

城市建筑与发展

Urban Architecture And Development



ART AND DESIGN PRESS INC.

(626 810 4480)

119 S Atlantic Blvd, Suite 300D

Monterey Park, CA 91754

Copyright © 2024 by ART AND DESIGN PRESS INC.

Complimentary Copy



Editorial Board

Editors-in-Chief

Peng Xu

China Municipal Engineering North China Design and Research Institute Co., LTD.

Zhijin Lu

China Municipal Engineering Northeast Design and Research Institute Co., LTD. Dongguan Branch

Editorial Board Member

Longde Cha

Zhejiang Jiahua Architectural Design & Research Institute, China

Feng Gao

China Municipal Engineering South-Central Design and Research Institute Co., LTD.

Chunxiao Lin

China Municipal Engineering South-Central Design and Research Institute Co., LTD.

Andrew Chiou

School of Engineering and Technology Centre for Intelligent Systems

Ritesh Chugh

School of Engineering and Technology Centre for Research in Equity & Advancement of Teaching & Education(CREATE)

城市建筑与发展

Urban Architecture and Development

第2卷 第8期 2024年8月刊

主管 ART AND DESIGN PRESS INC.

主办 ART AND DESIGN PRESS INC.

编辑 《城市建筑与发展》编辑部

ISSN(O): 2993-270X

ISSN(P): 2995-2441

地址: 119 S Atlantic Blvd, Suite 300D Monterey
Park, CA 91754

网址: <https://www.artdesignp.com>

本刊说明:

凡向本刊所投稿件, 全体作者需签署论文著作权
转让声明书和论文发表承诺书, 声明、承诺及相关事
项如下:

- 作者将论文的复制权、发行权、网络传播权、
翻译权、汇编权、信息网络传播权、改编权等著
作权在世界范围内免费转让给本刊。
- 论文不侵犯他人著作权和其他权利, 否则作者将
承担由此产生的全部责任, 并赔偿由此给出版单
位造成的全部损失。
- 论文署名作者享有该作品的完全著作权, 署名作
者的身份真实。
- 论文未曾以任何形式公开发表过。
- 作者所投本刊稿件, 本刊编辑部拥有修改权。



- | | | |
|-----|---|---|
| 001 | 火电厂节能管理方向下的能源综合利用优化分析
Optimization Analysis of Comprehensive Energy Utilization under the Direction of
Energy Conservation Management in Thermal Power Plants | 庄振勇
Zhuang Zhenyong |
| 004 | 多层钢结构厂房结构设计及难点分析
Structural Design and Difficulty Analysis of Multi-story Steel Structure
Factory Buildings | 宋冠中
Song Guanzhong |
| 007 | 电梯制动器故障分析及其检验检测探讨
Analysis of Elevator Brake Failures and Discussion on Inspection and
Detection Methods | 刘昶熠, 廖龙萍, 胡斌
Liu Changyi, Liao Longping, Hu Bin |
| 010 | 浅析婴幼儿推车产品的可持续性设计
Sustainable Design of Infant and Toddler Stroller Products | 刘新雨
Liu Xinyu |
| 013 | 无损检测技术在电梯检验中的实践研究
Research on the Practice of Non-Destructive Testing Technology in Elevator
Inspection | 胡斌, 李自然, 刘昶熠
Hu Bin, Li Ziran, Liu Changyi |
| 016 | 植物展览温室景观规划设计
Landscape Planning and Design for Botanical Exhibition Greenhouses | 刘济铭
Liu Jiming |
| 019 | 城市埋地PE燃气管道全面检验方法及应用研究
Comprehensive Inspection Methods and Application Research for
Urban Buried PE Gas Pipelines | 刘先发, 方爱民, 周自军
Liu Xianfa, Fang Aimin, Zhou Zijun |
| 022 | 浅析城市更新视角下的传统住宅改造设计研究
Research on Traditional Residential Renovation Design from the
Perspective of Urban Renewal | 包敏辰, 李丹阳
Bao Minchen, Li Danyang |
| 025 | 长三角研究院屋面的防水设计与施工应用研究
Research on the Application of Waterproof Design and Construction
of Roofs in the Yangtze River Delta Research Institute | 邹文利
Zou Wenli |
| 029 | 人脸识别技术在工地安全管理中的应用
Application of Face Recognition Technology in Construction Site
Safety Management | 吴泓学
Wu Hongxue |
| 034 | 建筑工程造价与施工进度的协同优化机制构建
Construction of Collaborative Optimization Mechanism for Construction
Cost and Construction Schedule | 刘婕
Liu Jie |
| 038 | 小型基建维修工程管理中存在的问题与措施
Problems and Measures in the Management of Small Infrastructure
Maintenance Projects | 赵博帆
Zhao Bofan |
| 041 | 数字化技术在园区建筑装饰设计中的应用
The Application of Digital Technology in the Design of Campus Building
Decoration | 刘思明
Liu Siming |

火电厂节能管理方向下的能源综合利用优化分析

庄振勇

华电新疆阜康热电有限公司, 新疆 阜康 831100

摘要： 本文围绕“双碳”战略目标下火电厂能效提升需求，系统探讨节能管理与能源综合利用的协同优化路径，通过剖析火电厂能源流动结构及能耗问题，揭示锅炉热效率低、余热回收不足及管理粗放等关键瓶颈。从热力学优化和数字化管理两个角度，提出燃烧系统改造、余热梯级利用和智能监测平台构建等技术路径，强调数字孪生与多能互补系统的集成应用。最后，结合典型案例验证了技术革新与管理机制协同对降低煤耗、提升综合能效的可行性。

关键词： 火电厂；节能管理；能源综合利用；优化路径

Optimization Analysis of Comprehensive Energy Utilization under the Direction of Energy Conservation Management in Thermal Power Plants

Zhuang Zhenyong

Huadian Fukang Thermal Power Co., LTD. Fukang, Xinjiang 831100

Abstract: This paper focuses on the energy efficiency improvement needs of thermal power plants under the "dual carbon" strategic goals. It systematically explores the synergistic optimization paths for energy conservation management and comprehensive energy utilization. By analyzing the energy flow structure and consumption issues in thermal power plants, it reveals key bottlenecks such as low boiler thermal efficiency, insufficient waste heat recovery, and coarse management practices. From both thermodynamic optimization and digital management perspectives, it proposes technical approaches including combustion system upgrades, cascaded waste heat utilization, and the construction of intelligent monitoring platforms. The paper emphasizes the integrated application of digital twins and multi-energy complementary systems. Finally, it validates the feasibility of technological innovation and management mechanism synergy in reducing coal consumption and enhancing overall energy efficiency through case studies.

Keywords: thermal power plant; energy conservation management; comprehensive utilization of energy; optimization path

引言

作为电力供应的核心支柱，火力发电承担着超过60%的电力生产任务，但其能源消耗强度与环境压力日益凸显。然而，当前火电机组普遍存在锅炉热效率较低、冷端系统余热损失较高，叠加粗放式调度、数字化监测缺失等管理短板，导致能源综合利用效率与国际先进水平存在显著差距。这种高能耗、低效率的运营模式不仅加剧了煤炭资源浪费，更与全球能源转型趋势形成尖锐矛盾。探索节能管理与能源综合利用的协同优化路径，已成为破解火电行业生存困局的关键突破口。本研究聚焦火电厂节能管理体系，从热力学优化和数字化调控展开分析，提出以能耗监测平台为核心的管理策略，为火电厂构建技术和管理的双重能效提升方案。

一、火电厂节能管理的理论基础

（一）节能管理的核心概念

火电厂节能管理是指利用系统性方法来降低能源转换过程中的损耗，主要聚焦能源效率优化、损耗动态控制与全生命周期成本统筹^[1]。从热力学视角看，节能管理的本质是对能源转换过程中无效熵增的主动干预，通过燃烧参数优化、设备效率提升等路径降低系统不可逆损耗。全生命周期成本理念突破了传统的短期成本核算方法，要求统筹规划设备选型、技术改造与运维策略，

强调初始投资与长期能效收益的动态平衡。损耗控制则贯穿燃料输入至电力输出的全流程，涵盖烟气余热散失、厂用电冗余消耗等关键环节。这种管理范式既契合“双碳”目标下能源集约化转型需求，也为火电厂从粗放型生产向精细化运营转型提供方法论支撑。

（二）能源综合利用的理论支撑

能源综合利用的理论根植于热力学第二定律的焓分析体系，通过能量梯级匹配实现能质差异的有效利用。热电联产技术对蒸汽参数进行逐级利用，将单一发电过程拓展为电力、热力联供模

式，从而显著提升系统炯效率^[9]。余热回收技术则聚焦工业流程中的低品位热能捕获，借助热泵、换热器等装置实现废弃热能的定向转化。多能互补系统基于经济学边际效益原理，整合燃煤、光伏、储能等异质能源，通过灵活调度机制平抑负荷波动。从经济学视角审视，这些技术需在投资回收周期与长期运营收益间建立平衡关系，既要考虑设备改造成本的沉没效应又要评估碳排放权交易等政策工具带来的附加价值。理论研究表明，系统集成度每提升10%，全厂能源利用率可产生非线性增长效应。

二、火电厂能源利用现状与问题分析

（一）典型火电厂的能源流动结构

火电厂的能源流动全流程可分为燃料输入、能量转化和电力输出。燃煤经破碎系统预处理后进入锅炉燃烧，化学能释放转化为高温烟气热能，其中仅约40%的能量通过水冷壁吸热生成高压蒸汽。蒸汽驱动汽轮机时会存在显著的参数降级损耗，主蒸汽经多级膨胀后约60%的热能被冷端系统以循环水散热形式逸失。在输配电环节，发电机输出的电能需经变压器升压并入电网，期间电磁损耗与线路阻抗导致约2%–3%的电力衰减。在整个链式能量传递中，锅炉排烟余热、汽轮机乏汽潜热、辅机机械摩擦等环节的无效损耗形成系统性熵增，构成能源利用率低下的物理根源^[3]。从能量分配视角分析，在燃料输入的总量中，仅有35%–38%最终转化为有效电能，其余能量以烟气余热、冷端散热、厂用电消耗等形式流失。燃烧系统具有热力学不可逆性，主要体现为燃料氧化反应不完全导致的灰渣含碳量超标，而蒸汽循环的卡诺效率限制则表现为凝汽器背压过高引发的冷源损失。输煤、制粉、除尘等辅助系统的寄生能耗进一步加剧了能量损耗，形成“主系统效率制约+辅系统能耗叠加”的复合型能效困局。

（二）主要能耗问题

锅炉系统的低效燃烧是火电厂能效损失的首要瓶颈，燃煤颗粒度不均、配风比例失调容易导致炉膛内燃料氧化反应不充分，烟气中未燃尽碳含量升高直接降低锅炉热效率。受制于低负荷工况下的燃烧稳定性需求，过量空气系数普遍高于设计值，排烟热损失占比可达总能耗的6%–8%。冷端系统的余热回收能力不足，表现为循环水携带的低温热能未有效用于区域供热或工业蒸汽联供^[4]，造成约25%的能源潜质浪费。辅机系统的高能耗特性体现在风机、水泵等设备的运行效率偏离最优工况。引风机在变负荷调节时因静叶开度与管网阻力匹配失当，额外功耗增加可达额定功率的15%–20%。厂用电率过高的深层矛盾源于设备选型冗余与调度策略粗放，例如循环水泵在非尖峰时段仍保持全速运行，导致无效电能消耗占总厂用电量的12%以上。此外，除尘、脱硫等环保设施的投运使辅机功耗同比增加8%–10%，形成节能与环保目标的技术性冲突。

（三）管理层面的不足

多数火电厂未建立锅炉燃烧效率、汽轮机热耗率等核心参数的实时监测平台，运行数据仍依赖人工抄录与离线分析，容易导致能效异常无法实现预警与闭环调控。调度策略较为粗放，在负

荷分配方面经常未考虑机组间效率差异，高峰时段高煤耗机组频繁启停调峰，而高效机组却长期处于低负荷运行状态，造成系统整体能耗水平抬升。部分员工节能意识薄弱，在执行各种操作时存在偏差^[5]。锅炉配风调整、汽轮机滑压运行等精细化操作缺乏标准化流程指导，运行人员凭经验调节的现象普遍存在，关键参数偏离设计值范围的概率显著增加。管理制度层面，能耗考核指标与岗位绩效的关联度不足，导致技术改造、运行优化的内生动力缺失。部分电厂虽引入能耗对标体系，但未建立“监测–诊断–优化”的动态改进机制，能效提升措施多停留在设备更换层面，缺乏系统性能评估。

三、节能管理方向下的能源利用优化路径

（一）燃烧系统优化

首先需要对燃烧系统进行技术革新。低氮燃烧技术能够重构炉膛空气动力场与燃料分布模式，实现污染物控制与能效提升的双重目标，该方法的核心在于分级配风与燃料再燃策略的协同应用，前者通过控制主燃烧区氧气浓度抑制氮氧化物生成，后者利用未燃尽碳的还原作用进一步降低污染物排放^[6]。煤粉细度调整也是优化方向之一，需结合煤质挥发分与锅炉负荷动态匹配，采用磨煤机参数优化系统实时监测粒径分布，既避免粗颗粒煤粉导致的燃烧不完全，又防止过细煤粉增加制粉能耗。引入智能配风控制系统，根据燃烧参数实时监测网络，进而动态调整一两次风比例与旋流强度，确保火焰中心位置稳定并减少过量空气系数冗余。

煤粉输送环节的精细化控制同样关键。火电厂需优化磨煤机出口温度与风煤比，建立煤粉浓度与燃烧稳定性的动态平衡关系，减少因煤粉分布不均导致的局部高温区^[7]。针对燃烧器喉部结构设计，可增强燃料与空气的混合均匀性，缩短着火延迟时间。在变负荷工况下，采用自适应燃烧控制策略调整煤粉喷射角度与速度，维持炉膛热负荷分布的均衡性，避免因热力波动造成的效率损失。

（二）余热梯级利用技术

为实现多层次回收，余热回收技术应遵循能量品位差异，采用梯级利用的方式。锅炉排烟余热回收系统通过低温省煤器或热泵技术，将烟气温度从常规的120–150℃降至酸露点以上临界值，回收的热量可预热凝结水或助燃空气，显著降低排烟损失^[8]。烟气换热器采用抗腐蚀复合陶瓷涂层管材，结合扩展受热面设计降低流动阻力，形成与主蒸汽系统的热集成网络。对于高硫分燃料，引入前置除灰装置减少飞灰对换热面的冲刷磨损，同时设置在线输灰系统维持换热效率。汽轮机乏汽供热技术通过改造凝汽器真空系统，将低压缸排汽潜热转化为热网循环水热量。非供暖期可切换为吸收式热泵驱动热源，实现冷端余热的全年化利用。为实现乏汽回收，应进一步优化凝汽器背压与热网水温的匹配关系，采用变工况调节技术平衡发电效率与供热需求。构建多能互补系统，以进一步拓展余热利用维度。通过整合燃煤机组与光伏、储能设施，建立异质能源的协同调度机制^[9]。在烟气余热回收

环节嵌入储能装置，平抑负荷波动对热力系统的冲击，最终实现余热资源的时空转移与高效配置。热力循环的优化设计可突破单一设备能效瓶颈，例如将余热锅炉与主蒸汽系统耦合，形成跨介质的能量传递链条。

（三）数字化管理与智能调控

数字化技术为火电厂能效优化提供动态决策支持。火电厂可采用基于大数据分析的运行参数优化策略，构建机组全工况能效模型，运用聚类分析与回归算法识别关键参数阈值，进而生成多目标约束下的最优运行曲线。数据预处理环节采用异常值修正与稳态判别技术，并结合多源数据融合提升输入数据的可靠性。在此基础上建立实时数据库，实现历史运行数据的快速检索与对比分析。除了大数据分析外，基于 AI 的负荷预测系统能够融合气象信息、电网调度指令与设备状态数据，捕捉负荷波动规律。系统内置各种预测模型，可以适应不同季节与燃料特性的变化。在目前市场交易中，负荷预测的结果可与发电计划进行联动优化，通过电价信号引导机组运行方式的调整。数字孪生技术通过三维建模与实时数据映射构建虚拟电厂镜像系统，主要用于模拟设备劣化趋势与故障传播路径^[10]。孪生模型可同步反映实体机组的运行状态，为预防性维护与运行策略调整提供可视化决策依据。智能调控平台中包含燃烧优化子系统、冷端优化模块和辅机控制系统，能够整合监测、诊断与优化模块，形成闭环控制链。燃烧优化子系统利用图像识别技术分析炉膛火焰形态，自动修正配风参数，冷端优化模块根据循环水温升动态调整冷却塔运行模式，辅机控制系统可建立能耗-效率关联模型，实现风机、水泵等设备的变频调速与负荷匹配。

四、案例分析与效果验证

（一）案例分析

国家能源集团广东台山电厂 600 兆瓦燃煤机组掺氨燃烧项目是中国首个规模化燃煤锅炉掺氨降碳示范工程。作为“双碳”目标下火电低碳转型的标杆项目，该电厂依托百万千瓦级超超临界机组平台，针对传统燃煤发电碳排放强度高、灵活性不足的痛点，联合烟台龙源等科研单位开展技术攻关，探索煤电源头减碳路径。项目团队围绕氨燃料特性与燃煤锅炉适配性难题构建“储-输-喷-控”全流程技术体系。燃料制备环节，采用液氨低温存储与气化调压技术，开发分布式氨气注入装置，实现掺氨比例 10%-30% 的动态调整。燃烧系统改造方面，通过优化主燃烧器旋流结构、增设氨气喷射层，重构炉内温度场与反应路径，抑制氮氧化物生成。与此同时，升级 SCR 脱硝系统，开发氨逃逸在线监测与喷氨优化算法，确保氮氧化物排放浓度低于 30mg/m³。智能调控是项目核心创新点之一。项目组基于大数据分析构建多负荷工况燃烧模型，结合火焰形态视觉识别与烟气成分实时反馈，动态修正掺氨速率与配风参数。数字孪生技术用于模拟不同掺氨比例下的锅炉热效率与碳排放强度，为运行策略优化提供决策支持。针对安全防护问题，设计氨气泄漏三级预警系统，集成红外监测与应急喷淋装置，形成覆盖存储、输送、燃烧全流程的安全

防护网。

（二）实施效果对比

项目实施后，台山电厂 600 兆瓦机组在满负荷工况下实现 10% 掺氨稳定运行，供电煤耗从改造前 302 克/千瓦时降至 287 克/千瓦时，锅炉热效率提升 2.3%。年运行 4000 小时工况下，单位发电二氧化碳排放强度下降 12.6%，年减排二氧化碳达 18.37 万吨，相当于种植 102 万棵成年乔木的碳汇能力。氮氧化物排放浓度稳定控制在 25mg/m³ 以内，氨逃逸率低于 1.5ppm，环保性能达到天然气机组排放标准。

从燃料成本的角度分析，掺氨燃烧虽增加液氨采购支出，但通过碳配额交易与绿电溢价机制实现收益对冲。按 2024 年广东碳市场 50 元/吨的碳价测算，项目年碳交易收益超 900 万元，叠加电网调峰补偿与科技创新补贴，投资回收期缩短至 6 年。社会效益方面，项目为粤港澳大湾区提供清洁电力 1.8 亿千瓦时/年，助力区域内电子制造、数据中心等高耗能产业低碳转型，间接减少产业链碳排放量 4.2 万吨。该工程突破氨燃料与燃煤锅炉协同控制技术瓶颈，形成 12 项发明专利与 3 项行业标准，入选国家能源局“2024 年度能源行业十大科技创新成果”，且技术成果已在江苏谏壁电厂、内蒙古托克托电厂等推广。

五、结束语

本研究系统构建了“双碳”目标下火电厂能效提升的协同优化框架，通过热力系统重构与数字技术融合，验证了节能管理创新对传统火电转型的实践价值。研究不仅为破解高煤耗、低效率的行业痛点提供技术解决方案，更通过技术和管理创新探索出能源梯级利用与数字孪生技术深度耦合的新型发展路径。

参考文献

- [1] 吴序芳, 严建成, 陈晨, 等. 火电厂化学系统运行优化节能措施分析及应用 [J]. 上海节能, 2024(7): 1177-1182.
- [2] 张瑜隆. 火电厂的能源利用与节能技术改造 [J]. 工业, 2016.
- [3] 梁少华. 火电厂热力系统优化与节能改造分析 [J]. 中国战略新兴产业, 2022(27): 29-31.
- [4] 鲁海军. 火电厂热电联产系统节能优化分析 [J]. 探索科学, 2021(2): 8.
- [5] 李建国. 火力发电厂电气节能降耗措施探究 [J]. 科技创新导报, 2011(33): 1.
- [6] 葛荣涛. 火力发电厂电气节能减排管理措施分析 [J]. 光源与照明, 2023(10): 243-245.
- [7] 武伽. 火力发电厂电气节能降耗的问题与技术措施 [J]. 电子技术与软件工程, 2015(7): 1.
- [8] 金云. 火力发电厂电气节能降耗技术措施分析 [J]. 全文版: 工程技术, 2016.
- [9] 王子铭. 火力发电厂节能降耗管理与技术研究 [J]. 电力设备管理, 2024(4): 244-246.
- [10] 郭寅. 新时期火力发电厂中的电气节能降耗问题分析 [J]. 中国高新技术企业, 2014(2): 2.

多层钢结构厂房结构设计及难点分析

宋冠中

中国寰球工程有限公司北京分公司, 北京 100012

摘 要： 多层钢结构厂房凭借其诸多优势在工业建筑领域广泛应用。本文深入探讨多层钢结构厂房结构设计要点，包括结构选型、荷载计算、构件设计等关键环节，详细分析设计过程中面临的难点，如结构布置的复杂性、节点设计的高要求、抗震设计的挑战等，并提出相应解决策略。旨在为多层钢结构厂房的科学合理设计提供理论支持，提升其设计质量与安全性，促进工业建筑的可持续发展。

关 键 词： 多层钢结构厂房；结构设计；荷载计算；抗震设计；节点设计

Structural Design and Difficulty Analysis of Multi-story Steel Structure Factory Buildings

Song Guanzhong

Beijing Branch, China Huanqiu Engineering Co., Ltd. Beijing 100012

Abstract: Multi-story steel structure factory buildings are widely used in the field of industrial construction due to their many advantages. This article delves into the key points of structural design for multi-story steel structure factory buildings, including crucial aspects such as structural selection, load calculation, and component design. It provides a detailed analysis of the difficulties encountered during the design process, such as the complexity of structural layout, high requirements for joint design, and challenges in seismic design, and proposes corresponding solutions. The aim is to provide theoretical support for the scientific and rational design of multi-story steel structure factory buildings, enhance their design quality and safety, and promote the sustainable development of industrial architecture.

