

科海故事博览

KEHAI GUSHI BOLAN

(旬刊·1993年创刊)

2025年2月 第5期 (总第594期)

主管: 云南省科学技术协会

主办: 云南奥秘画报社有限公司

编辑委员会: (按姓氏笔画为序)

马成勋 卢 骏 刘 杨 李 鹏

杨 璐 张 乐 陈贵楚 陈 洋

莫德姣 夏文龙 韩梦泽 蔡 鹏

社长、总编: 万江心

社长助理: 秦 强

编辑部主任: 张琳玲

编辑: 周 墾 官慧琪 吴彩云

美术编辑: 王 敏

运营: 李瑞鹏

外联: 张娅玲

出版: 云南奥秘画报社有限公司

地址: 云南省昆明市护国路 26 号

邮编: 650021

编辑部电话: 0871-64113353 64102865

电子邮箱: khgsblzz@163.com

网址: <http://www.khbl.net>

国际标准连续出版物号: ISSN 2097-3365

国内统一连续出版物号: CN 53-1103/N

广告经营许可证: 5300004000063

运营总代理: 云南华泽文化传播有限公司

印刷单位: 昆明滇印彩印有限责任公司

邮政发行: 中国邮政集团有限公司云南省分公司

邮发代号: 64-72

出版日期: 2025年2月15日

定价: 人民币15元

版权声明:

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

目录

科技博览

- 001 水下观测机器人关键技术设计研究 翁叶伟, 陈 田, 丁 挺
004 工业机器人控制与通信技术的实践应用 冯占营
007 高导热散热辐射制冷涂料应用效果研究 曾明琴
010 化学气相沉积(LPCVD)非晶硅薄膜界面膜层研究 胡永刚, 陶徐文, 冷华星, 冯 栋, 卢奎虎
013 新时期智能化变电站环境监测与预警系统的开发分析 袁俊文

智能科技

- 016 图神经网络在工控安全感知系统中的应用 许春霞
019 基于数字化技术的建筑室内装饰设计方法 周瑶珺
022 测绘新技术在自然资源测绘工程中的应用研究 林宪光
025 基于支持向量机的核电设备进度风险识别模型 胡云鹏, 吴光升
028 建筑电气安装中智能化技术应用与质量提升策略 刘秀彬, 闫 博
031 智能制造技术在机械制造工程领域的实践应用分析 王永新

应用技术

- 034 明挖深基坑及隧道施工技术要点分析 曹建祥
037 工业厂房工程地基的加固与处理技术 许之宾, 侯保楠
040 水利水电工程中的水闸施工技术分析 谈华碧

目录 contents

043	沥青摊铺施工技术在公路路面施工中的应用	雍 强
046	地铁机电安装工程综合管线敷设施工技术分析	张 密
049	顶管技术在水利工程管道施工中的应用策略探析	王 建
052	建筑工程中框架剪力墙结构建筑施工技术的运用分析	王娟娟
055	高速桥梁施工中的高墩大跨挑战与液压爬模的解决方案	史龙飞

科创产业

058	复合板压力容器接管裂纹分析	宋保峰
061	生态化理念在水利工程设计中的应用	孙 晓, 马 原, 葛荣凯, 朱鹏远, 马思宇
064	建筑门窗及玻璃幕墙节能设计策略分析	王 浩
067	高强度钢筋在市政道桥施工中的应用策略	皮华琼
070	锂电池生产行业 -40 °C 露点干燥房空调系统设计与分析	张华锋
073	金具在不同电压等级电力线路中的性能要求及设计改进	张 成, 金海薇
076	低等级公路在高山陡坡地段的线形设计与施工技术探讨	马金权

技术管理

079	变电站倒闸操作中防误操作策略分析	王英帅
082	铁路站场线路纵断面调整施工方案分析	李旌容
085	复杂环境下输电线路维护检修策略研究	李凤韬, 郭晓晋, 赵 浩
088	电力工程安全管理体系建设与实施效果分析	蒋 浩
091	关于机电设备安装工程施工技术管理的探讨	张俊怡
094	精细化管理在提升堤防安全性能中的作用分析	汪 涛
097	地下水监测数据在城市水资源管理中的应用——以呼和浩特市为例	徐立陶, 杨 浩
100	建筑工程管理及施工质量控制的有效策略分析与研究	孔庆勇, 李秋瑾, 李玉真

科学论坛

103	高效节能供热系统施工技术研究	娄来岩, 王金波, 王志远
106	公路运输基础设施养护策略研究	付吉利
109	铁路隧道防排水施工技术分析研究	谢 钰
112	压力管道检验技术与风险评估方法探究	刘永刚, 杨 芬, 罗广贤, 李继留
115	建筑机电安装中电气管线的预留技术研究	白兴龙, 刘 伟
118	跳仓法在大型医疗项目施工中的应用研究	周 俊, 郭林军, 邹于捷, 赵乾斌, 高 伟
121	水利工程施工中混凝土裂缝防治技术研究	罗晓峰
124	水文地质勘探在地下水污染修复中的应用研究	宁亚亚, 张生海

水下观测机器人关键技术设计研究

翁叶伟, 陈 田, 丁 挺

(上海中车艾森迪海洋装备有限公司, 上海 201306)

摘要 在水利工程中, 因水下环境复杂, 工程建筑水下检修工作存在巨大挑战。为解决水电站大坝检修困难这一实际工程问题, 本文提出了一套自主研发的观测级水下有缆遥控机器人 (ROV) 的设计方案, 通过数值计算、有限元仿真等方法论证了 ROV 设计的可行性; 通过出厂试验、现场试验证明了方案的可靠性, 并给出了试验过程中碰到的问题的解决方法。从最终现场效果来看, 该观测级 ROV 在陆地起吊、爬行工况, 水下飞行、贴壁、翻滚工况, 以及现场观察、探测、辅助工况等中均能满足用户使用需求, 可以为后续修复作业提供观测数据和重要线索。

关键词 观测级 ROV; 技术设计; 分析验证

中图分类号: TP242

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.05.001

0 引言

水利工程中的建筑结构受水流冲刷和年限老化的影响易产生溶蚀、开裂等缺陷, 有必要定期勘查修复。传统检修手段过于依赖人力, 存在诸多限制和风险。随着科技不断发展, 有缆遥控水下机器人 (Remote Operated Vehicle) 在水下作业领域发挥越来越重要的作用。观测 ROV 区别于作业 ROV 具有结构轻便、灵活性高、开发和应用成本低等优点, 此类机器人的研究在近几年已有不少案例, 但大多仅用于学术研究, 缺少实际应用背景做验证。本文基于工程需求展开设计研究。

1 ROV 结构设计

1.1 整机设计

文章所涉及的观测 ROV 主要可分为主结构、浮游推进系统、爬行系统和电气系统四个部分。设计尺寸为 $1050 \times 930 \times 600$ mm, 重量指标要求小于 200 kg。ROV 需具备在 $0 \sim 300$ m 任意水深的作业能力。为满足工程需求, 运动形式设计成水下 6 个自由度, 陆地 3 个自由度, 通过推进器与履带配合, 还可以在大坝表面进行贴壁爬行。

设计阶段在建模软件中建立 ROV 的三维实体模型, 并对每个零件赋予材料属性后, 即可读取整机模型的重心坐标。将各零件的浮力与其浮心坐标作积后求和并除以总浮力, 即获得整机的浮心坐标。通过计算和优化, 结果如表 1 所示。

表中整机设计重量满足指标要求, 重心靠近布放锁扣中线上有利于起吊平衡和运动灵活性。考虑到计算

误差, 设计阶段保留了 10 kg 左右的浮力冗余, 为试验调整作预备。

表 1 重心浮心分布

名称	X/mm	Y/mm	Z/mm	力 / kgf
重力	-13.1	-2.2	136.2	181.2
浮力	-2.8	-0.5	102.1	192.0
差值	10.3	1.7	34.1	10.8

1.2 主结构设计

主结构包括主框架和布放锁扣两部分, 通过螺栓连接。主框架基材使用工程塑料合金 (MGA) 以减轻重量, 该材料具有耐磨、耐腐蚀、吸水性小和自恢复性好等优点^[1]。布放锁扣设计成自解锁式, 主要材质为不锈钢和玻璃微珠复合浮材。ROV 下水时, 顶部的浮块在浮力作用下向上运动拉动锁舌解锁, 出水时锁头下放, 在自重作用下锁头锥面推开锁舌即可完成自锁。

根据水下作业特点和 ROV 设计经验, 主框架的强度校核计算包括对角坐底、棱边坐底、平面坐底、单边脱困、收放起吊等工况。以对角坐底工况为例进行分析。有限元软件中计算得到框架的最大等效应力为 37.4 MPa, 位于中间侧板与平板连接点, 最大值小于材料的许用应力 (70 MPa); 主框架最大变形量为 7.6 mm, 变形较小可忽略。因此主结构的刚强度满足设计要求。同理计算其他工况主框架和吊点的结构强度, 计算结果均满足设计要求。

1.3 爬行系统设计

ROV 的爬行系统主要由电机总成、履带、侧板、稳

定支架、轮组和张紧装置等组成。其中履带由天然橡胶和凯夫拉纤维复合而成,具有重量小、噪声低、寿命长等优点^[2]。轮组采用超高分子聚乙烯加工以减轻重量。侧板是主要的承重结构,使用高强碳纤板以满足强度需求;稳定支架使用6082铝合金焊接,主要功能是连接内外侧板以抑制履带偏磨。电机总成集成在尾部,左右各一组,其结构可分为封装外壳、直流无刷电机、控制器、传动轴及其他附件,电机选型计算如下。

ROV在陆地上的滚动阻力(水泥路面):

$$F_{f1} = mgf_1 = 98.1N \quad (1)$$

陆地上坡道阻力:

$$F_{il} = mg \sin \alpha = 340.7N \quad (2)$$

陆地上的转向阻力:

$$F_{\mu l} = \frac{\mu mgL}{4B} \left(1 - \frac{4\delta^2}{L_2^2} \right) = 269.2N \quad (3)$$

履带需要的最大牵引力:

$$F_{t1} = F_{f1} + F_{il} + F_{\mu l} = 708N \quad (4)$$

混凝土路面能提供的附着力:

$$F_{\varphi 1} = \varphi mg = 882.9N \geq F_{t1} \quad (5)$$

其中混凝土路面^[3]滚动阻力系数 $f_1=0.05$,附着系数 $\varphi_1=0.45$,坡道角 $\alpha=10^\circ$,转向阻力系数 $\mu=0.75$,左右履带距离 $B=812\text{ mm}$,接地形心偏心距 $\delta=100\text{ mm}$,计算显示其附着力大于最大牵引力,因此履带在陆地上不会发生打滑。同理计算在水中行走需要的最大牵引力:

$$F_{t2} = 141.5N \quad (6)$$

淤泥中的附着力:

$$F_{\varphi 2} = 147.1N \geq F_{t2} \quad (7)$$

可知履带在水下行走也不会打滑。

电机总成的输出转速需求为:

$$\omega = \frac{v}{\pi d} = 17\text{ rpm} \quad (8)$$

单个电机总成的输出扭矩需求为:

$$T = \frac{F_{t1}d}{4} = 34\text{ Nm} \quad (9)$$

单个电机总成的输出功率需求为:

$$P = \frac{F_{t1}v}{2} = 59W \quad (10)$$

其中目标速度 $v=10\text{ m/min}$,驱动轮直径 $d=190\text{ mm}$ 。考虑到履带轮组的传动效率较低,为保证足够的动力

冗余,选用300W的直流无刷水下电机。

1.4 浮游推进系统

ROV的浮游推进系统主要由固体浮材和推进器组成。本文使用的浮材是一种由玻璃微珠、空心球和聚合物组成的三相复合材料^[4]。浮材分上下两块,分别安装在主框架的顶面和底面,有利于结构紧凑性,通过设计上下浮材的浮力比可调整浮心高度,保证ROV在水下的稳定性和灵活性。推进器采用4横4纵的布置形式,具体安装方式为4个垂直推进器的推力轴线与ROV的中心线平行,4个水平推进器围绕ROV重心呈45°矢量对称布置,有利于其提高控制精度^[5]。

ROV在水下运动受到水流阻力作用,有必要对推进器推力进行校核。采用CFD软件对ROV轮廓进行外流场仿真分析,得到小ROV在3个方向上作平动和翻滚的阻力随运动速度的关系,将其与推进器总推力进行比较,曲线如图1所示。对比可知额定速度下总推力及推力距大于水流的阻力和阻力矩,可以满足ROV平行移动和翻滚运动的需求。

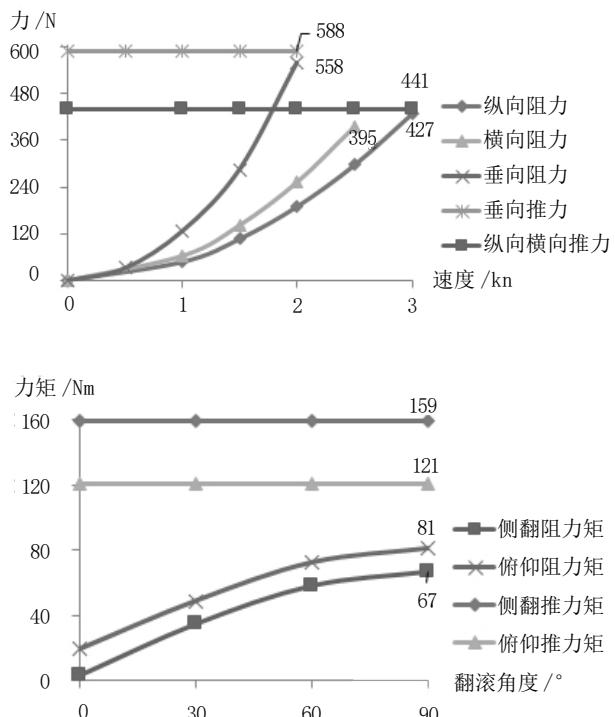


图1 平移、翻滚载荷曲线

1.5 电气系统

电气系统采用直流输电方案,水面电源通过脐带缆将直流电输送到ROV电子仓,由电子仓分配到推进

器、履带电机和接线箱，接线箱再分配给其他用电设备。其中电子仓、接线箱内部电子元件需要容器做水密封装，考虑到水压较大，有必要对壳体强度进行校核。

以铝合金电子仓外壳为例，使用有限元软件对其在 375 m (1.25 倍水深) 水下压力工况进行仿真，计算得到的最大等效应力为 177 MPa，小于许用应力 339 MPa，最大变形为 0.2 mm，其影响可忽略，因此壳体静强度满足要求。在上述基础上进一步模拟壳体发生屈曲变形的模态和所需要的载荷倍数，前 3 阶计算结果如表 2 所示。

表 2 屈曲模态计算结果

模态	载荷倍数	负荷值 /MPa	负荷水深 /m
1	7.0	35.2	3 496.0
2	9.0	45.1	4 480.8
3	13.7	68.6	6 818.3

表中电子仓壳体产生第一阶屈曲变形模态载荷为 35.2 MPa，相当于 3 496 m 水深压力，远远高于实际作业水深 (300 m)，因此无失效风险。

2 整机试验

2.1 起吊、爬行试验

ROV 锁具在由生产厂家进行三倍拉力 (600 kg) 载荷测试，试验结果显示锁具表面无塑性变形或开裂现象。上机装配后再次起吊检验整机姿态，起吊结果显示整机姿态基本平衡，无侧斜或过度变形现象，结果满足试验要求。

整机爬行试验在初始阶段正常，但爬行一段时间后电机总成出现异响和过热。通过拆机排查发现电机输出端承受轮上载荷，使得轴端径向 O 型圈出现过度摩擦。通过改进轴承座结构形式，使轮上载荷传递给轴承座而非输出轴。改进后再次试验故障消失，并顺利完成所有爬行测试工况。

2.2 浮游、贴壁、翻滚试验

在厂内水池中，ROV 的静水姿态基本平衡，因设计阶段预留的浮力冗余较大，顶部少量浮材露出水面，其浮力表现符合设计预期。通过遥控启动水平推进器，ROV 能较为平稳地在水面作平动和转弯运动，无过度姿态倾斜现象。ROV 推进器动力充沛，水面运动较为灵活。浮游试验的速度和姿态均满足试验要求。

ROV 下潜后，布放锁扣在完全没入水中后能顺利完

成自解锁。在首次水下贴壁时，ROV 出现贴壁困难和不易保持的现象。通过分析，这主要是因为浮力冗余较大，且重心与浮心距离过大，造成翻滚阻力矩也较大。通过在主框架上平板底面安装重铅块以减小浮力冗余，同时使重心位置上移。再次试验 ROV 能较好地完成贴壁和翻滚动作，并顺利完成其他水下测试工况。

2.3 现场试验

ROV 在厂内完成调试后送到水电站进行大坝结构的观测试验。本次试验围绕环境观测、试块定位、辅助修复等项目工作内容开展。在试验过程中，观测 ROV 通过前后和底部两侧共四个相机对水下环境进行观察；通过激光仪和图像声呐对目标试块和缺陷部位进行探测；通过信标和深度计进行定位。所有的观测数据再通过脐带缆传回水面控制台，工作人员再根据提供的数据信息，远程控制作业级 ROV 对缺陷部位展开修复工作，其最终的各项测试指标和实际作业效果均能满足用户的使用需求。

3 结束语

本文基于实际工程应用需求开发了一款有缆遥控水下观测级 ROV，详细介绍了其主体和子系统的设计方案及关键技术的分析方法，并通过整机试验验证了设计的可行性和可靠性，最终效果满足用户的使用需求。该 ROV 通过搭载不同的设备工具，可进一步提升其功能性和应用性，后续可在该方面开展更加细致、深入的研究。

参考文献：

- [1] 马盈三, 冯澄宙, 马源, 等. 用新型工程塑料合金材料提高海上设备安全可靠性 [C]// 中国造船工程学会修船技术学术委员会年会, 中国造船工程学会, 2002.
- [2] 褚凡忠, 张有忱, 杨卫民, 等. 橡胶履带硫化成型工艺及设备研究进展 [J]. 橡胶工业, 2016, 63(02):118-122.
- [3] 余志生. 汽车理论:2 版 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1990.
- [4] 应黎坪, 廖斌, 樊振宇, 等. 固体浮力材料研究前沿 [J]. 中国科学: 物理学、力学、天文学, 2024, 54(04):59-81.
- [5] 刘均, 阎佳丽, 刘强, 等. 基于推力矢量分配的 ROV 姿态控制技术研究 [J]. 吉林大学学报: 信息科学版, 2024, 42(02): 249-259.

工业机器人控制与通信技术的实践应用

冯占营

(济南职业学院, 山东 济南 250103)

摘要 我国工业自动化与智能化程度持续提升, 工业机器人被广泛运用到各个工业自动化领域, 对工业自动化的贡献日益显著。本文主要探讨了工业机器人在自动化控制中的应用情况, 重点分析了工业机器人发展各个阶段中通信端口和操控体系结构的作用, 关注到了一些新的无线网络协议, 如半双工和全双工通信模式, 可以有效增强高端装置完成各种繁杂工作的能力, 并且也能够借助先进的数据采集工具改善它们的表现水平, 以期为进一步提高工业机器人的应用性能提供有益参考。

关键词 工业机器人; 自动化控制; 通信技术

中图分类号: TP242

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.05.002

0 引言

“机器人”根据不同的使用场景可以划分为: 工用型、军用型、农耕型、商业类型和服务类等。其中以制造业为主的是工业类型的机器人, 它们包含各种子系统的组合, 例如机构设计部分、数据采集及处理模块、执行器单元、运动学分析组件和机器人接口设备, 还有一些外部信息输入输出端口组成的一个完整的体系框架。而关于这些智能制造装备如何更好地被运用于实际生产中的问题一直以来都是人们关注的焦点问题之一。

1 工业机器人在我国的发展状况

随着科技的发展, 第一代工业机器人已经在技术上有显著提高并且进入了自我研发的新阶段。第一代工业机器人被称为示范播放型机器人, 主要由机械本体、运动控制器和教学盒组成, 其操作流程相对简便。在机器人的运作过程中, 会把经计算和分析后的数据传输至机器人, 以此引导其实施动作。这类机器人通常采用定点到定点或连续路径重复的方式完成连续路径移动, 而复杂曲线路径则是由多段弧线和直线组合而成。由于其可见性和易用性, 使得它们能够广泛应用于当下的工业环境^[1]。第二代机器人采用了离线编程的方式, 这是一种利用电脑绘图技术对离线操作进行精确控制的方法。在完成离线编程后, 通过3D图形模拟来模拟设计的程序, 以此来确保程序的准确性, 并将其传输给控制系统, 实现科学合理的控制目标。第三代机器人是一种智能化设备, 它不仅继承了前两代机器人的特征, 而且也具备各种不同类型的传感器, 这使得他们对于周边的事物有更深入的理解, 同时也

能依据自身的推理能力、分析能力和存储的信息来自动调节自身的状态, 以此保证工作的顺畅执行。这种机器人具有完成多项复杂操作的能力, 通过运用传感器的感知功能, 把外部环境的数据传递到机器人中, 并可灵巧地转变工作模式, 以达成与外部环境同步的目标, 这样就能有效延长它的使用年限。

2 工业机器人通信理论

2.1 工业机器人通信理论基础

对于工业机器人而言, 其控制系统涵盖了诸如通信接口、定位驱动器、输入/输出设备及数据获取等方面。该系统的核心任务是解决主控单元之间的信息交流难题, 由于主控单元之间发送各类命令可能引发的数据波动或错误, 若通信体系出现故障, 则会对制造过程产生重大干扰。造成这种不确定性的原因在于, 当数据传递过程中发生数据收集错误或失真, 会极大地破坏信号的一致性和准确度。

2.2 工业机器人通信方法

第一, 单工通信模式。它只采用单一的工作方法, 例如远程测量或操控等。这种通信形式中, 信息流仅在一个方向上流动, 且发送装置和接收装置必须保持静止不动, 因为前者只能传递信号, 后者则只能接受但无能力发出。所以, 在这个过程中, 信息的交换仅限于两点之间的往返, 也就是单向的。

第二, 半双工通信。半双工通信是一种双向的交流方式, 但不能在两个不同的角度进行互动, 而应该采用各自独特的手段来传递信息, 可以将各信道的终端作为发送和接收, 但同时, 这条信息也是单向的。

第三, 全双工通信, 是指在进行通信时存在着两

条独立的线路同时传递信息，这意味着可以从两个不同角度来处理数据流，因此也被称为双向同步通信。简而言之，它允许两人能够在同一次对话中交换数据。采用全双工模式后，每台发信机都会配备发送与接收设备，这样就保证了信息的双向流动。由于此种技术无需转换路径，因而避免了由转换计算所导致的延误问题，这对一些需要实时响应的互动型应用而言是非常有益的^[2]。

2.3 工业机器人通信技术研究概况

机器人作为一种具备程序化特性的机械设备，其通信模式采用了多层次的策略，其中主控单元与操作平台间的交流被视为第一级沟通，一般使用的是串行接口，而第二级的对话则发生在操控模块及驱动电机之间，它们通过总线路相连，主要利用的是并列式通信。随着机器人科技的持续进步，它的应用已经涉及了各种感知元件、管理机制、数据分析、智能算法以及互联网通信等方面，并且它们的表现也在逐步提升，构造也日渐完备。

3 工业机器人自动化控制的作用及其特征与算法

3.1 工业机器人自动化控制的特性

在某些高风险、高难度的工作中，工业自动化机器人起到了很大的作用。作为一种独特技术类型，自动化设备具备了许多特有的属性于其应用领域，制造业之中表现得尤为明显。首先是它的结构构成：包括手部、腕部、臂部、腰部和机座等各个单元构成了整个系统的主体框架，这其中涉及了对各环节之间相互关系的深入研究，并以此确定出最佳的工作模式。其次在于它能够根据预设的目标位置或目标状态做出相应调整的能力，即“定位”功能，这是由于所有操作都基于空间中的点阵数据所决定的结果。再者是在实际运行过程中可以利用多个轴向驱动器使之产生多种可能的行为方式，而不只是局限在一个固定的状态下运作，这一特点被称为“多速率”。最后一点也是最关键的一环便是赋予该种装备如同人体般的功能能力，如感知环境信息或者接收来自外部信号，进而做出反应等行为特征，使得人们对其产生了更高的期望值，并且也确实达到了预期效果。从以上四点来看，当执行特定任务时，工业机器人会选择最佳策略以适应不同类型的任务。因此，利用自动化的手段使用工业机器人，不仅能够降低工人们的体力消耗和压力，还能胜任一些人类难以触及的位置，进而避免潜在的风险，更有效地应对复杂挑战。此外，在操控工业机器人的过程中，可以通过调整其设置来实现工作的转变，甚

至影响其移动方式。它可以让机器人在技术、管理、决策中发挥更大的作用。

3.2 工业机器人的自动控制算法

提出一个利用物理模型构建的机器人主体架构，旨在实现高精度的操作需求，这对于工业机器人而言至关重要，目的是提升工业机器人的追踪能力并优化其实际表现^[3]。所以，从控制策略的角度来看，除了确保机械有强大的外壳之外，还需要能应对各种动态变化。在工业机器人的移动控制过程中，传统的一点控制方式已无法满足当前迅速增长的需求，而结合了传统 PID 和自适应控制的方法则大大提高了其运动控制的效果。此外，为简化问题，在保持控制精度的同时，提供了一个基于鲁棒性的控制方案。

4 工业机器人的构成与控制模式

4.1 工业机器人的构成

在机械臂的结构中，包括本体、控制系统和传递系统，例如手、腕、臂等。4~7个自由度的机械手臂较为常见，而2~3个自由度的机械手腕关节也是常见的。一般而言，工业机器人的自由度数值范围是在4~5个之间。此系统的构成包括操控部分及驱动力部分。这个装置使用电子计算机、工况感知器、示范盘、轴线等多个附属部件来实施调控。工业机器的主要职责就是用小型计算机对各部位发出指令。借助记忆体和人工示范，使得人类与机器人间的互动成为可能。感应器就如同人体的感觉器官一样，能够检测出机器的运行速率，同时也能掌控机器的工作状况和定位。在机器人的移动管理过程中，附件同样发挥着关键的作用。每个单元都具有自主性，且不受其他单位影响，然而在实践应用时，它们能互相约束并协作，以达成自动化运作的目标。

4.2 工业机器人的应用范围

在最初阶段，汽车制造业中广泛采用了工业机器人。然而，随着社会、经济和科技的快速进步，工业机器人技术取得了显著的提升，其功能也有了显著的增强，并且它的应用领域也在持续扩大。

一是焊接。它主要应用于汽车生产领域，通过使用自动化的焊接机器人，把车身和承载结构连接起来，降低了用料成本，减轻了人工操作的负担，同时，在此过程中的点焊工序同样发挥着重要作用。为了确保焊接质量，工作人员需要提前准备优质的焊接设备、设定合适的间距，以达到最佳的焊接结果。另外，当对车辆表面实施电弧焊接时，可以通过推进的方式实现更好的焊接效果。而结合电弧焊和直线焊，则能进

一步提升焊接的精准度。值得一提的是，自动化机器人执行焊接任务时，会按照事先设定的程序进行，因此，可在其上面加装智能传感器，以此减小焊接时的偏差，最终提高焊接速度。

二是组装管理，在汽车制造过程中，机器人装置的主要操作是由其检测元件与终点执行部件完成的。这种检测元件可以精识别出操作对象，并把接收到的信息传递给最终执行部分，进而达到对设备的适当调控。在汽车生产环节，如整车组装、轮子安装、窗户安放等，这些都大大提升了汽车产品的品质和生产速度。

三是物料管理，最常见的方式包括堆叠、上下堆叠和取出零件，这种方法能够有效地替代手工操作，同时也不会消耗人力^[4]。

在车辆制造过程中，运输机械臂的主要功能在于负责移动并组合各种零件，根据这些零件的安装与转运指示，将其送至适当的位置，不仅能够减少人工劳动力需求，还能大幅度提升装配及搬运的效能。相比其他类型的工业机器人，装配型机器人具有更高程度的准确性和适应更多工作场景的能力。随着汽车行业持续进步，许多汽车零部件都趋向于小巧化，这也使得对汽车产业的要求日益增加，仅依赖人手已无法满足这种需要，因此有必要引入更多的机器人以执行复杂任务，确保设备运作的顺畅，进而推动汽车产量的增长^[5]。

四是检测，需要通过测试来评估产品的尺寸和质量，同时也要对其进行分级处理。在汽车生产的全过程中，不仅要承担起整个车体的搬运及组装任务，还要确保整体的车体性能达到标准要求，以便于未来能够正常使用。对于汽车质量的检查主要是依靠视觉传感器和测量控制模版两个环节共同实现的。运用光学扫描仪获取图像信息后，计算机会自动生成相应的模型数据，并将这些数据与实物参数相比较，从而找出差异并对误差做出解释。这样的检测机器人在提高成品汽车质量的同时，也能为我们日后遇到的问题提出解决方案。

五是喷漆，由于机器人拥有多种自由度，可以随意调整其动作的方位和方向，所以选择多个自由度的机器人进行喷漆作业，既能降低人力，又能提高工作效率，其优越性也越来越明显。在三维制造业中，喷涂机器人是一种常见的设备，尤其在汽车产业内，给车体做表面处理是一项繁琐且具有潜在威胁的任务^[6]。这项作业包括两个步骤：第一，粘贴保护膜，也称作“底漆”；第二，喷涂油漆以保证车的封闭性和抗震能力。这种做法的主要目的是为那些需要被密封或减震的部

分提供必要的防护措施，并且会依据不同部位的需求调整相应的参数。为了达到色彩统一与亮度的平衡，采用的是高效、迅速的喷涂工艺。使用机器人替代人力完成此项工作，不仅能够使整个过程更加简便易行，而且还能大幅提升工作准确率。所以，在传统的劳动场景下，工业机器人将会逐渐替代传统的手动操作模式，并在高温、高压、有害物质及热量充斥的环境中发挥关键的作用。在某些极端的工作环境中，借助工业机器人代替手工作业，可大大降低工人的人身安全风险和工作品质问题。鉴于其自身的优点，工业机器人已在自动化的各个方面获得了广泛的使用，无论是在特定的岗位或是高危的工作区域，都能充分发挥出最大的潜力。在自动化的制造过程中，机器人的角色主要是执行部件测量、分类等级及品质管理任务；对于钢铁构件的移动与焊接，则由焊接机器人负责。至于物流处理方面，物料搬运机器人主要专注于材料输入输出、拆解堆叠以及方向性的抓取。此外，喷射机器人需能在五个或更多的自由度下实施喷射操作，因为其组装过程最繁琐，因此必须配置各类如视觉、声音、短距接触等感知设备。

5 结束语

工业机器人已经在工业自动化的领域占据了重要的位置，并且其在工业通信的运用也成为评估一国工业水平的重要依据。机器人控制和通信的技术已经融入了我们的日常生活中，涵盖了诸如工业自动化、医疗保健和服务行业等方面。每一种技术都要进行持续的应用和研究，而随着技术的发展，技术人员必须根据相关的发展要求，赋予其新的内涵。从目前的形势来看，在汽车、橡胶、塑料、铸造、化工等行业，应用工业机器人不但可以提高生产效率，还可以节省大量的劳动力，增加企业的经济效益。

参考文献：

- [1] 张桂香,张桂林.电气控制与PLC应用[M].北京:化学工业出版社,2023.
- [2] 王建春,潘健怡.工业机器人控制与通信技术的实践应用[J].铸造,2022,71(06):798.
- [3] 别虎伟,尹姣姣.工业机器人的通信系统设计[J].电子技术,2023,52(12):55-57.
- [4] 甘路.基于Lora的工业机器人运动控制通信技术研究[J].中国宽带,2023,19(10):16-18.
- [5] 张万达,陆成举.工业机器人与PLC协同操作的优化方法研究[J].数字通信世界,2024(11):44-46,49.
- [6] 杨润贤,曾小波.工业机器人技术基础[M].北京:化学工业出版社,2018.

高导热散热辐射制冷涂料应用效果研究

曾明琴

(重庆交通大学, 重庆 400074)

摘要 为进一步促进节能减排, 实现“双碳目标”, 本研究将高导热散热辐射制冷涂料应用到房屋建筑表面, 以验证该涂料的应用效果, 并对普通辐射制冷涂料和高导热散热辐射制冷涂料在房屋建筑表面应用时的降温效果进行了模拟对比。结果显示, 高导热散热辐射制冷涂料比普通辐射制冷涂料具有更好的散热效果, 降温效果更好, 全年可节约建筑空调能耗 26.67%。

关键词 高导热; 辐射制冷涂料; 降温效果模拟; EnergyPlus

中图分类号: TP56

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.05.003

0 引言

建筑能耗已成为我国主要的能耗之一^[1], 如何在保证建筑使用功能和质量的前提下, 降低建筑能耗是目前亟待解决的问题。高导热散热辐射制冷涂料具有高效节能、安全环保、寿命长等优点, 它可以使太阳辐射的热量降低 30%~50%, 是一种很好的降温材料^[2-4]。高导热散热辐射制冷涂料与普通辐射制冷涂料相比, 具有良好的散热效果, 这使得它在夏季空调能耗中扮演着重要角色。本文主要采用模拟实验的方法对高导热散热辐射制冷涂料进行了研究和分析, 以期为建筑节能提供技术支持^[5-6]。辐射制冷技术就是在此基础上研发的新型制冷技术, 其核心原理是利用太阳辐射在物体表面产生的辐射能, 通过人工降温实现对物体表面温度的控制。辐射制冷技术原理简单, 与常规的制冷系统相比, 具有成本低、结构简单、操作方便和无污染等优点。

目前已报道了许多在辐射制冷技术上的新突破, 如 Raman 等^[7]提出, 所研发的涂层具有亚环境冷却效应, 使用平面光子晶体在阳光直射下实现部分红外波段的发射。这个涂层由七个不同厚度的 HfO_2 和 SiO_2 层堆叠而成, 分别位于 200 nm 厚的银镜和 750 μm 厚的硅衬底之上, 实现了 97% 的高太阳反射率和大气窗口的选择性发射, 当光照强度为 900 W/m^2 时, 正午的平均制冷功率为 $93 \pm 10 \text{ W/m}^2$ 。随后将其进行改进, 实现了在太阳光直射下其表面温度低于环境温度 8.2 °C 的降温效果。Mandal 等^[8]制备出具有网状纳米孔结构的多孔聚合物涂层, 太阳光反射率可达 96% 左右, 红外发射率可达 97% 左右, 同时在光强为 890 W/m^2 的太阳光直射下可实现约 6 °C 的良好降温效果。

国内许多建筑节能公司已经开始研究辐射制冷技

术在建筑中的应用。然而, 由于辐射制冷技术存在很多问题, 如降温效果不显著、能耗大和技术不成熟等问题, 在实际应用中受到了限制。本文介绍了一种新型的建筑节能涂料——高导热散热辐射制冷涂料。该涂料具有较高的太阳光反射率以及较高的导热性能, 因此可以应用于需要快速降温的物体表面, 进而达到节约能源的目的。

1 实验部分

1.1 实验原料及设备

主要原料: 氧化铝 (Al_2O_3)、氮化硼 (BN); 助剂: 消泡剂 (0315)、分散剂 (H5040)、润湿剂 (X4010)、纤维素 (250HBR); 树脂: 无机树脂 (V33)、有机树脂 (a6966)。

高速分散机 (BGD 750/2)、电子天平 (MTB2000/0.01)、鼓风干燥箱 (DHG9245A)、挤压式线棒 (BGD 214)。

1.2 高导热散热辐射制冷涂层的制备

将 120*50*0.8 mm 的标准铝板放置在光滑平整的水平桌面, 将 120 mm 的挤压式线棒放置在铝板的顶部, 在线板前端倒少量的涂料, 随后以缓慢均匀的速度向下平移线棒, 使涂料覆盖整个铝板表面, 最后放入 60 °C 的鼓风干燥箱中, 至涂层完全干燥后按照上述方法再次涂刷涂层。

2 水性辐射制冷涂层在房屋建筑上的模拟

建筑能耗的模拟可以很好地评估节能技术或节能策略的能源消耗情况, 有助于试验和设计的优化。为了解建筑物表面的温度差异以及温度变化带来的空调能耗差异, 选用建筑能耗模拟软件根据不同建筑能耗模型进行分析。通常需要构建精细的建筑信息模型, 输入相

关参数进行仿真分析。常见的模拟有Design Builder、Energy Plus、DOE-2、DeST等^[9-11]。和其他能耗模拟软件相比,EnergyPlus具有精确度高,还能够分区块地将各个部分的能耗数据单独列出来进行多层次全面的能耗分析等优点^[12]。因此,本文采用EnergyPlus作为建筑能耗模拟软件。

2.1 房间模型及运行情况设定

具体尺寸为3.0*5.0*3.0 m,将普通辐射制冷涂料

表1 建筑参数

参数	设定值
房间尺寸	3*5*3 m
涂层类型	普通辐射制冷涂层 高导热辐射制冷涂层
空调系统	理想负荷空调系统
空调工作条件	制冷: 高于 26 °C 制热: 低于 18 °C
气象参数	1985-2014 典型气象年 CSWD

表2 结构材料参数

参数	石膏板	屋顶隔热层	隔热板	混凝土	水泥砂浆	金属盖板	储能柜外壳
厚度 (m)	0.019	0.2941	0.0254	0.2033	0.0253	0.0015	0.0015
导热系数 (W/m·k)	0.16	0.049	0.03	1.7296	0.6918	45.006	16.3
密度 (kg/m ³)	800	265	43	2243	1 858	7 680	7 930
比热 (J/kg·k)	1 090	836.8	1 210	837	837	418.4	700
热吸收率	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.3
太阳光吸收率	0.4	0.7	0.6	0.65	0.92	0.6	0.8
可见光吸收率	0.4	0.7	0.6	0.65	0.92	0.6	0.5

2.2 模拟地点以及气候情况

广西位于亚热带季风气候区、低纬度地带,地理位置佳。年平均气温17.2~23.7 °C,超65%地区(除桂北山区)年均温超20 °C,少见霜雪。四季分明,夏季炎热多雨,冬季暖干,南北温差大,降水东多西少。全年平均湿度为80%,6~8月常超85%,冬季约70%。因处内陆受地形影响,平均风速1.1 m/s左右。太阳辐射夏强冬弱,年日照约1 169小时,年总辐射1 200 W/m²,广西凭独特气候四季皆美。

2.3 模拟结果

1. 表面温度。使用房间建筑模型分别对涂刷普通

和高导热散热辐射制冷涂料分别涂刷在不同的房间表面,房间侧面及顶部均涂刷。侧面墙体结构均采用涂层(0.2 mm)+石膏板(19.0 mm)+隔热板(25 mm)+混凝土(203.3 mm)+水泥砂浆(25.4 mm)的形式,顶部采取涂层(0.2 mm)+石膏板(19.0 mm)+屋顶隔热层(294.1 mm)+金属盖板(1.5 mm)的形式。采用理想负荷空调系统,其模型参数^[13]情况如表1所示,结构参数如表2所示。

表2 结构材料参数

辐射制冷涂料和高导热散热辐射制冷涂料的房间外墙表面温度进行了模拟,在全天不开启空调的情况下,模拟涂刷有普通辐射制冷涂料和高导热散热辐射制冷涂料的房间外墙表面温度变化,以7月份为例。

分析可以得出以下结果:涂刷高导热散热辐射制冷涂料的房间外墙表面温度变化趋势与涂刷普通辐射制冷涂料的基本相同,但降温效果远优于普通辐射制冷涂料。涂层表面的温度或略高于室外空气温度或略低于室外空气温度,变换范围约为-3~3 °C。在7月1日12:00时,室外空气温度为27.7 °C,普通辐射制冷涂层为42 °C时,高导热散热辐射制冷涂层表面温度

为 31.5 ℃，低于普通辐射制冷涂层表面温度 10.5 ℃，仅高于室外空气温度 3.8 ℃。在凌晨 1:00~9:00 以及夜间 20:00~24:00 时涂层表面温度达到最低值，均低于室外环境温度 1~3 ℃左右。

2. 夏季空调能耗（6、7、8 月）。对房间建筑模型同样进行了夏季（6、7、8 月份）空调能耗模拟，模型房间按照办公室类型进行设置，当室内温度低于 18 ℃ 时空调开启制热模式进行工作，当室内温度高于 26 ℃ 时，空调开启制冷模式进行工作，从而获得了普通辐射制冷涂层和高导热散热辐射制冷涂层房间的夏季空调能源消耗情况。其中普通辐射制冷涂层房间 6、7、8 三个月的空调总能耗为 560.91 kW·h，高导热辐射制冷涂层房间 6、7、8 三个月的空调总能耗为 330.29 kW·h。

分析可以得出，使用高导热散热辐射制冷涂料进行涂刷的房间与普通辐射制冷房间的制冷空调在广西地区的能耗差异较为明显，在该地区夏季使用这种高导热散热辐射制冷涂料性能优异时，使用较普通辐射制冷涂料可节省 41.11% 的空调供冷能耗。这说明，采用导热系数更高、反射率更高的涂料，在降低建筑空调能耗的同时，还能持续有效地降低夏季的使用成本。

3. 全年空调能耗。按照房间模型对分别涂刷普通辐射制冷涂料和高导热散热辐射制冷涂料的房间进行室内空调能耗模拟，获得了涂刷有普通辐射制冷涂料和高导热散热辐射制冷涂料房间的全年每月总空调能耗。

根据模拟结果，涂刷有普通辐射制冷涂料房间的空调供热能耗为 168.74 kW·h，制冷能耗为 946.81 kW·h，总能耗为 1 115.56 kW·h；涂刷有高导热散热辐射制冷涂料房间的空调供热能耗为 292.50 kW·h，制冷能耗为 525.58 kW·h，总能耗为 818.08 kW·h。

由此可知，高导热散热辐射制冷涂料可以明显减少室内用于降温所产生的能耗，按照以上案例来看全年可减少约 421.23 kW·h 的能源消耗；而冬季使用高导热散热辐射制冷涂料则会在一定程度上增加室内用于制热所产生的能耗，全年约增加 123.76 kW·h 的能源消耗，夏季节约的能源消耗大于冬季增加的能源消耗。因此，从全年整个空调能源消耗来看，全年可节约空调能耗 26.67%。

3 结论

本研究制备的高导热散热辐射制冷涂层除了具有较高的太阳光反射率、较好的导热性能外，更具备显著的降温效果，在一定程度上减少能源消耗。本研究

通过将普通辐射制冷涂层与高导热散热辐射制冷涂层的降温效果进行对比发现，在夏季正午时，普通辐射制冷涂层高于环境温度 14 ℃左右，而高导热辐射制冷涂层仅高于环境温度 3.8 ℃。对比夏季 6~8 月的空调能耗发现，高导热散热辐射制冷涂层与普通辐射制冷涂层相比可节约 230.62 kW·h 的能耗；加上冬季空调制热所产生的能耗，全年可节约空调能耗 26.67%。

参考文献：

- [1] 张福海. 节能改造，优化中央空调运行模式降低能源消耗的体会 [J]. 科技风, 2022(24):79-81.
- [2] Modest M F. Radiative heat transfer[M]. Academic press, 2003.
- [3] 柴全微. 高导热涂料的制备及在电机上的应用 [J]. 现代涂料与涂装, 2018,21(01):6-9.
- [4] Bhatia B, Leroy A, Shen Y, et al. Passive directional sub-ambient daytime radiative cooling[J]. Nature Communications, 2018,09(01):5001-5008.
- [5] 郭全贵, 刘朗, 翟更太, 等. 高导热材料的发展现状及其应用 [C]//2004 年中国科学院能源化工新材料学术研讨会论文集, 2004.
- [6] Liu, Bingying, Jiawei Wu, Chao-Hua Xue, Yijun Zeng, Jun Liang, Shiliang Zhang, Mingxiang Liu, Chao-Qun Ma, Zuankai Wang and Guangming Tao. Bioinspired Superhydrophobic All-in-one Coating for Adaptive Thermoregulation[J]. Advanced materials, 2024, 36(31):2400745.
- [7] Aaswath P. Raman, Marc Abou Anoma, Linxiao Zhu, et al. Passive radiative cooling below ambient air temperature under direct sunlight[J]. Nature, 2014, 515(7528):540-544.
- [8] Jyotirmoy, Mandal, Yanke, et al. Hierarchically porous polymer coating for highly efficient passive daytime radiative cooling[J]. Science (New York, N.Y.), 2018,362(6412):315-318.
- [9] 夏芮峰. 基于 EnergyPlus 的上海市某医院建筑能耗模拟及误差分析 [J]. 电脑采购, 2022(46):31-33.
- [10] 徐春雯, 王春利, 程征, 等. 基于 EnergyPlus 的被动式建筑能耗仿真实验 [J]. 实验技术与管理, 2024,41(07):192-200.
- [11] 李准. 基于 EnergyPlus 的建筑能耗模拟软件设计开发与应用研究 [D]. 长沙: 湖南大学, 2009.
- [12] 李纯锋, 林武生. 绿色建筑模拟软件应用的新进展: 近零能耗建筑设计应用软件分析 [J]. 住宅与房地产, 2023(35):26-30.
- [13] 中国气象局气象信息中心气象资料室, 清华大学建筑技术科学系. 中国建筑热环境分析专用气象数据集 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005.

