计的科学性体现在施工方案的各个环节, 管理人员需分阶段安排施工活动, 明确各环节的任务, 避免在施工中出现混乱现象^[1]。设计方案应具备足够的灵活性, 应对突发情况, 确保工程过程中的可控性。

1.2 经济性原则

经济性原则强调施工组织设计在资源利用上的高效, 以最大限度节约施工成本, 提升工程的经济效益。施工组织设计需要平衡施工速度、质量与成本, 通过科学规划, 将有限的资源进行最优化配置。合理的施工进度安排、适当的人员配备以及设备选用都是确保经济性的重要手段。如通过准确的资源调度, 避免施工过程中出现资源浪费, 进而降低材料、人工和设备的无效消耗。此外, 经济性还体现在对施工材料的选择上, 合理采购能保证质量, 并有效控制成本。设计

方案还需考虑资金使用的协调性, 确保资金链的稳定以及工程的按时推进, 避免因资源调度不当造成的工期拖延。

1.3 安全性原则

安全性原则是施工组织设计中的核心内容, 其目的是确保施工过程中的人员安全, 避免发生任何形式的安全事故。施工过程中存在的风险种类繁多, 设计方案必须将安全管理贯穿施工的各个阶段。针对施工中的危险点, 设计师应当详细规划安全管理措施, 确保人员在高危作业环境下得到充分的防护。设计师还应应对设备的安全使用进行规范, 定期检查维护, 避免机械故障引发安全隐患。安全性原则还要求施工现场制定严格的应急预案, 以应对突发事件, 减少事故损失。

2 资源配置在水利工程施工中的重要性

2.1 提高施工效率

资源配置在水利工程施工中的合理性直接影响施工效率。水利工程通常涉及大规模的土方开挖等复杂工序, 合理配置人力、物力和设备, 能够确保各个工序有序衔接, 减少等待时间, 提高整体施工效率。针对不同施工阶段, 管理人员应合理安排人员, 避免重复调度, 减少不必要的资源浪费^[2]。此外, 科学的资源配置有助于确保材料和设备的及时到位, 避免因物资短缺而影响工程进度。

2.2 降低施工成本

在水利工程项目中, 施工材料、机械设备和人工成本占据了较大的比重, 科学的资源配置能够借助优化调度减少不必要的开支。合理安排施工材料的使用, 确保材料不过度储备, 能够有效降低材料成本。同时, 机械设备和人力资源的优化调度, 能够避免设备闲置

人员过剩问题,提高资源的利用效率。资源配置的优化还能减少因工期延误产生的额外费用,通过精细化管理将施工成本控制在预算范围内,保障项目的可持续性。

3 优化水利工程施工组织设计的对策

3.1 采用信息化管理

现代技术的发展为施工管理带来了全新的手段,管理人员借助信息化管理可以显著提升施工过程的科学性、效率和精确度。其中,建筑信息模型(BIM)技术、智能化施工设备和施工管理软件是信息化管理中的重要组成部分,各自发挥着不可替代的作用。技术人员用BIM技术创建三维虚拟模型,能够在施工前全面展示工程的各个方面。这种虚拟建模能够在设计阶段发现潜在的设计问题,从而进行预先调整。通过模拟施工过程,BIM技术能帮助施工团队更好地理解工程需求,制定合理的施工方案,减少实际施工中的误差,提高施工精度。BIM技术还支持不同专业团队之间的协同工作,增强了信息的共享,确保项目各方对工程的了解。智能化施工设备的引入进一步提升了施工过程的精确度,其能够提高施工的自动化程度,减少人工操作的误差^[3]。如自动化施工机器人可以进行高精度的混凝土浇筑和钢筋绑扎工作,无人机可用于施工现场的实时监测。智能化设备的使用不仅能够提高施工速度,还能减少对人工的依赖,降低因人为因素造成的错误,从而确保施工质量的稳定性。

3.2 加强现场协调

施工现场的协调关乎施工效率,还直接影响工程的进度。施工方必须建立健全的现场管理体系,明确各项职责,并通过有效的沟通机制来处理施工过程中的各种问题。在施工现场,施工方应设立专门的现场管理团队,管理人员各司其职,项目经理负责整体施工计划和协调,现场监督员负责施工质量监督,技术员提供技术支持,工长负责具体的施工操作。明确的职责分工可以避免管理上的遗漏,使各类资源能够在适当的地点得到合理配置。施工过程中常会遇到材料短缺、设备故障、天气变化等突发情况,这些问题若没有及时处理,将导致施工进度的延误。为保证问题的快速解决,施工方应建立多渠道的沟通机制。定期召开施工例会是有效的方式,例会可以汇总各方面的信息,分析施工中的难点,讨论并制定改进措施。此外,还应建立紧急沟通渠道,以便在出现突发情况时能够迅速做出反应。加强现场协调还需要进行细致的现场规划,施工前应制定详细的现场布局方案,以减少施工过程中的相互干扰。同时,施工过程中应根据实际情况不断优化现场组织,确保各施工环节能够顺

利衔接。如提前协调材料的进场,合理调度施工设备,避免因设备闲置造成的浪费。对于人员调度,亦应根据施工进度进行动态调整,确保各工序之间的人员配备合理。

3.3 进行详细的风险评估

水利工程施工面临多种潜在风险,全面评估风险对于优化施工组织设计十分必要。一方面,施工方在施工前应应对施工区域的地质情况进行详细勘察,通过勘探数据,识别出潜在的地质风险点。针对这些风险,设计师应合理设计相应的防范措施,确保在施工过程中能够有效应对地质风险,减少对施工质量的影响。另一方面,暴雨等极端天气会对施工安全造成严重影响。因此施工组织设计中需要包含应急处理措施,建立详细的天气监测系统,及时获取天气预警信息,并在计划中预留应对极端天气的时间。材料供应也是关键的风险点,施工项目通常需要大量的建筑材料,任何材料短缺或供应中断都可能影响工程进度。为此,施工组织设计应建立与主要供应商的稳定合作关系,并制定备用供应链,以应对供应中断的情况。此外,施工方应定期检查材料供应情况,确保材料的及时供应,减少因材料不足导致的施工延误。施工方还应建立健全的风险管理体系,提高施工组织设计的可靠性。通过建立风险登记册,记录识别出的各类风险及其应对措施,定期审查风险管理计划,以应对可能出现的新风险。

4 优化水利工程资源配置的对策

4.1 实施动态资源管理系统

在水利工程项目中,动态资源管理系统能够通过实时数据,提高资源配置的精确度,从而有效应对工程资源配置中的各种问题,提升整体施工效率。以水利工程中常用的混凝土浇筑为例,按标准施工规范,单次浇筑混凝土的强度等级为C30,浇筑速度为每小时20立方米,混凝土拌合站的生产效率需维持在每小时30立方米以上。根据这些标准,系统可精确测算每日所需的混凝土量、运输车辆的调度频率,以及人员的配备需求。在机械设备方面,如挖掘机的使用效率,标定工况下,标准设备每日的挖掘土方量为500立方米。若在某一施工阶段,实际挖掘量高于标准,系统将发出警报并及时调整设备分配。此外,施工用水量的标准数据为每立方米混凝土用水量170升,现场供水系统需根据每天的混凝土使用量实时调控供水流量。人员配置的标准则需要根据具体工种设定。如钢筋绑扎工人标准工作量为每小时5平方米钢筋网片,现场每一工位的工人数量和分工将依据实时的工作量动态调整。结合此类标准,系统能保证合理分配各环节的资

源,并实时监测是否存在超标消耗或低效使用的情况,进而及时优化资源流动,持续提升施工效率^[4]。

4.2 优化供应链管理

优化供应链管理是通过建立稳定的供应链关系和应用现代管理技术,有效保障材料的及时供应,降低采购成本,并减少施工过程中的风险。建立与可靠供应商的长期合作关系是优化供应链管理的基础,选择信誉良好的供应商进行合作,可以确保材料的稳定供应。这种长期合作关系有助于供应商更好地理解工程需求,提供更符合项目要求的产品。通过签订长期合同,建立战略合作伙伴关系,能够获得更好的采购条件,从而减少采购成本并提高供应稳定性。施工方还应引入供应链管理系统,通过集成信息技术,实时跟踪设备的供应情况。通过实时数据监控,施工方能够对供应链中的各个环节进行动态调整。如系统可以实时跟踪订单状态,并根据实际情况自动调整采购计划。这种实时监控能力能够提高供应链的响应速度,确保材料的及时供应,减少因供应链问题引发的施工延误。优化采购流程也是提升供应链效率的关键措施,传统的采购流程存在审批冗长等问题,而现代供应链管理系统能够通过电子化手段简化采购流程。如在线采购平台可以加快采购执行速度,减少人工干预,能够提高采购效率,减少采购过程中的潜在风险。此外,通过集中采购,可以将多个项目的采购需求合并,从而获得更优惠的价格。批量采购则通过一次性购买大量材料,获得供应商的优先供货权,降低了单件材料的成本,还能减少采购次数,节约管理成本。

4.3 提高资源利用率

有效的资源利用不仅能降低成本,还能提高施工效率,确保工程顺利完成。实现资源利用率的提升需要从精细化管理、技术应用和综合优化等方面着手。精细化管理是提高资源利用率的基础,施工现场的精细化管理要求对资源使用进行详细的规划。施工人员的安排应根据实际施工进度要求进行科学调度,合理的人员配备可以避免因人力资源不足而导致的施工进度延迟,同时也能防止因人员过剩造成的资源浪费。在设备使用方面,也需合理安排设备的工作时间,避免设备的闲置。通过制定详细的作业计划,可以确保各项资源在最合适的地点得到有效利用,减少不必要的浪费。施工方还可以引入现代技术手段提升资源利用率,智能化设备可以大幅提高资源使用的精准度。如设备管理系统能够实时监控设备的运行状态,通过这些数据,管理人员可以及时进行设备维护,确保设备的高效使用。预防性维护措施能够延长设备的使用

寿命,减少故障停工时间,提高设备的利用率。此外,数据分析工具能够对资源使用情况进行深入分析,识别资源使用中的优化空间^[5]。管理人员应分析施工现场的资源使用数据,发现设备使用频率不均等问题,并进行针对性调整。

4.4 实施节能环保措施

在节能环保措施的实施中,施工单位需严格依据标准进行能耗与环保效益的精准测算。以LED照明系统为例,每千瓦小时的电能消耗量相比传统钠灯系统降低了近40%,而同等条件下的光照强度达到300勒克斯,满足施工现场的夜间作业需求。根据标准,能源管理系统需要精确计算每天所需的电力消耗,并设定各阶段的用电量上限。高效能设备的选择至关重要,对于动力机械设备,如施工现场常用的发电机组,传统发电机每小时能耗达到2.8升柴油,现代节能型发电机的能耗则可降至2.1升,在作业时间不变的情况下,整体能耗减少了25%。此外,智能控制系统具备自适应调节功能,根据实时功率需求调整设备的运行状态,从而减少不必要的能源浪费。环保材料的选择同样需要达标,如低碳混凝土,其每立方米二氧化碳排放量控制在150千克以内,显著低于传统混凝土的250千克排放标准。此外,废料处理也有详细要求,环境监测系统每日建筑废料排放量需控制在项目总量的5%以下,超出标准的废料量会被自动记录并发出警报,管理人员可根据实时数据调度清理设备,及时减少环境压力。

5 结束语

在水利工程项目中,科学合理的施工组织设计能够有效规划工程进度、分配任务并控制风险,从而实现高效的施工。而优化资源配置则通过动态调整,提升资源使用效率,降低浪费,确保材料的合理运用。持续优化施工组织设计和资源配置,有助于提升水利工程项目的整体质量,为工程的可持续发展奠定坚实的基础。

参考文献:

- [1] 梁建波,吴鼎,董平.BIM技术在水利工程施工组织设计中的应用[J].水利技术监督,2024(08):30-32.
- [2] 邵金娜.水利工程设计概算与施工组织设计的关联性探讨[J].黑龙江水利科技,2024,52(07):153-156.
- [3] 王帅,苏晴.探究施工组织设计对水利水电工程造价的影响[J].水上安全,2024(13):26-28.
- [4] 张杰.水利工程灌溉中水资源的合理配置研究[J].水上安全,2024(01):131-133.
- [5] 张辉.水利工程施工组织设计的优化策略探析[J].居舍,2021(30):119-120.

建筑工程质量安全隐患监督管理方法研究

王丹云

(焦作市安馨工程监理有限公司, 河南 焦作 454000)

摘要 随着建筑行业的蓬勃发展以及科学技术的不断进步, 质量安全隐患的监督管理方法也在不断更新和升级。除传统现场检查与监理方法外, 信息化监督管理方法也已出现, 目的是保证建筑工程质量安全, 减少乃至排除质量问题与安全隐患。本文就建筑工程质量安全隐患分析及安全隐患解决措施展开探讨, 并研究建筑工程质量安全隐患监督方法, 以期有关人士提供参考。

关键词 建筑工程质量; 安全隐患; 监督方法

中图分类号: TU712; TU714

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.02.031

0 引言

目前, 建筑工程质量安全隐患主要集中在监理责任制度不完善、建筑工程材料及设备安全控制不足、施工人员安全意识和能力有待提高以及施工安全应急处理不及时等方面, 应针对性研究建筑工程质量安全隐患解决措施, 并在实际中应用, 同时采取可靠有效的监理方法从旁监管, 从而确保建筑工程质量安全隐患解决措施发挥最大作用, 保障建筑工程质量安全。

1 建筑工程质量安全隐患分析

建筑工程质量安全隐患主要是指在建筑工程施工过程中可能引发的影响工程质量和安全的问题。这些问题若不能得到预防性解决并始终处于有效监管状态, 则可能导致工程质量整体下降, 甚至发生安全事故, 引发更严重的后果。建筑工程质量安全隐患发生概率如表 1 所示。

表 1 建筑工程质量安全隐患发生概率对比

序号	安全隐患种类	发生概率 /%
①	管理责任制度不完善	24
②	建筑工程材料及设备安全控制不足	15
③	施工人员安全意识和能力有待提高	35
④	施工安全应急处理不及时	26

从表 1 中的数据信息可以看出, ①③④的直接因素是人, 因此, 在研究建筑工程质量安全隐患解决措施时需要考虑相关人员在其中发挥的作用, 同时, 安全隐患监督方法的研究方向也应从此处着手进行深入分析。

2 建筑工程质量安全隐患解决措施

2.1 完善相关管理责任制度

完善相关管理责任制度, 可以更好地保障建筑工程质量, 减少以及防止安全事故发生, 有效保证施工人员的生命安全, 进而提高工程质量, 促进建筑行业可持续发展。

建筑工程质量安全管理责任需要贯穿建筑工程项目启动到完工整个过程。一是强调建设单位的首要责任, 选择具有资质的合格参建单位; 二是注意落实施工单位主体责任, 建立专门的建筑工程质量安全管理部, 配备专门的工程质量安全人员; 三是注意完善工程质量终身责任制度, 以此提高项目负责人的质量安全管理意识; 四是注意建设完善的从业人员培训与质量安全意识培训管理制度, 定期进行工种培训、安全施工培训以及质量安全教育培训; 五是注意建立岗位责任制度, 将建筑工程各岗位的责任落实到个人, 并以针对性的考核制度监督各岗位人员; 六是注意建立工程质量安全反馈制度, 可以通过匿名的方式向质量安全管理部反馈建议和意见。

2.2 加强对材料、设备的安全控制

加强对材料、设备的安全控制, 可以确保用于建筑工程施工的材料和设备均符合相关规定要求, 进而从根本上保障建筑工程建设质量, 降低质量安全隐患发生概率。建筑材料是整个建筑工程的基础, 其质量对整个建筑工程质量有直接性影响, 因此在对建筑材料质量安全进行控制时, 需要注意选择信誉良好、资质全且供货质量稳定的供应商, 按照国家标准及建筑工程设计要求采购材料。在进场时, 需要先检验质量

和合格证等材料,并按照材料属性及存储要求安全存储,以防止存储原因导致建筑材料质量问题发生。若在建筑工程中使用了新型材料,需要先按照施工要求进行测试和验证,确保符合设计及相关要求后再投入使用。建筑施工设备是建筑工程建设中不可缺少的工具,不仅可以保障施工质量和进度,还能在很大程度上减轻施工人员的负担,保障人员的生命安全。因此,在具体使用施工设备前,需要对设备状态进行全面检查,同时定期检查和维护施工设备,做好维护记录,确保施工设备始终处于安全工作状态,可以用于施工建设。在此过程中,人发挥了重要作用,应对保管和使用建筑材料的作业人员以及使用和维护施工设备的工作人员进行专业培训,确保其可以按章作业,安全操作,做好建筑材料和施工设备的安全控制。

2.3 对施工人员进行安全意识与能力培训

对施工人员进行安全意识与能力培训,可以有效提升施工人员对安全的认识,增强安全技能,是建筑工程安全进行的关键保障。

安全意识培训的核心思想是提高施工人员对潜在的安全风险的认识、理解和识别能力,从而确保施工人员可以在施工作业过程中主动发现并识别风险,采取有效的措施规避风险或处理风险源。在培训中,应增加包括法律法规及安全管理制度等方面的内容,确保参与培训的施工人员皆能提高安全意识^[1]。

安全能力培训的核心思想是提高施工人员的实际操作技能,使其可以通过培训学会正确使用个人防护装备,掌握急救以及个人防护方法。在培训过程中需要针对作业员工种进行专项培训,还需要在培训结束后进行理论与实践相结合的考核评估,确保每一名参与培训的施工人员都能熟练掌握安全技能,避免安全事故发生,保障建筑工程质量安全。

此外,需在定期培训基础上组织开展安全检查、安全技能比赛等活动,促进施工人员安全意识和能力提高,从而为提高建筑工程安全施工质量提供更多保障。

2.4 提高相关人员的安全事故处理能力

提高相关人员的安全事故处理能力,可以确保当安全事故发生时,相关人员可以采取有效的应对措施,降低安全事故造成的不良后果。从建筑工程质量安全隐患分析中可以了解到,大部分的安全隐患均与人有关,当事故发生时,人在其中发挥的作用有很大差异,若相关人员的安全事故处理能力很强,那么就会在事故发生的第一时间采取有效的应对措施,将安全事故

造成的损失降到最低;反之,若相关人员的安全事故处理能力一般或者较弱,那么则可能因处理方法不当或者没有及时采取正确应对措施而扩大损失,造成更严重的后果。所以,从整体来看,提高相关人员的安全事故处理能力非常有必要。在具体实践中,一方面可以通过加强培训,增加演练,制定应急预案等措施可以提高相关人员的安全事故处理能力;另一方面可以通过安全检查和安全隐患监理方法的选择和应用来改善施工环境和条件,从而消除安全事故诱发因素,防患大于治患,从而提高相关人员的安全事故处理能力。

3 建筑工程质量安全隐患监督方法

3.1 现场检查与监督

现场检查与监督是建筑工程质量安全隐患监理中最传统的方法,主要由专业人员在建筑工程施工现场进行实地检查,具体包括人、材料、机械设备相关检查。比如检查施工作业人员是否按照规章制度进行实地检查;检查建筑材料是否按照规定要求堆放、使用、存储等;检查施工机械设备是否按规操作,是否定期检查;等等。此外,现场检查与监督还包括对施工环境、施工条件以及施工工艺顺序等的检查与监督。通过现场检查与监督,可以第一时间发现建筑工程质量安全隐患,并对相关施工人员进行安全教育,提高其安全意识与能力。在具体监督中,需要先做好监督前的准备工作,包括制定包含检查目标、方法、内容等在内的现场检查计划以及监督标准要求等^[2]。在施工现场进行检查时,需要按照计划要求对施工现场的人员操作、材料存储、设备应用、施工工艺顺序以及环境安全等做详细检查。若在现场检查中发现安全隐患,需要及时指出,依据实际情况进行现场整改或停工整改。同时,对现场检查出安全隐患的整改工作需要做跟踪监督,确保检查出的问题可以及时有效地解决。

3.2 文件审查监理

文件审查监理是建筑工程质量安全隐患监理中常见的方法,由人工进行现场检查,但更加系统、规范和针对性。在具体监理中,监理人员需要手拿安全检查表,对照性检查一系列的建筑工程施工作业,如检查施工场地的安全设施是否齐全、施工中所用材料是否符合国家及设计标准等^[3]。监理人员需要依照安全检查清单列表逐一核对,确保不漏一项。安全检查表有不同类型,包括设备安全检查表、环境安全检查表、作业安全检查表等,在填写这些安全检查表时,需要确定检查范围和对象,然后制定科学合理的检查计划,

最后在实地检查过程中填写表单内容。文件审查监理过程中会用到大量的安全检查表,因此安全检查表需要认真、细致且真实填写,这样才能确保文件审查监理质量和效果,更好地监理建筑工程质量安全,维护施工人员的生命安全。

3.3 抽样检测监督

抽样检测监督是建筑工程质量安全隐患监督中有别于现场检查与监督的一种监督方式,需要监督机构、施工单位以及监理单位等多方共同参与,监督机构主要由政府相关部门指定的专门机构负责,这些监督机构将与施工单位及监理单位就建筑工程所用的建筑材料、建筑构配件、施工工具以及整个工程的实体质量等进行抽样检测。在具体的监督实践中,应先在前期对建筑工程项目的审批文件、施工许可证等进行检查审核,接着在施工过程中进行抽样检测监督,最后在竣工验收阶段对建筑工程整体进行质量的抽样检测。抽样检测监督具有随机性特点,即在对建筑工程质量安全隐患进行监督时并没有指定项目,而是通过随机的方式抽样检测,从而判断建筑工程中所有的建筑材料、施工设备、施工工艺及操作技术等符合要求。比如,抽样检测监督人员随机选择钢筋、混凝土以及砌筑砂浆等可以直接影响建筑工程结构安全的关键材料进行抽样检测^[4]。抽样检测监督的方法有很多,常见的有现场抽样检测、实验室检测和影像资料收集检测等。其中,现场抽样检测又包括现场旁站、平行检验以及巡视等。以上每一种抽样检测方法都有具体的技术规范和操作程序,这样可以保障每次的抽样检测规范,抽样检查结果具有代表性,可以反映出整个建筑工程的质量安全水平。总之,建筑工程质量安全隐患问题始终存在,抽样检测监督作为监督方法中耗时最小且可以随时进行的监督方法,在未来将起到有效的监督作用,应持续研究此监督方法,并不断改进和完善。

3.4 信息化监督

信息化监督是建筑工程质量安全隐患监督方法中的新方法,主要是利用信息化技术完成质量安全监督工作。与传统监督方法相比较,信息化监督可以对建筑工程质量进行全程性、实时性、全面性和高效性的监督管理,并且此种监督方法更利于帮助监督部门快速掌握建筑工程质量安全相关情况,提高监督质量和效率。信息化监督的核心功能在于数据的采集、分析和处理。在数据采集环节,信息化监督系统可以对建筑工程施工各环节、各工序、各区域、各工种操作等

进行实时的信息采集,为监督人员提供重要的参考信息。在数据分析环节,信息化监督系统可以做到自动分析监督过程中收集到的数据信息,并将此信息与提前录入到系统中的数据信息作比对,从而发现异常情况及潜在风险,发出预警,引起重视,及时定位风险,解决安全隐患^[5]。在数据自动化处理环节,信息化监督系统可以将一些不重要的、符合要求的数据信息自动筛选掉,得出重要的、异常的数据信息,为监督人员提供最精准的数据信息,不仅可以减轻监督人员的工作压力与负担,也可以有效地避免人为因素对监督结果与质量的影响。随着人工智能技术、信息化技术、云计算技术以及大数据技术等先进技术的不断进步和发展,信息化监督质量和效果会更加突出,建筑工程质量安全隐患问题也将在信息化监督下有效显现,从而实现自动预警,自动决策,保障监督质量与效率。

4 结束语

通过分析建筑工程质量安全隐患问题可以发现,人的影响因素最大,在研究建筑工程质量安全隐患解决措施时应将关注点放在此处,通过完善相关管理责任制度,加强对材料、设备的安全控制,对施工人员进行安全意识与能力培训以及提高相关人员的安全事故处理能力来提高建筑工程质量安全。在安全隐患解决措施实施过程中,监督方法的选择非常关键,现场检查与监督、文件审查监督、抽样检测监督以及信息化监督作为常用的监督方法在建筑工程质量安全中发挥着重要作用。随着科技的不断进步,建筑工程质量安全隐患监督方法会持续增多,更好地保障建筑工程的质量安全。

参考文献:

- [1] 王静.有效提升建筑工程质量安全监督管理的方法初探[J].中华建设,2023(05):70-72.
- [2] 王祺.有效提升建筑工程质量安全监督管理的方法初探[J].工程建设与设计,2022(23):245-247.
- [3] 邓海燕.有效提升建筑工程质量安全监督管理方法初探[J].砖瓦,2021(07):145-146.
- [4] 张明建.建筑工程质量安全监督潜在风险及防范方法[J].广西城镇建设,2021(04):87-88,98.
- [5] 肖学云.建筑工程项目质量监督管理分析[J].新城建科技,2024(02):182-184.