Keywords: multi-story steel structure factory buildings; structural design; load calculation; seismic design; joint design

引言

随着工业现代化进程加速，对厂房空间利用效率、建设周期及结构性能要求不断提高。多层钢结构厂房因具有自重轻、强度高、施工速度快、空间布置灵活等特点，成为现代工业建筑的重要选择。然而，多层钢结构厂房的结构设计涉及诸多复杂因素，需综合考虑生产工艺要求、设备安装与使用、建筑功能、力学原理、抗震要求等，以确保厂房结构安全可靠、经济合理。深入研究其结构设计要点与难点，对保障工业建筑结构安全，提升工业建筑施工质量有着积极意义。

一、多层钢结构厂房结构设计要点

（一）结构选型

1. 框架结构体系

框架结构体系是多层钢结构厂房常用形式，由梁、柱通过刚接节点连接组成平面框架，承受竖向和水平荷载。其优点是空间布置灵活，可根据生产工艺需求设置大空间，便于设备安装与工艺流程布局。框架结构的传力路径明确，设计计算相对简便。对于层数较少、荷载较小且对空间要求较高的厂房，如轻型制造业厂房，框架结构体系较为适用。但框架结构侧向刚度相对较小，在水平荷载作用下，结构位移较大，设计时需通过合理增加柱子数量、增大柱断面等措施提高结构的抗侧移能力。^[1]

2. 框架－支撑结构体系

框架－支撑结构体系是在框架结构基础上，增设支撑构件。

支撑可有效提高结构的侧向刚度，减小结构在水平荷载作用下的位移。支撑形式多样，常见有中心支撑和偏心支撑。中心支撑在水平力作用下，主要通过支撑受压或受拉来抵抗水平力，具有较大的抗侧力刚度，可显著减小结构位移。但在罕遇地震作用下，中心支撑可能因受压屈曲而丧失承载能力。偏心支撑则通过耗能梁段的塑性变形来耗能，提高结构的抗震性能，适用于抗震设防要求较高的地区。框架－支撑结构体系结合了框架结构的空间灵活性和支撑结构的高抗侧力性能，适用于层数较多、荷载较大且抗震要求较高的多层钢结构厂房。

3. 其他结构体系

除框架结构体系和框架－支撑结构体系外，还有桁架结构体

系、网架结构体系等可应用于多层钢结构厂房。桁架结构体系常用于大跨度空间，通过桁架杆件的合理布置，可有效承受较大的竖向荷载和水平荷载。网架结构体系具有空间受力性能好、整体性强、刚度大等优点，适用于对空间要求较高且外观造型有特殊需求的厂房。在实际工程中，应根据厂房的具体使用功能、建筑高度、荷载条件、抗震设防要求以及经济性等因素，综合比选确定合适的结构体系。

（二）荷载计算

1. 竖向荷载

竖向荷载是多层钢结构厂房结构设计的重要荷载组成部分，主要包括恒荷载和活荷载。恒荷载是结构自重及长期固定在结构上的设备、管道等重量。结构自重可根据结构构件的几何尺寸和材料容重准确计算，如钢梁、钢柱、楼板等构件的重量。设备、管道等固定荷载需根据实际安装情况确定其重量和作用位置。活荷载是厂房使用过程中可能出现的可变荷载，如设备检修荷载、货物堆放荷载、人员活动荷载等。活荷载取值应按照相关建筑结构荷载规范执行，对于不同类型的厂房，其活荷载标准值有相应规定。在计算活荷载时，还需考虑荷载的组合值系数、频遇值系数和准永久值系数，以确定在不同设计工况下的荷载代表值。^[2]

2. 水平荷载

水平荷载主要包括风荷载和地震作用。风荷载是作用在厂房结构表面的风压力和吸力，其大小与风速、风向、建筑物体型系数、高度变化系数等因素有关。在计算风荷载时，需根据厂房所在地的基本风压、地形地貌条件以及建筑物的高度和体型，按照荷载规范确定风荷载标准值。对于高层或体型复杂的多层钢结构厂房，还需考虑风振系数对风荷载的影响。地震作用是结构在地震时受到的惯性力，其计算方法根据厂房所在地区的抗震设防烈度、场地类别、结构自振周期等因素确定。我国建筑抗震设计规范规定了底部剪力法、振型分解反应谱法和时程分析法等多种地震作用计算方法。对于多层钢结构厂房，一般可采用底部剪力法或振型分解反应谱法进行地震作用计算。在进行地震作用计算时，需考虑结构的阻尼比、地震影响系数等参数，以准确确定地震作用效应。

3. 荷载组合

在结构设计中，需考虑多种荷载同时作用的情况，进行荷载组合。荷载组合分为基本组合和偶然组合。基本组合是考虑永久荷载、可变荷载在各种可能的组合情况下，对结构产生的最不利效应。根据不同的设计目的，如承载力极限状态设计和正常使用极限状态设计，采用不同的荷载组合表达式。偶然组合是考虑偶然荷载（如爆炸力、撞击力等）与其他荷载组合时对结构产生的效应。在进行荷载组合时，应根据厂房的实际使用情况和可能出现的荷载工况，合理选取组合系数，确保结构在各种荷载作用下的安全性和可靠性。^[3]

（三）构件设计

1. 钢梁设计

钢梁是多层钢结构厂房中承受楼面荷载并将其传递给钢柱的重要构件。钢梁设计需考虑强度、刚度和整体稳定性。在强度计算方面，根据钢梁所受弯矩、剪力和扭矩，按照钢材的强度设计

值，计算钢梁截面的正应力、剪应力和折算应力，确保其不超过钢材的允许应力。刚度计算主要控制钢梁在正常使用状态下的变形，通过计算钢梁的挠度，使其满足相关规范规定的容许挠度值。对于钢梁的整体稳定性，当梁的侧向支撑间距较大时，需进行整体稳定验算，可通过设置水平支撑、增加梁的侧向抗弯刚度等措施提高钢梁的整体稳定性。钢梁截面形式多样，常见有工字型、槽型、箱型等，设计时应根据梁的受力情况、跨度和建筑空间要求等因素合理选择截面形式和尺寸。^[4]

2. 钢柱设计

钢柱作为多层钢结构厂房的竖向承重构件，承受着上部结构传来的竖向荷载和水平荷载。钢柱设计同样需考虑强度、刚度和稳定性。强度计算根据钢柱所受轴力、弯矩和剪力，计算柱截面的正应力、剪应力和折算应力，确保满足钢材强度要求。刚度计算通过控制钢柱的长细比，使其不超过规范规定的容许长细比，以保证钢柱在受压时的稳定性。稳定性计算包括整体稳定和局部稳定。整体稳定计算根据钢柱的受力状态和约束条件，采用合适的稳定系数进行计算。局部稳定则通过控制柱截面各板件的宽厚比，防止板件在受力过程中发生局部屈曲。钢柱的截面形式有工字型柱、十字型柱、钢管柱等，设计时需综合考虑荷载大小、建筑空间要求、节点连接方式及制作的难易程度等因素确定合适的截面形式和尺寸。

3. 楼盖设计

楼盖是多层钢结构厂房的重要组成部分，其作用是承受楼面荷载并将其传递给梁和柱。楼盖结构形式有钢梁-混凝土组合楼盖、钢桁架楼盖、压型钢板组合楼盖等。钢梁-混凝土组合楼盖利用钢梁与混凝土板之间的协同工作，提高楼盖的承载能力和空间性能。在设计时，需考虑钢梁与混凝土板之间的连接方式，确保两者能够有效协同受力。钢桁架楼盖适用于大跨度空间，通过合理布置桁架杆件，可有效承受楼面荷载。压型钢板组合楼盖则是利用压型钢板作为模板，与混凝土浇筑形成整体，具有施工速度快、经济性好等优点。楼盖设计需计算楼盖的承载能力、变形以及与梁、柱的连接节点强度，确保楼盖结构的安全可靠。^[5]

二、多层钢结构厂房结构设计难点分析

（一）结构布置的复杂性

厂房生产工艺和功能多样，对空间要求复杂。内部不同高度生产区、设备平台及大型设备安装空间，需合理安排柱网，兼顾建筑空间和结构受力。设置大空间区域可能用大截面实腹梁或桁架，小空间用常规框架，过渡处设计要保证传力顺畅。结构设计需避免结构构件与厂房内管道、通风设备等生产设备冲突，还要满足建筑防火、疏散规范，增加了结构布置难度。例如，在有洁净度要求的厂房中，结构布置要配合净化空调系统的管道走向，同时满足防火分区对结构分隔的要求，这需要结构工程师与各专业密切协作。^[6]

（二）节点设计的高要求

节点连接梁、柱，其设计合理性影响结构整体性能。钢结构

厂房受力时节点力传递复杂,需保证节点强度、刚度,且构造简单便于施工。节点连接形式有焊接、螺栓连接或栓焊混合连接。焊接连接刚度大、整体性好,但焊接工艺要求高,易产生残余应力和变形。螺栓连接施工方便、可拆卸,但需严格控制预紧力和抗震性能。节点设计还需考虑构件偏心,合理加强以提高承载和抗震性能,复杂节点需有限元分析确保安全。对于复杂节点,如多梁交汇节点,有限元分析可精确模拟节点应力分布,指导节点加强设计,确保节点在复杂受力状态下的可靠性。

（三）抗震设计的挑战

多层钢结构厂房部分位于地震多发区,抗震设计关键。钢结构虽延性和抗震性能好,但设计仍有挑战。需准确计算结构自振周期和振型,因结构布置复杂,质量和刚度分布不均,易出现扭转振动,要合理布置构件调整质量和刚度分布减小扭转效应。抗震设计中,要考虑不同构件协同工作,如框架-支撑结构体系中框架和支撑在不同地震阶段的受力分配和协同机制需深入研究。钢结构节点在地震下易破坏,如焊缝开裂、螺栓松动,需加强节点抗震设计,提高延性和耗能能力。可采用在节点处设置阻尼器等方式,增加节点耗能,提高结构整体抗震性能。

（四）温度作用的影响

钢材线膨胀系数大,多层钢结构厂房对温度变化敏感。温度作用下结构热胀冷缩,变形受约束产生温度应力。温度作用可能来自季节温差、日照温差及厂房内部生产温度变化。温度应力影响结构内力分布和变形,大跨度钢梁可能因温度应力产生较大挠度影响使用。设计时需考虑温度作用,采取设置温度缝、合理布置支撑、采用可滑移节点等方式减小温度变形约束等措施,结构计算中准确考虑温度作用内力并与其他荷载内力组合,保证结构在温度作用下安全。对于超长厂房,合理设置温度缝可有效释放温度应力,同时在温度缝两侧结构设计时,要考虑温度变形对相邻构件的影响。^[7]

三、多层钢结构厂房结构设计难点的解决策略

（一）优化结构布置

结构工程师与专业设计人员充分沟通,了解生产工艺和使用功能,结合建筑空间规划和结构受力特点制定方案。对复杂空间多方案比较,通过结构计算选择受力合理、经济的方案。柱网布置尽量规则均匀,减少扭转效应。竖向构件布置变化区域设结构转换层实现过渡。提前与上游专业协调,合理安排结构构件位置,严格按防火、疏散规范优化结构布置。在设计结构转换层时,要精确计算转换梁等关键构件的受力,确保转换层传力可靠,同时满足建筑空间使用要求。^[8]

（二）合理设计节点

依结构受力和施工条件选节点连接形式。承受较大内力节点优先用焊接,制定焊接工艺规程控制质量。螺栓连接严格控制预紧力确保抗滑移性能。复杂节点用有限元分析优化几何形状、尺寸,合理设加劲肋等加强措施,同时考虑施工可行性和便利性。在采用焊接连接时,选用合适的焊接材料和工艺参数,如对于厚

板焊接,采用多层多道焊工艺,控制焊接变形。^[9]

（三）加强抗震设计

准确计算结构自振周期和振型,合理布置构件调整质量和刚度分布,减小扭转效应,如使质量中心和刚度中心重合或减小偏心距。深入研究框架-支撑结构体系中构件协同工作机制,合理分配受力。节点抗震设计可采用设置延性节点(如骨型节点),设置耗能元件等方式提升节点抗震性能,按抗震规范对结构进行多遇和罕遇地震分析验算。通过试验研究等手段,深入了解不同耗能元件的耗能性能,合理选择并布置在节点等关键部位,提高结构抗震能力。

（四）考虑温度作用影响

结构设计准确考虑温度作用内力,依地区气候和厂房内部温度变化合理取值。大跨度或温度敏感部位设温度缝,划分温度区段减小温度应力。合理设计支撑系统,减少对温度变形的约束,结构计算按最不利工况组合温度作用内力与其他荷载内力。在设置温度缝时,要综合考虑厂房使用功能、建筑美观等因素,选择合适的温度缝构造形式。^[10]

四、结论

总之,多层钢结构厂房结构设计是复杂系统工程,涉及结构选型、荷载计算、构件设计等环节,面临结构布置复杂、节点设计要求高、抗震设计有挑战及温度作用影响等难点。通过合理选择结构体系、准确计算荷载、精心设计构件,并针对难点采取相应解决策略,能有效提升结构设计质量与安全性,满足工业生产对厂房的需求,推动工业建筑持续发展。未来,随着建筑技术进步,多层钢结构厂房结构设计将不断完善创新,为工业现代化建设提供更坚实技术支撑。

参考文献

- [1] 庞栋戈,张惠聪,娄元清.废旧工业厂房托梁换柱加固改造施工技术[J].建筑技术开发,2023(3):53-56.
- [2] 焦海滨.浅析某框架剪力墙结构托梁拔柱的加固设计与施工[J].建筑工程技术与设计,2022(10):39-40.
- [3] 段旭,常涌.托梁拔柱的概念性整体设计——剖析托梁拔柱设计中应注意的问题[J].华东科技,2021(12):30-32.
- [4] 孟琳.多层钢结构工业厂房结构设计[J].建筑技术开发,2021,48(12):7-8.
- [5] 吴泽进.多层钢结构工业厂房结构设计要点探析[J].房地产世界,2020,(19):45-46.
- [6] 田轩.多层钢结构工业厂房的设计与施工要点分析[J].四川水泥,2022,(09):169-171.
- [7] 刘琼.大跨度钢结构厂房的设计与应用[J].中国建筑金属结构,2022,(06):96-98.
- [8] 王天笑.多层钢结构在工业厂房中的应用[J].四川水泥,2021,(09):135-136.
- [9] 柴思龙.多层钢结构工业厂房结构设计分析[J].华东科技:学术版,2017(11):54-54.
- [10] 钟斐斐.多层钢结构工业厂房结构设计分析[J].住宅与房地产,2017(29):99-100.

电梯制动器故障分析及其检验检测探讨

刘昶熠¹, 廖龙萍¹, 胡斌²

1. 湖南安卓特种设备科技有限公司常德分公司, 湖南 常德 415000

2. 湖南安广检验检测有限公司, 湖南 常德 415137

摘 要： 随着城市化进程加速，电梯作为高层建筑核心垂直运输设备，其安全运行至关重要。本文对电梯制动器故障进行了分析，从故障类型、故障原因以及故障检验检测策略等方面进行了论述，全面研究定期拆解检查闸瓦磨损量、测量弹簧弹力与长度、用仪器检测线圈电阻等参数以及观察制动臂动作顺畅度并清洁润滑等方法。明确了各故障类型的表现及成因，提出了针对性强的检验检测方法，旨在解决因制动器故障引发的电梯运行安全隐患问题，为保障电梯安全稳定运行提供了有力支撑。

关 键 词： 电梯制动器；故障；检验检测

Analysis of Elevator Brake Failures and Discussion on Inspection and Detection Methods

Liu Changyi¹, Liao Longping¹, Hu Bin²

1. Hunan Android Special Equipment Technology Co., Ltd. Changde Branch, Changde, Hunan 415000

2. Hunan Anguang Inspection and Detection Co., Ltd. Changde, Hunan 415137

Abstract: With the acceleration of urbanization, elevators have become crucial vertical transportation equipment in high-rise buildings, and their safe operation is essential. This article analyzes elevator brake failures, discussing fault types, causes, and inspection and detection strategies. It comprehensively studies methods such as regular disassembly to check the wear amount of brake pads, measuring spring elasticity and length, using instruments to detect coil resistance and other parameters, observing the smoothness of brake arm movement, and cleaning and lubrication. The manifestations and causes of various fault types are clarified, and targeted inspection and detection methods are proposed. The aim is to address the potential safety hazards caused by brake failures in elevator operation and provide strong support for ensuring safe and stable elevator operation.

Keywords: elevator brake; failure; inspection and detection

在现代建筑体系中，电梯的使用愈发广泛，已然成为人们日常生活不可或缺的一部分。电梯的安全运行直接关系到乘客的生命财产安全，而电梯制动器作为电梯安全系统的关键部件，其性能的可靠性起着决定性作用。一旦制动器出现故障，极有可能导致电梯制动失灵、轿厢意外移动等严重事故。然而，在实际运行过程中，受多种复杂因素影响，电梯制动器故障时有发生。因此，深入开展对电梯制动器故障的分析及其检验检测研究，为提升电梯运行安全性、降低事故发生率奠定坚实基础。

一、电梯制动器故障类型

（一）制动闸瓦磨损严重

随着闸瓦磨损程度不断加深，其与制动轮之间的贴合度逐渐变差，导致制动时闸瓦无法均匀施加压力于制动轮，使制动力分布不均。在电梯制动过程中，这种不均匀的制动力会使轿厢产生晃动，不仅影响乘客的乘坐舒适度，更可能导致电梯在制动时发生偏斜，对电梯导轨和轿厢的机械结构造成额外的冲击和磨损。长期如此，电梯导轨的磨损加剧，出现变形，影响电梯运行的垂直度和稳定性，增加了电梯故障的风险。

（二）制动弹簧失效疲劳

弹簧在电梯制动器中承担着提供稳定制动力的关键作用，一

旦弹簧失效，其无法产生足够的弹力推动闸瓦抱紧制动轮，使电梯在制动时可能出现溜车现象。溜车不仅会导致电梯无法准确停靠在目标楼层，还可能与井道内的其他部件发生碰撞，损坏电梯设备^[1]。由于弹簧失效后制动力不足，电梯控制系统可能会频繁尝试进行制动操作，增加电梯能耗，使电梯电机和其他电气部件长时间处于过载运行状态，加速这些部件的老化和损坏，缩短电梯的整体使用寿命。

（三）制动器线圈短路断路

当线圈发生短路故障时，电路中的电流会瞬间增大，使线圈自身发热异常，加速绝缘材料的老化和损坏，导致电梯控制系统检测到异常电流信号，触发保护机制，使电梯意外停止运行。当线圈发生断路故障时，电磁力无法产生，制动器将无法正常工作

或闭合^[2]。在电梯运行过程中，如果线圈突然断路，制动闸瓦会立即抱死制动轮，导致电梯急停，对电梯的机械结构造成冲击，影响电梯门系统的正常工作，增加乘客被困的风险。

（四）制动臂卡滞无法动作

制动臂在电梯制动系统中起着传递制动力的关键作用，一旦卡滞，制动闸瓦将无法按照正常指令与制动轮实现有效接触或分离。在电梯需要制动时，闸瓦无法及时抱紧制动轮，导致电梯制动失效，引发电梯超速运行和严重的安全事故^[3]。在电梯正常运行时，闸瓦若不能完全脱离制动轮，会产生额外的摩擦阻力，增加电梯的能耗，加速闸瓦和制动轮的磨损，缩短它们的使用寿命。

二、电梯制动器故障原因

（一）长期频繁制动致闸瓦磨损

电梯作为高层建筑中人们日常使用的垂直交通工具，其运行特点便是频繁的启停。在每一次电梯到达目标楼层时，都需要依靠制动器进行制动操作，使轿厢平稳停下。而这一过程中，闸瓦与制动轮之间的摩擦是实现制动的必要手段。据相关研究表明，在一个普通的工作日，一栋繁忙写字楼中的电梯可能要经历数百次甚至上千次的制动操作，如此高频次的摩擦，会使闸瓦表面承受巨大的机械应力。从材料学角度来看，闸瓦通常由特定的摩擦材料制成，尽管这些材料具备一定的耐磨性，但在长期频繁的摩擦作用下，其表面的微观结构会逐渐发生变化^[4]。微小的颗粒会不断从闸瓦表面脱落，导致闸瓦厚度逐渐减小，表面平整度变差。而且，频繁制动产生的热量也是不可忽视的因素，每次制动时，大量的机械能会转化为热能，使闸瓦温度急剧升高。高温环境会加速闸瓦材料的物理和化学变化，降低其耐磨性能，加剧闸瓦的磨损程度，严重影响电梯制动系统的可靠性。

（二）弹簧受应力疲劳变形

电梯制动器中的弹簧，在电梯运行过程中起着至关重要的作用，它承担着提供稳定制动力的任务。在电梯正常工作时，弹簧需要频繁地进行压缩和伸展动作。当电梯启动时，弹簧被拉伸，使制动器打开；而在电梯制动时，弹簧收缩，推动闸瓦抱紧制动轮。这种周期性的应力变化，对于弹簧的材料性能是极大的考验。以金属材料制成的弹簧为例，在长期的交变应力作用下，其内部晶体结构会逐渐产生位错和滑移。随着时间的推移，这些微观结构的变化会不断积累，导致弹簧材料的疲劳损伤。相关实验数据显示，经过一定次数的应力循环后，弹簧的弹性模量会发生明显下降，这意味着弹簧的弹性性能减弱。电梯运行环境中的温度、湿度等因素也会对弹簧的疲劳寿命产生影响^[5]。在高温环境下，弹簧材料的原子活动加剧，更容易发生错位和滑移，加速疲劳进程；在潮湿环境中，弹簧表面可能会发生腐蚀现象，削弱其承载能力，最终导致弹簧因疲劳变形而失效，严重威胁电梯的制动安全。

（三）线圈绝缘老化或电流异常

随着电梯使用年限的增加，制动器线圈的绝缘材料会不可避免地出现老化现象。绝缘材料长期处于电磁环境和一定的温度条

件下，其分子结构会逐渐发生变化，导致绝缘性能下降。从电气原理角度分析，当绝缘老化后，线圈的绕组之间或绕组与铁芯之间的电阻值会发生改变，这可能引发局部放电现象。局部放电产生的高温和强电场会进一步破坏绝缘材料，形成恶性循环，最终导致线圈短路故障。电梯运行过程中，如果供电系统出现电压波动、谐波干扰等问题，会使通过线圈的电流发生异常变化^[6]。当电压瞬间升高时，根据欧姆定律，线圈中的电流会相应增大，这会使线圈发热加剧，加速绝缘材料的老化。过大的电流还可能导致线圈绕组过热烧毁，使制动器无法正常工作，严重影响电梯的安全运行和乘客的正常使用。

（四）异物侵入或润滑不足

电梯的运行环境较为复杂，尤其是在一些工业场所或建筑施工附近的电梯，周围环境中存在大量的灰尘、油污等杂质。这些异物很容易通过电梯的通风口、缝隙等部位进入到制动器内部，特别是制动臂的活动关节处。制动臂在电梯制动系统中起着连接制动闸瓦和驱动装置，并传递制动力的关键作用。当异物侵入到制动臂的关节部位后，会逐渐堆积形成污垢，增加关节活动的摩擦力。从机械原理角度来看，制动臂的正常转动需要关节部位具备良好的润滑条件，减小摩擦阻力。然而，若电梯维护保养不到位，制动臂关节处的润滑剂会逐渐干涸、流失，无法起到有效的润滑作用，此时，制动臂在转动过程中，金属表面之间直接接触，摩擦力急剧增大^[7]。长期处于这种高摩擦状态下，制动臂的连接销轴、轴承等部件会加速磨损，导致配合精度下降，进而引发制动臂卡滞现象。一旦制动臂卡滞，制动闸瓦将无法按照正常指令与制动轮实现有效接触或分离，严重影响电梯制动系统的性能，危及电梯运行安全。

三、电梯制动器故障检验检测策略

（一）定期拆解检查闸瓦磨损量

在拆解之前，专业技术人员需做好全面的安全防护措施，并严格按照电梯维护操作规程，确保电梯处于安全停运状态，防止在拆解过程中电梯意外启动。随后，小心拆除与闸瓦相连的相关部件，这要求技术人员具备精湛的操作技能，避免因操作不当对其他部件造成损坏。在闸瓦完全暴露后，使用千分尺或卡尺等高精度的测量工具，对闸瓦的厚度进行多点测量。之所以进行多点测量，是因为闸瓦在长期使用过程中，其磨损往往是不均匀的，单点测量无法准确反映整体磨损情况。通过在闸瓦表面选取多个具有代表性的测量点，能够获取更全面、精准的磨损数据。将测量所得的数据与闸瓦的原始规格参数进行对比分析，依据两者之间的差异，可精确判断闸瓦的磨损程度^[8]。若闸瓦的原始厚度为20mm，在多次测量后，发现多处测量点的厚度已接近或低于15mm，这便表明闸瓦磨损严重，需要及时更换。在拆解过程中，技术人员还应仔细观察闸瓦表面的磨损痕迹，判断磨损是否均匀，是否存在偏磨、划痕等异常磨损现象，这些细节信息对于深入分析闸瓦磨损原因、采取针对性改进措施具有重要意义。

（二）测量弹簧弹力与长度

在操作时，技术人员需先将电梯制动系统处于安全的可操作状态，防止弹簧突然释放造成危险。针对弹簧弹力的测量，可采用专业的弹簧测力仪。将弹簧一端固定在测力仪的挂钩上，另一端通过缓慢施加外力，模拟弹簧在电梯运行中的受力状态。在拉伸或压缩弹簧的过程中，测力仪会实时显示弹簧所承受的力值。依据电梯制动器设计标准中对弹簧弹力的规定范围，对比测力仪显示的数据，判断弹簧弹力是否在正常区间。某型号电梯制动器弹簧的标准弹力范围为500—600N，若测量结果显示弹簧弹力仅为400N，表明弹簧弹力不足，已出现疲软现象^[9]。而对于弹簧长度的测量，可使用精度较高的卷尺或直尺。在弹簧处于自然状态下，测量其两端之间的距离，并记录数据。将测量得到的弹簧长度与原始设计长度进行比对，若长度偏差超出允许范围，如设计长度为100mm，实际测量长度达到110mm，说明弹簧可能发生了永久变形。还应检查弹簧表面是否存在裂纹、锈蚀等缺陷，因为这些问题也会影响弹簧的性能，对电梯制动安全构成威胁。

（三）用仪器检测线圈电阻等参数

在开始检测前，务必切断电梯制动器的电源，避免触电事故发生。针对线圈电阻的检测，可选用专业的数字万用表。将万用表的表笔分别连接到线圈的两个接线端，此时万用表会显示出线圈的电阻值。不同型号的电梯制动器线圈，其电阻值有特定的标准范围。例如，某款电梯制动器线圈的标准电阻值为50—60Ω，通过万用表测量后，若电阻值远低于或高于这个范围，如仅为20Ω或高达80Ω，都表明线圈可能存在短路或断路故障。除了电阻值，还可借助专业的绝缘电阻测试仪检测线圈的绝缘电阻。将测试仪的测试端与线圈绕组以及铁芯分别连接，施加一定电压后，测试仪会给出绝缘电阻数值。良好的线圈绝缘电阻应在兆欧级别，若绝缘电阻过低，说明线圈绝缘性能下降，可能存在漏电风险。利用示波器检测线圈在通电时的电流波形，获取更多关于线圈工作状态的信息^[10]。正常情况下，电流波形应呈现稳定、规则的形状，若波形出现畸变或异常波动，意味着线圈可能受到电流异常的影响，存在潜在故障，需要进一步排查原因，确保电梯制动器电磁系统的可靠性。

（四）观察制动臂动作顺畅度并清洁润滑

在进行观察之前，技术人员要确保电梯处于手动盘车或检修运行模式，以便能直观地看到制动臂的动作情况。启动电梯运行，仔细观察制动臂在打开和闭合过程中的动作状态。正常情况下，制动臂应能迅速、平稳的动作，无卡顿、迟缓现象。若发现制动臂在动作过程中出现明显的停顿、抖动或无法完全打开、闭合，这就表明制动臂存在卡滞问题。为了确定卡滞原因，技术人员需对制动臂的活动关节部位进行检查。使用毛刷、压缩空气等工具，对关节处的灰尘、油污等异物进行彻底清洁。在清洁过程中，可明显看到堆积的污垢，这些污垢正是导致制动臂卡滞的常见原因。清洁完成后，使用专用的耐高温、高负荷的锂基润滑脂这一类润滑剂，对制动臂的销轴、轴承等关键部位进行均匀涂抹。涂抹时要确保润滑剂充分覆盖到各个摩擦表面，降低摩擦阻力^[11]。完成清洁润滑后，再次启动电梯观察制动臂动作，若动作

顺畅度明显改善，说明问题得到解决。在日常维护中，应定期进行此项操作，形成常态化的维护机制，保证制动臂始终处于良好的工作状态，确保电梯制动系统的稳定运行。

四、结束语

本研究全面剖析了电梯制动器常见的故障类型，包括制动闸瓦磨损严重、制动弹簧失效疲软、制动器线圈短路断路以及制动臂卡滞无法动作等。明确了长期频繁制动、弹簧受应力疲劳、线圈绝缘老化或电流异常以及异物侵入或润滑不足等是导致这些故障的主要原因。通过实施定期拆解检查闸瓦磨损量、精准测量弹簧弹力与长度、运用专业仪器检测线圈电阻等参数以及仔细观察制动臂动作顺畅度并做好清洁润滑等检验检测策略，能够及时、准确发现电梯制动器存在的潜在问题，并采取有效的措施加以解决。经实际应用验证，这些方法提高了电梯制动器故障的检测效率与准确性，保障了电梯的安全稳定运行。

参考文献

- [1] 华逸晨. 电梯制动器故障分析及其检验检测研究 [J]. 机电工程技术, 2024, 53(6): 257-260.
- [2] 姚日勇. 电梯制动器的故障分析及其检验检测 [J]. 城市情报, 2024(21): 191-192.
- [3] 任昭霖. 关于电梯鼓式制动器失效形式的探讨和分析 [J]. 特种设备安全技术, 2023, (1).
- [4] 马其鹏. 电梯杠杆式鼓式制动器常见的机械故障及检验方法 [J]. 中国电梯, 2024, 35(1): 56-57, 60.
- [5] 郑良田, 何若泉. 电梯制动器回路防粘连和故障保护功能的检验方法 [J]. 中国电梯, 2023, 34(11): 29-30, 34.
- [6] 韩英武, 郑奎胜. 电梯制动器的结构原理及失效分析和检验检测 [J]. 中国特种设备安全, 2022(12): 67-71, 88.
- [7] 王超. 电梯制动器故障保护功能隐患分析及检验要点探讨 [J]. 中国特种设备安全, 2023, 39(9): 65-70.
- [8] 毕立龙. 基于机器视觉的电梯制动器故障检测方法研究 [J]. 中国机械, 2023(10): 116-119.
- [9] 段隽喆, 李华聪. 基于故障树的故障诊断专家系统研究 [J]. 科学技术与工程, 2009, (7).
- [10] 陈超, 王鹏程. 电梯检验过程中制动器常见问题分析及预防措施 [J]. 中国电梯, 2023, 34(9): 30-33.
- [11] 李杨. 电梯制动器常见失效形式与检验要点研究 [J]. 模具制造, 2023, 23(4): 130-132.