化学气相淀积 (LPCVD) 非晶硅薄膜 界面膜层研究

胡永刚, 陶徐文, 冷华星, 冯 栋, 卢奎虎

(无锡华润上华科技有限公司, 江苏 无锡 214028)

摘要 薄膜应力对微机电系统 (MEMS) 器件的性能影响很大, 膜层内的应力梯度也会影响 MEMS 器件的性能, 而薄膜与晶圆衬底之间的过渡层是影响膜层内应力梯度的一个重要因素, 有必要对此展开研究。本文研究了不同厚度的非晶硅薄膜应力和非晶硅悬臂梁挠度, 验证了化学气相淀积 (LPCVD) 生成的非晶硅薄膜在和晶圆衬底界面上存在过渡层的设想, 并通过实验数据推算出非晶硅薄膜主体膜层和过渡膜层的厚度和应力, 旨在为 MEMS 产品设计和制造工艺提供数据支持。

关键词 化学气相淀积; MEMS; 薄膜; 应力; 过渡层

中图分类号: TN45

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.05.004

0 引言

随着半导体技术的不断发展, 越来越多的基于半导体制造技术的 MEMS 器件被开发出来, 主要包括执行器、传感器和微结构等三类^[1]。由于很多 MEMS 器件中包含机械结构, 因此构成 MEMS 器件的薄膜的应力对器件的性能影响巨大, 应力过大将导致结构偏离设计值, 严重情况下膜层材料甚至会脱落, 造成结构失效。除膜层应力大小外, 膜层内的应力梯度大小也会影响 MEMS 器件的性能, 是影响 MEMS 器件精度、可靠性和性能的重要因素之一^[2]。应力梯度不仅可能导致器件在使用过程中出现形变、裂纹和失效, 还可能影响器件的长期稳定性。

圆片表面上淀积的薄膜膜层导致晶圆翘曲的原因主要是有三个。一种是薄膜膜层材料与下层晶圆之间的热膨胀系数不同产生的热应力导致的。薄膜材料通常在一定温度下淀积到晶圆表面, 待淀积过程完成, 恢复到室温时, 由于两者之间的热膨胀系数不同, 晶圆表面的薄膜材料相对晶圆表现出收缩或是膨胀的效应, 从而产生应力, 导致圆片呈凹型或凸型翘曲^[3]。另一种是薄膜材料的本征应力, 主要是由于薄膜材料淀积时产生的晶格缺陷、与下层晶圆之间的晶格匹配等造成薄膜材料产生应力, 导致晶圆翘曲。还有一种是介于晶圆与薄膜主体膜层之间的过渡层导致的翘曲。在薄膜淀积初期, 由于薄膜材料和下层晶圆之间的差异, 此阶段形成的薄膜膜层与后续淀积生成的薄膜主

体膜层性质较大。

1 实验理论计算方法

CVD 工艺生成的 SiN 薄膜在 6 nm 以下时, SiN 过渡层为压应力, 随着淀积厚度的逐渐增加, SiN 薄膜逐渐由过渡层转变为主体膜层, SiN 整个膜层的应力也逐渐转变为张应力。测量不同厚度的 SiN 膜层翘曲值, 并做曲线, 可以估算出过渡层的膜层厚度。

薄膜内过渡层和主体层内的薄膜应力满足以下公式 (1) :

$$\int_0^{t_i} \sigma_i dz + \int_{t_i}^{t_b} \sigma_b dz = \sigma t \quad (1)$$

式中, σ_b 为薄膜主体膜层应力; t_b 为薄膜主体膜层厚度; σ_i 为薄膜过渡层应力; t_i 为薄膜过渡层厚度; σ 为薄膜应力; t 为薄膜膜层总厚度。若假设过渡层和主体层内的薄膜应力梯度在各自范围内都是均匀的, 公式 (1) 可简化为公式 (2) :

$$\sigma_b t_b + \sigma_i t_i = \sigma t \quad (2)$$

非晶硅悬臂梁释放后, 可以看作是一种双层梁结构, 将薄膜主体层看作是主梁, 薄膜过渡层看作淀积到主梁上的薄膜, 如图 1 所示。依据公式 (3)^[4], 可计算出薄膜主体层和过渡层之间的应力差值。

$$\Delta\sigma = \frac{Et_b^2 h}{3(1 - \nu_s)t_i L^2} \quad (3)$$

式中, E 为杨氏模量; L 为悬臂梁长度; ν_s 为泊松比。

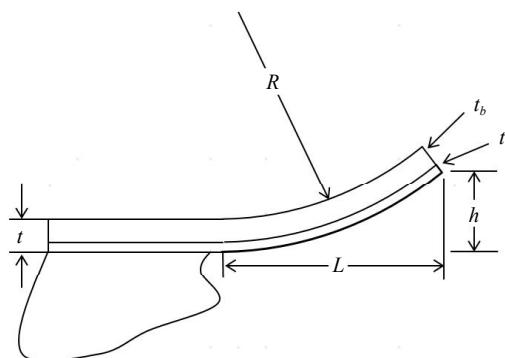


图 1 悬臂梁示意图

2 样品制作过程及实验方案

我们在实验中，采用了 8 寸 N 型 $<100>$ 晶向晶圆，详细的样品制作和测量过程如下：首先在晶圆上用炉管生长 1 μm 热氧；然后采用低压化学气相淀积 (LPCVD) 工艺，在低压炉管中淀积非晶硅，淀积温度为 580 $^{\circ}\text{C}$ ；之后做磷注入，注入能量为 50 KeV，注入剂量为 8E15/cm²；注入完成之后在晶圆表面淀积一层 2 000 Å 的二氧化硅保护层，防止在后续的退火过程中非晶硅氮化，这层二氧化硅也是采用低压化学气相淀积 (LPCVD) 的方式淀积到圆片表面之上^[5]；之后将晶圆送进炉管在氮气氛围下做退火；退火之后使用缓冲氧化物刻蚀液 (BOE) 去除晶圆表面的二氧化硅保护层；

之后一半数量的晶圆用 SEZ 去除晶圆背面的非晶硅；然后用 Tencor 应力仪测试非晶硅薄膜的应力；另一半数量的晶圆做光刻和非晶硅薄膜刻蚀，然后用缓冲氧化物刻蚀液 (BOE) 释放，将非晶硅薄膜下面的二氧化硅腐蚀掉，形成非晶硅薄膜悬臂梁结构，然后用 3D 轮廓仪测量悬臂梁的挠度 h 。

我们设计了三种不同长度的悬臂梁结构用于挠度测试，分别为 30 μm 、50 μm 和 100 μm ，宽度为 10 μm ，间距为 10 μm ，如图 2 所示。

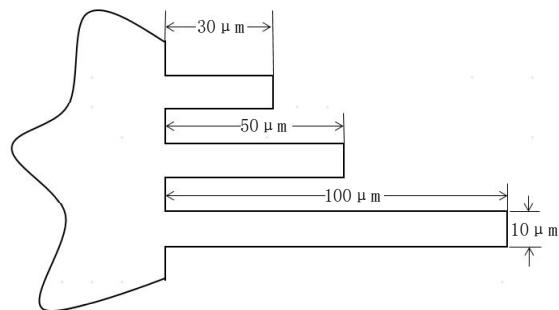


图 2 悬臂梁结构设计

详细实验方案如表 1 所示，实验中共使用了 8 片晶圆，非晶硅薄膜分别做了 1 000 Å、3 500 Å、5 300 Å 和 8 000 Å 四种厚度；注入条件为：磷注入，能量 50 KeV，剂量 8E15；在炉管内采用 980 度氮气氛围内做 105 分钟退火。

表 1 实验方案

步骤	条件	Slot08	Slot09	Slot12	Slot13	Slot17	Slot18	Slot20	Slot21
非晶硅淀积	1 000 Å	0	0						
	3 500 Å			0	0				
	5 300 Å					0	0		
退火	8 000 Å							0	0
	980 $^{\circ}\text{C}$	0	0	0	0	0	0	0	0
晶圆背面	去除背面			0	0		0		0
	不去背面	0		0		0		0	

3 测试结果与讨论

样品制作完成后，其中 Slot09、Slot13、Slot18 和 Slot21 用 Tencor 应力仪采用晶圆曲率法测试非晶硅薄膜的应力和晶圆曲率，数据如图 3 所示。

3.1 非晶硅薄膜过渡层厚度

从图 3 中可以看出，淀积的非晶硅薄膜厚度在 100

nm 时晶圆的曲率与未淀积非晶硅薄膜时的曲率基本一致，而在小于 100 nm 这个膜厚范围内，晶圆曲率小于未淀积非晶硅薄膜时的晶圆曲率。这说明一开始淀积到晶圆表面的非晶硅薄膜过渡层为压应力，随着所淀积膜层厚度的增加膜层逐渐转变为张应力。其中一个解释是晶圆表面二氧化硅中的氧原子与非晶硅结合生

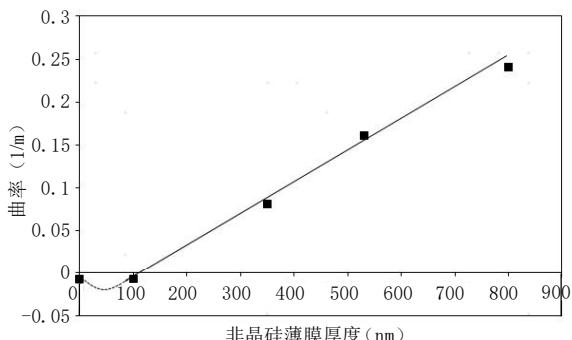


图3 非晶硅薄膜厚度和曲率的关系

成二氧化硅，而二氧化硅膜层为压应力，随着所淀积膜层厚度的增加，氧原子无法穿透所生成的二氧化硅，无法继续与非晶硅相结合，膜层逐渐转变为张应力^[6]。通过图3中的数据，可估算过渡层厚度为50 nm。

3.2 非晶硅薄膜过渡层应力

非晶硅经过退火后会转变为多晶硅，本文中，我

表2 非晶硅薄膜过渡层和主体层应力数据

Slot No.	σ_b (MPa)	t_b (μm)	σ_i (MPa)	t_i (μm)	σ (MPa)	t (μm)	$\Delta \sigma$ (MPa)	h (μm)
Slot09		50		50	1.842	100		
Slot13	55.21	300	-27.64	50	43.37	350	82.85	0.4479
Slot18	65.51	480	-56.14	50	54.03	530	121.65	0.2868
Slot21	60.80	750	-69.13	50	52.68	800	129.93	0.1345

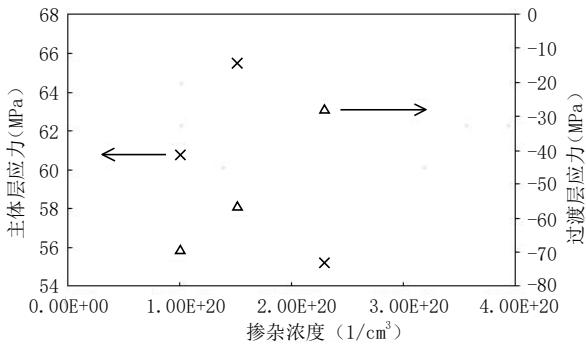


图4 薄膜主体层和过渡层与掺杂浓度之间的关系

4 结论

本文通过研究不同厚度的非晶硅薄膜应力和非晶硅悬臂梁挠度，验证了化学气相淀积生成的非晶硅薄膜在和晶圆衬底界面上存在过渡层的设想，并通过实验数据推算出非晶硅薄膜主体膜层和过渡膜层的厚度和应力，为MEMS产品设计和制造工艺提供了数据支持。

们取多晶硅的杨氏模量为155 GPa，泊松比取0.24。

样品制作完成后，我们发现由于100 nm厚度的非晶硅悬臂梁强度较低，在牺牲层释放过程中，三种长度的悬臂梁均与衬底晶圆粘连在一起，未能测得挠度数据；350 nm和530 nm厚度，30 μm 长度的悬臂梁结构完好，50 μm 和100 μm 长度的悬臂梁与衬底晶圆粘连在一起；800 nm厚度30 μm 和50 μm 长度的悬臂梁结构完好，100 μm 长度的悬臂梁与衬底晶圆粘连在一起。因此，我们安排测试了30 μm 长度悬臂梁的挠度h，并计算出非晶硅薄膜过渡层的应力（见表2），对应350 nm、530 nm和800 nm厚度的非晶硅其应力分别为-27.64 MPa、-56.14 MPa和-69.13 MPa，应力值为负值，表示薄膜过渡层的应力为压应力，与3.1中的推断一致^[7]。薄膜主体层和过渡层应力与掺杂浓度之间的关系见图4，从图中可以看出随着掺杂浓度的升高，薄膜层应力有先上升后下降的趋势，而薄膜过渡层应力随着掺杂浓度的升高逐渐上升，两者并不一致。

参考文献：

- [1] 唐华,施阁,何杰,等.国家自然科学基金半导体科学与信息器件领域“十三五”至“十四五”期间资助状况与趋势[J].电子学报,2022,50(08):1992-2002.
- [2] 段杰,赵万良,成宇翔,等.MEMS惯性器件低应力封装过渡层研究[J].导航定位与授时,2020,07(02):145-154.
- [3] HUFF M. Review Paper: Residual Stresses in Deposited Thin-Film Material Layers for Micro- and Nano-Systems Manufacturing[J/OL]. Micromachines (Basel), 2022, 13(12): 2084.
- [4] 马红娜,李锋,赵学玲,等.LPCVD制备多晶硅薄膜的性能[J].半导体技术,2022,47(08):630-635.
- [5] 同[4].
- [6] Kulesza-Matłak G, Drabczyk K, Sypień A, et al. Interlayer Microstructure Analysis of the Transition Zone in the Silicon/Perovskite Tandem Solar Cell[J]. Energies, 2021, 14(20): 6819.
- [7] 刘猛,黄清华,许蔚,等.一种用于MEMS超低值封装残余应力的测量方法[J].太赫兹科学与电子信息学报,2020,18(03):531-537.

新时期智能化变电站环境监测与预警系统的开发分析

袁俊文

(河南天通电力有限公司, 河南 平顶山 467000)

摘要 本研究基于新型电力系统多能量流和信息流现状对时间准确度和同步性需求提高的背景, 针对目前存在错误时间的情况, 深入剖析了智能化变电站环境监测与预警系统开发中的关键问题, 通过对现有技术的分析与改进, 结合先进的传感器技术、通信技术以及数据分析算法, 旨在构建一套精准、可靠的时间同步机制, 确保系统各部分能够准确、及时地获取和处理数据。

关键词 电力系统; 智能化变电站; 环境监测; 预警系统

中图分类号: TP27; TM76

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.05.005

0 引言

电力系统是时间相关系统, 无论电压、电流变化还是功角变化, 都是基于时间轴的波形。时间同步的准确性对于电力系统的稳定运行至关重要。在智能化变电站中, 环境监测与预警系统的有效运作依赖于精准的时间同步。其核心功能是为暂态、动态、稳态数据采集和电网故障分析提供准确的时间基准, 使得各类数据能够在统一的时间尺度下进行分析和处理。然而, 当前部分智能化变电站在时间同步方面存在不足, 影响了系统的整体性能和可靠性, 亟待开发更先进的环境监测与预警系统来解决这些问题。

1 智能化变电站环境监测系统总体设计

1.1 系统总体架构设计

智能化变电站环境监测系统采用分布式架构, 包含了变电站现场设备、数据采集与传输网络、数据处理中心以及用户终端, 架构模式能实现数据的高效采集、传输与处理, 为智能化变电站的稳定运行提供有力支持^[1]。

在变电站环境监测系统中, 部署了多种传感设备和采集装置, 包括温湿度传感器、液位传感器、烟雾传感器、气体浓度传感器、光照强度传感器以及振动传感器等。传感器能实时监测变电站内的环境参数, 如温湿度传感器可精确测量环境温度 T (单位: °C) 和相对湿度 H (单位: %), 为保障设备正常运行提供数据依据。据统计, 一般智能化变电站内设备适宜运行温度范围为 5 ~ 40 °C, 相对湿度范围为 20% ~ 80%, 当超出此范围时, 可能会对设备性能和寿命产生影响。

数据采集与传输网络主要包含以下模块:

其一, 控制器局域网 (CAN) 作为一种高性能串行通信网络, 具有实时性强、可靠性高的特点。在智能化变电站中, CAN 总线可用于连接多个传感器节点, 实现数据的快速传输。其数据传输速率最高可达 1 Mbps, 在最大传输距离为 40 m 时, 能够满足变电站内短距离、高实时性的数据传输需求。通过 CAN 总线, 传感器采集的数据能够及时发送至数据处理终端。

其二, 第四代移动通信网络 (4G)。4G 网络具有高速率、广覆盖的优势, 适用于变电站与远程数据处理中心之间的数据传输。在智能化变电站中, 4G 模块可将现场采集的大量环境数据上传至云端服务器, 实现数据的远程存储和分析。其理论下载速度可达 100 Mbps, 上传速度可达 50 Mbps, 能在短时间内完成大量数据的传输, 保证数据的及时性和完整性^[2]。

其三, 数据处理终端位于变电站现场, 通过通信网关获取各种传感器和采集装置的数据。数据处理终端对采集到的数据进行初步处理, 如数据滤波、异常值检测等。以温度数据为例, 可采用均值滤波算法对采集到的温度序列 T1, T2, ……, Tn 进行处理, 新的温度值 Tnew 计算公式为: $T_{new} = 1/n \sum_{i=1}^n T_i$, 通过这种方式去除噪声干扰, 提高数据的准确性。

1.2 系统硬件设计

1.2.1 图像采集前置机设计

本文设计了基于嵌入式系统的图像采集前置机, 该设计主要包括四个功能模块: 视频信号采集与 JPEG 压缩模块、数据存储模块、电源管理模块以及网络接

口模块。视频信号采集与压缩模块由视频输入处理器 SAA7111A 构成。SAA7111A 能够将模拟视频信号转换为数字格式，可支持 PAL、NTSC 等多种常见视频标准。在实际工作中，它能以每秒 25 帧的速度对视频图像进行采集，每帧图像可采集的分辨率最高可达 720×576 像素。采集到的数字视频信号会被传输至后续的 JPEG 压缩单元^[3]。

数据存储模块采用大容量的 SD 卡作为存储介质。根据实际需求，可选用 8 GB、16 GB 甚至更高容量的 SD 卡。采集并压缩后的图像数据会按照特定的文件格式（如 JPEG 格式）存储在 SD 卡中，存储速度可达每秒 10 MB 左右，能快速保存大量的图像数据。

电源管理模块负责为整个图像采集前置机提供稳定的电力供应，可将输入的 12 V 直流电源转换为各个模块所需的电压，如为 SAA7111A 提供 3.3 V 的工作电压，为数据存储模块提供 5 V 的电源。通过高效的电源转换电路，其电源转换效率可达 85% 以上，确保系统稳定运行的同时降低能耗。

网络接口模块使用 RTL8019AS 芯片实现以太网通信功能。该芯片支持 10 Mbps 的网络传输速率，将存储在 SD 卡中的图像数据通过以太网接口发送到指定的服务器或终端设备，在数据传输过程中，可根据网络状况自动调整传输速率，保证数据传输的稳定性和可靠性。

1.2.2 环境温湿度采集前置机设计

环境温湿度采集前置机基于无线传感网络，由 SHT20 温湿度传感器、CC2530 微控制器、无线通信和电源模块组成。

该前置机由 SHT20 传感器实时采集环境中的温度和湿度数据。SHT20 传感器的温度测量范围为 $-40 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 至 $125 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ，测量精度可达 $\pm 0.3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ；湿度测量范围为 0% 至 100% RH，精度可达 $\pm 2\%$ RH。以 I2C 总线接口的方式与 CC2530 微控制器进行通信，每隔 10 秒采集一次温湿度数据，并将数据以数字信号的形式传输给微控制器。

CC2530 微控制器接收到数据后，会对数据进行初步处理。为了减少数据波动带来的误差，微控制器会对连续采集的 5 组温度数据 T1、T2、T3、T4、T5 进行算术平均处理，得到平均温度 $T_{avg} = (T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5) \div 5$ ，对湿度数据也采用类似的处理方式，处理后的数据会被打包成特定格式的数据包。

然后，利用 CC2530 微控制器内置的射频收发器和外接天线将数据包发送到接收端。无线通信模块采用 ZigBee 协议，在空旷环境下的通信距离可达 100 m 左右，

数据传输速率为 250 kbps。电源模块为整个前置机提供电力支持，可使用两节 AA 电池供电，电池续航时间可达 6 个月左右，确保前置机能够长时间稳定运行。

1.2.3 风量采集前置机设计

风量采集前置机核心部件主要以 MPXV4006DP 压阻式传感器为主，后者属于单片硅压力传感器。MPXV4006DP 传感器能够将压力信号转换为电压信号，其压力测量范围为 0 至 6 kPa，输出电压范围为 0.2 V 至 4.7 V。在实际应用中，它通过测量风道内的压力差来间接获取风量信息^[4]。

本次设计在 MPXV4006DP 传感器后端配置了信号调理电路。信号调理电路首先对传感器输出的微弱电压信号进行放大处理，放大倍数可根据实际需求在 10 倍到 100 倍之间进行调整。假设传感器输出的电压信号为 V_{in} ，经过放大倍数为 A 的放大器后，输出电压 $V_{out} = V_{in} \times A$ 。

同时，信号调理电路还会对放大后的信号进行滤波处理，去除信号中的高频噪声干扰，使信号更加稳定和准确。经过调理的信号通过单向二极管输出到模数转换器（ADC）。模数转换器的分辨率为 12 位，可将 0 至 5 V 的模拟电压信号转换为 0 至 4 095 的数字信号，转换后的数字信号会被传输到微控制器进行进一步的处理和计算。

微控制器会根据预先设定的转换公式，将数字信号转换为对应的风量值，通过大量实验得出的转换关系为：风量 $Q = 0.1 \times (\text{数字信号值})$ ，从而实现对风量的精确测量。通过这样的硬件设计，风量采集前置机能够准确、稳定地获取风道内的风量信息，为智能化变电站的环境监测提供可靠的数据支持。

2 智能化变电站预警系统开发研究

智能化变电站环境监测预警系统指标体系涵盖了温湿度、液位、空气质量、设备异响四个关键方面，指标全面反映了变电站的运行环境状况，为及时发现潜在问题提供了重要依据。

温湿度指标针对变电站控制柜、继电保护室和蓄电池室等关键区域，不同区域对温湿度的要求不同，例如，控制柜内适宜温度一般在 $5 \sim 35 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度在 40% ~ 70%；继电保护室温度宜控制在 $10 \sim 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ，湿度在 30% ~ 60%；蓄电池室温度应保持在 $15 \sim 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ，湿度不超过 75%。系统会实时监测这些区域的温湿度数据，一旦超出预设范围，便会触发预警。

液位监测主要关注消防水池、事故油池和电缆层积水。以事故油池为例，其液位高度需保持在安全范

围内,一般最高液位不能超过油池总高度的 80%,最低液位不能低于总高度的 20%。当液位超过或低于这个范围时,可能意味着存在漏油或其他异常情况,系统会立即发出警报。对于电缆层积水,只要检测到积水深度超过 5 mm,就会启动预警,防止积水对电缆造成损坏^[5]。

变电站环境监测预警系统采用多层次、多维度的综合分析方法,以实现对潜在风险的精准判断。在数据采集阶段,系统通过分布在变电站各处的传感器网络实时收集温湿度、液位、空气质量与设备异响等数据。空气质量监测会检测如 SF6 气体浓度、氧气含量等指标,SF6 气体浓度正常范围应低于 1 000 ppm,氧气含量需在 19.5%~23.5% 之间。设备异响则通过安装在设备附近的声学传感器进行捕捉。收集到的数据会传输至数据处理中心,利用数据分析算法对各项指标进行综合评估和分析,判断是否存在异常情况。一旦发现潜在风险,系统会根据风险的严重程度发出不同级别的预警信号,通知相关人员及时处理,确保变电站的安全稳定运行。

3 仿真分析

3.1 系统仿真

为验证智能化变电站环境监测与预警系统的有效性和可靠性,运用专业的仿真软件搭建了与实际变电站环境相近的模拟场景,并输入大量的实际运行数据。

基于历史数据,建立了时间序列模型,包含日变化、季节变化和随机扰动三个组成部分。在日变化模型中,以过去一年的温湿度数据为基础,分析得出白天(8:00~18:00)变电站内平均温度在 22~28 ℃ 之间,相对湿度在 45%~60%;夜晚(18:00~次日 8:00)平均温度在 18~22 ℃,相对湿度在 50%~65%。季节变化模型则依据春夏秋冬四季的特点,夏季温度最高可达到 35 ℃,冬季最低可能降至 5 ℃,湿度也随季节有明显波动。随机扰动部分通过设置一些异常天气或设备临时运行状况改变的模拟情景,来测试系统应对突发情况的能力。

针对消防水池和事故油池,建立了基于微分方程的液位变化模型。消防水池考虑了日常补水、消防用水以及自然蒸发等因素。假设消防水池初始液位为 8 m(总高度 10 m),正常情况下每天因蒸发液位下降 0.05 m,补水系统每小时可使液位上升 0.1 m。事故油池则考虑设备故障时的漏油速度以及定期巡检时的液位变化。假设设备故障时漏油速度为每小时 0.2 m³,事故油池总容积为 50 m³。

通过模拟 SF6 气体浓度变化,设 SF6 浓度呈 0.1 mg/(m³/h) 的速率缓慢增加。从初始浓度 0 mg/m³ 开始,持续模拟 10 个小时,当 SF6 浓度达到 1 mg/m³ 时,观察系统的监测数据是否准确,预警功能是否在浓度达到 1 000 mg/m³ 时及时触发。同时,对系统在整个仿真过程中的数据处理速度、分析结果的准确性进行评估,以此来验证智能化变电站环境监测与预警系统的有效性和可靠性,为后续系统的优化提供数据支持^[6]。

3.2 仿真效果

基于系统仿真分析,系统在各项关键指标上均达到预期标准,展现出良好的性能。在温湿度监测方面,系统能精准捕捉环境温湿度的细微变化,测量误差控制在 ±0.5 ℃ 和 ±3% RH 以内。对于液位监测,无论是消防水池还是事故油池,液位测量误差不超过 ±5 cm。系统在各类异常情况下的检测时间均控制在 30 s 以内,准确率普遍超过 95%。当 SF6 气体浓度异常升高时,系统能迅速且准确地发出预警。在设备异响检测上,能及时辨别出异常声音并定位,为变电站的安全稳定运行提供了可靠保障,充分验证了智能化变电站环境监测与预警系统的有效性和可靠性。

4 结束语

新时期智能化变电站环境监测与预警系统的开发要根据变电站实际运行需求与环境特点,紧密结合先进技术。通过合理设计系统架构,精准部署各类传感器,构建全面、高效的监测与预警体系。不断优化系统性能,提高数据处理与分析能力,确保系统能及时、准确地发现潜在问题,为智能化变电站的安全、稳定运行提供坚实保障,助力电力行业在新时期实现高质量发展。

参考文献:

- [1] 梁程,高坚.智能化变电站网络通信技术及其应用[J].光源与照明,2024(12):246-248.
- [2] 肖晶晶.智能变电站中的数据分析系统应用[J].集成电路应用,2024,41(12):316-317.
- [3] 汤庆国.500kV 变电站智能化改造的设计[J].电力设备管理,2024(22):11-13.
- [4] 倪剑礼.智能化变电站环境监测与预警系统的开发研究[J].自动化博览,2024,41(11):52-55.
- [5] 李婷辉.网络通信技术在智能变电站中的应用[J].电子技术,2024,53(09):278-279.
- [6] 刘金磊,刘毅,王清正.智能化变电站在水泥厂的应用[J].水泥技术,2023(02):79-82.

图神经网络在工控安全感知系统中的应用

许春霞

(西门子(中国)有限公司苏州分公司, 江苏 苏州 215000)

摘要 本文探讨了图神经网络在工控安全感知系统中的应用, 通过采用理论分析与案例分析相结合的方法, 给出了图神经网络在工控安全感知系统中的具体应用策略。研究表明, 图神经网络能够有效优化网络拓扑图、预警资产上下线、准确检测异常行为等, 提升了工控安全系统的态势感知与安全防御能力, 为工控安全感知系统提供了新的技术手段, 具有广阔的应用前景。

关键词 图神经网络; 工控安全感知系统; 故障诊断; 异常检测; 优化控制

中图分类号: TP317.4

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.05.006

0 引言

随着工业4.0时代的到来, 工业自动化与信息化深度融合, 工控系统的安全性日益成为保障工业生产稳定运行的关键^[1]。然而, 工控环境复杂多变, 涉及众多异构设备、通信协议及实时性要求, 给传统安全感知系统带来了巨大挑战。传统方法在处理大规模、高维度的工控数据时显得力不从心, 难以有效识别潜在威胁并及时作出响应。图神经网络(Graph Neural Networks, GNNs)作为一种新兴的深度学习模型, 凭借其强大的图数据处理能力、局部与全局特征捕捉能力以及高效的推理机制, 为工控安全感知系统提供了新的解决思路^[2]。本文重点探讨图神经网络在工控安全感知系统中的应用, 通过优化网络拓扑图、预警资产上下线以及检测资产被入侵等场景, 展现图神经网络在提高工控系统安全性、降低误报率与漏报率方面的潜力与价值。

1 现有工控安全感知系统面临的问题

1.1 处理复杂工控环境

工控系统通常涉及多个层次和组件, 如现场设备层、现场控制层、过程监控层和生产管理层等, 各层次和组件之间的通信协议和数据格式各异, 导致数据采集和处理的难度增加。此外, 工控系统通常运行在高温、高湿、强电磁干扰等恶劣环境下, 对工控安全感知系统的稳定性和可靠性提出了更高要求。

1.2 识别潜在威胁

随着工业互联网的快速发展, 工控系统面临的网络安全威胁日益复杂和多样化^[3]。攻击者可能利用工控系统中的漏洞、弱密码、未授权访问等手段进行攻击, 导致生产中断、设备损坏甚至人员伤亡等严重后果。

但是, 现有工控安全感知系统在识别潜在威胁方面仍存在不足, 如误报率高、漏报率低、对新型攻击手段识别能力不足等问题。

1.3 数据处理和分析能力不足

工控系统产生的数据量巨大且复杂, 对工控安全感知系统的数据处理和分析能力提出了更高要求。现有系统在处理大规模数据时往往存在性能瓶颈, 导致数据处理和分析的效率和准确性降低。此外, 工控系统中的数据往往具有时序性和关联性, 需要运用更高级的数据分析技术来挖掘其中的安全威胁和攻击行为^[4]。

2 图神经网络理论基础

2.1 图神经网络基本原理

图神经网络是一种专门用于处理图数据的深度学习模型。图数据由节点(Nodes)和边(Edges)组成, 节点通常表示实体(如设备、传感器等), 而边则表示实体之间的关系^[5]。GNN通过捕获图的结构信息和节点特征, 学习节点的低维嵌入表示, 进而用于节点分类、链接预测、图分类等任务。其基本原理是利用节点和边的信息来学习图数据的特征表示, 通过迭代更新节点的表示来捕捉图中的结构和信息。GNN的节点更新公式可以表示为:

$$h_v^{(k)} = \sigma(W^{(k)} \cdot \sum_{u \in N(v)} h_u^{(k-1)} + b^{(k)}) \quad (1)$$

式(1)中 $h_v^{(k)}$ 表示节点 V 在迭代 K 次后的特征; $N(V)$ 表示节点 V 的邻居节点集合; $W^{(k)}$ 和 $b^{(k)}$ 表示学习的权重和偏置向量; σ 是激活函数。

2.2 图神经网络优化方法

2.2.1 数据扩增

数据扩增是一种有效的图神经网络优化方法, 它

通过增加数据量来提高模型的鲁棒性。在图神经网络中,数据通常以图的形式表示,包括节点、边和特征等。数据扩增可以通过对原始图数据进行一系列变换来生成新的图数据,从而丰富训练集,使模型能够更好地学习到数据的内在规律。具体的数据扩增方法包括重采样、上采样以及增加随机噪声等。其中,重采样可以通过对图中的节点或边进行重复采样,生成新的图数据;上采样则可以通过对图进行插值或超分辨率处理,增加图的细节信息;增加随机噪声则是在图的特征或边上添加随机扰动,使模型能够更好地适应噪声数据。通过这些方法,可以有效地扩大训练集,提高模型的泛化能力和鲁棒性。

2.2.2 降低模型复杂度

模型复杂度是影响 GNN 性能的重要因素之一。过高的模型复杂度可能导致过拟合,即模型在训练数据上表现良好,但在测试数据上表现不佳。为了降低模型复杂度,本文提出以下方法:(1)减少模型参数数量:通过简化网络结构、减少层数或节点特征维度等方式,可以有效减少模型参数的数量。例如,在 GNN 中,可以选择较浅的神经网络架构,或者使用稀疏表示来降低特征维度。(2)模型压缩:模型压缩技术,如权重剪枝、量化等,也可以用于降低 GNN 的复杂度。这些方法通过移除不重要的权重或将其量化为更少的比特数,来减少模型的存储和计算需求。降低模型复杂度不仅有助于防止过拟合,还可以提高模型的计算效率和可扩展性,使其能够处理更大规模的图数据。

2.2.3 Dropout 方法

Dropout 算法作为一种在训练过程中随机丢弃部分神经元的技术,可以增强模型的泛化能力。在图神经网络中,Dropout 可以应用于以下几个方面:首先,Dropout 算法随机丢弃图中的部分节点,使模型在训练过程中不得不依赖其他节点来预测结果,从而增强模型对节点缺失的鲁棒性。其次,Dropout 算法随机丢弃图中的部分边,改变图的连接结构,使模型能够学习到更加鲁棒的图表示。Dropout 通过引入随机性,迫使模型在训练过程中学习到更加泛化的特征表示,有助于减少模型对特定训练数据的依赖。

2.3 图神经网络应用优势

图神经网络(GNN)的独特优势在于能够高效处理非欧几里得空间中的图结构数据,为工控安全感知提供了强大的技术支持。首先,在安防监控领域,图神经网络通过对监控视频中的人员和车辆进行识别和跟踪,构建复杂的人车关系图谱,帮助警方快速定位犯罪嫌疑人并追踪犯罪线索。据相关统计,这种方法使

犯罪侦查的效率提高了约 30%。同时,图神经网络还能用于事件预警和交通管理,通过实时监控和分析交通数据,及时发现交通拥堵和交通事故,提高交通运行效率和安全性。其次,在工业生产中,图神经网络的应用也取得了显著成效。例如,在设备故障预测方面,图神经网络能够更准确地识别设备的故障,提前发现潜在的故障隐患,减少停机时间。据估计,这种方法可以使生产线的停机时间减少约 20%,从而提高生产效率。此外,图神经网络还在推荐系统、知识图谱等领域展现出强大的应用潜力。通过有效提取节点特征并进行链接预测、用户推荐等任务,图神经网络为这些领域带来了更高效、更准确的解决方案。

3 图神经网络在工控安全感知系统中的应用

随着图神经网络(GNN)模型的逐步成熟,基于 GNN 的工控网络拓扑图的处理速度与精准性也得到极大提升,为确保图神经网络更好地应用于工控安全感知系统中,进一步地提升整个工控系统的安全性和稳定性,相关人员需深入优化网络拓扑图的分层与连接,图神经网络能够更真实地展示网络拓扑、预警设备上线下线与及时发现设备被入侵的迹象。

3.1 图神经网络在网络拓扑图中的应用

网络拓扑图主要描述了系统中服务器和各个设备节点之间的连接关系。传统的网络拓扑图往往采用简单的树状结构或网状结构,这种结构在处理大规模、复杂网络时显得力不从心。而图神经网络则能够通过学习节点之间的复杂关系,自动优化网络拓扑图的分层与连接。具体而言,图神经网络可以利用节点的 IP 地址、MAC 地址、设备类型等特征信息,构建网络节点;结合节点的特征信息,并利用节点间的通信构建节点连线。同时,短时间内的相同两个节点的通信仅计算一次,节省计算时间;再通过捕捉节点之间的深层次关系,从而自动调整节点的分层和连接,使得网络拓扑图更加符合实际的网络结构和通信模式。

例如,在工控系统中,通过应用图神经网络,发现原本处于不同层级的两个设备实际上存在频繁的通信和数据交换,于是将它们调整到同一层级,并加强了它们之间的连接。这样的优化不仅提高了网络拓扑图的准确性,还有助于后续的安全分析和预警。优化前后的网络拓扑图特征的对比结果如表 1 所示。从表 1 中的数据可以看出,优化后的网络拓扑图的各个节点连线平均路径长度变短,聚类系数有所提高。这表明优化后的网络拓扑图更加紧凑、连通性更好,且节点的分组更加合理。

表1 优化前后的网络拓扑图特征的对比结果

特征	优化前	优化后
节点数量	100	100
平均路径长度	4.5	3.8
聚类系数	0.3	0.6

3.2 图神经网络在预警设备上下线中的应用

在工控系统中，资产的上下线状态直接影响系统的安全性和稳定性。传统的预警方法，如基于固定阈值或规则的监测，往往难以适应动态变化的网络环境，容易导致误报或漏报。而图神经网络则能够通过学习节点之间的历史通信模式和特征变化，自动识别并预警资产的上下线状态，从而有效提升了工控系统的安全性和稳定性。

具体操作如下：工控系统可以利用图神经网络对网络拓扑图中的节点进行持续监控。这些节点代表系统中的设备或传感器等资产，而它们之间的连接关系则反映了资产之间的通信和依赖关系。通过提取节点的特征信息，如通信频率、通信协议、响应时间等，图神经网络能够构建出一个全面的系统状态图。当某个节点的特征信息发生变化时，图神经网络能够迅速捕捉到这种变化，并与历史特征信息进行对比。如果判断该节点可能处于下线状态，系统会立即发出设备状态提醒，通知运维人员进行检查和维修。这种实时的预警机制，使得运维人员能够迅速定位问题，及时采取相应的补救措施，从而避免了因设备故障而导致的系统停机或安全事故。

3.3 图神经网络在检测设备被入侵中的应用

图神经网络在工控安全感知系统中的应用，特别是在检测设备被入侵方面展现出了显著的优势。首先，图神经网络能够实时监控并精准检测工控系统中的设备入侵行为。传统的检测方法，如入侵特征库匹配或签名匹配，在面对新型攻击手段时往往力不从心。这些传统方法依赖于已知的攻击模式，难以应对不断演变的攻击策略。然而，图神经网络通过实时监控网络拓扑图中的节点特征信息，为工控系统提供了更为智能和灵活的检测手段。在图神经网络的应用中，网络拓扑图中的每个节点代表系统中的一个设备或组件，而边则代表这些设备之间的通信关系。其次，图神经网络能够利用这些节点和边的信息，学习并提取出网络中的复杂特征。当设备被入侵时，其通信行为往往

会发生异常，如图中的节点开始与原本不通信的设备进行大量数据传输，或发送异常数据包等。图神经网络能够捕捉到这些细微的变化，并通过分析通信流量、通信内容、访问模式及连接状态等关键信息，判断节点是否出现异常行为。一旦图神经网络检测到异常行为，系统会立即发出报警信息，通知运维人员。运维人员可以迅速响应，采取隔离和清除措施，以防止攻击进一步扩散和造成损害。这种实时的监控和响应机制，大大提高了工控系统的安全性和稳定性。此外，图神经网络的应用还降低了对人工干预的依赖。传统的检测方法往往需要运维人员具备丰富的经验和专业知识，以便准确识别攻击行为。而图神经网络通过自动化和智能化的方式，减轻了运维人员的工作负担，提高了检测效率和准确性。

4 结束语

本文深入探讨了图神经网络在工控安全感知系统中的应用，针对现有工控安全感知系统在处理复杂环境、识别潜在威胁以及数据处理和分析能力方面的不足，提出了基于图神经网络的解决方案。通过图神经网络对工控系统的网络拓扑、资产状态及行为模式进行建模和分析，有效提升了系统的安全感知能力。研究表明：图神经网络在工控安全领域具有显著的优势，能够准确识别异常行为和潜在威胁，为工控系统的安全防护提供了有力支持。未来，图神经网络在工控安全感知系统中的应用前景广阔。随着技术的不断发展，图神经网络将进一步提升其处理效率和准确性，更好地适应大规模、复杂工控系统的安全需求。

参考文献：

- [1] 刘杰,李喜旺.基于图神经网络的工控网络异常检测算法[J].计算机系统应用,2020,29(12):234-238.
- [2] 王新娇,曾上游,魏书伟,等.基于卷积神经网络的智能家居安防监控系统[J].现代电子技术,2021,44(24):25-28.
- [3] 易霜,韩笑东,李炜.基于图神经网络的航空数据异常检测[J].现代信息科技,2024,08(16):53-59.
- [4] 杨亚虎,王瑜,陈天华.基于深度学习的远程视频监控异常图像检测[J].电讯技术,2021,61(02):203-210.
- [5] 姜羽,陈华,张小刚,等.基于启发式时空图神经网络的多变量时序异常检测[J].中国科学:信息科学,2023,53(09):1784-1801.