市政工程给排水及污水处理施工方案探索

张建喜

(武汉森泰环保股份有限公司, 湖北 武汉 430065)

摘要 本文围绕市政工程给排水及污水处理施工展开深入研究,系统分析了当前施工质量控制、工程管理体系及技术创新等方面存在的问题,通过探讨施工工艺标准化管理、分项工程质量控制及新技术应用等方面的优化策略,提出了污水处理工程施工效能的提升方案。结果表明,通过精细化管理、建立完善的监测控制体系以及推广智能化施工技术能够有效地提升工程质量,实现污水处理设施的高效运行。

关键词 市政给排水; 污水处理; 施工质量控制

中图分类号: TU991; TU992; X7

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.02.032

0 引言

我国城市化进程不断推进,市政给排水及污水处理工程在城市基础设施建设中的重要性日益凸显。高质量的给排水工程施工不仅关系到城市居民的日常生活,更是环境保护和可持续发展的重要保障^[1]。然而当前市政给排水及污水处理工程施工过程中仍面临诸多挑战,亟需通过科学的管理方法和先进的技术手段来提升施工质量和效能。本文基于工程实践,深入探讨了施工方案优化策略,以期对相关工程建设提供参考。

1 市政给排水及污水处理工程的现状分析

1.1 施工质量控制存在的主要问题

市政给排水工程施工质量控制体系存在着明显的不足,主要表现在施工过程中质量监管执行不到位、质量责任制落实不彻底等多方面^[2]。施工单位对质量控制的重视程度不够,往往过分追求施工进度而忽视质量把控,导致管道接口密封不严、防腐层损坏等质量问题频发;施工现场管理混乱,材料堆放不规范,施工工序衔接不紧密,造成返工现象普遍存在;质量检查制度执行不严格,部分重要施工环节缺乏有效的质量检验和记录,质量追溯体系不完善;施工人员专业素质参差不齐,技术交底不到位,操作规范性不足,直接影响施工质量。

施工现场的质量管理制度形同虚设,缺乏有效的奖惩机制,质量责任难以落实到人,施工过程中的技术交底不够详细,施工人员对技术要求理解不透彻,导致施工质量难以保证^[3];材料进场检验把关不严,部分材料质量不达标却仍投入使用,埋下质量隐患;施工工序之间的衔接协调不够,造成工期延误和质量缺陷;竣工验收环节流于形式,未能真正发挥把关作用,

使得部分质量问题被掩盖。

1.2 工程管理体系的薄弱环节

项目管理团队人员配置不合理,专业技术人员配备不足,导致管理效率低下;工程建设各参与方之间缺乏有效的沟通协调机制,信息传递不畅通,影响施工进度和质量;项目成本控制体系不完善,预算编制不够精确,成本超支现象严重;施工现场安全管理制度执行不力,安全隐患排查不及时,存在重大安全风险;工程变更管理混乱,变更程序不规范,造成工程造价失控;合同管理不够规范,合同条款执行不到位,易引发工程纠纷^[4]。

施工进度计划编制不科学,未能充分地考虑各种影响因素,导致工期频繁调整;资源调配不合理,人力、机械设备利用率低,造成资源浪费;质量管理制度落实不到位,质量责任制形同虚设,质量事故频发;档案管理工作滞后,资料收集整理不及时,影响工程验收和移交;监理单位未能充分发挥监督作用,现场巡查流于形式,质量把控不严;施工单位内部管理混乱,各部门职责划分不清,工作效率低下。

1.3 技术应用与创新不足的表现

市政给排水工程技术创新动力不足,新技术、新工艺、新材料的应用率较低。施工单位对技术创新投入不够,研发力度不足,难以形成技术优势;传统施工方法仍占主导地位,施工效率和质量难以提升;信息化技术应用水平低,BIM技术在工程中的应用深度不够,未能充分发挥其优势^[5];智能化施工设备使用率低,机械化施工水平有待提高;施工工艺创新不足,未能针对具体工程特点开发适用的施工方法;质量检测技术相对落后,检测手段单一,难以及时发现质量问题。

管道施工技术创新不足,传统开挖方式仍为主要

施工方法,造成环境污染和交通干扰;防水防腐技术应用不够先进,影响工程使用寿命;施工现场环境保护措施简单粗放,环保技术应用不足;新型管材应用推广缓慢,限制了工程质量的提升,施工机械设备更新换代慢,设备性能落后,影响施工效率;施工工艺标准化程度低,技术规范执行不到位,质量控制难度大;技术交底内容陈旧,未能及时更新先进技术要求,从而影响了施工质量。

2 市政给排水工程施工质量提升策略

2.1 施工工艺标准化管理措施

市政工程应该严格执行技术交底制度,确保施工人员充分理解施工要求,编制标准化施工工艺流程图,明确各道工序的质量控制要点。建立施工工艺评审机制,对关键工序进行技术论证和优化,加强施工人员技术培训,提高操作规范性和技术水平。实施标准化施工现场管理,规范材料堆放机械设备使用各环节。建立工艺质量检查制度,定期开展质量巡查和评估,推行施工工艺样板制度,树立质量标杆,促进工艺水平提升。

工程人员应当加强施工工艺创新研究,不断地进行优化和改进施工方法。建立工艺质量追溯体系,实现全过程质量控制^[6];严格管理施工工艺变更,确保变更程序规范有序;制定工艺质量验收标准,细化验收要求和评判标准;加强施工工艺文件管理,建立完善的技术资料档案;实施工艺质量责任制,落实质量责任到人,建立施工工艺评价体系,定期总结分析工艺执行情况。

2.2 分项工程质量控制要点

针对管道施工、检查井施工、顶管施工等各种分项工程,制定专项质量控制措施。管道施工重点控制管道基础处理、管道接口施工、防水防腐等关键环节;加强原材料质量控制,建立进场检验制度,确保材料符合设计要求;严格控制管道安装精度,确保管道中心线偏差、接口间隙等技术指标符合规范要求;加强管道防腐层施工质量控制,确保防腐层厚度均匀、附着力强;做好管道基础处理,确保地基承载力满足设计要求。

工程人员应该严格控制管道闭水试验,及时发现并处理渗漏问题。加强检查井施工质量控制,确保井壁垂直度、防水性能等指标达标;做好顶管施工测量控制,确保顶进精度满足要求;加强回填压实质量控制,避免管道变形和沉降,实施分项工程质量检查制度,定期开展质量评估;建立质量问题处理机制,及时解决施工中发现的问题;加强施工记录管理,确保质量

资料完整准确;实施分项工程质量验收制度,严格把控各环节质量。

2.3 新技术应用与优化方案

工程人员需要积极推广应用新技术、新工艺、新材料,提升施工质量和效率。推广使用非开挖施工技术以减少对环境的影响,应用 BIM 技术进行施工模拟和优化,提高施工精度和效率;采用智能化施工设备,提高施工机械化水平,推广使用新型管材,提高管道使用寿命和性能;应用先进的防水防腐技术,提高工程耐久性;采用 GPS 定位技术进行施工测量,提高测量精度。

工作人员需要使用管道检测机器人进行质量检测,及时发现质量缺陷。应用水力模型分析技术,优化管网设计和施工方案;推广使用智能化监测设备,实现施工过程实时监控;应用环保型施工技术,减少施工污染;采用新型接口技术,提高管道连接质量;使用先进的压实设备,提高回填质量;应用自动化测试设备,提高检测效率和准确性,推广使用新型防渗材料以提高防渗效果。

3 污水处理工程施工效能优化方案

3.1 污水处理设施建设的精细化管理

污水处理设施建设的精细化管理体系需要从整体规划和系统构建两个维度进行深入推进,通过建立健全完整的管理框架和运行机制来实现对施工全过程的有效管控。精细化管理体系的核心在于构建系统化的质量管控机制,通过制定科学合理的施工组织设计方案,明确施工过程中各个环节的质量管理要求和具体控制措施,建立完善的质量保证体系和责任追究制度。在施工过程管理中需要通过细化施工工序,强化过程控制实施标准化施工管理模式,规范施工操作规程,严格执行施工质量验收标准。同时,还要建立完善的安全生产管理制度,加强现场安全隐患排查,实施动态跟踪管理,确保施工安全。在资源配置方面需要通过科学的材料管理制度加强材料采购、验收、储存、使用全过程管理,建立完善材料进场检验制度和质量追溯机制。工程造价精细化管理要求建立全方位的成本控制体系,实施动态成本管理,严格控制各项费用支出,确保工程投资效益。此外,还需要建立完善的施工进度控制体系,通过科学的进度计划编制和动态调整机制确保工期目标的实现。施工现场管理要求建立标准化的场地布置方案,实施文明施工管理,保持施工环境整洁有序。工程变更管理制度的建立需要规范变更审批流程,加强变更成本控制,确保工程变更的合理性和可控性。

在精细化管理体系的具体实施过程中需要通过建立健全质量检查评估制度,定期开展质量评估工作,及时发现和解决施工过程中存在的问题。施工档案管理体系的建立要求实现施工资料的及时收集、整理和归档,确保施工档案的完整性和准确性。质量验收标准的制定需要结合工程特点和要求,明确各分部分项工程的验收标准和验收方法,建立完善的验收程序和验收制度。在施工管理过程中要充分发挥监理单位的监督管理职能,加强施工质量监督检查,确保施工质量符合设计和规范要求。施工技术管理体系的建立需要加强施工技术交底工作,确保施工人员充分理解施工技术要求和质量标准。施工资源优化配置机制的建立要求科学安排人力资源、机械设备和材料供应,提高资源使用效率,降低施工成本。信息化管理平台的构建需要实现施工管理的信息化、数字化和智能化,提高管理效率和管理水平。质量责任体系的建立要求明确各岗位的质量责任,实行质量责任制和质量考核制度,强化质量意识,提高质量管理水平。环境保护管理体系的建立需要加强施工过程中的环境保护措施,减少施工对周边环境的影响。施工协调管理机制的建立要求加强与设计、监理、业主等各方的沟通协调,及时解决施工过程中的问题,确保工程顺利实施。应急管理体系的建立需要制定完善的应急预案,建立应急响应机制,提高突发事件的处理能力。风险管理体系的建立要求对施工过程中可能出现的各类风险进行识别、评估和控制,制定有效的风险防范措施。

3.2 施工过程监测与控制体系建设

在数据采集方面需要建立标准化的监测数据采集系统,配备先进的检测仪器和设备,制定规范的数据采集流程和标准,实现数据的实时采集、传输和存储。通过建立完善的数据处理分析平台,对采集的数据进行系统化管理和深度分析,及时发现施工过程中的质量隐患和安全风险。在施工过程控制方面应当实施全过程、全方位的实时监控。通过建立质量预警机制,设定关键质量控制指标和预警阈值,实现对施工质量风险的早期识别和预防。环境监测系统需重点关注噪声、扬尘、废水等环境影响因素,采取有效措施降低施工对周边环境的影响。

工程进度监控体系应与项目总体规划紧密结合,通过信息化手段实现进度的动态管理和优化调整,确保各项施工任务按期完成。成本监控体系需要建立科学的成本核算方法和控制标准,实现对人工、材料、设备等各项成本的精细化管理。质量检测与评估体系应建立常态化的检测机制,定期开展质量评估,及时

发现和解决质量问题。在工艺监控方面建立完善的施工工艺标准和操作规程,通过技术交底、过程检查等方式确保各项工艺要求得到严格执行。设备运行监测系统应对关键施工设备实施动态监控,建立设备维护保养制度,确保设备性能稳定可靠。

3.3 智能化施工技术的推广应用

工作人员应该应用BIM技术进行施工模拟和优化,提高施工精度。采用智能化施工设备,提升施工机械化水平;应用智能监测系统,实现施工过程实时监控。推广使用智能化测量设备,提高测量精度;应用智能化质量检测设备,提高检测效率;采用智能化施工管理平台,提升管理水平;应用智能化安全监控系统,保障施工安全;推广使用智能化材料检测设备,确保材料质量。

应用智能化进度控制系统,优化施工进度,采用智能化成本控制系统,实现精细化管理;应用智能化档案管理系统,提高资料管理效率;推广使用智能化验收系统,提高验收质量;应用智能化维护系统,确保设施正常运行;建立智能化信息管理平台,以提升信息化水平。

4 结束语

当前市政给排水及污水处理工程在施工质量控制、管理体系建设和技术创新等方面仍存在明显不足,需要通过系统化的改进措施加以解决。通过实施施工工艺标准化管理、强化分项工程质量控制以及推广新技术应用,可以有效提升工程施工质量水平。通过建立精细化管理体系、完善监测控制体系以及推广智能化施工技术,能够显著提高污水处理工程的施工效能。

参考文献:

- [1] 王慧俊.市政给排水工程污水处理技术与发展路径探析[J].建筑·建材·装饰,2024(03):172-174.
- [2] 潘瑞军.市政给排水工程污水处理技术研究[J].工程建设与设计,2023(20):87-89.
- [3] 王慧俊.污水处理技术在市政给排水工程中的有效运用[J].建材发展导向,2023,21(22):179-182.
- [4] 王健.污水处理技术在市政给排水工程中的有效运用[J].工程技术研究,2022,07(24):33-35.
- [5] 杨昌艳,吴陆蒋,林晶晶.污水处理技术在市政给排水工程中的有效运用[J].现代工程项目管理,2024,03(08):134-136.
- [6] 杨丽萍.市政给排水工程污水处理的技术与发展探索[J].中国房地产业,2020(31):193.

市政道路桥梁施工质量通病的预防及处理措施

陈新东

(浙江利宏建设景观工程有限公司, 浙江 义乌 322000)

摘要 市政道路桥梁作为城市交通网络的重要组成部分, 其施工质量直接关系到城市的交通运输效率及公众出行安全。然而, 在实际建设过程中, 由于地质条件复杂、施工技术要求高以及外部环境影响等多种因素, 往往会出现混凝土裂缝、钢筋锈蚀、路面平整度不佳、桥梁支座脱空和排水设施不畅等一系列质量问题, 不仅影响了道路桥梁的使用寿命, 还可能对交通安全构成威胁。本文认为采取有效的预防措施并及时处理已出现的质量问题, 对于确保工程质量和延长设施使用寿命具有重要意义。

关键词 市政道路桥梁; 质量通病; 混凝土裂缝; 钢筋锈蚀; 路面平整度

中图分类号: U415; U445

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.02.033

0 引言

社会经济发展与市政道路桥梁项目的建设之间存在着相互促进的关系。经济水平的提升能够推动更高标准的基础设施建设, 而高质量的道路桥梁项目又反过来支持经济的进一步增长。为了实现这一良性循环, 必须加强对施工质量的监督和管理, 以防止常见质量问题的发生。这要求我们深入研究和分析施工过程中出现的各种质量通病及其成因, 并基于这些分析结果制定有效的预防和治理措施, 显著提高我国道路桥梁的整体施工水平和质量, 进而为经济社会的发展提供坚实的基础。

1 市政道路桥梁施工中的常见质量通病

1.1 混凝土裂缝

在市政道路桥梁的施工过程中, 混凝土裂缝是一种极为常见的质量通病。这种裂缝通常由多种因素引起, 包括温度变化、混凝土的自然收缩以及外部荷载的作用。温度变化会导致混凝土内部产生热胀冷缩效应, 特别是在温差较大的环境中, 这种效应尤为显著。混凝土在硬化过程中会发生体积收缩, 这也是导致裂缝形成的重要原因之一。此外, 施工期间或使用过程中, 桥梁和路面承受的荷载超出设计范围, 也会引发裂缝。

1.2 钢筋锈蚀

钢筋锈蚀是市政道路桥梁施工中一种常见的质量通病。这一现象主要由以下几个因素引起: 首先, 混凝土保护层厚度不足, 导致钢筋直接暴露在外界环境中, 加速了锈蚀过程。其次, 混凝土的密实度较差, 使得水和氧气更容易渗透到混凝土内部, 与钢筋接触并引发腐蚀反应。此外, 施工过程中钢筋受到污染,

如接触到盐分或其他腐蚀性物质, 也会大大增加锈蚀的风险。钢筋锈蚀不仅会削弱结构的承载能力, 还可能导致混凝土开裂, 进一步加剧结构的损伤, 严重影响市政道路桥梁的安全性和耐久性^[1]。

1.3 路面平整度不佳

路面平整度不佳是市政道路桥梁施工中常见的质量问题之一。这一现象主要由以下几个因素引起: 首先, 基层处理不当是导致路面平整度不佳的主要原因之一。基层的稳定性和平整度直接影响到面层的质量, 如果基层存在不均匀沉降或压实度不足等问题, 会直接影响到路面的平整度。其次, 材料不合格也是造成路面平整度不佳的重要因素。使用不合格的材料, 如级配不当的集料或性能不达标的沥青混合料, 都会影响路面的平整度和耐久性。最后, 施工技术不规范也是导致路面平整度不佳的原因之一。在施工过程中, 如果摊铺、碾压等工序操作不当, 或者机械设备性能不良, 都会导致路面出现波浪、坑洼等现象, 影响行车舒适性和安全性。

1.4 桥梁支座脱空

桥梁支座脱空是市政道路桥梁施工中常见的质量问题之一。这一现象主要由以下几个因素引起: 首先, 支座安装位置不准确是导致支座脱空的重要原因之一。如果支座的安装位置与设计要求不符, 会导致支座无法正常承载桥面荷载, 从而引发脱空现象。其次, 预埋件固定不牢也是造成支座脱空的原因之一。预埋件在施工过程中如果固定不牢固, 会在桥面荷载作用下发生位移, 进而导致支座脱空。最后, 桥面荷载分布不均也是引起支座脱空的因素之一。如果桥面荷载分

布不均匀,某些支座可能承受过大的荷载,而其他支座则可能受力不足,这种不均衡的荷载分布会导致支座脱空,影响桥梁的结构安全和稳定性。

1.5 排水设施不畅

排水设施不畅是市政道路桥梁施工中常见的质量问题。这一现象主要由以下几个因素引起:首先,排水设计不合理是导致排水设施不畅的重要原因。如果排水系统的布局和尺寸设计不当,无法有效排除路面积水,会导致积水长时间滞留,影响道路的通行能力和安全性。其次,施工质量差也是造成排水设施不畅的原因之一。在施工过程中,如果管道接口密封不良、沟槽回填不密实或排水设施安装不到位,都会影响排水效果。最后,后期维护不到位也是导致排水设施不畅的一个重要因素。如果排水设施长期缺乏维护,管道内积聚的泥沙、杂物等会堵塞管道,影响排水效率。这些问题不仅会影响道路的正常通行,还可能引发路基沉降、路面破损等次生问题,严重时甚至危及交通安全^[2]。

2 质量通病的预防及处理措施

2.1 混凝土裂缝的预防和处理

混凝土裂缝是市政道路桥梁施工中常见的质量问题,不仅影响结构的美观,还会降低结构的耐久性和安全性。为了有效预防混凝土裂缝,应使用高质量的水泥、砂石和骨料,确保原材料的品质符合国家标准。同时,根据工程特点和环境条件,合理设计混凝土的配合比,选择合适的水灰比和外加剂,以提高混凝土的强度和抗裂性能。混凝土浇筑后,应及时覆盖塑料薄膜或湿麻袋,保持混凝土表面湿润,防止过快的水分蒸发。在高温或低温环境下,应采取相应的降温或保温措施,避免温度骤变引起混凝土内部应力。此外,根据工程设计要求和现场实际情况,合理设置伸缩缝的位置和间距,以释放温度变化引起的应力。伸缩缝的设置应符合设计要求,确保其能够自由伸缩,避免因伸缩缝失效而引起的裂缝。在混凝土浇筑过程中,应充分振捣,确保混凝土密实,避免因振捣不足或过度导致的裂缝。对于大体积混凝土,应分层浇筑,每层厚度不宜超过50 cm,以减少内部温度梯度和应力集中。适量添加减水剂,可以减少用水量,提高混凝土的密实度和抗裂性能。适量添加膨胀剂,可以在混凝土内部产生微小的膨胀,补偿混凝土的收缩,减少裂缝的产生。对于浅表裂缝,可以使用环氧树脂进行表面封闭,防止水分和有害物质渗入。使用聚合物砂浆填充裂缝,提高表面的平整度和美观度。对于深层裂