浅析婴幼儿推车产品的可持续性设计

刘新雨

长春理工大学, 吉林 长春 130000

摘 要： 随着经济水平的提高和环保意识的增强，消费者对婴幼儿用品的环保性和功能性提出了更高要求，本文首先阐述了可持续设计的定义、发展历程和原则，其次分析了当前婴幼儿推车市场现状和主要类型，最后提出了四个可持续性设计策略。旨在通过优化材料选择、增强功能适应性、改善用户体验及促进亲子互动，延长产品使用寿命并减少资源浪费。这些设计策略不仅有助于减轻环境负担，还能更好地满足市场需求，推动婴幼儿推车行业向更加绿色、可持续的方向发展。

关 键 词： 可持续设计；婴幼儿推车；模块化设计；人性化设计

Sustainable Design of Infant and Toddler Stroller Products

Liu Xinyu

Changchun University of Science and Technology, Changchun, Jilin 130000

Abstract: With the improvement of economic level and the enhancement of environmental awareness, consumers have put forward higher requirements for the environmental friendliness and functionality of infant and toddler products. This article first elaborates on the definition, development process, and principles of sustainable design, then analyzes the current market status and main types of infant and toddler strollers, and finally proposes four sustainable design strategies. Intended to extend product lifespan and reduce resource waste by optimizing material selection, enhancing functional adaptability, improving user experience, and promoting parent-child interaction. These design strategies not only help reduce environmental burden, but also better meet market demand and promote the development of the baby stroller industry towards a greener and more sustainable direction.

Keywords: sustainable design; baby stroller; modular design; user-friendly design

引言

在全球环境问题日益严峻的背景下，可持续发展已成为社会共识。作为与婴幼儿生活息息相关的产品，婴幼儿推车的可持续性设计也备受关注，现存很多婴幼儿推车在生产、使用和废弃过程中消耗大量资源，并且对环境造成一定污染。推动婴幼儿推车产品的可持续性设计，不仅能够减少资源消耗、环境污染、延长推车的使用周期，更能引导其向绿色、低碳方向发展，具有重要的现实意义。本文从可持续设计理念出发，分析婴幼儿推车产品现状，探讨其可持续性设计策略，为设计提供实用性参考。

一、可持续设计理念

（一）可持续设计的定义

可持续设计是一种旨在减少产品、服务或系统在其整个生命周期中对环境负面影响的设计方法，同时致力于提升社会福祉和经济效益。它强调在设计阶段就考虑资源的有效利用、环境保护和社会责任，以实现长期的生态平衡和社会公正。一方面在材料选择上，可持续设计倾向于使用可再生、可回收或生物降解的材料，以减少对不可再生资源的依赖，并降低废弃物的产生。另一个重要方面是产品的耐用性和可维护性。通过模块化设计和易拆卸结构，可以使产品更易于维修和升级，延长其使用寿命，减少

因过早废弃带来的资源浪费^[1]。同时，建立有效的回收体系也是可持续设计的关键组成部分，确保产品在生命周期结束时能够得到妥善处理，最大限度地回收有价值的材料。

（二）可持续设计发展历程

可持续设计的发展分为四个阶段，每个阶段都反映了随着时代进步和社会认知的提升，对环境保护、社会责任以及经济效益理解的深化。

第一阶段是绿色设计阶段。主要关注于减少产品在其生命周期中的环境影响，设计重点在于选择环保材料和优化生产工艺，以降低能源消耗和废物排放。绿色设计强调“从摇篮到摇篮”的理念，即考虑产品的整个生命周期——从原材料获取、制造、使用

作者简介：刘新雨（2001.04-），女，汉族，吉林省通化市人，硕士研究生，产品设计专业，长春理工大学学生。

直至最终处理。^[2] 第二阶段是生态设计阶段，此阶段进一步拓展了绿色设计的概念，更加注重产品与自然环境之间的关系。它不仅关注单个产品的环境影响，还考虑到了整个生态系统。提倡“从摇篮到摇篮”的设计理念，意味着所有材料都可以在自然界中循环利用或者安全回归土壤。第三阶段是产品服务系统设计阶段，它标志着从单纯的产品导向转向更广泛的解决方案提供，旨在通过改变消费模式来实现更高的资源效率，它包括了包括围绕产品提供的各种服务，如租赁、共享、维护和升级等，这种方式能够延长产品的使用寿命，减少不必要的购买和浪费。第四阶段是可持续设计阶段，它是上述各阶段的综合与发展，追求经济、社会和环境三者间的平衡，要求企业在追求利润的同时，也要承担起保护环境和促进社会公正的责任。

（三）可持续设计的原则

可持续设计的核心理念是通过系统性方法减少资源消耗、降低环境污染，并推动社会与生态的长期平衡。在这一理念下，5R原则（Reduce、Reuse、Recycle、Remake、Recover）成为指导设计实践的关键框架，这五项原则并非孤立存在，而是相互关联的体系。

Reduce 是可持续设计的首要原则，强调通过优化设计减少资源消耗和浪费。这一原则要求设计师在项目初期便思考如何以更少的材料、能源或空间实现同等甚至更优的功能^[3]，它的核心在于“少即是多”——通过高效利用资源，从根源上缓解环境压力。Reuse 着重延长资源生命周期，关注如何通过多次使用同一物品或组件，避免其过早成为废弃物，它鼓励设计耐用、灵活且易于维护的产品。Recycle 是材料的循环再生，当物品无法继续使用时确保其材料能被分解并重新投入生产。这一原则依赖于两大条件：一是产品设计需便于拆解和分类，二是配套回收基础设施的完善。Remake 在于赋予废弃物新价值，强调通过改造将旧物品转化为功能或形态不同的新产品。例如，废弃轮胎制成鞋底、船舶集装箱改造为临时住房。这一原则注重设计的创新性，挖掘废弃物的潜在价值。Recover 指废弃物的最终无法通过前几个原则处理时，使用能源转化的方式提取其剩余价值。尽管这是最后的解决方案，但它对无法降解或回收的废弃物（如某些混合塑料）提供了过渡性处理方式。

这五个原则共同构成了一个全面的框架，旨在指导设计师、制造商以及消费者采取更加负责任的态度对待自然资源，推动社会向更可持续发展的方向发展。通过实施这些原则，不仅可以有效减少环境污染还能促进经济和社会的健康发展。

二、婴幼儿推车产品现状分析

（一）婴幼儿推车产品市场现状分析

婴幼儿推车作为育儿生活中不可或缺的一部分，近年来在全球范围内呈现出稳步增长的趋势。^[4] 随着家庭收入水平的提高和消费者对高品质育儿产品的追求，婴幼儿推车市场也随之发展。根据最新的行业报告数据显示，全球婴幼儿推车市场在过去几年中保持了稳定的增长率，2023年全球婴儿推车和婴儿车市场的容量

达到了185.31亿元人民币，中国市场则达到了52.72亿元人民币，预计未来几年保持稳定增长，这一增长主要得益于消费升级、育儿观念转变以及二胎政策。在产品类型方面，市场上主要有传统型、轻便型和多功能型三种推车。^[5] 传统型推车以其坚固耐用的特点受到许多家庭的喜爱，适合日常使用及长途旅行；轻便型推车则因其易于折叠携带、操作简便而受欢迎，特别适用于公共交通出行；多功能型推车集成了多种功能，如可转换为餐椅等，能够适应不同的需求满足家长多样性的要求。

消费者的偏好也在发生变化，他们不仅关注产品的安全性和舒适度，还越来越重视环保材料的应用。同时，个性化需求也在增加，家长们希望推车不仅能提供基本的功能保障，还能体现个人风格，如独特的颜色搭配和附加配件的选择等。

（二）婴幼儿推车产品主要类型及特点

婴幼儿推车市场提供了多种类型的推车，以满足不同家庭的需求和偏好。主要包括传统型、轻便型和多功能型推车，每种类型都有其独特的设计特点和适用场景。

传统型推车以其坚固耐用而著称，通常设计为能够承载较大的重量，并且结构稳定，适合日常使用或长途旅行。这类推车往往配备有宽敞的座椅空间，可以提供给婴儿更多的活动自由度，同时也能确保长时间使用的舒适性^[6]。轻便型推车因其便于携带的特点受到了广泛欢迎。这类推车的设计重点在于减轻重量和提高便携性，使得家长可以轻松地单手操作甚至折叠后提着走。通常采用轻质材料如铝合金框架来减少整体重量，并且易于存放于汽车后备箱或飞机行李架中，不过为了达到减重的目的，轻便型推车可能会牺牲一些额外的功能特性，比如储物空间较小或者缺乏高级别的悬挂系统^[7]。多功能型推车集成了多种功能于一体，旨在适应不同年龄段儿童的需求变化。这类推车通常具有模块化设计，允许用户根据孩子的成长阶段调整配置。但多功能型推车的价格往往较高，而且由于集成了多种功能，它们的体积也较大，不如轻便型推车那样便于携带。

（三）婴幼儿推车产品生命周期环境影响分析

婴幼儿推车产品的环境影响贯穿其整个生命周期，从原材料获取、生产制造、使用阶段直至废弃处理。减少这些阶段对环境的影响是实现可持续设计的关键。

在原材料获取阶段，婴幼儿推车的生产过程中，主要使用的材料包括金属（如铝合金）、塑料、织物等，这些材料的开采和加工过程对环境造成了显著影响^[8]。例如，金属的提取通常涉及大量的能源消耗和化学物质的使用，导致温室气体排放及水资源污染，对于塑料而言，虽然它们提供了轻便和耐用的优点，但大多数塑料是由石油制成的，其生产过程不仅消耗不可再生资源，还会释放有害化学物质。某些织物可能含有有害染料或是在生产过程中产生大量废水。生产制造阶段是另一个重要的环境影响点，这个阶段涉及多个工序，如切割、焊接、组装等，每个环节都会消耗大量能源，并产生废气、废水和固体废弃物。为了减轻这种影响，制造商可以采用更加环保的生产工艺和技术，比如利用清洁能源供电、改进设备效率来减少能耗，或者实施零排放政策。第三是使用阶段，婴幼儿推车在日常使用中需要定期维护保养，

这可能涉及到清洗剂的选择和电池更换等问题，使用阶段相对于前两个阶段影响较小。最后是废弃处理阶段，由于许多推车由多种难以分离的材料组成，使得回收变得复杂。未经适当处理的推车往往被填埋或焚烧，这不仅浪费了宝贵的资源，还可能导致二次污染。

三、婴幼儿推车的可持续性设计策略

（一）模块化可扩展设计

该策略强调产品的灵活性和适应性，通过可拆卸、可替换的组件设计，使推车能够根据儿童不同成长阶段的需求进行调整。例如，推车的座椅、轮组、把手等关键部件采用标准化接口设计，用户可根据需求单独更换损坏或磨损的组件，而非整体报废产品。这种设计不仅降低了维修成本，还能通过添加扩展模块适应不同阶段的使用需求^[9]。例如，新生儿阶段可安装平躺睡篮，幼儿期则替换为坐姿座椅，甚至未来升级为学步车或滑行车功能。模块化设计还能方便回收时的拆解，使材料分类更高效，从而提升资源循环利用率。

（二）多功能场景适配设计

现代家庭对推车的需求已不仅限于出行，还需兼顾居家、旅行等多种场景。多功能设计通过结构优化和配件组合，使单一推车满足多样化需求。例如，通过简单的变形或配件更换，推车可转换为临时婴儿床、餐椅或购物车。部分高端设计甚至整合了储物、遮阳、温控等功能，减少家庭额外购置其他育儿用品的需求。这种策略不仅提升了产品的使用频率，还从源头上减少了资源消耗，符合可持续设计的“少而精”原则。

（三）人性化便捷操作设计

人性化便捷操作设计聚焦于提升用户体验的易用性与舒适性，减少因操作复杂或维护困难导致的产品废弃，优化推车的操作逻辑和结构设计^[10]。例如，采用一键折叠机制、轻量化材质、符合人体工学的推行把手等，使产品更易收纳和搬运。人性化设计不仅能延长产品生命周期，还能培养用户对可持续产品的使用习惯，推动环保理念的普及。

（四）互动式成长陪伴设计

互动式成长陪伴设计强调产品与婴幼儿及家长的双向互动性，通过功能创新促进亲子关系，同时延长产品使用周期。例如，座椅角度可随孩子年龄调整，配合可拆卸的玩具挂件、音乐播放模块或触感刺激面板，满足不同成长阶段的需求。高景观设计不仅能扩大婴儿视野，还可通过透明材质或观察窗口增强亲子视线交流。此外，加入成长记录功能或可更换的装饰配件，使产品外观和功能随孩子成长“共同进化”，避免因审美疲劳或功能过时而被弃用。

四、结语

本文通过分析婴幼儿推车生命周期中的环境影响及市场现状，提出了模块化可扩展、多功能场景适配、人性化便捷操作及互动式成长陪伴四大核心策略，为减少资源浪费、延长产品生命周期提供了可行参考方式。当前仍面临回收体系不完善、消费者认知不足等挑战，需行业、政策与社会共同努力。随着循环经济理念的深化及技术进步，婴幼儿推车的设计将更趋绿色与智能，推动其向资源高效利用与生态友好的方向发展。

参考文献

- [1] 龙翔黛, 赵娜, 巴志伟, 等. 可持续设计理念在产品中的应用研究 [J]. 农家参谋, 2020, (14): 295.
- [2] 贺余燕. 面向可持续产品的创新设计方法研究 [D]. 天津科技大学, 2022. DOI: 10.27359/d.cnki.gtqgu.2022.000146
- [3] 孙波, 金燕, 马宁. 可持续设计研究趋势的可视化分析 [J]. 包装工程, 2024, 45(02): 14-24.
- [4] 王少然, 李佳. 追溯童车产品全生命周期守护儿童安全 [J]. 条码与信息系统, 2024, (01): 11-14.
- [5] 韩晓鹏. 组合式婴幼儿童车的人性化设计研究 [D]. 长春工业大学, 2022.
- [6] 张开军. 人体工学在婴幼儿推车中的应用 [J]. 科技风, 2014, (23): 112.
- [7] 许莹, 纪悦, 李志豪, 等. 近年童车产品常见质量问题和改进建议 [J]. 轻工标准与质量, 2023, (04): 47-50.
- [8] 许雅楠, 谭亮, 陈美玲. 可持续设计理念在童车产品创新设计中的应用研究 [J]. 玩具世界, 2023, (01): 50-52.
- [9] 李俞辰, 张欣. 可持续设计视角下的婴儿车设计研究 [J]. 艺术与设计 (理论), 2023, 2(12): 112-115.
- [10] 孟闯. 产品概念设计中的可持续设计策略研究 [J]. 包程, 2014, 35(02): 81-83+91.

无损检测技术在电梯检验中的实践研究

胡斌¹, 李自然¹, 刘昶熠²

1. 湖南安广检验检测有限公司, 湖南 常德 415137

2. 湖南安卓特种设备科技有限公司常德分公司, 湖南 常德 415000

摘 要： 电梯属于垂直运输特种设备，运行环境较为特殊，电梯运行安全与否关系到乘员生命财产安全，因此需要全面做好电梯检验工作。电梯检验中运用无损检测技术，不需要改变电梯原本结构、性质，即可精准获取电梯运行状态，及时反馈电梯内外部的缺陷，组织技术人员及时处置，全面保障电梯检验质量。文章围绕电梯检验中无损检测技术的实践应用情况展开论述，总结具体的无损检测技术以及实践应用情况，以期推动无损检测技术推广应用。

关 键 词： 电梯检验；无损检测技术；红外检测技术；磁感检测技术

Research on the Practice of Non-Destructive Testing Technology in Elevator Inspection

Hu Bin¹, Li Ziran¹, Liu Changyi²

1. Hunan Anguang Inspection and Detection Co., Ltd. Changde, Hunan 415137

2. Hunan Android Special Equipment Technology Co., Ltd. Changde Branch, Changde, Hunan 415000

Abstract: Elevators are special equipment for vertical transportation with a unique operating environment. The safety of elevator operation is crucial to the lives and property of passengers, thus requiring comprehensive elevator inspection work. The application of non-destructive testing technology in elevator inspection allows for precise acquisition of elevator operating status without altering its original structure or properties. This technology provides timely feedback on internal and external defects, enabling technical personnel to promptly address issues and fully ensure the quality of elevator inspection. This article discusses the practical application of non-destructive testing technology in elevator inspection, summarizing specific techniques and their practical applications to promote the widespread adoption of non-destructive testing technology.

Keywords: elevator inspection; non-destructive testing technology; infrared detection technology; magnetic induction detection technology

无损检测技术即不破坏、不影响被检测对象性能、寿命前提下，精准检出被检测对象的声、光、热、电、磁等反应变化，目前已经成为现代化检验领域的有效检测方法。电梯在日常生产生活中应用广泛，由于特种设备的安全性要求，电梯检验中采用无损检测技术，不仅规避电梯正常运行的干扰，还可以提高电梯使用性能、使用寿命，为乘员人身安全保驾护航。

一、无损检测技术优势分析

无损检测技术，即使用专门的设备工具，快速、精准检测物体状态，获取被检测物体各项参数信息，精准确定缺陷位置和类型。无损检测技术类型多样，包括红外线、磁粉以及超声波等无损检测技术，随着技术持续更新升级，无损检测技术逐渐广泛应用于特种设备检测领域^[1]。

无损检测技术在电梯检验领域应用，相较于传统检验方式优势更加突出。无损检测技术操作便捷、快速、安全可靠，其中超声波检测技术应用电梯检验中，能实现电梯大面积扫描，快速完成各区域检测任务，缩短检验流程同时，提升检验效率和质量。检测准确性方面，无损检测技术可以精准预测分析各类缺陷位置、性质以及大小尺寸。其中射线检测作为一项代表性无损检测

技术，能够精准、可视化呈现焊缝缺陷，尤其是很多隐蔽缺陷，保障电梯安全稳定运行。除此之外，无损检测技术不需要拆解或破坏电梯部件，即可精准检测电梯结构和性能，能够避免拆解电梯部件后无法规范安装的问题，还可以降低检测成本，延长电梯使用寿命和安全性^[2]。具体如表1所示。

表1 无损检测技术在电梯检验中的优势			
项目	传统检验方法	无损检测技术	效益
检测完整性	30% 以内抽样检测	全面扫描	缺陷检出率提高40%
检测效率	单一部件检测时间2h ~ 4h	自动扫描检测，单一部件检测时间30min 以内	检测时间缩短65%
缺陷表征能力	检测表面可见缺陷	三维缺陷重构	增强了缺陷量化评估能力
预防性能力	事后维修	前期缺陷预警	降低维修成本30%
风险隐患	二次损伤风险	原位在线检测	保证设备100%完好率

二、无损检测技术在电梯检验中的实践应用

（一）红外检测技术应用

1. 电机检测

电机是电梯运行动力部件，电机运行中铁芯损耗、绕组电阻以及部件磨损等因素影响，导致电机释放大量的热量，各位置温度分布趋于稳定状态。但电机一旦出现故障问题，各部位发热特点随之改变，机械摩擦等区域温度异常升高。采用红外检测技术检测电梯电机缺陷，其原理根据物体热辐射特性进行检测。物体温度高于 -273.15°C 绝对零度，均会散发热辐射红外线，物体释放热量温度越高，辐射能量越强。使用红外热像仪设备进行检测，精准捕捉电梯电机表面辐射红外线信号，并转化为直观、可视的热图像。分析不同区域颜色、温度数值，即可帮助检测人员精准定位电机异常温度分布情况。如，绕组过热时局部温差达到 15°C 以上；轴承故障下轴向温度梯度在 $8^{\circ}\text{C}/\text{cm}$ 以上^[3]。电机红外线检测中，电机保持额定负载状态运行，按照采样频率 30Hz 使用热像仪采集温度场数据，检测持续时间不小于 30min ；电梯断电后，跟踪分析电机冷却曲线，如果电机降温速率在 $1.5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 以下，判定为电机散热异常。

电梯电机红外线检测中，全方位扫描电梯电机运行状况，重点检测电机轴承、转子、定子绕组等关键位置。红外线发射率 0.93 ，环境温度补偿温度 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ，按照 10cm ，围绕电机轴线进行螺旋扫描；采集图像分辨率 640×480 像素，温度灵敏度不超过 0.05°C 。以电机轴承位置为例，一旦轴承位置温度异常升高，可能是轴承润滑不良、磨损严重，使用红外热像仪即可精准检出轴承异常温度问题。采用红外检测技术实时监测电梯电机运行状态，能及时发现故障隐患，并且根据收集的数据建立数据库，为电梯电机预防维护提供温度数据依据，编制合理的电机维护保养计划，降低维护成本^[4]。

2. 三相电平衡检测

三相电系统主要功能在于提供电梯运行动力，保证三相电平衡即可保证动力稳定输出。正常状态下，三相电电流、电压幅值相等，相位互差 120° ，但电梯实际运行中很难达到这一标准，其根本在于线路阻抗差异或是负载失衡等因素存在，容易导致电梯三相电失衡。一旦电梯三相电失衡，将导致电梯电机异常发热，产生异常噪音，加快电梯元器件老化，降低电机运行效率，为电梯安全稳定运行埋下一系列隐患^[5]。

使用红外线检测技术检测电梯三相电平衡问题，一旦失衡，部分电流值较大的向线会释放大量热量。检测人员可以针对性红外检测三项母线、接触器等区域，对比分析三相线路各区域温度变化情况，如果某一相接线端子温度高出其他两相 10°C ，则说明电梯三相电失衡。其原因可能是相连接松动，使得接触电阻增加，接线端子出现异常发热现象，威胁电梯运行安全。

3. 变频器检测

变频器在电梯运行中占据重要地位，其功能在于调整电源频率、电压值，控制转速来实现电梯的平稳、安全运行。但由于电梯电磁环境复杂，运行环境普遍湿度较高，加之频繁其停下不可

避免导致电子元件故障受损，如果处理不及时，则会威胁电梯正常运行^[6]。典型故障包括电解电容老化，变频器外壳温度超出额定 55°C ，IGBT 模块失效，邻近单元温差在 15°C 以上。在电梯变频器检测中，红外检测技术可逐一扫描散热器、外壳、电路板等关键部位，确定具体的温度分布情况。如果某区域温度异常升高，其原因可能是功率模块散热性能不高导致；散热片局部温度过高，表面积聚灰尘较多，导致热量无法及时排出，导致变频器温度异常升高。电路板检测时，检测焊点区域虚焊、开裂等问题，及时组织技术人员维修和保养，更换受损元件，从而提高电梯运行稳定性^[7]。

4. 制动器检测

电梯安全系统中，制动器主要负责控制电梯启停、减速等，制动器性能高低，很大程度上决定了电梯运行安全、可靠。电梯制动器的工作原理基于弹簧力与电磁力的协同作用，制动器电磁线圈通电后，吸引衔铁，在制动臂驱动制动闸瓦运作，能够有效克服弹簧压力张开，并且与制动盘完全脱离，实现电梯自由、安全运转。电梯需要停止运行，保持静止状态，电磁线圈断电后磁场消失，制动臂即可快速复位，在制动闸瓦与制动盘之间的摩擦力作用下，保证电梯轿厢平稳停止。制动器故障产生原因多样，一是机械部件摩擦老化，出现不同程度的变形问题，降低电梯制动力^[8]。电气控制部分故障，制动器控制电梯轿厢正常开合。使用红外线检测技术检测电梯制动器运行状态，扫描制动闸瓦、电磁线圈、制动轮以及制动弹簧关键部件，一旦某部件温度异常升高，即可快速捕捉远超正常范围的温度数据，及时维修处置，保障电梯运行安全。具体红外线检测电梯制动器时，组织三挡制动实验，分别为空载、 50% 负载以及 100% 负载状态，制动初始速度 $1.0\text{m/s} \sim 1.5\text{m/s}$ ；环境温度补偿范围 $-10^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$ ，按照 5mm 间距进行扫描。

（二）磁感检测技术应用

根据电磁感应原理，电梯检验中采用磁感检测技术。同样可以掌握电缆、电机以及制动系统的运行状态，此类部件运行中离不开电流支持，适合磁感检测技术有效应用。电梯电机检测中运用磁感检测技术，直观反馈电机绕组状况，电机绕组电流输出稳定，即可创设均匀的磁场。如果绕组出现短路、匝间短路等故障，电流分布不均匀，导致磁场出现异常现象^[9]。磁感传感器在特定位置安装，实时捕捉磁场变化情况，如果发现某区域磁场骤变，根据历史数据和电梯参数即可精准判断电机是否存在故障问题，为电梯安全稳定运行提供坚实保障。具体需要设定激励频率范围在 $1\text{kHz} \sim 100\text{kHz}$ 范围，并使用 16×16 阵列探头对电梯全面扫描；电梯关键位置设置的传感器精度为 $\pm 0.1\text{mT/m}$ ，扫描速度不超过 0.5m/s ；电梯缺陷量化模型为 $d=0.25 \cdot \Delta H/H_0$ ， d 为裂纹深度， H_0 为背景磁场。