基于数字化技术的建筑室内装饰设计方法

周瑶珺

(广州市美术有限公司, 广东 广州 510000)

摘要 数字化技术的迅猛进步, 正逐步拓宽其在建筑室内装饰设计中的应用边界。数字化技术提高了建筑室内装饰设计水平, 通过三维建模技术、虚拟现实环境以及人工智能的辅助, 为客户带来了前所未有的直观感受与个性化服务。本文深入剖析了数字化技术驱动下的建筑室内装饰设计方法的优势、实际运用案例及其未来的发展方向, 旨在为相关领域的专业人士提供有益的参考。

关键词 数字化技术; 建筑室内装饰设计; BIM 技术; AR 技术; 光线追踪技术

中图分类号: TU22

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.05.007

0 引言

建筑室内装饰设计的精髓在于其复杂性与高度的创造性, 这要求设计师不仅要经验深厚, 还需拥有独到的审美眼光。以往, 设计过程多依赖手绘稿及二维模型, 这种方式难以生动展现设计全貌, 且后续修改颇为烦琐, 效率低下。然而, 数字化技术的融入, 彻底革新了建筑室内装饰设计的面貌。借助三维建模技术、虚拟现实环境以及人工智能的辅助, 设计师的创意得以更加流畅地展现。这些先进工具不仅大幅提升了设计效率, 还让设计理念以更加直观、生动的方式呈现给客户。

1 数字化技术在建筑室内装饰设计中的优势

1.1 提高设计效率和质量

数字化技术可以大大提高建筑室内装饰设计的效率和质量。通过三维建模和虚拟现实技术, 设计师可以直观地展示设计效果, 提前发现潜在问题并进行优化。智能设计软件可以根据客户的需求和喜好, 快速生成个性化的设计方案。同时, 人工智能算法可以对设计方案进行进一步优化, 使其更加科学、合理。

1.2 提升客户体验

数字化技术可以为客户提供更加直观和个性化的体验。通过 VR 技术, 客户可以身临其境地感受装修后的效果, 提出更具体的修改意见。在线沟通平台可以方便客户与装修公司进行沟通, 随时了解工程进展。数字化验收工具可以让客户参与装修工程的验收, 提高验收的透明度和公正性。

1.3 降低施工成本

数字化技术可以降低施工成本, 提高施工效率。施工项目管理软件可以实时跟踪项目进度, 合理安排施工任务, 减少资源浪费。物联网技术可以实时监测

施工环境和设备状态, 提前预警潜在问题, 避免安全事故和质量问题的发生。电子文档管理系统可以减少纸质文件的使用, 降低管理成本。

1.4 增强市场竞争力

数字化技术可以增强装修公司的市场竞争力。通过数字化设计、施工管理、客户体验等方面的优化, 装修公司可以提供更加优质、高效的服务, 满足客户的个性化需求。同时, 利用社交媒体平台、官方网站和在线装修平台等渠道进行营销推广, 可以提高知名度和美誉度, 吸引更多潜在客户^[1]。

2 数字化技术在建筑室内装饰设计中的应用

2.1 打造智能化与自动化室内装饰设计系统

智能家居系统是智能化装饰装修的灵魂, 它将多种家居设施融为一体, 借助中央智能控制平台, 让用户仅凭智能手机、平板或语音指令, 便能远程监控并调节家居环境(如图 1 所示)。该系统广泛涵盖温控、湿度控制及照明等多个方面, 为居住者带来专属的舒适体验。

智能照明与节能技术。传统照明往往能耗高且操作烦琐, 而智能照明技术通过感应器、定时控制及远程操作等智能手段, 彻底改变了照明管理方式。感应器能智能感知环境变化, 适时开启或关闭照明, 大幅降低能耗, 提高了室内照明的舒适度与便利性, 还积极响应了节能减排的绿色理念, 推动装饰装修向更智能、更环保的方向发展。自动化窗帘、门禁及安全系统。自动化窗帘依据预设时间和光线强度智能调节开合度, 既管理了室内光线, 又保障了居住者的隐私。门禁系统通过引入密码、指纹乃至面部识别等先进技术, 实现了出入口的高级别管控, 显著提升了安全性。安全

系统的创新亮点则展现在智能监控、可视对讲和远程报警等多个维度。智能监控摄像头全天候守护住宅安全，确保无死角监控；可视对讲系统使得访客与住户

之间的交流更加顺畅，提升了居住的便捷性；远程报警功能则能在紧急时刻迅速做出反应，第一时间向住户或相关部门发出警报^[2]。

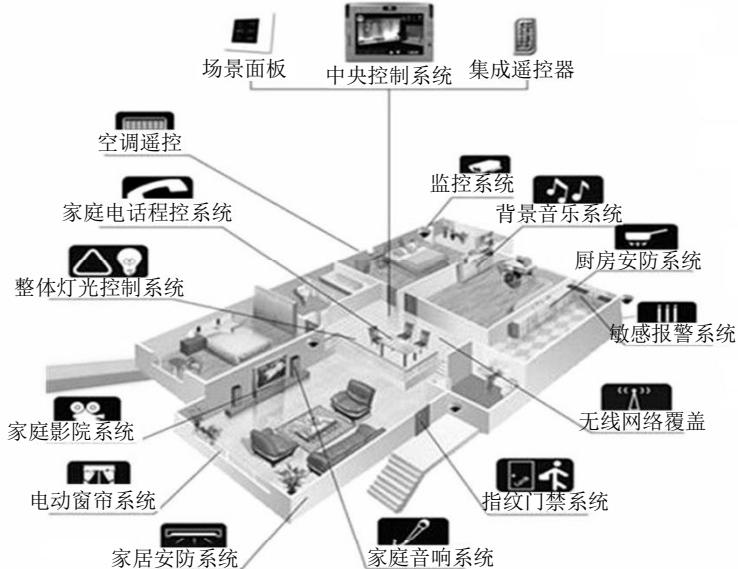


图1 智能家居系统图

2.2 BIM技术在设计中的应用

首先，设计师运用BIM软件，打造包含建筑结构、设施系统及家具摆设的三维模型，并为其附加实用信息。随后，利用BIM的空间分析及冲突检测工具，对各功能区域的大小规划、空间连贯性及设备安排进行综合考量与优化，让空间配置方案实现最优化。例如，在大型办公空间的规划阶段，设计师借助BIM系统预先设定标准区域，涵盖办公区、会议室、卫生间等，凭借灵活的参数调整，能快速生成多样化的平面布局方案，同时即时掌握各功能区的面积比例。BIM技术的不断革新与广泛应用，正推动建筑设计领域向智能化、精细化、人性化的新高度迈进，致力于为人们创造一个更加理想的居住与工作环境。

2.3 数字化设计工具和软件的应用

在装饰装修设计中，数字化技术的核心在于巧妙运用各类设计工具与软件。这些数字化助手极大地提升了设计师的工作效率与精确度，使他们能够以创新的方式构思并展示设计方案，同时也为客户提供了一个更加直观且互动性强的设计预览。特别是三维建模与渲染软件，它们在数字化设计中扮演着举足轻重的角色。通过这些软件，设计师的创意能够轻松转化为生动、立体的三维模型，每一个设计细节都被详尽无遗地展现出来。与传统手绘草图相比，三维建模在展

现空间感与比例关系上更具优势，帮助客户更加透彻地领悟设计师的构想。此外，这些软件还具备强大的材质、光影效果模拟能力，使设计师能够在施工前便对设计成果的最终效果进行预判^[3]。

在装饰装修设计领域，虚拟现实（VR）和增强现实（AR）技术正逐渐成为众人瞩目的焦点。VR技术能够创造出逼真的虚拟环境，让设计师与客户仿佛走进设计蓝图中，身临其境地体验。通过佩戴VR设备，设计师能够带领客户踏入虚拟的室内空间，使他们直观感受到不同布局与装饰风格的最终效果。这种沉浸式的互动体验，增强了客户在设计决策中的参与度，显著减少了后续的设计修改与调整。同时，AR技术也为设计展示带来了全新的创意与个性化手段。设计师借助AR应用，可以即时地将虚拟的家具、装饰品等融入客户的真实居住环境中，使他们能够直观地审视和评估设计的实际效果。

2.4 通过3D打印技术实现装饰元素设计的个性化

三维打印，也称为快速原型制作或叠加式制造，是一种先进的制造技术，它依据电脑中的三维设计图，通过数字技术，累积并热融固化金属、陶瓷及塑料等材料，可创造出实体物品。将创新技术融入室内装饰艺术，特别是雕塑与小型饰品的创作中，能超越传统工艺束缚，实现个性化定制，满足多元设计愿景。实施步骤如

下：起初，设计师运用 AutoCAD、3ds max、ZBrush 等三维设计软件，将创意精雕为数字模型，同时进行艺术润色与结构优化，令其愈发精致。随后，对这些数字模型进行精密切片，并设定恰当参数，转换为 3D 打印机兼容的 STL、OBJ、AMF 等格式文档。继而，设计师依据装饰品的实用功能、整体风貌及成本考量，灵活挑选多种 3D 打印素材，诸如尼龙、铜材、不锈钢、陶瓷等，甚至采用多材质打印技术，以实现色彩斑斓、质感丰富的整体打印效果。最终，这些 3D 打印的装饰品不仅体现了个性化的设计理念，还凭借数字原型的精确性，实现了批量生产，广泛应用于各个领域，极大地扩展了传统手工艺品的市场供应范围与创作空间^[4]。

3 数字化技术在建筑室内装饰设计中的应用案例分析

3.1 采用 BIM 技术进行空间布局

设计师采用 BIM 技术于空间规划之中，依据公寓原有的房间配置与设计风格，一个精确的三维参数模型得以顺利构建。在这个模型所呈现的虚拟世界里，团队着手对空间划分进行优化，并对布局进行精细的调整。BIM 技术凭借其卓越的可视化和参数化特性，为设计师们带来了前所未有的灵活性，设计团队得以灵活调整各功能区域的尺寸、比例及其相互间的布局，同时快速衡量多种设计方案的实际可行性和预期成效^[5]。经过透彻的剖析与精细的比对，他们最终采纳了一个富有新意的开放式布局构思，巧妙融合客厅、餐厅与厨房等公共活动空间，创造出一个既显得开阔明亮，又极具变通性的环境氛围。在这个连贯的空间内，设计师们巧妙地运用了可移动的隔断以及富有创意的家具布局，成功实现了空间的灵活划分与功能的便捷转换。

3.2 运用 AR 技术进行色彩设计

设计师运用增强现实（AR）工具，在公寓实体模型现场即时环境中，对各种色彩方案进行了生动的渲染和模拟，并与屋主进行了多次详尽沟通与细节上的修正。借助 AR 技术，屋主能够沉浸式体验色彩变换对室内氛围及视觉效果的深刻影响，从而做出更为贴切、满意的抉择。设计师选定了鲜明的黄色与纯白色作为空间的主打色彩，共同打造出一个既清新雅致又现代简约的居住天地。这两种色彩巧妙融合，居住空间顿时变得宽广明亮，更增添了一抹轻盈且灵动的韵味。

3.3 借助光线追踪技术模拟采光和照明

设计师采用光线追踪科技，深入模拟并分析了公寓各区域在不同时段的采光与照明需求。设计师们凭借非凡创意，实现了自然光与人工照明的无缝对接。

通过智能化的照明调控系统，他们能够随心所欲地变换灯光氛围，依据不同场合自如切换，精准贴合了业主在各类活动及情绪变化中的照明期望。白天，利用明亮清新的自然光，为室内空间注入了无限活力；夜晚，则切换为温暖柔和的黄色调照明，营造出宁静舒适的家居环境。这样的设计策略，确保了公寓在一天中的任何时刻都能呈现出最为和谐的色彩搭配与氛围营造。

3.4 运用 3D 打印技术打造个性化效果

设计师将 3D 打印技术与经典手工艺精妙结合，创造出一系列专为公寓设计的独特艺术品，包括雕塑、悬挂饰品及照明设备等多样形式，每件作品均为空间量身而作。这些艺术品在外形设计、材质选择及色彩运用上，均与公寓内的淡雅黄与纯白主色调完美搭配，相互映衬，共同构建出一种和谐而统一的视觉享受。以客厅电视墙为例，设计师运用 3D 打印技术，设计出一组蕴含抽象几何之美的浮雕装饰。这组装饰选用了鲜明的柠檬黄与柔和的象牙白两种色调，带来一种和谐统一的视觉效果。这样的创意不仅赋予空间丰富的艺术气息与立体层次，还彰显出现代简约的设计精髓^[6]。

4 结束语

基于数字化技术的建筑室内装饰设计方法，在提高设计效率、优化设计方案和提升客户体验等方面具有显著优势。通过应用 3D 建模、虚拟现实、人工智能等技术，设计师可以更加科学、合理地进行室内装饰设计，客户也能更加直观地了解装修效果，提出更具体的修改意见。此外，数字化技术还能提高施工管理的效率和质量，确保装修工程的顺利进行。因此，装修公司应积极引入数字化技术，逐步实现数字化转型，以提升自身的竞争优势。

参考文献：

- [1] 李思. 探究建筑装饰装修设计中的结构安全性问题 [J]. 居舍, 2023(01):82-85.
- [2] 黄璜. 多功能办公用房建筑装饰设计 [J]. 江苏建材, 2022(05):31-32.
- [3] 俞文斌. 集成化背景下建筑室内装饰施工技术与管理研究 [J]. 中国建筑装饰装修, 2023(01): 124-126.
- [4] 周荣山. 建筑装饰室内色彩设计的探讨 [J]. 居舍, 2021(35):34-36.
- [5] 王志豪, 程海鹏. 建筑装饰材料在室内设计中的创意性应用 [J]. 科海故事博览, 2023(29):100-102.
- [6] 吴礼, 喻新辉, 周海兵. 建筑室内装饰工程的装配式施工工艺研究 [J]. 居舍, 2020(36):41-42.

测绘新技术在自然资源测绘工程中的应用研究

林宪光

(梁山县规划服务中心, 山东 济宁 272600)

摘要 测绘技术作为自然资源管理和规划的重要技术支撑, 正在发生着空前的变化。传统的测量方法, 如经纬仪水准仪等, 虽然在历史上起过很大的作用, 但是随着自然环境的复杂变化以及对精度要求的不断提高, 其局限性也日益显现出来。本文指出引进测绘新技术可以提升测绘工作的效率和精度, 为自然资源测绘提供一条崭新的途径。这些测绘新技术以高效率、高精度和全覆盖的优势, 逐渐成为自然资源测绘的主流技术, 不仅可以实现大范围、高分辨率地表信息的获取, 而且可以对地形、植被、土壤等多维信息进行深度分析和综合处理, 为合理开发和保护自然资源提供数据支撑。

关键词 测绘新技术; 自然资源; 测绘工程; 测绘数据

中图分类号: TB2

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.05.008

0 引言

将新的测绘技术应用于自然资源测绘工程, 不仅对测绘作业方式和方法进行了革新, 而且对自然资源管理观念也产生了深刻的推动作用。通过对自然资源的实时动态监测和分析, 管理者可以更直观地把握自然资源的分布情况、变化趋势和潜在的风险, 进而制定更科学合理的保护利用策略。同时, 测绘新技术的应用, 也将推动测绘成果的数字化和信息化进程, 使测绘数据更方便地与其他领域共享和融合, 为建设智慧地球, 服务于社会经济的可持续发展打下坚实的基础。可以预见, 测绘新技术将继续引领自然资源测绘工作, 为保护绿水青山, 促进人与自然和谐共生做出贡献。

1 测绘新技术概述

随着现代社会的飞速发展, 越来越多的企业利用先进的测绘设备采集、分析数据, 并依据数据编制程序进行相应的检验。简单地说, 就是通过测量土地和工程, 能够得到更为精确的资料。

测绘新技术就是将信息技术与空间技术有机地结合起来的。其中, 信息技术是以传统的测绘技术为基础, 采用信息化手段、现代化的方式, 利用卫星进行测绘^[1]。以往的测绘工作都是通过三角法来获得所需地点的地貌状况, 再与自然环境相结合, 不但要耗费大量的人力、物力, 而且在地形复杂、人烟稀少的地方, 传统的测绘技术会受到极大的制约, 精度和工作效率都会受到极大的影响。测绘新技术突破了时空的局限, 各种技

术手段的应用将大大提高测绘工程的质量。

2 测绘新技术在自然资源测绘工程中应用的意义

2.1 提升测绘精度与效率, 为资源规划奠定坚实的基础

以无人机遥感和卫星定位为代表的新型测绘技术, 由于其高精度和高效率, 已成为自然资源测绘工作的重要组成部分。与传统测绘方法相比, 该方法能更精确地捕捉地形特征, 降低人为误差, 提高测绘精度^[2]。同时, 新型测绘技术还具有响应速度快、数据处理效率高的特点, 可大幅缩短测绘周期, 为合理规划开发自然资源提供及时可靠的数据支撑。近年来, 山东省梁山县的城镇化进程得到快速发展, 精准测绘数据对土地利用政策制定和资源优化配置具有重要意义, 而新型测绘技术的应用为梁山县的土地利用和资源优化配置奠定了坚实的基础。

2.2 促进资源保护与环境监测, 助力可持续发展

新型测绘技术在自然资源保护和环境监测中显示出巨大的潜力, 利用遥感技术对山东省梁山县的森林采伐、水体污染等自然资源的动态变化进行实时监测, 为环保部门提供预警信息, 便于及时采取干预措施。同时, 还可利用新技术建立山东省梁山县的自然资源数据库, 实现各种资源的动态管理, 为实现可持续发展战略提供科学依据。测绘新技术在梁山县的生态保护红线划定和生态修复效果评价中发挥着无可替代的作用, 有效地促进人类与自然的和谐共生。

2.3 推动测绘行业技术创新, 提升国际竞争力

新型测绘技术的出现与应用, 不仅对自然资源测绘工作方式方法产生了革命性的影响, 而且对整个测绘业的技术革新和发展起着重要的推动作用^[3]。而且新型测绘技术的广泛应用, 带动了地理信息产业、智能制造等相关产业链的形成, 为国民经济和社会发展注入了新的活力, 将进一步提高我国在国际测绘界的地位与影响力。

3 测绘新技术在自然资源测绘工程中的应用策略

3.1 集成无人机遥感技术 (UAV-RS) 进行高精度数据采集

随着科学技术的发展, 新的测绘技术被越来越多地应用于自然资源的测绘工作中, 无人机遥感技术以其高效、准确的优势, 成为高精度遥感获取的重要手段。无人机遥感是一种集无人机、遥感、数据处理、应用于一体的新遥感技术, 利用无线通信技术将数据实时传送至地面接收站或数据中心, 并利用专用的软件及算法进行处理, 达到识别、分类与量测的目的^[4]。

对于梁山县而言, 在具体实施过程中, 需要先科学地设置测量网, 无人机遥感测图系统配置 GPS 技术可分为静态差分技术和动态差分技术, 静态差分技术通过建立基站来分析测绘测量数据, 保证定位精度; 而动态差分技术属于载波相位差技术, 能实现精确的坐标定位。例如, 当工程施工遇到地基开裂、梁结构变形等情况时, 可利用无人机遥感布设监测网, 可对工程结构进行全方位的监控, 及时发现和上报相关问题, 保证问题得到及时解决。同时合理运用 GPS 测图技术, 在外业测绘中可利用 GPS 技术, 精确地定位施工现场各个施工点, 提高测量结果的精度。在正式测量之前, 必须对现场进行系统的调查, 合理地确定关键测点的位置, 并做好标志。例如, 按要求在适当位置安装无线 GPS 设备, 增强天线底座的稳定性, 确保接收信号不出现异常, 对施工现场进行全方位监控等。另外, 还要注意数据的处理和融合, 可采用高分辨率数字转换器和数据处理器的无人机遥感技术, 提升测绘工程所获得的数据信息具有较高的分辨率。目前无人机拍摄的视频分辨率可达 0.1~0.5 m。利用数据处理技术, 将无人机拍摄的图像转化为用户需要的数据, 并将处理结果反馈给控制器。例如, 将激光雷达技术与无人机航测技术相结合, 可进一步提高森林资源测绘的效率与精度。LiDAR 技术和无人机航测技术提供了高精度的地形数据, 二者相辅相成, 构建一套完整细致的森林资源测绘系统。而且在实施过程中, 还需要注意无人机遥感技术易受外界干扰和数据处理能力不足等问题。所以, 需要结合实际情况, 更加深入地研

究和分析技术, 争取最大限度地发挥其优势。例如, 无人驾驶飞机飞行时, 可通过优化航路设计、控制旋倾角及像片倾角来避免数据畸变、图像模糊, 从而提高数据的精度与可靠性。

3.2 应用卫星遥感技术 (Satellite Remote Sensing) 进行大范围监测

卫星遥感以其覆盖范围大、重访周期短等独特优势, 已成为自然资源动态监测不可缺少的重要手段。Sentinel-2、Landsat 等中、高分辨率光学 / 雷达卫星能够提供地表反射率、植被指数、地表温度等重要信息, 为有效管理与保护自然资源提供科学依据^[5]。通过设置特定的光谱指标及变化检测算法, 准确把握自然资源的动态变化。

以 Sentinel-2 卫星为例, Sentinel-2 卫星搭载多波段成像仪, 可提供 10~60 m 的空间分辨率和 5 天的时间分辨率。这些数据为自然资源的监测提供丰富的信息来源。比如在森林砍伐的监测中, 可利用 Sentinel-2 卫星遥感数据, 利用时间序列分析方法, 对采伐强度进行监测。例如, 在梁山县森林砍伐的监测过程中, 可设置相应的参数阈值 (如将 NDVI 阈值设定为 0.5, 具体数值根据具体植被类型进行调整), 当某一地区的植被指数连续几个月都在这一阈值之下, 就可以判定该地区为毁林地区, 可设置连续 3 个月的时间窗。在此基础上, 结合 Sentinel-2 卫星的红边光谱数据, 进一步提高森林砍伐监测的精度, 红边带是一种对叶绿素敏感的波段, 能更准确地反映植被的健康状态。利用 Sentinel-2 卫星的地表反射率与地表温度资料, 进行土地退化监测。例如, 通过对地面反射率资料的分析, 可对因水土流失造成的地表裸露程度进行评价; 同时, 地表温度资料也能反映出盐碱化对地表温度的影响。具体的参数设定可包括: 将地表反射率阈值设置在一定范围内 (如根据土壤类型而调整 0.15~0.25), 而地表温度异常值 (例如 $\pm 5\%$) 则被确定为高于或低于周围区域的平均温度。Sentinel-2 光谱资料在水体污染监测中同样具有重要意义。通过对水体反射率、色度等光谱特性的监测, 结合水质参数反演模型, 对水体污染程度进行评价。例如, 利用 Sentinel-2 卫星的蓝光、绿光谱资料, 可反演出水体中叶绿素 a 含量, 从而判断水体营养状况。具体参数设置包括设定叶绿素 a 浓度阈值 (如 10 $\mu\text{g/L}$), 超过该阈值即判定为受污染区域。

3.3 引入激光扫描技术 (LiDAR) 进行三维地形测绘

激光扫描 (LiDAR) 技术由于其独特的优势, 逐渐

成为自然资源测绘领域的骨干力量。激光雷达(LiDAR)是一种基于激光测距原理的激光雷达技术,它将高频率的短脉冲激光束发射到目标区域,精确记录激光脉冲发射至接收的时间差,结合GPS/INS的高精度位姿信息,实现地表和植被的高精度测量^[6]。该方法不仅可以获取地表形态信息,而且可以利用多重回波技术穿透植被,揭示地表下的地貌细节,为地质结构分析、水土流失评价等研究提供数据支撑。

在梁山县的三维地形测绘中,需要对激光雷达技术应用进行细致的规划,以保证数据收集的全面性与准确性。首先,根据测绘要求,选择适合的激光雷达系统是非常重要的,针对大面积自然资源测绘,建议采用重复频率达几十万赫兹的机载激光雷达(LiDAR),选择波长时可选择对植被穿透性较强的近红外波段,如选择1 550 nm确保植被覆盖区仍有较好的反射信号。同时,集成高精度的差分GPS(DGPS)和惯性导航系统(INS),实现厘米级乃至毫米级的高精度定位,为后续数据处理打下基础。在数据处理方面,可采用LASTools、CloudCompare等高级后处理软件对原始点云数据进行预处理。该方法采用滤波算法对非目标物的回波信号进行滤除;利用点云分类技术,对地物、植被和建筑物进行分类,提高数据的可用性;在此基础上,利用三角网构造或曲面插值等方法生成连续的三维地形模型。在此过程中,需要选取合适的分类门限、滤波参数及插值分辨率,以保证模型准确性,如在对地面点进行滤波时,可以将高度差阈值设为0.1 m,保证对地面点的精确识别;在进行三维建模时,可选取0.5 m的网格分辨率,这不仅能保证模型的细节性,而且还可以对数据的数量进行控制,方便后续的分析和应用。

3.4 利用移动测量系统(MMS)进行精细化调查

移动测量系统(MMS)是自然资源测绘领域的一项具有扎实基础和前瞻性的革新技术。该系统将高精度全球定位系统(GPS)、先进惯导、高分辨激光扫描和360度全景相机等多源传感技术有机结合,构建一种动态、高效的三维空间信息获取系统。该技术体系既能保证数据采集的全面性和实时性,又能实现多源数据的精准融合,实现自然资源空间特性的深层次挖掘和精确表达。其中,MMS因其对环境适应能力强、穿透能力强等特点,在复杂多变的自然条件下(如密林、蜿蜒河流、城市绿肺等),可为精细调查提供前所未有的技术支撑。

在实施过程中,需要紧密结合自然资源测绘工作的实际需要,建立科学、合理的工作流程。在项目前期,根据梁山县的地形地貌、植被覆盖率等特点,选

择合适的MMS设备配置方案,如采用测距距离远、精度优于5 mm的大动态范围全景相机,以保证数据采集的全面性和准确性。在此基础上,利用GPS和INS的高精度定位信息,结合激光扫描器的快速扫描能力(扫描速度大于百万个/秒),实现对目标区三维点云数据的高效获取。同时,将SLAM技术引入局部地图构建和自定位中,有效解决GPS信号不良地区数据获取困难的问题,进一步提高测绘工作的稳定性与精度。另外,数据处理阶段也是非常重要的,此项技术的应用亦可利用先进点云处理软件对采集到的数据进行降噪、配准、分割和三维重构,生成高精度三维模型及数字表面模型(DSM)。通过设定合理的阈值参数(如噪声过滤阈值设定为点云距离的标准差倍数,通常为2~3倍),可有效地剔除无效数据,保留关键信息,保证计算结果的准确可靠。这一技术的应用可为资源规划、环境保护、灾害监测等提供有力的数据支持,促进自然资源管理向智能化、精细化方向发展。

4 结束语

新型测绘技术应用于自然资源测绘项目,不仅能提高测绘工作效率和精度,而且能为合理开发和保护自然资源提供有力的技术支持。随着遥感、无人机测绘、激光雷达、GIS等技术的不断融合和创新,梁山县的测绘工作逐渐向智能化和自动化方向发展。这些技术的应用,不仅可以实现大范围高精度地表信息的快速获取,而且可以动态监测自然资源的变化,在国土资源管理、生态环境保护、城市规划建设等方面具有重要意义。未来,随着科技水平的不断提高,应用范围的不断扩大,新的测绘技术必将在自然资源测绘工作中发挥越来越大的作用,为自然资源保护与利用提供技术保证。

参考文献:

- [1] 霍景焕,刘志友.测绘地理信息技术在自然资源调查中的应用[J].北京测绘,2024,38(12):1645-1651.
- [2] 张海燕.无人机测绘技术在年度国土变更调查中的应用探析[J].工程建设与设计,2024(20):88-90.
- [3] 李强.测绘新技术在森林资源测绘工程中的应用分析[J].中国资源综合利用,2024,42(09):79-81.
- [4] 王超跃.浅谈测绘新技术在国土空间规划与管理中的应用[J].华北自然资源,2024(05):106-108,113.
- [5] 罗林峰.测绘新技术在自然资源测绘工程中的应用[J].价值工程,2024,43(06):131-133.
- [6] 胡华华,朱宇航.测绘新技术在测绘工程中应用的常见问题及对策[J].城市建设理论研究:电子版,2024(04):168-170.

基于支持向量机的核电设备进度风险识别模型

胡云鹏, 吴光升

(中国核电工程有限公司, 北京 100840)

摘要 本研究利用支持向量机针对核电设备的进度风险识别问题进行了建模, 模型的参数寻优应用交叉验证法, 通过模型的分类功能对设备进度风险进行了评价, 将识别预测结果与实际情况进行了比对, 结论为进度风险识别模型基于 10 份训练样本的学习即可对 18 份检验样本实现 88.9% 的分类准确率, 其可以作为项目管理者进度风险管理有效的辅助工具。

关键词 核电设备; 进度风险; 支持向量机; 交叉验证法

中图分类号: TP3

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.05.009

0 引言

为应对气候变化, 加快能源转型已在全球范围形成广泛共识, 能源配置格局、供给结构和产业生态正加速演变, 能源发展“清洁化、电气化”的特征愈发显著。核能发电稳定性强且单位碳排放量低, 是“双碳”背景下稳定清洁的基荷电源^[1]。2021 年我国核电发展政策由“安全高效”调整为“积极有序”^[2], 大力推动了核电机组的核准进程。近年来, 随着国内核电项目的积极启动以及在核电设备国产化的背景下, 设备采购过程中存在的进度风险越来越受到各级项目管理者的重视。设备供货的进度风险失控是导致核电项目建设周期延误的重要原因之一。目前大多数核电设备采购进度风险的评估模式以采购管理者的经验分析及主观判断为主, 具备客观分析及量化统计的评价工具较少, 从而使设备采购进度风险的管控工作较为依赖管理者的经验水平。当前信息化技术已在核电工程建设管理领域大范围应用^[3], 应尝试引入新的风险管理工具。

Cortes 和 Vapnik 于 1995 年首次提出了支持向量机的概念, 它的策略主要是围绕最大化分类间隔和最小化分类错误, 主要任务是针对小样本数据研究其统计规律和学习本质^[4]。支持向量机是基于监督和学习的算法, 用于分类和回归分析, 相比其他机器学习在有限样本模型方面具有较大的优势, 它可以同时兼顾模型的复杂性和分类能力, 最大程度地解决了欠学习和过学习现象, 在一定意义上规避了“维数灾难”。因此, 支持向量机在解决样本数量有限、非线性问题、高位空间识别和局部极小值这一类的预测中有较好的应用优势, 由于其强大的理论基础, 良好的泛化能力,

成为机器学习领域中的重要工具之一。

针对核电项目建设中设备供货的进度风险识别问题, 本文通过收集有限的训练学习样本, 基于支持向量机建立核电设备进度风险识别预测模型, 应用交叉验证法对模型参数进行数据寻优, 完成对核电设备进度风险的识别和评价, 并将模型针对检验样本的预测数据与实际项目执行情况进行比对。

1 支持向量机的理论基础

支持向量机可以简化理解为一个线性分类器, 它通过最大化样本数据之间的间隔来找到一个最佳的分类超平面, 通过该平面进行数据分类。这种分类方法不但要求分类面能将两类样本点准确地分开^[5], 而且它的学习策略要使数据间的分类间隔达到最大。支持向量机计算求解的过程通过拉格朗日乘子法实现。

支持向量机在进行数据分类的过程中需要引入精度参数 ϵ 。假设样本是一个数量为 n 的 k 维向量, 即 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n) \in \mathbb{R}^k \times \mathbb{R}$, 目标函数为 $f(x) = w \cdot x + b$ 。由于可能存在一些样本不能匹配目标函数的精度参数 ϵ , 那么需要引入松弛因子 $\xi_i^* \geq 0$ 和 $\xi_i \geq 0$ 。此时一个回归问题可以转化为求下方函数最小值的问题:

$$F(w, \xi_i, \xi_i^*) = \frac{1}{2} w \cdot w + C \sum_{i=1}^l (\xi_i + \xi_i^*) \quad (1)$$

其约束条件为:

$$\begin{cases} y_i - w \cdot x_i - b \leq \epsilon + \xi_i \\ w \cdot x_i + b - y_i \leq \epsilon + \xi_i^* \quad i = 1, 2, \dots, n \\ \xi_i \geq 0, \xi_i^* \geq 0. \end{cases} \quad (2)$$

其中, ζ_i 、 ζ_i^* 是松弛变量的上限和下限。此外, 支持向量机还有一项关键的惩罚参数 C , 其一方面可以控制模型对误分类的容忍度, 另一方面可以控制模型的复杂程度。

对于非线性的分类问题, 支持向量机将数据映射至高维特征空间, 然后在特征空间中寻找最优超平面, 该方法可使低维空间内线性不可分的问题转化为高维特征空间内线性可分, 这个过程称为特征映射。在高维空间中直接计算特征映射可能会非常复杂且计算成本高昂, 此时需要引入核函数解决此问题。

核函数的定义为 $K(x_i, x_j) = \Phi(x_i) \cdot \Phi(x_j)$ 。由 Mercer 定理得知, 只要该核函数满足 Mercer 条件, 它将对应某一个变换空间中的内积, 因此设置不同的核函数可以对应形成不同的支持向量机。例如线性函数, 径向基 (RBF) 函数, 多项式函数, Sigmoid 函数等都是使用频率较多的核函数。其中径向基核函数的特点是在计算难度较小的情况下可以达成较高的精度, 本文使用径向基函数 $K(x_i, x_j) = \exp(-\gamma \|x_i - x_j\|^2)$ ($\gamma > 0$) 作为进度风险识别评价模型的核函数^[6], 其中 γ 是径向基核函数的参数。

2 核电设备进度风险评价模型

2.1 进度风险评价模型建立

核电设备不同于火电、化工等工业领域设备, 其具有技术复杂、设计接口多、合同执行周期长、质保标准高等特点。此外, 核安全级设备的设计、制造还需要受到国家核安全管理等部门的监督。依据核电设备采购管理的典型特征, 可以将“合同签订交货期”“设计文件平均交换周期”“设备核安全等级”“技术方案成熟度”和“供应商成熟度”几个方面作为设备进度风险的关键因素进行评价。模型建立时将上述几个风险因素量化后作为评价模型的输入。

根据支持向量机的分类功能建立支持向量分类机模型, 风险因素围绕上述五个方面制定, 具体的量化形式见表 1。此外, 将支持向量分类机模型精度 e 设为 0.001。

2.2 参数选择

支持向量机有两项关键参数, 分别是径向基函数的参数 γ 和惩罚因子 C , 这两个参数的设置将很大程度上影响模型的预测能力、学习能力和泛化能力。本文采取交叉验证法针对 C 和 γ 两个参数取值进行寻优, 寻优区间设置为 2^{-5} 到 2^{10} , 步长值设为 1。通过寻优, 支持向量分类机的分类准确率最高时便可得到 C 和 γ 的最优取值 (见图 1)。

表 1 设备进度风险评价因素的量化形式

评价因素	量化形式	参数说明
合同签订交货周期 D	$D=d$	合同交货时间为 FCD +d 个月 d—设备交货周期 (月)
设计文件平均交换周期 T	$T=1, 2, 3, 4$	1 ($T < 1$ 周); 2 (1 周 $< T < 2$ 周); 3 (2 周 $< T < 3$ 周); 4 ($T > 3$ 周)
设备核安全等级 N	$N=1, 2, 3, 5, 7$	$N=1$ (NC 级设备); $N=2$ (LS 级设备); $N=3$ (核 3 级设备); $N=5$ (核 2 级设备); $N=7$ (核 1 级设备)
技术方案成熟度 P	$P = 1, 2$	$P=1$ (有成熟参考方案); $P=2$ (需开发新方案);
供应商成熟度 L	$L=1, 2, 3$	$L=1$ (原供方); $L=2$ (新供方 - 有核电经验); $L=3$ (新供方 - 无核电经验);

(注: T 为整个合同执行周期内的供应商的平均数值, 其余评价因素在合同签订后即可取值。)

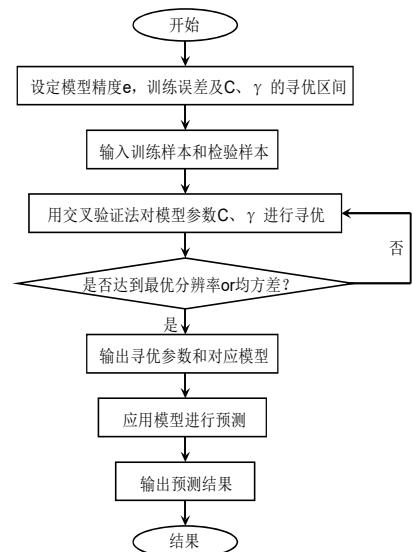


图 1 进度风险评价模型建模和寻优流程图

3 结果与分析

3.1 模型训练样本

在核电项目建设过程中, 不同的设备需要根据整体工程进度计划按阶段进行交货, 设备的滞后到货将影响现场建安工作的正常开展, 从而对整个工程进度带来负面影响。根据工程经验, 将风险识别评价模型的分析结果按照 4 个等级进行分类: 评价结果 0, 进度正常; 评价结果 1, 进度延误, 设备延误周期在 30 天内;

评价结果 2, 进度延误, 设备延误周期在 30~90 天内; 评价结果 3, 设备延误周期超过 90 天。

模型进行机器学习时需要同时兼顾经验风险和泛化能力, 因此选取了能够反映全部样本典型特征的 10 个供应商在某核电项目中的供货设备执行信息当作训练样本。模型训练样本的具体信息见表 2。

表 2 训练样本说明

样本 编号	评价因素					样本 标签
	D	T	N	P	L	
1	13	2	1	1	3	1
2	35	4	7	1	2	3
3	16	1	2	2	1	0
4	8	2	2	1	1	2
5	20	2	3	2	2	1
6	25	3	5	2	2	2
7	18	2	2	1	2	0
8	9	1	1	1	3	1
9	32	3	7	2	1	3
10	11	1	1	1	2	0

3.2 核电设备进度风险的分类预测

模型参数通过交叉验证法得到的最优值为 $C=1$, $\gamma=0.1$ 。利用支持向量分类机建立的进度风险识别评价模型在完成 10 项训练样本的学习后, 针对 18 项检验样本进行了分类预测, 预测结果见表 3。

进度风险识别评价模型的预测结果表明, 基于 10 个有限样本的机器学习, 检验样本的分类准确率能够达到 88.9%, 其中只有检验样本 5 号及 11 号的预测结果与实际标签存在偏差。本文模型建立过程中没有将训练及测试样本按照合同类型、采购方式等做进一步划分, 如是否为纯进口设备或存在第三方代理等形式, 设备采购管理者可根据具体的合同形式就模型的样本做适应性优化, 针对性地设定模型评价因素, 以便提高模型的学习能力, 进一步提升识别预测的准确率。

综上, 支持向量分类机能够作为一种识别和评价进度风险有效的辅助手段, 模型通过机器学习预测出的风险等级可以作为设备采购管理者评估具体合同执行进度风险时的参考依据, 以期更好地完成设备采购进度风险的识别工作。

4 结束语

基于支持向量分类机搭建的风险识别评价模型在核电设备进度风险分类预测方面可达到较高的准确率,

表 3 检验样本分类结果

样本 编号	评价因素					样本 标签	预测 标签
	D	T	N	P	L		
1	19	2	3	1	1	1	1
2	27	3	5	2	2	2	2
3	30	3	7	1	2	3	3
4	7	1	1	1	2	1	1
5	19	1	2	1	2	0	1
6	18	2	2	1	2	0	0
7	13	1	1	2	1	0	0
8	25	3	5	2	1	2	2
9	16	1	1	2	3	0	0
10	17	2	1	2	2	0	0
11	23	2	3	1	2	0	1
12	33	3	7	2	2	3	3
13	27	3	3	2	2	1	1
14	9	1	1	2	3	1	1
15	15	1	1	1	2	0	0
16	10	2	1	1	2	1	1
17	26	2	5	1	2	2	2
18	24	2	3	2	1	1	1

其可以作为项目管理者评价设备进度风险有效的辅助工具。当前信息化技术已在核电工程建设管理领域大范围应用, 建议可将风险识别评价模型整合入企业的信息化系统, 以便进一步提高核电工程建设企业的设备进度供货风险管理水平。

参考文献:

- [1] 李海. 积极安全有序发展核电 助力低碳转型 [J]. 中国能源, 2024(03):56-62.
- [2] 郭天超, 孙善星, 张文娟. “碳中和”目标下核能积极有序发展策略研究 [J]. 中国能源, 2021(05):44-50.
- [3] 孙宇珊. 基于信息化技术的核电工程施工监控与优化分析 [J]. 城市建设理论研究, 2024(23):131-133.
- [4] 贾川逸, 肖迎元, 姜涛. 粒度支持向量机研究综述 [J]. 天津理工大学学报, 2024, 40(03):57-65.
- [5] 张春, 冯碧娟. 基于支持向量机的电声信号故障诊断方法 [J]. 电声技术, 2024, 48(04):154-156.
- [6] 纪家平, 贺福强, 谢丹. 基于机器视觉和改进支持向量机的苹果外观分级检测 [J]. 计算机与数字工程, 2024, 52(03):925-930.