缝,可以采用压力灌浆技术,将水泥浆或化学浆液注入裂缝内部,增强结构的整体性和稳定性。此外,使用结构胶进行裂缝注胶处理,能显著提高结构的承载能力和耐久性。对于局部严重开裂的区域,应先凿除破损部分,清理干净后重新浇筑混凝土。在修补区域增设钢筋网,提高修补部位的抗裂性能,对已修补的裂缝部位进行定期检查,确保修补效果持久有效。同时,应使用裂缝监测仪器,实时监测裂缝的发展情况,及时采取相应的措施^[3]。

2.2 钢筋锈蚀的预防和处理

钢筋锈蚀是市政道路桥梁施工中一个常见的且不容忽视的质量问题,它不仅显著削弱了结构的承载能力,还易导致混凝土开裂,进而对结构的安全性和耐久性构成严重威胁。为了有效预防和处理钢筋锈蚀问题,需采取一系列综合性的措施。在混凝土浇筑过程中,应确保振捣充分,以提高混凝土的密实度并降低孔隙率,从而有效阻止水分和氧气的渗透,提升混凝土的防水性能。此外,通过选择合适的原材料和配合比,可进一步降低混凝土的孔隙率,减少腐蚀介质的渗透风险。在施工过程中,应严格按照设计要求,确保钢筋拥有足够的保护层厚度,这一厚度需符合相关规范和标准,以形成坚实的防护屏障。同时,应加强对钢筋保护层厚度的检查和控制,确保其始终符合设计要求。在钢筋的绑扎、安装、运输及存储过程中,应严格避免其与盐分、酸碱溶液等腐蚀性物质接触,并保持施工场地的清洁,防止有害物质的污染。对于已锈蚀的钢筋,可采用物理方法(如钢刷、砂轮打磨等)或化学方法(如使用酸洗液或除锈剂)进行除锈处理,但需注意操作安全,避免对环境 and 人员造成危害。除锈后,应在钢筋表面涂覆防腐涂料,如环氧树脂、聚氨酯等,以形成一层保护膜,有效隔离钢筋与腐蚀介质的接触。在结构使用过程中,还应定期检查钢筋的锈蚀情况,及时采取维护和修复措施,确保其长期处于良好的状态,从而保障市政道路桥梁的整体安全和使用寿命。

2.3 路面平整度不佳的预防和处理

路面平整度不佳是市政道路桥梁施工中常见的质量问题,不仅影响行车的舒适性和安全性,还会加速路面的损坏,缩短道路的使用寿命。为了有效预防和处理路面平整度不佳的问题,在施工前,应确保基层的稳定性和平整度。通过对基层进行充分的压实和找平,避免不均匀沉降。基层的稳定性和平整度是保证面层质量的基础。在软土地基或地质条件复杂的地区,应采取必要的地基处理措施,如换填、加固等,以确

保基层的均匀性和稳定性。选用符合国家标准和设计要求的材料,确保其性能满足工程需求。对于沥青混合料,应选择级配合理的集料和性能优良的沥青,以提高路面的平整度和耐久性。在施工前,应对材料进行严格的检测和试验,确保其质量符合标准。不合格的材料严禁用于工程施工。在施工过程中,应严格按照规范和标准进行操作,提高施工技术水平。摊铺、碾压等关键工序应由经验丰富的技术人员负责,确保施工质量。使用性能良好的机械设备,确保施工过程的高效和精准。定期对机械设备进行维护和检修,避免因设备故障影响施工质量。对于局部不平整的路段,可以采用铣刨机将不平整的部分铣刨掉,然后再重新铺设新的沥青层。铣刨后的表面应平整、清洁,无残留物。在铣刨后,可以采用补强材料进行填补,确保修补后的路面平整、密实。补强材料应选择与原路面材料相容性好的材料,以保证修补效果。而对于大面积不平整,则建议实施分段式整体翻新,清除原有缺陷并逐步推进施工,从而减少交通干扰,同时确保各阶段路面的质量^[4]。

2.4 桥梁支座脱空的预防和处理

桥梁支座脱空是市政道路桥梁施工中常见的质量问题,不仅影响结构的稳定性和安全性,还会导致桥梁的承载能力下降,加速结构的损坏。在安装支座前,应进行准确的测量和标定,确保支座的安装位置正确。精确的测量和标定是确保支座安装质量的基础,可以避免因位置偏差导致的支座脱空。在安装过程中,应使用高精度的测量工具和设备,确保支座的水平和垂直位置符合设计要求。确保预埋件牢固可靠,防止松动。预埋件是支座与桥梁结构连接的关键部件,其牢固程度直接影响支座的稳定性和承载能力。在施工过程中,应严格按照设计要求进行预埋件的安装,确保其固定牢固。可以采用焊接或锚固等方法,增强预埋件的固定效果,防止在使用过程中发生松动。合理设计和施工,确保桥面荷载分布均匀。桥面荷载分布不均是导致支座脱空的重要原因之一。设计阶段应充分考虑桥梁的使用条件和荷载分布情况,合理布置支座的位置和数量。在施工过程中,应严格按照设计要求进行施工,确保桥面荷载分布均匀,避免局部荷载过大导致支座脱空。对于已经脱空的支座,可以重新调整其位置,确保其正确安装。重新调整支座位置时,应使用专业的工具和设备,确保支座的水平和垂直位置符合设计要求。在调整过程中,应仔细检查支座与预埋件的连接情况,确保连接牢固可靠。对于松动的预埋件,可以采用焊接或锚固等方法进行加固。焊接加固可以

增强预埋件与桥梁结构的连接强度,确保其牢固可靠。锚固加固则可以通过增加锚固长度和数量,提高预埋件的固定效果。在加固过程中,应确保焊接和锚固的质量符合规范要求,避免因加固不当导致新的问题。

2.5 排水设施不畅的预防和处理

排水设施不畅是市政道路桥梁施工中常见的质量问题,不仅影响道路的正常行驶,还会引发路面积水、路基沉降及路面破损等问题,严重时甚至威胁交通安全。在设计阶段,需充分考虑地形与周边地质、水文条件,科学布局排水系统,以确保其能有效排除路面积水。合理的设计为避免因设计缺陷导致排水不畅奠定基础。在施工过程中,应保证管道接口密封良好、沟槽回填密实以及排水设施正确安装。高质量密封材料和技术的应用对于防止漏水和堵塞至关重要。沟槽回填时采用分层夯实技术,可预防管道下沉或变形。此外,制定并执行定期维护计划,包括及时清理检查排水设施状态,记录维护情况,对于保持设施长期有效运行极为关键。针对堵塞问题,建议使用高压水枪或专业清淤设备进行疏通,同时操作人员需具备相应技能,以防造成额外损害。面对损坏的排水设施,则应及时修复或更换,必要时进行全面重建,以恢复其原有功能^[5]。

3 结束语

市政道路桥梁施工中的质量通病是影响工程质量的重要因素。本研究提出了针对混凝土裂缝、钢筋锈蚀、路面平整度不佳、桥梁支座脱空和排水设施不畅等常见问题的有效预防和处理措施,包括严格控制材料质量、优化施工工艺、加强养护和维护等方面,旨在确保市政道路桥梁施工质量,延长桥梁的使用寿命,保证使用安全。相关人员应继续加强市政道路桥梁施工质量的监管,不断完善相关措施,为城市建设提供更好的保障。

参考文献:

- [1] 孙达.市政道路桥梁施工质量防控措施[J].散装水泥,2022(02):20-22.
- [2] 郑毅.市政道路桥梁施工质量的控制与管理措施[J].建材发展导向,2022,20(23):166-168.
- [3] 吴忠华.市政道路桥梁施工质量通病预防[J].科技创新导报,2022,19(27):208-211.
- [4] 孙明.市政道路桥梁施工质量通病预防处理[J].工程建设:维泽科技,2023,06(03):71-73.
- [5] 尹月华,贾志贺,马泽林.市政道路桥梁施工质量通病防治处理分析[J].运输经理世界,2024(03):118-120.

“6S”管理法在生产车间安全管理中的应用与优化

曹春¹, 高丽²

(1. 连云港泓昊复合材料有限公司, 江苏 连云港 222000;

2. 江苏传承中药有限公司, 江苏 连云港 222000)

摘要 本文介绍了“6S”管理法的定义、起源与发展, 详细阐述了其在学习车间安全管理中的应用价值, 探讨了“6S”管理法在车间安全管理中的具体实施方法。通过设定量化的安全目标、采用多样化的激励方式、建立反馈机制、鼓励员工提出改进建议、引入新技术和新方法等, 提出了优化“6S”管理法的具体策略, 以期为企业的可持续发展提供保障。

关键词 “6S”管理法; 生产车间; 安全管理; 管理工具

中图分类号: X92

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.02.034

0 引言

作为有效的管理工具, “6S”管理法在各类制造业中得到广泛应用。“6S”管理法在传统5S的基础上加入了安全这一元素, 通过系统化的整理、整顿、清扫、清洁、素养和安全管理, 减少了安全隐患, 优化了工作流程, 提高了生产效率^[1]。本文将围绕生产车间安全管理中“6S”管理法的应用和优化策略展开讨论, 旨在通过对“6S”管理法的优化, 分析如何确保企业生产过程的安全稳定, 提高生产车间的安全管理水平。

1 “6S”管理法概述

1.1 “6S”管理法的定义

“6S”管理法是一种源自日本的现场管理方法, 通过整理(Seiri)、整顿(Seiton)、清扫(Seiso)、清洁(Seiketsu)、素养(Shitsuke)和安全(Safety)六个环节, 旨在通过系统化的管理, 提升工作环境的整洁度、工作效率和安全性^[2]。通过“6S”管理法, 能够有效减少工作中的浪费和安全隐患, 优化工作流程, 提高整体生产效率和员工的工作满意度, 促进企业的持续发展。

1.2 “6S”管理法的起源与发展

“6S”管理法起源于日本, 最早是在丰田生产系统中被提出并应用。最初的“5S”管理法(整理、整顿、清扫、清洁、素养)旨在提升生产现场的整洁度和工作效率。随着生产环境的变化, “6S”管理法应运而生, 增加了“安全”这一重要环节。随着全球制造业的快速发展, “6S”管理法逐渐被广泛推广并应用于

各行各业, 不仅限于制造业, 还扩展到服务业、医疗、教育等领域^[3]。

1.3 “6S”管理法在生产车间的应用价值

通过整理清除不必要的物品, 减少空间浪费; 整顿合理安排必需品的位罝, 确保快速取用, 降低寻找时间; 清扫保持工作区域干净整洁, 及时发现并修复潜在问题, 减少安全隐患; 清洁规范前三步, 形成机制, 不断完善; 素养培养员工自觉遵章守纪的习惯, 促进整体工作效率的提高, 安全防范意识的增强。“6S”管理法既优化了工作流程, 减少了生产中的浪费和错误, 又提高了企业的竞争力和可持续发展能力, 同时也为员工创造了一个更舒适、更安全的工作环境。

2 “6S”管理法在生产车间的应用

2.1 区分必需品与非必需品, 减少安全隐患点

在“6S”管理法中, 首要任务是明确区分必需品与非必需品, 减少不必要物品的堆积, 减少安全隐患。通过对车间内所有物品进行清查和分类, 明确其使用频率、重要性及必要性^[4]。非必需品, 如过期的文件、闲置工具等, 应立即清理或存放到专门的储存区域, 不占用工作空间, 减少绊倒和拥堵的风险。对于必需品, 设置固定存放位置, 并用明显的标签、色码或标识系统标明物品的位置与用途, 确保员工能够快速、准确地获取所需物品。定期复查工作区域, 保持整洁和有序, 避免新物品堆积导致混乱和潜在的安全隐患。

2.2 定位摆放物品, 确保安全通道畅通无阻

绘制车间布局图, 对所有安全通道的定位、紧急

出口的位置都要有清楚标识，并设置严格的“禁止占用”区域。使用地面标记、货架标签或彩色编码清晰标示必需品指定的固定位置，保证各物品均有固定存放位置。例如，在工作台附近要经常摆放一些工具，而专门的区域也要摆放一些大型器材。对于工作台周围或大型设备区域，物品摆放应精确无误，以免影响通道通行。定期检查和调整摆放物品，设立专门人员进行巡查，确保工作环境的整洁，并通过员工培训，培养自觉维护通道畅通的意识。

2.3 保持环境清洁，减少污染源和火灾隐患

通过制定清洁计划并明确每日、每周和每月的清洁任务，可以有效减少生产现场的污染源和火灾隐患。例如，对地面、设备、工作台等区域进行定期清理，及时清除灰尘、废料及油污，避免积累引发安全风险。对易燃物品如溶剂、油布等，应严格按照规定存放于防火柜，并保持远离热源或火源。同时，安装通风设备，确保空气流通，减少有害气体和粉尘的积聚。通过巡查机制及时发现潜在问题，结合员工的清洁意识培训和责任分配，形成全员参与的清洁文化。完善的环境清洁管理能够显著降低火灾及其他事故的发生概率，营造安全、整洁的生产车间环境。

2.4 维护整理整顿清扫成果，形成安全习惯

通过制定标准化操作流程，明确物品摆放位置、清洁频率以及检查要求，可确保整理、整顿和清扫形成长效机制。引入可视化管理工具，如标识牌、颜色编码和地面标记等，帮助员工快速识别物品位置和操作规范。定期开展培训和宣传活动，强化员工对“6S”管理法的理解和执行力，培养自觉维护现场秩序的意识。建立巡查和反馈机制，由专人负责监督日常执行情况，对发现的异常及时处理，并通过奖励机制激励员工积极参与和改进。通过将安全与整洁融入日常工作，形成习惯化、标准化的行为模式，不仅提高了车间运行效率，也增强了员工的安全意识，减少了事故隐患。

2.5 鼓励员工参与安全管理，提出改进建议

为激励广大职工积极参与安全管理工作并提出改进意见，企业可通过微信公众号、小程序等网上平台或定期的安全会议等开放式沟通渠道，确保每一位职工都能方便地把自己的所思所想所议表达出来。建立激励机制，对提出有效改进建议的职工予以表彰，并给予物质奖励，激发职工的工作热情。组织安全培训及工作坊，增强职工安全意识和解决问题的本领，使职工在认识潜在风险的同时，有针对性地提出建设性的意见。实行“安全伙伴”制度，让经验丰富的职工与新入职员工结成对子，就安全措施进行共同探讨、

共同提高。管理层对员工提出的意见要经常进行审核，并对可行的建议及时作出反应，并将改进方案纳入日常管理。

2.6 完善颜色管理设置

对车间所有工作场所的不同区域涂刷不同颜色的油漆，并规范各类物品的区域线体颜色和规格，让员工熟悉物品的摆放位置，从而使现场管理更加清晰、直观。通过为管道涂刷颜色实现管道内流体的可视化，以预知管道危险性，防范事故发生，同时提升管道维护的效率。使用清晰的颜色标记安全区域，明确安全范围，为员工提供视觉上的指引和安全提示。

3 “6S”管理法的优化策略

3.1 设定量化的安全目标，与“6S”管理法相结合

为了提升企业的安全生产水平，将量化安全目标与“6S”管理法紧密结合，通过设定具体、可衡量的目标，并对比实际成效，显著优化了车间的安全管理，具体如表 1 所示。

表 1 量化安全目标与实际成效

安全指标	2023 年 目标值	2023 年 实际值	改善率 (%)
事故率(次/千人)	≤ 0.5	0.3	+40%
工伤频率(次/百万工时)	≤ 0.8	0.5	+37.5%
安全隐患整改率	≥ 95%	98.5%	+3.5%
设备故障率(次/月)	≤ 3	2	+33.3%
清洁度评分(满分 10 分)	≥ 8.5	9.2	+8.2%
员工安全培训覆盖率	100%	100%	-

2023 年的事故率目标为 ≤ 0.5 次/千人，实际达成 0.3 次/千人，改善率达 40%；工伤频率从目标值 ≤ 0.8 次/百万工时降至 0.5 次/百万工时，改善 37.5%。安全隐患整改率达到了 98.5%，超出 95% 的目标，显示了高效的隐患处理能力。设备故障率从每月 ≤ 3 次减少到 2 次，改善 33.3%，确保了设备的稳定运行。清洁度评分从目标值 ≥ 8.5 分提升至 9.2 分，改善 8.2%，营造了更整洁的工作环境。员工安全培训覆盖率保持 100%，确保全员接受必要的安全培训。这些量化的安全目标不仅推动了“6S”管理法的持续改进，还显著提升了整体安全绩效，为公司的长期稳定发展提供了坚实保障。

3.2 采用多样化的安全激励方式，激发员工积极性

为充分调动员工参与“6S”管理法的积极性，企业需引入多样化的安全激励机制，强化事故隐患内部报告奖励制度。安全生产管理部门应根据员工提供的《事故隐患报告单》对隐患进行分类分级，包括人的

不安全行为、物的不安全状态、环境缺陷和管理缺失等类别；隐患分为一般事故隐患和重大事故隐患两级。一般隐患需立即整改或在7日内完成限期整改，重大隐患则需落实整改责任人、措施、资金、期限和应急预案，整改完成后需经安全管理部门与报告人共同确认闭环，并根据隐患类别给予不同金额的奖励。同时，可组织“安全隐患随手拍”“安全风险及时报”等活动，促进员工主动参与安全管理。定期开展“安全之星”评选，对表现优秀的员工给予表彰，通过奖金、奖品或荣誉证书提升其成就感和责任感，使安全管理与员工激励相结合。实施团队竞赛机制，将车间分组并进行安全评比，对表现突出的团队给予集体奖励，促进团队协作和良性竞争。设置“安全建议奖”，鼓励员工积极提出改善安全环境的建议，对采纳的有效建议给予奖励，激发创新意识^[5]。通过定期开展安全培训、工作坊等活动，将奖励与技能提升结合，增强员工的安全意识和能力。

3.3 建立反馈机制，及时收集并处理安全问题

为了确保“6S”管理法在生产车间中的有效实施，建立了完善的反馈机制，及时收集和及时处理安全问题。公司设立了多渠道的反馈途径，包括微信公众号、小程序等在线平台和定期的安全会议，确保每位员工都能方便地提交安全建议或报告潜在隐患。建立了专门的安全问题跟踪系统，所有反馈的问题都会被记录在案，并分配给相关部门负责人进行调查和处理。每个问题都设有明确的解决时限，通过系统实时更新进展，确保问题得到快速响应^[6]。公司还设立了专门的公众号运营团队，员工可以通过微信公众号、小程序直接反馈给安全管理部门，紧急情况下可获得即时帮助。定期举行安全总结会议，评估处理效果，并表彰优秀部门和个人。

3.4 鼓励员工提出安全改进建议，持续优化“6S”管理法

为了持续优化“6S”管理法在生产车间的应用，公司设立了“安全建议箱”和在线提交平台，鼓励员工随时提交他们的安全改进意见。对于每一条建议，管理层都会进行认真评估，并与提出者沟通讨论其可行性和实施细节。公司还设立了“安全创新奖”，对提出有效改进建议的员工给予表彰和物质奖励，如奖金、礼品或荣誉证书，以激励更多员工参与。定期组织安全工作坊和培训课程，培养员工的安全意识和问题解决能力，使他们能够更好地识别潜在风险并提出建设性意见。

3.5 引入新技术、新方法，提升安全管理水平

为进一步提升生产车间的安全管理水平，公司积

极引入新技术与新方法，全面强化“6S”管理法的实施效果。通过手机APP建立安全巡检和风险扫描机制，现场隐患可实时反馈至系统后台，由后台指派责任人限期整改，整改完成后上传照片形成闭环管理。同时，结合员工风险辨识清单，梳理车间各岗位的风险源，形成风险清单，并按照一般风险和较大风险等级制定针对性的管控措施，明确责任人。

对照《工贸企业重大事故隐患判定标准》等相关法规，开展全面风险辨识，确保较大以上风险百分百如实上报^[7]。在车间部署物联网传感器网络，实时监测温湿度、有害气体浓度等环境参数，超出安全阈值时立即报警并触发应急处理。引入智能巡检机器人，自动监控设备温度、压力、振动等运行指标，减少人工巡检的误差。通过大数据分析平台，对采集的环境与设备数据进行深度分析，利用预测模型预警潜在隐患，同时采用电子工单系统数字化管理，提升问题处理效率与安全管理水平。

4 结束语

“6S”管理法作为一种先进的现场管理工具，在车间安全管理中发挥着至关重要的作用。通过系统地实施整理、整顿、清扫、清洁、素养和安全六个方面的管理措施，“6S”管理法不仅有效降低了安全隐患，还大幅提升了工作环境的整洁度和安全性。随着信息技术和智能化设备的引入，“6S”管理法在实际应用中得到了显著的改善。例如，借助物联网传感器实时监控车间环境和设备状态，智能巡检系统和大数据分析平台的结合使得安全隐患的预测和处理更加精准，管理效率大幅提高。未来，“6S”管理法将更加依赖信息化和智能化手段，通过实时数据采集与分析，实现对车间资源（人、材、机、管）的全面优化管理。

参考文献：

- [1] 汪家玲. 企业安全生产应急管理问题分析与应对策略：基于“4L-5S”机理分析模型[J]. 现代企业, 2023(12): 9-11.
- [2] 王秀平. “5S”管理理念在环境监测站化学试剂库中的应用[J]. 海峡科学, 2023(11): 82-85.
- [3] 田秀娟, 刘雪萍, 朱天钰, 等. 基于“5S”管理模式的实验室安全文化建设[J]. 南方论刊, 2022(05): 62-64.
- [4] 王卫东. 生产车间安全管理模式创建与运行思考[J]. 劳动保护, 2023(03): 64-65.
- [5] 同[2].
- [6] 同[3].
- [7] 崔忠国, 冉兴明, 田莉莉, 等. 对打造企业优秀安全管理团队的思考[J]. 中国金属通报, 2023(12): 104-106.