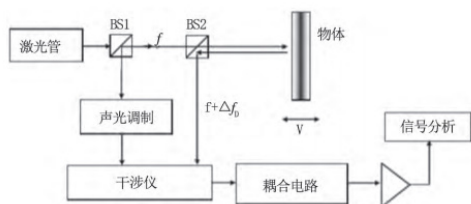
电梯电缆磁感检测时，随着时间推移，电缆会出现不同程度的老化、破损等现象，诱发漏电事故，严重威胁电梯运行安全。采用磁感检测技术，收集电缆磁场状况反馈电缆运行状态，一旦电缆绝缘层受损，出现漏电事故，则会导致磁场混乱。采用高灵敏度磁感检测设备，精准检测环绕电缆磁场状况，磁场异常波

动,即可快速定位电缆故障区域,更换或维修电缆,保障电梯电力输送安全。

电梯制动系统磁感检测中,制动系统运行安全稳定关系到电梯运行安全。电梯制动系统运作中,电磁铁通电或断电时磁场会产生显著变化,依据这一原理即可综合评估制动系统电磁铁性能。电磁铁一旦出现线圈故障、铁芯卡滞等故障问题,磁场变化曲线波动剧烈,断电时磁场衰减为零,铁芯卡滞则导致磁场衰减速度放缓。因此,收集电梯磁场数据信息,便于第一时间发现和解决制动系统故障问题,避免电梯运行时制动系统失效诱发安全事故^[10]。

(三) 激光检测技术应用

激光检测技术具有高能量密度和高方向性特点,在电梯检验中不会改变其结构和性能,如图1。激光检测技术在电梯检验中应用,多采用 FARO Vantage 跟踪仪,扫描效率达到1000点/秒;检测门板平面度,按照0.1MPa 气压模拟电梯运行过程的振动现象;激光检测频率5MHz,按照分辨率0.2mm 检测电梯各部件状况,在曳引轮缺陷检测方面效果显著。



> 图1 激光检测装置构成和原理

电梯导轨检测中运用激光检测技术,传统检测方式采用线锤、钢直尺等工具,效率和精度偏低。而采用激光检测技术,通过专用设备发射激光束,接触导轨后根据激光反射关系,精准获取导轨各项参数。例如,采用激光准直仪和测距仪设备进行导轨直线度检测,先将激光准直仪从井道顶部发出激光线,激光测距仪则设置在轿厢顶部位置,电梯运行过程中,轿厢和激光直线的间距发生变化,根据数据波动即可了解导轨是否存在变形、弯曲等现象,为后续的导轨直线度偏差调整控制提供支持。

电梯轿厢门检测中运用激光检测技术,能够及时发现轿厢门开关动作是否存在异常现象,保障轿厢乘客安全。一般情况下,为了保证电梯轿厢门运行安全,多选择激光光幕传感器,通过发射多束平行激光束构成激光光幕,一旦有物体遮挡光幕中的光线,则会理解将信号传递给电梯控制系统,即将关闭的轿厢门重新打开,借此来规避夹住人或物的事故。部分电梯事故正是由于轿厢门激光光幕传感器失效,未检测到人或物被轿厢门夹住,正常上升后出现安全事故。因此,使用激光位移传感器采集轿厢门数据,可以发现系统故障所在,分析是否传感部件损坏或电机故障等原因导致,组织技术人员及时维修处理,为电梯轿厢门正常启闭提供保障。

(四) 超声波检测技术应用

电梯检验中运用超声波检测技术,发射20kHz 以上的声波,发挥此种声波能量集中以及穿透力强的优势特点,实现电梯部件缺陷的精准检测。超声波检测技术应用中,控制超声探头频率为

2MHz ~ 10MHz,动态范围≥ 60dB。电梯的金属结构件超声波检测中,在金属结构件表面耦合超声换能器,通过发射和接收超声波,分析超声波遇到缺陷时的折射或反射情况,从而精准判定缺陷位置、大小、深度、走向。例如,如果电梯表面裂纹浅显,短时间内出现幅度较大的回波信号,较深的裂纹则出现较晚的回波信号、幅度较小。采用此种检测方式,及早发现电梯金属结构件潜在隐患,及时组织人员进行处置,避免电梯安全事故出现。电梯焊缝超声波检测中,检测灵敏度较高,工作人员按照焊缝方向布置超声换能器,从而实现全方位扫描检查电梯焊缝质量。如果超声波传播顺畅,信号接收平稳,则说明焊缝并未存在气孔、未焊透等缺陷;如果超声波出现散射、反射等现象,接收到的信号则会产生异常波动,说明存在焊缝缺陷,精准定位焊缝位置、大小。例如,超声波传输中遇到未焊透的焊缝缺陷,会产生反射回波,对比正常焊缝超声波传输波形,即可辅助检测人员分析焊缝类型和位置,为后续的焊缝修复提供支持。

三、结论

综上所述,电梯作为一种垂直运输的特种设备,维护电梯安全运行至关重要。因此,在电梯安全检验中采用无损检测技术,能在不干扰电梯正常运行前提下,精准获取电梯各部件是否存在缺陷问题,并及时反馈给检测人员修复处理,消除潜在安全隐患,为电梯运行安全保驾护航。

参考文献

- [1] 郑波,黄财青.无损检测技术在电梯检验中的应用[J].科技视界.2019,(23).
- [2] 丁丽.电梯检验检测技术的应用及发展[J].科学技术创新.2018,(20).
- [3] 甘昊.无损检测技术在电梯钢丝绳检测中的应用[J].特种设备安全技术.2018,(4).
- [4] 刘艳宇.无损检测技术在电梯检验中的应用[J].品牌与标准化,2023,(05):136-138.
- [5] 王森.电梯曳引钢带内部钢丝绳无损检测系统研制[D].中国计量大学,2023.
- [6] 杨江.电梯曳引钢带的漏磁检测技术研究[D].东北石油大学,2023.
- [7] 王森.电梯曳引钢带内部钢丝绳无损检测系统研制[D].中国计量大学,2023.
- [8] 黄晓晨.浅议电梯检验检测技术的应用及发展[J].中国设备工程,2022,(20):156-158.
- [9] 郭栋.电梯检验检测技术及过程安全管理探析[J].中国标准化,2022,(14):137-140.
- [10] 饶晓慧.电梯钢带疲劳及损伤的电磁无损检测技术[J].电子技术与软件工程,2021,(13):213-214.
- [11] 李万里.无损检测技术在电梯检验中的应用[J].住宅与房地产,2020,(09):226.

植物展览温室景观规划设计

刘济铭

北京兰德萨农业科技有限公司，北京 100081

摘 要：植物展览温室需以人工方式为植物创造适宜生长的环境生态空间，科学的景观规划设计可以突显植物展示效果，促使植物生长不受影响，更重要的是可以发挥科普教育和休闲娱乐功能，优化游客的体验。而植物展览温室景观通常规模较大，为确保植物展览温室运行中创造出最大化经济效益和社会效益，采取有效措施提升景观规划设计合理性至关重要。鉴于此，本文首先对农业植物展览温室景观构成要素进行了简要分析，并详细探讨了植物展览温室景观规划设计路径，以供参考。

关 键 词：植物展览；温室景观；规划设计

Landscape Planning and Design for Botanical Exhibition Greenhouses

Liu Jiming

Beijing Lansade Agricultural Technology Co., Ltd. Beijing 100081

Abstract: Botanical exhibition greenhouses require creating a suitable ecological environment for plants to grow artificially. Scientific landscape planning and design can highlight the display effect of plants, ensuring that plant growth is not affected. More importantly, it can fulfill the functions of science popularization, education, and entertainment, optimizing the visitor experience. Botanical exhibition greenhouse landscapes are often large-scale. To ensure maximum economic and social benefits during the operation of the botanical exhibition greenhouse, it is crucial to take effective measures to improve the rationality of landscape planning and design. In view of this, this article first briefly analyzes the constituent elements of agricultural botanical exhibition greenhouse landscapes and discusses in detail the path of landscape planning and design for botanical exhibition greenhouses for reference.

Keywords: botanical exhibition; greenhouse landscape; planning and design

引言

近年来全球生态文明建设不断加快，植物展览温室的重要性逐渐突显出来，设计师在科学展开景观规划设计中，不仅可以满足植物的根本生长需求，更重要的是可实现温室合理布局，在不断引入智能化技术并实现环境控制的过程中，可为植物提供更加优质的生长空间，还能够展示出植物展览温室的生态功能，为受众营建一个充满教育性的展示空间。在这种情况下，积极展开植物展览温室景观规划设计探究具有重要意义。

一、农业植物展览温室景观构成要素

植物展览温室景观设计不仅应注重美观性，更重要的是需从植物需求、环境控制以及文化内涵呈现等多个角度出发，引入先进技术构建温室景观，在此基础上才可以促使温室可以最大程度地满足植物生长需求，并呈现出良好的展示效果，最终在满足受众活动体验需求基础上，呈现出良好育人价值。而为提升农业植物展览温室景观规划设计合理性，首先应明确以下构成要素：

（一）自然要素

植物展览温室景观设计中，必须综合分析温室内温度、湿度、光照、土壤条件等相关自然要素，其会对植物的健康生长以及展示效果产生直接影响，这就要求设计人员紧密结合不同植物生态特征对各项自然要素合理应用^[1]。首先，温度。不同农业植物

对温室内温度要求存在差异，其中香蕉及咖啡等热带植物所需环境温度通常较高，设计师需将温度控制在20-30℃左右；而对于苹果以及小麦等耐寒农作物来讲，可将温度控制在15-20℃这一较低温度范围内；其次，湿度。湿度是保障植物健康生长的另一关键自然要素，在植物展览温室设计中，设计人员应依据不同植物对湿度的要求提升设计合理性。众所周知，热带植物展览温室的湿度应控制在80%左右，在此基础上才能够确保一些热带水果和热带雨林植物始终呈现出良好的生长状态。一旦湿度过低容易导致植物出现叶片枯黄现象，影响美观性；再次，光照。设计中合理控制光照这一自然要素，才能够确保展览温室中植物产生光合作用，因此植物展览温室景观设计中应注重光照的均匀分布，在光照强度过高时应安装可调节的遮阳系统，避免植物过度暴晒；最后，土壤条件与水分供应。植物生长离不开良好的土壤条

件和水分。展览温室设计中,设计人员应积极在添加不同的有机物和矿物质的基础上,来提高土壤的肥力^[2]。还可以积极引入先进的滴灌、喷灌技术,促使植物根系在适当的水分条件下生长。

（二）人文要素

植物展览温室是多样化植物的重要展示空间,同时也可以呈现出较强的育人功能,因此在实际进行植物展览温室景观规划设计过程中,一个不容忽视的要素就是人文要素。设计人员需采用科学规划设计方法呈现出植物文化,将不同植物所承载的独特文化背景呈现出来^[3]。为实现这一目标,通常需分区展示不同植物的文化背景,综合应用艺术装置、文字说明等多种形式,才能够更好地将植物生长的背景全面体现出来,发挥植物展览温室的育人功能。同时,规划设计中,还应注重预留充足的活动空间,促使受众可以同所展览的植物之间形成良好互动,在此基础上受众才可以更加直观地了解植物的生命周期、栽培技术及生态功能,亲身体验农业植物的栽培过程。

（三）工程要素

在实际进行植物展览温室景观规划设计中,不仅应注重满足植物生长的根本需求,还应注重提升温室的经济性,这就不得不考虑工程要素,即设计人员需从空间布局、建筑形式等多个角度出发展开设计,促使其与植物生长环境之间呈现出较强的协调性^[4]。从这一角度来看,实际展开温室结构设计中,应以稳定性和简洁为主,为创造充足的展示空间可采用大跨度无柱设计方式,避免对植物生长造成阻碍,这一设计方式主要应用于高大且茂盛的植物展览空间区域中。同时,应积极采用科学的环境调控系统,设计人员可结合植物生长需求引入智能化温室内部环境控制系统设计,在综合应用温湿度传感器和自动化这样系统基础上,确保展览室各个区域可以满足不同植物生长的需求。另外,在实际进行植物展览温室景观规划设计中,还需充分考量资源管理这一要素,设计人员应以资源高效利用为出发点利用先进技术进行设计,可实现自动调节温室内的能源消耗目标,突显绿色节能理念。

二、植物展览温室景观规划设计路径

（一）功能区分与空间布局设计

实际展开植物展览温室景观规划设计中,应以植物生长需求为出发点划分功能区域,合理展开空间布局设计。规划设计中应综合分析游客活动的路线、植物生态需求以及温室功能等各种参数,构建的各个区域之间应呈现出合理分布、互不干扰的状态^[5]。

首先,合理划分植物功能区域,不断优化生态环境。景观规划设计中可合理划分温室内的空间,满足植物的生态需求。针对菠萝、香蕉等热带农业植物区域规划设计来讲,设计人员首先应将该区域的温度控制在24-30℃之间,湿度保持在70%-90%之间,针对该区域植物特点,可以选择靠近温室中央的部位,以此实现充分利用太阳光照的目标。而针对仙人掌、苏铁等沙漠植物区的空间布局设计来讲,则应将温度控制在18-25℃之间,湿度保持在30%-50%之间,该区域规划设计的主要特点是避免

水分过多;对于小麦以及玉米等经济作物区域的规划设计来讲,应采用单独规划的方式,设计师需模拟实际农田环境,设计灌溉系统。

其次,优化游客体验。温室内景观规划设计中,应采用科学布局方式,对游客的参观路线进行优化,避免出现死角和拥挤现象,确保游客可以获得良好的参观体验。因此在规划设计中应保证每个植物区之间呈现出清晰的游览路径,可以促使游客顺利进入到下一区域的参观当中,且各个区域之间游客不会因人流过于密集而发生互相感染。因此,实际展开规划设计中,设计人员需合理分布通道宽度,促使人群在各个植物展示区可以顺畅流动,形成良好的互动体验区;设计师还可以对环形或放射状的主路径进行设置,此时游客可以更加流畅的参与到各个区域的游览当中,并可以最大程度的避免游客集中在同一区域引发拥堵。而在科普教育区的规划设计中,设计人员可以应用互动讲解区或多媒体展示区的设置方式,采用座椅或互动平台为游客长时间停留提供便利,更加高效的进行植物生态背景等知识的传播。

（二）植物多样性与生态环境协调设计

植物展览温室景观规划设计中,为满足景观的美观要求,设计人员应注重在丰富植物种类的基础上,为植物构建相对稳定的生态平衡系统,在此基础上才能够将展览温室的功能最大程度发挥出来。因此设计师首先应积极结合植物特点展开分层种植设计,充分划分生态功能区,设计师可从满足植物生长需求和美观需求角度出发展开分层种植设计,应保证每个植物群落可以在最佳的环境中生长。分层设计中可以以植物的生长习性、光照需求和根系特征为依据,因此在温室内的热带植物区,通常可在温室顶部以及外围区域种植高大植物如椰子树和橡胶树,此时不仅可以形成较强的视觉冲击效果,植物也可以重复利用顶部的光照资源;而在中间层植物种植设计中则可以蔬菜类作为主,并在底层种植草本植物和藤本植物等低层植物,该设计方法可避免不同植物间因光照竞争而产生的相互影响,同时可以将不同种类植物直观地呈现出来,突出展览馆规划设计视觉效果。

同时,在实际开展植物多样性与生态环境协调规划设计中,还应加大对智能化系统的应用力度,实现环境温度有效控制。设计人员应综合考虑不同植物群落对于环境因素的需求差异,针对热带植物区域,应注重环境温度恒定,且湿度较高,而沙漠植物则应与此相反,并注重提升温差。为提升规划设计合理性,可加大对智能化环境控制系统应用利用,综合应用温湿度传感器、光照传感器、CO₂浓度调节设备基础上精确控制区域环境。

（三）景观美学与互动体验融合设计

植物展览温室设计中,为从根本上保证规划设计合理性,设计师应合理利用园林装饰元素,对假山、雕塑、水景进行合理规划为受众营造良好的空间氛围感。这对设计师各种装饰要素的应用能力提出了较高的要求,针对植物展览温室来讲,在实际展开景观美学以及互动体验融合设计中,应始终坚持以植物为核心的设计理念,将高大挺拔的树木和娇小的灌木搭配,构建层次分明的种植形式,创造出丰富的空间感,同时还可以从不同植物的季节变化角度出发,营造四季交替的自然景观,交替展现春花、夏

绿、秋果、冬枝的视觉效果，这种规划设计方式在实际应用中可以突显出展览温室的空间变化效果。假山、雕塑和水景等园林装饰元素的综合应用中，可以不断增强温室的立体感，体现动态美，其中假山实际应用中可以模拟自然山水景观的形式，促使整个温室内部呈现出层次感较强的自然景观效果，设计人员可以将适应岩石环境的植物种植在假山之间，突显出展览温室的植物的生态多样性；而在对雕塑元素进行应用的过程中，设计人员可以采用相对抽象的艺术作品造型，促使其同植物形态之间呈现出相互呼应的空间布局效果，烘托艺术氛围。同时在水景的设计中，设计人员可以对水池以及瀑布等进行综合应用，利用水元素来营造宁静、流动的景观效果，这一元素还可以提升空间的动感，促进温室内部的空气流通，维持适宜的湿度。

在展开植物展览温室规划设计中，给予受众良好的互动体验在近年来逐渐引起了广泛关注，因此实际展开规划设计中，设计人员可在展览区域设置植物触摸区，让受众可以直接接触植物的叶片、果实等部分，真实感受植物的触感和质地，增加游客的感官体验。此时可对植物识别系统进行充分应用，游客可以使用手机扫描植物标签或二维码，游客可以在手机上便可以获取关于植物的生长信息、文化背景、栽培技巧，这对于增强游客对植物的认知具有促进作用。为强化互动效果，设计人员还可以增加增强现实技术和虚拟现实技术的应用，促使游客利用现代化智能设备扫描植物或温室内部环境，看到植物的生长过程、生态系统的构建等虚拟信息，获取更加生动的知识。在对 VR 技术进行充分应用的过程中，可以为受众带来沉浸式的体验，甚至可以在虚拟导览中走进世界各地的植物栽培环境，整个过程中可以增加受众对多种植物生态价值的理解，获得视觉享受的同时，将植物展览温室的功能最大程度发挥出来。

（四）文化主题与教育功能的引导设计

新时期我国在积极进行植物展览温室规划设计中，必须注重提升温室的育人价值，在规划设计中巧妙地结合植物的文化背景，营造充足的植物展示空间。因此，设计人员可结合展览温室中植物特点构建清晰的文化主题，在不同的植物展示区根据植物的种类融入文化背景，如对于热带植物来讲，可综合应用展板、触摸屏或 VR 展示的方式，将植物原产地的民俗、生态文化以更加生动的形式呈现出来，这种植物展示与文化相结合的规划设计方式可以促使游客欣赏到植物的魅力，并感知其背后所蕴藏的文化。而针对经济作物区的规划设计来讲，为发挥其育人功能，则应重点展示不同植物的发展历程及其对社会的贡献，让游客在参观的同时了解农业发展与人类文明的紧密联系。值得注意的是，设计人员还可以积极进行绿色教育专区的设置，用以专门展示环保和可持续发展的相关知识。该区域中应重点对植物在生态系统中的作用进行讲解，促使游客可以在观赏的同时了解其净化空气、保持生态平衡、减少温室气体等功能，实现环保意识的传播。

三、结语

综上所述，在生态文明建设不断深入人心的背景下，植物展览温室景观规划设计的重要性逐渐突显出来。设计人员应意识到整个植物展览温室构建过程中不仅应突显出较强的美学效果，还必须符合植物生长特点，在此基础上引入先进技术合理规划温室的空间布局、优化植物生长环境，才能够将植物展览温室的育人功能全面突显出来，为受众提供更加优质的参观体验，为实现植物资源的可持续利用提供保障。

参考文献

- [1] 王昕彦, 杨庆华, 王琦. 展览温室的改造与重生——以巴黎植物园温室为例 [J]. 园林, 2020, (05): 58-63.
- [2] 王海东, 聂喆, 汤毅, 等. 植物展览温室热压自然通风降温预测模型应用 [J]. 中国水运, 2024, 24(2): 54-56.
- [3] 周颖. 银川某植物展览温室暖通空调设计 [J]. 江西建材, 2016, (06): 43+45.
- [4] 范融. 绿色生态理念下公共建筑温室景观设计方法初探 [J]. 新材料·新装饰, 2023, 5(10): 48-51.
- [5] 刘剑. 展览温室植物景观改造探讨 [J]. 现代园艺, 2024, 47(12): 109-111, 114.

城市埋地 PE 燃气管道全面检验方法及应用研究

刘先发¹, 方爱民¹, 周自军²

1. 湖南安广检验检测有限公司, 湖南 常德 415137

2. 湖南九申燃气集团股份有限公司, 湖南 常德 415000

摘 要： 城市现代化建设中, 埋地 PE 燃气管道敷设面积逐步扩大, 由于管线敷设环境的复杂性, 安全隐患的检验难度较大, 一旦出现问题容易造成重大安全事故。目前埋地 PE 燃气管道的全面检验工作中, 尽管部分地区已经出台了标准规范, 但尚未形成完整的标准体系, 以至于全面检验中存在诸多问题, 不同程度上影响检验精度和质量。因此, 文章围绕城市埋地 PE 燃气管道全面检验方法进行论述, 并探讨如何在实际工作中有效应用, 以期对相关人士提供参考。

关 键 词： 全面检验; 检验方法; 埋地 PE 燃气管道; 应用

Comprehensive Inspection Methods and Application Research for Urban Buried PE Gas Pipelines

Liu Xianfa¹, Fang Aimin¹, Zhou Zijun²

1. Hunan Anguang Inspection and Detection Co., Ltd. Changde, Hunan 415137

2. Hunan Jiushen Gas Group Co., Ltd. Changde, Hunan 415000

Abstract: In the modernization of cities, the laying area of buried PE gas pipelines has gradually expanded. Due to the complexity of the pipeline laying environment, it is difficult to inspect potential safety hazards, and major safety accidents can easily occur once problems arise. Currently, although some regions have issued standards and regulations for the comprehensive inspection of buried PE gas pipelines, a complete standard system has not yet been formed. This has led to many problems in comprehensive inspections, affecting inspection accuracy and quality to varying degrees. Therefore, this article discusses comprehensive inspection methods for urban buried PE gas pipelines and explores how to effectively apply them in practical work, aiming to provide references for relevant professionals.