建筑电气安装中智能化技术应用与质量提升策略

刘秀彬¹, 闫博²

(1. 北京云湖建筑工程有限公司, 北京 101500;
2. 山东绿城青和建筑设计有限公司, 山东 青岛 266000)

摘要 在现代建筑工程中, 电气安装作为建筑施工的重要组成部分, 不仅关乎建筑的正常运营和使用功能, 还直接影响建筑工程的安全性与可靠性。为了提升电气安装的效率与质量, 智能化技术的应用成为建筑电气安装领域的创新方向。本文分析了传统建筑电气安装方式的局限性, 指出智能化技术引入的必要性, 阐述了自动化控制系统、物联网技术、BIM技术及人工智能等智能化手段在电气安装中的具体应用, 并探讨了智能化技术如何有效提升设计和施工精准度、强化安全管理、实现施工过程中的实时质量监控以及优化工期管理, 以期为相关人员提供借鉴。

关键词 建筑电气安装; 智能化技术; 自动化控制系统; 物联网技术; BIM技术

中图分类号: TU17

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.05.010

0 引言

智能化技术的引入为建筑电气安装行业带来了革命性的变化。随着建筑行业对高质量、高效率施工的要求不断提高, 传统的电气安装方式已经难以满足现代建筑项目的需求。因此, 智能化技术不仅能够解决传统安装方式存在的问题, 还为建筑电气行业的升级与发展提供了新的动力。智能化技术的推广不仅提升了建筑电气安装的整体水平, 也推动了建筑行业的现代化进程。

1 建筑电气安装的现状分析

1.1 传统电气安装方式的局限性

传统电气安装往往缺乏系统化的管理与协调, 施工人员需根据手工图纸进行各类安装, 容易出现设计错误、施工偏差及材料浪费等问题。在质量控制方面, 传统电气安装技术的质量监控相对滞后, 通常依赖人工检查和施工现场的经验判断。由于缺乏实时监测和数据反馈机制, 施工质量常常存在难以预见的隐患, 如电气线路的布设不规范、设备调试不彻底等问题, 最终导致后期维修和保养成本的增加。

在电气安装过程中, 安全隐患是不可忽视的重点问题。由于电气设备和线路的安装往往涉及高空作业、电气火灾等风险, 传统方式中人工操作不当和安全意识不足容易引发施工事故。施工人员在操作过程中缺

乏实时的安全监控系统和报警机制, 安全隐患未能及时得到识别和处置, 会对工程质量和人员安全造成极大的威胁。

1.2 智能化技术在提升建筑电气安装质量方面的潜力

智能化技术不仅能够提高电气安装的效率, 还能显著提升质量控制水平。借助BIM技术, 施工人员可以在施工前对电气系统进行三维建模, 确保设计与施工的一致性, 提前排查潜在的设计冲突和施工难题, 从而避免由于施工误差导致的返工和质量问题^[1]。通过数据分析和实时监控, 智能化技术可以帮助施工人员及时调整施工方案, 提高安装的准确性和精度。

智能化技术在质量提升方面的潜力还体现在故障预警和智能维护上。通过安装智能传感器和监控系统, 建筑电气设备的运行状态可以实时反馈给管理人员, 提前预测和防范设备故障, 确保电气系统长期稳定运行。这样不仅提高了电气系统的可靠性, 还大大减少了后期维护和修复的成本。

2 智能化技术在建筑电气安装中的应用

2.1 自动化控制系统的应用

在设计阶段, 智能电气控制系统通过集成BIM技术, 能够对电气设备的布局、管线走向和负载需求进行全面的模拟分析。设计人员可以通过三维建模的方式,

提前优化电气系统的配置，避免施工过程中的设计冲突，减少现场调整的需求。

在施工阶段，智能电气控制系统通过自动化设备的控制，替代了传统的人工操作。例如，自动化控制系统可以调节电气设备的电压、电流、温度等参数，确保电气设备在符合要求的环境下进行安装和调试。同时，智能化的施工监控系统可以实时采集和分析数据，确保安装过程的每个环节都符合设计要求，从而减少人为失误和质量问题。

智能电气控制系统不仅在施工阶段发挥重要作用，还能在建筑的后期运维过程中继续提供支持。通过将电气设备连接到物联网平台，管理人员可以实时监控设备的运行状态，并进行远程故障诊断与调整，提前识别潜在问题，减少设备故障和停机时间^[2]。

2.2 物联网技术的应用

基于物联网技术，电气设备，如变压器、开关设备、配电箱等，可通过无线传感器与云平台连接，实时传输其运行状态、工作参数以及设备健康状态。这些传感器不仅能够检测到设备运行中的各类数据，还能通过智能化分析判断设备的工作状态，识别潜在的故障或异常情况，及时向操作人员发出警报。物联网技术使得电气设备的远程控制成为可能，无论是电气设备的开关操作、参数调整，还是设备的故障排除，操作人员都可以通过移动设备或 PC 远程进行操作，大大提高了电气设备维护和管理的效率。

数据分析是物联网在电气安装中的核心应用之一。通过数据采集和实时传输，系统可以实时分析施工过程中的数据，监测每个电气设备的工作状态及施工质量。例如，通过电流和电压的变化，可以预测电气设备是否存在过载或电路接触不良的风险，通过温度监控可以判断设备是否处于安全的工作范围内。实时分析的结果能够为现场施工人员提供即时反馈，帮助他们对施工方案进行动态调整，优化施工进度和质量控制。例如，如果某一段电线的安装出现过热或电压不稳定的情况，系统可以即时报警并提供调整建议，避免问题的进一步扩大。

2.3 BIM 技术的结合应用

BIM 技术通过创建建筑物的数字化三维模型，将建筑的各个系统进行一体化展示。在电气安装设计中，BIM 技术可以对电气线路、设备的布置、管道走向等进行精确建模。这一过程不仅使设计人员能够提前识别存在的设计冲突，还帮助设计团队优化空间利用，确保电气设备的合理布局和施工的可行性。通过 BIM 技术，可以进行全方位的冲突检测，提前发现并解决这

些设计冲突。通过模拟电气安装与建筑结构、通风管道、给排水管道等其他系统的布局，BIM 技术能够有效避免安装过程中出现的空间碰撞问题，确保设计与施工方案的协调一致。

在施工过程中，BIM 技术能够与智能化技术协同工作，对电气设备的安装质量进行实时监控。通过集成传感器数据，BIM 技术可以实时显示电气设备的安装状态，确保每个安装环节符合设计要求。系统还可以自动检查电气线路和设备的接线质量、电流电压的运行状态等，及时发现问题并反馈给施工人员，确保质量控制更加精准、实时^[3]。在电气安装过程中，由于现场施工条件、环境变化或设计变更，施工方案需要进行动态调整。BIM 技术与智能化技术的结合，使得这种调整变得更加灵活和高效。例如，智能传感器可以实时获取设备的运行数据，通过 BIM 模型反馈系统，自动调整电气安装的布局或设备选型，智能化技术还可以根据施工进度和质量控制需求，智能调度施工资源、设备和人力，提高施工效率和资源利用率。

2.4 人工智能与机器学习的创新应用

人工智能通过机器学习算法分析电气设备的历史运行数据、环境数据和实时监测数据，能够预测设备的故障或性能衰退。例如，基于传感器采集的电流、电压、温度等数据，AI 可以识别出设备是否存在过载、短路、接触不良等潜在问题。机器学习模型能够从大量历史数据中提取规律，预测设备出现的故障类型和故障时间，提前发出警报并提示维护人员进行预防性维护。设备调试是电气安装过程中至关重要的一环，传统的调试过程通常依赖人工检查和手动调节，容易造成操作误差或调试不彻底。而通过人工智能技术，设备调试过程可以更加智能化、自动化。AI 可以通过分析电气设备的参数，实时调整设备的运行状态，使其达到最佳性能。例如，在安装空调、变电设备等过程中，AI 系统能够自动识别设备的最优设置，自动完成系统调试，并根据现场环境条件进行自适应调整，确保设备的运行效率和稳定性。

3 智能化技术提升电气安装质量的策略

3.1 提高设计与施工的精准度

BIM 技术可以将设计图纸转化为三维数字化模型，涵盖建筑的所有细节，如电气系统的布置、管道走向等。在施工前，设计师和施工团队可以使用 BIM 模型进行虚拟仿真，检查设计方案的可行性，避免在实际施工中出现不必要的错误^[4]。通过三维模型的精确呈现，各方人员可以提前发现设计中的潜在问题，如电气线路与结构设施的冲突等，确保设计方案得到精准

实施。智能化技术通过自动化设计软件可以快速生成、分析并优化设计方案。设计师可以利用智能设计工具，快速调整和修改设计参数，系统能够自动计算并给出优化方案，确保电气设计在实际施工中的可执行性。

通过物联网技术与实时数据分析，施工现场可以进行全程实时监控。例如，在电气安装过程中，传感器可以实时监控电气设备的安装质量、电流、电压等参数，及时发现任何异常情况。智能化监控系统能够对施工过程中的每个环节进行检测，自动纠正偏差，减少了人工检测可能带来的漏检或错判情况。智能化质量控制系统基于大数据分析和机器学习，能够在施工过程中实时分析电气设备和材料的质量数据，判断其是否符合设计标准。质量控制系统会自动记录每一项施工操作的数据，确保每个环节的质量可追溯，并且为后续的维护和优化提供数据支持。

3.2 安全管理与风险控制

基于物联网和智能摄像头，现场安全监控系统能够实时监控施工人员的工作状态、设备运行情况及现场环境，确保施工现场始终处于可控状态。例如，安装的智能摄像头可以监控到施工人员是否穿戴防护装备、是否进入危险区域等，系统能够自动报警，提醒施工人员注意安全，确保安全规定得到遵守^[5]。智能监控系统还可以通过集成传感器数据（如温度、湿度、气体浓度等）检测施工现场的环境安全状况。若某一区域的环境参数超出安全范围，如电气设备过热等，系统将自动发出警报，及时阻止潜在的危险发生。

大数据分析技术通过对历史项目数据、施工过程中的实时数据及外部环境信息的综合分析，能够为项目管理人员提供全面的风险评估。例如，通过分析过往项目的安全事故数据，系统能够识别出常见的风险因素，如电气故障、设备损坏等，并预测可能发生的风险。利用大数据，风险管理人员认可以基于现有项目的施工进度、工人工作状况、气候条件等数据进行综合预测，提前识别潜在的安全隐患，并采取预防措施，降低安全事故发生概率^[6]。

3.3 施工过程中的实时质量监控

通过将智能传感器与物联网技术结合，施工现场的所有设备和环境条件都可以实时传输到管理平台。这些传感器和设备的状态数据可以通过无线通信传送到中央控制系统或云平台进行汇总与分析。物联网技术使得现场管理人员能够随时随地通过移动设备或电脑查看施工过程中的各类数据，做到远程监控和决策。智能传感器不仅能够实时监控施工质量，还能在设备

发生故障前发出警报。通过实时收集设备的运行数据，系统能够识别出设备的异常状态并进行智能分析，判断其可能发生的故障类型。比如，如果电气设备的运行温度超标，传感器会提前发出预警，并根据设定的标准，系统会自动停止设备运行或切换到备用系统，避免质量问题的扩展。

在施工过程中，施工质量预测不仅能够帮助识别当前存在的问题，还能通过对未来可能发生问题的预测，动态调整施工方案。例如，如果数据分析显示某项施工工序的质量指标不符合要求，智能系统可以建议调整施工材料、改变施工方法或调整工期安排，以确保整体施工质量^[7]。在电气安装中，系统通过实时监测发现电气负载与设计标准不符，基于这些数据，管理人员可以调整设备配置或优化安装工艺，确保电气设备的安全运行。

4 结束语

通过引入BIM技术、物联网技术、人工智能技术，建筑电气安装的设计、施工、质量控制和安全管理得到了极大的优化。智能化技术的应用不仅提高了施工效率，缩短了工期，还显著提高了施工质量，减少了返工率和错误率。实时数据监控、智能调度系统等创新技术使得电气安装过程中的每个环节都更加精准和高效，确保了项目按时交付。在质量管理方面，智能传感器与物联网技术的结合，使得施工质量得到了实时监控与调整，避免了由于质量问题导致的返工或进度延误。通过大数据分析与AI的预测与优化，施工过程中的潜在风险和质量隐患可以得到及时识别和处理，确保了项目质量的可靠性。

参考文献：

- [1] 孙海龙.建筑电气工程智能化技术的施工策略实践探索[J].智能建筑与智慧城市,2023(03):132-134.
- [2] 张睿.智能建筑中的电气施工技术分析[J].集成电路应用,2022,39(10):144-145.
- [3] 杜园元.BIM技术在建筑电气安装工程中的应用探究[J].中小企业管理与科技,2022(09):114-116.
- [4] 池春养.建筑电气安装施工及其质量控制[J].建筑技术开发,2021,48(24):187-188.
- [5] 仲小荣.建筑电气安装的施工技术研究策略[J].工程建设与设计,2020(17):180-181,184.
- [6] 王永平.智能建筑电气安装施工技术措施的探讨[J].中国住宅设施,2020(07):111,119.
- [7] 李建明.智能建筑电气安装施工技术研究[J].建材与装饰,2020(16):17,19.

智能制造技术在机械制造工程领域的实践应用分析

王永新

(山东金珠材料科技有限公司, 山东 德州 251100)

摘要 在智能制造技术的驱动下, 我国机械制造工程领域正迎来前所未有的变革, 智能制造的融入使传统机械制造流程得到优化, 更在生产效率与产品质量上实现了显著提升。本文深入剖析了智能制造技术在机械制造中的实际应用, 并对其核心技术的实践意义进行了详尽探讨, 还对该技术在机械制造领域的未来发展进行了前瞻性分析, 旨在为行业的智能化进步提供有力的理论与实践支持。

关键词 智能制造技术; 机械制造工程; 自动化技术

中图分类号: TH16; TP2

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.05.011

0 引言

在科技飞速发展的今天, 智能制造技术已成为工业进步的关键推动力。特别是对于机械制造工程这一国民经济的核心产业, 智能制造的需求尤为突出。智能制造的引入代表了对传统生产模式的革新, 更预示着机械制造行业的未来发展方向。通过深度融合信息技术、智能技术与传统制造技术, 智能制造实现了生产流程的高效化、精确化与可控化, 为行业转型升级奠定了坚实的基础。

1 机械工程及智能化创新实践的重要性

1.1 有助于提升企业市场竞争力

在全球化的市场竞争中, 机械工程及智能化创新实践对于实现经济效益最大化和增强产业竞争力具有举足轻重的作用。随着国际市场的不断开放, 国内机械制造企业面临着前所未有的挑战。为了在激烈的市场竞争中立足, 企业必须不断创新, 提高产品的科技含量和附加值。智能化技术与机械工程的深度融合, 为企业提供了转型升级的契机。通过研发智能化产品, 优化生产流程, 企业不仅能够满足市场日益多样化的需求, 更能够降低成本, 提高生产效率, 从而实现经济效益的显著提升。同时, 这种创新实践还能够推动整个机械制造产业向高端化、智能化方向发展, 提升国内机械工业在国际市场上的竞争力^[1]。因此, 机械工程及智能化创新实践对于推动产业进步和经济发展具有深远的意义。

1.2 有利于培养创新型人才

在科技日新月异的今天, 机械工程及智能化创新

实践成为培育创新型人才的重要途径。创新型人才是推动科技进步和产业升级的核心力量, 而机械工程及智能化领域正是他们大展拳脚的舞台。通过这一实践, 相关专业的人才能够深入理解和掌握机械工程的最新技术, 同时在智能化浪潮中锻炼创新思维和实践能力。这种实践不仅要求人才具备坚实的专业知识, 更强调他们在面对实际问题时的分析和解决能力。在挑战与机遇并存的环境中, 人才能够不断突破自我, 实现个人价值的最大化。因此, 机械工程及智能化创新实践对于培养具备创新精神和实践能力的优秀人才具有不可替代的作用。

2 现阶段机械设计制造及其自动化技术的不足

2.1 缺乏自主创新能力, 科技成果转化效果不佳

在机械设计制造领域, 虽然我国已取得了长足进步, 科技创新层出不穷, 但必须清醒地认识到, 自主创新能力仍然是我们的软肋。当前, 生产工艺与产品在很大程度上依赖于外部引进, 缺乏自主研发以及创新核心技术。一些已经研发出的科技成果在转化过程中效率低下, 未能有效转化为实际生产力, 这种情况严重制约自动化技术在机械设计制造领域的深入发展和应用, 成为必须正视的问题。

2.2 设备陈旧, 投入不足

尽管自动化技术在我国机械设计制造行业中得到了广泛应用, 但部分企业仍面临着生产设备陈旧的问题, 这些老化的设备往往因资金短缺而无法得到及时更新。一些企业在设备更新投入上犹豫不决, 或者缺乏必要的资金支持, 导致自动化设备的保障力度不足,

直接影响自动化技术在机械设计制造行业的应用效果，使其难以充分发挥应有优势，陈旧的机械设计制造设备如同一道无形的枷锁，束缚自动化技术的发展步伐。

2.3 环境污染过于严重，资源利用效率低

我国丰富的资源为机械设计制造行业提供了有力支撑，推动了行业水平的提升，然而，这也带来了生态环境方面的挑战。随着机械设计制造的快速发展，一些企业在追求经济效益的同时，忽视了生态环境保护的重要性，根据相关数据显示，部分地区的环境质量已经严重超标，引发新的社会矛盾，对机械设计制造及其自动化的发展产生了不良影响，资源的过度消耗与低效利用加剧了环境污染问题，也成为制约机械设计制造行业可持续发展的瓶颈。

3 智能制造技术在机械制造工程领域中的具体应用

3.1 智能制造技术在机械加工设计中的应用

在机械制造工程的众多环节中，机械加工设计是构建产品基础的重要步骤，尽管我国的机械制造工程相对于国际领先水平起步较晚，但发展速度却令人瞩目，然而，在设计和生产方面仍有广阔的提升空间。传统机械加工设计模式常常受到技术成熟度与精确度的限制，导致从初步设计到样品制作，再到反馈修改，整个流程不仅耗时漫长，且资源消耗巨大，增加了生产成本，对后续生产效率产生不利影响。智能制造技术的出现，为机械加工设计领域带来了前所未有的变革，借助高端的计算机软件，设计师能更为高效地应对复杂的设计任务，迅速产出精确的设计图纸^[2]。3D建模技术的运用使产品能在虚拟环境中得以呈现，极大地提升了设计直观性与准确性。通过对整个生产流程的模拟推演，设计师在设计阶段就能及时发现并修正可能存在的问题，大幅提高样品成功率。这种新型设计模式显著缩短了设计周期，减少了不必要的资源投入，推动设计流程与制造工艺朝标准化、规范化的发展方向发展，为机械制造行业的持续进步与繁荣奠定坚实的基础。

3.2 智能制造技术在机械加工控制中的应用

智能制造技术在机械加工控制环节的应用，是推动机械制造走向自动化、智能化的关键驱动力，随着技术的深入应用，传统的依赖人工操作的加工控制方式正逐步被自动化、智能化的新模式所取代，这一变革使机械制造过程更加高效、精准，实现了远程可控，极大地提升了生产效率与产品质量。智能制造技术的广泛应用，正是企业实现转型升级、提升核心竞争力

的重要途径。通过自动化控制系统，技术人员能够轻松实现对机械加工过程的精准控制，无论是参数调整还是进给量设定，都可在控制室内一键完成。这种远程控制模式的实现，大大降低了人工操作的复杂性和出错率，提高了生产过程的透明度和可控性，为企业的高效运作与长远发展提供了有力保障。智能制造技术的应用还推动了机械加工控制环节的智能化发展，借助先进的传感器和数据分析技术，系统能够实时监控生产过程中的各项参数和异常情况，及时发现问题并自动进行调整优化^[3]。智能化的控制方式提升了机械制造工程的整体效率与稳定性，大幅降低了生产成本与风险，为企业注入了新的活力与创新力，推动机械制造行业的持续发展与进步。智能制造技术的应用还促进机械制造企业与其他先进技术的融合与创新，通过与物联网、大数据、云计算等技术的结合，企业可实现对生产过程的全面监控和数据分析，进一步优化生产流程和提高产品质量，跨领域融合与创新为机械制造行业带来了前所未有的发展机遇与挑战。

3.3 智能制造技术在设备故障处理中的应用

设备故障排查与处理是确保生产线稳定运行、维护企业经济效益的关键环节，传统设备故障处理方式往往显得被动和滞后，难以做到防患于未然。然而，随着智能制造技术的深度融入，人们迎来了设备故障排查与处理的全新篇章。智能制造技术通过其先进的传感设备、自动化技术以及与智能算法的完美结合，构建起一套高效且精准的故障预警与处理系统，这一系统能够实时监控设备的运行状态，通过数据采集、传输与分析，为人们提供设备的全面运行画像，无论是设备的温度、压力，还是振动、转速，各项参数都尽在掌握，确保人们能够精准了解设备性能与状态。当系统通过数据分析检测到设备存在异常或潜在故障时，会立即启动预警机制，这一机制能迅速通知相关人员，确保故障得到及时处理，避免生产线中断。智能制造技术还能根据系统内预设的阈值和算法，对设备的运行数据进行深入分析，预测设备可能出现的故障类型与时间点，前瞻性的预测能力，使人们得以提前采取措施，对设备进行预防性维护，将故障扼杀在摇篮之中。智能制造技术在设备故障排查与处理中的应用，提升了设备运行的稳定性与可靠性，更在无形中延长了设备使用寿命，为企业节约了大量维护成本，同时也使人们的生产线更加智能化、高效化，为企业长远发展注入了强大动力^[4]。

3.4 虚拟仿真技术

设计研发是产品诞生的起点，也是决定产品质量

和市场竞争力的关键环节，然而，传统图纸设计方式往往受限于二维平面，难以全面展现产品的真实形态和性能，一旦出现设计错误或不符合市场需求的情况，修改和调整的过程将异常繁琐。随着科技的飞速发展，当前迎来了虚拟仿真技术这一创新工具，通过计算机建模和虚拟场景构建，将设计研发过程带入了全新的三维世界，在这里，设计者可以自由创建、修改以及优化产品模型，无需担心传统图纸设计的种种限制。虚拟仿真技术的优势在于其强大的可视化与交互性。通过这一技术，设计者、工程师乃至客户都能够直观地看到产品的三维模型，准确评估其外观、结构和性能，虚拟仿真技术还能模拟产品在各种环境和条件下的运行状态，可帮助人们提前发现并解决潜在设计问题^[5]。模拟运行过程中一旦发现问题或不符合设计要求的情况，设计者可立即在虚拟环境中进行调整，即时的反馈与修改机制大大提高了设计效率，确保产品质量与性能符合市场需求。虚拟仿真技术还为团队协作提供了便捷的平台，设计者、工程师和客户可在同一虚拟环境中进行交流讨论，共同推动产品优化创新。

3.5 智能设计与仿真

在机械制造工程领域，智能设计与仿真技术正以前所未有的方式改变着传统的设计与生产方式，借助先进的计算机辅助设计 (CAD) 和计算机辅助工程 (CAE) 技术，工程师如今能以更高的速度与精度进行复杂机械部件与产品的设计。这一变革的核心在于三维建模和虚拟装配技术的引入，通过这两项技术，设计师能够在虚拟环境中创建和测试机械部件，在设计阶段就及时发现并解决潜在的问题与冲突，不仅显著减少了后期生产中的返工和资源浪费，还确保了最终产品的质量与性能达到预设标准。CAE 技术的深度应用进一步强化了这一趋势，通过力学分析、热分析等仿真手段，设计师能在产品实际生产前对其性能进行准确预测，这种预测能力不仅提升了设计的科学性和精确性，还为优化产品设计提供了有力支持。以汽车制造业为例，智能设计与仿真技术的广泛应用极大地缩短了新车型的研发周期，这一变革对于企业快速响应市场变化、推出更具竞争力的产品具有重要意义，同时，通过在设计阶段就充分优化产品性能，这一技术还显著提升了消费者的驾驶体验与满意度。

3.6 智能加工与制造

在智能加工与制造领域，智能制造技术同样展现出了惊人的潜力，数控机床与自动化加工生产线的广泛应用，确保了加工过程的精度和一致性，大大提高

了产品质量与生产效率。工业机器人的普及更是将智能制造推向了新的高度，这些机器人不仅能够在恶劣或危险的环境中代替人工进行作业，保障工人的安全，还能通过精确的数据分析优化生产流程，进一步提高生产效率，这一变革对于提升企业竞争力、降低生产成本具有重要意义^[6]。以 3D 打印技术为例，3D 打印技术作为智能制造领域的新兴技术，正在为机械制造带来革命性的变化，通过快速、准确地制造出复杂形状的零部件，3D 打印技术不仅省去了传统的模具制造过程，还大大降低了生产成本与时间，在航空航天等高科技领域，这一技术已经展现出了其独特的优势，为轻量化、高强度的零部件制造提供了创新的解决方案。智能制造还推动了供应链的优化和物流管理，借助先进的物联网技术和大数据分析，企业能够实时监控生产线的运行状态，预测维护需求，确保生产的连续性，不仅减少了意外停机时间，还提高了设备综合效率。

4 结束语

传统机械制造模式的局限性日益凸显，难以跟上市场的快速变化，机械制造工程亟需向现代化、数字化与智能化方向转型，实现计算机与生产技术的有机融合。这一变革将智能制造推向行业前沿，不仅展现了行业未来的发展趋势，更体现了对市场需求的深刻洞察，智能制造的广泛应用，将大幅提升生产效率，改善产品质量，更好地响应市场的动态需求。随着智能制造技术的深入应用，智能加工与制造将继续引领机械制造行业的发展方向，未来可以预见，更加智能化的生产线、更高效的制造流程和更创新的技术应用将不断涌现，推动整个机械制造行业朝着更高质量、更高效率、更低成本的方向发展。

参考文献：

- [1] 刘洪鹏.新时代背景下机械智能制造现状与发展策略研究[J].南方农机,2022(22):150-152.
- [2] 伯天江.智能机械设计制造自动化特点及发展探究[J].科海故事博览,2023(03):19-21.
- [3] 唐卿.基于智能制造技术的智能机械制造工艺[J].现代制造技术与装备,2022(09):193-195.
- [4] 王童.浅谈机械制造企业在智能制造发展中的信息化建设[J].现代工业经济和信息化,2022(07):206-207.
- [5] 蔡佳丽,蔡丽娟.智能制造背景下机械设计及自动化技术发展方向[J].时代汽车,2022(11):145-146.
- [6] 王建中,颜平.机械装备制造产业智能制造发展现状和对策[J].现代制造技术与装备,2022(03):219-221.

明挖深基坑及隧道施工技术要点分析

曹建祥

(四川川交路桥有限责任公司, 四川 广汉 618300)

摘要 明挖深基坑及隧道施工技术能在施工过程中有效提升施工效率、确保隧道结构的安全性并及时发现相关质量问题。在技术要点方面, 施工团队可以优化基坑支护体系、控制地下水且合理应用机械化施工、隧道爆破技术, 进而检测基坑变形程度, 有效减少施工风险。本文探究了明挖深基坑及隧道施工技术要点, 并提出切实可行的思路, 旨在为相关人员提供借鉴。

关键词 明挖深基坑; 隧道工程; 基坑支护体系; 地下水控制; 土方开挖

中图分类号: U45

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.05.012

0 引言

明挖深基坑及隧道施工技术是一种高效的地下工程施工方法, 广泛应用于城市轨道交通、地下管廊等基础设施建设中。在进行深基坑开挖时, 施工团队通常要在施工区域建设复杂的支护结构进行加固, 确保周围土体稳定, 防止周围环境受到影响。在隧道施工中, 明挖法通过大面积开挖作业, 能够直接控制施工过程中的土体变形与结构稳定性, 进而为隧道的后续施工提供坚实的基础。面对不同地质条件与施工环境, 合理的技术选型及施工工序, 将直接影响工程质量。

1 明挖深基坑及隧道施工技术的特点

1.1 作业面开阔, 提升施工效率

明挖法适用于开阔施工场地, 宽阔的作业空间会使得设备、材料以及人员的进出更加便捷, 减少施工过程中不必要的操作延误。除此之外, 在深基坑与隧道施工中, 需要大量的机械设备, 开阔的场地也能有效支持调度大型设备。在这样的作业环境下, 施工进度能显著加快, 进而高效调度现场管理^[1]。与此同时, 作业面开阔会使各项施工工序更加直观, 工程管理人员可以清楚地观察施工过程中各项任务的执行情况, 及时发现潜在问题并进行调整。这种透明性有助于确保工程质量, 减少施工中的隐患。大规模的作业面还利于组织、协调各项工作, 在多个方向上同时开展施工作业, 提高资源利用效率, 为快速推进项目提供有力保障。

1.2 受力条件优越, 保证安全性

由于明挖法中隧道主体结构处于较为稳定的地表环境下, 受力分布较为均匀, 相较于其他施工方法, 结构的受力状况更为清晰可控。这种受力特点使设计

师能准确预判并优化支护系统的结构, 确保支撑体系在施工过程中的稳定性。与此同时, 由于明挖法通常采用稳固的边坡支护结构与锚固体系, 能有效防止地下水浸入, 进一步提高整体施工过程的安全性。在施工过程中, 隧道主体结构所承受的外部荷载较为直接, 因而施工人员能实时监测受力变化, 及时调整支护结构与施工方案, 防范潜在的安全风险。

1.3 质量问题易于发现与控制

由于施工区域较大, 施工人员可以清晰地观察到隧道的各个阶段, 及时发现施工中的质量问题。在围护结构的施工过程中, 支撑体系、锚固点以及土方开挖都能直观地反映是否存在异常, 进而采取相应的措施进行调整。这种作业面带来的透明性使施工人员能高效控制施工质量, 并在问题发生初期就识别、解决, 减少后期可能带来的返工^[2]。除此之外, 明挖法施工过程中, 相关人员可以实时检测基坑边坡、支撑结构以及隧道施工的各个环节质量, 显著提升施工的可控性与安全性, 有效保证隧道工程的质量。

2 明挖深基坑及隧道施工技术要点

2.1 优化设计基坑支护体系

基坑支护的主要任务是防止基坑周围土体变形, 避免基坑坍塌。施工团队在设计支护体系时需根据土质、地下水位、基坑深度以及周围环境等多个因素进行合理选择。设计方案必须满足稳定性、经济性及施工的可操作性三个基本要求。常见的基坑支护方式涵盖钢板桩、预应力土钉墙、锚杆支护以及混凝土喷射支护等, 每种支护方式都有其适用条件^[3]。在深基坑施工中, 技术人员优化支护体系的关键是合理布置支护结构, 保障支撑力与抗变形能力最大化, 并减少施

工对周围环境的影响。

在实际项目中,若项目位于城市繁华区域,基坑深度达18米,周围建筑密集,地下水位较高,施工环境复杂。为确保基坑稳定性,设计团队需结合钢板桩与土钉墙设计支护体系。钢板桩可以有效阻止基坑周围土体的水平位移,但无法有效抑制竖向位移与地下水渗透,因此,设计人员在钢板桩基础上加入土钉墙以及地下排水系统,形成多重防护。在钢板桩的选择上,施工团队运用厚度为12毫米,长度为12米的高强度钢板桩,符合陆地打桩10厘米标准,钢板桩的间距为1.5米。在基坑深度达到18米时,钢板桩的耐压性和抗拉能力会有效支撑基坑。建筑土钉墙时,施工人员使用预应力土钉,土钉长度8米,每根土钉的预应力约为150 kN,还要根据基坑形状优化土钉的布置方式,保障土钉墙的支撑力均匀分布,避免基坑一侧过度变形。为应对地下水渗透问题,施工团队还在设计方案中设置了三条地下排水沟,排水沟的深度为3米,宽度为0.5米。排水沟的作用是降低基坑底部的水位,避免土体受水浸泡导致强度下降。除此之外,土钉墙同钢板桩间的连接要采用钢拉杆,增强整个支护体系的稳定性。

2.2 地下水控制与排水技术

地下水的存在会影响土体稳定性,导致基坑积水、支护结构破坏以及施工质量问题,由此,施工团队必须采取有效的排水措施。地下水控制通常涉及监测地下水位、设计排水系统以及隔离水源等技术手段^[4]。根据不同的施工环境,地下水控制方式可分为主动、被动两类。主动控制通常有设置降水井、深井泵抽水等措施,被动控制则主要依赖岩层的防水性或自然排水条件等地质条件天然屏障。一般来说,基坑排水系统包括集水井、排水管道及井点降水系统等。在施工过程中,施工团队要依据地下水的流量、流速与基坑实际情况动态调整,保证水位始终处于可控范围。

在深基坑施工项目中,若基坑深度达到20米,周边地下水位较高,且地质为砂层和粉质土交替分布,具有较强的透水性。施工团队应针对该情况,采用深井降水技术与井点降水等措施控制地下水。施工人员要在基坑周围布置多个深井,每口深井的深度达到30米,井内安装高效水泵抽取地下水。在基坑四周还要布置多个井点,利用抽水井降低基坑周围土体水位,有效控制基坑内外水位差。与此同时,在设计整个排水系统时,设计人员需考虑最大降水流量及降水周期。在施工过程中,施工团队实时监控水泵,根据降水效果灵活调整泵机运行,确保基坑水位始终控制在设计范围内。另外,针对周围地层复杂的情况,施工人员

还可以采用分区分层降水方案,将基坑分为多个区域,逐层降水,有效避免局部降水过度导致的土体沉降问题。通过精确监测地下水位变化及土体压力变化,相关人员能及时调整排水设备运行状态,保护基坑安全。

2.3 土方开挖的机械化施工

机械化土方开挖能够提高施工效率,有效控制土方的开挖质量。传统人工挖掘受限于劳动强度大、作业环境差等因素,而机械化施工能在较短的时间内完成大量土方开挖工作,并且适应环境的能力较强。随着施工技术的不断发展,各类土方开挖机械逐渐形成集成化、智能化趋势。现代土方开挖机械主要包括挖掘机、推土机、运土车等,施工人员根据每种机械设备的功能特点合理配置,实现最大化的施工效益。与此同时,机械化施工还可以借助数字化技术进行实时监控,精确调节土方开挖的深度与角度,减少人工操作误差。

在深基坑施工中,若该基坑总深度达到28米,土层复杂,主要由砂土、粘土组成,且周围环境密集,施工条件相对苛刻,为提升施工效率,施工团队可采用盾构机及其他辅助设备,结合数字化技术优化土方开挖、运输流程。相关人员可以选用两台斗容为3.2立方米的盾构机,其作业效率可达到每小时180立方米以上,精准挖掘砂土、粘土层。在此过程中,盾构机能够实现精确控制开挖深度以及横断面形状,并在较为狭小的空间内进行作业,有效降低施工过程中的土方扰动风险。为保证施工的精准度,施工团队还可以配置GPS定位系统实时监控盾构机,掌握盾构机的作业深度、位置及状态,确保挖掘过程中不会偏离设计轨迹。在作业过程中,技术人员要严格控制盾构机每一轮的挖掘深度在1.5米以内,保证土方开挖同基坑设计要求相符。除此之外,盾构机配备的自动化系统能实时反馈土层变化,使盾构机在遇到复杂土质时自动调整作业参数,防止出现土质变化导致的施工困难。除此之外,施工团队还依据土方运输需求,科学配置推土机、装载机等设备,配合盾构机的开挖工作。

2.4 隧道施工中的爆破技术

爆破技术的核心目标是精确控制爆破力的释放,达到岩体松动并减少对周围环境的影响。隧道施工中的爆破一般包括设计爆破、布置孔位及选择爆破剂等多个环节。施工团队在设计爆破时需要综合考虑岩石的抗压强度、裂隙的分布以及周围环境,确保爆破后隧道轮廓的稳定性,避免影响周围建筑物或交通设施^[5]。控制爆破的关键在于精准控制起爆时刻、计算爆破药

量和合理的排爆顺序。隧道爆破施工过程中，爆破振动是影响环境的主要因素，基于此，设计人员在设计时要充分考虑减少振动及声波传播的措施。

在隧道施工中，若施工段穿越一段岩石密实且裂隙较少的地层，传统机械挖掘方法进展缓慢，且存在较大施工风险，为提高施工效率并保障安全，施工团队需采用爆破开挖技术，合理设计爆破参数，顺利分裂岩体且确保隧道轮廓的精准性。施工前，勘察人员需详细地进行地质勘查，分析相关数据，确认该段地层的岩石抗压强度为200~300 MPa，岩体内部裂隙较少，这要求采取较为精确的爆破设计。在爆破设计中，设计人员根据该岩体特点，设计孔径为100毫米，孔深达到8米的爆破孔，孔距为1.5米。为保证爆破后的岩石破碎效果良好，爆破人员可以使用结合硝酸铵类炸药与起爆器的方案，控制每个爆破孔的炸药量为1.2千克，利用延时起爆技术，设置每个爆破孔的起爆时间间隔为20毫秒，减少爆破震动对周围环境的影响。在爆破实施过程中，施工团队引入智能监控系统，实时监测爆破震动峰值速度是否低于法规规定的5毫米/秒安全标准。

2.5 基坑监测与控制变形措施

基坑监测主要涉及实时监测基坑变形、支护结构变形以及周围环境变形，检测人员采集并分析有效数据，能及时发现施工过程中的潜在风险，调整施工方案或采取紧急处理措施。基坑变形的主要类型包括水平位移、垂直沉降及倾斜变形等，这些变形一旦超出预设的安全范围，将严重影响支护结构的稳定性，甚至引发基坑坍塌等后果。为控制变形程度，施工团队可以采用全站仪、位移计与沉降监测点等多种监测手段。与此同时，实时监测数据有助于工程师快速识别变形趋势，进而采取相应的加固措施，确保基坑施工的顺利进行。

在深基坑开挖作业中，当基坑深度约为18米，面积达到5 000平方米，周围环境复杂，有多条交通干道、商铺以及地下管网时，为保证基坑安全施工，施工团队应采用多点位移监测、沉降监测以及地下水位监测等手段实现全方位监控。基坑工程的监测项目应根据基坑工程安全等级、设计要求及周边保护要求选取，并符合相应的要求（见表1）。其中，施工人员要在基坑四周设置15个倾斜变形监测点，安装高精度电子倾斜计，用于检测基坑支护结构的倾斜变化。通过对日常监测数据，若检测人员发现基坑南侧支护墙出现轻微的倾斜，最大偏移量为3毫米，未超出设计标准（一般设计容许偏移为5毫米），则立即启动预警机制，使用全站仪进行更加精细的检测，确认倾斜的原因主要为土层不均匀沉降，进一步分析后得出可能存在局

部地基承载力不足的结论。为控制变形，施工人员可以加固基坑南侧支护墙，增设临时支撑桩，检测支撑桩的受力情况，保证支撑系统能有效承受额外负荷，与此同时，施工团队调整开挖顺序，采取分段开挖方式，避免大面积开挖造成的整体沉降。除此之外，监测团队还需24小时监控基坑周围的地下水位，采取地下水抽排措施，在安全范围内增设深井泵控制水位。

表1 基坑监测项目表

监测项目	基坑安全等级		
	一级	二级	三级
支护结构顶部水平位移和沉降	△	△	○
支护结构在坑深范围内水平位移（测斜）	△	○	√
基坑变形范围内水平位移（测斜）	△	○	√
周围建（构）筑物、地下管线变形	△	△	○
基坑周边地面裂缝	△	△	○
土体深层位移	△	○	√
地下水位	△	△	○
桩内力	△	○	√
内支撑轴力	△	○	√

（注：△为应测项目，○为宜测项目，√为可测项目。）

3 结束语

明挖深基坑及隧道施工作为常见的工程方法，其技术要点贯穿各个施工环节，每一个环节的优化、完善都是保证工程安全、质量与效率的关键。在作业面开阔优势下，施工团队能显著提升施工进度及质量控制，并合理设计支护体系，为保证安全提供坚实的保障。与此同时，土方开挖的机械化施工与爆破技术，进一步优化了施工工序，降低了施工成本，有效提升了整体工期的可控性。

参考文献：

- [1] 李浩源.城市明挖隧道深基坑支护施工的关键技术[J].城市建设理论研究:电子版,2024(21):137-139.
- [2] 蔡惠华,陈亚峰.明挖法超大深基坑降排水设计与应用[J].施工技术:中英文,2024,53(11):109-114.
- [3] 王赫平.复杂环境条件下地铁深基坑明挖施工技术研究[J].工程机械与维修,2024(06):136-138.
- [4] 丁天.明挖隧道深基坑支护施工及结构稳定性探析[J].产业创新研究,2024(10):136-138.
- [5] 李亮.明挖隧道深基坑开挖的安全防护施工技术分析[J].中国住宅设施,2024(03):160-162.