精细化管理在住宅建筑施工管理工作中的实践研究

刘 博

(德州市建筑业发展促进中心, 山东 德州 253000)

摘 要 从目前建筑行业的整体发展情况来看, 建筑企业为了实现利益最大化, 工程建设速度提升明显。由于一些企业不注重精细化管理, 导致施工质量管理等工作松懈, 承建的建筑工程的质量不符合相关标准规范要求, 造成建筑行业中的质量事故频发。为了推动建筑行业实现更快更好的发展, 本文对精细化管理在住宅建筑施工管理工作中的实践进行分析, 指出精细化管理不仅可以减少传统管理手段的局限性, 并且有利于减少建筑工程的隐患, 应加强精细化管理的推广应用。

关键词 精细化管理; 住宅建筑; 施工管理

中图分类号: TU71

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.02.035

0 引言

随着社会经济的发展和科技的进步, 住宅建筑工程管理面临着日益复杂的挑战。传统的管理模式已经无法满足建筑工程管理的需求, 因此, 精细化管理的应用成为一种重要的管理方法。精细化管理通过提高管理规范化程度、加大人员培养力度和提高技术含量, 可以有效地提升建筑工程管理的效率和质量。本文探讨精细化管理在住宅建筑工程管理中的实践, 以期对建筑工程管理的改进提供参考。

1 精细化管理在住宅建筑施工中的作用和意义

精细化管理在住宅建筑施工中的重要性体现在多个方面。精细化管理可以通过合理规划施工流程, 优化资源配置, 提高施工质量等方式, 可以缩短工期, 降低成本, 从而提高整体施工效率。例如, 合理安排施工进度, 避免资源浪费和重复工作, 可以有效提高项目效益。

精细化管理可以提升施工质量, 严格控制施工过程中的各个环节, 确保施工质量符合相关标准和要求, 减少质量问题的发生。例如, 加强对施工现场的监督和检查, 及时发现并解决质量问题, 可以提升施工质量, 确保工程质量达标。

精细化管理还可以降低施工风险, 通过提前识别和解决可能出现的问题, 降低施工风险, 避免重大事故和损失的发生。例如, 建立完善的安全管理制度, 加强施工现场安全防范措施, 可以有效降低施工风险, 确保施工过程安全稳定。

精细化管理能提升管理水平。施工管理人员需要具备较高的管理水平和技能, 通过实施精细化管理, 可以提升管理人员的管理水平, 提高团队协作能力和执行力。例如, 加强施工管理人员的培训和学习, 提升他们的管理技能和专业知识, 可以提高管理水平, 确保施工项目顺利进行。

精细化管理会增强企业竞争力, 提高施工效率和质量, 降低成本和风险, 提升管理水平, 可以增强企业在市场竞争中的竞争力, 赢得更多的订单和客户信任。例如, 建立良好的企业形象和口碑, 提供优质的施工服务, 可以吸引更多客户, 提升企业竞争力, 实现可持续发展。

精细化管理在建筑施工中是至关重要的, 其对于提高施工效率、质量, 降低风险, 提升管理水平和增强企业竞争力都具有重要意义。建议施工企业在实践中注重精细化管理, 不断完善管理制度和流程, 提升管理水平和施工质量, 实现可持续发展^[1]。

2 住宅建筑工程施工管理现状及存在问题

2.1 施工安全隐患问题

住宅建筑工程项目大多处于露天环境, 极易受到多方面因素的影响出现问题, 影响工程质量。通常情况下, 导致安全事故发生的原因主要在施工准备阶段, 现场施工作业人员自身缺乏安全责任意识, 导致施工材料或机械设备出现随意堆放的问题, 给后续施工作业带来不便的同时容易引发安全问题。与此同时, 部分施工企业没有按照相关规范及标准, 在施工现场危

险系数较高的区域设置相应的安全标识,导致施工现场潜在的安全隐患不能在第一时间解决。长期缺乏安全监管工作及安全措施,不仅会对工程进度产生极为不利的影 响,还会影响工程质量,一旦发生安全事故,将导致巨大的经济损失,对建筑工程的稳定发展极为不利。

2.2 住宅建筑工程质量问题

当前阶段,面对日益激烈的市场竞争环境,部分施工企业在招投标过程中往往通过降低报价的方式得到工程项目,在后续施工过程中通过采购质量不合格的材料降低生产成本,导致“豆腐渣”工程时有发生。一旦发生地震等自然灾害,建筑主体将会出现倒塌等问题,造成巨大的人员伤亡及财产损失。除此之外,还有部分施工企业忽视施工环节的质量检验,导致在后续验收过程中出现返工、返修等问题,给施工企业带来不必要的经济损失。

2.3 建筑技术人员水平不高

现阶段,我国住宅建筑工程的现场施工作业人员往往不具备较高的专业素养,在先进技术的掌握以及机械化设备的应用方面,仍存在较大的问题。即使施工企业应用了现代化管理模式与方法,但倘若没有对其进行系统化的培训,在实际工作开展的过程中,也会呈现出多种多样的问题。与此同时,还有部分施工作业人员安全意识薄弱,没有形成较强的安全理念,导致安全防护措施不到位,一旦出现问题,极有可能引发重大安全事故。还有部分技术人员凭借自身多年的工作经验,忽视规范操作的重要性,给工程质量带来极为不利的影 响。

3 精细化管理在住宅建筑施工管理工作中的实践措施

3.1 改善管理理念,积极贯彻精细化理念

施工企业应用精细化管理理念时,应转变传统管理理念固化思维,按照精细化模式优化管理方案,对各项管理工作的实施进行系统化调整。加强3S技术和无人机勘察技术的联合应用,对施工现场做出精细化的勘察,充分把握好工程项目的建设要求,一方面严格遵守国家的相关规范,另一方面在现场建设的时候保持较高的灵活性。施工企业贯彻精细化管理理念的时候,要落实责任制,每一个施工部门、每一个施工岗位都有自己的施工作业权限,同时也要遵守相关的规范标准,承担对应的责任和义务,由此督促施工团队按照相关规范开展工程建设,减少施工责任推卸问题,最大限度减少工程项目的内部矛盾。通过精细化

管理理念的应用,施工企业的各项管理工作可不断优化,施工思路和管理思路有效融合,有利于发挥出施工技术 的价值,推动项目进步^[2]。

3.2 机械设备的精细化管理

建筑施工企业应基于施工现场条件,选择购买或租赁机械设备。若项目远离基地或需短期使用特殊机械,租赁方式更经济。租赁可按工程量或时间支付费用,需合理控制使用时间并确保机械完好,以减少额外租赁成本。

施工企业应重视机械的保养与维修,以延长使用寿命并降低成本。日常使用后应进行基本清洁和润滑,定期由专业人员检查、维护和更换磨损部件,从而分阶段减少大修次数。

为避免资源浪费,施工企业应优化机械设备的组织与管理,合理安排施工计划以提升利用率。无论是租赁还是自有设备,都应集中统一调配,降低闲置成本,特别需精确安排租赁设备进出场时间以降低成本支出。

在施工机械操作中,应规范操作人员的操作行为,确保其遵循安全操作规程。同时,定期为机械设备操作人员提供培训,以降低安全风险。操作人员需持证上岗,并随设备更新接受相应培训。另外,合理安排工作量并建立考核机制^[3]。

3.3 加强安全管理

在住宅建筑工程施工管理工作开展阶段,将精细化管理措施落实到基层,确保各方面的安全管理工作有效开展。首先,结合项目实际情况,制定详细的安全管理计划,包括施工期间的安全目标、安全策略、责任分工和安全培训计划等内容。且根据项目的特点和风险评估,制定相应的安全措施和应对预案,以应对可能发生的安全风险和事故。同时,设置明确的施工区域和临时设施,划定安全通道和危险区域,并进行明显的标识和警示。对施工现场进行定期巡查和检查,及时发现和处理存在的安全隐患,并记录整改情况。此外,制定并落实安全操作规程,包括各类施工工艺和操作步骤的安全要求,确保施工过程中的安全控制。根据施工实际情况,优化工艺流程,减少危险因素,提高施工效率和安全性。

4 精细化管理在住宅建筑工程施工管理中的应用方向

4.1 建筑施工进度的精细化管理

在住宅建筑工程施工管理中,精细化管理扮演着至关重要的角色。精细化管理通过科学的方法和先进的技术手段,对建筑施工进度进行详细而准确的管理

和控制。在实际应用中,精细化管理在建筑施工进度方面有着广泛的应用。精细化管理可以提高建筑施工进度的准确性。通过精确的数据分析和预测模型,可以对建筑施工进度进行精确的预测和控制。这样可以避免因进度延误而导致的资源浪费和工期延长,从而提高建筑施工效率。精细化管理可以提高建筑施工进度的可控性。通过建立科学的管理制度和流程,可以对建筑施工进度进行全方位的监控和管理。同时,利用先进的传感器和监测设备,可以实时获取施工现场的数据,并进行分析和处理。这样可以及时发现和解决施工进度中的问题,保证施工进度的顺利进行。另外,精细化管理还可以提高建筑施工进度的灵活性。通过对施工进度进行详细的分解和计划,可以更好地掌握施工过程中的关键节点和关键路径。这样可以在施工过程中对进度进行调整和优化,从而提高施工效率和质量^[4]。

4.2 建筑施工质量的精细化管理

在住宅建筑工程施工管理中,建筑施工质量的精细化管理是一个重要的应用方向。随着社会的不断进步和人们对建筑质量要求的提高,传统的施工管理方式已经无法满足现代住宅建筑工程的需求。因此,采用精细化管理的方式来提升建筑施工质量已经成为一个必然的趋势。(1)精细化管理可以通过优化施工工艺来提升建筑施工质量。传统的施工管理方式往往只注重施工进度的控制,而对于施工工艺的优化却不够重视。而精细化管理理念强调从技术层面上优化施工工艺,通过精确的施工工艺安排和操作规范,有效地避免施工过程中的质量问题,提高建筑施工质量。(2)精细化管理可以通过加强施工质量监督来提升建筑施工质量。在传统的施工管理过程中,施工质量监督往往只是一个形式化的环节,缺乏实质性的监督和控制。而在精细化管理中,施工质量监督被赋予更多的责任和权力,可以对施工过程进行全方位的监控和控制,及时发现和解决施工质量问题,确保建筑施工质量的稳定和可靠。(3)精细化管理可以通过加强施工质量培训来提升建筑施工质量。在传统的施工管理中,施工队伍的施工质量培训往往被忽视,导致施工人员对于施工质量的认识和要求有所欠缺。而精细化管理则强调对施工人员的培训和教育,使其具备更加专业的技术和知识,提高施工质量的水平,从而提升建筑施工质量。(4)精细化管理可以通过加强施工质量数据分析来提升建筑施工质量。传统的施工管理往往缺乏对施工质量数据的有效分析和利用,无法及时发现和解决施工质量问题。而精细化管理强调对施工质量数

据的收集和分析,通过科学的数据分析方法,及时发现施工质量问题的根源,制定相应的解决方案,并进行有效的监控和评估,提升建筑施工质量^[5]。

4.3 人员配置的精细化管理

在住宅建筑施工管理的过程中,要想实现人员合理配置,促使人员之间能相互的协调,管理人员可充分的应用精细化管理方法。具体主要体现在以下方面:首先,打造专业化施工队伍,做好施工队伍管理。施工队伍贯彻好精细化管理理念,一定程度上,可以保障建筑工程施工质量,增强施工人员自身的素质,以实现成本控制。其次,项目经理应多储备专业知识,强化自身的专业能力,并加大巡视力度,加强监督检查,这样如果现场存在问题,能够及时发现并解决。最后,建筑工程管理人员不仅要具备丰富的理论知识,还需要有从业资格证书和丰富的施工经验。此外,应重点培养现有的施工人员,并结合当前施工人员的具体情况制定培训计划,加大培训力度,按照培训计划对施工人员进行培训,在培训中强调精细化管理理念的重要性,进而引起施工人员的重视,提高施工人员的综合素质。

5 结束语

精细化管理在住宅建筑施工中的应用是提高施工质量、安全和效率的重要手段。通过对建筑施工中存在的管理问题进行分析 and 总结,可以看到精细化管理的重要性和必要性。在实践中,树立精细化管理理念,加强施工材料的管理,提升施工人员的管理水平,加强施工安全管理和质量管理等方面的措施都是非常有效的。在住宅建筑施工管理工作中,精细化管理不仅是一种管理方法,也是一种管理理念和文化。只有树立起精细化管理的意识,才能真正做到全员参与、全过程管理,从而提高建筑施工的质量和效率,确保工程的安全和可靠性。

参考文献:

- [1] 杨依曼.精细化管理在建筑施工管理工作中的应用探讨[J].建材发展导向,2023,21(04):166-168.
- [2] 周伟.探究建筑工程施工的精细化施工管理措施[J].四川建材,2023,49(03):210-211.
- [3] 赵虎狮.精细化管理在建筑工程管理中的应用[J].建材与装饰,2023,19(02):102-104.
- [4] 刘威.精细化管理在建筑施工项目管理中的实践研究[J].精品,2021(09):161.
- [5] 彭银华.精细化管理在建筑施工项目管理中的实践研究[J].建筑与装饰,2021(23):82-84.

高压直流输电线路防雷策略研究

周欣

(中国电建集团重庆工程有限公司, 重庆 400060)

摘要 高压直流输电技术因其输电效率高、线路损耗小、调节灵活等优点,在现代电力系统中得到了广泛应用。然而,随着输电电压等级的提升和输电线路长度的增加,防雷问题也日益凸显。本研究针对高压直流输电线路的防雷问题,通过分析线路的结构、运行、雷电特性,归纳总结了高压直流输电线路防雷策略,并提出加强线路绝缘配置、完善防雷设施、强化理论与实践研究,构建综合防雷体系等优化对策,旨在为高压直流输电线路的防雷设计及运行维护提供理论依据和实践指导。

关键词 高压直流输电; 防雷策略; 新型防雷技术; 绝缘配置

中图分类号: TM86; TM726

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.02.036

0 引言

雷电灾害对电力系统尤其是高压直流输电线路的安全运行构成了严重威胁。雷电不仅可能直接击中输电线路,引发线路跳闸、设备损坏,甚至可能通过感应雷等形式对附近的电气设备造成间接影响,导致大规模停电事故。因此,深入探讨高压直流输电线路的防雷策略,对于提升电力系统的整体防雷能力、保障电网的安全稳定运行具有重要意义。

1 高压直流输电线路特性研究

高压直流输电线路具有结构简单、大容量、远距离输电、系统稳定性好以及调节快速等特点。同时,高压直流输电线路的雷电特性也是确保线路安全稳定运行的重要考虑因素之一。为了保障线路的安全运行,需要采取有效的防雷措施来降低雷击风险。

1.1 高压直流输电线路的结构特点

高压直流输电线路的结构特点对防雷策略的制定具有决定性影响。首先,线路走廊小。与交流线路相比,直流线路走廊较小,杆塔结构简单,线路造价相对较低。这主要是因为直流线路不存在电容电流,沿线电压分布均匀,因此不需装设并联电抗器。其次,电缆线路具备明显优势。直流电缆线路输送容量大、造价低、损耗小,且不易老化、寿命长。此外,直流电缆的输送距离不受限制,有利于远距离送电。最后,换流站设备复杂。虽然直流线路本身结构简单,但换流站设备相对复杂,包括换流器、平波电抗器、交流滤波器、直流滤波器、无功补偿设备以及各种类型的交流和直流避雷器等。

1.2 高压直流输电线路的运行特点

(1) 适用于大容量、远距离输电。高压直流输电技术具有大容量、远距离输电的能力,特别适用于大型水电站和火电厂的电力输出。(2) 系统稳定性好。直流输电相较于交流输电有着更为强大的系统,能保障电网的非同期互联,有利于远距离大容量送电,且不会因系统稳定问题而受限。(3) 调节快速、运行可靠。直流输电通过可控硅换流器能快速调整有功功率,实现“潮流反转”(功率流动方向的改变)^[1]。在正常时能保证稳定输出,在事故情况下可实现健全系统对故障系统的紧急支援。(4) 限制短路电流。当用直流输电线路连接两个交流系统时,直流系统的“定电流控制”将快速把短路电流限制在额定功率附近,短路容量不因互联而增大^[2]。

1.3 高压直流输电线路的雷电特性

高压直流输电线路的雷电特性是制定有效防雷策略的关键因素,雷电特性主要包括雷电流的幅值、波形、持续时间以及雷击点的随机性,雷电流的幅值大,能量集中,能够在短时间内对输电线路造成严重的破坏。雷电流的波形陡峭,上升时间短,对线路的瞬态响应能力提出了较高要求。雷击的持续时间虽然短暂,但因无预兆性,使得防雷措施的实施面临挑战。雷击点的随机性导致线路不同区段的雷电风险差异显著,增加了防雷工作的复杂性。

2 高压直流输电线路防雷策略现存问题

2.1 绝缘配置不合理

在高压直流输电线路的运行中,绝缘配置的合理性对于线路的安全稳定至关重要,然而当前绝缘配置

存在不合理的地方。首先,绝缘水平的选择未能充分考虑到线路所在地区的雷电活动强度、地形地貌特征以及线路本身的运行特性,导致绝缘配置与实际需求存在偏差。绝缘配置的均匀性不足,部分区段的绝缘水平过高,造成资源浪费,而另一些区段则可能因绝缘水平不足而成为雷击事故的高风险区域。其次,绝缘配合不当。绝缘配合是指线路中各种绝缘设备(如绝缘子、避雷器等)之间的配合关系。如果绝缘配合不当,可能导致在雷电冲击下,部分绝缘设备承受过高的电压而损坏。例如,如果避雷器的保护水平与绝缘子的绝缘水平不匹配,可能导致避雷器无法有效保护绝缘子免受雷电冲击^[3]。最后,绝缘配置的更新维护不及时,随着线路运行年限的增加,绝缘材料的老化问题日益突出,而未能及时进行更换或升级,进一步加剧了绝缘配置的不合理性。这种绝缘配置不合理的问题,不仅影响了高压直流输电线路的防雷性能,还可能对线路的长期运行安全构成威胁,增加运维成本。在绝缘配置过程中,工程师应当综合考虑线路的电气特性、环境因素、雷电活动规律等多方面因素,确保绝缘配置的科学性和合理性。对于绝缘配置的研究和设计,需要建立起一套完善的评估体系,以实现绝缘配置效果的前期预测和后期评价。

2.2 防雷设施不完善

在高压直流输电线路的防雷保护领域,防雷设施的完善程度直接关系到线路的雷击抵御能力,当前防雷设施不完善主要体现在以下几个方面:首先,防雷设施的布局存在缺陷,未能根据线路的实际路径和地形地貌特点进行科学规划,部分关键区域防雷设施不足。例如,避雷线(架空地线)设置不足。避雷线是高压输电线路防雷的基本措施之一,但在一些地区或线路上,避雷线的设置无法有效覆盖所有需要保护的区域。避雷线的保护角设置不合理,也会导致防雷效果不佳。保护角的大小会直接影响避雷线的防绕击能力,如果保护角过大,则避雷线的防绕击效果会减弱^[4]。避雷器也是限制雷电过电压的重要设备,配置不足会导致无法有效保护所有需要保护的设备。其次,防雷设施的设计与实际需求不匹配,部分设施的性能参数未能达到预期的防雷效果,难以有效抵御强雷电的冲击。例如,一些地区接地装置存在腐蚀、施工质量差等问题,导致接地电阻升高,影响防雷效果。又如,部分地区的避雷器选型不当,导致其无法适应线路的实际运行条件和雷电活动情况。最后,防雷设施的维护管理不到位^[5],长期运行中的磨损、老化问题未能得到及时解决,影响了防雷设施的稳定性和可靠性,

使得高压直流输电线路在面临雷电威胁时,防护能力大打折扣,不仅增加了线路故障的风险,还可能引发连锁反应,导致更为严重的电力系统事故。在防雷设施设计和建设中,需要充分考虑线路的运行环境、雷电活动特征以及防雷技术的最新发展,确保防雷设施的合理布局 and 高效运行,加强对防雷设施的日常维护与管理,建立健全的监测和检修制度,是提升防雷设施性能、保障线路安全的关键所在。

2.3 防雷技术研究不足

在高压直流输电线路的防雷领域,技术研究的不足已经成为制约线路安全运行的重要因素。当前防雷技术研究不足主要体现在以下几个方面:(1)防雷措施的针对性不强。高压直流输电线路的防雷措施往往缺乏针对性,没有充分考虑线路所在地区的气象条件、地形地貌和线路特性等因素。例如,在一些雷电活动频繁且地形复杂的地区,可能需要更加复杂的防雷措施来确保线路的安全运行。然而,现有的防雷措施往往过于简单或过于依赖传统的避雷线、避雷器等设备,而没有根据具体情况进行定制化设计。(2)防雷技术应用的创新性不足。防雷新技术、新材料的研发与应用相对滞后。例如,现有的防雷措施主要依赖于传统的物理屏障和接地装置,而在新材料、新技术和新方法的应用方面相对滞后。随着科技的不断进步,一些新型的防雷材料和技术(如纳米材料、超导材料等)已经逐渐崭露头角,但在高压直流输电线路防雷领域的应用仍然相对较少。防雷技术的集成创新不足,现有研究多侧重于单一技术的改进,缺乏对多种防雷技术综合应用的研究,难以实现防雷效果的全面提升。(3)防雷设施的维护和更新滞后。一些地区的防雷设施可能由于年久失修或技术更新滞后而无法满足当前的防雷需求。此外,新型的防雷设施和技术在推广和应用过程中也面临着一些挑战,如成本高昂、技术成熟度不足等问题。(4)差异化防雷技术的研究和应用不足。差异化防雷技术是一种根据线路特性、气象条件和地形地貌等因素进行定制化设计的防雷方法。然而,在高压直流输电线路防雷领域,差异化防雷技术的研究和应用仍然相对较少。这可能是由于对线路特性和气象条件的了解不够深入,以及缺乏足够的经验和数据支持等原因导致的。这种研究不足的现状,不仅限制了高压直流输电线路防雷能力的提升,还可能影响电力系统的稳定性和供电可靠性,加强防雷技术研究显得尤为迫切。应当着重于雷电活动的基础理论研究,为防雷措施的制定提供更为坚实的科学基础,加大新型防雷技术和材料的研发力度,推动防雷技术的创新与升级。

3 高压直流输电线路防雷策略优化对策

3.1 加强绝缘老化检测与维护, 优化绝缘配置

首先, 要优化绝缘子选型。工程师要确定应用场景, 了解绝缘子将用于哪种类型的输电线路或变电站, 以及特定的环境条件, 如海拔高度、污秽程度^[6]、气候条件等; 还要了解电气要求: 确定所需的绝缘电阻、耐击穿电压等电气参数, 以确保绝缘子在工作状态下能够保持足够的绝缘性能。根据线路所在地区的雷电活动情况和线路的重要性等因素, 选择合适的绝缘子类型和数量。例如, 在雷电高发区, 应优先考虑使用抗雷水平较高的绝缘子。其次, 要加强绝缘配合。对线路中的绝缘设备进行合理的配合, 确保在雷电冲击下, 各绝缘设备能够共同承受电压, 避免单一设备承受过高电压而损坏。最后, 提高运维管理水平。在高压直流输电线路的防雷策略中, 绝缘老化检测与维护是确保线路安全运行的关键环节, 必须使用定期检测、在线监测和故障后检测等多种手段, 以实现绝缘状态的全面评估。为了提高维护效率, 应充分利用大数据和人工智能技术, 对绝缘老化数据进行深度分析, 预测绝缘老化趋势, 从而实现精准维护。加强绝缘老化检测与维护的技术培训, 提高运维人员的技术水平, 确保防雷策略的有效实施, 提升高压直流输电线路的防雷能力, 保障电力系统的稳定运行。