Keywords: comprehensive inspection; inspection methods; buried PE gas pipelines; application

城市埋地 PE 燃气管道多为有压管道。作为一种特种设备, 加强其全面检验对保障运行安全至关重要。通常情况下, 埋地 PE 燃气管道需要定期检验, 根据检验结果反馈管道使用状态, 并组织技术人员及时处置管道问题。因此, 应结合管道定期检验日期对埋地 PE 燃气管道全面检验, 根据现场调查和管道资料选择合适的全面检验方法, 从而对 PE 燃气管道定位、性能试验以及焊接接头无损检测, 及时发现和解决潜在隐患, 为燃气管网正常运转保驾护航。

一、城市埋地 PE 燃气管道检验工作难点分析

埋地 PE 燃气管道作为城市地区广泛应用的燃气管道, 管道压力不超过 0.8MPa, 为了保证埋地 PE 燃气管道运行安全, 需要对此类特种设备全面检验。但国家仅仅是颁布了《压力管道定期检验规则——公用管道》一般性规定, 有些地区根据实际情况颁布了地方性标准, 尽管实际检验工作中取得了一定成果, 但仍然存在以下技术难点^[1]。

(一) 定位探测难度大

由于城市埋地 PE 燃气管道在地下深处埋设, 管材为聚乙烯, 对比传统金属管道具有优良的磁性和电性。此种情况下, 传统金属管道基于电磁感应原理的定位探测技术存在较大局限性, 并不适合埋地 PE 燃气管道全面检验。尤其是当前城市地下管线敷设复杂, 彼此之间存在强电磁干扰。埋地 PE 燃气管道不会受电磁

号干扰, 因此也无法使用管线探测仪精准探测管道位置、走向。部分城市老城区由于建设时间较早, 地下管网资料模糊不清或丢失, 缺少全面的图纸参考下, 现场定位探测管道位置、走向难度较高, 不可避免影响后续相关联工作展开。

(二) 漏点排查难度大

城市埋地 PE 燃气管道运行环境较为复杂, 一旦管道泄漏, 管道周围土壤将吸附部分燃气, 并且随着土壤缝隙扩散, 因此燃气泄漏点并非是垂直逸出地面, 一定程度上增加了燃气泄漏点检测难点。部分土壤输送区域, 燃气泄漏后随着土壤缝隙大范围扩展, 往往会大距离扩散, 最后逸出地面, 使用传统地面燃气检测仪无法精确定位燃气泄漏点源头位置。另外, PE 管道的泄漏形式多样, 可能是细小泄漏, 也可能是大面积损坏泄漏, 检测泄漏信号特征存在显著差异, 进一步增加了泄漏点排查难度^[2]。

（三）失效机理不明确

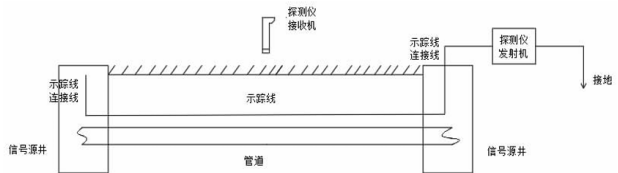
埋地 PE 燃气管道运行中，容易受多种因素影响导致管道失效，但具体失效机理并不明确。从埋地 PE 燃气管道的材料性质角度来看，PE 管道材料长期使用中受化学物质腐蚀或环境应力等作用影响下，使得材料性能逐渐下降，具体劣化过程和影响因素的量化关系不明确。具体施工环节，PE 管道焊接工艺不合理，存在焊缝缺陷，用力集中下可能出现施工缺陷，导致管道性能失效。另外，随着城市地面交通量增加，地面载荷以及土壤沉降等作用力影响下，PE 燃气管道性能也会受到负面影响。由于失效机理模糊，后期管道使用性能和寿命评估方面缺少有效数据支持，影响后续关联工作展开^[3]。

二、城市埋地 PE 燃气管道全面检验方法

通常情况下，埋地 PE 燃气管道全面检验中，应遵循相应要求展开。全面检验需要收集管道设计资料、施工验收资料以及管道运行等资料；宏观检查管道位置与走向、泄漏检查、管道示踪系统检查、地面标志检查以及阀门井检查等项目，尤其要检查管道沿线区域的地表环境，是否存在管道裸露在外，或是出现第三方施工、占压以及生物侵害等现象；开挖直接检验，对管道敷设质量和管体性能进行检查，部分情况下取样试验检测。根据管道全面检验要求，应灵活选择合理的全面检验方法，具体如下。

（一）管道精准定位

1. 示踪法管线定位。埋地 PE 燃气管道全面检验中，示踪法管线定位是一种代表性技术，在管道敷设时同步敷设金属管道，同管道保持平行状态敷设。根据电磁感应原理施加示踪线特定频率交变电流，示踪线区域会形成交变磁场。工作人员使用配备感应线圈的管线探测仪，在地面探测磁场信号分布和强度等情况，从而精确定示踪线位置，掌握 PE 燃气管线位置、走向^[4]。具体原理如图 1。此种方式优势鲜明，对 PE 管道材质要求不高，保证示踪线完好敷设即可，能够有效抵御复杂电磁环境干扰，探测定位精度达到 $\pm 0.1\text{m}$ 。但如果管线施工过程中存在短路或断裂等现象，可能导致电磁信号中断，定位精度下降，有待进一步完善。



> 图 1 示踪法管线定位

2. 除了运用示踪法管线定位外，也可以采用探底雷达法，使用 400MHz 天线阵列扫描，横纵向分辨率达到 $\pm 15\text{cm}$ 、 $\pm 5\text{cm}$ ，适合含水量不超过 25% 的均质土壤。但此项技术通常需要引入 GIS 地理信息系统，使用 BIM 技术重构地下管网模型，并结合管道竣工图纸坐标匹配进行探测定位^[5]。

（二）管道泄漏检测

管道泄漏检测时可以选择地面钻孔检测法，此种方法操作简单、直接，对于疑似燃气泄漏区域，在一定间距内开挖多个孔

洞，深度接近 PE 燃气管道位置，使用便携式燃气检测仪检测孔洞中逸出的燃气，如果浓度超出正常范围，表明该区域存在管道泄漏^[6]。此种泄漏检测方法操作简单、成本低，适合小规模燃气管道泄漏检测，锁定大致范围，后期采用其他方法进一步缩小范围。但同时，此种方式检测效率偏低，需要大量钻孔，对于城市地面破坏较大，而且无法精准定位燃气管道泄漏点，存在较大的偏差。具体如表 1。

表 1 管道泄漏检测方法

检测项目		泄漏初检	检测程序	确定泄漏位置
管道	埋地架空	仪器检测环境	气相色谱分析、激光甲烷遥测	仪器检测开挖、钻孔

红外成像检测法，根据物体的温度变化产生不同红外辐射的原理，精准定位管道位置。PE 燃气管道泄漏，燃气会逐渐渗透到周围土壤孔隙中，使得泄漏点与周围土壤温度表现出明显差异，其原因在于燃气泄漏时会吸收或释放热量，土壤原本的温度发生改变。工作人员使用红外热成像仪在泄漏区上方检测，捕捉温度差异后以红外图像形式可视化呈现，而图像中温度异常区域可能是泄漏点^[7]。采用红外成像检测法检测燃气管道泄漏，表现出扫描面积大、检测速度快等优势特点，并且不需要接触被检测对象即可获取精准定位泄漏点。但同时，此种方法也会受到土壤热物性和温度等因素影响，导致工作人员出现误判情况，降低检测精度。

（三）管道焊接头无损检测

PE 燃气管道连接需要焊接处理，通常有电容焊接以及热熔焊接两种方式，焊接质量高低很大程度上决定了管道结构完整性和安全性。就 PE 燃气管道焊接头缺陷类型来看，包括孔洞、夹渣、未焊透以及冷焊等。不同缺陷产生原因不尽相同，分析缺陷原因后，可以为后续焊接缺陷处理提供有效参考依据。以孔洞缺陷为例，可能是由于管材或管件制造质量不符合要求，制造环节出现孔洞；焊接环节由于材料潮湿或夹杂油污产生蒸汽，从而导致气孔缺陷出现；部分管道焊接后冷却缩孔出现缺陷^[8]。

通常情况下，管道焊接头缺陷采用超声波无损检测法进行，根据超声波在不同介质传播中遇到缺陷的折射、反射等特点，从而掌握焊缝位置、大小和形状。地理 PE 燃气管道焊接头检测中，在管道避免涂抹耦合剂，将超声波探伤仪探头与焊接头接触，移动探头发生高频超声波掌握焊缝缺陷，超声波遇到裂纹、气孔等却先后反射超声波，接收反射波即可获取电信号，可视化呈现超声波波形^[9]。分析反射波位置、幅度以及形状等特点，掌握焊接缺陷的类型和位置等信息。采用超声波检测法操作简便、灵敏度高，实现微小焊接缺陷快速筛查，并且不会影响或损害管道本体。

（四）管道理化性能检测

1. 拉伸性能检测。PE 管道拉伸性能检测，检测参数主要包括断裂伸长率、抗拉强度以及屈服强度等。具体检测中，应截取部分管体或管件试样，并将其安装在材料试验机夹具上，以恒定速率逐步施加轴向拉力，随着拉力增加试样也会随之变形，达到材

料极限值后则会断裂，计算断裂时最大应力大小及为抗拉强度，试样断裂后计算试样标距部分伸长量与原始标距长度的百分比，即断裂伸长率。根据这些参数能够直观反映出材料承受拉伸载荷时的性能水平，对于评估管道泄漏几率，指导后续管道修复工作开展具有重要意义^[10]。

2. 硬度检测。硬度检测综合评估 PE 燃气管道抵抗局部变形能力，多选择洛氏硬度测试法或是邵氏硬度测试法，其中后者更适合 PE 燃气管道硬度检测。检测过程中，将邵氏硬度计压针与管道保持垂直接触状态，施加一定压力，一段时间后读取硬度计表盘数值。通过硬度值即可反映出 PE 管道材料的软硬程度、抗压性能以及耐磨性等参数。PE 材料硬度越高，耐磨性越理想，有助于管道在地下环境较好地抵抗硬质材料的磨损，降低管道泄漏几率，延长管道的使用寿命。

3. 耐应力开裂性能检测。PE 燃气管道运行中，受化学介质以及环境应力等因素影响，可能导致管道开裂，介质泄漏，威胁管道安全运行。常规的检测方法有切口恒定拉伸负荷法，模拟管道在实际环境中的运行工况，将试样加工为特定尺寸规格的切口，置于拉伸装置上，施加一定拉伸应力，浸泡在表面活性剂溶液中，一定时间内观察试样是否开裂。如果未出现开裂，则表面管道材料的耐环境应力开裂性能优良。

三、工程实践

以某城市埋地 PE 燃气管道为例，管道材质为 PE100，管道沿线缺少地面标识和示踪线辅助检验，具体参数如表 1。

表 1 埋地 PE 燃气管道参数

序号	项目	内容
1	待检测 PE 管道长度	4km
2	设计压力	0.4MPa
3	运行压力	0.2MPa

（一）检验过程

埋地 PE 燃气管道检验中，综合评估管道位置、埋深和走向。根据相关数据信息，完成管材测厚、阀门泄漏检测以及燃气阀门完整性等检测工作，随后开挖检测。根据全面检验标准要求，在合适区域确定开挖点，开挖检测分析管体状态、管道性能，并对焊缝无损检测，结合外部观察结果综合评估管体的全线风险情况，为协同控制提供支持。

被检测管道施工时并未同步敷设示踪线，因此管道全面检验适合选择声波定位法定位管道位置、走向，结合 PE 管道的埋地敷设情况，声波信号接口选择靠近阀门井的放散阀，使用设备发射机发送声波震动信号到燃气管道中，声波振动会带动 PE 管振动，并朝着周围土壤传播振动，地面远端使用接收机接受声波振动信号，根据信号的强弱大小，定位管道位置。现阶段城市埋地 PE 燃气管道定位中广泛采用这一方法，但更多的是检测管道平面走向，难以反映出管道埋深情况。因此，想要获取管道埋深还需要联合直接开挖、施工材料等综合确定。

管道外表面使用刮刀进行处理，定量取样进行氧化诱导时间

性能测试，检验管道耐老化性能，并格局现场检验数据和资料审查等方式，对管道全线风险评估，掌握 PE 燃气管道失效可能性。

（二）检验结果

全面检验中发现有 2 处阀门泄漏，结合其位置和环境，分析泄漏原因主要在于放散阀法兰松动，注油阀丝扣发生损坏，使其控制失效。同时，1 处存在建筑物占压管道、1 处 PE 燃气管裸露在河槽埋地段，组织人员对氧化诱导情况进行分析，为后续的针对性修复处理提供支持。根据管道运行安全要求，对于占压管道的建筑物限期移除，并做好管道地面表示，避免后期出现类似的建筑物占压管道现象出现。另外，对管道性能试验，发现部分管道老化现象严重，其原因在于使用时间长，敷设施工时缺少有效的保护措施，加之土壤湿度大，使得管道受侵蚀严重。

四、结论

综上所述，城市埋地 PE 燃气管道敷设范围较广，由于管道沿线区域地质条件和外部环境不同，容易受多种因素影响出现损坏、泄漏等问题。因此，为了保证 PE 燃气管道运行安全，应做好全面检验工作，选择合适的检验方法和设备，精准探测定位管线位置与走向，检测是否存在泄漏和破损等情况，以便于组织人员及时修复处置，将安全隐患消灭在萌芽状态。

参考文献

- [1] 庞世刚. 城市埋地 PE 燃气管道全面检验方法及应用研究 [J]. 中国高科技, 2024, (06): 114-116.
- [2] 李胜利, 崔文豪. 北方地区 PE 燃气管道监督检验探讨 [J]. 山东化工, 2024, 53 (03): 74-76.
- [3] 林星佑, 刘蓉. 无损检测技术在城市燃气管道的应用 [J]. 煤气与热力, 2023, 43 (12): 16-20.
- [4] 蔡安安, 代小强, 李兆令, 等. 综合物探方法对城市 PE 燃气管道探测的应用研究 [J]. 云南大学学报 (自然科学版), 2023, 45 (S1): 187-191.
- [5] 魏东. 城市埋地 PE 燃气管道全面检验方法及应用探讨 [J]. 科学技术创新, 2022, (22): 5-8.
- [6] 石膏. 城市埋地 PE 燃气管道全面检验方法探讨 [J]. 科学技术创新, 2021, (14): 106-108.
- [7] 李昌胜, 徐义, 谭凯, 等. PE 管在城市管道天然气工程中的应用 [J]. 中国高科技, 2021, (07): 78-79.
- [8] 徐海峰. 城镇燃气 PE 管道第三方挖掘施工损伤风险评估技术研究 [J]. 石化技术, 2020, 27 (12): 26-27.
- [9] 张海营, 郭栋梁. 城镇埋地 PE 燃气管道风险评估应用研究 [J]. 中国设备工程, 2020, (13): 161-162.
- [10] 郝琪. 城市燃气管道安全管理存在的问题与对策探析 [J]. 化工管理, 2020, (17): 74-75.

浅析城市更新视角下的传统住宅改造设计研究

包敏辰, 李丹阳

长春理工大学, 吉林 长春 130000

摘 要： 在全球化快速发展的背景下，传统住宅与现代化之间的差异越来越大，而城市更新作为推动城市可持续发展的策略，能带动传统住宅的更新与复兴。传统住宅是城市历史文化的物质载体，对其改造设计不仅仅是简单的空间重塑与现代生活需求的平衡，更意味着历史文化的传承。然而，随着社会、科技、文化输入带来的生活方式的改变，许多传统住宅存在风貌损坏、功能老化、利用率低、环境品质下降等问题，需要通过有效的设计方法实现保护与更新的有机结合。因此，本文旨在从城市更新的视角出发，探讨城市更新与传统住宅改造设计的意义，以期在传统住宅的改造提供新的设计思路，促进城市历史文化的活态传承与现代城市建设的协同发展。

关 键 词： 城市更新；传统住宅改造；文化遗产保护；空间优化

Research on Traditional Residential Renovation Design from the Perspective of Urban Renewal

Bao Minchen, Li Danyang

Changchun University of Science and Technology, Changchun, Jilin 130000

Abstract: Against the backdrop of rapid globalization, the differences between traditional residences and modernization have become increasingly pronounced. Urban renewal, as a strategy to promote sustainable urban development, can drive the revitalization and renewal of traditional residences. Traditional dwellings serve as physical carriers of a city's historical and cultural heritage, and their redesign involves not only a balance between spatial reshaping and modern living needs but also the preservation of cultural legacy. However, with changes in lifestyle brought about by societal, technological, and cultural influences, many traditional residences suffer from deteriorating aesthetics, outdated functionality, low utilization rates, and declining environmental quality. Effective design approaches are thus needed to achieve an organic integration of preservation and renewal. Therefore, this paper aims to explore the significance of urban renewal and traditional residential redesign from the perspective of urban regeneration, with the goal of providing innovative design insights for the transformation of traditional dwellings and fostering the synergistic development of dynamic cultural heritage preservation and modern urban construction.

Keywords: urban renewal; traditional residential renovation; cultural heritage protection; space optimization

一、城市更新与传统住宅概念

（一）城市更新的概念

城市更新是城市可持续发展的重要手段，指符合规定的主体根据城市规划和有关规定程序对符合条件的特定城市建成区进行综合整治，主要通过维护、整建、拆除和完善等手段，对中心城区建成区实施系统性的空间重构与功能优化^[1]。这一过程实质上是对城市建成环境进行合理的新陈代谢，其核心目标在于实现多重维度的提升：在物质层面，通过改善房屋使用功能、更新市政设施、完善公建配套等举措，全面提升建成环境质量；在社会经济层面，通过产业结构调整、环境品质提升、文化传承创新等途径，促进城市可持续发展。城市更新作为城市治理的重要工具，

需要协调政府、市场与公众多元主体，最终实现空间品质提升、经济活力再生和社会网络重构的协同发展，从而更好地满足人民群众对美好生活的向往，同时适应经济社会发展的现实需求。

（二）传统住宅的概念

传统住宅是中国重要的文化遗产，承载着民族文化与历史建筑技艺，反映了不同地区在特定自然与文化环境下的居住形式^[2]。作为中国传统建筑的组成部分，它体现了人与自然和谐共处的智慧，具有鲜明的地域特色。其核心特征包括地域适应性和文化承载性。传统住宅改造需兼顾历史保护、功能提升与生态延续，在保留建筑特色的同时，通过空间优化与功能更新，使其适应现代需求。

作者简介

包敏辰（1977.07-），男，汉族，吉林省集安市人，硕士研究生，环境设计专业，就职于长春理工大学，教授。
李丹阳（2000.09-），女，汉族，河南省焦作市人，硕士研究生，环境设计专业，长春理工大学学生。

二、城市更新与传统住宅改造的意义

（一）功能互补

“功能互补”是指，以城市更新为依托，在充分尊重和保护传统住宅的文化特色与历史风貌的前提下，根据传统住宅空间的形态与使用功能方面的诸多不足，对住宅的内部结构、功能布局、空间装饰进行针对性的改造或增补，在满足现代化生活需求的同时实现基础设施升级、公共服务设施完善、环境整治等空间环境的同步提升。以城市更新的方式介入传统住宅改造，既维系了建筑的历史文化价值，唤醒传统住宅，助力城市的人文发展和形象建设，又以现代化的功能植入和空间重组，使传统建筑能够适应当代使用需求，实现历史保护与现代功能的有机统一。

（二）文化与社会价值

许多老旧小区与住宅承载着城市的历史记忆和文化特色，是城市的文化“活化石”。以城市更新为设计策略，保留地区独特的历史和文化元素，将历史和文化进行符号化演变，融入到传统住宅的建筑与空间的装饰中，实现城市文化的传承与更新，提升文化软实力。同时，以城市更新聚力于传统住宅改造，能够引入新的业态，带动社区商业、文化创意空间等多方产业，提升区域的经济活力。

三、城市更新与传统住宅改造设计原则

（一）保护优先，传承历史

城市更新应将传统住宅的建筑与历史保护放在首位，秉承着“应保尽保”和“应留尽留”的设计原则，避免大规模拆除和重建^[3]。该设计原则不仅仅要求深入挖掘建筑背后的历史面貌，保护建筑本身的整体格局和文化肌理，还要整治与环境不协调的建筑和景观，以场景还原、文化转译的手段，让历史文化融入现代化需求，推动历史文化遗产的活化利用。例如，南京市老城小西片保护更新项目通过“小尺度、渐进式”社区院落微更新，串联民居院落，实现街巷肌理尺度再生发展，还原传统生活样态，承载老南城文化与记忆^[4]。

（二）因地制宜，精准施策

因地制宜应充分考虑当地的自然地理条件、人文历史背景和地区经济水平，避免出现盲目的“一刀切”现象；精准施策是指在改造设计前精准规划，收集与整合当地的地域文化、发展特点、基本特性等具体情况，制定针对性的更新策略。再以分区改造的方式，根据传统住宅的不同结构类型、建造特点、地理环境、建构材料采取不同的改造方式。对于一般传统民居，可在延续居住功能的基础上，对其进行动线优化、照明改善等适度改造；对于具有重要文化价值的特色民居、名人故居，以保护建筑本身特征为主，划分出重点保护和可改建部分进行设计，保留建筑文化价值的同时改善空间不合理性。在改造过程中提倡参与式设计，充分吸纳当地居民与政府的意见和建议，使更新方案更符合当地实际情况。

四、城市更新与传统住宅改造设计方法研究

（一）建筑形制修旧如旧，保护建筑原始风貌

1. 原貌考据复原，延续历史肌理

传统住宅的保护与更新应通过对当地建筑历史文化的研究与总结、精细化的实地测绘、相关文献资料的收集等方式，从多维度、系统性的角度分析与整理资料数据，从而实现建筑原有格局与立面特征的精准还原。苏州平江路历史街区改造设计是以“修旧如旧”为设计原则，通过查阅地籍档案，复原了地区传统民居特有的“四水归堂”式院落布局。在改造设计中严格遵循当地传统民居的营造技艺，保留了具有地域特色的坡屋顶形式、砖细作工艺以及木构架体系^[5]。这种基于对实证研究与整理后的复原改造方法，并非简单的形式模仿，而是通过对建造技艺、装饰手法等非物质层面的传承，既保证了建筑空间格局的历史真实性，又延续了街区原有的空间肌理与尺度关系，使改造后的建筑与周边环境形成有机整体，实现历史建筑的保护与再生。

2. 传统工艺传承，修复细节风貌

许多传统住宅建筑因其历史价值和文化意义而成为保护对象，但建筑大多因年代久远而存在外观损坏、结构老化等问题。因此，如何在保留其历史风貌的同时进行现代化改造成为设计的关键。而“修旧如旧”作为改造设计策略，它不仅仅意味着对历史建筑物质形态的修复，更是对传统营造智慧与工匠精神的延续。在改造过程中除了遵循传统建造技艺，更应保留其独特的外部空间形式和内部装饰，对传统的木构榫卯、砖雕灰塑、瓦作铺砌等营造工艺进行修复和保护，以确保建筑在结构、材料、工艺等多个层面均符合其历史真实性^[6]。对于难以修复的复杂装饰或建筑构件，为保留其历史特色，可以采用现代化3D打印技术、新型材料技术进行复原。同时根据历史资料和现存建筑的实际情况，选择与原建筑风格相协调的色彩和材料质感，采用传统工艺进行修复或替换，确保与周边建筑的风格、尺度和色彩相统一，延续建筑独特的文化记忆与技艺传承，实现真正意义上的“修旧如旧”。

（二）整合优化空间功能，提高空间利用率

传统住宅作为历史文化的物质载体，其空间格局往往反映了特定的生活方式和社会形态。随着当代生活需求的演进，这些建筑普遍面临空间效能不足的挑战，主要表现在：功能分区与现代生活脱节、采光通风条件欠佳、动线组织不够合理等方面。

1. 功能复合叠用，空间弹性共生

从空间布局方面，通过“垂直叠合、水平渗透”的复合化设计，拆除冗余隔墙实现空间整合，采用可逆的轻质隔断系统，满足居住、工作、社交等多功能单行切换，既改善采光通风，又创造更开放的居住环境；巧妙利用垂直空间，采用loft、夹层或下沉空间等设计手法，在有限用地内拓展使用面积，同时营造丰富的空间体验。适度引入智能家居系统，在照明、温控、安防等方面提升居住品质。

2. 动线重组互联，提升空间便捷

本策略主张通过“分层疏解、立体互联”的交通重组方式，

在尊重建筑历史格局的前提下,通过拆除非承重隔墙、增设过渡性内廊,将原本割裂的空间单元转化为连续的功能序列;垂直层面采用嵌入式楼梯、微型电梯等集约化设施,实现无障碍的立体衔接;界面层面通过推拉隔断、旋转门等多变构件,形成可调节的空间渗透关系,构建符合现代使用效率的空间网络。通过主次动线的清晰界定、缓冲节点的合理设置,使历史建筑既能满足现代功能的高效需求,又保持了空间体验的历史质感。上海新天地石库门改造示范性地实践了这一策略:保留原有里弄肌理,将原本分散的厨卫功能整合为中央服务核,通过环形动线串联各生活单元;在二层增设钢结构连廊系统,既保持了石库门山墙的视觉完整性,又形成了立体的步行网络^[7]。这种“织补式”的动线优化,使历史建筑的封闭性空间结构转变为开放互联的活力场所。

(三) 公共空间拓展优化,挖掘村落历史文脉

1. 文化符号转译,激发场所记忆

文化延续应当深入挖掘地区历史文脉,通过系统性研究地方史料、传统工艺和建筑特征,将具有代表性的建筑元素、地域符号进行提炼与转译,与现代设计语言形成有机对话。在建筑铺装设计方面,将传统纹样通过参数化设计结合高性能混凝土、金属等新材料进行现代演绎,形成新的铺装形式,实现视觉传承与技术创新的统一;在园艺小品设计方面,融入地方工艺特色,将木雕、砖塑、藻井等传统技艺和传统造景手法作为设计基础,保留传统园艺小品的符号特征,化繁为简,采用更简洁的线条,适应现代审美;在空间叙事方面,通过设置“文化记忆点”网络系统,包括嵌入式展示墙、文化广场、智能互动装置等,以碎片化、沉浸式的展示策略串联城市历史片段,同时满足居民的多样化需求。这种将城市的历史文化融入到公共空间中的模式,既确保了

场所精神的真实延续,又赋予空间符合当代审美的时代特征,使居民在日常生活体验中自然建立文化认同,实现历史记忆的活态传承。

2. 微空间重利用,构建公共节点

微空间作为传统住宅中的过渡性零散区域(建筑间隙、庭院角落等),虽面积有限但使用频率极高,是承载居民社交、休闲与文化活动的关键场所。当前大量微空间处于功能老化、闲置的困境,若不予以改造和更新设计,就会影响居民的生活质量。如何充分利用有限的空间成为设计的关键。微空间设计通过精细化、集约化的方式,最大化地提升了空间的使用效率。具体而言,可采用空间重组整合碎片化区域,形成连续的功能带;通过功能植入满足不同人群需求,如嵌入式共享设施或弹性活动模块,将空间结构与功能植入成一体;同时运用集约化设计手段,如垂直绿化、可变家具、智能技术等,提高空间利用效率^[8]。微空间优化不仅能改善物质环境,还能增强空间互动,提升居民归属感为居住者创造了更加舒适和实用的生活环境。

五、结语

城市更新作为传统住宅改造设计的依托,是历史文化遗产保护与现代功能优化的重要策略。本文分析了传统住宅改造设计的背景与意义,在尊重历史文脉的基础上,提出了多个兼顾保护与创新原则的设计策略,同时提倡灵活运用现代化科技技术,推动传统与现代的有机共生。通过科学的设计与实践,传统住宅改造将为城市的高质量发展和文化传承注入新的活力,成为构建宜居、韧性城市的重要支撑。

参考文献

- [1] 彭为民,许钰涓,吴丹丹,等.城市更新过程中小微户型住宅设计策略——以石榴新村危旧房改造项目为例[J].建筑与文化,2022,(08):162-164.DOI:10.19875/j.cnkiizywh.2022.08.055.
- [2] 周世辉.传统村落保护性修建存在的问题与突破路径[J].哈尔滨师范大学社会科学学报,2018.9(06):158-162.
- [3] 王品,朱芷晴,陆翔,等.北京西砖胡同四合院建筑地域特色及保护修缮策略[J].北京规划建设,2023,(05):111-118.
- [4] 韩冬青,董亦楠.多方参与持续营造——南京小西湖街区保护与再生的实践[J].中国勘察设计,2023,(12):20-21.
- [5] 何青.尺度·空间·行为视角下苏州平江路的空间感知[J].建筑与文化,2021,(11):113-114.DOI:10.19875/j.cnkiizxwh.2021.11.043.
- [6] 林大彰,“修旧如旧”探源——以苏州平江历史街区为例[J].美与时代(城市版),2021,(05):45-47.
- [7] 凌吉.城市更新背景下传统民居的保护与再生——上海建业里保护整治试点的探索与实践[J].城市建筑空间,2022.29(01):56-60.
- [8] 许进,陆地.老旧小区改造中微空间更新的策略研究——以镇江中营宜家山广场为例[J].未来城市设计与运营,2022,(04):6-10.
- [9] 陈昱漫.基于有机更新理论的传统村落改造设计研究——以单拐村为例[J].美与时代(上),2023,(12):100-102.DOI:10.16129/j.cnki.mysds,2023.12.029.
- [10] 成芳,付璐.老旧小区有机更新策略研究——以株洲市渌口区老旧小区改造规划为例[J].建筑经济,2022,43(11):45-52,DOI:10.14181/j.cnki.1002-851x.202211045.