工业厂房工程地基的加固与处理技术

许之宾, 侯保楠

(山东省环能设计院股份有限公司, 山东 济南 250000)

摘要 工业厂房工程地基是构成整个工业厂房的关键组成部分, 其稳定与否直接关系到整个工程的安全与品质。在当前工业发展的背景下, 对于工业厂房建设而言, 技术水平的提升日益迫切, 实现这一目标的首要任务是加强对基础设施的建造与提升, 致力于岩土勘察工作以获取详尽的地质资料, 并依据科学方法处理此类信息, 进而确保厂房建设的质量得到保障。本文深入探讨了工业厂房工程地基加固与处理技术的实际应用, 期望为相关人员的工作提供参考。

关键词 工业厂房; 工程地基; 加固与处理技术

中图分类号: TU47

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.05.013

0 引言

随着我国工业化进程的加速推进, 对工业厂房的需求日益增加, 同时也对工程质量提出了更高的要求。尤其是地基作为厂房建设的关键组成部分, 其稳定性和可靠性直接影响到整个工程项目的寿命和使用安全。然而, 由于我国用地面积有限, 地面环境复杂多样, 许多工业厂房建于地质条件较差的区域, 因此如何有效加固与处理工程地基, 成为工程技术人员面临的关键挑战。在此背景下, 研究工业厂房地基加固与处理技术, 不仅能够提高工业建筑的安全性能, 还能节约建设成本, 推动我国工业建筑行业的发展。

1 地基加固与处理对工业厂房建的重要性及要求

建筑项目的核心结构稳定性在很大程度上依赖于地基和桩基的建设品质, 这一点在工业厂房中尤为重要, 其承载着大量重量, 对耐久性和安全性要求极高。若忽视地基管理或不当的施工, 后期的建造工作可能会遭遇建筑物偏移甚至倒塌的严重后果。因此, 严格规范地基与桩基施工程序, 对于工业厂房建设来说是至关重要的。在现代建筑工程实践中, 地基通常分为两大类型: 自然形成的地基和通过人工处理后的地基。自然地基主要包括未扰动的岩石地带, 其稳定性能足以支撑大多数建筑物的需求。然而, 自然地基面积有限, 并且往往不能满足所有建筑工程的需求, 因此必要的人工地基加固措施是建设过程中的关键步骤。地面基础处理的目的是使地面达到足够的承载能力以支撑预期的建筑重量。在工业建设中, 桩基则构成了基础体系的另一支柱。它们不仅增强了地面的承载力, 还确保了建筑结构的稳定性和耐久性。桩基的技术性和功

能性意味着它们要在负载分布和承载力需求上进行精确的计算和适当的配置。通过合适的地基处理和桩基施工技术, 能够大大优化地面的承重性能, 并确保工程长期稳定运行^[1]。

2 工业厂房工程地基的加固与处理技术要点

2.1 桩基础的核心参数

桩基础设计的核心在于选定适合于建筑场地条件的桩型以及确定其基本参数, 包括但不限于对桩的类型、尺寸、排列方式以及数量等要素。对地基承载力的评估, 要求设计者深入研究地层承载力的分布特性, 并对其分布形态做出精确的判读。在实际应用中, 需要利用各种科学测试手段, 例如静载试验和动力触探试验进行参数验证, 并决定桩的入土深度。通过这些核心参数的精确计算与设计, 不仅能够保证单桩承载力的合理性, 而且有助于确保整个结构的稳定性与安全性, 这表现在对土层压缩性和桩身材料的综合考虑, 同时有效处理潜在的偏心荷载问题。

2.2 按基础结构等级计算单桩垂直承重

针对不同的建筑基础等级和功能需求, 单桩的垂直承重设计必须切实考虑到实际工况条件和规范要求。设计中应对桩身与土体之间的相互作用有准确的认识, 并考虑土的承载力特性和桩体接触面的受力分布。对于承载能力较大的土层, 如岩石层, 可以通过单桩承载试验来获取具体设计参数, 为单桩的承载力设计提供参考。在计算中, 应考虑不同深度土层的承载特性, 以及垂直荷载作用下的桩身弯矩和挠度, 并考虑安全系数, 以确保结构的可靠性和使用时不会超出承载极限。对大直径桩基的设计应采用符合工程实际的理论,

结合地面承重试验，可以有效提高设计预测的精确度，确保桩基础设计在不同等级结构中的适用性和安全性。

3 工业厂房工程常用的地基类型

3.1 桩基础

桩基础在工程建设领域中被广泛使用，它主要适用于上层建筑负荷较重，且土层分布不均的地质条件。当上层土体承载力不足而深层土体承载力较强时，桩基础能够有效地将建筑物的负载传递至深层坚固土层。在高沉降敏感性建筑中，桩基础可利用深埋土层的高承载特性，有效控制建筑物的总体沉降。在基础承载力过大或天然基础沉降较大时，桩基础同样适用，这种基础类型可以有效地减少不均匀沉降问题，提升建筑的整体稳定性。在土壤疏松、地质条件恶劣、施工条件复杂的情况下，钻孔灌注桩尤其显示其优势。它为上层建筑提供了一个坚实可靠的支撑平台，即使在遇到软弱土层或者水文地质条件不良的情况下，也能确保工程基础的安全稳固^[2]。

3.2 独立基础

独立基础因其具有稳固性和灵活性，在工程建筑中被大量运用。该基础种类适合于分布独立的建筑物柱，尤其是当建筑物被设计为框架系统，并且土层承载能力较均匀时更是如此。独立基础能够简化施工过程和减少材料成本，同时也能保证结构的稳定性和抗震性能。并设计该基础时，应严格控制地面载荷均匀分布，并根据实际需要合理选择基础截面，以确保其科学性与结构稳定性。在工业建筑中，考虑到使用独立基础可以实现建筑空间灵活性的最大化，这让独立基础在工业厂房的设计和施工中具有明显优势。

3.3 钢筋混凝土筏板

钢筋混凝土筏板通常用于土体承载能力较差且荷载分布不均匀的建筑现场。通过筏板基础结构，可大幅度降低基础单元间的载荷集中问题，并能够有效地应对由于沉降不均导致的结构不稳定性。由于这个基础的特性，特别是在地下室、地下设施以及潮湿土壤中的应用，这些场合常用筏板基础来避免渗水、漏水现象，提高结构的整体稳定性和承载力。钢筋混凝土筏板基础有利于确保工程的稳定性和长期运营的安全性。

3.4 条形地基

条形地基基础是一种在工业设施中被广泛使用的结构形式，这在高楼建筑中尤为常见。因为条形基础能够在受力上将负载均匀传递至土层，这种基础特别适用于那些负载大、沉降敏感度高的建筑物。特别是在遇到那些深层岩石质地良好，承载力稳定的情况下，

条形地基基础能保证高层建筑在各种条件下负载的安全分布，从而减少因地面不均匀沉降而造成的结构损害。在具体实施条形地基基础时，钢筋混凝土材料的应用可以增强条形基础在抗弯、抗剪能力方面的特性，促进其性能的全面发挥，从而确保整个高层结构的稳定性和安全^[3]。

4 工业厂房工程地基的加固与处理技术的具体应用

4.1 施工要点

在进行工业厂房的地基加固过程中，采用换填法加固技术是一项重要施工手段。填料以清洁、不带杂质的砂卵石为主，其配置应严格把控，以保证填料的均匀性和稳定性。为了确保基础的强度和稳定性，施工技术人员必须对铺装材料进行认真的挑选。砂卵石必须经筛选达到优质的工程质量标准，其粗糙度应处于中等水平，并具备较高的硬度。另外，分级砂砾也应保持清洁，不能含有杂草叶子、树根或其他可能影响工程质量的杂质。在施工进程中，需要设置好水平和垂直的导向桩，这些桩既作为参考用以检查路面宽度，同时也用于测量水平高程线^[4]。对于地下水位较高的地点，必须部署专门的措施来控制水位或进行抽水，以确保坑底无积水。在铺好地毡之前，必须对坑底进行全面的清洁，清理表面的浮土，并适当调整坑壁的斜度来保持其稳定性。特别要注意的是，当地下水位达到一定高度时，应采取分层铺设的策略，同时确保紧密连接的接缝，以及适当调节两层间的距离，范围在0.5米至1米之间。为防止侧壁和底层受到干扰，铺设过程中必须加以适当的保护措施。通过在基础坑内设置5×5米的网格桩，用作监控铺设厚度的辅助工具。对于地基的软基质或高地下水位区域，应实施沟渠排水和控制措施，以避免因水侵蚀造成的土层流失。对于含水量的控制，尤其是在基础铺垫的工艺中，要确保砂子的湿度稳定在理想状态。施工中采用分层填筑技术，需要谨慎处理填料压实工艺，而当填充层厚度达到预定值时，应立即进行压实工序。相较而言，机械操作比手工更加高效，但对土壤结构的破坏也相对较大，因此操作人员必须按照产品说明书或标准进行严格操作。在施工的最后阶段，平整地面并检查高程必须严格执行，以确保质量可控。每一层的密实度均需要达到规定的标准，否则不得仓促进入下一层施工阶段。

4.2 现场防护

在工业厂房换填施工过程中，现场防护是不能忽视的关键环节。特别是在砂卵石的回填阶段，为了保

护标准高程桩和轴线桩的稳定性和精确性，施工团队需要采取相应的防护措施，并定期复查，纠正可能出现的偏差。挖填后的基础施工要全面覆盖每一个施工面，确保不遗漏。防护措施对于持续工作的土坡同样重要，因为开挖和换填可能会对土坡的稳定性构成威胁。考虑到工期的紧迫性和实际操作中的具体情况，夜间施工是不可避免的。在这种情况下，现场的安全管理和照明设施需要得到特别加强。施工团队还应保证及时应对天气变化或意外事件，并在暴露的时间段内采取保湿措施，以保持土壤的稳定和密实度。完成级配砂石垫层施工后，应根据施工计划，尽快组织上层结构的施工。在任何间歇期间，必须定期、定量地进行洒水润湿，以免层间的干燥和裂开，影响整个工程的结构完整性和耐久性^[5]。

5 工业厂房施工技术中地基加固与处理施工注意事项

5.1 施工处理

在工业厂房建设的作业过程中，施工方法的选择是确保整体结构安全性和长期稳定性的重要基础。建筑的承载能力和整体强度与所使用的材料密切相关，因此，在施工初始阶段进行准确的计算至关重要，这包括评估基础和上部结构的性能，并且对桩基和墙体的防水设计做出充分考虑。施工过程需要确保严格按照相关标准来执行，以达到预期的安全和性能目标。为此，设计图纸上会详细标明工程结构性能的具体要求，以指导施工人员选择适应的高性能材料，如砂石、填料等，进而提升建筑加固的性价比和质量。在施工管理过程中，还要特别关注结构质量，确保建筑物的地上和地下部分具有同等程度的安全性和适用性。在实际勘察阶段，各项管理工作务必到位，以保证施工质量满足工程项目的基本需求。

5.2 更换土壤质量

为了提升建筑地基对剪切力的抗性，土壤置换是不可忽视的重要环节。在加固之前，必须更换部分地层土壤，将挖掘出的原有土层以高强度处理材料重新填充，确保新材料与旧地基层紧密结合，防止由于建筑作业引发的土层位移，从而构建稳固的基础结构。在实施过程中，必须采取有效措施来避免过度沉降或崩塌，这不仅保护了地基结构的稳定性，也保障了加固工程的可靠性。考虑到土壤受到气候变化造成的膨胀影响，采取减少土壤压力的措施，是确保地基平衡和工程安全的重要因素。让基础设施在气候波动中具备一定的抗压能力，可以在一定程度上增强工程整体的安全系数，使地基处理技术更加完善。

5.3 区域排水

在地基处理工艺中，区域排水功能的设立是防止水分对施工质量产生负面影响的关键步骤。一方面，工程师需要利用预先的区域调查来摸清地下状况，进而结合实况制定出合理的排水方案。另一方面，在施工前，需要排除土壤中多余的水分，通过预压的方式增强土壤完整性，确保在基础施工期间，考虑到技术要求、配套人员的专业性、材料及设备的适应性等，同步控制相关强度指标，并根据施工环境选择合适的技术参数。通过研究施工环境因素，确定具体的排水方法，并结合质量特点和危害程度，合理制定施工次序，以保障整体工程的质量，防止因不恰当的区域排水作业而导致施工质量缺陷，从而确保工程项目能够达到预期要求，避免出现由于设计不周或施工不当导致的质量问题。通过综合考虑地质条件与环境因素，有效地保证了工业厂房施工的技术与质量标准，并确保了排水设计的合理性^[6]。

6 结语

工业厂房工程在地基加固与处理技术方面的要求极为严格，这是由于工程质量的优劣直接关系到整个建筑物的安全和使用寿命，尤其是在面对地质条件复杂多变的情况下。随着现代科技及材料学的迅猛发展，更加先进的地基处理方法和材料不断涌现。未来，进一步优化桩基础设计与施工技术，确保地基与桩基的稳定性，将成为工业厂房建设过程中的重要研究方向。在施工实践中，采用先进设备和精密监控，将使建筑项目更加高效和节约成本，这些技术进步不仅为工程技术人员提供了更强大的支持，也极大地促进了工业建筑行业的可持续发展。

参考文献：

- [1] 景立平, 张嘉辉, 汪刚, 等. 软土地基核电厂动力响应振动台试验 [J]. 世界地震工程, 2022, 38(03):10-18.
- [2] 区琰安, 陈涣景. 工业厂房地基基础与桩基础土建施工技术分析 [J]. 中国建筑金属结构, 2022(01):50-51.
- [3] 杨小宾. 浅谈工业厂房地基基础与桩基础土建施工 [J]. 居业, 2021(11):91-92.
- [4] 代雪莹. 静钻根植桩施工技术的应用探讨 [J]. 科海故事博览, 2024(17):31-33.
- [5] 孟浩, 韦俊, 卢俊龙, 等. 高压旋喷桩在工业厂房地基加固中的应用研究 [J]. 城市住宅, 2020, 27(02):128-130.
- [6] 王捷如. 土建工程地基基础工程施工技术分析 [J]. 中华建设, 2020(08):130-131.

水利水电工程中的水闸施工技术分析

谈华碧

(江苏龙川水利建设有限公司, 江苏 扬州 225200)

摘要 在研究水闸施工技术时, 需要对影响水闸施工的主要条件进行分析, 科学研究稳定问题、渗流问题等内容。本文指出工作人员需遵循水闸施工要求, 管控施工前准备技术、水闸开挖技术、基础施工技术、金属结构施工、导流与截流等施工技术, 并从质量控制角度出发, 强化施工期间的安全责任教育、材料设备管理、施工问题处理、工程验收维护等工作, 确保水闸施工稳定进行, 打造更高品质的水利水电工程。

关键词 水利水电工程; 水闸; 前期准备技术; 水闸开挖施工; 基础施工技术

中图分类号: TV66

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.05.014

0 引言

水闸能够帮助水利水电工程进行水资源分配利用, 提升挡排涝水能力, 施工技术管控尤为关键。水闸结构比较复杂, 施工方案要根据水利工程的建设要求进行设计, 对地形、地势、气候条件等进行综合分析, 并做好施工中排水、基坑开挖、消力池建设等各项工作, 确保施工流程完整, 提升水闸结构的稳定性, 避免后续出现断裂、倾斜等问题, 保证水闸建设满足水利水电工程所需, 获得良好的工程效益。

1 水闸工程概述

水闸是利用闸门控制流量和调节水位的工程设施, 可用于拦洪、挡潮、宣泄洪水等, 是水利工程中必不可少的设施。水闸工程的主要组成部分包括上游翼墙、铺盖、胸墙、消力坎、海漫、下游翼墙、闸墩、闸底板、闸门、工作桥、公路桥、边墩等(见图1), 其中底板、闸门、闸墩等为控制中心, 而上下游翼墙、覆盖层等为上下游连接, 各结构的设计能很好地降低水流冲击

力, 保护河床与水闸工程的稳定。根据水利工程中水闸的功能差异, 可将其分为节制性水闸、分洪性水闸、冲沙性水闸等类别, 在实际应用中, 也可根据过闸流量将水闸分为大、中、小型水闸。水闸的施工质量影响着水利工程的建设质量, 优秀的水闸设计方案, 优质的水闸设施结构, 能更好地满足水利水电工程的需求, 可保证水电资源转化效率, 具有极高的经济与社会价值。

2 水闸施工中的常见问题

2.1 稳定问题

水闸工程是水利工程中用于拦截水位、控制流量的设施, 在正常运行中由于上下游水位差较大, 水平压力也比较大, 会对水闸结构造成压迫, 容易出现移动等稳定性问题。因此, 在水闸施工中, 需要对水闸与上下游水位的水平压力进行研究, 结合实际探讨水闸重量, 在水闸建成后正常发挥其挡水作用, 同时也要避免水闸由于垂直荷载过大, 影响地基稳定性, 造成滑动风险^[1]。

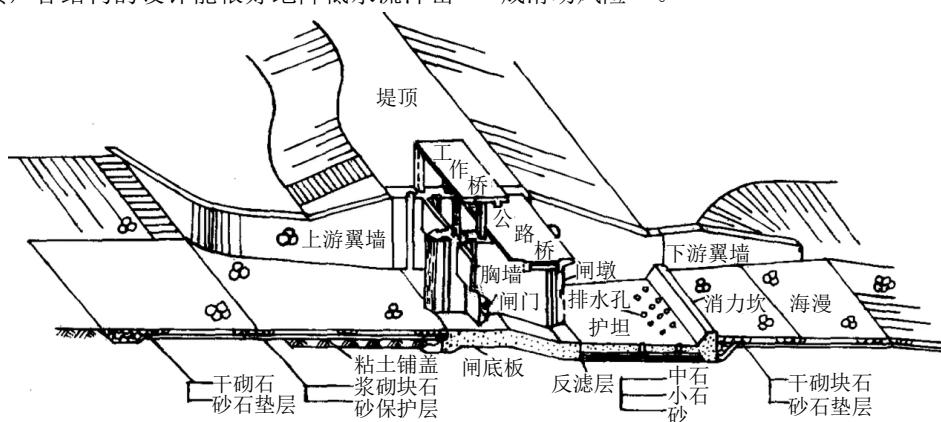


图1 水闸工程结构

2.2 渗流问题

水闸在挡水过程中可能会出现连接位置渗流问题，影响水闸底部压力，造成水闸稳定性下降。在施工过程中要注意分析水闸挡水时上下游水位差的重力、侧向渗透等问题，提前做好渗流的有效防范，避免水闸受渗流因素影响而出现挡水作用下降、稳定性下降等问题。

2.3 沉陷问题

水闸所建设的位置一般为河道区域，所处地区多为软土地基，因此很容易发生沉陷问题。在进行水闸施工时，需要对水闸的地基荷载情况进行研究，尤其注意水闸重量与地基承载能力之间的关系，应通过科学设计保证地基稳定性，确保地基土层荷载均衡分布，避免出现沉陷等问题。

2.4 消能防冲问题

水闸具有防洪泄洪功能，在施工建设期间也要考虑消能防冲问题。由于水闸泄水时上下游之间存在较大水位差，在水位作用下，水流的流量、流速过大造成下游防冲设施的损坏，影响结构的安全与稳定^[2]。因此，在水闸施工设计中，要注意分析水流的冲刷作用范围，并对过闸孔、过闸流量等进行科学设计，减少泄洪时水流对下流河岸的冲刷，保证工程整体稳定性。

3 水利水电工程中的水闸施工技术

3.1 前期准备技术

水利水电工程在进行水闸施工前需要充分评估施工方案的可行性，对施工流程进行全面分析，由专业部门进行工程图纸的校验工作。为保证水闸施工的可靠性与有效性，建设单位需要在前期认真研究水闸主体结构特点，明确水闸主体结构施工流程（见图 2），并对施工图纸与施工现场环境进行调研，分析施工现场是否存在可能导致设计变更的情况，结合闸门、消力池、交通桥、上下游护坡等结构的实际施工要求，提前做好施工准备工作，保证后续施工项目能够顺利开展。在准备阶段还需做好施工材料准备工作，围绕水闸围护工程、土方工程、混凝土工程与钢结构工程的施工需求，准备相应材料，并提前做好材料与设备的维护工作，避免后续出现倒塌等问题^[3]。在前期审核与检查中，还要重点分析施工人员、技术人员的数量与技术能力是否满足施工需要，确保水闸施工的安全与质量。

3.2 水闸开挖施工

水闸开挖施工要根据工程设计面积、宽度、深度、形状以及尺寸等进行具体规划，在实际施工中要合理划分人工开挖区与机械开挖区。施工人员需根据工程所处位置横截面具体特点进行开挖施工，根据实际挖

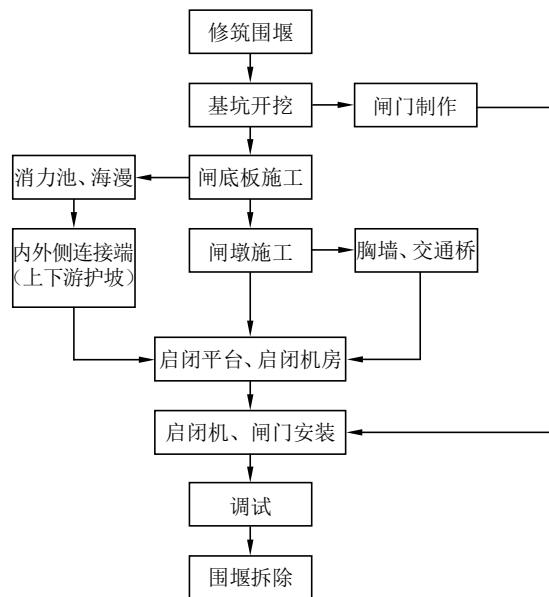


图 2 水闸主体结构施工流程

掘条件以及施工地点的地理位置、土质条件等，选定开挖技术，并注意分析开挖施工的进度与工程建设工期是否保持一致。在水闸开挖中，要格外重视软土地质条件的分析和处理，结合地形、地势等条件，做好开挖进度管控，并合理处理挖出的土石方^[4]。开挖施工必须保证开挖深度与面积合理，严格遵循施工图纸设计完成施工，确保现场施工最终成果符合水闸开挖的参数需求，保证拦水工程的质量。

3.3 基础施工技术

基础施工是保证水闸稳定性与安全性的关键施工环节，建设单位需对水闸基础施工过程进行严格管控，施工单位要确保水闸基础开挖位置、尺寸以及标高准确，并对其密实度、承载力等进行检查，确保其施工符合设计要求。在基础施工中，要充分考虑到水闸在蓄水阶段与泄水阶段的承载特点，防范水位差可能造成的基底渗流等问题，强化基础施工，对上下游连接段基底进行防渗处理，并设置反滤排水措施，保证地基基础的稳定安全。

3.4 金属结构施工

水闸施工建设中金属结构需进行构件加工并完成现场拼接施工，因此需要格外重视其施工技术的控制。在施工期间，要加强金属结构的材料检查工作，避免出现锈蚀、断裂、弯曲等问题，在对金属构件进行加工时，要严格控制焊接等连接技术，检查构件拼接效果，确保构件最终成品与工艺合格，能够保证施工的稳定性。在安装技术结构时，工作人员需根据结构所属项

目，按照施工流程完成预埋、焊接等一系列工作，并在闸门等结构施工完成后，认真检查其金属焊接质量，确保金属结构的质量可靠。

3.5 混凝土工程施工

混凝土施工质量与水闸工程质量息息相关，在施工期间必须做好混凝土工程的有关准备工作。在混凝土配制期间，工作人员要认真检查水泥、石灰、砂石以及添加剂等原材料质量，严格管控其配比。在混凝土检测中，要借助专业技术人员与设备完成混凝土试件的检查，尤其重视混凝土结构强度、抗压力等参数的检验，确保其能够满足水闸的工作需求。在现场施工中，要根据水力发电工程水闸的设计要求，运用搅拌车将混凝土运输至施工现场完成现场浇筑，浇筑施工的同时做好振捣工作，确保振捣充分，避免出现蜂窝麻面、裂缝等问题。在混凝土浇筑完成后，执行好养护工作，使用塑料薄膜覆盖混凝土结构，并定期洒水养护，确保结构养护充分，保障混凝土工程的结构强度。

3.6 导流与截流

导流方案制定需根据水利工程地质地形特点、气候水文特征等进行规划，工作人员要结合现场特点，考虑影响因素，选择合适的导流方案。若施工现场土质条件良好，坡面较大，施工面狭窄，则导流应选择地形宽阔平缓临近河道的岸边；若施工河岸易受侵蚀，容易坍塌，则导流过程中需设置导流围堰，并利用木桩加固，保证其稳定性^[5]。截流方案设计也需对现场进行充分调研，根据施工所处的季节特性、水文特点等，选择合适的截流方法，并注意将模型试验与现场试验相结合，确保截流的可行性。工作人员在利用平堵、立堵等方式进行截流时，要考虑到堤坝可能受冲蚀与压缩的影响，做好堤坝的充分加固，确保河床的稳定与可靠，保障施工质量。

4 水闸施工质量管理措施

4.1 强化安全责任教育

水闸施工过程中要强化安全责任教育工作，对施工人员、技术人员、管理人员进行充分的安全宣教，结合水闸施工中常见安全事故进行讲解，提高工作人员的安全防范意识。在安全责任教育的同时，围绕常见安全隐患进行安全责任的划分，确保参与施工建设的工作人员能够具备良好的安全防护意识，避免施工中的各类安全风险，保证水闸顺利施工。

4.2 落实材料设备管理

在施工材料与设备管理中，要制定规范的管理制度，并强化现场检查工作，保证材料质量合格，确保

设备得到合理利用。建设单位要发挥好监督管理作用，对进入施工现场的水闸施工材料与设备进行严密监管，并落实质量检查制度，对金属材料、混凝土材料等进行查验，确保其质量合格，并注意施工现场各类设备操作是否合乎规范，杜绝无证上岗等情况。

4.3 科学处理施工问题

在水闸施工过程中要妥善处理好常见的沉陷、渗流等问题，结合各类施工问题的发生原因防微杜渐。工作人员在施工期间要认真检查水闸施工现场的地基条件，对软土地基进行必要的加固和防渗处理，保证水闸底板施工的质量，提升水闸施工稳定性。在进行水闸闸基、两岸连接处施工时，要做好水土流失等问题的防范，保证各项施工工艺合规，避免水闸渗流问题的发生。

4.4 加强工程验收维护

水闸施工完成后要加强工程验收与维护，全面评定工程质量，保证水闸的建设水平。工作人员需根据水利水电工程建设标准进行工程验收，认真检查水闸的建设规格、质量等是否符合要求。制定养护工作计划，根据水利水电工程实际进行排班，确保养护工作有序进行，能够及时处理各类问题。

5 结束语

水闸是水利水电工程的重要组成部分，也是防洪、引流、排涝中的关键设施条件，为保证其建设质量，需要严格落实工程建设期间的水闸施工技术。在水闸施工中，参建单位要严格遵循水利水电工程建设标准，对开挖施工、基础施工、金属结构施工、混凝土工程施工以及导流与截流等施工技术进行研究，严格践行施工技术标准，做好施工前中后期的各项准备工作，还要根据安全施工与质量保障等要求，落实施工过程管理工作，提升水闸设施建设质量。

参考文献：

- [1] 张思蜜,林法贺.水利水电工程中水闸施工技术与管理研究[J].水上安全,2024,29(10):25-27.
- [2] 毕力格巴特尔,古斯林.浅析水利水电工程的水闸施工技术[J].内蒙古水利,2023,15(12):33-34.
- [3] 郭建福,巨敬良.水利水电工程水闸施工技术[J].城市建筑空间,2022,29(S2):679-680.
- [4] 唐恺,马瑞.水利水电工程中水闸施工技术浅析[J].治淮,2022,08(11):40-42.
- [5] 刘启鑫.水利水电工程中水闸施工技术与管理研究[J].陕西水利,2022,23(02):145-146.

沥青摊铺施工技术在公路路面施工中的应用

雍 强

(四川川交路桥有限责任公司, 四川 广汉 618300)

摘要 沥青路面作为公路建设中的重要组成部分, 广泛应用于各类交通道路的建设与维护阶段, 其施工质量直接影响路面性能及使用寿命。沥青摊铺技术在提高施工效率、保证路面平整度以及耐久性方面具有重要作用。本文探讨了沥青摊铺施工技术在公路路面施工中的具体应用策略, 重点分析了平整度控制、接缝处理、摊铺机优化与温度管理等方面的技术要求, 明确了提升施工质量的核心要素与操作标准, 以期为相关人员提供借鉴。

关键词 沥青摊铺施工技术; 公路路面施工; 平整度控制; 接缝处理; 摊铺机优化

中图分类号: U416

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.05.015

0 引言

根据《公路工程技术标准》(JTGB01-2014), 公路建设中对路面工程的技术要求有明确的规定, 特别是对沥青路面施工质量、施工工艺提出严格要求。该标准强调, 路面施工的各个环节必须符合一定的设计规范, 以确保道路的安全性。沥青路面作为公路建设中的关键部分, 直接影响到路面的使用性能及公路的长期服务能力。不断增加的交通量使施工技术面临着更高的挑战, 如何优化摊铺工艺、提升施工精度, 成为当前公路工程建设中亟待解决的核心问题。

1 公路沥青路面的基本概述

1.1 公路沥青路面结构

公路沥青路面结构由多个层次构成, 每一层都具有独特的功能, 保证整体路面的稳定性、耐久性及交通承载能力。最底层是路基层, 主要作用是支撑上层结构并为整个路面提供坚实的基础, 采用天然土壤、碎石、砂砾等材料。路基层的质量能够影响路面的整体承载力, 尤其在软土或膨胀土区域, 路基层的施工尤为重要, 需要特别考虑土壤的稳定性, 以减少沉降、变形等问题。上层为基层, 主要负责分散来自上层的交通荷载并提供较高的抗压强度, 常用碎石、砂砾以及稳定土等材料^[1]。在高交通流量地区, 基层的设计尤为重要, 其稳定性会直接影响路面的使用性能。

基层之上是底基层, 这一层的主要作用是增强整体结构强度并防止裂缝的发生, 一般采用碎石与水泥稳定料、沥青稳定料等材料。底基层有助于提高抗水能力, 防止水分渗透到基层, 并能有效隔离外部环境对路面的影响, 减少由于温度变化或水分侵入导致的路面破坏。最上层是面层, 直接承受交通荷载, 承担着路面耐磨、

抗滑、防水等多重功能。面层采用沥青混合料制成, 其表面光滑, 摩擦力良好, 有助于车辆行驶的平稳。面层的施工质量直接关系到路面使用寿命与交通安全, 因此, 确保面层的强度、密实度及耐久性至关重要。

1.2 公路沥青路面的性能要求

公路沥青路面必须满足多项性能要求, 以保障其长期使用中的稳定性、安全性与舒适性。沥青路面需能够承受来自交通的持续荷载, 并分散至下层结构。承载能力不足会导致路面出现沉降、裂缝等病害, 严重时可能影响交通安全。施工人员在施工时, 需要根据道路的交通量、荷载与环境条件来选择合适的施工工艺, 保证路面能满足未来长时间的交通需求。尤其是对于高速公路以及主要干线公路, 承载能力的要求更为严格。

同时, 耐久性是沥青路面必须具备的关键特性。沥青路面在使用过程中会受到气候、交通荷载、紫外线照射、环境污染等多重因素的影响, 长时间的作用可能会出现材料老化、软化、开裂等现象。沥青混合料的配比、沥青选择及施工工艺的控制对于延长路面寿命至关重要。耐久性关系到路面的结构稳定性, 并且还直接影响到道路的维护频率。在长期高温、强紫外线照射下的地区, 特别需要采用抗氧化性能优异的沥青材料。

1.3 沥青路面的养护

沥青路面的养护是提高路面长期稳定性与使用性能的关键环节。常见的养护方法包括裂缝修补、坑洞修复、加铺沥青层与封层等。裂缝修补是养护过程中最常见的一项任务, 因为裂缝的形成会加速水分渗透到路基, 引发更严重的结构性问题。对于较小的裂缝, 通常采用裂缝灌缝或热再生技术进行修复; 而对于较大范围的裂缝或病害, 则可能需要进行加铺层修复^[2]。

加铺薄层沥青是对损坏较为严重的路段进行局部修复的一种有效方式,能够恢复路面的平整度、抗滑性以及抗压能力,延长路面的使用寿命(如表1所示)。

除裂缝和坑洞修复,封层处理也是常见的养护措施之一,封层能够有效延缓路面表层的老化过程,增加抗水性,防止紫外线与氧化对沥青的破坏。封层一般采用沥青乳液或薄层沥青混合料,既能增强路面的密实性,又能有效降低水分的渗透。尤其在暴雨或湿度较高的地区,封层施工可以大幅提升路面的抗水性能,避免积水导致的路面损坏。由于日常交通负荷不断增加,沥青路面还需根据实际情况进行定期的全路段维护。日常交通荷载虽然会逐步影响沥青的性能,但是合理的养护策略能够有效延缓沥青的老化进程,减少大规模修复的需要。

表1 沥青路面常见的养护方法及其具体应用

养护方法	适用情况	具体修复方式	效果
裂缝修补	常见于小型裂缝或细微破损区域	使用裂缝灌缝技术或热再生技术进行修复	防止水分渗透,延缓裂缝扩展,恢复路面完整性
坑洞修复	主要适用于路面坑洞或修复较大损伤的区域	采用沥青灌注、热再生等方法填补坑洞	恢复路面平整,避免车辆对坑洞的进一步损害,增强路面承载能力
加铺沥青层	适用于较大范围的路面损坏或老化的路段	在原有路面上加铺薄层沥青,通过摊铺机进行均匀覆盖	恢复路面抗压性、抗滑性及平整度,延长路面使用寿命
封层处理	适用于路面老化、表面粗糙的情况	使用封层油或冷再生技术对表面进行封闭处理	提供额外的保护层,减少水分侵入,改善路面抗老化性能

2 沥青摊铺施工技术在公路路面施工中的应用策略

2.1 严格控制平整度,提高摊铺质量

路面的平整度直接影响道路的舒适性与使用寿命。在摊铺过程中,严格控制路面的平整度能够减少不均匀沉降、车轮荷载集中等现象,从而保障路面的长期稳定性与性能。控制平整度涉及沥青摊铺机的操作精度,必须调节摊铺机并且监测施工环境^[3]。施工单位应保障摊铺机在各个工作阶段能够精确调节摊铺深度与摊铺宽度,合理安排每个摊铺段的顺序,避免出现

高低起伏的状况。检查平整度可使用激光控制系统进行实时监测,从而及时校准偏差,防止摊铺过程中产生大的平整度误差(如表2所示)。

表2 控制平整度的关键因素和方法

关键因素	控制方法	工具与技术	效果
沥青摊铺机操作精度	精确调节摊铺深度、摊铺宽度,确保摊铺机的均匀作业	摊铺机的自动化控制系统	避免高低起伏,确保平整度一致性
施工环境的监测	监测环境温度、湿度等外部因素对摊铺质量的影响,调整施工计划	环境温度传感器、湿度监测仪器	提供外部环境的数据支持,合理调整施工节奏
摊铺段的合理安排	根据地形、交通流量等因素合理安排摊铺顺序,避免不均匀沉降	激光控制系统、GPS定位技术	避免不同摊铺段因施工顺序不同而产生的沉降不均
激光控制系统监测	实时监测摊铺平整度,及时校准偏差,避免较大误差的产生	激光控制系统、激光测距仪	精确测量平整度,及时调整摊铺机工作状态,确保摊铺精度

严格控制平整度是沥青摊铺过程中尤为关键的一项工作,施工人员应在摊铺前应对施工现场进行详细勘察,使基层土壤达到足够的承载力,并根据现场的地形和环境因素调整摊铺机的设定。施工人员应利用激光控制系统对摊铺机的工作精度进行实时监控,从而精确调节摊铺深度及宽度。该系统可以在摊铺过程中自动调整摊铺机的位置,实时检测平整度的偏差,并根据数据反馈系统进行校正,避免因设备误差引起的高低起伏问题。为更精确的控制,施工人员可以在不同的摊铺阶段,定期使用精密测量工具对摊铺层的平整度进行检查,一般使用的测量工具为激光水平仪或全站仪,其测量精度可达到0.1 mm/m。为保证摊铺效果,施工人员还应考虑施工环境对摊铺质量的影响,特别是温度与湿度的变化,必须合理调整摊铺速度,以避免因环境条件导致的摊铺误差。

2.2 精确处理接缝部位,防止质量缺陷

接缝部位是沥青路面施工中的薄弱环节,若处理不当,容易造成路面连接不紧密,导致路面出现裂缝或脱落现象。每个接缝的施工应保证其平整度、紧密性与无缝衔接,摊铺机与摊铺机之间的接缝应精确对齐,并严格控制缝隙的宽度,避免因温度、施工误差

等原因导致的接缝不齐。接缝处理的另一个关键在于保持接缝处的密实度，接缝处应达到与其他区域相同的密实度，避免因密实度不够而出现裂缝^[4]。施工人员还应根据气候变化与沥青混合料的状态及时调整接缝的处理方式，保持接缝处的平整度。

在接缝处理过程中，施工人员需使用专用接缝处理设备热灌缝机，以保证接缝处的温度与沥青摊铺层保持一致。具体而言，施工人员需要精确控制接缝的温度，使接缝温度达到适合的施工范围，一般情况下，接缝处理时的温度应保持在 140 ℃至 160 ℃之间。施工人员还需采用先进的振动摊铺技术，以充分压实接缝处的沥青材料，避免出现松散或不密实的情况。振动摊铺机配备的智能系统能够实时监测摊铺机的振动频率与摊铺深度，精确调整以保证接缝部位的密实度。施工人员还应在接缝部位涂抹适量的接缝密封剂，这有助于防止水分进入沥青层，保证接缝长期稳定。精细的接缝处理流程能够最大程度地减少因不当操作产生的缺陷，为路面提供更长久的服务性能。

2.3 优化沥青摊铺机，提升施工效率

提升沥青摊铺机的性能，既能够提高施工效率，又能在提高摊铺质量的同时，缩短施工周期。摊铺机的配置应根据施工现场的具体需求进行优化，选择适合的摊铺厚度及摊铺速度，从而高效处理各类工程项目。摊铺机的自动控制系统根据自动化技术，可以精确控制摊铺温度以及摊铺厚度，避免因人为操作带来的误差^[5]。另外，定期的保养设备同样不可忽视，机器的工作状态良好，能够有效减少因设备故障导致的施工延误。

施工人员应在作业前对摊铺机进行全面的检查与调试，确保设备的各项功能正常运转，尤其是精准设定的摊铺深度、摊铺宽度以及振动频率等参数。摊铺机的自动化控制系统，诸如先进的智能摊铺控制系统（ISM），能够根据实时数据对摊铺机的工作状态进行精准调节，使每一层沥青的铺设厚度达到标准要求。此外，施工人员还需利用摊铺机的数字化控制界面对摊铺温度进行监控，实时调整摊铺机的温控系统，以维持沥青在 145 ℃至 160 ℃的最佳温度范围内进行摊铺。为提高摊铺过程中的施工效率，施工人员应合理安排摊铺机的工作段，使设备运行能够达到最大效率，同时减少设备间的等待时间与调整时间，保障每一个施工环节的连续性。

2.4 精准调节摊铺温度，保障路面密实

在摊铺过程中，温度过高或过低都会影响沥青的

粘结性与密实度，进而导致路面质量问题。沥青混合料在摊铺前应保持在规定的温度范围，过低的温度会导致混合料粘性差，影响其与基层的附着力，而过高的温度则会导致沥青挥发或分解，影响路面的抗老化性能。摊铺机应配备先进的温控系统，实时监控沥青混合料的温度，并根据施工环境条件适时调整摊铺机的加热系统，保持混合料在最佳施工温度下摊铺。

在公路路面施工过程中，施工人员利用摊铺机内置的温控系统进行温度实时监控与调节。摊铺机会配备有热传感器与自动温控调节系统，这些技术可以精准检测摊铺材料的温度变化，一旦发现温度偏离设定值，系统会自动调整喷热系统的工作状态，保持温度在合适范围内。施工人员需对摊铺机进行定期校准，保持温控系统的精确度，避免因温度波动而影响摊铺效果。为优化摊铺温度控制，施工人员还需根据施工环境的温差进行适当调整，尤其是在低温或高温环境下，调节摊铺机的温控设置能够保障路面摊铺时的温度分布均匀，避免因温差过大导致的表面裂纹或不均匀密实。摊铺后，施工人员应密切关注沥青路面温度的降温速率，及时采用机械压实设备进行初压，以保持路面的密实性和强度。

3 结束语

在施工技术不断革新的背景下，关注施工过程中的细节愈加重要，调整每一项技术，均是为保证路面能够在承载日常交通的同时，维持长期的稳定性与高效的服务功能。严谨的操作规范，使得公路路面的质量得到有效保障。施工人员在不断积累经验的过程中，要深入探索适应不同环境条件与需求的施工方式。面对未来日益复杂的工程需求，技术的进一步完善，将为实现更高效、更环保的公路建设提供坚实的保障，推动行业迈向更加智能化的新时代。

参考文献：

- [1] 王晓磊.3D 智能化摊铺技术在沥青路面施工中的应用分析[J].建设机械技术与管理,2024,37(06):94-95,99.
- [2] 周斌礼.沥青混凝土施工技术在高速公路路面施工中的应用探讨[J].汽车周刊,2024(09):74-76.
- [3] 牛兆峰.公路路面施工中沥青摊铺施工技术分析[J].运输经理世界,2024(24):13-15.
- [4] 曹何民.公路路面施工中沥青摊铺施工技术质量管理研究[J].科技创新与应用,2024,14(22):161-164.
- [5] 王国宝.公路路面施工过程中的沥青摊铺施工技术研究[J].科技资讯,2024,22(14):108-110.