3.2 完善防雷设施, 推广应用新型防雷技术

针对高压直流输电线路的防雷需求, 完善防雷设施是提高线路抗雷击能力的重要策略。(1) 应优化线路的防雷设计, 包括合理选择避雷线、接地装置和绝缘配置, 避雷线的选择应考虑线路所在地区的雷电活动特性, 采用具有较高耐雷性能的材料。(2) 接地装置的设计应确保接地电阻满足规范要求, 以提高雷电流的泄放效率, 绝缘配置则需要根据线路的电压等级和运行环境进行优化, 以提高绝缘水平。(3) 应加强对防雷设施的定期检查与维护, 确保始终处于良好的工作状态。这包括对接地装置的腐蚀情况进行检查, 对避雷线进行机械性能检测, 以及对绝缘子进行清洁和更换。(4) 应推广使用新型防雷技术, 如采用氧化锌避雷器、可控硅阀式避雷器等, 这些技术能够有效降低雷击事故的发生概率, 提高线路的防雷性能, 结合线路实际运行情况, 开展防雷设施的适应性改造, 针对不同地形和气候条件, 采取差异化防雷措施。通过这些措施可以构建一个多层次、全方位的防雷保护体系。

3.3 提升高压直流输电线路防雷技术研究的针对性

高压直流输电线路防雷技术研究不足的问题需要引起足够的重视。通过加强理论研究、提高防雷措施的针对性、推动技术创新和进步、加强设施维护和更新以及加强对差异化防雷技术的研究和应用等措施。高压直流输电线路防雷理论研究应充分考虑线路特性、气象条件和地形地貌等因素, 建立更加完善的防雷设计体系; 提高防雷措施的针对性, 即根据具体情况进行定制化设计, 确保防雷措施的有效性和经济性; 加强新材料、新技术和新方法在高压直流输电线路防雷领域的应用研究, 推动防雷技术的创新和进步; 加强防雷设施的维护和更新工作, 确保设施的可靠性和有效性; 加强对差异化防雷技术的研究和应用, 提高防雷措施的针对性和适应性。上述策略的实施, 可以显著提高高压直流输电线路的防雷水平, 为电力系统的安全运行提供有力保障。

4 结束语

新型防雷技术在提高高压直流输电线路防雷性能方面具有显著优势, 应加大研发和推广力度, 优化线路绝缘配置是提高防雷能力的关键环节, 需根据线路特点进行合理设计。构建综合防雷体系, 实现多措施相结合, 是确保高压直流输电线路安全稳定运行的有效途径, 可为高压直流输电线路的防雷设计及运行维护提供参考, 对提高电力系统的防雷水平具有一定的指导意义, 然而防雷技术仍需不断创新发展, 以适应不断变化的电力系统需求。

参考文献:

- [1] 杨佳财. 直流输电线路对环境影响探究[J]. 环境科学与管理, 2007(11):177-182.
- [2] 陈曦. 特高压直流输电的技术特点和工程应用[J]. 华北电业, 2013(03):68-69.
- [3] 刘辉, 孙家祥, 沈庆河, 等. 高压直流输电线路复合绝缘子的积污特性研究[J]. 绝缘材料, 2016, 49(60):51-55, 61.
- [4] 陈雅芳. 基于EMTP的35 kV线路架设避雷线提高耐雷水平的研究[J]. 电工技术, 2023(01):155-158.
- [5] 李莉, 伍星. 浅谈防雷设施的日常管理和维护[C]//广东省气象学会. 广东省气象学会2012年学术年会论文摘要文集. 开平市气象局, 2012.
- [6] 王欣伟, 俞华, 刘星廷, 等. 超重污秽环境下输电线路绝缘配置校核及优化方法[J]. 高电压技术, 2024, 50(07):3161-3171.

组合式冷藏库变频调节的节能分析

蒋梦杰, 胡利烽, 赵炜豪

(浙江汇杰制冷设备有限公司, 浙江 绍兴 312300)

摘要 为了解决组合式冷藏库高能耗的挑战, 本文深入探讨了其运行特性及节能需求, 提出变频调节技术作为优化方案。通过动态负载匹配、精准温控、降低启动能耗以及提升热负载响应效率等多维度分析, 阐述了变频调节技术的节能原理及具体作用。研究结果显示, 变频调节技术凭借精准的运行频率调整, 不仅显著降低了冷藏库的能源消耗, 还优化了负载匹配和温控性能, 同时有效延长了设备寿命。

关键词 组合式冷藏库; 变频调节; 节能优化; 动态负载匹配

中图分类号: TB657

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.02.037

0 引言

为了满足食品、医药等易腐物品的储存需求, 冷藏库在冷链物流中的地位日益突出。然而, 其高负载和长时间运行特性导致能耗问题尤为严峻, 成为制约行业可持续发展的关键瓶颈。在传统恒频模式下, 设备难以实现动态调节, 能效偏低, 亟需通过创新技术实现突破。组合式冷藏库凭借模块化设计与灵活配置优势广泛应用于冷链场景, 但因负载波动性强、温控需求复杂, 对节能技术提出了更高的要求。变频调节技术通过动态调整供电频率, 精准适应实际负载需求, 不仅能够降低能源浪费, 还可以显著提升温控稳定性和设备运行寿命。这种技术的核心优势在于对动态负载的精准响应与高效调节, 为冷链行业绿色转型提供了可行方案。本文从组合式冷藏库的运行特点出发, 系统探讨了变频调节技术在动态负载匹配、温控优化及降低启动能耗等方面的节能效果, 旨在为冷藏库节能技术的应用与推广提供科学依据与技术参考^[1]。

1 变频调节技术的原理及其适用性

1.1 变频调节技术的原理

变频调节技术的核心在于通过调整电机的供电频率实现设备运行速度的动态控制, 从而优化能耗匹配。其基本公式如下:

$$N = \frac{120 \cdot f}{P} \quad (1)$$

式中: N 为电机转速, rpm; f 为供电频率, Hz; P 为电机极对数。

通过改变供电频率 f , 设备的运行速度 N 随之变化。例如, 在低负载运行时, 通过降低 f 来减少电机转速,

从而降低功率输出和能源消耗。

此外, 变频调节技术的软启动功能显著降低了启动瞬间的高电流冲击。传统恒频模式下, 设备启动时可能产生高达额定功率 6 ~ 8 倍的瞬时电流, 而变频调节通过低频启动, 逐步提升至目标频率, 平稳过渡至正常运行状态。这种平滑启动方式有效减少了电流冲击, 并显著降低机械部件的磨损, 延长了设备的使用寿命^[2]。

1.2 变频调节技术的适用性

变频调节技术以其高效灵活的特性, 尤其适用于负载波动频繁、运行需求复杂的组合式冷藏库, 其价值主要体现在以下几个方面: 首先, 在动态响应能力方面, 变频调节技术展现出了传统恒频模式无法比拟的优势。组合式冷藏库的负载会因货物进出、环境温度变化而不断波动, 而变频技术能够实时监测这些变化并即时调整供电频率, 从而精准匹配实际需求, 避免不必要的能源消耗。与传统恒频模式相比, 变频调节不仅能快速适应负载变化, 还能实现更高效的能源利用。例如, 传统系统在固定频率运行时, 常因响应延迟而导致能耗的浪费, 而变频调节技术通过高精度的动态调整, 有效提升了负载与能源输出的匹配度, 大幅度优化了能效表现。其次, 该技术在温控精准性上的提升尤为显著。温度控制对冷藏库储存物品的质量有直接影响, 而变频调节技术通过对压缩机和风机频率的精准调节, 将温控精度从传统恒频模式的 ± 2 °C 提升至 ± 0.5 °C。这种高精度的温控能力在诸如食品冷链和医药冷库等高要求场景中表现突出。以生鲜运输为例, 温度波动可能导致食品的腐败, 而医药冷库对温度波动的容忍

度更低。因此,高精度温控不仅能确保储存物品的质量,还能延长其保质期,间接降低了冷藏库的运行成本。此外,这种温控优势进一步强化了冷藏库的市场竞争力,使其能更好地满足高标准行业的需求。最后,变频调节技术的环境适应能力也展现出了卓越的灵活性。组合式冷藏库需要应对复杂多变的运行环境,无论是外界温差剧烈变化,还是货物频繁进出的动态工况,变频技术都能通过调整运行参数满足不同场景的需求。例如,在低负载的情况下,它可以通过降低设备运行频率来维持节能状态;而在高负载时,则能快速提升供能水平以满足需求。正是这种高度灵活的调整能力,使变频调节技术能够在各种复杂条件下保持冷藏库的高效稳定运行。

2 组合式冷藏库的运行特性与节能需求。

2.1 组合式冷藏库的运行特性

组合式冷藏库作为一种由多个独立模块或区域构成的冷链设备,以灵活的温度控制和运行模式适应多样化的储存需求,其运行特性具有显著的复杂性和灵活性。首先,模块独立性是其核心特征。不同模块可以依据储存需求独立设置温度和运行状态,例如部分模块用于冷冻存储,另一些模块则专注于冷藏或保鲜。这种模块化设计不仅增强了冷藏库的功能适配性,还能够在多样化场景中实现灵活应用。然而,模块化特性也带来了运行管理上的复杂性,尤其是在各模块负载需求变化频繁的情况下,传统的恒定运行模式已难以满足高效管理需求。其次,负载需求的不均衡性进一步突出了组合式冷藏库的复杂运行特性。其负载波动受到环境温度、货物种类及储存容量等多因素的共同影响。例如,货物频繁进出、外界温度升高等条件会增加瞬时热负载,而低峰期部分模块处于待机状态则导致负载分布不均。这种显著的负载波动性要求设备具有高度的动态响应能力,以避免在负载低时产生能源浪费。再次,高频次操作和复杂性是冷藏库运行中不可忽视的特点。在日常运营中,频繁开门、装卸货物以及根据储存需求调整温控参数都会导致热量入侵,进而对温控系统提出更高的要求。组合式冷藏库的设计必须在运行效率和能耗之间实现精准平衡,既满足复杂工况下的高效运行,又最大限度地降低能源消耗^[3]。

2.2 组合式冷藏库的节能需求

由于组合式冷藏库长时间处于高负载运行状态,其能源消耗在冷链系统中占据重要比例。因此,节能

需求成为冷藏库设计与技术优化的核心关注点。首先,负载匹配与能效优化是节能设计的基础。在传统恒频控制模式下,设备通常以固定功率运行,忽视负载变化的实际需求,导致能源浪费现象普遍存在。节能需求的核心在于通过技术手段动态调整设备输出功率,确保运行参数与实际负载相匹配,在不影响温控效果的前提下实现能效最大化。这一策略不仅能够降低单位时间的能耗,还可以显著提升能源利用效率。其次,减少热负载侵入是降低能耗的重要方向。热负载的来源包括库门开启、货物散热及外界环境传热等,任何额外的热量侵入都会加大制冷系统的负担。因此,节能设计需注重隔热层的优化和库门气密性的提升,从源头上减少热量进入。例如,通过改进隔热材料的性能或采用自动化库门系统,可以有效降低热负载,进一步减少制冷需求。再次,提高设备运行效率是实现节能的关键。冷藏库内的核心设备,压缩机、风机及冷凝器,其运行效率直接决定了整体能耗水平。通过引入变频调节技术、优化运行参数及维护关键部件性能,设备可以始终保持在高效工作区间,从而降低单位负载下的能源消耗。例如,变频调节技术能够根据实际负载动态调整压缩机的运行频率,使其在不同工况下均以最佳效率运转。最后,平衡温控精度与能源利用率是节能需求的重要目标。虽然更高的温控精度能够改善储存环境,但温控精度的过度提升往往伴随着能耗的显著增加。因此,在节能优化过程中,需要平衡温控精度与能源消耗的关系。通过智能调控手段,既满足储存需求,又避免因过度温控导致的能源浪费。例如,在特定储存条件下,适当降低温控精度标准不仅不会影响货物质量,反而能够大幅降低制冷系统的运行能耗^[4]。

3 组合式冷藏库变频调节的节能具体分析

3.1 动态负载匹配与能耗优化

组合式冷藏库的能耗主要受运行负载波动性的影响,而这种波动由外部环境温度、货物数量与种类及操作频率等多重因素共同决定。在传统恒频控制模式下,设备总以固定功率输出运行,难以根据实际负载需求调整制冷量,导致设备在低负载情况下出现“过度制冷”,从而增加了不必要的能耗。变频调节技术通过动态调整设备运行频率,使压缩机和风机精准匹配实际制冷需求。例如,当库内负载下降时,变频技术可以将压缩机运行频率降低至额定频率的50%~70%,有效减少制冷量输出,并显著降低能耗。研究显示,设

备功率消耗与运行频率呈非线性关系,当运行频率降低至 80% 时,功率消耗可减少至额定功率的 50% 左右。通过动态负载匹配,能源利用效率得以显著提升,同时减轻了设备长期运行的压力,延长了设备使用寿命。

3.2 温控精准性与能量节约

冷藏库的温控精度直接影响其能耗表现。传统恒频模式依靠启停控制设备运行,导致库内温度围绕目标值大幅波动,通常达到 $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。这种模式不仅增加了设备启动频率和耗能,还需要额外冷量来补偿波动间的温差。变频调节技术通过精确调整压缩机运行频率,实现温度的平稳接近目标值,从而显著减少温度波动范围。研究表明,变频控制可将温度波动缩小至 $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。这种精准的温控方式显著降低了因温差波动引发的额外能耗,避免了因频繁启停造成的能源浪费。同时,对于储存医药产品和海鲜等对温度敏感的货物而言,变频技术能够更好地满足储存要求,保障储存品质^[5]。

3.3 启停能耗降低与设备寿命延长

设备频繁启停是冷藏库运行中的高能耗环节之一。压缩机启动需克服机械惯性,伴随高额定电流的瞬时消耗。在传统恒频模式下,启动时的瞬时功率可能达到额定功率的 6~8 倍,不仅增加了电网负担,还加剧了机械部件的磨损,导致设备寿命缩短。变频调节技术通过软启动功能,将启动电流控制在额定电流的 1.5~2 倍以内。相比传统模式的电流冲击,平滑启动方式显著降低了启动能耗,同时减少了机械部件磨损。此外,变频调节通过连续运行取代频繁启停循环,使设备始终在最优频率下运行,从而延长了设备寿命。这种优化方式有效降低了长期运行中的维护成本,同时提高了设备的经济性和可靠性。

3.4 热负载响应效率的提升

热负载是冷藏库能耗的重要来源,主要来自库门开启、货物散热及外界热量传递。在运行过程中,频繁开门或大量货物出入会显著增加热负载,导致库内温度短时间内快速上升。这种情况下,设备需迅速响应以恢复目标温度,但传统恒频模式因固定运行频率,难以快速调节功率,响应速度较慢,从而增加了能耗。变频调节技术通过实时调整设备运行频率,在高热负载条件下迅速提升运行功率,加快制冷过程,并在温度恢复后及时降低频率维持温控平衡。这种智能化响应能力显著缩短了高热负载情况下的制冷时间,同时减少了设备过载运行的时间长度,优化了整体能耗结

构。研究表明,变频调节技术的快速响应机制可将高热负载引起的额外能耗降低 20%~30%^[6]。

3.5 综合能耗的理论分析

组合式冷藏库的总能耗可以通过设备的运行功率与时间的积分计算,公式如下:

$$E = \int_0^T P(f(t)) dt \quad (2)$$

式中: E 为总能耗, kWh; $P(f(t))$ 为设备在不同频率 $f(t)$ 下的实时运行功率, kW; t 为运行时间, h。

在恒频模式下,设备运行频率固定,能耗取决于满负载功率。而在变频模式下,设备频率根据负载需求动态变化,使功率呈非线性下降趋势。研究显示,通过优化 $f(t)$ 的变化曲线,在低负载条件下,变频调节技术可将能耗降低 30% 以上,而满负载运行时节能效果相对有限。这种动态节能特性使变频调节技术特别适用于负载波动频繁的组合式冷藏库^[7]。

4 结论

本文从组合式冷藏库的高能耗问题出发,系统分析了其运行特性和节能需求,并探讨了变频调节技术的具体节能效果。研究表明,变频调节技术通过动态负载匹配优化能源利用效率,通过精准温控减少温差波动引起的额外能耗,并通过软启动功能降低了启动能耗。此外,该技术通过快速响应热负载变化提升制冷效率,降低过载运行能耗,同时延长设备寿命。这些成果全面证明了变频调节技术在降低冷藏库能耗、优化运行效率以及提升设备可靠性方面的重要作用,为冷链行业节能改造提供了科学依据和实践支持。

参考文献:

- [1] 杜文平. 太阳能光伏冷藏系统能量动态转换机理及蓄冷供冷耦合特性研究 [D]. 昆明: 云南师范大学, 2022.
- [2] 赵晖. 浅谈新时代下冷链物流系统的制冷系统节能措施 [J]. 中国物流与采购, 2022(16):99-100.
- [3] 刘可馨. 高架立体冷藏库内均匀性及热环境的多指标优化研究 [D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2023.
- [4] 潘洪准. 大型冷库制冷系统能耗范围探讨 [J]. 制冷, 2023,42(02):63-66.
- [5] 黄海波. 活塞式制冷压缩机变频对制冷系统性能的影响 [J]. 制冷, 2023,42(04):58-60,68.
- [6] 孟繁隆. 螺杆压缩机补气系统在冷链物流库中的综合利用 [J]. 冷藏技术, 2024,47(01):48,62-64.
- [7] 陈桂影. 自动化立体冷库设计概述 [J]. 低温与特气, 2024,42(03):27-30,52.

天然气管道腐蚀原因及防治措施分析

费卫荣

(重庆燃气集团股份有限公司输配分公司, 重庆 400020)

摘要 天然气管道作为能源输送的重要枢纽, 其防腐蚀工作直接关系到输送系统的安全性、可靠性。然而, 在长期运行中, 天然气管道面临复杂的外部环境和多样化的腐蚀因素威胁, 内外部因素交互作用, 使管道腐蚀问题极为复杂, 若不采取科学合理的防护措施, 将导致管道强度降低、发生泄漏甚至断裂, 严重影响天然气的安全供应。本文从腐蚀原因分析出发, 提出了防治措施, 以期为天然气管道安全运营提供有益参考。

关键词 天然气管道; 腐蚀原因; 泄漏; 阴极保护

中图分类号: TE97

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.02.038

0 引言

天然气作为一种清洁能源, 需求量不断增加, 其远距离、高效输送是现代能源保障体系中的重要组成部分。而天然气管道由于长期埋在地下或暴露在不同环境中, 易受到腐蚀性因素影响, 导致结构损坏甚至出现严重的泄漏事故, 不仅会造成巨大的经济损失, 也会给人们正常生产生活造成危害。为此, 深入分析天然气管道的腐蚀原因并研究切实有效的防治措施具有重要意义, 是提高管道安全性和使用寿命并降低维护成本的有效途径。

1 天然气管道腐蚀的主要原因

1.1 土壤腐蚀

由于天然气管道埋在地下, 土壤中的多种成分和特性使管道易受到腐蚀^[1]。尤其是含有盐类、酸性或者其他化学成分的土壤, 就更容易与管道产生反应, 进而造成腐蚀。另外, 如果土壤较为潮湿, 会导致管道表面始终处于潮湿的环境中, 进而对管道表面造成腐蚀影响, 使得腐蚀持续加重, 如果温度较高、湿度较高, 腐蚀程度更为严重。土壤中含有的溶解盐, 如氯化物、硫酸盐、碳酸盐等, 也会在水分接触金属表面时形成腐蚀区域, 进一步恶化管道状态。与此同时, 土壤中的微生物, 尤其是硫酸盐还原菌和铁细菌等, 会分泌生物酸或形成生物膜, 进而加剧金属腐蚀过程。

1.2 微生物腐蚀

微生物腐蚀是一种因微生物活动而引发的特殊腐蚀现象, 主要表现为生物膜生成及酸性物导致发生腐蚀的情况。无论是水中、土壤中还是空气中, 都含有微生物, 很容易渗透到管道内部, 并且附着在管道的表面, 逐渐地形成一层黏膜, 对管道表面和防腐涂层

二者之间的接触面造成隔离, 由此使得天然气管道防腐能力下降^[2]。另外, 微生物进行新陈代谢时也会分泌出酸性物, 导致周围环境重大 pH 值出现下降的情况, 由此对金属保护层造成破坏, 使得腐蚀程度加重, 不仅减薄金属层, 还会因腐蚀孔洞或裂缝而带来天然气泄漏风险, 对管道正常运行构成重大隐患。随着腐蚀加深, 还会演变为管道结构失效, 增加管道运营维护难度, 并对周边环境和设施安全产生影响。

1.3 大气腐蚀

大气腐蚀是指由于管道暴露在空气中, 而空气中的水、各种物质会产生相互作用, 进而导致管道遭受腐蚀。此种腐蚀主要分为两种情况: 湿式腐蚀常发生在空气湿度较高或多雨的地区, 尤其是在沿海或气候潮湿的地方, 管道表面由于湿气影响会形成一层膜, 而空气中的酸性物会在上面产生反应, 使得管道表面的金属出现氧化的情况, 腐蚀加重, 在高湿度条件下会更快地破坏管道结构^[3]。而干式腐蚀则发生在空气较为干燥的环境中, 此时水分较少, 管道表面易聚集盐类和灰尘, 与空气中的氧气及其他气体产生反应, 逐渐形成腐蚀层。长时间暴露在腐蚀环境中, 会导致管道表面的强度持续下降, 最终出现损坏。

1.4 海水腐蚀

海水腐蚀是天然气管道在海洋环境中受到的严重腐蚀威胁, 主要由海水中的多种活性成分引发, 很容易与管道产生反应, 进而发生腐蚀情况。腐蚀程度受温度、氧气含量、盐分浓度等因素影响。通常情况下, 温度高、盐浓度高、氧气低的海水会加速腐蚀速率。此外, 海水流动产生的冲击力也会对管道表面产生磨损和破坏, 削弱管道防护层, 使其更加容易受到腐蚀。海洋微生物在此过程中起到重要的催化作用, 随着代