长三角研究院屋面的防水设计与施工应用研究

邹文利

上海层城建筑工程有限公司，上海 201799

摘要： 当新建与既改项目采用轻质木结构坡屋面时，常因材料选择不当、现场缺失有效管理、未按标准化作业流程执行等问题导致屋面产生渗漏水现象。本文针对以上防水行业难题，结合长三角研究院项目8#木结构坡屋面防水的设计与施工，详细阐述了防水设计深化思路，高粘抗滑复合防水材料应用，关键部位防水节点处理，防水标准化施工工艺要求，现场施工组织管理措施等多维度系统化解决路径，确保防水功能的有效设防与质量保障。

关键词： 木质基层；坡屋面；既有建筑改造；复合防水；标准化施工

Research on the Application of Waterproof Design and Construction of Roofs in the Yangtze River Delta Research Institute

Zou Wenli

Shanghai Layered City Construction Engineering Co., Ltd. Shanghai 201799

Abstract: When lightweight timber structure slope roofs are used in new and renovated projects, water leakage often occurs on the roof due to improper material selection, lack of effective management on site, and failure to implement standardized operating procedures. In view of the above waterproof industry problems, combined with the design and construction of waterproofing of the 8# wood structure slope roof of the Yangtze River Delta Research Institute project, this paper elaborates on the deepening ideas of waterproof design, the application of high-viscosity and anti-slip composite waterproof materials, the treatment of waterproof nodes in key parts, the requirements of waterproof standardized construction technology, and on-site construction organization and management measures, so as to ensure the effective fortification and quality assurance of waterproof functions.

Keywords: wooden base; sloping roof; existing building renovation; composite waterproofing; standardized construction

引言

防水作为建筑结构中一项重要的隐蔽工程，关乎结构的耐久性与后期室内功能环境的正常使用，让“合适的材料，用在合适的部位”是好房子，不漏水的设计前提，而标准化的施工与精细化的现场组织管理，也发挥着防水设防环节中至关重要的作用，即“标准化的施工亦是对防水材料的二次加工”。只有坚持“三分材料、三分设计、三分施工、一分管理”的理念，方能确保建筑的不渗不漏，为项目服役过程中的良性运转提供更多切实可行的使用保障^[1]。

一、工程概况

上海长三角可持续发展研究院位于上海市青浦区金商公路708号内，为一幢二层砖混结构房屋，房屋建筑平面呈L型，建造于1979年左右。房屋四角及纵横墙交接处均未设置构造柱，并存在一定程度不均匀沉降，平均相对沉降值在1.71-3.73‰，接近规范限值4‰。需对既有建筑进行整体改造，拆除内墙，加固外墙，屋盖采用木框架与OSB板进行铺设，以降低整体荷载，解决沉降隐患，并结合低碳减排技术，对后期已完成防水屋面加装光伏瓦进行系统集成，满足后期常态化观览需要。屋面防水系统需满足15

年以上的设防使用寿命，且竣工后5年不能漏水。

二、防水设计与施工难点分析

（一）防水设计难点分析

1. 因屋面采用欧松板（OSB）铺设作为防水施工基层，需优先解决防水材料 with 基层的粘结强度问题，避免防水层脱层开裂。其次屋面坡度在25%以上，施工作业极易打滑，存在安全隐患，防水材料如采用涂料会流淌，增加涂膜施工遍数，影响工期。采用自粘卷材，还需兼顾防滑措施，避免防水层表面碾压排气不

足，造成虚粘假象，并带来后期的大面积滑移脱层隐患；

2. 防水施工在夏季6-9月份，正直区域高温时段，屋面最高温度接近50℃以上，已做防水层在后续流水段施工间隔期间，会暴露在外，防水层需具备一定的耐候性、高耐热，不易燃等特点，确保现场无火灾隐患。同时欧松板铺设存在大量纵横向拼缝，考虑板体变形，需预留8-10mm，防水层在板体拼缝处需密封加强，避免节点薄弱处导致的“零延伸”断裂，导致整体防水失效；

3. 屋面装饰材料采用轻型光伏瓦系统，挂瓦条等钉杆机械固定方式会对已做防水层造成一定破坏，需保障防水材料具备一定的钉杆握裹和自愈合能力，防水设防措施需涂卷系统考虑，避免仅做一道防水层或单纯加厚导致的点渗漏影响；

4. 防水系统需满足现行屋面规范防水一级设防，材料需同质相容，互相补充，具备整体的使用耐久性保障。

（二）现场施工与管理难点分析

1. 防水施工需平衡整体工期进度，各工序（木结构安装、结构墙体加固、室内墙体拆除与砌筑等）需流水段穿插施工，无法提供完整工作面后独立运作，成品防水层表面需进行光伏瓦机械固定，造成局部破坏，产生渗水隐患；

2. 欧松板作为基础作业面，因局部坡度较大，板体表面涂有脱模剂，在晨间与夜间，存有水珠，作业安全隐患与防水粘结不牢隐患风险极大，需与现场安全管理人员充分联动，共同制定坡屋面的防滑措施与涂料粘结测试；

3. 项目场地空间有限，屋面受荷载影响，无法堆积过多材料，进场材料需与其他分包单位共用材料堆场，因防水材料属易燃产品，在做好防火措施的前提下，还要避免夏季高温导致的材料软化问题，如自粘卷材未开卷前的高温炙烤，会导致软化出油，不易打开的隐患，还需兼顾成品放置区的遮阳降温处理。

三、木结构坡屋面的防水设计方案

（一）防水涂料的选材与要求

经过行业现行防水材料的比选验证，项目采用具有抗滑移的水性BH2沥青新型沥青防水涂料作为防水第一道设防层，厚度设计为1.5mm，优先解决防水层与木质基层的粘结强度问题，涂膜经现场木质板体喷涂验证，粘结强度 $\geq 0.5\text{Mpa}$ ，无脱层隐患，粘结力较高，耐热性上限在110℃，降低了中午时段涂料烈日烘烤导致的软化破坏，实干时间 $\leq 4\text{h}$ ^[6]，夏季晨间与夜晚板材表面存有水雾时，均能快速施工，粘结强度不受基层潮湿影响。同时满足环保与气味内渗问题，因涂料具有连续和复杂节点易施工优势，可

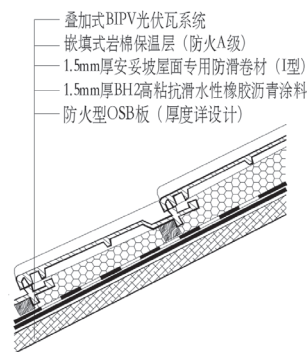
提升整体的包裹性和较高的延伸率，降低后期结构变形对防水层的牵拉破坏。

（二）防水卷材的选材与要求

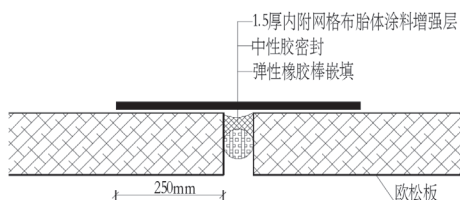
第二道防水层采用1.5mm厚安妥高分子防滑复合膜无胎自粘防水卷材，无需动火加热对接缝和大面进行烘烤，材料无胎，全部为沥青，便于对后续施工的钉杆穿刺进行有效握裹。卷材表面的高分子防滑复合膜，提供可靠的抗滑移性，增加摩擦系数，降低施工安全风险，增加施工作业环节工作的辊铺力，同时具有优异的太阳光反射比和低辐射能力，减少日光照射对卷材的升温破坏。

（三）涂卷复合的防水保障

涂料可以提供整体连续致密的防水包裹层，避免细部节点部位卷材产生翘边开口隐患，卷材提供后续交叉施工破坏的防水保护层，提供更好的抗破坏、抗穿刺、抗咯破能力，即保护第一道涂膜层，又作为第二道独立的防水层，大大提高了防水设防的可靠性。涂卷复合，两道设计，厚度、等级与措施满足建筑与市政防水通用规范^[1]、坡屋面工程技术规范^[2]、房屋修缮规程^[3]等技术要求，材料同质相容，不存在物化侵蚀导致的防水层间破坏和窜水隐患，提升整体的设防使用寿命。



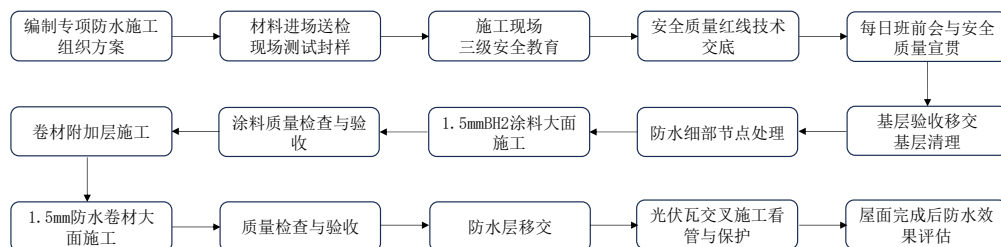
> 图1 防水设计方案



> 图2 欧松板拼缝节点

四、现场施工与质量管控要点

（一）整体施工工序与管控流程



> 图3 施工与管控流程

（二）现场整体施工与质量管控要求

1. 施工进场前，应事先与项目管理部及交叉施工作业单位三方沟通，确认质量与施工进度管控要求，并编制专项屋面防水施工组织方案，确认工人进场要求、防水施工工艺与质量要求、检测方法、现场安全管理、应急管控措施等方面内容，待确认完整后，提交防水施工方案，审核通过后方可进场施工^[8]；

2. 施工现场，由班组长组织工人进行每日班前会，进行安全与防水施工措施交底，确保施工环节严格执行各项安全管理规定^[10]，各班组之间应衔接紧密，保质保量；施工人员须戴安全帽、穿工作服、软底鞋，做好安全文明施工；

3. 防水施工人员须严格遵守设备与工艺要求，严禁违章作业；防水材料禁止在屋面大量堆积，并根据施工进度和用量做提前报备，防止材料储存环境欠佳，影响材料施工使用质量；施工前应踏勘了解现场，对施工影响成品的部位提前进行设防，并委托业主进行施工前的宣传通告，避免施工期间闲杂人员的随意进出。

（三）防水打样与基层清理

防水施工前，应切割小块板体做涂料与卷材铺贴的应用测试并留样封存，待整体性能测试满足要求后，方可进行大面积防水施工。基层应清理干净，防水作业区域，欧松板已施工并加固完整，基层油脂、凸起、毛刺、油污等污物必须铲除清理到位^[4]，不得有浮灰，确保涂料与基层粘结强度。

（四）板体细部节点处理

欧松板拼缝处应进行缝内吹灰擦拭处理后，放置1.5倍缝宽橡胶棒进行嵌填挤压，留置在中缝处，进深预留8-10mm，施打中性（沥青类）密封胶，胶体应嵌填密实饱满并略低于板体，形成自然弧度。500mm宽涂料增强层，胎体增强材料选用80g-100g/m²网格布进行裁剪预铺^[5]，涂刷1.5厚BH2高粘抗滑水性沥青防水涂料，涂料应分道多遍施工，并充分浸润覆盖胎体。

（五）涂料防水施工

大面积防水涂料施工前，基层含水率需小于9%，干燥整洁后进行，涂刷方向应延坡度方向由上至下，依次施工，可优先选用机械喷涂，确保枪嘴的喷涂压力对基层形成二次清洁效果，同时喷涂的涂料可紧密与基层进行物理层面的互锁咬合，增强粘结效果，涂料应分道多遍，先水平屋脊、后垂直屋脊方向交叉施工，确保形成连续致密的防水层，女儿墙等部位的上翻作业，应提前弹线并用塑料膜对不施工的区域进行成品保护，避免涂料溅落污染，整体厚度需2-3遍完成，严禁一次厚涂，造成涂膜开裂隐患。

（六）防水涂料检查验收

因防水涂料实干时间小于4小时^[6]，整体涂料施工尽可能在当天施工完成，避免隔夜施工导致涂膜表面积尘，导致涂层层间剥离。防水涂料整体施工实干后，需对现场随机抽取不少于5处进行切片测厚，确保整体厚度满足设计与规范验收要求，待三方检查验收合格后，进行淋水测试，无渗漏问题方可施工下道层次。

（七）防水卷材施工流程

卷材施工前应先开卷释放应力后再进行大面积铺贴，并按欧

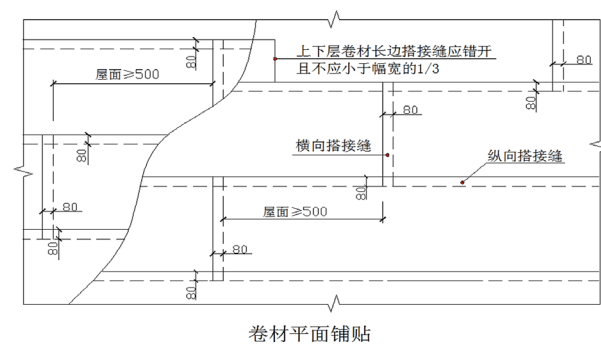
松板基层清理→卷材附加层铺贴→弹线→卷材大面铺贴→接缝处理→卷材收头机械固定→接缝检查与淋水验收→成品保护→上部结构层次施工依次进行。

（八）卷材细部节点处理

卷材细部节点处理：所有欧松板接缝及板体与墙体等不同材料交接处采用500mm宽卷材进行铺贴，卷材应裁切规整，铺贴卷材接缝应顺坡向搭接，收口处密封严密，并完全排除底部空气，严谨空鼓、起泡的瑕疵问题产生。

（九）基层弹线与卷材铺贴

大面积防水卷材铺贴时，应在涂料基层表面进行弹粉线，按卷材宽度，进行初步排版，并提前裁剪好边角处异型宽度卷材，所有卷材按铺贴进度提前释放应力后收卷备用，长短边接缝宽度不应小于80mm，相邻卷材横向搭接间距需错开500mm以上，避免接缝在同一截面处，随后期应力收缩导致防水层产生开裂隐患。



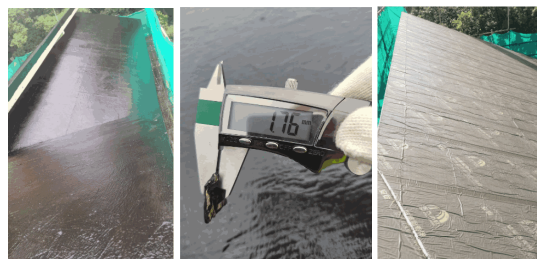
> 图4 防水卷材大面施工节点布置图

（十）防水卷材检查、验收

整体防水施工完，应执行“三检制度”，所有接缝处用一字型扁口工具全数检查，发现翘边开口处应及时辊压密实（长时间暴露导致灰尘污染无法二次粘结处，可进行热风辅助，确保粘结到位），现场施工人员、项目质检与防水分包项目经理必须跟班检查，确保验收合格后方可进行后续工序交接。

（十一）成品保护

防水施工完成，验收合格后，应及时进行下道光伏瓦作业施工，对侧墙卷材上翻部位应采用金属压条固定密封，卷材外露部分涂刷铝基反光涂料，以免外露破坏防水层。光伏瓦在安装作业环节，应现场安排1-2名工人进行值班，做好成品防水层观察与防护措施，待整体屋面安装完成后，进行第三次淋水测试或降雨天查验，以便顺利移交。



> 图5 防水涂料与卷材现场施工照片

五、结论与建议

综上所述，通过项目前期客户需求的确认与木质基材防水效果的测试评估，实现了抗滑涂料与防滑卷材复合防水设计体系的应用验证，是可以满足木质坡屋面类型项目的防水设防要求。同时通过进场前的施工组织方案制定、施工前的安全文明与质量技术交底、现场班组协调、工序组织、防水标准化施工与质量管控等措施手段^[9]，确保项目得以有序顺转，充分印证了防水工程“施

工是关键、管理是保障”的行业共识，只有遵循严格的过程管控与标准化的施工要求，才能确保项目的高质量输出。

基于当下建筑多样性与行业高质量的发展诉求，落实并执行好施工管理体系的“四控三管”将变得更为重要，唯有不断升级施工管理理念，基于更多项目背景，建立企业内部《标准化施工作业指导手册》，完善《房屋质量管控与通用做法图集》等一系列有效措施，才能为舒适宜居，绿色安全的房屋建造提供更可靠的施工管理保障。

参考文献

-
- [1] 《建筑与市政工程防水通用规范》GB55030-2022.
 - [2] 《坡屋面工程技术规范》GB50693-2011.
 - [3] 《房屋渗漏修缮技术规程》JGJ/T53-2011.
 - [4] 《屋面工程技术规范》GB50345-2012.
 - [5] 《屋面工程质量验收规范》GB50207-2012.
 - [6] 《高粘抗滑水性橡胶沥青防水涂料》Q/SY YHF 0135-2019.
 - [7] 朱伟宏，李静. 建筑工程中屋面防水施工技术及其质量控制路径探析 [J]. 中文科技期刊数据库（全文版）工程技术，2022（3）：137-140.
 - [8] 畅鑫. 关于建筑工程屋面防水施工技术控制探析的要点浅论 [J]. 中文科技期刊数据库（全文版）工程技术，2021（6）：187-188.
 - [9] 卢发沃. 建筑工程中屋面防水施工技术及其质量控制路径探析 [J]. 科技创新导报，2022（19）：152-154.
 - [10] 孙佳飞. 房屋建筑工程屋面防水施工技术及其质量控制 [J]. 中文科技期刊数据库（全文版）工程技术，2021（10）：181-182.

人脸识别技术在工地安全管理中的应用

吴泓学

丽水中盈市政园林建设有限公司, 浙江 丽水 323000

摘要： 人脸识别技术通过实时监控工地人员的活动轨迹，可及时发现异常行为或未授权进入危险区域的情况，从而预防事故发生。同时，系统能自动检测工人是否佩戴安全帽、反光衣等防护装备，减少人为监管疏漏。在考勤管理方面，人脸识别取代传统打卡方式，杜绝代打卡现象，提高管理准确性。此外，访客管理系统通过人脸比对实现快速身份核验，确保工地进出安全。然而，该技术的应用仍面临隐私保护、复杂环境下的识别准确率以及系统成本等挑战。未来，随着边缘计算和5G技术的融合，人脸识别系统将向更高效、更智能的方向发展，为工地安全管理提供更全面的解决方案。

关键词： 人脸识别；人员轨迹追踪；安全装备检测；考勤打卡；访客管理

Application of Face Recognition Technology in Construction Site Safety Management

Wu Hongxue

Lishui Ying Municipal Garden Construction Co., LTD. Lishui, Zhejiang 323000

Abstract: Facial recognition technology monitors the movement trajectories of workers on construction sites in real time, promptly identifying abnormal behavior or unauthorized entry into hazardous areas, thereby preventing accidents. At the same time, the system automatically checks whether workers are wearing safety helmets, reflective clothing, and other protective equipment, reducing human oversight errors. In terms of attendance management, facial recognition replaces traditional punch-in methods, eliminating proxy punching and enhancing management accuracy. Additionally, the visitor management system uses facial comparison for quick identity verification, ensuring safe entry and exit from the site. However, the application of this technology still faces challenges such as privacy protection, recognition accuracy in complex environments, and system costs. In the future, with the integration of edge computing and 5G technology, facial recognition systems will evolve towards greater efficiency and intelligence, providing more comprehensive solutions for construction site safety management.

Keywords: face recognition; personnel track tracking; safety equipment detection; attendance check-in; visitor management

引言

建筑工地是安全事故高发区域，传统的安全管理方式主要依赖人工巡查和监控摄像头，存在效率低、误报率高、响应滞后等问题。近年来，基于人工智能的人脸识别监控技术被广泛应用于工地管理，通过智能分析人员行为、识别安全隐患、优化考勤管理，显著提升了工地安全管理水平。本文重点探讨人脸识别技术在工地安全管理中的应用、技术实现及未来发展方向。

一、人脸识别监控的关键技术

(一) 人脸检测与识别

人脸识别监控系统的核心是计算机视觉算法，主要包括：

1. 人脸检测：

在图像或视频中定位人脸的位置和大小，通常输出人脸区域的边界框（Bounding Box）或关键点（如眼睛、鼻子等）。

常用方法：

(1) 传统方法：

Haar 级联分类器：基于 Haar-like 特征和 AdaBoost 算法，OpenCV 内置了预训练模型，速度快但精度较低^[1]。

HOG（方向梯度直方图）+ SVM：如 Dlib 库中的检测器，对正面人脸效果较好。

（2）深度学习方法：

MTCNN（Multi-task Cascaded CNN）：联合检测人脸和关键点，适合多尺度人脸。

RetinaFace：高精度检测器，添加了关键点和3D信息。

YOLO、SSD：通用目标检测模型也可用于人脸检测。

2. 特征提取与匹配：

在检测到人脸后，提取特征并识别身份（1:1比对或1:N搜索）。

人脸对齐：根据关键点调整人脸姿态（标准化）。

特征提取：将人脸转化为高维向量（嵌入向量）。

比对/识别：计算特征相似度（如欧氏距离、余弦相似度）^[2]。

常用方法：

（1）传统方法：

Eigenfaces/PCA：基于主成分分析的降维方法。

LBPH（局部二值模式）：纹理特征分析。

（2）深度学习方法：

FaceNet（Google）：使用 Triplet Loss 学习嵌入向量。

ArcFace：添加角度边界损失，提升判别性。

DeepFace（Facebook）：综合模型。

VGGFace：基于 ResNet 或 SEnet 的预训练模型。

（二）行为分析与轨迹追踪

系统设计

1. 多模态感知层

人脸识别摄像头网络：部署在出入口、关键区域节点

全景监控摄像头：覆盖整个施工区域

辅助传感器：红外、热成像（夜间/恶劣天气）

边缘计算节点：就近处理视频流，减轻中心服务器负担^[3]

2. 核心功能模块

人脸注册（人员数据库）→ 实时识别（视频流处理）→ 轨迹追踪（多摄像头协同）→ 行为分析（动作识别算法）→ 预警处置（应急响应流程）

3. 关键技术实现

（1）高鲁棒性人脸识别

工地环境适配：

安全帽遮挡补偿算法

灰尘/污渍面部特征恢复

低光照增强处理

动态识别优化：

移动状态下的快速捕捉

多人同帧时的并行处理

角度偏转校正（±45度有效识别）^[4]

（2）三维轨迹重构

多视角融合定位：

通过2个以上摄像头交会定位

结合施工场地 BIM 坐标系

连续轨迹预测：

基于 Kalman 滤波的遮挡补偿

跨摄像头目标 Re-ID 技术

三维可视化：

叠加在工地实景模型上

支持高度信息（不同楼层定位）

（3）智能行为分析

分级预警机制：

Level1：进入限制区域 → 语音提醒

Level2：危险区域停留 → 现场报警 + 管理端通知

Level3：安全设备未佩戴 → 禁止进入 + 记录违规

Level4：多人聚集 → 防疫 / 安全预警

特殊行为检测：

跌倒识别

奔跑 / 异常移动

设备违规操作姿态

（三）安全装备检测

安全装备智能检测系统是基于计算机视觉和深度学习技术的自动化检测解决方案，用于实时监控工作人员是否正确佩戴各类安全防护装备，包括但不限于安全帽、反光衣、防护眼镜、安全带、防护手套等^[5]。

1. 核心检测项目

头部防护检测

安全帽佩戴检测

安全帽类型识别（不同颜色 / 标识区分工种）

安全帽带子是否系紧

身体防护检测

反光衣 / 防护服穿戴检测

安全带（高空作业）佩戴检测

呼吸防护设备检测

其他防护装备

防护眼镜 / 面罩检测

防护手套检测

防护鞋 / 安全靴检测

2. 技术实现方案

（1）多目标检测技术

采用改进的 YOLOv8 或 RT-DETR 等先进目标检测算法^[6]

多任务学习框架同时检测多种安全装备

自适应特征融合处理不同尺度的防护装备

（2）人员与装备关联算法

基于人体姿态估计的关键点检测

建立人体各部位与对应防护装备的空间关系

图神经网络建模人员 - 装备关联性

（3）实时视频分析引擎

视频输入 → 人员检测跟踪 → 各部位安全装备检测 → 合规性判断 → 报警 / 记录 → 数据存储分析

3. 系统优势

（1）高精度检测

采用注意力机制增强小目标检测能力

多尺度特征融合提升检测精度^[7]

误报率 <2%，漏检率 <1.5%

(2) 实时性能

边缘计算优化，单 GPU 可处理 16 路 1080P 视频

平均处理延迟 <200ms

(3) 复杂场景适应

光照自适应算法

遮挡情况下的推断能力

多角度检测模型

(四) 考勤打卡技术

人脸识别技术在考勤打卡管理中的应用已成为现代企业提升效率、规范管理的重要手段。通过人脸识别替代传统打卡方式，系统自动记录工人进出工地时间，提高考勤准确性，减少代打卡现象^[8]。

1. 系统设计

人脸检测：通过深度学习算法（如 MTCNN）快速定位图像中的人脸位置。

特征提取：使用卷积神经网络（CNN，如 FaceNet、ArcFace）将人脸转化为 128 维或 512 维的特征向量。

特征比对：将提取的特征与数据库预存的人脸特征进行相似度匹配（如余弦相似度）。

活体检测：结合眨眼、摇头、RGB-D 摄像头或红外成像等技术防止照片 / 视频欺骗。

2. 应用优势

高效精准

识别速度 < 1 秒，准确率可达 99% 以上（LFW 数据集基准）。

支持多人同时打卡（如旷视科技的群组识别技术）^[9]。

防作弊

活体检测有效防止代打卡行为（如使用 3D 面具攻击的误识率 < 0.01%）。

无接触体验

卫生安全，适用于后疫情时代需求。

数据整合

自动生成考勤报表，对接 HR 系统（如 SAP、钉钉），减少人工统计错误。

灵活部署

支持公有云 / 私有云 / 本地化部署，适应不同企业规模^[10]。

(五) 访客管理技术

专为建筑工地设计的智能化访客管理解决方案，通过人脸识别技术实现工地人员的精准识别、分级授权和动态管理，有效解决传统工地人员管理混乱、安全隐患大等问题，提升工地安全管理水平和运营效率。