地铁机电安装工程综合管线敷设施工技术分析

张密

(中铁十一局集团电务工程有限公司, 湖北 武汉 430074)

摘要 为全面强化地铁机电安装工程中综合管线敷设施工质量与水平, 改善管线敷设施工过程中所存在的相关问题, 本文以某地铁项目一期工程为例, 从实地勘察与图纸会审、车站区间与基地布置、综合管线敷设要求、综合支吊架施工原则等角度对机电工程综合管线敷设技术进行了分析, 并指出其注意事项, 旨在为相关项目的推进提供参考依据。

关键词 地铁项目; 机电安装工程; 综合管线敷设

中图分类号: U231

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.05.016

0 引言

在城市轨道交通建设中, 强化地铁机电安装工程管线敷设水平对保障地铁系统的正常运行, 提升乘客出行体验具有必不可少的重要作用。有关技术团队与施工人员应当从实际出发, 针对目前地铁机电综合管线安装敷设过程中存在的各项问题进行研讨梳理, 并给出针对性的解决措施与优化方案, 使城市轨道交通运行效能得到进一步保障。

1 项目概况

为加强研究工作的针对性, 现以某地铁项目一期工程为例, 线路全长共 28.35 km, 共设 22 座车站, 我项目部主要负责线路当中 5 座地下车站的机电设备安装施工, 其中涵盖低压配电照明系统、给排水消防系统、通风空调系统、火灾报警系统、环境设备监控系统、门禁系统等。从项目现场实际情况来看, 工期要求较为紧张, 技术要求较为繁琐, 作业空间较为狭小, 接口管理与组织协调难度较大, 需要采取有效措施对机电管线敷设工程进行优化, 保障施工质量与进度, 节约施工成本, 提升施工效益。

2 基于地铁机电安装工程实例分析综合管线敷设施工技术

2.1 车站、区间与车辆基地管线布置

在地铁线路机电安装工程管线敷设施工过程当中, 结合功能需求差异, 可将其划分为车站管线、区间管线以及车辆基地管线等三种主要类型^[1]。

第一, 在针对车站机电管线进行敷设施工的过程

当中, 应尽可能规避检修孔、吊装孔、风孔以及运输通道, 避免对车站内部正常运维工作造成影响。设备区桥架与水管应部署于走道内侧, 桥架应部署于进线密集方向。排烟管、排烟口部署应满足《地铁设计防火标准》以及《建筑防烟排烟系统技术标准》的规定要求, 补风管应位于管道最下层。公共区管道敷设应按照水管、空调回风管、桥架、空调送风管的顺序进行排列, 敷设过程中应考虑到车站内部装修空间要求, 管线应规避风口位置, 并避免对站台门检修工作产生影响。站厅部位与公共区部位管线底标高应大于等于 3.2 m, 地面、站台与附属用房管线底标高应大于等于 3.0 m, 出入口位置应及时进行调整。门侧门外轨道区管线支吊架应及时进行固定, 减少列车运行时产生的振动所造成的影响^[2]。

第二, 在区间位置机电管线进行敷设施工的过程中, 应考虑到设备限界的影响, 避免在管线敷设与运行过程中出现额外的安全风险。其中, 强电管线应部署于列车左侧, 弱电管线应部署于列车右侧, 管线不应与区间联络通道之间产生冲突, 同时不应对疏散通道造成影响。在轨行区管线敷设与部署过程当中, 应配备相应的检修平台与爬梯, 杜绝对列车运行信号灯产生的遮挡情况。管线之间的最小距离应符合《地铁设计规范》相关要求。

第三, 在针对车辆基地机电管线进行敷设的同时, 应符合基地的布局、功能以及设施配置要求, 同时应充分契合道路与绿化走向情况, 管线敷设应确保顺直, 考虑到机电管线的具体性质及其在使用过程当中的具

体要求,针对相关管线进行集中布设。管线部位覆土深度应满足表 1 的要求。

表 1 管线部位覆土深度要求 (m)

管线类型	给排水 管线	直埋电力 管线	电力 保护管	直埋通信 管线
非机动车道 最小深度	0.6	0.7	0.5	0.6
机动车道 最小深度	0.7	1.0	0.5	0.9

当金属管道通过结构沉降缝、伸缩缝、变形缝时应设不锈钢金属软接或波纹补偿器,电缆桥架在通过结构沉降缝、伸缩缝、变形缝时应设伸缩节进行补偿。

2.2 综合管线敷设要求

机电工程综合管线的敷设工作作为影响城市轨道交通运输安全乃至地铁乘客体验的一项重要内容,对其提出了一系列要求,技术团队与施工人员应明确电力管线、给排水管线乃至桥架的敷设要求,以及不同管线的敷设顺序,以期为后续现场施工作业的开展与推进提供参考依据。其中,在车站内部管线敷设时,楼梯间、前室、气瓶室以及消防泵房等关键部位应杜绝无关管线的随意穿越,对于公共区域出入口而言,应明确不同类型管线的底面标高情况,同时考虑到整个车站的净高度情况,使车站进出与站内功能均能够得到有效满足,管理用房当中管线底部标高应高于 2.6 m。在对站台板下管线进行敷设的过程当中,应减少水管对于管道正常运行状态所造成的影响,确保电缆支架布设于水管上方,平行敷设时的净距离应控制在 500 mm 以上。

区间部位的机电管线敷设时,列车左侧隧道壁管线敷设顺序应遵循保护电缆支架、疏散平台、35 kV 环网电缆支架的排列,列车右侧隧道壁管线敷设顺序应遵循弱电电缆支架、信号灯、动力配电检修电源箱、消防水管以及废水管的排列^[3]。强电系统的管线与其他专业之间的管线的距离应满足规范要求,弱电管线布设过程中应考虑到电缆抗干扰能力,做好动力照明双电源电缆的隔离工作。案例项目管线交叉点位的空间距离较为狭小,采用隔板等隔离手段进行了处理,有效满足了施工规范要求。

案例项目当中的管线荷载主要以水管与风管为主。敷设前需要针对管线载荷情况进行计算。风管管线自重为 15 kg/m²,满水 DN50 管为 8 kg/m, DN125 保温管为 34.0 kg/m。其中,空调保温管涉及 2 根 DN50 管, 2 根 DN125 管,设计荷载为:

$$F_{DN50}(\text{保温})=10.27\text{kg/m} \times 2\text{m} \times 2 \times 10\text{N/kg}=0.42\text{kN} \quad (1)$$

$$F_{DN125}(\text{保温})=34.0\text{kg/m} \times 2\text{m} \times 2 \times 10\text{N/kg}=1.36\text{kN}$$

给管共计 1 根 DN50 管,设计荷载为:

$$F_{DN50}=8\text{kg/m} \times 2\text{m} \times 2 \times 10\text{N/kg}=0.32\text{kN} \quad (2)$$

2.3 综合支吊架施工

在地铁机电安装工程管线敷设项目实际施工过程当中,主要采用综合支吊架结合抗震支架保障管线的稳定性与安全性。综合支吊架的主要部署位置包括车站公共区、设备区以及站台层等,因此施工技术人员需要结合目标位置空间状态及其实际情况针对支吊架的布设连接方式进行及时调整。在施工过程中,应确保支吊架材质、规格等具体指标符合地铁机电管线施工要求,其部署间距应遵循《建筑与市政工程抗震通用规范》当中的具体要求,在支吊架施工过程当中,应按照满载状态进行模拟计算,并结合地下机电管线的敷设布置情况针对支吊架施工进程进行进一步优化。为保障支吊架连接强度及其承载能力,可采用激光焊接、机械铆接等方式对槽钢进行连接,使框架的整体可靠性得到进一步强化^[4]。

本文所述案例项目综合支吊架配件及其承载力情况如表 2 所示。

表 2 案例项目支吊架配件承载力

序号	配件名称	承载力 (kN)
①	槽钢底座 BIS-P21-72	12.0
②	自切底式锚栓 BIS-SUA M12130/80	8.5
③	90° 角连接件 BIS-W4/90°	4.5
④	槽钢锁 BIS SNP-M12	3.5

在部署与设计过程当中,将管线荷载视为均匀分布,分别对不同层级横档所承受的荷载进行计算:

$$q=F/L \quad (3)$$

式中, q 为横档分布力的力值; F 为管线支吊架设计荷载; L 为管线与支吊架横档之间的接触长度。基于案例项目综合支吊架各层级管线分布情况进行计算过后可得,首层分布力 q_1 为 1.4 kN/m, 次层分布力 q_2 至 q_4 为 6 kN/m, 第三层分布力 q_5 为 6 kN/m, 集中力 F_1 至 F_2 为 1.366 kN, 第四层集中力 F_3 与 F_4 为 0.42 kN, 集中力 F_5 与 F_6 为 0.32 kN。

在站内综合管线支吊架部署施工的同时,应严格确保支吊架整体刚性质量,同时将其水平间距控制在 2 m 以内,管线端头与拐角部位应设置支吊架,必要时应架设横担针对支吊架进行进一步加固,横担水平间距应控制在 10 m 以内。

3 地铁机电安装工程综合管线敷设施工难点分析

地铁机电工程综合管线的布局与敷设作为城市轨道交通建设过程当中的重要组成部分，具有关键性作用。有关施工技术人员应当从实际出发，明确管线敷设的相关作业要求，并针对相关注意事项进行全面落实，及时规避管线敷设作业过程中可能出现的一系列风险与问题，促进机电工程质量的全方位提升。

3.1 明确空间与位置要求

在管线敷设与安装作业前，明确不同专业管线的相对位置与空间要求，对提升管线敷设与设备安装质量具有关键性作用。施工技术团队应当严格遵循国家标准与技术规范，分别结合各专业要求以及现场敷设施工条件对不同管线之间的相对位置进行明确，使后续敷设作业的开展能够有据可依，尽可能减少管线施工方案规划设计过程当中可能出现的一系列风险与问题，提升地铁管线施工质量。

在针对通风空调与防排烟设施管线进行布局的过程当中，应明确其位置特点，并针对管线的相对布局进行及时调整，例如，在针对公共区空调管线进行敷设施工的同时，应规避安检机、闸口等设施设备，减少空调作业时对于上述设施所造成的影响，而在针对设备区空调管线进行敷设施工的过程中，应针对排风管与送风管的排列顺序进行明确，一般来说，排风管应垂直交叉于送风管上端，同时减少与其他高压供电设备之间的交叉与联动，避免排放管经过检修孔，下管与设备之间的水平净距应控制在800 mm以上。

在针对动力照明管线进行布设的同时，应及时规避潮湿与渗水区域，电缆最上层支吊架据构筑物之间的净距应大于电缆弯曲半径，母线槽布设位置应符合通风干燥要求，其底边与地面之间的净距应大于200 mm，侧边与墙体之间的净距应大于300 mm，背面与墙体之间的净距应大于100 mm。

在针对给排水与消防管线进行布局的过程当中，应有效规避变配电设施、通信机房、信号机房、电控室、蓄电池房等部位，减少渗水对于机电管线与重要运行设备造成的影响^[5]。相关管线支架规格应满足国家标准以及技术要求，在进行管线交叉布设的过程中，应遵循给水管、消防管、通气管、排水管的顺序要求，各不同管线之间的交叉净距应控制在100 mm以上。在管线敷设过程中，立管应靠近墙体或立柱，同时预留相应的安装与检修空间。

3.2 规避管线冲突

BIM技术作为一种以计算机技术为核心，针对目标

进行三维建模与综合分析的手段与策略，在地铁机电管线施工敷设过程当中发挥着至关重要的作用，对提升管线设计施工效能，减少管线冲突，杜绝返工误工现象具有重要价值。

在正式进行施工前，可采用BIM技术针对综合管线图进行建模，从而使设计团队以及施工人员能够较为直观地明确管线在地下空间当中所处的位置，有效掌握机电工程管线的管径、走向等相关指标与要素，使管线施工能够得到相应依据。

设备走廊与公共区域接口管线部位往往在标高与纵向位置上存在一定差异，管线交叉现象较为密集，因此在该区域综合管线布置过程中，可结合BIM技术针对接口部位的连接空间位置进行充分分析，同时针对施工顺序进行充分优化与改进，保障目标位置管线的整齐与美观。

针对本文所述案例项目管线敷设施工进程进行分析与研究后能够发现，项目施工工期较为紧张，施工作业空间较为狭小，对于施工、维护等工作的开展构成了一定的挑战。因此，有关施工技术人员可采用BIM技术辅助开展管线材料与敷设进度管理工作，使现场工作人员能够较为直观地掌握敷设作业过程中的管线材料使用情况以及进度计划的完成情况，更好地开展现场施工管理以及成本管理，促进机电工程管线作业效益的不断进步。

4 结语

在地铁机电设备安装工程当中，如何提升管线敷设施工质量已成为从业者面临的重要课题。有关技术人员应当从实际出发，掌握管线装配与敷设过程当中所存在的问题，并能够结合管线安装位置以及专业差异提出相应的优化方案，促进管线敷设安装水平的进一步提升。

参考文献：

- [1] 卢伟.地铁机电设备安装中装配式管线支吊架的施工技术[J].工程机械与维修,2023(02):176-178.
- [2] 侯保俊,李世安.BIM管线预制化技术在地铁机电安装工程中的应用[J].智能建筑与工程机械,2023,05(10):11-13.
- [3] 秦浩.地铁机电设备安装中装配式管线支吊架的施工技术[J].科学技术创新,2023(19):9-12.
- [4] 赵华强.地铁车站机电设备安装中的综合管线施工技术探讨[J].中国设备工程,2022(15):217-219.
- [5] 周恒.地铁车站机电安装综合管线施工浅析[J].现代交通与路桥建设,2023,02(01):153-155.

顶管技术在水利工程管道施工中的应用策略探析

王 建

(安徽省引江济淮集团有限公司, 安徽 合肥 230000)

摘要 引江济淮二期工程(水利部分)合肥市大官塘管线工程是一项重要的水利工程, 穿越多种复杂地形和障碍物。本文探讨了顶管技术在该工程中的应用与优化策略, 详细分析了顶管施工的原理、施工前中期的测量准备工作、顶管工作井内布置、降低顶进过程摩擦阻力的方法以及主要作业流程。结果表明, 通过优化顶管施工技术, 有效提高了施工效率和质量, 旨在为类似水利工程提供有益的参考。

关键词 水利工程; 顶管技术; 顶管设备; 导向控制; 注浆工艺

中图分类号: TV5

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.05.017

0 引言

水利工程地下管道的铺设、更换长期是一项技术难题, 为了克服这些困难, 顶管施工技术应运而生, 并逐渐得到广泛应用。顶管技术通过非开挖的方式, 将管道直接顶入土层中, 避免了地表开挖带来的诸多问题。本文以引江济淮二期工程(水利部分)合肥市大官塘管线工程为例, 根据工程需要穿越道路、河流、燃气管道、原油管道等施工特点, 探讨顶管技术在水利工程管道施工中的应用与优化策略。

1 工程概况

引江济淮二期工程(水利部分)合肥市大官塘管线工程新建管 22.75 km(含五水厂共槽段 2.94 km)。大官塘输水管线均采用单管输水, 全长 22.75 km。暗埋段采用 DN2000 球磨铸铁管, 穿越段采用外套顶管(直径 2.4 m 钢筋混凝土管), 内管为直径 2.0 m 钢管。共槽段五水厂输水管线长 2.94 km, 其中埋管段采用 DN2400 钢管, 穿越刘河和一期排泥场时, 采用外套顶管(直径 2.8 m 钢筋混凝土管), 内管为直径 2.4 m 钢管。本工程在穿越道路、河流、燃气管道、原油管道等时, 采用顶管顶进方式施工。

2 施工前中期的测量准备工作

2.1 设置顶管工作井

工作井的位置选择至关重要, 需考虑地质条件、周边环境和施工需求。井的尺寸根据顶管直径和设备布置来确定, 确保有足够的空间容纳顶管机、油泵和

其他辅助设施。本工程工作井及接收井采用钢筋混凝土沉井形式施工, 主要工作井和接收井均为圆形: 内径分别为 9.6 m 和 7.0 m, 井壁厚度为 0.6~1.0 m, 井深 9.0~16.0 m。沉井采取分节制作、分节排水下沉、干封底的施工方案。井内安装降水系统, 降低地下水位, 避免施工期间水患。此外, 还需设置通风、照明和安全防护设施, 保障作业人员的安全和工作效率。

2.2 确定顶进轴线

通过精确测量和放样, 确保顶管按照设计路径准确推进。使用全站仪或 GNSS 设备进行坐标定位, 标记出起点和终点的具体位置。在地面上设立多个控制点, 形成闭合导线网, 提高测量精度。根据设计图纸, 计算各段顶进的方向和坡度, 绘制详细的轴线图。对于复杂地形或长距离顶进, 可采用地下激光导向系统, 实时监控顶管机的姿态, 确保其沿预定路线前进。

2.3 安装导轨

导轨材质通常选用高强度钢材, 确保足够的刚性和耐久性。安装前, 对地面进行平整处理, 确保导轨放置在一个水平且坚固的基础上。根据顶管机的规格和重量, 精确调整导轨的间距和高度, 使其与顶管机的导向轮紧密贴合。使用水准仪和经纬仪校准导轨的直线度和平行度, 确保误差在允许范围内。为了增强稳定性, 每隔一定距离设置固定支架, 将导轨牢固地连接到基座上^[1]。

2.4 启动油泵

油泵的选择需根据顶管机的功率和压力要求, 选

用合适型号的设备。安装前,仔细检查油泵及其附件是否完好无损,确认润滑油量充足。连接油管时,注意密封性能,防止泄漏。启动前,打开排气阀,排除系统内的空气,避免因气阻导致的压力不足。逐步增加油泵转速,观察仪表读数,确保压力稳定上升至设定值。测试顶管机的各项功能,如推进、转向和纠偏,验证液压系统的响应速度和精度。一旦所有参数均达到标准,油泵正式投入使用,为顶管施工提供可靠的动力支持。

3 顶管工作井内布置

工作井井内布置主要是后靠背、导轨、主顶油缸、油泵车等,如图1所示。

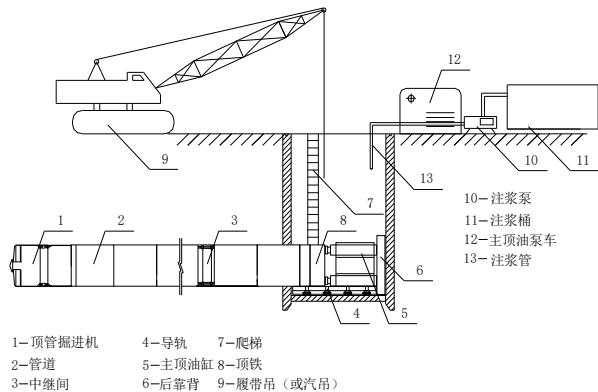


图1 顶管工作井井内布置图

3.1 后靠墙确认

根据顶管机的推力要求,选用合适材质和尺寸的钢筋混凝土墙体,保证足够的刚性和耐久性。墙体的厚度和配筋需经过严格计算,满足抗压、抗剪和抗震的要求。安装前,对基底进行平整处理,确保墙体放置在一个水平且坚固的基础上。使用水准仪和经纬仪校准墙体的垂直度和平整度,确保误差在允许范围内。为了增强稳定性,可在墙体背后设置后座垫铁。

3.2 导轨安装

顶管施工中的导轨安装至关重要,涉及两道平行钢轨的精准设置。确定基坑底板面上的顶进轴线后,精确对准导轨中线与轴线是必要的。对于DN2800和DN2200顶管,导轨宽度设定为98 cm,并根据图纸要求抬高2 cm进行安装,以避免“磕头”现象的发生。完成纵向及高程调整后,导轨需牢固焊接到底板钢筋上,空隙处填充混凝土确保稳固。在安装过程中,必须严格控制导轨的轴线、高程和间距误差在2 mm以内,以保证整个安装过程的高度准确性,保障施工质量。

3.3 油缸支架及油缸安装

在顶管施工中,油缸支架通过槽钢焊接构成,为确保主顶油缸工作时的稳定性提供了坚实的支撑。基于基坑底板面上设定的顶进轴线,精确调整支架中线以确保两者对齐,并按照图纸要求将支架垫高到指定高度^[2]。完成纵向和高程调整且确认无误后,支架需与底板钢筋牢固焊接,空隙用混凝土填充并养护24小时以确保稳固性。接下来,油缸被吊装到支架上并通过钢板压紧固定。为了保证安装精度,油缸支架及油缸的定位误差必须控制在2 mm以内。根据工作井的最大承受顶力和总推力设计,主顶进系统的油缸中心位置应与设计图纸完全一致,确保顶进过程和后座受力状态良好。这一系列措施保障了油缸在作业期间能够稳定可靠地运作,同时确保整个顶管施工的安全性和效率。

3.4 油泵安装和运转

主顶液压动力源自油泵,配置了两台大流量斜轴式轴向柱塞泵,配合大通径电磁阀和管路设计以降低阻力,确保油缸可单独或联动操作。通过PLC程序控制主顶系统,并利用变频调速器实现流量的无级调节。操作台位于地面控制室内,便于监控和操作。为了优化性能,油管布置应保持顺直,尽量减少转角,确保液压系统的高效运行。

3.5 顶铁的选择、安装和使用

本工程采用环形顶铁,安装要求确保其轴线与管道轴线平行并保持对称,接触面需清洁无杂质。顶铁长度必须符合施工标准,并在拼装完成后进行锁定。根据截面尺寸确定顶铁联接长度,对于20×30 cm的截面,单行使用长度不超过1.5 m,双行不超过2.5 m,并应增设横向顶铁连接以增强稳定性。管口与顶铁之间需垫设缓冲材料,当顶力接近管节抗压强度时,应及时增加环形顶铁来提供额外支撑。整个安装过程须严格遵守相关规范,确保顶铁应用的安全性和高效性,保障施工顺利进行。

4 降低顶进过程摩擦阻力的方法

在顶管施工过程中,随着管道穿越土层的距离不断增加,管土之间的摩擦阻力也随之增大,这对顶管的顶进效率构成了显著的挑战。为了有效应对这一难题,本工程采用了先进的膨润土触变泥浆注浆技术,旨在显著降低管土之间的摩擦阻力,提升顶进作业的效率。膨润土触变泥浆的配方经过精心调配,主要由钠基膨润土、纯碱和CMC(羧甲基纤维素钠)等优质材料组成。这些材料在混合后,形成了具有优异物理性

能的泥浆，其比重控制在 $1.05 \sim 1.08 \text{ g/cm}^3$ 之间，黏度则保持在 $30 \sim 40 \text{ s}$ 的范围内，同时泥皮的厚度也达到了 $3 \sim 5 \text{ mm}$ 的理想状态。在注浆过程中，利用高效的压浆泵，将泥浆通过总管和支管精确输送到管节的预设注浆孔中。泥浆在管道与土体之间的间隙中迅速填充，形成了一层坚固而光滑的润滑套。这层润滑套的存在，极大地减小了管道在顶进过程中的摩擦阻力，从而确保了顶进作业的顺利进行^[3]。为了确保注浆效果的最大化，特别设置了两根 DN65 总管，分别连接两台液压注浆泵，不仅提升了注浆效率，还增强了顶进作业的稳定性和可靠性。

5 顶管施工的主要作业流程

5.1 检查设备

在启动前，需对所有机械设备进行全面细致的检查，确认各部件安装牢固，连接可靠，无松动或损坏现象。特别是对于关键部位如推进装置、导向系统和润滑系统，要重点检查其运行状态和性能参数。测试油泵的压力和流量，确保液压系统能够提供足够的动力支持。

5.2 顶进作业

操作人员根据设计轴线和坡度要求，精确控制顶管机的前进方向和速度。使用全站仪或激光导向系统实时监控顶管机的姿态，确保其沿预定路径准确推进。在顶进过程中，不断调整推进力和纠偏措施，保持顶管机稳定前行。对于复杂地质条件，采取分段顶进或辅助掘进方法。定期监测顶管机的各项参数，确保设备始终处于最佳工作状态。此外，还需密切配合地面指挥，及时反馈地下情况，保证信息畅通。

5.3 清理土方

随着顶管机的推进，前方的泥土被挤压到工作坑内，需及时清除以保证施工进度。采用合适的出土设备，如螺旋输送机或泥水平衡系统，将挖掘出的土方高效运出。对于不同地质条件，选择相应的出土方式，确保作业安全和环保。在清理过程中，注意保持工作坑内的整洁有序，避免堆积过多土方影响后续操作。此外，还需做好土方处理工作，合理安排堆放地点，防止二次污染^[4]。

6 顶管技术的优化策略

6.1 改进顶管设备

采用先进的液压系统，确保顶管机具备足够的推力和稳定性，减少顶进过程中的阻力。引入智能化控

制系统，实时监测顶管机的各项参数，如推力、扭矩和位移，自动调整操作参数以优化性能。选用高强度、耐磨损的材料制造顶管机关键部件，延长设备使用寿命并降低维护成本。增加设备的自动化程度，如自动纠偏、自动润滑等功能，减轻人工操作负担。

6.2 加强导向控制

利用高精度全站仪或激光导向系统，实时监控顶管机的姿态，确保其沿预定路径准确推进。在复杂地质条件下，采用多点测量和数据分析，及时发现并纠正偏差。安装陀螺仪和电子罗盘等传感器，提供更加精确的方向参考^[5]。通过不断优化导向控制系统，可以显著提高顶管施工的精度和可靠性，减少返工和修复成本，保障工程质量。

6.3 优化注浆工艺

选择适合地质条件的注浆材料，确保其具有良好的流动性和固结强度。根据顶进速度和地质特性，合理调整注浆量和压力，保证浆液均匀填充到空隙中，起到支撑和稳定作用。采用分段注浆方式，在每个顶进段完成后立即进行注浆，防止地面沉降和塌方。引入新型注浆设备和技术，提高注浆效率和质量。

7 结束语

顶管技术的应用有效解决了引江济淮二期工程（水利部分）合肥市大官塘管线工程地下输水管道铺设的难题。通过优化顶管施工技术，提高了施工效率和质量，为类似水利工程提供了有益的参考。未来，随着科技的不断进步和工程需求的不断变化，顶管技术将继续得到优化和创新，为水利工程事业高质量发展提供技术支持。

参考文献：

- [1] 黄丽婷. 水利工程中的顶管技术应用与优化策略 [J]. 水上安全, 2024(24):163-165.
- [2] 杨洁标. 顶管技术在水利工程施工中的应用研究 [J]. 新疆有色金属, 2023, 46(02):102-103.
- [3] 李晓楠. 水利工程建设中顶管施工技术的应用探讨 [J]. 建材发展导向, 2023, 21(08):154-157.
- [4] 薛煜. 浅谈水利工程顶管施工技术应用 [J]. 价值工程, 2023, 42(02):139-141.
- [5] 石新中. 水利工程施工中顶管施工技术研究 [J]. 珠江水运, 2022(21):77-79.

建筑工程中框架剪力墙结构建筑施工技术的运用分析

王娟娟

(山东省环能设计院股份有限公司, 山东 济南 250000)

摘要 社会经济的不断发展, 推动了建筑行业的发展, 在建筑施工中科学运用各种先进的建造技术和设备, 进一步创新了建筑形式和结构。框架剪力墙结构主要包括框架和剪力墙两部分, 二者相互配合发挥承载功能。框架剪力墙结构施工技术含量较高, 为了充分发挥技术优势, 相关施工单位需要加大研究力度, 不断优化和创新技术应用, 保障整体建筑的工程质量、安全性和耐久性。本文分析了建筑工程中框架剪力墙结构建筑施工技术的运用, 以期为实际施工提供有益参考。

关键词 建筑工程; 框架剪力墙结构; 钢筋施工技术; 模板安装施工; 内隔墙施工

中图分类号: TU765

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.05.018

0 引言

框架剪力墙结构属于承重部件, 其中框架发挥出承重作用, 剪力墙对其发挥出辅助作用, 施工单位可以结合施工要求对框架剪力墙结构刚度进行调整, 有利于灵活地布置建筑平面, 提高建筑空间利用率。在不规则建筑形式中利用框架剪力墙结构, 可以发挥出调整作用。在利用框架剪力墙结构的过程中, 施工单位需要合理加固地基结构, 从而提高整体结构的稳固性。在实际施工中, 施工单位首先需要勘察地基和地质, 保证地基承载力符合工程要求。同时需要结合勘察结果采取合适的地基处理措施, 为后续施工的开展奠定基础。

1 框架剪力墙结构特征

在框架剪力墙结构施工中, 主要是在框架结构中设置剪力墙, 灵活地利用建筑空间, 使整体建筑结构的抗剪性和强度得以提升, 在最大限度上满足建筑使用需求^[1]。框架剪力墙结构主要包括剪力墙结构和框架结构两部分, 不仅可以保障建筑的荷载力, 而且具备更大的刚度, 具有以下特点。

1.1 稳定性

由于其具有良好的抗震能力和刚度, 被越来越多地应用于实际工程中。在设计时, 应根据工业规范及工程需求, 对其进行适当的构造参数设置, 提高其抗压、抗震性能, 构建稳定的结构体系, 防止其在建造中产生变形、弯折等问题。

1.2 抗裂性能高

框架剪力墙具有显著的承载力和抗裂性等优势。工程设计和施工前, 相关工作人员需要对相关的规范进行研究, 对其构造成分、材料硬度等进行全面的剖析, 合理设置结构参数, 确保结构的质量性能, 使其能够更好地应用于实际当中^[2]。同时, 从提高建设项目质量、节约建设费用的角度出发, 在施工中可以充分发挥框架剪力墙结构的优越性, 结合建筑工程的实际情况, 不断地对其进行创新, 以确保建筑工程结构的安全。

2 建筑工程中框架剪力墙结构建筑施工技术的运用

2.1 施工准备

在工程前期准备阶段, 施工单位需要制定科学的施工方案和质量保障计划以及安全生产方案等, 具体内容如图1所示。

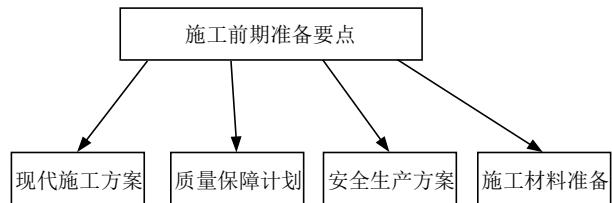


图1 施工前期准备要点

(1) 优化设计施工方案。在施工之前, 施工单位需要全面分析整体建筑结构的程序和工艺以及技术等, 制定科学的施工方案。(2) 编制质量保障计划。在施

工前期编制质量保障计划，有利于提高施工的质量和安全性。在计划编制阶段，施工单位需要掌握工程质量标准和检验流程，保证所选检验措施的可靠性，提升整体施工质量^[3]。（3）编制安全生产方案。在框架剪力墙施工过程中，需要实现安全生产的目的，施工单位需要结合工程特点制定安全施工方案，并在实际施工中执行。（4）材料准备：在施工之前，施工单位需要全面准备施工材料，连续地开展工程施工。

2.2 建筑结构设计要点

2.2.1 优化设计剪重比

在高层结构中，剪重比是一个非常重要的指标。剪重比是否规范、是否合理，通常直接影响到整个抗震设防的水准。若工程工期比较久，地基变形和地震加速度的改变将使常规的计算手段不能满足要求，因为地震资料是有起伏变化的，而且速度很快，所以在长期的作用下，选取的工作变得更加困难，最后得到的结果也不一定能够满足现实的要求，所以，在进行建筑工程设计时，必须对各层的水平地震力进行全面的分析，并确定最小值，当符合最小值时，再进行工程建设；如果不能达到这个标准，就必须在最短的时间内完成，以保证它的安全性。

2.2.2 优化设计刚重比

刚重比是抗剪结构计算中非常关键的一环。这一节点的设计，不仅可以清楚地显示出建筑物的刚度与自重负荷的比率，而且还能保证结构的稳定^[4]。目前，在实际的工程建设中，工程师需要根据规范对刚重比进行严密的控制，使工程的质量达到规范的要求。在工程建设过程中，还要根据工程实践和规范，对刚重比的设计和调节进行进一步的优化。

2.3 钢筋施工技术

在剪力墙建筑施工中，钢筋技术发挥着重要的作用，在实际施工中需要利用较多的钢筋材料。施工单位在选择钢筋材料时需要结合设计要求，注意规范性地安装操作钢筋和节点，施工人员需要严格遵循施工规范，避免出现钢筋位移的问题。为了提高钢筋施工质量，施工单位需要做好以下准备工作。

1. 为保证框架的安全，在安装过程中也要对实物放样进行控制，并在工地上完成模具的制作。在对框架进行定位时，必须利用垂直墙及横向墙对其进行精确的定位，同时要避免其移位^[5]。

2. 确定梁柱连接方式。在工程建设中，需要采用较多的钢材，且梁柱连接比较紧密，因此需要对其进

行合理的设计。为了保证梁柱连接的质量，必须保证结构的精确和有序。利用信息技术，可依图绘制高精度的放样图，并依图造出类比样件；在此基础上，根据实际操作情况，结合仿真模型，保证构件的精确性，进而改善了梁、柱连接的质量。

3. 竖筋竖向钢筋在结构中起着非常关键的作用，它是将竖向分布于墙体内的钢筋按照一定的间距依次布置。在抗震设计中，垂直钢筋起到了一定的抗力，在震害中能够保持原有的形态。另外，横向加强筋的使用也要适当。沿竖向钢筋横向布置，可在各墙体四周构成一张加强网。横向加强筋的使用，能提高墙体的抗弯力和抗扭能力。

4. 钢筋拼接和搭接。在构造整体剪力墙的过程中，必须对其进行适当的连接与重叠。其主要工序为：（1）钢筋拼接。当配筋的长度不足以完成对墙体的保护时，可以将两根或更多的加强筋连接起来，在拼接过程中主要是利用焊接和搭接等方式。（2）钢筋搭接。搭接是指两根钢筋相互叠加而成的一种连续、可靠的结构形式，其在墙体水平方向上按规定进行交叉布置，保证了墙体在不同部位的受力能力。

加强筋的拼接和搭接有利于保护剪力墙的整体稳定性。施工单位需要结合建筑规范计算钢筋搭接长度，合理选择拼接方式，在此基础上，通过合理的节点连接、搭接等工艺，保证其在水平方向上形成连续可靠的的整体^[6]。总体而言，竖向与横向钢筋的布设、精细的连接与重叠是整个工程中最重要的一环。

2.4 模板安装施工

在安装模板之前，施工单位必须对模板进行检验，以确保项目质量。第一，要对模板进行材料及规格的检验，查看有无松脱。其次检查模板安装情况，接头是否紧密，若出现差异，应立即进行校正，避免对下一步施工造成不利的后果。第二，要注意内部和外部的支承是否稳固，可用手动摇动，观察其有无滑动或弯曲变形。第三，对各部分的固定螺栓、连接件、螺丝等进行确认，并对预埋件的定位进行精确定位，以免在以后的工程中发生问题。在工程实践中，由于其轻便、造价低廉、刚性强等特点，常被用作模板支撑材料。然而，该技术也有一定的缺点：抵抗冲击能力差、易被践踏、不可重复使用；所需的木料很多，所以成本也很高等。因此，在选择模板的时候要综合各个方面的因素，尽量选择具有高性价比和高耐用性的材质，这样才能节省能源。第四，在施工过程中还应注意安

全问题，也就是支架本身的稳定与承载能力。在高层建筑中，因为其高度很大，所以为了确保工程的安全，脚手架需要有一定的安全性。

2.5 混凝土浇筑和养护

在浇筑混凝土的过程中，需要保证浇筑施工的均匀性和连续性，有利于保障整体工程质量。为了提高混凝土结构的强度，施工单位需要严格检查混凝土的性能。在实际施工中，施工单位需要将砂子铺设在底层的垫层上，利用振动器均匀地振捣混凝土，提高混凝土的密实度^[7]。因为剪力墙厚度较大，施工单位需要设置模板支撑，如果墙体高度在3.5 m以上，施工单位需要在墙体中设置水平支撑杆，同时将剪刀撑和斜撑设置在墙柱交界部位，避免出现裂缝问题。此外，需要结合实际情况在墙体中安装钢筋或者托梁。

在进行砼灌注时，应重视下列事项：（1）在施工期间，应对砼的塌落度进行监控，将砼的浇筑厚度控制在30~50 cm以内。（2）若工地气温高，则可采用料斗补水，并在管线上铺一层潮湿的布袋，便于控制管线的温度，防止泥浆流失造成的阻塞。（3）在使用清洗装置时，施工方要抽取泵管中的水泥，在管道中填塞一颗海绵橡皮珠，若发生堵塞，则要进行倒泵。

（4）在砼灌注过程中，应由建设方组织专人对钢筋的质量进行检验，并对出现的问题予以纠正。在此过程中检验模板的支承，如果出现位移等问题，需要立即采取修复措施。（5）在结束浇筑施工后，施工单位需要在12 h范围内落实养护工作。如果混凝土强度不符合标准，严禁施工人员踩踏混凝土结构。施工单位需要安排专业人员开展养护工作，综合施工现场的环境特点对混凝土的湿润度进行控制，保证养护时间超过14 d。

浇筑混凝土之后，施工单位需要及时开展养护施工，避免混凝土表面的温度快速下降，养护方法和标准如表1所示。同时采取遮阳和避风等措施，保障整体结构的强度。

2.6 内隔墙施工

在进行室内分隔装饰工程时，应在保证不影响到地基结构承载力的前提下，对建筑进行美化。首先，在建造过程中，要适时地选定墙体，一般采用具有良好耐火性能和较低造价的中空砖。其次，因为墙体的节能效果和美学性能会直接关系到施工成本及设计需求，因此，在进行室内墙体的特殊工程设计时，需要考虑到其合理和美观的特征^[8]。最后，进入施工收尾

阶段，施工人员在施工过程中应充分考虑到整个施工状态。在保证房屋地基和房屋结构符合建设标准后，才能进行室内分隔作业和随后的竣工验收。

表1 混凝土养护方法和标准

养护方法	标准
保湿养护	保证混凝土表面的湿润度，避免出现裂缝
温度控制	浇筑混凝土三天内，控制温度在5~35 °C范围内
覆盖养护	利用塑料薄膜和湿布覆盖混凝土结构
洒水养护	定期向混凝土表面洒水，提高混凝土结构的湿润度

3 结束语

框架剪力墙结构在建筑工程施工中发挥着重要的作用，通过利用这项技术，可以合理简化施工流程，提高整体施工效率。施工单位需要加大研究力度，在发挥技术优势的同时规避技术风险，进一步解决材料浪费等问题。框架剪力墙结构建筑施工技术运用过程中，施工单位要不断总结和优化框架剪力墙结构施工技术，落实针对性的施工管理措施，避免出现安全和质量问题。

参考文献：

- [1] 马帅.房屋建筑工程中框架剪力墙结构建筑施工技术的应用[J].中国建筑装饰装修,2024(15):167-169.
- [2] 张国宇.房屋建筑工程框架剪力墙结构主体工程施工技术研究[J].建材发展导向,2024,22(11):93-95.
- [3] 曹晓琴.建筑工程中框架剪力墙结构建筑施工技术的实践探讨[J].四川建材,2024,50(04):151-153.
- [4] 宋修贺,刘卫忠.框架剪力墙结构建筑施工技术在建筑工程中的运用分析[J].砖瓦,2024(04):109-111.
- [5] 王淑娴.建筑项目中框架剪力墙结构主体工程施工工艺研究[J].散装水泥,2023(06):164-166.
- [6] 张子寒.基于框架剪力墙结构的建筑工程施工技术应用[J].中国新技术新产品,2023(20):92-95.
- [7] 张建林.浅谈框架剪力墙结构施工技术在建筑工程中的应用[J].四川水泥,2023(10):185-187.
- [8] 罗美增.建筑工程框架剪力墙结构主体工程施工技术的优化方法[J].中国建筑金属结构,2021(11):102-103.