谢,会产生酸性物质及其他腐蚀性代谢产物,加速腐蚀速度。

1.5 管道内部腐蚀

管道内部腐蚀的形式多样,主要包括均匀腐蚀、点蚀和还原腐蚀。均匀腐蚀是指管道内壁的腐蚀点较为均匀。点蚀是指局部出现腐蚀,形成微小的孔洞或凹坑,会进一步发展为贯穿的漏洞。而还原腐蚀由于还原性物质作用,会使氧化层快速还原,产生更深的凹陷甚至穿孔。内部腐蚀产生主要与输送气体成分有关,天然气中夹带的硫化氢、二氧化碳等物质,会与管道金属产生反应,发生腐蚀。此外,由于高温高压的影响,管道内壁虽然有防腐涂层,但消耗增快,腐蚀防御效果减弱。管道内若存在水分、液态碳氢化合物等,还会促使不同化学物质之间发生交互反应,加剧腐蚀过程。

1.6 机械损伤引发的腐蚀

机械损伤是指管道在安装、运输或运行过程中因外力作用产生的物理损伤,这种损伤不仅直接削弱了管道的结构强度,还会破坏防腐涂层,使裸露的金属区域直接暴露在腐蚀环境中。例如,在施工过程中,重型设备的操作可能会对管道外壁造成划伤或凹陷,削弱防护层的完整性。此外,地质运动、车辆冲击等外部因素也可能引发管道表面微裂纹的形成,为腐蚀介质的渗透提供条件。随着时间推移,这些微裂纹会逐渐扩大,最终发展为严重的腐蚀区域,威胁管道的正常运行。

2 天然气管道腐蚀的防治措施

2.1 应用耐腐蚀性管道材料

为保障天然气管道的安全和使用寿命,应根据管道所处环境和气体特性引入不锈钢、镍基合金等新型材料,具有较强的耐腐蚀性,从而确保管道在长时间内保持稳定。在管材制造过程中,需采用先进的成型工艺、焊接技术和热处理方式,以确保管道质量达到行业标准,减少制造缺陷对耐腐蚀性的影响^[4]。在安装阶段,应严格执行技术规范,保证管道之间连接牢固、密封良好,防止气体泄漏和外部污染物侵入,从而进一步减少腐蚀风险。此外,可利用无损检测和压力测试等方法定期检查管道状态,以便及时发现影响管道安全的隐患。对于已安装的耐腐蚀管道,仍需进行常规的防护管理,在管道外层涂覆防腐材料,实施阴极保护技术等,以延缓腐蚀速度,保持管道结构的完整性,增强防护层的耐久性。在应用耐腐蚀材料的同时,应有一套完善的检测与维护机制,以确保管道在各种

操作环境中的安全性。通过材料选择、制造工艺控制、科学安装和后续检测的综合措施,可显著延长管道的使用寿命,降低故障率,为天然气安全输送提供可靠保障。

2.2 使用缓蚀剂

在天然气管道防腐过程中,使用缓蚀剂的目的是形成保护层减缓腐蚀速度,延长管道使用寿命。在选择缓蚀剂时,需结合管道的材质、天然气成分及周围的环境条件,以确保其发挥最佳效果。通常情况下,缓蚀剂分为无机、有机和混合型三类,不同类型的缓蚀剂具有各自的优势和适用场景。例如,无机型在某些极端环境中能够稳定存在,而有机型通常适合较为温和的腐蚀环境。针对特定的应用环境合理搭配缓蚀剂成分,能有效提高其防腐能力^[5]。在管道施工完成后,要先清理管道表面,去除所有污渍、氧化层及其他杂质,确保缓蚀剂能紧密黏附在管道金属上,避免局部空隙产生的腐蚀加速效应。缓蚀剂涂敷可使用专用设备进行自动化喷涂或人工操作,以保证管道表面均匀覆盖防护层,隔绝管道与腐蚀介质的直接接触,降低腐蚀速率。此外,在缓蚀剂具体施用过程中,也需重视环境保护,采取限制扩散、设置隔离区域等必要的环保措施,以确保缓蚀剂使用符合环保要求。需要注意的是,缓蚀剂的有效性并非永久的,随着时间推移和天然气流动产生的磨损,缓蚀剂覆盖层会逐渐减薄甚至局部脱落,因此需要定期进行检查和维护。维护工作包括检查缓蚀剂涂层的完整性、厚度和附着情况,及时补充或重新喷涂,以确保管道始终处于良好的防护状态。还要建立详实的管理和记录系统,记录缓蚀剂的种类、用量、施用时间、覆盖情况等关键信息,为未来的维护提供可靠的档案数据。

2.3 管壁增加涂层

在天然气管道的管壁中增加涂层可有效形成屏障,阻隔腐蚀因素侵蚀,延长管道寿命并确保运行安全性。对此,首先应结合实际应用场景决定最佳涂层材料,以实现耐腐蚀、耐高温性和稳定性的要求。在正式涂覆前,对管道表面进行清洁处理,去除氧化层、油脂及其他附着物,通过喷砂工序提升表面粗糙度,使涂层能紧密附着在金属表面。涂层施工方式可选择喷涂、刷涂或浸涂,需确保涂层分布均匀,无遗漏区域。涂层厚度选择也需根据实际防腐需求进行调节,以抵御特定的腐蚀环境。涂层固化处理会直接影响防腐效果,因此要选择合适的固化工艺,提升涂层附着力和耐久性,减少因环境应力导致的剥落或损伤。最后一步是质量检测,通过检测涂层的附着力、耐腐蚀性及厚度,确保其防护效果符合管道运行要求。质量检查

过程中如发现瑕疵,应及时修复,确保涂层能有效地提供长效保护。

2.4 加强阴极保护

阴极保护是一种通过外加电流来降低管道电位,以使管道金属成为阴极,进而抑制腐蚀的有效措施。其原理如图1所示。

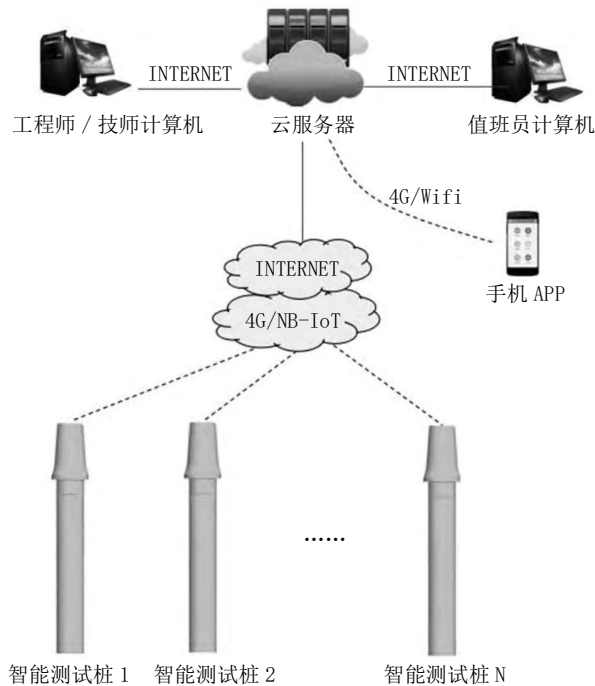


图1 天然气阴极保护原理图

阴极保护主要分为直流、交流两种形式,通过不同的电流类型来实现管道长效保护。保护系统组成包括电源、阳极、地床和管道。电源负责提供电流,以对阴极进行有效保护,阳极则是保持与管道连接,通过电流引入达到防护效果。阳极位置布置十分关键,通常会按照管道长度、直径及腐蚀环境等因素设置在固定间隔,以确保均匀的电流分布,从而实现全方位的防护效果。地床则是埋在地下的电极系统,提供电流的导电通道,确保电流能均匀分布至整个管道,避免局部腐蚀^[6]。地床设计需根据管道长度和铺设环境合理规划其尺寸和位置,以优化导电效果。为了达到理想的保护效果,可应用电流分配器,对电流分布进行优化调整,确保管道各处均受到充足保护。系统运行过程中还需对管道电位、电流密度等参数进行定期监测,数据分析可帮助及时识别腐蚀隐患,以便迅速采取维护措施。另外,阴极保护系统维护也不可忽视,必须确保阳极、连接电缆和地床的稳定性。阳极需定期清理,损坏的电缆和连接件要及时更换,确保接地

状态良好,以确保系统在各种环境条件下的持续稳定运行,为天然气管道提供持久的防护效果。

2.5 加强天然气管道日常管理

天然气管道日常管理是防腐工作的关键组成部分,贯穿于整个管道的使用周期中。日常管理应以预防为核心,将管道腐蚀防护任务精细化,形成常规性维护和监控体系。管理人员需详细记录防腐材料的应用情况和各项防腐技术的使用细节,确保防护措施得当并符合标准。同时,定期开展全面的管道检测,通过压力监控确保管道压力始终在合理范围内,减少因超压引发腐蚀风险。在管理流程上,需制定严谨的操作规范和检测标准,确保各类管理活动具有明确的执行依据和评估标准,以符合天然气公司的安全管理要求。为提升管理有效性,还需定期开展培训和安全教育,增强工作人员的安全意识和防腐知识,帮助员工掌握腐蚀防护的基本原理和操作方法,提高应对突发问题的能力,从而降低事故发生可能性。

3 结束语

天然气管道的腐蚀防护是一项复杂而重要的系统性工程,涉及多种学科和技术领域。只有通过综合运用科学的管理方法、先进的防腐技术和高质量的管道材料,才能实现对腐蚀问题的有效控制。天然气管道的腐蚀不仅对能源输送的稳定性提出了巨大挑战,也对环境和人类安全构成了潜在威胁。相关行业必须将管道防护纳入重点研究方向,通过技术创新和管理优化不断提高防腐能力。未来,随着新型材料和智能化检测手段的不断发展,天然气管道的腐蚀防治将更加高效和精准,从而进一步提升管道系统的整体安全性和运行效率,最终实现长效管理的目标,为保障社会能源需求贡献力量。

参考文献:

- [1] 刘持珂.天然气管道腐蚀原因及防治措施[J].当代化工研究,2024(17):131-133.
- [2] 许秀芹,徐敏,彭方超.基于风险管理的天然气管道建设与安全运行[J].石化技术,2024,31(08):288-290.
- [3] 李欣,王松.含H₂S天然气管道内腐蚀直接评价方法的改进[J].腐蚀与防护,2024,45(08):77-83.
- [4] 温少飞,谢晓东,张杨.天然气管道腐蚀的形成与防腐保护措施[J].中国设备工程,2024(10):178-180.
- [5] 张明.天然气管道腐蚀主要原因分析与防护措施[J].化工管理,2024(10):119-121.
- [6] 薛吉明,戴联双,张安妮,等.含CO₂湿天然气长输管道内腐蚀原因及其防控措施[J].腐蚀与防护,2023,44(09):113-117.

历史建筑结构的动态性能分析与抗震鉴定

张怀超¹, 张廷廷²

(1. 山东鲁勘集团有限公司, 山东 济南 250104;
2. 济南市建设监理有限公司, 山东 济南 250014)

摘要 历史建筑是文化遗产中的重要组成部分, 其承载着特定时期的社会、政治、经济和文化信息。然而, 随着岁月的流逝与自然灾害的频发, 这些珍贵的建筑遗产正面临着前所未有的挑战。地震作为最具破坏性的自然灾害之一, 对历史建筑结构的安全性与稳定性构成了严重威胁。本文认为开展历史建筑结构的动态性能分析与抗震鉴定工作, 不仅是对历史建筑遗产进行有效保护的关键所在, 也是推动文化遗产可持续发展的重要举措。

关键词 历史建筑结构; 动态性能; 抗震鉴定; 荷载; 应力

中图分类号: TU317

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.02.039

0 引言

动态性能分析作为结构工程领域的前沿技术, 通过对结构在动力荷载作用下的响应进行精确模拟与预测, 为结构的抗震性能评估提供了强有力的支持。而抗震鉴定, 则是基于动态性能分析的结果, 结合结构的具体特点与历史背景, 对结构的抗震能力进行综合评价与判断。这两项工作的有机结合, 能够帮助我们深入了解历史建筑在地震作用下的受力机制与破坏模式。

1 历史建筑的定义与保护原则

历史建筑作为城市记忆与地域文化的珍贵载体, 其定义与保护原则在《历史文化名城名镇名村保护条例》(2008 年国务院颁布) 中得到了明确界定。相较于文物建筑, 历史建筑虽未达到文物保护或不可移动文物的级别, 但它们同样承载着丰富的历史信息与地方特色, 是构成城市历史风貌不可或缺的一部分。因此, 历史建筑的认定与管理, 既需严谨细致, 又需兼顾灵活性, 以确保这些宝贵资源得到妥善保护与合理利用^[1]。在保护原则上, 历史建筑与文物建筑虽有一定共性, 如都强调保护其历史价值与文化意义, 但两者在具体实施上却存在显著差异。文物建筑的保护遵循“最小干预”原则, 即“不改变文物现状”, 任何利用行为都不得对其现状造成改变, 包括损毁、改建、添建或拆除等, 旨在维持其原真性与完整性。而历史建筑的保护则更为灵活, 虽同样强调不得拆除, 但在维修时, 只要保持其外形与风貌不变, 内部空间可以进行适应性改造, 以满足现代生活或功能需求。这一保护原则的差异化处理为其活化利用提供了可能, 使得历史建

筑在保护中得以重生, 成为连接过去与未来的桥梁, 为城市文化多样性与可持续发展贡献力量。因此, 在制定具体保护措施时, 应充分考虑历史建筑的特点, 平衡保护与发展的关系, 确保每一座历史建筑都能在新时代的浪潮中焕发新的生机与活力^[2]。

2 历史建筑结构的动态性能分析

2.1 荷载与外力的种类

在历史建筑结构的动态性能分析中, 荷载与外力的种类是不可或缺的重要考量因素。荷载这一术语在建筑结构领域特指那些能够引发结构或构件产生内力和变形的外力及其他影响因素。从广义上划分, 荷载主要分为竖向荷载和水平荷载两大类。竖向荷载, 如建筑物的自重、楼层活荷载等, 主要对结构的垂直方向产生影响; 而水平荷载, 如风力、地震力等, 则主要作用于结构的水平方向。长期应力可能导致结构的蠕变与疲劳损伤, 而短期应力则可能引发结构的瞬时变形与破坏。因此, 在结构设计中, 必须确保在固定荷载与临时荷载共同作用下, 结构支承上的长期与短期应力值均不超过各容许应力值, 以保障历史建筑结构的安全性及稳定性^[3]。

2.2 荷载与结构因素

在历史建筑结构的动态性能分析中, 荷载与结构因素之间的相互作用关系同样至关重要。由刚接构成的框架结构, 因其具有良好的整体刚度和稳定性, 成为历史建筑结构中常见的结构形式。在对应于竖向荷载的结构方式上, 框架结构相较于其他结构形式, 能够更有效地加长跨距或降低框架的重量, 从而满足历

史建筑在功能性与美观性方面的双重需求。而在对应于水平荷载方面, 框架结构中的刚接节点能够显著增强结构的水平承载能力, 成为补强框架结构抗震性能的关键因素^[4]。在地震等自然灾害发生时, 刚接框架结构能够有效地吸收和分散地震能量, 减少结构的破坏程度, 保护历史建筑的安全与完整。因此, 在历史建筑结构的动态性能分析中, 必须充分考虑荷载与结构因素之间的相互作用关系, 以确保结构设计的合理性与有效性。

2.3 连接点的种类

在历史建筑结构的动态性能分析中, 连接点的种类及其作用机制是深入探究的关键所在。连接点作为建筑结构中的核心组成部分, 主要包括支点和节点两大类。支承系统作为建筑结构与地基之间的核心传力界面, 其力学性能直接影响结构的整体稳定性和受力特征。不同类型的支承结构表现出独特的力学响应: 移动支座仅在垂直于位移自由度方向产生单一反力, 体现了约束与释放的力学平衡; 回转支座通过在两个正交方向上形成反力对来抵抗外部荷载, 但允许构件端部发生转动; 固定支座则通过在两个正交方向的约束力及抵抗转动的弯矩, 实现对构件六个自由度的完全约束。这些反力的存在, 不仅保证了建筑结构的稳定性, 还为其在动态荷载作用下的响应提供了重要的力学支撑。节点则是两支或两支以上构件的交点, 是建筑结构内部力流传递的重要枢纽。节点的连接方式、刚度和强度, 直接影响着建筑结构的整体性能。在历史建筑结构中, 节点的设计往往融合了传统工艺与现代技术, 既保留了建筑的历史韵味, 又满足了现代建筑对于安全性、耐久性和抗震性的要求。节点的连接方式多样, 包括焊接、螺栓连接、铆接等, 每种连接方式都有其独特的力学特性和应用场景。在动态荷载作用下, 节点的受力状态复杂多变, 需要对其进行精确的力学分析和计算, 以确保建筑结构的稳定性和安全性^[5]。

2.4 应力与变形

在历史建筑结构的动态性能分析中, 应力与变形机制是评估结构安全性的重要指标。应力作为材料内部抵抗外力的能力, 其大小和分布状态直接影响着建筑结构的强度和稳定性。轴方向力、剪力和弯矩是建筑结构中最常见的三种应力形式。建筑结构在外部荷载作用下产生的内力响应主要包括轴方向力、剪力和弯矩三种基本形式。其中, 轴方向力体现为沿构件纵向轴线方向的应力分布, 可分为使材料产生拉伸变形的拉应力和导致压缩变形的压应力; 剪力则表现为垂直于

构件轴线方向的切应力, 这种应力往往导致材料发生剪切变形甚至破坏; 弯矩作为使构件产生弯曲变形的力偶矩, 在结构截面上形成压拉应力分布。这些内力作用的综合效应直接反映在结构的变形特征上, 包括轴向伸长或压缩、横向位移以及构件挠曲等多种形式。通过对结构变形的精确测量和分析, 不仅能够评估结构的整体刚度和局部稳定性, 还可揭示内力分布规律, 为结构设计优化和安全性评估提供重要依据。在历史建筑结构中, 变形主要包括弹性变形和塑性变形两种。弹性变形是指结构在荷载作用下发生的可逆变形, 当荷载卸载后, 结构能够恢复到原始状态。塑性变形则是指结构在荷载作用下发生的不可逆变形, 当荷载卸载后, 结构无法恢复到原始状态。屈曲现象是塑性变形的一种极端表现, 当外力持续增加至某一临界值时, 结构会发生急剧的变形, 甚至导致结构失效^[6]。因此, 在历史建筑结构的动态性能分析中, 需要充分考虑应力与变形机制的影响, 以确保结构的安全性和稳定性。

3 历史建筑结构的抗震鉴定

3.1 钢筋后锚固技术的完善

在历史建筑结构的抗震鉴定与加固中, 钢筋后锚固技术作为一项关键技术, 发挥着举足轻重的作用。这一技术主要包括胀管螺栓锚固和植筋技术两大类, 植筋技术在抗震加固工程中展现出了独特优势。植筋技术的实施过程精细且严谨, 首先, 需要在待加固的构件上精确打孔, 这一步骤对孔位的准确性和孔径的大小有着严格要求, 以确保后续锚固效果。随后, 向孔内注入专用的粘结剂, 这种粘结剂的选择至关重要, 它直接关系到植筋的牢固程度与耐久性。目前, 市场上常用的粘结剂种类繁多, 既有以环氧树脂为基本材料的有机化学粘结剂, 凭借其优异的黏结性能和耐候性受到青睐; 也有采用无收缩快硬硅酸盐水泥为胶结料配制的“浆锚砂浆”, 以其强度高、固化速度快的特点, 在特定应用场景下表现出色。植筋技术的核心在于粘结剂与混凝土及钢筋之间的黏结作用。当粘结剂注入孔内并插入钢筋后, 随着粘结剂的凝结硬化, 钢筋与周围混凝土逐渐形成一个整体, 实现了有效的锚固。这一过程中, 粘结剂的黏结强度、钢筋的材质与直径、混凝土的强度与龄期等因素均会对植筋效果产生显著影响。因此, 在实施植筋技术时, 必须根据具体情况精确计算与细致施工, 以确保加固效果达到最佳。

3.2 粘钢、碳纤维加固技术

在结构加固领域, 粘钢与碳纤维加固技术作为两

种高效且创新的解决方案,正逐渐成为历史建筑保护与修复的重要手段。粘钢加固技术,其核心理念在于利用专用粘结剂,在被加固的混凝土构件表面精心涂刷,随后将精选的钢板与混凝土构件紧密结合,形成一个协同工作的整体。这一过程不仅要求粘结剂具备卓越的黏结性能,还需确保钢板与混凝土之间的界面黏结强度满足设计要求,从而确保加固后的构件能够显著提升承载能力,延长使用寿命。通过这一技术,原混凝土构件的受力性能得到有效改善,为历史建筑的抗震、抗风能力提升奠定了坚实基础。碳纤维加固技术同样依赖于粘结剂的作用,但所使用的加固材料由钢板转变为碳纤维片材。碳纤维片材以其高强度、高弹性模量、轻质及优异的耐腐蚀性脱颖而出,成为替代传统加固材料的理想选择。与钢板相比,碳纤维片材不仅施工更为便捷,减少了现场焊接等繁琐工序,还大大降低了加固后的结构自重,这对于历史建筑这类对荷载变化敏感的结构尤为重要。此外,碳纤维片材的耐腐蚀性使其能够在恶劣环境下长期保持性能稳定,进一步延长了加固效果的持久性。

3.3 变形缝和节点的加固

在地震频发的地区,变形缝与节点的加固成为历史建筑结构抗震性能提升的关键所在。变形缝作为结构体系中应对地震变形的重要构造措施,其宽度的合理设计至关重要。然而,早期建造的工程受限于当时的设计理念与施工技术,变形缝的宽度往往较小,如常见的 30 mm,甚至因施工误差而实际宽度更小。这样的宽度在强烈地震作用下,几乎无法有效避免结构间的碰撞破坏,从而威胁到整体结构的安全性。因此,在新建结构中,对于变形缝宽度的设定需充分考虑地震碰撞的影响,并呈现出加大的趋势,以适应更高的抗震需求。与此同时,结构节点作为梁柱交汇的核心连接区域,其抗震性能对整体结构的安全性具有决定性影响。然而,传统的加固技术如粘贴钢板、包覆碳纤维等方法在节点区域的应用存在诸多局限。施工过程中不可避免地破坏原有构件表面,影响结构整体性;为确保受力传递的连续性,加固材料需要在节点区域实现有效锚固和连接,这在空间受限的节点核心区往往难以实现。这种技术应用与实际需求之间的矛盾,直接制约了节点加固效果的发挥,也凸显了开发新型节点加固技术的迫切性。鉴于节点加固工程在结构抗震中的重要性及其固有的特殊性和复杂性,我们当前亟需深化对节点抗震加固方法的研究与实践。节点的抗震性能直接关系到整体结构的稳定性和安全性。因

此,我们必须探索更为精细且高效的加固技术,旨在实现钢筋与钢板在不破坏既有节点区结构完整性的前提下实现牢固连接。这要求我们在加固过程中,不仅要精准把握节点的受力特点和潜在的破坏模式,还需依据这些特性制定具有高度针对性的加固策略。深入分析节点在地震作用下的应力分布和变形特征,利用先进的计算模拟技术,预测并评估不同加固方案的效果。在此基础上,我们应开发和应用新型的连接技术和材料,如高性能粘结剂、特殊形状的连接件等,以确保加固后的节点能够显著提升其抗震承载力和变形能力,满足甚至超越当前的抗震设计规范。此外,我们还应关注加固施工过程中的质量控制与监测,确保加固效果达到预期,为结构整体的抗震安全提供坚实保障^[7]。

4 结束语

历史建筑结构的动态性能分析与抗震鉴定工作,是保护文化遗产、推动可持续发展的关键环节。通过深入研究与不断探索,不仅能够为历史建筑提供更加科学、有效的抗震加固方案,还能够为文化遗产的保护与传承贡献更多的智慧与力量。未来,随着科技的进步与研究的深入,历史建筑将焕发出更加璀璨的光芒,成为人类文明史上永恒的瑰宝。

参考文献:

- [1] 朱晓璇,孙沈鹏,王新新,等.基于分布式监测的历史建筑结构整体变形计算方法研究[J].建筑施工,2024,46(11):1825-1828.
- [2] 王小燕,曹力强,叶武平,等.历史建筑砖石结构修复用注浆材料的制备研究[J].新型建筑材料,2024,51(05):33-35,51.
- [3] 陈燕.优秀历史建筑的结构加固与风貌修缮施工技术[J].建筑施工,2024,46(04):515-518.
- [4] 施浩.关于历史建筑进行结构检测的几点建议:以汉口保元里修缮工程为例[J].工程建设与设计,2024(05):29-32.
- [5] 谢沐玄,潘晴炜,李轩,等.历史建筑性能化隔震设计方法初探[J].结构工程师,2020,36(03):206-214.
- [6] 石建光,郑雪峰,林树枝,等.灰缝厚度及水泥砂浆抹面对历史建筑砌体结构性能的影响[J].建筑科学与工程学报,2020,37(01):67-74.
- [7] 潘晴炜,尼凯黎,卢文胜.某历史建筑组合隔震性能评估[J].建筑结构,2018,48(S2):447-451.