1. 核心功能模块

(1) 多级人员分类管理

内部人员：项目经理、施工人员等（自动同步考勤系统）

长期访客：监理、设计方等（定期授权）

临时访客：供应商、检查人员等（单次授权）

黑名单人员：自动拦截报警

(2) 智能访客流程

预约登记 → 资质审核 → 安全培训 → 人脸录入 → 权限设置
→ 入场验证 → 轨迹追踪 → 离场确认

2. 核工地特色功能

安全装备联动：未佩戴安全帽自动拦截

区域分级管控：危险区域二次验证

特种作业管理：特种操作人员资质验证

应急疏散统计：实时人员清点

二、人脸识别技术在工地安全管理中的应用

(一) 人员轨迹监控与安全管理

1. 典型部署方案

(1) 出入口管控

双因素认证：人脸识别 + 工牌 RFID 联动

黑名单预警：识别未授权人员立即报警

考勤联动：自动记录工时和进出记录

(2) 高危区域监控

塔吊作业区：实时监控下方人员活动

基坑临边：检测靠近危险边缘行为

材料堆放区：防止非相关人员进入

(3) 移动设备监控

安全巡检机器人：搭载移动识别终端

无人机巡查：定期巡航识别

车载摄像头：工程车辆作业区域监控

2. 数据管理流程

人员注册：

采集基础信息 + 人脸特征

绑定工种权限（电子围栏范围）

定期更新特征库（适应外貌变化）

实时处理：

边缘节点：人脸检测 + 特征提取

中心服务器：特征比对 + 轨迹计算

处理延时：<500ms（从捕捉到预警）

数据存储：

原始视频：短期存储（7-30）

特征数据：脱敏加密存储

事件记录：长期保存（含预警截图）

(二) 安全装备检测

1. 部署方案

部署方式：云端集中处理、边缘计算、混合部署，适用场景：
多摄像头大型场所、分散的中小型场所、大型分布式场所 硬件要求：
高性能 GPU 服务器、边缘计算盒子、边缘节点 + 云端中心

2. 行业应用案例

(1) 建筑工地

出入口强制检测

高空作业区域监控

塔吊操作室检测

3. 系统扩展功能

（1）智能预警系统

实时语音提醒

移动端推送告警

分级报警机制

（2）数据分析平台

违规行为统计分析

安全趋势预测

个性化安全报告生成

（3）集成能力

与门禁系统联动

对接 ERP/EHS 管理系统

支持 API 二次开发

该系统可显著提升作业场所安全管理水平，降低人为检查成本，预防因防护装备缺失导致的安全事故，符合 OSHA 等国际安全标准要求。

（三）智能考勤打卡

系统部署

确定场景：固定工位考勤、移动外勤打卡等工地场景。

硬件选型：普通摄像头（低成本）vs 专用红外活体设备（高安全性）。

本地化方案：部署人脸识别终端（如海康威视 DS-K1T 系列）。

SaaS 方案：直接调用阿里云 / 腾讯云人脸识别 API。

网络要求：局域网或专线确保实时性，离线模式应对断网。

数据录入

员工人脸注册：通过 HR 系统批量导入或 APP 自助采集（需光线均匀的正面照）。

隐私合规：遵循《个人信息保护法》，明确告知数据用途。

规则配置

设置打卡时段、地理位置围栏（GPS/Wi-Fi 定位）、异常处理机制（如补卡审批）

测试与优化

压力测试：模拟高峰时段并发打卡（如制造业换班时千人同时识别）。

模型迭代：针对员工戴眼镜、口罩等场景优化算法。

（四）访客管理

1. 技术实现方案

（1）工地环境优化算法

抗灰尘干扰识别模型

安全帽人脸识别专用算法

低光照条件下增强识别

移动端快速注册（支持现场拍照）

（2）多系统集成架构

人脸识别终端 → 访客管理系统 → 门禁控制系统、安全管理系

统、劳务实名制平台、工地监控系统 → 政府监管平台。

2. 硬件部署方案

设备类型：人脸识别闸机、移动核验终端、区域识别摄像头、车载识别设备，

部署位置：主出入口、次要入口、危险区域、车辆出入口

功能特点：防尾随设计、便携式检查、行为分析、司机认证

3. 工地专属特色

（1）劳务人员一体化管理

对接政府实名制平台

自动生成工资考勤数据

工人技能证书验证

（2）安全双防体系

人脸识别 + 安全装备检测

危险区域电子围栏

超时滞留预警

（3）工程车辆管理

司机身份绑定

运输车辆备案

物料交接记录

4. 管理效益分析

（1）安全提升

减少未经授权人员进入（降低 90%）

安全事故溯源效率提升 80%

应急响应时间缩短 70%

（2）效率提升

访客通行时间从 5 分钟缩短至 15 秒

节省 60% 登记管理人员

自动生成完整访客档案

（3）合规管理

自动满足政府实名制要求

完整可追溯的审计记录

数字化安全培训记录

三、技术优势与挑战

（一）优势

提高安全性：减少人为疏忽导致的安全事故。

提升管理效率：自动化监控和考勤减少人工干预。

数据驱动决策：通过数据分析优化工地管理策略。

（二）挑战

隐私问题：需平衡监控需求与个人隐私保护。

环境干扰：复杂光照、遮挡可能影响识别精度。

系统成本：高精度 AI 监控设备初期投入较高。

技术瓶颈：复杂环境（口罩、污渍）影响识别率 → 采用红外摄像头或 3D 结构光增强鲁棒性。

成本问题：中小企业部署难 → 云服务 + SaaS 模式降低初期投入。

伦理争议：工人抵触被监控 → 明确数据用途，建立透明化管理协议^[11]。

四、未来发展趋势

多模态融合识别

结合人脸识别与虹膜、指纹、声纹等生物特征，提升复杂环境（如光线差、粉尘大）下的识别准确率。

行为识别：通过视频分析动作（如攀爬、跌倒）预判危险，联动设备急停。

边缘计算 +AI 芯片

本地化部署边缘服务器，降低网络依赖，实现毫秒级响应，适合偏远工地。

专用 AI 芯片（如华为昇腾）提升算法效率，降低成本。

数字孪生与元宇宙集成

将人脸数据融入工地三维数字孪生模型，实时可视化人员分布和动线，优化调度。

VR/AR 培训：通过面部捕捉评估工人操作规范，生成个性化改进报告。

隐私保护技术

联邦学习：在不传输原始数据的前提下训练模型，符合 GDPR 等法规。

匿名化处理：仅提取特征码而非存储人脸图像，避免隐私泄露风险。

机器人协同应用

巡检机器人搭载人脸识别，自动巡查死角区域，识别人员状态并交互提醒。

无人机快速扫描大面积工地，定位未登记人员。

人脸识别将发展为工地“智能安全中枢”的核心组件，与物联网（如智能头盔）、BIM 系统、环境传感器等深度整合，最终实现：

预测性安全管理：通过历史数据预测高风险时段和区域，提前干预。

全生命周期档案：记录工人技能、培训记录、健康数据，匹配岗位需求。

五、结论

人脸识别技术已成为现代工地安全管理的重要工具，通过实名制管理、区域权限控制、安全行为监控和应急响应等应用，显著提升了工地的安全性、管理效率和合规性。未来，随着多模态识别、边缘计算、数字孪生、隐私保护技术以及机器人协同的发展，该技术将进一步深化应用，推动工地安全管理向智能化、预测性和自动化方向演进。

参考文献

- [1] 李东风. 人脸识别技术在智慧校园中的安全应用研究 [J]. 现代信息科技, 2023, 7(24).
- [2] 魏燕华; 陆梦; 包叶群; 龚旭平; 陈火根. 人脸识别技术在港口危险化学品安全监管中的应用 [J]. 中国水运, 2022(12): 26-28.
- [3] 石佳友; 刘思齐. 人脸识别技术中的个人信息保护——兼论动态同意模式的建构 [J]. 财经法学, 2021(02): 60-78.
- [4] 刘佳卉. 人脸识别技术在公交系统中的应用与思考 [J]. 城市公共交通, 2021(06): 38-41.
- [5] 人脸识别技术能给地铁安检带来什么 [J]. 国企管理, 2019, (19): 14.
- [6] 丁小虎; 谢航. 人脸识别技术在数字工地智慧安监平台的研究与应用 [J]. 信息与电脑 (理论版), 2019(02): 138-140.
- [7] 高卓宇. 人脸识别技术的基本原理与应用 [J]. 电子制作, 2019(14): 41-42+37.
- [8] 赵豪越; 王静一; 陈思琪; 黄建昌. 基于智能手机的人脸识别技术研究 [J]. 信息与电脑 (理论版), 2018(20).
- [9] 吴维嘉. 智能人脸识别技术在安防行业的应用与发展变化 [J]. 中国安防, 2016(06): 106-108.
- [10] 吴永斌. 基于人脸识别技术的考勤方案研究 [J]. 电脑知识与技术, 2020(19): 177-178+181.
- [11] 张天宇. 人脸识别技术在视频监控中的应用 [J]. 中国新通信, 2020(13): 120.

建筑工程造价与施工进度的协同优化机制构建

刘婕

浙江立兴造价师事务所有限责任公司, 浙江 杭州 310016

摘 要 : 传统的工程项目管理过程中, 施工企业没有将工程造价和施工进度作为一个整体进行考虑, 往往会出现进度滞后、造价超支等情况。由于缺乏对二者之间关系的深入认识, 在实际施工过程中也就无法针对具体问题制定合理的解决方案。基于此背景, 本文以 PDCA 循环理论为指导, 构建了建筑工程造价与施工进度协同优化的实时反馈调整机制, 从源头上解决了工程建设项目中造价与进度协同管控问题。首先, 通过分析工程进度与工程造价的关系, 运用 PDCA 循环理论, 提出了建筑工程造价与施工进度协同优化的实时反馈调整机制; 其次, 通过对该机制运行机理及各环节关键要素的研究, 设计了基于 PDCA 循环的协同优化模型; 最后, 通过案例分析对协同优化模型进行应用验证。结果表明, 所构建的实时反馈调整机制可以有效提高工程造价与施工进度的协同效应, 实现造价效益与工期控制的统一。

关 键 词 : 建筑工程造价; 施工进度; 协同机制; 优化

Construction of Collaborative Optimization Mechanism for Construction Cost and Construction Schedule

Liu Jie

Zhejiang Lixing Cost Engineers Firm Co., Ltd. Hangzhou, Zhejiang 310016

Abstract: In the traditional project management process, construction companies often fail to consider construction cost and schedule as a whole, leading to issues such as schedule delays and cost overruns. Due to the lack of a deep understanding of the relationship between the two, it is impossible to formulate reasonable solutions to specific problems during the actual construction process. Based on this background, guided by the PDCA cycle theory, this paper constructs a real-time feedback adjustment mechanism for the collaborative optimization of construction cost and schedule, solving the problem of collaborative management and control of cost and schedule in engineering construction projects from the source. Firstly, by analyzing the relationship between project schedule and construction cost, and applying the PDCA cycle theory, a real-time feedback adjustment mechanism for collaborative optimization of construction cost and schedule is proposed. Secondly, through studying the operating mechanism of this system and the key elements of each link, a collaborative optimization model based on the PDCA cycle is designed. Finally, the collaborative optimization model is applied and verified through case studies. The results show that the constructed real-time feedback adjustment mechanism can effectively improve the synergistic effect of construction cost and schedule, achieving unity between cost-effectiveness and schedule control.

Keywords: construction engineering cost; construction schedule; collaborative mechanism; optimization

引言

建筑工程是指以房屋、道路桥梁等人工构造物为主要对象的, 用于满足人们日常生活需要和其他生产活动的基本建设工程。目前, 我国大部分的建筑工程都是按照总承包模式进行运作的, 也就是说, 业主方把整个项目发包给一家有实力的施工单位来完成施工任务, 然后再由该施工单位来制定相应的预算方案并将其付诸实践。目前, 有关 PDCA 循环理论的应用研究主要集中于制造业、服务业等行业, 如张学能提出将 PDCA 循环应用于制造企业中的定置管理, 从计划、实施到检查、处理四个环节进行跟踪, 建立了定置管理系统平台, 实现了定置管理信息的数字化、规范化和信息化^[1]; 吴家锐基于时间序列理论, 利用人工神经网络建立了工程造价预测模型, 实现了工程成本的动态模拟^[2]; 路彩娟运用模糊数学理论构建了工程造价决策分析模型, 提高了工程造价的决策水平^[3]; 李涛利用多维随机模拟法对影响施工进度的因素进行分析, 并结合灰色关联分析法对施工进度与成本的协同关系进行研究, 提出了工期优化方案^[4]。但以上文献主要集中在某一领域, 且大多以单一要素为主, 忽略了建筑工程造价与施工进度之间的耦合作用, 无法有效指导实际施工。鉴于此, 本文将 PDCA 循环理论引入到建筑工程项目管理中, 以期实现工程造价与施工进度的协同优化。

一、工程进度与工程造价的关系

建筑工程项目的成本控制主要有两种方式，即预算和计量。在工程建设过程中，造价是由工程量清单、定额标准和价格组成的，可以通过对工程量清单进行全面分析来确定相应的工程造价。工程进度一般指的就是从开始施工到完成整个工程的时间长度，也称为工期。对于一项具体的建筑工程而言，它的投资效益会受到多种因素影响，其中最重要的一点就是项目建设中的施工进度。

（一）施工进度是控制投资的重要依据

由于建设单位需要按照合同要求完成工程任务，所以在实际施工过程中必须严格按照设计图纸和施工组织设计进行操作，否则将影响整体进度，甚至出现拖延现象。如果因施工单位自身原因导致施工延期，就可能增加额外的费用支出，从而大大降低了建筑企业的经济效益^[5]。因此，要想实现良好的投资效果，就要将施工进度和造价紧密联系起来，这样才能有效降低不必要的支出，提高资金使用效率。

（二）合理的施工进度是控制造价的关键

随着我国经济的不断发展，人们的生活水平得到显著提升，这就促使了人们对房屋质量提出了更高的要求。为了满足消费者的需求，建筑行业要不断创新，推出新技术、新工艺，这些都会造成较大的人力、物力和财力投入，增加了成本支出^[6]。此外，在施工过程中难免会遇到一些突发情况，这也会延长施工进度，增加人工、材料等方面的成本支出，从而影响最终的经济效益。

二、建筑工程造价与施工进度的协同优化机制

（一）基于 PDCA 循环的实时反馈调整机制

PDCA 是一种由休哈特提出雏形，美国质量管理专家戴明进行改进完善的全面质量管理方法，它是按照 PDCA 顺序循环进行质量改进活动^[7]。

1. 计划（Plan）阶段

首先要制定项目目标和具体实施计划，明确各项任务、步骤以及相互间的关系；其次要对所需资源和支持条件进行评估，为下一步工作做准备；再次要确定需要进行的审核与评审工作，确保整个过程有序开展；最后要建立一个可追溯的流程，形成一个清晰的执行程序。

2. 执行（Do）阶段

在这一阶段中，将所制定的计划付诸实施，并根据实际情况不断调整、完善原有计划，确保计划顺利完成。在此过程中需要注意三点：首先，要时刻关注进度和成本，及时发现问题并进行调整，以保证施工计划的合理性；其次，要严格控制预算，避免出现不必要的超支现象；再次，要加强人员培训和技术学习，提高员工的专业技能和综合素质，为工程后续施工提供有力保障。

3. 检查（Check）阶段

即核查阶段，通过定期或不定时地检查，掌握工程进展情

况，找出存在的不足之处，进一步改进、完善工作方法，确保最终成果能够满足客户需求。

4. 处理（Act）阶段

该阶段主要包括两个方面的内容：一方面是分析处理结果，总结经验教训，形成书面报告，为以后工作提供借鉴；另一方面是对已完成工作进行评价，以便更好地把握整体运行状况，找准差距并制定相应措施加以解决。

（二）实时反馈调整机制模型构建及仿真

本文提出的建筑工程造价与施工进度协同优化实时反馈调整机制，其内涵为在工程项目实施过程中，围绕造价控制目标、进度控制目标以及质量控制目标等多个维度，通过 PDCA 循环原理不断地对计划执行过程进行优化调整，从而实现工程造价与施工进度的动态协同优化。考虑到实际工程中受环境影响较大，为确保该模型能准确反映施工现场的真实情况，在仿真分析时采用了三层建模方式，即首先建立造价-进度一体化仿真模型，再建立二者关联关系模型，最后建立二者协同作用模型^[8]。具体步骤如下：①分别建立造价与工期关联关系模型；②根据已有数据资料，分别计算出对应阶段的工程造价和施工进度；③依据二者关联关系模型确定其耦合系数；④利用 MATLAB 软件将其与工程预算文件及进度计划进行匹配，从而得到最终的优化结果。为了验证所构建的模型能够有效解决建筑工程造价与施工进度之间的协同管控问题，本文对某栋商业办公楼项目的全生命周期造价及进度进行模拟仿真分析。由于该工程是按照规范要求完成的，故不存在抢工期、超概算问题，因此以本工程作为仿真案例进行仿真。

1. 模型参数

仿真模拟的参数主要包括：施工工期，为2019年3月1日至2019年6月30日；工程规模，为地上4层，地下1层；结构形式为钢筋混凝土框架剪力墙结构，基础类型为人工挖孔桩。另外还需要设置其他参数：①建筑材料单价；②工人工资；③机械台班单价；④设计变更引起的造价调整；⑤管理费率；⑥税金；⑦保险系数。其中，管理费费率取5%，机械台班费取6元/(m²·d)，设备租赁费用按实际租赁情况计算，保险系数为0.2%，税金取8%。在具体执行时，将各阶段的时间按照每阶段完成任务所需时间进行累计，再通过公式计算得出该阶段的总成本和总进度。由于本文采用的是动态模拟方式，因此并未考虑总成本和总进度对各阶段的影响。同时，为了进一步验证模型的有效性，又将项目全生命周期内的工程造价与进度数据进行了对比分析可知，当控制点位于第Ⅲ阶段时，即完成工程量30%~75%时，工程造价总体处于下降状态；当控制点位于第Ⅱ阶段时，即完成工程量75%~100%时，工程造价总体处于上升状态。

2. 仿真结果分析

本文利用构建好的造价-进度一体化仿真模型和关联关系模型，再根据相应参数计算，得到了各阶段工程成本、造价以及工期等指标随时间变化趋势如表1所示。通过 BIM-5D 平台运行模型，得到分阶段成本与进度动态数据（截取关键节点）：

表1：分阶段成本与进度动态数据

时间节点	累计完成进度	实际成本（万元）	计划成本（万元）	成本偏差率（CVR）	进度偏差（天）
2019-04-15	35%	1850	1780	+3.93%	-2（提前）
2019-05-10	62%	3420	3210	+6.54%	+5（滞后）
2019-06-20	95%	5130	4950	+3.64%	+3（滞后）
竣工时	100%	5380	5200	+3.46%	+2（滞后）

从表中可以看出，该项目在施工过程中存在多次重复返工现象，而前期投入的人力、物力及财力都需要重新核算，因此导致后期施工成本明显升高。另外，在施工过程的不同阶段，由于某些因素影响，其工程造价及工期也会发生相应变化，若不及时调整就会造成资源浪费，甚至延误工期，严重时还会导致施工单位亏损，给业主带来不良体验。基于此，为实现对建筑工程造价与施工进度的协同优化控制，可结合实际情况采用实时反馈调整机制来进行动态调控。具体来说，即在项目实施初期，针对造价、进度等指标较低的情况，应通过反馈信息了解问题所在，并依据PDCA循环原理制定出相应的优化方案^[9]；当优化效果逐渐显现后，则可适当降低优化目标，以此来增强整个循环的灵活性与适应性，保证后续实施工作顺利开展。

（三）工程案例应用分析

笔者以某住宅小区综合办公楼工程为例，该项目包含1#~6#楼的土建、装饰装修和给排水施工。考虑到相关工序间相互制约的特点，采用“先粗后细”的方法，即首先确定总工期最长的一项工作作为进度计划的起算点，再依次确定其他各项的完工时间，以此来保证整个工程项目按期完成。

根据建筑设计图纸及现场测量数据，对各分部分项工程进行工程量计算，并确定关键线路上所需的设备与材料。依据施工合同规定，工程开工日期为2019年4月1日，计划竣工日期为2019年6月30日。在此基础上，确定各分项工程的目标成本（见表4），其中：混凝土工程目标成本=8.79×（25+25+20+10+15+15）万元；钢筋工程目标成本=5.33×（40+40+40+40+30+30+20）万元；模板工程目标成本=5.55×（20+10+10+10+10+10）万元；砌体工程目标成本=2.38×（40+40+40+40）万元。

三、加强建筑工程造价与施工进度协同优化的对策

从以上分析可以看出，工程造价和施工进度之间有着密切的关系。因此，必须加强这两个方面的协同管理，以保证建筑工程能够顺利进行。不过目前我国在建筑工程造价和施工进度协同管理上还存在着不少问题。由于缺乏有效的制度体系，很难实现对预算和进度的科学管理；而且双方的利益是不同的，需要协调好双方之间的关系^[10]；此外，监管机制不完善，也会影响到协同效果。因此，必须采取措施，以提高这两个方面的管理水平。

（一）合理控制施工，细化到每个环节

对工程项目的实施，施工过程的每个环节都需要进行合理的进度控制。在实际的施工过程中，应根据具体的施工条件、施工方法、材料供应和人力资源情况等因素来制定相应的计划。此外，还应将各种施工活动纳入一个统一的管理体系中，以便于对项目的整体进度进行跟踪和控制。

（二）加强项目进度管理

首先要明确项目负责人为本项目的进度责任人，对整个项目的实施负全责；其次是确定各个部门及人员的职责和责任，由项目经理负责总体协调工作，各职能部门各司其职，各负其责，做好配合工作；再次，要建立健全项目进度控制制度，完善管理程序，提高管理水平。对于一般的项目来说，通常会使用关键线路法或网络图法，对施工时间、工序、材料消耗等进行分析，从而优化施工进度，减少浪费，节约成本。

（三）注重合同变更手续

要注重合同中约定的变更手续，确保业主方的意见得到充分体现，避免因超出工程范围而造成不必要的损失。例如，如果在建设工程的实施阶段，遇到了不可抗拒的自然灾害或者不可抗力因素，导致工程不能如期完成，则可以要求与相关的主体协商，尽量降低经济损失，同时也要及时向上级主管部门报告。

（四）保证材料设备齐全

在施工前，一定要保证所需的材料、设备等都已经到位，并且经过验收合格后才能投入使用，否则一旦开工之后，再去寻找这些东西，不仅效率低，而且可能还会影响到工期。为了避免这种情况发生，应当事先做好充分的准备工作，例如：根据图纸设计、施工图预算、工程量清单编制等，来确定每一道工序所需的材料数量和规格型号，并与供应商签订供货协议，一旦确定下来，就要按照约定执行。

四、总结

在当今社会，随着我国建筑行业的发展，施工管理工作对建筑工程项目起到了很大的影响作用。目前，很多单位都非常重视施工管理工作，但仍然存在一些问题，因此要不断完善和优化施工管理制度，这样才能更好地进行项目管理。首先，需要对建筑工程的造价与施工进度进行控制，这样可以保证工程的质量得到有效控制。其次，充分利用计算机技术，提高其计算效率和准确度。同时，要根据工程进度要求，合理安排各个阶段的施工作业

业，以便更好地掌握工程造价，从而确保企业经济效益最大化。最后，相关人员要加强沟通与协调，加强对员工的培训，提高他

们的综合素质，使他们能够及时、准确地掌握工程造价信息。只有这样，才能提高建筑施工企业的整体效益，促进可持续发展。

参考文献

- [1] 张林. 基于 BIM 模型的建筑工程造价成本控制算法 [J]. 中国建筑金属结构, 2023, 22(12): 190-192.
- [2] 邱小春. 影响建筑工程造价超预算的因素及控制策略 [J]. 中国招标, 2023, (10): 138-140.
- [3] 刘江. 铁路工程施工组织设计优化对工程造价的影响分析 [J]. 运输经理世界, 2023, (27): 164-166.
- [4] 吴香兰. 全过程工程造价在建筑经济管理中的应用探究——以某大型商业综合体项目为例 [J]. 房地产世界, 2023, (15): 115-117.
- [5] 周杨. 关于建筑工程造价超预算的原因与控制策略探究 [J]. 中国住宅设施, 2023, (07): 109-111.
- [6] 田桂芳. 建筑工程造价预结算审查与建筑施工成本管理分析 [J]. 工程技术研究, 2023, 8(02): 121-123.
- [7] 韩亭. 浅谈建筑工程造价的影响要素与全过程工程造价成本管控的分析 [J]. 中国建筑金属结构, 2021, (11): 52-53.
- [8] 徐婧. 建筑工程造价预结算的审核方法与重点 [J]. 上海商业, 2021, (09): 154-155.
- [9] 赵新宇. BIM 技术在智慧建筑工程造价管理中的实践探析 [J]. 居舍, 2021, (21): 168-169.
- [10] 范仲英. 建筑工程造价的影响因素与降低工程造价的方法分析 [J]. 房地产世界, 2021, (12): 63-64.

小型基建维修工程管理中存在的问题与措施

赵博帆

江苏长电科技股份有限公司, 江苏 江阴 214400

摘 要 : 在城市运转中小型基建维修工程如同“毛细血管”, 虽然其体量不大, 但是其有着广泛的覆盖面, 与城市运转和居民生活质量存在密切关系。通过对当前小型基建维修工程管理的实际情况来看, 在规划设计、施工质量、施工进度以及成本控制方面存在着一定的问题, 为了更好的发挥小型基建维修工程的效益, 就需要加强对工程管理的优化, 切实的保障工程规划设计的合理性与工程施工的质量、进度和效益。

关 键 词 : 小型基建维修工程; 管理; 材料

Problems and Measures in the Management of Small Infrastructure Maintenance Projects

Zhao Bofan

Jiangsu Changjiang Electronics Technology Co., Ltd. Jiangyin, Jiangsu 214400

Abstract: Small infrastructure maintenance projects are like "capillaries" in the operation of a city. Although they are not large in scale, they have a wide coverage and are closely related to the operation of the city and the quality of life of residents. Based on the current actual situation of small infrastructure maintenance project management, there are certain problems in planning and design, construction quality, construction progress, and cost control. To better leverage the benefits of small infrastructure maintenance projects, it is necessary to strengthen the optimization of project management and effectively ensure the rationality of project planning and design, as well as the quality, progress, and efficiency of project construction.