高速桥梁施工中的高墩大跨挑战与液压爬模的解决方案

史龙飞

(中铁十二局集团第二工程有限公司, 山西 太原 030000)

摘要 昆明昆楚高速公路桥梁工程地形地貌复杂, 施工难度大, 针对高墩施工面临的混凝土浇筑和模板支护及施工平台搭设等技术难题, 采用液压爬模技术进行系统性研究和创新应用, 通过对液压爬模系统结构设计和爬升机构优化及施工工艺改进等方面进行深入分析, 制定了符合工程实际的施工方案。实践表明, 液压爬模技术确保了高墩混凝土质量, 有效提升了施工效率, 缩短了工期, 降低了施工成本, 该技术在昆楚高速桥梁工程中的成功应用, 旨在为类似超高桥墩施工提供可借鉴的技术经验。

关键词 高墩施工; 液压爬模; 施工工艺; 混凝土浇筑

中图分类号: U445

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.05.019

0 引言

昆明昆楚高速公路桥梁工程横跨多个山谷地带, 地形起伏大且桥墩高度普遍在 80 m 以上, 导致施工环境复杂。传统的定型钢模板施工方式在超高桥墩施工中存在施工效率低和安全风险高以及成本投入大等问题, 液压爬模技术作为一种新型的施工技术, 通过自动化程度高和标准化程度高的特点能够有效解决超高桥墩施工难题。本文基于昆楚高速桥梁工程实际对液压爬模技术在高墩施工中的应用进行系统性研究, 重点探讨液压爬模系统的结构设计和爬升机构优化及施工工艺改进等关键技术, 旨在为同类工程提供技术参考。

1 工程概况及施工难点

昆明昆楚高速公路桥梁工程地处云贵高原断裂带, 沿线地形地貌复杂多变, 跨越深沟峡谷多且桥梁工程规模大, 路线全长 106.9 km, 其中桥梁总长度达到 36.8 km, 桥墩高度普遍在 80 m 以上, 且最高桥墩达到 136 m。高墩施工面临诸多技术难点: 由于桥墩截面尺寸大, 混凝土浇筑量大, 易产生温度应力开裂; 高空作业环境复杂, 传统模板施工存在吊装困难和定位精度低等问题; 混凝土泵送压力大, 输送难度高; 模板标准节间拼接缝处易发生漏浆和跑模现象; 传统施工设备无法满足超高墩施工需求, 导致施工效率低下, 针对这些技术难点, 采用液压爬模技术进行施工具有重要意义, 液压爬模系统通过机械化和自动化手段, 可实现模板自动提升、混凝土浇筑连续作业, 有效解决了超高墩施工难题, 具有显著的技术优势和经济效益^[1]。

2 液压爬模系统技术分析

2.1 爬模系统构造

1. 支撑结构设计。液压爬模系统支撑结构采用双肋加腋板式钢框架结构, 主框架由工字钢焊接而成, 框架四角设置加强筋板以增强整体刚度, 立柱采用 400×200×8×13 规格工字钢, 横梁采用 300×150×6.5×9 规格工字钢, 通过高强度螺栓连接。支撑结构外侧布置 $\Phi 48 \times 3.5$ 钢管斜撑与主框架形成三角形稳定结构, 爬模系统工作平台采用 50 mm 厚槽钢龙骨, 铺设 40 mm 厚木模板且四周设置 1.2 m 高防护栏杆, 支撑结构设计中考虑混凝土浇筑时产生的侧压力和爬升过程中的动力荷载, 经计算分析支撑结构在各工况下应力和变形均满足设计要求, 最大挠度控制在允许范围内。

2. 模板系统布置。模板系统由钢模板和背楞系统以及加固系统组成, 钢模板采用厚度 6 mm 的钢板, 表面经过特殊处理保证混凝土成型效果。背楞系统采用 10 号槽钢, 纵向间距 600 mm, 横向间距 450 mm, 形成网格状支撑体系, 加固系统包括对拉螺杆和螺母以及锥形套管, 对拉螺杆直径为 20 mm, 间距为 600×600 mm, 模板系统四周设置可调节的防漏浆装置, 有效防止混凝土浇筑时发生漏浆现象, 模板接缝处采用橡胶条密封并设置压条固定确保接缝严密性, 模板与支撑结构之间设置可调节机构以便于调整模板标高和垂直度^[2]。

2.2 爬升机构设计

爬升机构由液压油缸和爬升架以及导向装置和控制系统构成, 液压油缸采用双作用式结构, 工作压力

为20 MPa, 行程为3.5 m, 爬升速度为2 m/h。爬升架采用整体式结构设计, 由导轨和爬升套筒以及承重横梁组成, 导轨采用45号钢制作, 表面经过淬火处理以提高耐磨性, 导向装置包括上下导向轮组, 采用聚氨酯材质确保爬升过程平稳, 控制系统采用集中控制方式, 通过压力传感器和位移传感器实时监测爬升参数实现多点同步爬升, 爬升机构通过增设减震装置, 有效降低爬升过程中产生的振动, 减震器采用油压阻尼结构且阻尼系数可调。导轨连接采用高强度螺栓预紧, 螺栓强度等级10.9级, 预紧力矩850 N·m, 确保导轨连接可靠性, 爬升套筒采用整体铸造工艺, 材质为ZG270-500, 筒壁厚度80 mm且内壁镶嵌耐磨铜套以延长使用寿命, 承重横梁采用箱型梁结构, 截面尺寸600×400×16 mm, 通过加劲肋增强局部稳定性, 爬升机构设计充分考虑施工荷载和风荷载等因素, 确保爬升过程稳定可靠, 从而为高墩施工提供了有力保障。

3 施工工艺及技术创新

3.1 模板安装技术

液压爬模系统安装采用分段组装方式, 将整体支撑结构分解为若干标准节段, 支撑框架采用工字钢拼装, 标准节段高度为4.2 m, 通过高强度螺栓连接钢模板与支撑框架之间设置可调节机构, 调节范围为±50 mm, 便于模板就位时进行精确调整。模板拼接采用企口式结构, 配合双道密封条, 有效防止漏浆, 导轨安装采用激光测量仪进行定位, 导轨垂直度偏差控制在3/1 000以内, 保证爬升过程平稳, 模板就位后通过对拉螺杆固定, 对拉螺杆经过防锈处理并采用塑料套管防止混凝土黏结, 工字钢规格选用400×200×8×13 mm, 端部加设加劲肋板, 提高整体刚度。模板采用厚度6 mm钢板, 表面经过抛丸处理粗糙度控制在50 μm , 焊接接缝采用双面焊接, 焊缝高度8 mm, 密封条采用丁腈橡胶材质, 宽度68 mm, 硬度65度, 设置双道密封结构增强防漏效果, 对拉螺杆直径25 mm, 间距600 mm, 采用环氧树脂涂层防锈, 塑料套管壁厚3 mm, 内径32 mm, 支撑框架立杆采用等间距布置, 纵向间距1 200 mm, 横向间距850 mm, 节点采用焊接加螺栓连接形式。

3.2 混凝土浇筑工艺

1. 浇筑工序优化。混凝土浇筑采用分层对称浇筑方式, 单层浇筑厚度控制在50 cm, 振捣采用高频插入式振动棒, 振捣时间控制在25~35 s。在浇筑过程中严格控制混凝土下落高度, 采用溜槽导流方式避

免混凝土离析, 浇筑速度控制在2.5 m/h, 确保混凝土充分密实, 混凝土配合比采用温控防裂技术, 掺入膨胀剂和减水剂, 水灰比控制在0.42, 坍落度控制在160~180 mm, 浇筑作业采用爬模平台分层布料系统, 布料机动臂覆盖半径达到16 m, 实现连续布料以提高浇筑效率。振动棒采用变频式, 频率可调节范围8 000~12 000次/分, 振捣棒直径70 mm, 振捣时采用梅花形布点, 间距350 mm, 布料机设置三个布料口间距4.5 m, 布料斗容积0.8 m^3 , 布料高度可调范围0.8~2.2 m, 为控制混凝土温度采用预冷碎石料, 将碎石料温度控制在15 °C以下, 并在浇筑过程中采用薄膜覆盖养护, 降低水分蒸发^[3]。

2. 接茬处理方法。混凝土接茬面采用凿毛处理, 凿毛深度不小于6 mm, 清理干净后涂刷界面剂。接茬部位设置双道止水钢板, 钢板厚度3 mm, 宽度300 mm, 折边高度80 mm, 接茬处混凝土中掺入微膨胀剂, 掺量为胶凝材料总量的8%, 增强接茬密实性, 接茬处混凝土初凝前进行二次振捣, 振捣时间延长5~8 s, 接茬面设置预埋注浆管, 采用环氧树脂浆液进行封闭注浆, 注浆压力控制在0.3~0.5 MPa, 确保接茬处防水效果。凿毛采用电动凿毛机, 每平方米凿毛点数不少于120个, 凿毛后采用高压水冲洗, 水压不低于1.5 MPa, 止水钢板采用镀锌处理, 折边采用45°角, 焊接采用双面焊, 焊缝高度6 mm, 注浆管采用直径25 mm聚乙烯软管, 间距800 mm, 管口设置单向阀, 界面剂选用改性环氧树脂, 涂刷厚度1.5 mm, 固化时间控制在4 h以上, 注浆采用压力泵注入, 注浆时间控制在混凝土终凝后24 h内完成。

3.3 爬升过程控制

1. 同步控制方案。液压爬模系统采用集中控制模式, 通过PLC控制器实现多点同步爬升控制, 爬升系统共设置4个控制点, 每个控制点均配备高精度压力传感器和位移传感器, 实时采集爬升过程中的关键参数。压力传感器量程0~30 MPa, 精度等级0.2级; 位移传感器采用差动变压器式, 量程0~200 mm, 分辨率0.01 mm, 系统爬升速度设定为2 m/h, 通过伺服比例阀实现速度的无级调节, 各控制点高度差严格控制在5 mm以内, 爬升过程采用分级加载方式, 将总荷载划分为5个等级, 每级荷载增量不超过总荷载的20%, 以确保爬升过程平稳可控。控制系统设置自动纠偏功能, 当任意两点位移差超过设定阈值3 mm时, 通过PID控制算法自动调节相应油缸的输出压力, 实现爬升轨迹的实时修正, 同时系统配备工业级触摸屏作

为机交互界面,可实时显示各控制点的压力、位移等参数曲线,并具备数据存储和故障诊断功能,为提高系统可靠性,设置机械式防坠装置和液压锁止阀,当系统出现异常时能够立即锁止油缸,确保施工安全。

2. 位移监测方法。爬模系统位移监测采用多重监测手段,构建了全方位的监测体系,主要包括电子水准仪、激光测距仪和位移传感器三种监测设备。电子水准仪采用徕卡 DNA03 型,测量精度达到 0.3 mm,主要用于监测爬模系统水平位移变化,在每个工作面设置 4 个观测点,每小时记录一次数据,激光测距仪采用莱卡 D8 型,布设在三个固定基准点上,与反射棱镜组成测量系统,实时监测爬模系统垂直度,测量精度可达 1 mm/100 m。位移传感器选用 KTC-150 mm 型,安装在每个油缸的两端,用于监测油缸行程变化,采样频率设定为 10 Hz,以保证数据采集的连续性,所有监测数据通过 RS485 总线传输至数据采集系统,采用 16 位 A/D 转换,采集精度 0.01 mm,数据经过滤波处理后实时传输到控制中心并导入 Oracle 数据库进行存储和分析,系统设置三级预警值,当位移超过预警值时自动触发声光报警装置,并通过短信平台向施工管理人员发送预警信息,同时启动应急预案^[4]。

4 施工效果及技术经济分析

4.1 施工效率提升

液压爬模技术在昆楚高速桥梁工程高墩施工中取得显著效果,单个标准节段施工周期由传统工艺的 7 天缩短至 4 天,施工效率提升 42.8%。爬模系统自动化程度高,标准节段爬升时间仅需 3 小时,较传统施工方式节省 2 天吊装时间,混凝土浇筑采用机械化布料系统,浇筑速度达到 22 m³/h,较人工布料提升 65%,模板安装定位精准,垂直度偏差控制在 3/1 000 以内,减少了返工整改时间,施工人员配置减少 40%,机械设备使用效率提升 35%,整体施工效率显著提高。

4.2 工程造价优化

1. 材料成本分析。液压爬模系统材料费用主要包括钢材和模板及液压系统等,单套爬模系统造价 85.6 万元,可重复使用 15~20 次。传统钢管脚手架及模板系统单次投入 38.2 万元,重复使用次数 3~5 次,经测算,采用液压爬模技术后材料损耗率降低 52%,模板周转次数提高 300%,钢材用量减少 186 吨/座,木材用量减少 42 m³/座,综合材料成本节约率达到 33.6%,混凝土外观成型效果好,从而节省了后期修补材料费用。

2. 人工成本评估。液压爬模施工人工费用主要包括操作工和电工及辅助人员等,平均每个工作面配置施工人员 12 人,传统施工方式需要施工人员 32 人,人工费用支出减少 62.5%,专业技术人员劳动强度降低,施工人员配置更加合理,机械化作业程度提高,高空作业人员数量减少,人工成本得到有效控制,通过提高机械化程度降低了人工依赖性,人工成本支出较传统施工方式节约 156.8 万元/座^[5]。

4.3 施工工期影响

液压爬模技术显著缩短了高墩施工工期,136 m 高的桥墩施工总工期由原计划 180 天压缩至 132 天,提前 48 天完工。标准节段施工采用流水作业方式,各工序衔接紧凑,避免了施工窝工现象,爬模系统可全天候作业,降低了天气因素影响,月均施工进度提升 28%,缩短了模板安装就位时间,减少了混凝土浇筑等待时间,机械化施工降低了人为因素影响,使施工进度更加可控,通过优化施工工艺,合理安排施工顺序,实现了施工工期的显著优化。

5 结束语

在昆明昆楚高速公路桥梁工程中,液压爬模技术在超高桥墩施工中的应用取得了显著的成效。通过对爬模系统结构设计、爬升机构优化及施工工艺改进等方面创新,实现了施工效率和混凝土外观质量的双重提升,液压爬模技术具有自动化程度高和标准化程度高以及施工效率高等特点,有效缩短了工期,降低了施工成本,该技术的成功应用对推广新型桥梁施工技术和提升桥梁施工水平具有重要的示范意义和推广价值。

参考文献:

- [1] 周成龙,黄媛媛,沈宾宾,等.高墩大跨连续刚构桥施工监控研究进展[J].工程与建设,2023,37(06):1664-1666,1669.
- [2] 周柏宇,彭林.高墩大跨径连续刚构桥梁施工线形控制技术分析[J].交通世界,2023(19):178-180.
- [3] 许倩.基于高墩大跨预应力混凝土连续梁的悬臂合龙技术[J].交通世界,2022(24):48-50,58.
- [4] 朱文华,周小龙,王岳洲,等.高墩大跨连续刚构桥施工监测与控制[J].云南水力发电,2022,38(08):108-114.
- [5] 成科需.扩建道路下穿高墩大跨铁路桥梁施工影响[J].山东交通科技,2022(01):22-26,31.

复合板压力容器接管裂纹分析

宋保峰

(中石化股份有限公司天津分公司化工部, 天津 300271)

摘要 复合板是由基层材料和复层材料通过爆炸或爆炸-轧制等方法复合而成的双金属板。它综合了基层材料和复层材料各自的性能优点, 既有基层材料所有的结构强度和刚度, 又有复层材料所具有的耐蚀耐磨等基层材料没有的特殊性能, 使设备重量和造价大大降低, 结构尺寸变小, 避免了不锈钢、镍、铜、钛、铝等贵重金属材料的浪费, 具有良好的经济效益和社会效益及应用前景。本文通过对复合板压力容器接管裂纹的缺陷分析, 研究容器在制造过程中的关键步骤, 探讨不同热处理方式对复合板容器的影响, 总结出提高压力容器制作过程管控的具体方法, 以期为今后旋转叶式过滤机的优化调整提供参考。

关键词 复合板; 压力容器; 热处理; 敏化

中图分类号: TH49

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.05.020

0 引言

复合板在压力容器制造领域的应用, 已经得到了人们的广泛认可和接受。这种材料的使用不仅提高了容器的性能, 还降低了成本, 因此在多个行业中得到了应用, 包括但不限于防腐、石油化工、医药、轻工、汽车等。复合板的制造技术包括爆炸复合法、轧制复合法等, 这些方法使得不同性能的金属能够结合在一起, 形成具有特定性能的复合材料。复合板材质优点比较突出, 主要体现在高强度、耐蚀耐磨、造价较低, 相对于优点来看, 缺点就是对制造工艺要求较高, 基层与覆层的紧密程度是一个关键问题, 如果贴合不好, 不仅不能满足使用要求, 还会在运行过程中产生鼓包和大面积脱层, 严重影响设备使用安全, 并且基层与覆层两种材质在成型、焊接、热处理等方面要考虑齐全。

1 情况简介

某石化装置高压丙烯罐的带颈对焊法兰(以下简称“法兰”)发生开裂泄漏。该法兰安装位置为罐顶, 用于连接压力表。法兰通过焊接方法与下部内径为20 mm的接管相连, 在连接部位环焊缝热影响区部位出现贯穿性裂纹, 发生泄漏。

设计文件中标明该法兰材质为S30403锻件, 制造

标准为NB/T 47010-2017《承压设备用不锈钢和耐热钢锻件》。

该压力容器内壁使用温度为40 °C, 使用压力为2.0 MPa, 内部介质为丙烯不凝气、丙烷、少量二氧化碳, 设备外壁做防腐后接触空气^[1]。

2 断裂分析

2.1 化学成分检测

法兰断裂分析, 首先从确认材质入手, 按照材质的不同再详细制定检验检测方法, 按照设计要求, 此处法兰材质为S30403II。为了确定样品材质是否符合标准要求, 依据GB/T 20123-2006《钢铁总碳硫含量的测定高频感应炉燃烧后红外吸收法(常规方法)》与SN/T 2718-2010《不锈钢化学成分测定电感耦合等离子体原子发射光谱法》, 采用碳硫分析仪及电感耦合等离子体发射光谱仪对法兰颈和法兰盘分别进行成分分析, 检测结果见表1。法兰颈和法兰盘的碳元素(C)含量分别为0.066%、0.071%, 均超出NB/T 47010-2017标准要求值0.03%, 其余元素含量均符合NB/T 47010-2017标准要求值, 证明此处法兰材质并未按照设计要求选用S30403, 而是采用了含碳量较高的S30408, 确定含碳量超标对后续的分析起到至关重要的作用^[2]。

表1 化学成分(%)

元素	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
实测值	法兰颈	0.066	0.36	1.06	0.030	0.0016	18.33
	法兰盘	0.071	0.36	1.07	0.032	0.0021	18.17
标准要求值	≤ 0.030	≤ 1.00	≤ 2.00	≤ 0.035	≤ 0.015	18.00 ~ 20.00	8.00 ~ 12.00

2.2 微观形貌检测

由于此处法兰碳含量超标, 同时按照设计图纸要求, 该容器整体在 590 °C 进行了 2.1 h 的热处理, 该热处理温度刚好处于奥氏体不锈钢的敏化温度范围(一般为 420 ~ 850 °C) 内, 所以对该法兰进行了微观形貌检测以探查法兰是否发生材质敏化, 设计选用不锈钢材质, 就是考虑利用不锈钢材质的屈服强度高, 抗腐蚀能力强, 机械性能好等特点, 如果发生了敏化, 敏化区域因不具备这些优点而造成缺陷的产生。

使用三氯化铁盐酸腐蚀溶液擦蚀制备的样品, 通过光学显微镜采集得到如下微观形貌: 分别为法兰盘、靠近焊缝的法兰颈、远离焊缝的法兰颈的微观形貌。可以看出, 法兰的不同部位均存在晶界析出相, 初步判断法兰材质出现了敏化。

2.3 析出相扫描电镜及能谱分析

为了进一步确认法兰的材质敏化程度, 对微观形貌检测时发现的晶界析出相进行扫描电镜分析。

扫描电镜下观察到的析出相, 析出相沿晶界分布。为确定析出相元素分布情况, 对其进行了面扫描, 由元素分布情况可知析出相内铬(Cr)元素富集。为进一步判别析出相是否为富铬(Cr)相, 对析出相及其周边进行了线扫描, 发现析出相内铬(Cr)元素明显高于其周边区域, 晶界附近出现铬(Cr)含量大为减少现象, 说明晶界处存在“贫铬区”。

结合面扫描结果、线扫描结果可确定析出相为富铬(Cr)相, 晶界附近存在贫铬区, 表明此法兰发生了敏化^[3]。

2.4 裂纹检测

在对复合板压力容器进行日常检查时发现接管出现了开裂现象, 对开裂接管的外壁进行了细致观察, 在观察过程中清晰地看到裂纹主要集中在焊缝热影响区附近, 这一区域通常由于焊接过程中热输入的不均匀性, 导致材料的组织结构和性能发生变化, 从而成为裂纹容易萌生和扩展的部位。进一步观察发现裂纹附近存在部分涂层剥离的情况, 涂层原本是为了保护接管表面免受腐蚀等外界因素的影响, 但在裂纹出现后涂层的完整性受到了破坏, 这可能是由于裂纹产生的应力导致涂层与基体之间的结合力下降, 进而使得涂层逐渐剥离。在裂纹附近还存在明显的黄色锈蚀痕迹, 这表明接管表面已经受到了一定程度的腐蚀。为了全面了解裂纹的情况, 仅仅观察外壁是不够的, 还需要对内壁进行检查。将法兰对半切开, 以便能够直接观察内壁的状况。当切开法兰后内壁的情况清晰地

展现在眼前, 在裂纹两侧, 存在着明显的棕色、褐色的腐蚀产物, 这些腐蚀产物的颜色和形态与外壁的黄色锈蚀痕迹有所不同, 说明内壁和外壁的腐蚀情况可能存在差异, 而这种差异可能与介质的流动、环境等多种因素有关。沿裂纹破断后对获得的裂纹断口形貌进行了详细观察, 裂纹断口主要呈现出灰色及褐色的锈蚀形貌, 这进一步证实了裂纹区域受到了腐蚀的影响。在断口中还存在着金属光泽区域, 这些区域属于破断过程造成的剪切区。剪切区的存在表明在裂纹扩展的过程中, 除了受到腐蚀的作用外, 还存在着一定的机械应力, 使得材料在破断时产生了剪切变形。

2.5 裂纹微观分析

为了进一步探究裂纹开裂的根本原因, 并准确确定裂纹的开裂形式, 仅仅依靠宏观的观察是远远不够的, 还需要对裂纹进行微观形貌检测。微观检测能够揭示裂纹在微观层面的特征, 为分析裂纹的形成机制提供更有力的依据。采用先进的微观检测技术对裂纹及其附近的微观形貌进行了观察。通过高倍数的显微镜观察发现, 裂纹呈现出沿晶界扩展的趋势。晶界是材料中原子排列相对不规则的区域, 其强度和韧性通常低于晶粒内部。在一定的应力和环境条件下裂纹容易在晶界处萌生, 并沿着晶界逐渐扩展。为了更深入地了解裂纹断口的微观特征, 使用了扫描电镜对裂纹断口进行观察。扫描电镜能够提供高分辨率的图像, 清晰地显示出断口的微观结构。在扫描电镜下裂纹断口呈现出典型的沿晶断裂特征。沿晶断裂通常是由于晶界处存在杂质、偏析等缺陷, 或者在腐蚀环境下晶界被优先腐蚀, 导致晶界的强度降低, 从而在应力作用下发生沿晶界的断裂。综合裂纹及其附近的微观形貌以及裂纹断口的特征, 明确确定该裂纹为沿晶裂纹。这种沿晶裂纹的形成可能是多种因素共同作用的结果。焊接过程中在焊缝热影响区形成的组织缺陷, 如晶粒粗大、晶界弱化等, 为裂纹的萌生提供了条件; 介质的腐蚀作用加速了裂纹的扩展, 特别是在晶界处, 腐蚀介质更容易渗透, 导致晶界的进一步弱化。此外, 容器在运行过程中承受的机械应力, 如压力波动、振动等, 也对裂纹的扩展起到了推动作用。对复合板压力容器接管裂纹的检测和微观分析, 对裂纹的形成和扩展机制有了更深入的认识。这对于制定相应的预防和修复措施, 确保复合板压力容器的安全运行具有重要的指导意义。还要进一步研究如何提高接管的抗腐蚀性能和抗裂纹扩展能力, 优化焊接工艺、改进涂层材料和施工工艺等。加强对压力容器的日常监测和维护, 及时发现和处理潜在的裂纹问题, 也是保障设备

安全运行的关键^[4]。

2.6 腐蚀产物扫描电镜和能谱分析

由于在对裂纹进行宏观检查时发现法兰内壁裂纹两侧附近存在明显的棕色、褐色的腐蚀产物，因此对腐蚀产物进行了扫描电镜和能谱分析。在对内壁不同位置的腐蚀产物表面进行能谱分析时，发现了氯（Cl）元素和硫（S）元素富集情况。对法兰内壁腐蚀产物的形貌进一步放大发现裂纹附近存在深色区域，其能谱分析结果见表2中位置A，表明该区域腐蚀产物中存在

氯（Cl）元素和硫（S）元素的富集^[5]。

进一步分析时发现，在内壁腐蚀产物的其余位置也存在氯（Cl）元素和硫（S）元素，其中B点为稍远离断口处，C点和D点为靠近断口处。B、C与D点的能谱分析结果见表2。其中C点附近腐蚀产物剥离后露出材料基体，可看出基体上存在蚀坑。

对断口处内壁腐蚀产物的截面进行能谱分析，能谱结果见表2的位置E，结果表明贴近法兰基体处的腐蚀产物也存在氯（Cl）元素和（S）硫元素的富集。

表2 A、B、C、D点附着物能谱分析结果（质量百分比 wt%）

元素	C	O	Na	S	Cl	K	Cr	Fe
位置 A	55.90	16.90	2.10	0.44	1.47	0.80	1.33	19.12
位置 B	56.68	10.67	1.47	2.06	4.28	1.22	0.98	20.05
位置 C	21.14	36.03	0.92	0.39	0.46	0.64	12.34	26.96
位置 D	76.07	11.57	2.10	0.99	6.33	1.88	-	0.68
位置 E	2.02	29.92	0.45	0.59	0.84	0.45	30.62	33.60

2.7 法兰基体内壁腐蚀情况

由于腐蚀产物中存在氯（Cl）元素和硫（S）元素的富集，因此使用扫描电镜探究了法兰内壁基体的腐蚀情况，发现了法兰内壁基体上形成的蚀坑，深度约为3.3 μm。对蚀坑和微裂纹处进行能谱分析的结果见表3，表明蚀坑和微裂纹处均存在氯（Cl）元素和硫（S）元素。

耐晶间腐蚀能力的下降，强度降低易发生沿晶断裂，这与此法兰的裂纹微观形貌为沿晶界扩展，裂纹断口呈现典型的沿晶断裂特征相一致。

由此结论可知，一是在复合板容器制造过程中，热处理的方式选择非常重要。复合的两种材质对热处理的要求往往是不同的，当不锈钢材质与碳钢共同进行热处理后，很容易产生敏化，即便是选择含碳量较低的30403或31603，也存在着敏化风险，所以容器热处理方案要考虑到此类问题，避免不锈钢材质在敏化温度区间进行热处理。二是在设备材质选择上，对于容易在制造过程中发生材质敏化的，我们在选材时要适当地对材质选型进行提升，避免在焊接、热处理等过程引起材质敏化，化工行业本身属于高危行业，压力容器又属于特种设备，使用安全可靠的设备一定要放在第一位。

表3 F、G点附着物能谱分析结果（质量百分比 wt%）

元素	C	O	S	Cl	Cr	Ni	Fe
位置 F	11.40	10.97	0.21	0.55	15.02	5.03	55.38
位置 G	32.30	26.54	0.45	0.36	13.60	2.00	23.84

3 结论

根据以上检测结果，一方面该法兰的碳元素（C）含量超出NB/T 47010-2017中对S30403的规定值。法兰的不同部位（法兰盘、靠近焊缝的法兰颈、远离焊缝的法兰颈）均存在晶界析出相，且析出相为富铬（Cr）相。富铬（Cr）相的析出是由于该法兰在590 °C（一般敏化温度范围为420 ~ 850 °C）进行了2.1 h的热处理，同时碳元素（C）含量超标，法兰长时间在敏化温度范围内停留发生了敏化。过饱和的碳（C）不断向奥氏体晶粒边界扩散，并与晶界处的铬（Cr）结合，在晶间形成碳化铬的析出物，由于铬元素（Cr）在晶粒内扩散速度比沿晶界扩散速度小，内部的铬（Cr）元素来不及向晶界扩散，所以在晶间形成富铬（Cr）相所需的铬（Cr）主要不是来自奥氏体晶粒内部，而是来自晶界附近，导致晶界附近的含铬（Cr）量大为减少，形成“贫铬区”，“贫铬区”的存在引起材料

参考文献：

- [1] 师访,丁威.压力容器含裂纹接管过渡区有限元分析及优化[J].石油化工设备,2023,52(06):38-43.
- [2] 付信迎.镍钢复合板压力容器的制造探析[J].电子乐园,2019(29):477.
- [3] 戴永成.镍-钢复合板压力容器焊接裂纹的分析及优化工艺[J].化工设备与管道,2018,55(03):5-8.
- [4] 黄利峰.压力容器接管区应力集中弹塑性有限元分析[J/OL].中国科技期刊数据库 工业 A,2019(01)[2019-01-01].<https://www.cqvip.com/doc/journal/2436846925>.
- [5] 杨平.浅议锅炉压力容器中的管道裂纹问题及预防方法[J/OL].中国科技期刊数据库 工业 A,2020(03)[2020-01-01].<https://www.cqvip.com/doc/journal/2436935958>.

生态化理念在水利工程设计中的应用

孙 晓¹, 马 原², 葛荣凯¹, 朱鹏远¹, 马思宇¹

(1. 山东景环工程咨询有限公司, 山东 济南 250000;
2. 南水北调东线山东干线有限责任公司, 山东 济南 250000)

摘要 随着人们环境保护意识的提升, 生态化理念在水利工程设计中的应用日益受到重视。本文探讨了水利设计中生态化理念的核心特点, 包括自然性、可持续发展性、社会性、安全性和经济性等方面, 详细阐述了生态化理念在水利工程设计中的实践应用, 如通过充分发挥水文工作的支撑作用以精准掌握水文数据, 将生态理念融入河道改造以恢复河流自然生态功能, 践行生态原则进行堤岸建设以提升水体自净能力, 强化岸坡防护的生态设计以保障水利设施安全稳定, 以及提升设计人员综合素质以推动生态水利设计创新。结果表明, 这些应用不仅有助于提升水利工程的环境友好性, 也为实现水利工程的可持续发展提供了有力支撑。

关键词 生态化理念; 水利工程设计; 水文工作; 河道改造; 堤岸建设

中图分类号: TV5

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.05.021

0 引言

传统水利工程设计通常只关注工程结构安全稳定和经济效益, 忽略了生态环境保护和修复问题。但在生态化理念不断被引入并深入人心的今天, 水利工程设计思路和实践方式也在发生着深刻的变化。生态化理念强调水利工程设计时要充分考虑到对生态环境进行保护和修复, 以科学、合理的生态设计来达到水利工程和生态环境之间的协调共生关系。本文对水利工程设计过程中生态化理念的实际运用进行探究, 希望能够为水利工程领域实现可持续发展提供有益的参考。

1 水利设计中生态化理念的核心特点

1.1 自然性

在水利设计这一宽广的领域里, 生态化思想的一个核心特质就是它对自然界的深度尊重和融合。这一特征强调了水利工程规划和实施时要尽量遵循自然规律, 降低人为干预给自然环境带来的不利影响。具体地说, 水利设计是自然性的表现, 既需要从选址、布置、建设各环节充分考虑地形、地貌、水文、气候及其他自然条件追求工程和自然环境协调共生; 更需要从设计理念方面摈弃传统人类中心主义而转向从生态系统整体利益出发, 把水利工程作为自然生态系统的组成部分。在实践过程中, 人们对自然性的寻求促使人们在水利设计时重视对生物多样性的保护, 以免对原有生态链条造成损害, 而借助自然地形地貌来布置工程, 可降低土地占用与水资源消耗^[1]。

1.2 可持续发展性

就水利设计而言, 生态化理念还有一个核心特征就是可持续发展性。这一特征强调水利工程的规划、建设和运行全生命周期中, 要充分考虑到对经济、社会和环境三个层面的长期影响, 从而达到经济、社会与环境和谐发展^[2]。具体地说, 可持续发展性决定了进行水利设计时既要注重项目经济效益, 保证项目投资得到有效回收和合理使用, 更应该注重它的社会效益, 也就是项目要能满足人们对水资源安全、防洪减灾和灌溉供水的要求, 带动地区经济繁荣和社会安定。与此同时, 可持续发展性也着重强调环境维度上的考虑, 这就需要水利工程在施工和运行期间将自然环境所受到的损害降到最低, 维护生态系统完整性和水资源可持续利用^[3]。

1.3 社会性

就水利设计而言, 社会性强调水利工程是一项重要基础设施, 在规划、建设和运行过程中, 要充分考虑对社会所产生的各种影响, 其中包括对社会经济、文化和生活所产生的深刻影响。具体地说, 社会性决定了进行水利设计时既要注重项目的经济可行性和技术可行性, 又要深入调查它对于周围小区的影响、居民生活和文化遗产可能产生的影响, 保证项目既能实现预期功能又能兼顾社会公平和民生福祉^[4]。在实践上, 对社会性的追求推动着对水利设计进行大量的社会调查和公众参与等系列举措, 倾听周围社区和居民的意见和建议, 保证工程方案充分体现社会关切和利益诉求。与此同时,

也需要重视水利工程建设中文化遗产保护和继承工作,以免工程建设中导致历史文化遗产被损毁和淡忘。

1.4 安全性和经济性

在水利设计领域中,生态化理念也强调了项目的安全性与经济性是其中两个不容忽视的核心特征。安全性要求在进行水利设计时,一定要把工程结构安全与稳定放在首要位置,保证工程在多种极端气候与地质情况下能够处于良好的运行状态,有效地抗御了洪水、干旱等自然灾害,确保了人民的生命财产安全。这就需要在设计阶段对其进行详细的地质勘察和风险评估,对工程材料和结构形式进行科学、合理的选择,并在此基础上对施工过程加强监督和质量控制,以保证每一个项目均能够满足既定的安全标准^[5]。经济性是水利设计生态化理念的又一个重要考虑因素。在资源越来越紧张和环境压力越来越大的时代背景下,如何在确保工程质量和安全的同时合理控制工程成本和提高资源利用效率已成为当前水利设计领域急需解决的课题。经济性要求在设计阶段需要对成本和效益进行综合分析,对设计方案进行优化设计,减少资源的浪费,还要积极地探索新技术和新材料的使用,从而降低项目的施工和运营成本。

2 生态化理念在水利工程建设中的实践应用

2.1 发挥水文工作支撑作用,精准掌握水文数据

在水利工程建设的实际工作当中,水文数据是水利工程建设工作的基石,水文数据的准确性和全面性直接影响着工程设计的科学性和合理性。所以,以生态化理念为指导,必须发挥水文工作对工程的辅助作用,准确把握各种水文数据,从而为工程设计奠定扎实的数据基础。

具体来讲,水文工作运用到水利工程建设当中主要有以下几点:一是通过水文观测和监控对河流和湖泊进行实时采集和分析,水库及其他水体水位、流量、流速和水质等主要水文要素资料为工程选址、规模确定和防洪标准制定提供了科学依据;二是采用水文模型和数值模拟技术对流域水文过程开展模拟和预报,评价水利工程在流域水文循环中的作用,并为工程方案优选提供技术支撑;三是结合历史水文资料和未来气候变化趋势对水文风险进行评价,确定可能发生洪涝灾害和干旱的风险点,并对项目安全设计给出预警信息^[6]。

以生态化理念为指导,水文数据对工程设计的生态价值也需要得到重视。为了全方位地评估水利工程对生态系统的潜在影响,不仅需要收集常规的水文信息,还需要加强对湿地、滩涂和水生生物栖息地等生态水文

要素的持续监控和深入研究。与此同时,生态水利工程设计也需要积极探究水文数据的运用,例如运用水文数据对生态调度方案进行优化,确保生态流量和水质安全等,从而使水利工程和生态环境能够和谐相处。

2.2 河道改造融入生态理念,恢复河流自然生态功能

水利工程设计实践过程中对河道进行改造是非常关键的工作,其不仅关系到防洪排涝和水资源调配的基本作用,还关系到河流生态系统是否能够健康和稳定。在生态化理念深入人心的背景下,河道改造已经不是一种简单的项目行为,而被纳入生态理念中,以修复河流自然生态功能为目标,促使生态系统得到修复和平衡。

将生态理念融入河道改造当中,这就决定了设计和实施过程中需要对河流生态系统完整性和多样性进行充分考虑。在进行整治时,既要注意河道的形态、流速和水质等理化因素,又要注意河流生物群落结构和功能,保证改造河道能给水生生物以合适的栖息环境。具体来讲,可以利用生态化河道治理技术来加强河道自我修复能力和生物多样性。同时也需要根据河流实际状况对河道改造方案进行科学规划,避免河道过度硬化和渠化现象,并保留其自然形态和生态要素,例如弯曲河道、浅滩和湿地来恢复河流自然流动状态和生态功能。

另外,将生态理念融入河道改造也需要注意和周围生态环境相和谐和整合。这就需要在对河道进行整治时,不仅仅只注重河道自身,还要考虑到河道对周围森林、农田和城市等生态系统之间的相互影响和作用,保证改造河道能与周围环境形成一个良性生态循环^[7]。

2.3 堤岸建设践行生态原则,提升水体自净能力

在生态化理念不断深化的背景下,堤岸建设已经不局限于对工程结构安全的传统考量,更强调生态原则的实践,其目的在于通过科学合理地设计和施工堤岸,增强水体自净能力和水生态系统良性循环等。

实践生态原则的堤岸建设强调需要在设计和实施过程中充分考虑堤岸和河流生态系统之间的相互影响和作用。这就需要在修筑堤岸时,既要重视堤岸结构稳定性和防洪功能,又要重视堤岸对河流生态系统产生的作用,以免因过度硬化和渠化而损害水生生物栖息环境。更具体地说,可以选择使用生态友好的堤岸设计,例如使用天然植被或多孔混凝土作为护岸材料,这样可以提高堤岸的透水性和生物多样性,为水中生物创造一个更好的生活和繁衍环境。同时也需要综合考虑河流水文特性和生态需求对堤岸形态和布局进行

科学规划，例如利用蜿蜒堤岸线减缓水流速度、延长水体停留时间等措施来改善水体自净能力。

另外，贯彻生态原则堤岸建设也需要注重和周围生态环境相和谐整合。这就需要在建设堤岸时，既要重视堤岸自身，又要考虑到堤岸与其周围森林、湿地和农田等生态系统之间的相互影响和作用，保证堤岸建设能和周围环境形成一个良性生态循环。

2.4 强化岸坡防护生态设计，保障水利设施安全稳定

随着生态化理念被广泛运用到水利工程领域中，岸坡防护设计也由传统工程防护逐步过渡到生态防护，其目的在于通过科学合理地进行生态设计，确保水利设施的安全和稳定，有利于生态环境的修复和改善。

加强岸坡防护生态设计需要在岸坡设计和实施时充分考虑岸坡地质条件、水文特性和生态需求。从地质条件上看，要根据岸坡岩土性质、坡度和坡向选择适当防护材料和结构形式来提高岸坡抗滑稳定性和抗冲刷能力。从水文特性上看，需要综合考虑河流水位变化和流速分布特点，对防护工程布置和形式进行科学规划，保证防护工程能够起到很好的防洪效果，同时也要考虑到各种水位情况。从生态需求上看，要重视防护工程和周围生态环境的和谐整合，使用生态袋和植被网等生态友好防护材料和植被恢复技术、生态混凝土等来强化岸坡生态功能和生物多样性^[8]。

另外，加强岸坡防护生态设计需要关注防护工程长期效益和可持续性。这就需要在进行设计和实施时既注重防护工程即时效果又考虑到对生态环境产生的长期影响，以保证防护工程既能起到防洪减灾的作用又不会给生态环境带来不可逆转的破坏。在此背景下，可以加强防护工程监测和评价，在及时发现和解决潜在生态问题的同时，积极探究新技术和新材料在防护工程中的运用，从而增强防护工程生态适应性和环境友好性。

2.5 提升设计人员的综合素质，推动生态水利设计创新

在水利工程设计生态化转型进程中，设计人员综合素质成了限制设计创新和实践效果提升的关键要素。所以，提高设计人员综合素质既是设计人员个人能力所需，也是促进生态水利设计创新和水利工程持续发展所需。

提高设计人员综合素质首先需要设计人员有牢固的专业知识和技能。其中既有水利工程基本原理、设计方法和材料应用专业知识，又有生态学、环境科学和地理信息系统相关学科交叉知识。设计人员只有掌

握了这些知识才能够深刻地了解水利工程设计生态化理念的内涵和要求，正确地判断出设计方案对于生态环境所产生的作用，进而制定出科学、合理的决策。

提高设计人员综合素质也需要重视对他们创新思维和实践能力的培养。就生态水利设计而言，创新思维对于促进设计创新和解决纷繁复杂的问题至关重要。设计人员要敢于打破传统设计思维，探索运用新技术、新材料和新工艺，提高其生态适应性和环境友好性。同时设计人员也需要有很强的实践能力，能把理论知识和实践经验结合起来，迅速地适应多变的设计环境和解决设计中出现的各种实际问题。

另外，提高设计人员综合素质也需要强化对他们职业道德和责任意识方面的修养。在进行生态水利设计时，设计者要时刻坚持尊重自然和保护生态，把保护和修复生态环境作为一项重要设计目标。

3 结束语

将生态化理念实际运用到水利工程设计当中，既有利于增强水利工程防灾减灾能力，又能够有效推动生态环境保护修复工作。通过精准支撑水文工作、生态融入河道改造、生态设计堤岸建设、提高设计人员综合素质等措施，能使水利工程和生态环境和谐相处，促进水利工程持续发展。今后，在生态化理念不断深入发展和实践经验日益丰富的情况下，水利工程设计也会越来越重视对生态环境的维护和修复，助力生态文明社会建设。

参考文献：

- [1] 邵圣吉. 生态理念在室内设计中的应用研究 [J]. 房地产导刊, 2023(03):111-113.
- [2] 隋己元. 生态化理念在水利工程设计中的应用探讨 [J]. 百科论坛电子杂志, 2023(22):166-168.
- [3] 赵秀霞. 基于生态理念下的水利工程景观化处理方法初探：以合肥园博园项目为例 [J]. 城乡建设, 2024(01): 75-77.
- [4] 魏少锋. 河道生态水利工程的设计原则与方法研究 [J]. 电脑爱好者 (普及版)(电子刊), 2023(03):1995-1996.
- [5] 石炜, 葛一冬, 陈敏, 等. 生态型护岸在水利工程设计中的应用探究 [J]. 治淮, 2023(11):23-25.
- [6] 李林杰, 张峻华, 李鹏. 绿色生态理念在水利水电工程设计中的运用 [J]. 科海故事博览, 2023(16):103-105.
- [7] 高新颖. 生态水利设计理念在城市河道治理工程中的应用分析 [J]. 水上安全, 2023(06):49-51.
- [8] 林斌. 可持续发展生态理念在水利设计中的应用 [J]. 陕西水利, 2023(01):132-133.