内蒙古地区滑坡灾害成因分析及防治对策研究

徐立陶, 杨振江

(内蒙古自治区地质调查研究院, 内蒙古 呼和浩特 010010)

摘要 滑坡灾害是内蒙古地区自然灾害中的重要类型之一, 其发病机理复杂且影响范围广泛。近年来, 由于自然因素和人为活动的交织作用, 内蒙古地区的滑坡灾害呈现出加剧的趋势。本文通过分析内蒙古地区滑坡灾害的成因, 结合近些年的滑坡灾害案例, 探讨了滑坡灾害的多种诱因, 包括地质结构、气候变化、人类活动等方面, 并提出了相应的防治对策。研究发现, 滑坡灾害的防治关键在于加强监测预警体系建设、合理规划和控制人类活动、完善灾后应急响应机制。本文的研究成果旨在为内蒙古地区滑坡灾害的预防和减灾提供参考。

关键词 内蒙古地区; 滑坡灾害; 地质因素; 气候因素

中图分类号: P642; X43

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.02.040

0 引言

内蒙古地区位于中国北方, 地势起伏较大, 地质条件复杂, 滑坡灾害的发生具有较强的地区性特点。滑坡灾害对区域的生态环境、经济发展及人民生命财产安全造成了巨大威胁。尤其是近年来, 受气候变化和人类活动影响, 内蒙古地区的滑坡灾害发生频率和规模有所增加。因此, 对滑坡灾害的成因进行深入分析, 并提出切实可行的防治对策, 已成为确保该地区可持续发展的迫切需求。本文旨在通过分析内蒙古地区滑坡灾害的成因, 探讨其主要诱因和影响因素, 并针对当前滑坡灾害的防治现状, 提出科学合理的防治措施。

1 内蒙古地区滑坡灾害的成因分析

1.1 地质因素

内蒙古地区的地形地貌复杂多样, 土层较薄且地下水位较高, 这些地质条件为滑坡灾害的发生提供了有利的土壤基础。特别是在山区, 山体的构造特征、岩性分布以及断层破碎带的存在, 使得土层结构极为脆弱, 易于在外力作用下发生滑坡^[1]。岩层的风化作用使得岩石的强度降低, 土壤颗粒易于松散, 降低了坡体的稳定性。此外, 地下水位较高也加剧了滑坡的发生, 过多的地下水使坡面土壤饱和, 降低了其承载力, 进一步促使山体滑动。特别是在强烈风化作用和地震影响较大的地区, 滑坡发生的频率和规模更为严重。风化作用使得岩石层的强度降低, 岩土混合体在水分作用下更易松动, 而地震的震动则可能引发已不稳定的山体发生滑坡或崩塌, 特别是在断层破碎带附近, 震动更容易引发连锁反应, 加剧灾害的发生。

1.2 气候因素

气候变化是滑坡灾害发生的重要外部触发因素, 特别是在内蒙古地区, 气候变化表现为降水模式和温度变化的显著异常。近年来, 内蒙古地区降水量急剧增加, 极端天气事件频繁发生, 暴雨和冰冻解冻等极端气候现象更为突出。暴雨带来的强降水迅速增加了坡面土壤的湿度, 导致土壤饱和, 降低了土层的稳定性, 使得山体在重力作用下更容易发生滑坡。同时, 冰冻解冻现象的频繁出现, 尤其是在冬季, 极低温导致土壤冻结, 春季气温回升时土壤解冻, 反复的冻融循环不仅使土壤结构松动, 还可能形成裂缝和水道, 进一步加剧了山体的脆弱性。这些气候变化带来的土壤湿度波动和冻融效应, 极大地影响了坡体稳定性, 增加了滑坡发生的频率和破坏力。由于内蒙古地区气候变化的趋势仍在持续, 未来极端天气事件可能更加频繁, 进一步加剧滑坡灾害的风险。

2 内蒙古地区滑坡灾害的特点及影响分析

2.1 滑坡灾害的地理分布

滑坡灾害在内蒙古的发生区域呈现出显著的地理分布特征, 主要集中在山区和丘陵地区, 特别是鄂尔多斯和呼和浩特周边的山地、草原过渡带。这些区域地处内蒙古的地理过渡带, 地形复杂多变, 山脉与丘陵交错, 地势起伏较大。由于土壤层较薄且不稳定, 常常缺乏足够的支撑力, 使得岩土结构在受到外部因素影响时容易发生破裂和滑动。此外, 内蒙古的气候变化极为剧烈, 降水量呈现不均匀分布, 部分地区的降水量集中在夏季, 暴雨天气频发。而这些极端天气事件, 如暴雨、冰冻以及风蚀等, 都在一定程度上加

剧了滑坡灾害的发生频率和破坏性。特别是在冰冻和融化的交替过程中,冻土层的变化会导致土壤颗粒松动,增加了滑坡发生的概率。滑坡灾害不仅对当地的自然环境构成严重威胁,还对居民的生产生活、交通运输、基础设施等带来了极大的隐患和破坏,尤其是道路、农田和住宅的安全受到了直接影响^[2]。因此,采取有效的防灾减灾措施,进行地质灾害的监测与预警,已成为内蒙古区域发展的重要课题。

2.2 滑坡灾害的类型

内蒙古地区的滑坡灾害种类繁多,主要包括急性滑坡、慢性滑坡和泥石流等。这些灾害在不同的地质和气候条件下表现出不同的特征和危害。急性滑坡通常发生在暴雨或强降水期间,由于短时间内降水量过大,导致坡体水分饱和,土壤承载力骤降,最终引发突发性的滑坡灾害。这类滑坡破坏性强,速度快,常常在瞬间摧毁道路、房屋等设施,造成严重的人员伤亡和财产损失。与急性滑坡相比,慢性滑坡则是长期积累性破坏的结果,通常由于坡体稳定性逐渐降低,受到持续的小幅度降水、风化、地震等自然因素影响,最终形成较为缓慢但持续的滑坡过程。这类滑坡一般不具备突发性,但其长期的破坏性对土地、基础设施及农业生产造成持续影响。泥石流常伴随滑坡灾害发生,特别是在急性滑坡的过程中,当坡体滑动时,往往带走大量土壤、岩石和植被,形成泥石流,这些泥石流沿山谷下行,对下游的交通、农田以及居民生活造成极大的威胁。泥石流的流速快、破坏力大,往往使得交通中断、村庄被毁,造成巨大的经济损失和人员伤亡。

2.3 滑坡灾害的经济社会影响

滑坡灾害对内蒙古地区的经济发展、交通设施、农业生产以及居民生命财产安全造成了深远的影响。滑坡灾害直接破坏了该地区的交通和能源基础设施,尤其是在山区和丘陵地区。滑坡往往会导致公路、铁路中断,严重时甚至摧毁重要桥梁和隧道,造成交通瘫痪。交通运输的中断不仅限制了区域内的物流和人员流动,还可能导致重要物资和能源的短缺,进一

步影响到地区经济的正常运转。在偏远地区,滑坡灾害可能造成电力、通信设施的损毁,尤其是电力供应和通信网络中断,对民生和工业生产造成巨大困扰,延误灾后恢复工作^[3]。另外,滑坡灾害对内蒙古地区的农业生产带来了极其严重的影响。滑坡常常摧毁农田、灌溉设施和农业道路,导致土地的流失和水源污染,使得水土资源的合理利用受到破坏。尤其在雨季,滑坡引发的泥石流和土壤冲刷会迅速侵占农田,破坏作物生长,造成粮食产量的减少。内蒙古作为一个以农业为主的地区,农业不仅是当地经济的重要支柱,也是居民生计的根本。滑坡灾害造成的农业损失直接影响到农业生产的稳定性。

3 内蒙古地区滑坡灾害的防治对策

3.1 加强地质灾害监测和预警体系

内蒙古地区的滑坡灾害具有突发性强、破坏力大等特点,因此,建立高效的监测和预警体系至关重要。近年来,随着气候变化的加剧,滑坡灾害发生的频率不断增加,因此政府和科研机构应加强对滑坡灾害的实时监测。可以通过现代地质勘测技术,如卫星遥感、无人机巡检、传感器监测等手段,获取及时有效的滑坡风险数据。根据内蒙古自治区 2019 年的滑坡灾害统计数据(见表 1),近五年来,鄂尔多斯和呼和浩特周边地区滑坡灾害发生率最高,占到了内蒙古自治区滑坡事件的 40%。为此,加强对这些区域的监测,可以有效降低灾害的发生率。

根据表 1 数据,鄂尔多斯的滑坡发生次数较高,且发生频率和经济损失也远超其他地区。因此,在该地区实施滑坡灾害监测是当前防治工作的重点。

3.2 优化土地利用和城市规划

滑坡灾害的防治不仅依赖于技术手段,还需要合理的土地利用和城市规划。特别是在山区和丘陵地带,政府应严格控制开发活动,避免在滑坡易发区进行大规模建设。此外,城市规划和区域功能布局时,必须考虑到滑坡风险,尽量避免将高风险区作为住宅、工业区等重点建设区域^[4]。例如,在内蒙古部分山区,

表 1 内蒙古各地滑坡灾害发生情况统计

地区	发生次数	主要类型	发生频率(次/年)	受灾面积(平方公里)	经济损失(万元)
鄂尔多斯	20	急性滑坡	4.0	50	8 000
呼和浩特	15	慢性滑坡	3.0	30	5 000
乌兰察布	10	泥石流	2.0	20	3 000
包头	8	泥石流	1.6	15	2 000
锡林浩特	6	急性滑坡	1.2	12	1 500

滑坡发生的主要原因之一就是过度开发土地和不合理的建筑设计。在鄂尔多斯市的一个滑坡案例中，由于矿山开采和不当的道路建设，导致原本稳固的坡体发生滑动，造成了严重的人员伤亡和财产损失。

3.3 提高防护工程建设标准

对于滑坡灾害频发的地区，防护工程的建设是减少灾害损失的重要手段。防护措施可以包括：坡面加固、拦截网防护、排水系统建设等。特别是在滑坡发生频繁的区域，防护设施的标准应当根据当地的地质、气候及环境条件进行优化设计。在实际案例中，鄂尔多斯某矿区为防止滑坡灾害，采用了钢筋混凝土支撑和挡土墙建设，防止了多起潜在的滑坡事件，保护了周边的基础设施和居民区。类似的防护措施可以大规模应用于内蒙古的其他高风险区域。

3.4 提升公众防灾减灾意识

滑坡灾害的发生往往会造成巨大的人员伤亡和财产损失，因此，提升公众的防灾减灾意识是非常必要的。政府和社会组织应通过各种渠道加强对民众的教育与培训，包括定期举办防灾减灾讲座、制作防灾手册、组织应急演练等。特别是在滑坡灾害多发季节，地方政府应通过广播、电视、互联网等多种媒介发布滑坡灾害的预警信息，并指导公众采取相应的防护措施^[5]。此外，灾后应急响应机制的完善也是关键，确保灾害发生后能够迅速展开救援和应急处理。

4 结论与建议

4.1 结论

本文通过对内蒙古地区滑坡灾害成因的分析，揭示了地质因素、气候因素、人类活动等多重因素共同作用导致滑坡灾害的频发。近年来，由于气候变化和人为活动的加剧，滑坡灾害呈现出愈发严重的态势。因此，及时采取科学的防治对策显得尤为重要。防治工作应当从多个方面着手，包括加强灾害监测、优化城市规划、提升防护工程建设标准等。

4.2 建议

在滑坡灾害的防治过程中，首先必须加强监测与预警系统建设。这不仅是防灾减灾的基础，也是确保灾害发生前能够及时预警的关键。通过采用先进的遥感技术、地质监测设备、无人机巡检以及地面传感器等手段，能够实时监测滑坡易发区域的土壤湿度、坡体稳定性、降水量等关键指标。特别是在滑坡多发季节，建立智能化的预警系统，通过大数据分析 with 模型预测，能够提前发出滑坡风险预警信息，提醒当地居民采取防范措施，有效减少人员伤亡和财产损失。另外，合

理规划土地利用至关重要。内蒙古地区的部分山区和丘陵地带由于地质结构脆弱，极易发生滑坡灾害。因此，在土地利用和城市规划中，必须严格遵循“避灾优先”的原则，避免在滑坡高风险区进行过度开发。特别是在人口密集的城区及交通枢纽周围，要尽量避免设置重工业区、大型居民区等容易遭受滑坡影响的区域。此外，城市建设中的基础设施项目，如公路、铁路等，也应进行地质稳定性评估，确保建设项目的安全性。加强防护工程建设也是滑坡防治的必要手段。特别是在一些滑坡高发区，建造防护墙、挡土墙、加固坡面以及建设有效的排水系统等工程措施，能够有效降低滑坡发生的风险。例如，采用生态防护措施如植被恢复、坡体加固等手段，不仅能防止水土流失，还能提高坡体的稳定性。对于一些关键基础设施所在的区域，如水利枢纽、煤矿、石油开采区等，必须加强防护设计，确保这些设施免受滑坡灾害的破坏。此外，提升公众的防灾意识同样至关重要。通过广泛的宣传教育、应急演练等方式，可以有效增强当地居民和企事业单位的防灾减灾能力。尤其是在滑坡灾害易发地区，应该定期组织灾后避险演练和应急疏散演练，确保当地居民在灾害发生时能够冷静应对，迅速避险。通过普及滑坡灾害的基本知识，尤其是如何识别滑坡前兆和如何应对突发情况，可以显著提高民众的防灾能力。最后，内蒙古地区滑坡灾害防治的科技水平亟待提升。近些年，滑坡防治技术得到了快速发展，但在一些滑坡高风险区域，仍然缺乏高效的滑坡监测和防治技术。因此，加大科研投入，推动新的防治技术和装备的研究应用，是降低滑坡灾害发生概率和减小灾害损失的有效途径。例如，通过深基坑监测、三维地质建模、人工智能辅助的灾害预测模型等技术，可以进一步提高滑坡防治的精准度和响应速度。

参考文献：

- [1] 蒋佳岐,吴中海,黄小龙,等.金沙江干流巨型滑坡发育特征及其形成机理[J].地震科学进展,2024,54(10):680-695.
- [2] 刘传正,王建新.崩塌滑坡泥石流灾害链分类研究[J].工程地质学报,2024,32(05):1573-1596.
- [3] 黄广才,董继红,赵子龙,等.基于升降轨InSAR的复杂山区大范围煤矿开采沉降监测与分析[J].测绘通报,2024(09):106-111,122.
- [4] 卢登科,黄立鑫.滑坡灾害防治研究进展与展望[J].河南科技,2024,51(15):95-99.
- [5] 谢亚琼.九家湾滑坡形成机理与演化过程研究[D].重庆:重庆交通大学,2024.

国土空间规划视角下的自然生态空间整体性用途管制研究

贺丽雪

(河北陆源土地规划咨询有限公司, 河北 石家庄 050091)

摘要 在国土空间规划的宏观视角下, 自然生态空间的整体性用途管制成为一个亟需深入探讨的课题。随着全球经济的迅猛发展和城市化进程的加速推进, 自然生态系统面临着前所未有的压力与挑战。如何在保障经济社会发展的同时, 有效维护自然生态空间的完整性和功能, 成为国土空间规划领域的重要议题。本文探讨国土空间规划视角下的自然生态空间整体性用途管制并提出相应的建议, 以期构建生态文明、推动可持续发展提供有益参考。

关键词 国土空间规划; 自然生态; 空间整体性; 用途管制

中图分类号: TU985

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.02.041

0 引言

自然生态空间作为地球生命支持系统的重要组成部分, 不仅承载着生物多样性的保护重任, 还关乎着区域乃至全球的生态安全与稳定。然而, 在国土空间利用过程中, 由于不合理的规划与开发活动, 自然生态空间往往被分割、破碎, 导致生态系统服务功能下降, 甚至引发一系列生态问题。因此, 从国土空间规划的角度出发, 对自然生态空间实施整体性用途管制成为一种必要的应对策略。整体性用途管制强调在国土空间规划过程中, 将自然生态空间视为一个有机整体, 通过科学合理的规划布局和严格的管制措施, 确保其用途的合理性和可持续性。

1 国土空间规划与用途管制衔接内涵理解

国土空间规划与用途管制, 两者虽在国土空间治理体系中扮演着不同的角色, 却并非孤立存在, 而是相互交织、互为支撑^[1]。规划是蓝图, 是未来发展的导向与框架; 管制则是保障, 是规划落地的实施手段与监管机制。二者虽无清晰的边界划分, 却共同构成了国土空间治理不可或缺的组成部分。在这一过程中, 国土空间规划以其宏观性、战略性, 为国土空间的合理布局与优化配置提供了科学依据; 而用途管制则以其具体性、操作性, 确保了规划意图的有效实现与空间秩序的严格维护。国土空间用途管制的内涵已远非传统意义上的用途转用制度和空间准入制度所能涵盖。在生态文明建设的指引下, 它正逐步向全域全要素的空间管制拓展, 涵盖了土地利用、生态保护、资源开发、

城乡建设等多个方面。这种全要素、全方位的空间管制模式, 不仅有助于提升国土空间资源的利用效率, 还能有效遏制无序开发与过度开发, 促进人与自然和谐共生。国土空间规划与用途管制之间的衔接并非简单的机械组合, 而是基于二者耦合性与相互反馈促进作用的深度融合^[2]。一方面, 规划为管制提供了目标与方向, 确保了管制措施的针对性与有效性; 另一方面, 管制过程中的信息反馈与效果评估, 又为规划的调整与优化提供了重要依据。这种双向互动、相互促进的关系, 不仅有助于提升国土空间治理的效能, 还能促进国土空间规划与用途管制制度的不断完善与发展。

2 国土空间规划视角下的自然生态空间整体性用途管制要点

2.1 构建共同发力的“规划—管制”协调制度

在国土空间治理的深刻转型期, 规划与管制的协同机制已成为引导国家发展模式从高速度向高质量转变的关键性战略支点。这一转型不仅仅是技术层面的调整, 更是国家治理理念和发展范式的根本性变革。国土空间治理的复杂性要求我们突破传统的行政区划和单一要素管理模式, 构建一个以生态文明为核心、以系统性思维为导向的综合性治理框架。在这一框架中, 国土空间规划和用途管制作为核心工具, 其内在逻辑和外表现象已经从过去的线性、分割转向立体、联动的协同治理模式^[3]。尤其是在“山水林田湖草生命共同体”理念的引领下, 空间治理不再是简单的资源配置, 而是一个涉及生态系统整体性、区域协调性

和可持续发展的复杂系统工程。从宏观层面看，这一系统通过主体功能区划分，实现差异化的资源配置策略，既尊重区域自然禀赋，又充分激活区域比较优势；从中观尺度来看，“三区三线”管控模式为空间单元的功能定位和边界管理提供了精准的技术支撑，有效平衡了开发强度与生态保护的动态平衡；而在微观地块层面，通过建立严格的准入机制和动态监测体系，实现了对每一个具体空间单元的精细化管理，确保资源利用的高效性和生态性^[4]。这种多维度、立体化的治理模式，不仅仅是技术创新，更体现了国家治理能力现代化的重要突破。它要求我们超越传统的部门壁垒和管理惯性，建立一种更加开放、弹性和系统的治理范式，在尊重自然规律、维护生态平衡的同时，实现国土空间的优质、高效利用。通过这种全方位、多层次的治理机制，我们能够更加科学地处理发展与保护的复杂关系，最终推动形成一种既尊重自然、又彰显人文价值的国土空间治理新模式^[5]。

2.2 构建全面衔接的“规划—管制”传导制度

在国土空间治理的复杂体系中，规划与管制作作为两大核心环节，其紧密衔接与高效传导是确保治理效能的关键。调查、登记、规划、管制、执法等各环节相辅相成，共同构成了国土空间治理的完整链条。其中，规划与管制互为因果，规划的实施管理旨在实现既定的空间发展目标，而用途管制则是保障这些目标得以实现的重要手段^[6]。因此，在规划实施阶段，强化规划内容向用途管制的传导实施，成为提升国土空间治理效能的必然选择。国土空间规划作为未来发展的蓝图与导向，其内容涵盖了指引与约束两大类。约束类内容与用途管制紧密相关，直接决定了国土空间开发保护的空間布局、利用要求等关键要素。这些约束性内容不仅为用途管制提供了明确的指导与依据，也确保了规划意图在国土空间治理实践中的有效贯彻。然而，在规划编制、审批等实施前期，以及规划过渡期等特定阶段，规划内容的传导实施往往面临较大挑战。