Keywords: small infrastructure maintenance projects; management; materials

引言

城市的运转离不开小型基建维修工程, 从表面上来看这些工程比较琐碎, 但是却关系着居民生活的舒适性、便利性以及城市品质。但是从现阶段小型基建维修工程管理的实际情况来看, 其中依然存在着一些问题, 而这些问题严重阻碍着工程效益的发挥, 甚至还可能影响城市的正常运转, 为此, 十分有必要加强对工程管理的优化。本文针对小型基建维修工程管理中存在的问题进行了探析, 并提出了具体的优化措施。

一、小型基建维修工程管理中存在的问题

(一) 规划设计中存在缺陷

小型基建维修工程的规划设计中存在的一个明显缺陷就是缺乏前瞻性。部分工程仅重视眼前迫切需要解决的问题。例如, 在规划设计某小区道路维修工程时, 仅关注对已经发生破损路面的修复, 未综合分析日后车辆数量的变化、居民活动需求的变化等。导致后续小区车辆数量增加, 小区原道路比较狭窄, 并且没有为日后的拓宽留出足够的空间, 致使道路很难满足车辆的通行需求, 不得不再次进行改造, 并且改造规模较大, 造成了较大不必要的资源浪费。

规划设计中存在的另一个比较常见的问题就是缺乏事前调研与分析。对于小型基建维修工程来说, 由于其规模较小, 一些设计单位在规划设计时, 为了降低成本、节约时间, 通常会不愿花

费较多的精力与时间进行市场调研。例如, 在规划设计某商业街区排水管道维修工程时, 设计人员未针对该商业街区的未来发展规划以及地下管线的分布情况进行调研, 仅单纯的对发生损坏的排水管道制定了修复施工设计。导致在实际施工中多次出现和其他管道相互冲突的情况, 不得不对规划设计方案做出变更, 造成工期延误、工程成本增加。并且随着商业街区的发展, 后续出现了排水能力不足的情况, 进入雨季, 该街区便频繁发生积水, 对商户的正常经营造成了较大影响。

(二) 施工质量存在的问题

小型基建维修工程中出现施工质量问题的一个重要原因就是缺乏严格的监管。在工程施工中, 监理单位未能够全面的履行自身的职责, 缺乏对工程整体施工过程的细致监督。例如, 在某小区住宅楼维修工程中, 监理单位未能够严格的针对施工方使用的施工材料以及施工技术等进行严格检查, 未及时发现其在粉刷墙

体时存在偷工减料的情况，致使短时间内墙体便发生了脱落的情况，对住宅楼的正常使用以及居民安全造成了较大影响。

造成小型基建维修工程施工质量问题的另一个主要原因就是缺乏对施工材料的严格管理。部分施工单位为了压缩施工成本，扩大效益，使用的施工材料存在以次充好的情况，致使维修工程结束施工不久便再次出现质量问题，给居民的人身和财产安全带来了较大威胁，并且施工单位的形象严重受损。

（三）施工进度阻碍多

小型基建维修工程管理的一个主要目标就是保证工程的施工进度，但是从实际情况来看面临着很多的阻碍。其中一个主要阻碍就是缺乏合理的施工计划安排。在具体制定施工计划时，未能充分的分析工程自身的特点、资源配置和施工条件等。导致在后续施工的过程中，很容易受一些因素的影响而阻碍施工进度。像天气情况，尤其是在进行小型基建维修工程室外施工时，当遇到降雨天气，施工现场通常会变得比较泥泞，很容易致使施工设备无法正常运行，还可能导致已经完成施工的部分发生损坏，不得不重新施工，导致工程工期拖延。

当小型基建维修工程在施工中频繁进行变更，也会影响施工进度。施工中，在一些因素的影响下，像业主方的要求变化、规划设计方案缺乏合理性等，致使施工中时常发生变更^[1]。一旦发生变更就需要对原规划设计方案、施工方做出更改与调整。每次变更均需对施工工序做出重新调整，对施工资源进行重新配置，甚至还需要重新进行施工材料的采购，不单会导致施工成本上升，还会阻碍施工进度。

（四）成本失控

成本控制是小型基建维修工程管理中的一项重要内容。但是部分工程存在成本失控的情况，其中最为主要的一个原因就是缺乏对工程变更的严格管理。部分小型基建维修工程，由于缺乏完善的工程变更管理机制与成本控制机制，导致工程频繁发生变更，再加之缺乏对变更成本的有效控制，造成工程成本增加。

预算编制缺乏合理性也会对小型基建维修工程成本控制造成较大影响。但部分工程在编制预算前，并未展开全面且深入的市场调研，所采取的测算方法也缺乏科学性，致使施工中实际产生的成本费用与预算之间存在着较大差异^[2]。例如，在编制某小型工厂维修工程预算时，编制人员并未综合分析材料的市场价格波动趋势，也未对工程施工中可能发生的成本费用进行准确的估算，像水电费、临时设施搭建费等。而在实际施工中，施工材料市场价格增长，再加之部分事先未估算的费用支出，致使实际成本支出明显超出预算，给施工方带来了较大的经济负担。

二、小型基建维修工程管理的有效措施

（一）加强对小型基建维修工程规划设计的优化

一方面，提高规划设计的前瞻性。城市建设主管部门、自然资源部门、水利部门以及交通部门等联合建立“城市基建数据库”。借助地理信息系统技术的运用，对城市产业园区规划、人口普查以及地下管网等数据信息进行整合，提高数据库的可视化程

度与完整性。以便设计单位在承接老旧小型基建维修项目时，可利用数据库快速的将近几年来该基建项目周边发展规划以及人口增长情况的数据调取出来，以此为依据对未来基建工程的运行情况进行预测，从而对小型基建维修工程做出科学的规划设计。例如，在规划设计某老旧小区的下水管道维修工程时，通过对数据库中相关数据分析，预测未来5年该小区住户量将新增20%，所以在规划设计该维修工程时，不仅扩大了下水管道管径，同时还对其坡度做出了调整，以此保证污水排放的顺畅性。

另一方面，加强规划设计管理。设计单位需加强对规划设计的内部审查，制定规范的内部审查流程与明确的标准。在初步完成基建维修工程的规划设计方案后，技术部门负责审查规划设计方案的完整性、准确性与规范性等^[3]。如果规划设计方案中涉及地基处理，技术部门需对规划设计方案中的地质勘察报告数据的完整性进行全面审查，确保地基处理方式足够合理，一旦发现规划设计方案存在数据不完整或者处理方式不够恰当的情况，需要要求设计人员对规划设计方案做出整改。

（二）加强小型基建维修工程质量管理

一方面，构建完善的质量监管体系。通过招标的方式选择小型基建维修工程的监理单位，在招标文件中需针对监理单位需要具备的资质提出明确的要求。评标时，针对监理单位在相似工程中取得的成效以及配备的监理人员等进行重点分析^[4]。招标技术后，需和中标单位之间签订监理合同，合同中需针对监理单位的职责、监理内容、费用支付方式等做出详细说明。监理单位需结合小型基建维修工程的基本特征，编制具体的监理细则。工程施工中，对于重要工序监理单位需在施工现场进行旁站监督，保证其施工质量与规范要求相符，并认真做好监理记录，将工程施工质量、进度以及出现的质量问题、具体解决情况详细的记录下来。一旦发现工程施工存在质量问题，需立即向施工方下达整改通知单，要求其在规定的期限内完成整改，并对整改结果进行跟踪。

另一方面，严格的把控施工材料的质量。通过供应商数据库的建立，加强对供应商的管理，全面收集所有参与小型基建维修工程供应商的信息^[5]。在进行供应商筛选时，不单单需要对供应商的信誉和资质进行考察，同时需要分析供应商所提供材料的质量以及生产能力。并构建供应商黑名单机制，若发现供应商提供的材料与约定质量标准不符，需将其加入黑名单，停止与其合作。另外，还需要加强对材料质量的检验，在材料进入施工现场时，对材料的数量、规格以及外观质量等进行严格检查，并将检验样品进行留存。检验合格后，还需要委托第三机构抽检材料的质量，像水泥材料的强度、钢筋材料的屈服度与拉伸强度等，同时出具检测报告，一旦在检测中发现材料质量不合格，需对其进行退场处理。

（三）加强对小型基建维修工程的进度管理

一方面，加强对施工计划的优化。按时间将小型基建维修工程施工进度计划，合理的划分成月度计划、周计划与日计划。月末时结合本月的实际施工进度情况，调整、细化下月施工计划。周末时总结本周完成施工计划的实际情况，并根据下周的施工条

件，像天气情况、施工材料供应情况等，对周计划做出细化与调整。结束每日施工后，施工部门负责人需结合日计划完成情况，对次日施工进度与任务做出合理安排。例如，在进行某小区绿化维修工程施工时，由于遇到连续降雨天气，致使本周原计划中铺设草坪的任务未能够顺利进行，施工部门负责人立即对周计划做出了调整，将本周计划的重心由室外绿化转移到了室内绿化上，待降雨结束后再铺设草坪，施工进度并未受到较大影响。在实施小型基建维修工程施工进度管理时，还可通过 BIM 技术的运用建立三维施工模型，对工程施工过程进行模拟，以便在施工前发现不同施工工序间存在的矛盾与冲突，以此提前对施工工序安排以及资源配置进行优化，切实的保障工程施工的进度。

另一方面，提高现场施工的协调性。成立现场协调班组，其成员主要有施工单位，城管部门、交通部门以及社区等的有关人员，并明确的划分各个部门的职责^[6]。例如，城管部门主要职责为管理施工现场的环境，避免影响市容；交通部门主要的职责为疏导现场的交通，社区的主要职责为和周边居民进行沟通与协调，以此获得居民的认可与支持，从而更好的保障小型基建维修工程施工的顺利进行。

（四）加强对小型基建维修工程成本控制

一方面，科学的编制成本预算。积极的成立成本核算小组，小组成员主要有采购人员、施工技术人员以及造价工程师。造价工程师的主要职责为预算编制标准与方法的制定，施工技术人员需为成本预算的编制提供施工工艺信息，采购人员的职责为收集施工材料、施工设备的市场价格以及波动趋势。在编制预算前，该小组需全面的审查工程图纸，确定施工的内容与范围。常用的预算编制法为零基预算法，其不需要对以往的工程预算以及收支进行分析，只需要从零开始，以实际需求为切入点进行预算的编制。在编制材料预算时，采购人员可利用市场调研，对个供应商

的材料报价进行收集与分析，并针对材料的质量、运输费用等进行综合分析，明确材料的价格^[7]。在编制人工预算时，需结合工程设计方案，利用劳动定额，对各个环节的人工使用数量与工资标准进行计算。在编制机械预算时，需根据施工设备的市场租赁价格、施工使用计划，明确租赁设备的费用或者设备折旧费。完成预算编制后，由核算小组审核预算编制的合理性与准确性。

另一方面，加强对变更成本的管控。针对工程变更建立相应的成本台账，利用电子化的方式对其实施管理，以此便于统计与查询。台账内容主要有变更时间、变更编号、变更原因、变更事项、变更前后的成本、变更费用等。变更后，需及时对变更台账的内容进行更新，并综合分析变更成本。如果变更成本超出预算，需严格的执行变更审批制度。施工方在提交变更申请的同时，需对超出预算的原因做出详细说明，同时提交材料加以证明。然后由设计单位、造价咨询机构审核变更申请，对变更合理性与必要性做出客观评估。最后由建设单位对其进行审批。

三、结束语

综上所述，目前在实施小型基建维修工程管理的过程中，依然存在着一些问题有待解决，主要包括规划设计不合理、施工质量管理不严格、进度管理与成本控制不到位等，为了切实的解决这些问题，就需要加强对规划设计的优化，提高规划设计的前瞻性，并加强规划设计管理；在实施质量管理时，需构建完善的质量监管体系，严格的控制施工材料的质量；在进度管理中，则需加强对施工计划的优化，提高施工现场的协调性；在成本控制中，科学的编制成本预算，加强对变更成本的管控，从而更加高水平、高质量的实施工程管理，进而更加充分的发挥小型基建修建工程的效用。

参考文献

- [1] 蔡智力，邓颖颖. 电力小型基建维修工程建设管理现状及对策 [J]. 电力设备管理，2022(18):136-138.
- [2] 郑耀辉. 配网基建工程质量管理存在的问题及控制措施研究 [J]. 通讯世界，2022,29(4):70-72.
- [3] 高延盛. 论基建工程实施过程的目标管理浅析 [J]. 建筑工程与管理，2022,4(5).
- [4] 李硕. 浅谈工程管理过程中施工组织设计 [J]. 工程建设和设计，2023(24):214-216.
- [5] 曾乐. 基于智慧安全理念的基建工程管理系统 [J]. 电力安全技术，2022,24(3):8-10.
- [6] 许卓刚. 基建工程管理中的常见问题及改进措施 [J]. 中国住宅设施，2023(7):166-168.
- [7] 赵喜军. 基建工程管理提升的可持续发展策略与实践分析 [J]. 工程技术研究，2024,6(2):93-95.

数字化技术在园区建筑装饰设计中的应用

刘思明

中铁二院工程集团有限责任公司，四川 成都 610031

摘要： 为提升园区建筑装饰设计的效率与精度，采用 BIM 建模与数字工艺集成方法，对设计、施工与监控流程进行系统优化分析。以某科技园项目为例，研究数字化技术在构件建模、构造设计、施工执行与成效验证中的应用表现。结果表明，数字化设计在工期控制、精度保障与资源利用方面具有显著优势，可有效支撑建筑装饰系统的高质量实施。

关键词： 数字化设计；建筑装饰；BIM 建模

The Application of Digital Technology in the Design of Campus Building Decoration

Liu Siming

China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd. Chengdu, Sichuan 610031

Abstract: In order to improve the efficiency and precision of the architectural decoration design of the park, BIM modeling and digital process integration methods are adopted to systematically optimize and analyze the design, construction and monitoring processes. Taking a science and technology park project as an example, we study the application performance of digital technology in component modeling, structural design, construction execution and effectiveness verification. The results show that digital design has significant advantages in schedule control, accuracy guarantee and resource utilization, and can effectively support the high-quality implementation of the building decoration system.

Keywords: digital design; building decoration; BIM modeling

引言

随着建筑行业的数字化转型不断深入，园区建筑装饰设计面临着更高的效率与精度要求。传统设计方法已无法满足复杂工程的精细化管理需求，而数字化设计技术，凭借其高度集成与可视化特点，逐渐成为提升装饰设计质量与施工效率的重要手段^[1]。本文探索数字化技术在园区建筑装饰设计中的应用，通过对比实验分析其在工期、精度、成本控制等方面的优势，评估其对建筑行业的推动作用，为行业提供理论依据和实践指导。

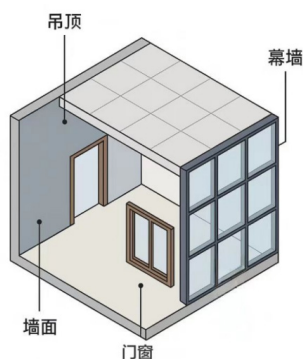
一、需求分析

园区建筑装饰设计在功能复合、风格统一与施工效率等方面提出了更高要求，传统设计手段已难以满足精细化、高效化的项目需求。随着园区空间结构趋于多元，装饰设计需适配办公、研发、展示、交流等多种使用场景，要求设计方案具备高度灵活性与数据可调性^[2]；为保障施工质量与进度控制，需在设计阶段提前落实构件尺寸、构造节点与预制方式，实现信息前置与工艺同步；园区建筑常涉及多专业协同与异构系统集成，数字化手段有助于打通装饰与结构、水暖电等专业之间的信息壁垒，提升协同效率^[3]。在项目管理层面，业主对造价控制、资源调和周期缩短的要求，也推动了数字化装饰设计技术的深度应用。

二、建模与工艺应用

（一）构件建模

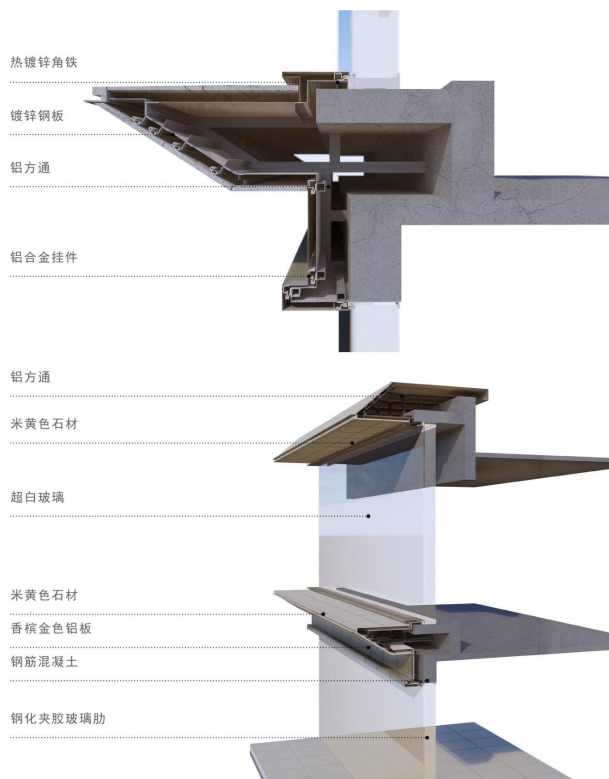
构件建模核心在于将建筑装饰中的墙面、吊顶、门窗、幕墙等关键构件，以三维参数化模型形式进行数字表达。通过 BIM 建模平台，可对构件的几何特征、材料属性、安装方式、节点细节等进行精准定义，实现构件从设计、采购到施工全过程的数据贯通^[4]。建模过程中，应依据国家标准和工程规范，对构件尺寸、连接形式及装配逻辑进行标准化建模，确保图模一致性与施工可执行性；构件建模需具备族构建能力，满足多类型装饰系统在不同空间功能下的快速复用与调整需求。在多专业协同设计中，构件模型还需预留安装接口与系统连通数据，确保与结构、机电系统的无缝集成。



> 图1 构件模型示意图

（二）构造设计

构造设计重点在于装饰构件之间及其与主体结构之间的连接关系、受力体系与构造节点优化。在园区建筑中，常见装饰系统如干挂石材、金属幕墙、玻璃隔断与模块化吊顶等，均需依据材料性能、受力条件和施工工艺制定详实的构造方案。通过数字化建模工具，可对构造节点进行多尺度分解，明确基层连接件、锚固方式、伸缩缝设置及热桥处理措施，提升结构稳定性与热工性能。构造设计还需充分考虑现场安装容差与维护便利性，在精度控制的同时保留适应性调整空间。在多专业配合中，构造设计应同步预判水电管线、消防喷头、通风口等与装饰构造的交叉干扰，避免碰撞冲突。（层次构造见图2）



> 图2 层次构造示意图

（三）工艺集成

工艺集关键在于实现设计信息与实际施工过程的无缝衔接。在园区建筑中，不同装饰构件对应的施工工序、加工精度、安装顺序存在显著差异，需在建模阶段同步嵌入施工逻辑与技术参数。具体包括材料性能参数、安装节点构造、拼装方向、固定方

式及施工容差等信息，均应以数据形式集成至构件模型中，形成具备“施工语义”的智能模型；工艺集成还涉及预制加工信息的提取、施工放样图的自动生成以及施工设备接口参数的标准化，确保模型可直接驱动加工设备或引导现场施工操作。通过工艺集成，设计成果从“图纸”升级为可执行的“施工模型”，显著提升施工精度与效率，降低现场错误率，构建高效协同的数字建造体系。

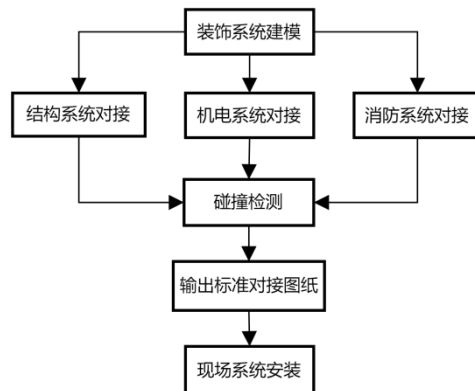
三、施工与系统集成

（一）放样与预制

放样与预制直接关系到构件安装的精度与现场施工的组织效率。在数字建模完成后，可通过三维模型导出放样坐标点、节点尺寸与构造细节，实现对复杂立面与异形构件的精准定位，替代传统手工测量方式。数字放样依托全站仪、激光测距仪等设备进行现场数据投影，误差可控制在毫米级，显著提高了定位精度。预制环节则依据模型中嵌入的几何尺寸、材料规格与工艺要求，导出标准化构件清单与加工数据，实现批量自动化加工。对于金属板材、石材幕墙、模块化吊顶等装饰构件，通过工业化预制确保了构件质量一致性，也有效缩短了现场工期，减少了湿作业干扰。放样与预制的数字融合推动装饰工程由“经验建造”向“精确建造”转型，提升了整体施工组织效率与质量控制水平。

（二）系统对接

系统对接重点在于装饰系统与结构、机电、消防、智能化等系统间的接口协调与构造兼容。通过 BIM 平台进行三维协同建模，可在设计阶段识别并解决管线穿越、构件冲突、净空不足等问题，确保各系统合理布局、功能不冲突。在对接过程中，需明确装饰构件的预留孔洞、嵌入式安装槽、桥架走向等关键节点，保证结构强度不受破坏、机电系统顺利敷设。特别是在吊顶、墙体与地面装饰中，与照明、通风、喷淋设备的接口需精确标注，避免施工阶段返工；应建立标准化的对接构造节点图集，统一接口尺寸与安装方式，提高现场装配效率与质量可控性。（对接流程见图3）



> 图3 系统对接流程

（三）执行监控

执行监控主要依托数字化平台实现施工进度、工序执行与构

件状态的全过程管理。通过二维码标识系统，将每一构件在出厂、运输、进场、安装等环节的信息嵌入数据库，现场施工人员可利用移动终端实时查询构件安装位置、工艺要求及质检记录，实现精细化管控；基于 BIM+IoT 集成平台，可实时采集施工现场环境参数与关键节点完成情况，自动比对模型计划与实际进度，预警滞后工序与质量偏差。施工监控数据同步上传至云端管理系统，便于项目管理方远程调度与统筹资源。该过程还可接入视频监控、无人机巡检等手段，进一步提升可视化水平与安全预控能力。执行监控的系统化实施，有助于提升施工透明度、降低质量风险，推动建筑装饰工程向智能化、精细化方向发展。

四、仿真验证

（一）实验设定

为系统评估数字化装饰设计在园区建筑中的应用成效，本研究选取某科技产业园综合办公楼二层西侧与东侧两个功能区作为对比样本，分别采用传统二维 CAD 设计方案与基于 BIM 的数字化装饰设计方案。两个区域均为开敞式办公区，面积约600m²，装饰内容包括吊顶系统、玻璃隔断、墙面装饰与地面铺装，涉及构件种类23类、数量约1280件，施工工艺与施工单位保持一致，避免人为干扰因素。在工期设定方面，传统组计划工期为30天，数字化组因预制与放样效率提升，设定目标工期为25天。为确保实验可比性，制定统一的施工流程计划、验收标准与关键节点进度表。全过程通过施工管理系统与现场数据采集终端记录施工周期、构件安装误差、材料损耗量及返工情况。

（二）成效对比

通过对传统设计组与数字化设计组在实际施工过程中的核心指标进行对比分析，结果显示数字化设计在工期、精度、材料利用率和返工率等方面均表现出明显优势。表1为两组在关键指标上的对比数据。

表1 实验结果

指标项目	传统设计组	数字化设计组	改善幅度（%）
实际施工工期（d）	32	24	25.00
构件安装误差（mm）	±12.6	±4.3	65.9
材料损耗率（%）	7.8	4.9	37.2
返工率（%）	5.6	1.8	67.9
施工图审查时间（d）	6	2	66.7

由表1可得，数字化设计在多个关键维度均实现显著优化。施工工期缩短25%，体现出 BIM 驱动下放样与预制效率的提升，有效压缩了现场作业时间；构件安装误差由 ±12.6mm 降至 ±4.3mm，误差控制提升65.9%，说明模型输出在尺寸控制及安装引导方面更具精度；材料损耗率由7.8%降至4.9%，表明构件下料精度提高且重复施工减少，有助于节约成本；返工率下降至原来的三分之一以下，充分验证施工模拟与碰撞预判的实效性；图纸审查时间减少66.7%，说明设计成果更清晰一致，便于快速审核与批复。总体来看，数字化装饰设计不仅优化了时间与资源配置，

更在质量可控性方面带来结构性提升。

（三）验证结论

通过对比实验可得，数字化装饰设计在施工效率与质量控制方面展现出明显优势，更在项目管理、资源配置与风险预控等层面体现出其集成化价值。与传统设计方式相比，数字化方案在前期设计阶段便实现了构件参数化管理、构造节点细化与系统碰撞预判，使后续施工阶段具备更强的计划性与执行力；数字模型具备信息可追溯与数据可复用特性，为构件采购、预制加工及质量验收提供数据支撑，显著降低人为干扰与技术偏差。结合全过程施工反馈，数字化设计有效压缩了设计与施工之间的信息断点，提升了现场响应速度与施工组织效率。

五、结语

数字化装饰设计技术通过集成化建模、精确施工与信息化管理，显著提高了园区建筑项目的施工效率、质量与资源利用率，展现出较传统设计方式的显著优势。未来，随着技术的不断发展，数字化设计将在更广泛的建筑领域中得到应用，推动建筑行业向智能化、精细化方向发展，进一步提升工程建设的可持续性与经济效益。

参考文献

- [1] 杨星. 建筑装饰技术中绿色施工技术的应用研究 [J]. 数字化用户, 2022(39):115-117.
- [2] 张标. 数字时代风景园林规划设计理论新思考分析 [J]. 地产, 2023(18):0091-0093.
- [3] 夏海兵, 王健伟. 基于数字孪生的园林绿化建设与管理应用研究 [J]. 绿色建筑与智能建筑, 2022.
- [4] 朱忠林. 建筑规划和园林景观设计的共融探索 [J]. 建筑与装饰, 2024(1):28-30.