在“多规合一”改革的深入推进过程中，用途管制制度正经历着从传统行政管理向现代治理体系的系统性转型。这一转型不仅仅是技术层面的优化，更是国土空间治理理念和范式的根本性变革。新型用途管制制度以“转用审批+准入许可+效用考核”为核心框架，突破了传统单一、静态的管理模式，构建了一个动态、全面、多维度的空间用途治理体系。该体系通过对建设用地、农用地、未利用地等不同空间类型

的精细化管理，不仅实现了用地转用的法律合规性，更注重对空间利用效益的全过程动态评估。在农用地、林地等关键领域，转用审批制度已经从简单的行政审批转变为基于生态保护、资源节约和高质量发展的综合性评估机制。这种新型管制模式强调空间利用的系统性和关联性，通过建立更加严格和科学的准入标准，有效平衡了发展需求与生态保护的复杂关系。更为关键的是，这一制度不再是静态的、自上而下的管理，而是一个具有反馈机制、可持续调整的治理系统，真正体现了国土空间治理的现代化理念。通过对空间用途的精准管控和持续优化，我们正在构建一个更加智慧、高效、生态友好的国土空间利用新范式。在国土空间治理的复杂系统中，城乡发展差异性管理是实现精准空间调控的关键路径。通过构建多维度、差异化的空间准入机制，可以有效破解传统管理模式的局限性。具体而言，城镇开发边界内实施的“详细规划+规划许可”管理模式，不仅能够强化空间利用的规范性，还能显著提升城镇发展区的资源配置效率。对于城镇开发边界外的国土空间，应当采用更为复杂的复合管理方式，即在“详细规划+规划许可”基础上叠加“约束指标+分区准入”的管控模式，针对生态保护区、农田保护区、乡村发展区等不同功能分区，制定差异化、精准化的准入规则，从而实现国土空间的系统性、整体性调控。这一管理框架的核心在于建立以效用为导向的考核制度，通过整合节约集约示范省创建考核、节约集约模范县（市）评价、开发区资源利用评价等多元评估指标，并结合资源环境承载能力监测结果，构建客观、全面的国土空间利用绩效评估体系^[7]。这一制度不仅能够量化空间利用效率，还能为规划动态调整提供科学依据，推动国土空间治理从粗放式管理向精细化、智能化转型。探索建立约束性指标计划管理、开发性地块批后监管等制度，将形成全方位、全过程的闭环监管机制，有效防范空间资源配置失衡和使用无序等风险，最终实现国土空间治理体系的系统性重塑与治理能力的现代化提升。

2.3 构建紧密关联的“规划—管制”监督制度

在国土空间治理的全生命周期管理中，监督阶段已经成为连接规划编制、实施与评估的关键枢纽，其复杂性和系统性远远超出传统的行政管理范畴。随着数字技术的革命性突破，国土空间治理正在经历从经验性、碎片化管理向科学化、系统化、智能化转型的深刻变革。这一转型的核心在于构建一个基于大数据、

人工智能和空间信息技术的综合性监督生态系统，其理论内涵和实践路径已经突破了传统的行政管理边界。技术创新为监督机制提供了前所未有的精准性和动态性：北斗卫星定位系统、高分辨率遥感技术、地理信息系统（GIS）等多元技术的深度融合，不仅实现了对国土空间的实时、精准捕捉，更为监督机制注入了智能化的治理逻辑。以“国土空间规划‘一张图’”为代表的信息化监管平台，已经从单一的数据记录转变为具有预警、分析、决策支持等多维功能的智能治理系统。这一系统突破了传统监管的静态、碎片化局限，通过多维度监督单元的构建——行政区划单元、空间规划单元、自然生态单元、发展管理单元及微观地块单元，实现了国土空间治理的全方位、立体化管理。数据关联与传导是这一系统的灵魂，通过对国土空间规划的几何属性、数据特征、时序变迁等的精准捕捉

和分析，不仅能够绘制出国土空间利用的动态演变图谱，更能为政策制定者提供基于实证的决策参考。更为关键的是，这一监督系统已经从被动的事后监管转变为主动的全程治理，通过建立全程可追溯的传导过程留痕管理制度，将用途转用审批、空间准入许可、效用考核等行政行为有机串联，形成一个具有实时性、关联性和预警性的智能监管网络。这种监管范式的创新，不仅仅是技术手段的革新，更代表了国家治理能力现代化的重大突破，标志着我国国土空间治理正在从传统的静态管理向动态、智能、全周期的系统性治理模式转变。通过实施档案信息化管理，每一个监管环节都将获得精确坐标，形成“痕迹清晰、监管到位”的治理新模式。这一制度不仅仅是技术手段的简单叠加，更是国土空间治理理念的深刻革新，标志着我国国土空间治理从粗放式管理走向精细化、智能化的重大转型（见图 1）。

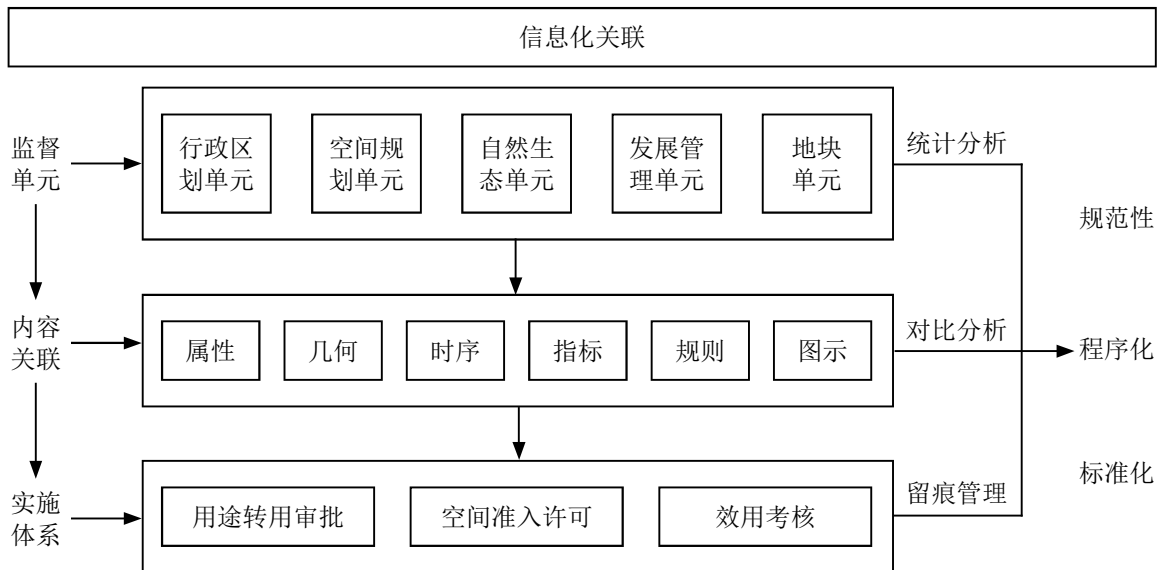


图 1 国土空间规划与用途管制制度信息化关联图

3 结束语

国土空间规划视角下的自然生态空间整体性用途管制，是维护生态系统完整性和功能、保障区域生态安全的重要途径。通过科学合理的规划布局和严格的管制措施，可以有效避免自然生态空间的过度开发和无序利用，实现其与社会发展的和谐共生。

参考文献：

[1] 张夏丰, 郭嘉. 新时代国土空间规划背景下生态廊道建设规划实践探索 [J]. 工程建设与设计, 2024(12):59-61.
 [2] 王苗. 国土空间规划背景下详细规划高效实施路径

的探索 [J]. 农业灾害研究, 2024,14(05):278-280.
 [3] 李阳力, 陈天. 国土空间规划体系下的“标准化”水生态韧性研究模式重构 [J]. 中国软科学, 2024(03):98-108.
 [4] 王凯, 蒋国翔, 罗彦, 等. 适应气候变化的国土空间规划应对总体思路研究 [J]. 规划师, 2023,39(02):5-10.
 [5] 唐双娥. 国土空间规划中生态用地的法律界定: 兼谈生态环境损害的范围 [J]. 湖湘法学评论, 2023,03(01):23-35.
 [6] 王琪, 王存颂. 国土空间详细规划层级中生态空间管控与保护修复的思路探讨 [J]. 现代城市研究, 2022(09):118-125.
 [7] 郝庆. 面向生态文明的国土空间规划价值重构思辨 [J]. 经济地理, 2022,42(08):146-153.

基于高寒气候特征的高原公路养护施工材料性能与耐久性研究

姚杰

(西藏自治区昌都公路事业发展和应急保障中心, 西藏 昌都 854000)

摘要 高原地区独特的气候环境对公路养护施工材料提出了更高的要求。本文从高寒气候特征出发, 系统分析了温差变化、强紫外线辐射以及冻融循环对高原公路养护材料性能的影响机理。在此基础上, 重点研究了改性沥青材料、抗冻水泥混凝土、纤维增强复合材料以及防水防冻养护材料的配方优化与性能提升技术。针对高原公路养护需求, 提出构建养护材料性能评价指标体系, 开展材料耐久性试验研究, 分析材料性能衰变规律, 综合采取材料改性与工程措施相结合的方法来提升材料耐久性。研究成果旨在为高原地区公路养护材料的选用、设计以及耐久性提升提供理论指导和技术支撑。

关键词 高原公路; 养护施工材料; 高寒气候; 性能评估; 耐久性

中图分类号: U418

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.02.042

0 引言

高原地区地形地貌复杂, 气候环境恶劣, 给公路工程的建设和养护带来严峻挑战。受高海拔、大温差、强紫外线以及频繁冻融循环等因素影响, 普通公路材料在高原环境中易发生性能退化、耐久性不足等问题, 难以满足高原公路长期服役的需求。深入分析高寒气候特征对养护材料性能的影响, 研究适用于高寒环境的高性能养护材料, 对材料性能进行科学评估, 探索材料性能提升和耐久性改善的有效途径, 对于保障高原公路养护质量、延长公路使用寿命具有重要意义。

1 高寒气候特征对高原公路养护材料的影响

1.1 高原温差变化对材料内部结构的影响

高原地区昼夜温差大、季节温差明显, 材料经受频繁的冷热循环作用, 存在着结构破坏的潜在风险。在反复热胀冷缩过程中, 材料内部产生的热应力会逐步积累, 引起微观结构的不可逆演变。热应力诱导下, 材料内部的微裂纹不断萌生、扩展, 同时伴随着孔隙率的增大, 强度与整体性随之下降。以沥青混合料为例, 温度骤降时, 沥青的脆性增加, 抵抗变形的能力降低, 在车辆荷载作用下容易开裂、脱落, 破坏路用性能。因此, 揭示温差效应下材料微观结构的演变机制, 对阐明高原环境的材料破坏规律至关重要。

1.2 强紫外线辐射加速养护材料老化性分析

高原地区紫外线辐射度大, 加之日照时间长, 强辐射环境可加速有机质材料的老化进程。以沥青为代

表的路用材料, 在强紫外光的长期照射下, 老化速率明显提高。紫外线穿透材料表面后, 切断分子链中的化学键, 引发光解反应, 导致材料发生交联、断链等一系列微观结构改变, 表现为硬化、脆化等性能的退化, 最终引起开裂、碎裂等失效模式。针对这一老化机理, 亟需开展紫外光谱分析、光氧化动力学研究, 定量描述辐射剂量与材料性能的关联规律, 筛选高效光稳定剂, 优化防老化配方, 从而延缓紫外损伤, 提升材料的耐候性能^[1]。

1.3 冻融循环作用对材料力学性能影响机理

冻融破坏是高原公路养护的主要难题之一, 冬季漫长的低温环境, 使公路结构长期处于冻结状态, 内部孔隙水受冻胀力作用反复冻融, 引起材料微观结构的恶化。冻胀力诱发的微裂纹会在冻融循环中不断扩展, 导致材料强度与整体性下降, 力学性能逐步退化。以水泥混凝土为例, 内部的胶凝材料因冻融作用发生溶蚀、分解, 失去原有的黏结能力, 进而引起骨料脱落、露石现象, 最终导致混凝土破坏。因此, 揭示冻融循环作用下材料性能演变规律, 构建冻融损伤力学模型, 对指导抗冻材料的优化设计至关重要。

2 适用于高寒气候的高原公路养护施工材料

2.1 改性沥青材料的低温适应性性能优化研究

针对高原气候的需求, 应优选低温性能优异的沥青品种, 并辅以合理的改性措施, 提升其抗低温开裂能力。采用SBS、SBR等高分子聚合物对沥青进行改性,

可显著提高其低温柔韧性及延展性。通过优化改性剂用量与相容性,精细调控材料的力学性能与温度敏感性,使其在低温条件下仍能保持较好的柔性和韧性,有效抵御温度应力的破坏作用。同时,合理掺加橡胶粉、塑料等废旧材料,不仅能改善沥青的低温性能,还可提高材料的环保性与经济性。此外,完善成品沥青的低温性能评价方法,建立与工程实际紧密结合的低温指标体系,对指导改性沥青的配方优化与质量控制具有重要意义^[2]。

2.2 抗冻水泥混凝土配合比设计与性能分析

抗冻混凝土的设计核心是通过合理的配合比优化,最大限度降低混凝土的吸水率与饱水率,减少可冻水的数量,从而提高其抗冻融性能。在原材料选择上,宜优选低碱、低水化热的抗冻水泥,并辅以粉煤灰、矿粉等优质掺合料,改善混凝土的密实性。同时,掺加引气剂可有效引入微小气泡,在混凝土内部形成蓄水空间,缓解冻胀压力。减水剂的合理使用,可降低水胶比,提高混凝土强度。在集料选用方面,应满足粒径、级配、含泥量等要求,优化骨料堆积密实度。通过综合评定混凝土的抗冻等级,分析气泡间距系数、持久性、后期强度增长等性能参数,优选适宜的配合比方案,满足耐久性设计要求。

2.3 纤维增强复合材料的制备与工程应用

纤维增强水泥基复合材料具有高韧性、高抗裂性等优点,可有效延缓冻融破坏的发生。在水泥浆体中均匀掺入短切钢纤维、聚丙烯纤维、玄武岩纤维等,可构建三维立体网状结构,阻碍微裂纹的扩展,提高材料的抗裂能力。同时,纤维与基体间的黏结力与摩擦力可实现应力的传递,发挥裂缝钉锚与桥联作用,提高材料的损伤容限。在配合比设计中,应综合考虑纤维的长径比、体积掺量、分散性等因素,优选纤维品种与掺量范围,并通过界面改性处理提高纤维的抗拔性能。开展纤维复合材料的力学性能测试、冻融循环试验,评估其在高寒环境下的适应性,为实现规模化生产与工程应用奠定基础。

2.4 防水防冻养护材料的研发与适应性评价

防水防冻材料是抵御冻融侵蚀、延长公路寿命的重要手段。传统材料如 SBS 改性沥青类防水卷材、聚氨酯类涂料等,在高原极端气候下存在老化速度快、黏结性差等问题。应加大新型防水防冻材料的研发力度,突破传统路径限制,开发高性能、多功能、环保型新材料。例如,研制耐老化、高延展的 TPO 类防水

卷材,开发新型反应黏结型涂料,优化改性乳化沥青的相容性与稳定性等。在材料设计中,应重点考虑其与基层的适应性、黏结性能,改善与沥青路面、混凝土的相容性。同时,材料还应具备优异的耐候性、抗冻性,以适应高原恶劣气候的长期考验。开展系统的适应性评价研究,测试其抗拉强度、断裂延伸率、不透水性、黏结强度等性能指标,分析材料的高温稳定性、低温柔性、抗紫外老化性能,筛选适宜的材料配方与质量控制指标^[3]。

3 高原公路养护施工材料性能评估与耐久性的提升策略

3.1 养护材料性能评价指标体系建立与应用

建立科学规范的材料性能评价指标体系对于高原公路养护施工具有重要意义,传统评价指标主要关注常规物理力学性能,包括强度、延展性等基础参数,这种单一的评价方式难以全面反映材料在高寒环境下的适应性能。针对高原环境特点,需要补充完善评价指标体系。首先,应重点突出高温稳定性、低温抗裂性、抗冻融性、耐久性等关键特性指标;其次,在常规指标基础上引入低温弯曲试验、低温万能试验等专项性能指标,通过定量评估掌握材料的温度敏感特性;最后,抗冻融性能评价需要通过冻融循环试验、相对动弹弹性模量试验等方法准确反映材料的内部损伤程度。在耐久性能评价方面,可采用紫外老化试验、淋水老化试验等加速老化方法进行考核。对评价指标体系的应用需要采取“室内试验—路试评价—工程验证”一体化研究思路,注重分析各级指标之间的内在关联性,确保评价结果具有实际工程应用价值。为确保材料性能评价的科学性与可靠性,还需建立养护材料性能数据信息化管理平台,实现数据的规范化采集与存储。通过科学合理的材料性能评价指标体系,为养护材料选型、配方优化和工程质量控制提供可靠的技术支撑^[4]。

3.2 材料耐久性试验方案设计与评价研究

高原公路养护材料的耐久性直接影响工程使用寿命,开展材料耐久性试验研究需要科学构建模拟高原环境的劣化加速模型。由于高原环境复杂多变,试验方案设计应充分考虑各种环境因素的影响。一方面,需要充分考虑昼夜温差、紫外辐射、冻融循环等多因素的耦合效应,合理设置试验参数与加载方式,最大限度模拟材料在实际环境中的劣化过程;另一方面,通过运用气候老化箱、紫外老化箱等先进设备,实现温度、湿度、辐射等环境因子的精确控制,系统开展

高低温循环、紫外照射、冻融循环等单因素或多因素耦合试验。在耐久性评价内容方面,需要涵盖力学性能、变形特性、表观形貌、微观结构等多个层次,全面反映材料在极端条件下的性能演变规律。评价指标应与性能衰变机理紧密结合,结合扫描电镜、红外光谱等微观分析手段,揭示劣化过程中的微观结构变化规律,建立与宏观性能参数的定量关联。针对不同类型养护材料,建立相应的性能衰变预测模型,实现材料使用寿命的科学评估。同时,基于试验数据建立材料性能演变数据库,为新型养护材料的研发与应用提供基础数据支持。通过系统的耐久性试验研究与评价体系构建,实现高原公路养护材料性能衰变规律的准确预测与寿命评估。

3.3 基于环境因素的材料性能衰变规律分析

高原环境因素对养护材料性能的影响错综复杂,准确把握材料性能演变规律对提升工程耐久性具有重要意义。厘清环境因素与材料性能间的定量关系,揭示材料在动态环境荷载下的劣化演变机理,对延长公路使用寿命、制定养护策略至关重要。研究方法上宜采用大型户外暴露试验与室内加速老化试验相结合的方式,利用高原实际道路开展材料野外暴露试验,实施环境参数与材料性能指标的长期跟踪监测,获取性能衰减的原位数据。同时针对性开展室内环境模拟试验,提炼温度—湿度循环、紫外辐射、冻融作用等关键影响因子,深入研究单因素与多因素耦合作用下的劣化机理。在环境因素分析中,需系统探讨不同因素的影响权重,建立变量与材料宏微观性能间的函数关系。此外,还要考虑荷载—环境耦合作用,研究交通荷载与环境因素的协同效应,探究材料性能衰变的内在机制与演变规律。基于长期监测数据与试验结果,构建多元环境因素影响下的性能衰变模型,实现材料性能演变规律的定量描述与预测^[5]。结合现场检测与室内试验,建立环境因素—材料性能响应数据库,开发性能预测模型。通过系统的环境因素影响机理研究与衰变规律分析,为评估材料耐久性能、预测材料服役寿命、指导养护周期提供科学依据。

3.4 养护材料耐久性提升技术与工程措施

延长养护材料耐久性,提高公路使用年限是高原公路养护的重要目标。研究表明,材料成分优化、新型养护技术应用、精细化施工工艺等多种途径可有效提升材料的长期使用性能。在材料优化方面,通过合理掺加抗老化剂、光稳定剂等功能性外加剂,提高材料的抗紫外老化性能,采用纳米改性技术优化沥青、

水泥等材料的微观结构,增强抗裂、抗冻融性能。同时,引入自修复材料利用损伤后自主修复特性延长使用寿命。在新型养护技术方面,超声波无损检测、红外热成像等技术实现材料内部缺陷的早期预警,为预防性养护提供技术支撑。此外,喷涂式防水封层、就地热再生等新工艺可有效封堵裂缝、修复局部病害,提高路面整体性能。在施工环节,优化摊铺温度控制、接缝处理等关键工序,提高施工精度,减少缺陷引入。做好伸缩缝设置、排水系统维护等配套工程,降低环境水对路基路面的不利影响。加强养护材料质量控制与施工过程管理,建立健全预防性养护制度,落实定期养护作业要求,及时发现并处治早期病害,持续改进养护工艺与施工技术水平。加大新材料、新技术、新工艺的研发与应用力度,持续优化养护材料配方与施工工艺。通过建立完善的预防性养护制度与科学合理的养护材料耐久性提升技术体系,实现高原公路养护工程的长期耐久性。

4 结束语

高原极端气候环境对公路养护材料性能的要求极高。系统开展养护材料在高寒条件下的性能影响机理、适应性材料优化、评价方法创新、长期性能演变规律、耐久性提升策略等方面的研究,可为高原公路的科学养护、长效管理提供坚实的技术保障,应进一步加强产学研用联动,突破关键核心技术,加速新材料、新工艺的转化应用,推动养护材料的绿色化、高性能化发展。同时,还应建立完善的技术标准规范,健全质量监管体系,为高原公路的高质量养护与可持续发展提供全链条的技术与政策支撑,助力高原地区交通运输事业的蓬勃发展。

参考文献:

- [1] 杨袁芳.高性能复合材料在公路施工养护中的应用研究[J].科技创新与生产力,2024,45(08):57-59,63.
- [2] 王茂健.公路养护施工质量管理中存在的问题与解决对策[J].运输经理世界,2024(21):139-141.
- [3] 唐贡辉,高天.公路养护中的材料选择与路面修复技术[J].运输经理世界,2024(17):126-128.
- [4] 李济杰.高速公路养护专项施工新材料新工艺的应用[J].工程建设与设计,2024(06):143-145.
- [5] 杨列全.高速公路养护专项施工新材料新工艺的应用[C]//中国交通建设监理协会2022年度学术论文集.山东方正公路工程咨询有限公司,2023.