建筑门窗及玻璃幕墙节能设计策略分析

王 浩

(济南一霖新材料科技股份有限公司, 山东 济南 250000)

摘要 随着建筑行业的不断发展,建筑门窗及玻璃幕墙的节能策略成为提升建筑能效的关键。本文分析了节能材料的选择策略,包括主体结构材料、支撑框架材料和高效保温材料的优选,详细阐述了建筑门窗及玻璃幕墙的节能设计中结合地域特性选用节能材料、中空玻璃与低辐射镀膜玻璃的应用、智能遮阳系统的创新设计以及动态热管理与自然通风的整合应用等要点,这些策略共同构成了建筑门窗及玻璃幕墙节能的有效体系,以期为建筑行业的可持续发展提供有益参考。

关键词 建筑门窗; 玻璃幕墙; 节能策略

中图分类号: TU22

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.05.022

0 引言

现代建筑既要满足人民群众不断提高的生活和工作需要,又要为节能和环保做出显著贡献。本研究的目的是探索建筑节能设计的系列创新策略,并通过智能化技术、先进材料和建筑设计等手段的结合运用,使建筑能耗显著下降,室内环境达到最优。本研究旨在为现代建筑可持续发展提供一种新思路和新途径,促进建筑行业朝着更绿色、更有效的方向迈进。

1 建筑门窗及玻璃幕墙节能工作的核心意义

在建筑节能这一广泛领域内,门窗、玻璃幕墙作为建筑物与外界环境热交换、光线传递等主要渠道,其性能好坏直接关系到建筑物能耗水平、室内环境舒适度等。

所以,对建筑门窗与玻璃幕墙节能策略进行深入的研究与落实,既是响应我国节能减排政策,促进我国绿色建筑发展所必须采取的措施,更成为提高建筑整体能效、实现建筑可持续发展的重要手段^[1]。

在能源利用方面,对建筑门窗和玻璃幕墙进行节能工作可以明显降低建筑冷热负荷和空调,采暖及其他设备能耗。通过使用高性能节能材料及先进节能设计可有效地隔绝外部冷热空气及紫外线,使室内温度维持在一个较为稳定的范围内,进而降低能源浪费。

与此同时,好的节能门窗和玻璃幕墙也可以增强建筑物的保温隔热性,使其传热系数下降,从而使建筑物在冬季可以较好地维持室内的温度和减少热量散失;夏季又能有效阻隔外部热辐射入侵,降低空调制冷要求^[2]。

2 建筑门窗及玻璃幕墙节能材料的选择策略

2.1 主体结构材料的优选

在建筑门窗与玻璃幕墙节能工作当中,其主体结构材料既承载了建筑重量与稳定性,又直接关系到门窗与玻璃幕墙保温隔热性与耐久性。所以,在对主体结构材料进行优选的时候,需要对材料的力学性能、热工性能、耐候性和经济性进行多方面的考虑。

第一,在主体结构材料的选用中,力学性能为第一位考虑因素。建筑门窗和玻璃幕墙作为建筑物外围护结构需承受各种外部荷载,如风压、雪压。所以,主体结构材料一定要有足够的强度与刚度才能保证在多种极端天气情况下安全稳定^[3]。

第二,热工性能是主体结构选材的又一个重要指标。卓越的热工性能决定了材料能有效隔绝热量传递以减少建筑能耗。选用主体结构材料时应优先选择导热系数较小、热阻较大者。如应用断桥隔热技术将隔热条安装在铝合金门窗框空心部位,从而有效地阻隔热量传递路径并改善门窗保温隔热性能。

2.2 支撑框架材料的精心挑选

支撑框架既是门窗与幕墙的框架,又承载玻璃及其他面板材料,而且直接关系到整个体系的结构稳定性、保温隔热性能以及耐久性。力学性能是支撑框架选材的第一准则。建筑门窗和玻璃幕墙是建筑外围护结构中的重点构件,需要承受风压、雪压、自重和偶然荷载等各种力。所以,支撑框架材料要有足够的强度与刚度才能保证整个体系的安全稳定^[4]。就材料选择而言,高强度铝合金、不锈钢和优质钢材是经常使用的方案,

这些材料可以满足多数建筑的力学性能需求。

热工性能也是不容忽视的。支撑框架是热量传递最主要的途径，支撑框架热工性能直接关系到门窗和幕墙保温隔热效果。选择支撑框架材料时应优先选择导热系数较小和热阻较大的，这样可以降低热量传递。

耐腐蚀性在支撑框架材料的选用上也应着重关注。建筑门窗与玻璃幕墙与室外环境接触时间较长，易受雨水、阳光、风沙等自然因素腐蚀，所以，支撑框架材料一定要有较好的耐腐蚀性才能保证长期运行稳定可靠^[5]。在选择材料时，可以优先考虑那些经过特殊防腐处理或本身具有良好耐腐蚀性的材料，如不锈钢、铝合金（经阳极氧化或者电泳涂装后）等。

2.3 高效保温材料的合理应用

建筑门窗和玻璃幕墙节能设计时，保温材料选择和使用不仅对建筑围护结构热工性能有直接影响，而且对室内环境舒适度和能源利用效率也有一定影响。所以，在设计和施工中需要科学地选用和合理地布置高效保温材料，才能充分发挥保温隔热效能。

第一，选用高效保温材料要遵循热工性能优越、密度适度和防火性能好的原则。热工性能作为评价保温材料隔热效果好坏的一个重要标志，一般用导热系数和热阻两个参数表示。选用导热系数较小和热阻较大的材料能有效地降低热量传递和增强建筑保温隔热能力。与此同时，还要求材料密度适度，既要具有足够强度支持，还要避免重量过大而加大建筑荷载。

第二，对高效保温材料进行合理的布置和应用，是促进其保温隔热效果提高的关键。建筑门窗与玻璃幕墙设计时，要根据各部分传热特点对保温材料进行针对性选择与运用。如在门窗框和墙体的间隙中，可以用弹性密封材料或者保温泡沫填充来降低空气渗透、热桥效应等；在玻璃幕墙的构造中，可在中空玻璃内部填充惰性气体（如氩气），或在玻璃与框架之间设置保温隔热条，以提高整体的保温隔热性能。

3 建筑门窗及玻璃幕墙的节能设计要点

3.1 结合地域特性，科学选用节能材料

建筑门窗和玻璃幕墙节能设计时，其地域特性主要由气候条件、环境湿度、太阳辐射强度和风向风速等自然因素构成，以及地方建筑材料资源、经济发展水平、建筑文化和其他社会因素。这几个因素对建筑能耗产生综合影响，从而影响门窗和玻璃幕墙节能效果。

第一，气候条件对节能材料的选用有着至关重要的影响。寒冷地区应选用导热系数较小和保温性能较好的型材，例如高性能保温玻璃和断桥隔热铝合金型

材，这样可以减少热量散失和改善建筑保温性能。在高温地带，需要重视材料的隔热和防晒特性，例如使用低辐射镀膜玻璃（Low-E 玻璃）和中空玻璃等，这样可以有效地阻挡太阳的辐射，从而降低室内的温度并减少空调的能源消耗。

第二，环境湿度与太阳辐射强度对节能材料的选用也有显著影响。高湿度地区应选用防潮性能良好的物质，以免因水汽凝结而发霉腐蚀。同时，在太阳辐射强度较大的区域需要选择高透光性、低反射性玻璃材料来降低眩光及热辐射对室内环境造成的影响。

第三，建筑文化对节能材料的选用有着不容忽视的影响。在进行建筑设计时，要尊重与融入地方建筑文化，并且通过选择与地方审美与文化传统相契合的节能材料来让建筑节能，同时还能彰显出特有的地域风貌与文化底蕴。

3.2 中空玻璃的广泛应用与优势

在建筑节能领域中，中空玻璃是一种有效的保温隔热材料，它是用两块或者两块以上玻璃用密封胶条或者密封胶相隔一段距离而制成，以及充入其间的干燥空气、惰性气体或者特殊介质组成。它特殊的结构设计与材料组合，使中空玻璃具有明显的节能优势。

第一，中空玻璃具有优良的保温和隔热性。由于玻璃之间有空气层或惰性气体层存在，这些气体的热导率远远低于玻璃本身，因此可以有效地阻止热量的传输。尤其寒冷季节使用中空玻璃可减少室内热量散失和维持室内温度稳定；并且在炎热季节时，可以阻隔外界热辐射入侵，减小室内温度波动以降低空调、采暖等能耗。

第二，中空玻璃隔音性好。空气层或者惰性气体层在阻隔热量传递的同时还能有效削弱声音传递。所以，使用中空玻璃门窗与玻璃幕墙可以显著减少外界噪声给室内环境带来的冲击，增强生活与工作舒适度。

第三，使用中空玻璃也可以增强建筑美观性与安全性。现代中空玻璃技术既能实现各种色彩与质感的搭配，又能通过镀膜、夹胶增强玻璃抗冲击防盗性能，使得建筑既节能又显示出特有的审美与安全。

3.3 低辐射镀膜玻璃（Low-E）的节能效用

随着建筑节能技术的不断进步，低辐射镀膜玻璃（Low-E 玻璃）因其显著的节能效果，已逐步被视为建筑门窗和玻璃幕墙节能设计的核心部分。Low-E 玻璃是在玻璃表面镀 1 层或 1 层以上的金属或者金属氧化物薄膜来选择性地透过和调控太阳辐射而取得显著节能效果的。

第一,Low-E玻璃可以有效地减少太阳能直接透过率。夏季太阳辐射强是室内温度上升的一个重要因素。在Low-E玻璃上镀膜层能反射绝大部分红外辐射并减少太阳能热量传入房间,以降低空调能耗和保持房间清凉舒适。同时,本镀膜层对于可见光透过率几乎没有影响,确保室内自然采光好,避免遮阳措施造成室内采光不足。

第二,Low-E玻璃可以起到优良的冬季保温性能。镀膜层虽降低了太阳能热量输入,却也降低了室内热量向外散出。冷季Low-E玻璃能如镜子般反射室内热量回到房间,减少了热量损失,改善了建筑保温性能以降低采暖能耗。

3.4 玻璃幕墙智能遮阳系统的创新设计

现代建筑追求高效节能和舒适环境,智能遮阳系统将先进传感器技术、自动化控制算法和可调节遮阳构件有机地结合起来,达到动态响应太阳辐射和精确调控的目的,使建筑能耗得到有效的减少,同时保证房间良好的自然采光。

设计本系统的核心是系统的智能感知和决策能力。通过设置在玻璃幕墙内的高精度光敏传感器、温度传感器和风速传感器,该系统可对外界环境条件变化情况进行实时监控,包括太阳辐射强度、室外温度、风向风速等主要参数。智能遮阳系统根据这些实时数据运用先进控制算法对遮阳构件进行角度、位置或者透明度等参数的自动调节,从而实现自然光照明的最大化,在有效遮挡过多太阳辐射的同时避免室内温度过高,降低了空调能耗。

遮阳构件设计中,智能遮阳系统也表现出创新思维。传统固定遮阳板或者百叶窗虽然可以有效遮阳,但通常是以牺牲自然采光灵活为代价,并且智能遮阳系统采用可调遮阳板、电动百叶窗和智能变色玻璃等高级材料和工艺,这些部件既可根据外界环境条件进行自动调节,也可由用户界面手动操控,达到遮阳效果和自然采光之间的完美兼顾。

3.5 动态热管理与自然通风的整合应用

在当代建筑节能设计领域,将动态热管理与自然通风相结合已经变成了一种既高效又环保的方法,其核心目标是通过智能调整建筑内部的温度和气流,从而显著减少能源消耗并优化室内环境。动态热管理系统采用先进传感器网络及智能控制算法对建筑物内外部热环境变化进行实时监控与响应,对建筑物保温进行自动调节、隔热和散热性能来维持室内温度稳定舒适。同时自然通风策略充分利用了室外空气自然流

动的特点,并通过对建筑物开口、风道及通风井的合理设计来促进室内和室外空气交换,从而有效地降低了室内温度和提高了空气质量。

具体实现时,动态热管理和自然通风融合运用表现出协同作用。

一方面,动态热管理系统可以根据室外温度、太阳辐射强度以及室内人员的活动情况对建筑物遮阳设施、空调系统和窗户开合进行智能调整,从而降低不必要的能源消耗。如当夏季气温较高时,该系统可以在通过调节空调系统运行方式来降低室内温度的前提下,自动关窗开启遮阳设施的一部分;而且春秋两季,可以通过智能开窗、采用自然通风、减少空调使用等方式来达到节约能源。

另一方面,自然通风策略作为动态热管理的重要补充,其设计需考虑建筑的朝向、体型、空间布局及外部环境条件等因素,以确保在合适的时机获得最佳通风效果。如建筑物迎风面安装可调百叶窗或者风斗将室外空气导向建筑物内;建筑物背风面上设计拔风井或者风道以加强室内空气排出效率和形成高效气流循环。

4 结语

本文通过深入探究现代建筑设计若干重点方面,揭示智能化技术、先进材料及建筑设计对于提高建筑能效和优化室内环境的重要性。研究表明:动态热管理和自然通风融合运用、玻璃幕墙智能遮阳系统创新设计、Low-E玻璃节能效用、广泛使用中空玻璃和结合地域特性对节能材料进行科学选择都能有效地减少建筑能耗并增强室内环境舒适度和灵活性。这些战略的实施既有利于实现建筑行业绿色发展,同时也为今后建筑设计工作提供了一个新方向和新思路。所以,本研究对促进现代建筑可持续发展有着十分重要的意义。

参考文献:

- [1] 齐方勇.建筑装饰工程中节能型玻璃幕墙施工技术[J].门窗,2024(08):1-3.
- [2] 万成龙,杨轲昕.幕墙门窗隔声现场测试及玻璃隔声计算分析[J].建筑玻璃与工业玻璃,2023(08):16-19.
- [3] 王文青,陈格新,赵凯.钢结构玻璃幕墙在建筑工程施工中的应用与实践[J].门窗,2024(02):16-18.
- [4] 成为松.公共建筑中玻璃幕墙的节能要点[J].门窗,2023(03):7-9.
- [5] 燕向远.建筑玻璃幕墙节能性及经济性分析[J].门窗,2024(11):1-3.

高强度钢筋在市政道桥施工中的应用策略

皮华琼

(安徽省金宇建设集团有限公司, 安徽 六安 237300)

摘要 为了提升市政道桥施工质量与效益, 更好地掌握在市政道桥施工中应用高强度钢筋的技术要点, 本文分析了高强度钢筋在市政道桥施工中的应用优势, 指出其可减轻结构自重、增强桥梁抗裂能力以及减少桥梁维修成本, 探讨了应用过程中存在的高强度钢筋的加工与施工难度、运输与储存问题、施工成本及经济性考量以及施工工艺与技术要求高等问题, 并针对这些问题提出了改进加工技术、优化运输与储存管理、控制施工成本提高经济性、提升施工工艺与技术支持等应用策略, 以期为促进高强度钢筋在市政道桥施工中的科学应用提供参考。

关键词 高强度钢筋; 市政道桥; 施工工艺; 结构自重; 抗裂能力

中图分类号: U415; U445

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.05.023

0 引言

我国城市化进程飞速推进, 市政道桥工程作为城市交通的关键基础设施, 面临着前所未有的挑战与更高的要求。一方面, 交通流量的急剧增长促使桥梁需承载更大负荷; 另一方面, 人们对工程耐久性、安全性期望持续攀升。在这样的背景下, 高强度钢筋应运而生。传统钢筋在面对大跨径桥梁、重载交通道路时逐渐显露出局限性, 难以满足结构对强度与稳定性的严格需求。而高强度钢筋凭借其卓越的力学性能, 能够有效减轻结构自重, 不仅能为复杂的道桥设计提供更多可能, 还能降低基础建设成本。同时, 其出色的抗裂能力有助于延长桥梁使用寿命, 减少后期频繁维修带来的资源浪费与交通不便。因此, 高强度钢筋在市政道桥施工中的应用研究极具现实意义。

1 高强度钢筋在市政道桥施工中的作用

1.1 减轻结构自重

在市政道桥施工中, 结构自重是一个关键设计考量因素。高强度钢筋相较于传统钢筋, 具有更高的强度与重量比。使用高强度钢筋能够在确保结构整体力学性能不降低的前提下, 减少钢筋的使用量。以大跨径桥梁为例, 其上部结构往往极为庞大, 传统钢筋用量多会导致自重显著增加, 对下部基础承载压力极大。而采用高强度钢筋, 凭借其优异特性, 可精准优化结构配筋, 在满足承载要求时, 大幅削减多余重量, 这不仅降低了对基础建设的要求, 还能在地震等自然灾害发生时, 减轻结构惯性力, 提升桥梁整体稳定性, 为工程的安全性与经济性带来双重保障。

1.2 增强桥梁的抗裂能力

桥梁在长期服役过程中, 受车辆荷载、温度变化、

混凝土收缩等多重因素影响, 极易产生裂缝。高强度钢筋的高强度特性在此发挥了关键作用, 当混凝土承受拉力开始出现微裂缝时, 高强度钢筋能凭借自身强大的抗拉能力, 分担更多拉力, 抑制裂缝进一步扩展。与传统钢筋相比, 其屈服强度更高, 极限拉应变更大, 即使在复杂多变的受力环境下, 如重载车辆频繁通行的城市主干道桥梁, 也能像一张坚韧的“内网”, 牢牢束缚住混凝土, 阻止裂缝蔓延, 保障桥梁结构的完整性, 延长桥梁使用寿命, 确保交通安全顺畅^[1]。

1.3 减少桥梁维修成本

高强度钢筋助力减少桥梁维修成本成效显著。首先, 因其减轻结构自重、增强抗裂能力, 从源头上降低了桥梁病害发生概率, 减少了诸如裂缝修补、结构加固等维修工程频次。相较于普通钢筋构建的桥梁, 高强度钢筋桥梁在正常使用年限内, 维修次数可减少约 30%。其次, 一旦需要维修, 由于高强度钢筋良好的可焊性与锚固性能, 使得维修作业难度降低, 维修工期缩短。例如, 在更换局部受损钢筋时, 能快速完成连接与锚固, 减少对交通的长时间干扰, 间接节约交通管制成本。最后, 减少维修还意味着减少维修材料、设备租赁以及人工投入, 长期来看, 为市政道桥管养部门节省大量资金, 可将更多资源投入新建项目或其他基础设施优化中, 推动城市交通可持续发展。

2 高强度钢筋在市政道桥施工中的应用问题

2.1 高强度钢筋的加工与施工难度

高强度钢筋凭借其高强度特性, 带来诸多优势, 然而也引发了一系列加工与施工难题。首先, 由于它的屈服强度颇高, 使得像钢筋弯折、切断这类常规加

工操作的难度急剧攀升。普通加工设备在处理高强度钢筋时，极易出现刀具磨损迅速、动力欠缺等状况，难以精准达到所需的加工尺寸，进而导致加工精度出现偏差，对后续的安装环节造成不利影响。其次，在施工过程中，因高强度钢筋硬度较大，其与混凝土的粘结性能相较于传统钢筋存在差异。振捣混凝土时，倘若操作稍有不当，钢筋便容易发生移位，致使结构受力分布受到干扰^[2]。例如在大型互通立交桥的施工场景下，钢筋节点繁多且构造复杂，高强度钢筋的连接作业必须采用特殊的机械连接或者焊接工艺，这对工人的技术熟练程度提出了极高的要求，稍有差池，就会造成连接不牢固的问题，给整个工程质量埋下隐患，同时还会大幅增加现场施工管理的难度。

2.2 高强度钢筋的运输与储存问题

从运输层面来看，高强度钢筋因其高强度特质，单位长度的重量相对较大。如此一来，在装卸环节，对吊运设备的承载能力以及稳定性就有了更高要求，普通吊车很可能无法满足吊运高强度钢筋的需求，这无疑增加了运输过程中的风险。此外，长尺寸的高强度钢筋在运输途中极易因为道路颠簸、司机急刹车等情况而发生弯曲变形，一旦变形超出标准范围，便无法正常投入使用^[3]。至于储存方面，鉴于高强度钢筋自身的材质特性，它对环境的湿度、温度较为敏感。倘若将其储存在潮湿环境中，钢筋极易生锈腐蚀，进而导致其性能降低。就拿南方梅雨季节来说，那些缺乏良好防护措施的仓库，里面存放的高强度钢筋表面会在短时间内迅速生锈，这不仅影响钢筋外观，更会削弱其强度，缩短使用寿命，而且还需要额外投入成本进行除锈处理，给工程物料管理工作带来诸多不便。

2.3 施工成本与经济性问题

尽管从长远角度考量，高强度钢筋能够有效减少桥梁维修成本，但其初始投入成本却不容小觑。一方面，高强度钢筋材料本身的价格相较于传统钢筋要高出许多，在大规模的市政道桥项目里，这一成本增加幅度颇为显著，给项目预算带来了巨大压力。另一方面，由于高强度钢筋在加工、施工环节难度较大，这就需要配备专业设备以及高技能工人，如此便会增加设备租赁费用以及人工成本。例如在跨江大桥建设项目中，为了满足高强度钢筋的施工要求，施工方不得不购置先进的数控加工设备，聘请经验丰富的技术人员，前期投入相当高昂。而且，由于高强度钢筋的施工进度相对缓慢，工期延长又会引发间接成本上升，诸如现

场管理费、设备闲置费等费用也会随之增加。综合多方面因素考量，施工成本与经济性之间的平衡问题，已然成为制约高强度钢筋在市政道桥施工中广泛应用的关键因素。

2.4 施工工艺与技术要求高

当高强度钢筋应用于市政道桥施工时，对施工工艺有着极为严格的要求。在钢筋连接工艺方面，传统的绑扎连接方式根本无法满足高强度钢筋的受力需求，此时必须采用直螺纹套筒连接、镦粗直螺纹连接等高精度的机械连接方式。不过，这些工艺操作起来较为复杂，对于连接套筒的材质、精度以及螺纹加工质量都有着严格把控，任何一个环节出现失误，都极有可能导致连接失效^[4]。在混凝土浇筑环节，为确保钢筋与混凝土能够协同受力，对于混凝土的配合比、坍落度以及振捣方式都有着特殊规定，必须进行精准调配、精细施工。

另外，在桥梁预应力施工过程中，高强度钢筋的张拉控制更是一大技术难点，张拉应力过大或者过小，都会对结构承载性能产生影响，这就要求施工人员具备精湛的专业知识与丰富的实践经验，能够实时监测、精准调控，否则，即便只是微小的偏差积累，最终都有可能引发严重的工程质量问题。

3 高强度钢筋在市政道桥施工中的应用策略

3.1 改进高强度钢筋的加工技术

在市政道桥施工领域，改进高强度钢筋的加工技术已迫在眉睫。当下，传统加工手段难以满足高精度需求，施工团队必须引入前沿的数控加工设备，凭借其精密的编程控制系统，精准把控钢筋的切割长度精确至毫米，弯曲角度偏差控制在极小范围，最大程度地降低因人工操作的随意性引发的钢筋连接缝隙过大、受力失衡等隐患。与此同时，依据高强度钢筋独特的材质特性，投入研发力量打造专用加工刀具，这类刀具选用高硬度合金材质，经特殊热处理工艺，具备超强耐磨性，能从容应对高强度钢筋加工时的剧烈摩擦，显著延长单次使用时长，削减频繁更换刀具耗费的人力、物力与时间成本^[5]。此外，构建一套涵盖原材料入场细致甄别、加工全程实时监控以及成品严谨验收的标准化流程，对每一道细微工序详实记录，一旦出现质量瑕疵，能迅速回溯至问题源头，切实保障加工出的高强度钢筋完美适配道桥复杂结构的严苛设计规范。

3.2 优化高强度钢筋的运输与储存管理

优化高强度钢筋的运输与储存管理，是保障工程

顺利推进与钢筋性能稳定的关键。运输环节，鉴于钢筋长度、规格多样，需量身定制专用运输架，巧妙运用多点弹性支撑与柔性捆绑固定相结合的方案，杜绝运输途中因道路颠簸、车辆碰撞致使钢筋出现弯折变形、表面刮擦受损，进而影响其结构承载能力。对于长距离跨区域运输，运用智能物流规划系统，精心挑选路况优良、平稳顺畅的路线，同时借助车载传感器与卫星定位，实时掌控运输车辆动态，确保钢筋安全、准时抵达施工现场。储存阶段，搭建符合行业标准的专业仓库，地面做多层防潮处理，铺设隔水性能卓越的防潮垫，四周配备大功率通风换气设施，维持空气持续流通，有效规避钢筋受潮生锈。依照钢筋型号、规格细致分类码放，醒目设置标识牌，既方便材料员快速定位提取，又减少不必要的搬运，降低人为磕碰、刮擦风险。并且，定期组织专业人员对库存钢筋外观完整性进行排查，抽样检测力学性能，及时察觉并妥善处置潜在隐患。

3.3 控制施工成本与提高经济性

控制施工成本与提升经济性，要求施工团队全方位、系统性规划。

其一，在原材料采购端口，积极与业内口碑良好、产品质量过硬的供应商构建长期战略合作伙伴关系，借助批量集中采购、统一配送的模式，争取颇具吸引力的价格优惠，从源头削减高强度钢筋的采购成本。同时，依托先进的 BIM 建筑信息模型技术，依据道桥精准设计图纸创建三维钢筋模型，模拟施工全流程，精细优化钢筋排列布局，杜绝因设计不合理造成的材料冗余浪费，大幅提升材料利用率^[6]。

其二，从施工流程管理切入，依据项目整体规划，科学编排施工顺序，实现不同工种、工序紧密衔接，减少施工机械设备的闲置空转时间，提升设备综合利用率，降低租赁成本支出。

其三，强化施工人员专业技能培训，通过理论学习、实操演练等多元方式，提升人员作业熟练度，加快施工进度，间接压缩人工成本、管理成本以及因工期拖延可能衍生的各类额外费用，实现高强度钢筋在市政道桥施工中经济效益的最大化。

3.4 提升施工工艺与技术支持

提升施工工艺与技术支持是确保高强度钢筋高效、精准应用的核心驱动力。施工单位应秉持开放视野，积极引入国际国内领先的道桥施工工艺，诸如新型高效的钢筋机械连接工艺，以高精度的套筒连接取代传

统焊接，不仅接头连接强度提升约 20%，稳定性更优，而且无惧风雨、潮湿等恶劣环境干扰，能将连接耗时缩短近半，显著加快施工进度。同时，主动与科研院所、高等院校合作，针对高强度钢筋在特殊工况下的应用困境，设立专项技术攻关课题，全力攻克复杂地质条件下高强度钢筋的锚固技术难题，为工程攻坚克难提供坚实的技术保障。另外，施工单位应定期组织一线施工人员参与各类技术培训、经验交流盛会，邀请业内资深专家莅临现场，面对面传授最新施工工艺原理、操作要诀，助力施工团队成员及时更新知识储备，娴熟掌握前沿操作技巧，全方位提升团队整体技术素养，保障高强度钢筋在市政道桥施工各环节得以精准、高效应用。

4 结束语

高强度钢筋在市政道桥施工中具有显著优势，如减轻结构自重、提高抗裂能力、延长桥梁使用寿命及降低维修成本，这为创新设计和可持续发展提供了更多可能。然而，在其实际应用中也面临挑战，如加工难度大、运输存储需精细管理、成本控制复杂以及高技术要求。为应对这些问题，需通过改进加工技术、优化物流管理、严格控制成本并加强技术支持等措施，确保高强度钢筋的性能不受影响，提升施工效率与质量，从而推动市政道桥建设朝着更高效、更经济的方向发展，为城市交通提供坚实的基础。

参考文献：

- [1] 朱光彬, 姜林, 赵志刚. 高强度大直径钢筋工程质量控制 [J]. 四川建筑, 2024, 44(03): 180-181.
- [2] 杨文博, 李拥山, 刘复兴, 等. .630MPa 级高强度抗震钢筋开发试制 [J]. 金属制品, 2024, 50(03): 26-29, 34.
- [3] 张江龙. 市政桥梁工程的基础钻孔灌注桩施工技术探究 [C]// 广西网络安全和信息化联合会. 第二届工程技术管理与数字化转型学术交流会论文集. 中核西北建设集团有限公司, 2024.
- [4] 刘星. 市政道桥建设中的地基施工处理技术研究 [J]. 中国高新科技, 2023(18): 64-65, 68.
- [5] 殷向敏. 市政建设道桥施工关键技术的应用及质量控制 [J]. 四川建材, 2022, 48(06): 251-253.
- [6] 徐成功, 陈寅杰, 吴建平, 等. 智慧工地技术在市政工程钻孔灌注桩施工中的应用 [C]// 江西省土木建筑学会, 江西省建工集团有限责任公司. 第 28 届华东六省一市土木建筑工程建造技术交流会论文集. 浙江省二建建设集团有限公司, 2022.

锂电池生产行业 -40°C 露点干燥房 空调系统设计与分析

张华锋

(大连凯杰建筑设计有限公司, 辽宁 大连 116600)

摘要 随着全球对清洁能源的需求不断增长, 锂电池作为一种高效、环保的储能设备, 在电动汽车、移动电子设备、可再生能源存储等领域得到了广泛应用。据中信建投研报指出, 预计2025年锂电装机需求1 814 GWh, 同比增长22%。锂电池的性能和质量直接影响到这些应用领域的发展, 而生产环境中的湿度控制对锂电池的性能起着至关重要的作用。本文通过对 -40°C 露点温度干燥房的空调系统进行分析与设计, 旨在为提高锂电池制造生产质量和效率提供参考。

关键词 锂电池; 干燥房; 空调系统

中图分类号: TM91; TU83

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.05.024

0 引言

在锂电池的生产过程中, 水分是影响电池性能和寿命的关键因素之一。过多的水分会导致电池内部发生化学反应, 产生气体, 进而引起电池鼓包、漏液等问题, 严重影响电池的安全性和稳定性。电解液中的LiPF6遇到水分时会产生氟化氢(HF)气体, 造成鼓壳、影响厚度、SEI膜形成不完整等问题。为了确保锂电池的质量, 生产过程需要在干燥的环境中进行。一般来说, 锂电池生产干燥房的温度需控制在 $20\sim25^{\circ}\text{C}$, 湿度在0.4%以下, 露点温度应 $\leq-40^{\circ}\text{C}$ 。

1 锂电池生产对干燥房空调系统要求

1.1 锂电池生产工艺对环境参数的要求

1.1.1 温度要求

锂电池的生产过程涵盖多个环节, 不同生产环节对温度有着不同要求。在电极浆料制备阶段, 温度需保持在 $20\sim30^{\circ}\text{C}$ 。温度过高, 溶剂挥发速度加快, 导致浆料成分比例失调, 影响电极的性能和一致性; 温度过低, 浆料的黏度增加, 不利于搅拌和混合均匀, 进而影响后续的涂布效果。在涂布环节, 温度控制在 $25\sim35^{\circ}\text{C}$ 较为适宜。温度不适会导致涂层干燥速度过快或过慢, 过快可能使涂层表面出现裂纹, 过慢则会降低生产效率, 且影响涂层的均匀性和附着力^[1]。

1.1.2 湿度要求

锂电池对湿度极为敏感, 这是由其内部的化学组成和反应机理决定的。锂电池的电解液通常含有锂盐,

如六氟磷酸锂(LiPF6), 它在遇到水分时会发生剧烈反应, 生成氟化氢(HF)等有害物质。这不仅会降低电解液的性能, 还会腐蚀电池的电极和隔膜, 严重影响电池的安全性和使用寿命。锂电池生产过程中必须严格控制环境湿度, 而 -40°C 露点温度是防止水分对电池产生不利影响的关键指标。当露点温度高于 -40°C 时, 意味着空气中的水蒸气含量较高, 水分更容易进入电池内部, 引发上述化学反应。

1.2 干燥房空调系统的功能需求

1.2.1 精确湿度控制功能

湿度控制是关键, 由于锂电池对水分极为敏感, -40°C 露点温度的严格要求成为保障电池质量的关键。在湿度控制方面, 当湿度传感器检测到湿度升高时, 空调系统会加大除湿系统的工作强度, 迅速去除空气中的水分, 使露点温度维持在 -40°C 以下; 而当温度出现波动时, 空调系统会通过调节制冷或制热设备, 对干燥房内的温度进行精准调整, 以满足锂电池生产工艺对环境的严格要求^[2]。

1.2.2 空气净化功能

锂电池生产对空气洁净度有着极高的要求, 这是因为微小的尘埃粒子和污染物可能会对电池的性能和安全性产生严重影响。在电池的组装过程中, 若空气中存在尘埃粒子, 这些粒子可能会附着在电极或隔膜上, 导致电池内部短路, 降低电池的性能, 甚至引发安全事故。尘埃粒子还可能影响电池的充放电效率, 缩短电池的使用寿命。

2 -40 °C露点温度干燥房空调系统分析

2.1 适用的除湿技术原理与特点

2.1.1 转轮除湿技术

转轮除湿技术是一种高效的空气除湿方法，在众多对湿度要求苛刻的领域得到了广泛应用。其核心部件是一个由特殊吸湿材料制成的转轮，通常被分隔为处理区和再生区。转轮以缓慢而稳定的速度旋转，一般转速为每小时 8 次至 18 次。

当潮湿的空气流经转轮的处理区时，空气中的水蒸气会被转轮上的吸湿剂吸附。这一过程基于吸湿剂对水分的强大亲和力，使得水蒸气分子附着在吸湿剂表面，从而实现空气的除湿。常见的吸湿材料有硅胶、分子筛、氯化锂等，不同的吸湿材料在吸湿性能、适用范围和成本等方面存在差异。硅胶转轮具有良好的化学稳定性和机械强度，能在较宽的温度范围内工作，其吸湿能力较强，可有效降低空气湿度。分子筛转轮则对水分子具有高度选择性，能够在低湿度环境下仍保持较好的吸湿效果，尤其适用于对露点温度要求极低的场合。氯化锂转轮的优点是价格相对较低，且能获得较低的露点，但它对潮湿空气的相对湿度有一定限制，当相对湿度接近 100% 时，吸湿纸容易遭受破坏^[3]。

随着转轮的转动，吸附了水分的区域逐渐进入再生区。在再生区，通过引入高温空气（通常温度在 100~150 °C），使吸湿剂中的水分被脱附出来，随高温空气排出室外，从而使转轮恢复吸湿能力，得以循环使用。高温空气的引入方式通常有蒸汽加热和电加热两种，蒸汽加热具有成本较低的优势，适用于有蒸汽供应的场所；电加热则具有控制方便、加热速度快的特点，在一些对加热响应速度要求较高的场合较为适用。

转轮除湿技术在低露点温度环境下具有显著优势。它能够连续稳定地工作，提供低露点的干燥空气，露点温度可低至 -60 °C 以下，完全满足锂电池生产中 -40 °C 露点温度的严格要求。转轮除湿不受环境温度的影响，在低温环境下仍能保持良好的除湿性能。在冬季室外温度较低时，其他一些除湿技术可能会出现效率下降甚至无法正常工作的情况，而转轮除湿机却能稳定运行，确保干燥房内的湿度始终处于合格范围内。转轮除湿技术还具有除湿量大、结构紧凑、运行维护方便等优点。其蜂窝状的结构设计提供了巨大的吸湿面积，使得单位体积的转轮能够处理大量的空气，且设备占地面积小，便于安装和布置。由于其运行原理相对简单，主要部件为转轮、风机和加热器等，日常维护工作相对较少，只需定期检查转轮的转动情况、更换过滤器等，降低了设备的维护成本和停机时间。

2.1.2 其他除湿技术对比

除了转轮除湿和压缩式除湿技术外，常见的除湿技术还有冷却除湿、液体吸收式除湿和固体吸附式除湿（非转轮形式）等，但这些技术在满足 -40 °C 露点温度要求方面存在明显不足。

冷却除湿是通过将空气冷却至露点温度以下，使水蒸气凝结成液态水并除去。在露点温度较高的情况下，如露点温度在 4 °C 以上时，冷却除湿技术较为有效且成本较低。但当需要达到 -40 °C 的露点温度时，冷却除湿面临巨大挑战。为了实现如此低的露点，需要将空气冷却到极低的温度，这不仅需要大量的冷量，而且在低温下，空气的含湿量极低，水蒸气的凝结过程变得极为困难，需要消耗大量的能源来维持低温环境，同时还可能出现结冰等问题，影响系统的正常运行。

液体吸收式除湿采用氯化锂水溶液等吸湿剂通过喷雾等方式吸收空气中的水分。这种除湿技术在一定程度上能够降低空气湿度，露点可降至 -20 °C 左右。要达到 -40 °C 的露点温度则难以实现^[4]。

2.2 系统设计中的关键参数与计算

在锂电池干燥房空调系统设计中，湿负荷计算是关键环节。湿负荷来源多样，人员活动是重要来源之一。人员在干燥房内工作时，通过呼吸和体表出汗向周围环境散发水分。以成年男性为例，在一般工作强度下，每小时的散湿量约为 100~150 g。锂电池生产过程中使用的一些原材料，如电极材料、电解液等，本身可能含有一定水分，在生产过程中会逐渐释放到空气中。某些电极材料在储存和运输过程中可能吸收了部分水分，当进入干燥房后，随着环境温度和湿度的变化，水分会缓慢释放出来。包装材料同样可能携带水分，尤其是纸质包装材料，在干燥环境中会释放出所含的湿气。

湿负荷计算方法通常基于质量守恒原理。对于人员散湿，可通过人数乘以单人散湿量来计算。假设某锂电池生产车间面积为 1 000 m²，高度为 5 m，车间内有 20 名工作人员。根据相关数据，成年男性在该工作环境下平均每小时散湿量为 120 g，女性为 100 g，男女比例为 3:2。则人员散湿量计算如下：男性人数为 $20 \times 3/5 = 12$ 人，女性人数为 $20 - 12 = 8$ 人。人员总散湿量为 $12 \times 120 + 8 \times 100 = 2 240 \text{ g/h} \approx 2.24 \text{ kg/h}$ 。

3 空调系统设计案例分析

3.1 除湿与空调设备选型

根据项目对 -40 °C 露点温度的严格要求，结合前文对各种除湿技术的分析，转轮除湿技术成为首选。转

轮除湿机能够稳定地将空气露点温度降低至-40℃以下，且运行稳定可靠，适合锂电池生产干燥房这种对湿度要求极高的环境。在众多品牌中，选择了某知名品牌的转轮除湿机，该品牌产品在锂电池行业应用广泛，具有良好的口碑。其转轮采用高效的分子筛吸湿材料，能够在低湿度环境下仍保持较高的吸湿效率，且转轮的使用寿命长，维护成本较低。该品牌除湿机的再生系统设计合理，能够有效利用能源，降低运行能耗^[5]。

3.2 气流组织设计

在气流组织设计方面，采用了上送下回的方式。在干燥房的顶部均匀布置送风口，将经过处理的干燥空气以一定的速度和角度送入室内。送风口的设计经过精心计算和模拟，确保空气能够均匀地分布到干燥房的各个角落。空气在室内下降的过程中，与室内的设备、人员等进行热湿交换，带走热量和湿气，然后从底部的回风口排出。回风口设置在靠近地面的位置，能够有效地收集室内的湿热空气，保证室内空气的循环和更新。

3.3 控制系统设计

控制系统设计的核心思路是实现对空调系统的智能化、精准化控制。通过采用先进的传感器技术、自动化控制设备和智能控制算法，对干燥房内的温度、湿度、压力等参数进行实时监测和分析，并根据预设的条件自动调整空调系统各设备的运行状态，确保干燥房内的环境始终保持在最佳状态。

控制系统具备以下主要功能和特点：一是实时监测功能，通过布置在干燥房内各个关键位置的温湿度传感器、压力传感器等，能够实时采集环境参数，并将数据传输至控制系统的中央处理器。这些传感器具有高精度、高灵敏度的特点，能够快速准确地捕捉到环境参数的微小变化。二是自动调节功能，根据实时监测到的数据，控制系统能够自动判断当前环境参数是否符合预设范围。若温度、湿度等参数偏离设定值，控制系统会立即启动相应的调节机制，通过调节制冷机组、加热器、除湿机、加湿器等设备的运行功率和工作时间，使环境参数迅速恢复到设定范围内。在湿度高于设定值时，控制系统会加大除湿机的工作强度，增加再生空气的温度和流量，加快除湿速度；当温度过低时，控制系统会启动加热器，提高室内温度。

4 结论与展望

4.1 研究成果总结

本研究聚焦于锂电池生产行业-40℃露点温度干燥房的空调系统，深入剖析了其关键技术、性能要求及设计要点，明确了锂电池生产工艺对干燥房环境参

数的严格要求，温度需精准控制在特定区间，以确保电池性能一致性，湿度则需将露点温度稳定维持在-40℃以下，防止水分对电池产生不可逆的损害。

在除湿技术对比中，转轮除湿技术凭借其在低露点环境下的卓越性能，如稳定的除湿能力、不受环境温度干扰、可连续运行以及维护便捷等优势，成为满足该工况的首选。尽管压缩式除湿技术在某些方面具有一定的特点，但在应对-40℃露点温度的严格要求时，其高能耗、受环境影响大以及设备体积和重量问题等局限性凸显。

在系统设计环节，精准计算湿负荷、热负荷、风量与风压等关键参数至关重要。通过实际案例分析，展示了从除湿与空调设备选型、气流组织设计到控制系统设计的完整流程。在设备选型上，依据项目需求选定高效可靠的转轮除湿机和组合式空气处理机组；气流组织采用上送下回方式，保障温湿度均匀性和空气洁净度；控制系统则借助先进的传感器和智能算法，实现对空调系统的智能化、精准化控制^[6]。

4.2 未来研究方向展望

未来，锂电池生产行业-40℃露点温度干燥房的空调系统研究可朝着新型除湿技术方向深入发展，尽管转轮除湿技术目前表现出色，但随着科技的不断进步，研发更加高效、节能且能适应复杂工况的除湿技术成为必然趋势。如探索基于新材料、新原理的除湿方法，利用纳米材料的特殊吸附性能，开发出具有更高吸湿效率和选择性的除湿材料，有望进一步提升除湿效果，降低能耗。

参考文献：

- [1] 中华人民共和国工业和信息化部,中华人民共和国住房和城乡建设部.洁净厂房设计规范(GB 50073-2013)[S].2013-09-01.
- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部,国家市场监督管理总局.锂离子电池工厂设计标准(GB 51377-2019)[S].2019-11-01.
- [3] 中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.工业建筑供暖通风与空气调节设计规范(GB 50019-2015)[S].2016-02-01.
- [4] 曾瑞璇,颜承初,李梅.除湿等级划分及深度除湿技术研究进展[J].制冷学报,2020,41(06):12-21.
- [5] 李爱征,黄宗华,杨英英,等.深度除湿技术在低湿行业中的应用及研究进展[J].暖通空调,2023,53(09):1-11.
- [6] 孙莹莹,寇雪,丁冉,等.锂电池厂房能耗与产能分析[J].暖通空调,2024,54(S2):12-30.

金具在不同电压等级电力线路中的性能要及设计改进

张 成, 金海薇

(浙江华电器材检测研究院有限公司, 浙江 杭州 310000)

摘要 电力线路在现代电力系统中起着传输电能的关键作用, 而金具作为电力线路中的重要组成部分, 其性能要求与电力线路的电压等级紧密相关。不同电压等级的电力线路面临着不同的电气和机械环境挑战。在低电压等级线路中, 金具主要需满足基本的机械固定和导电功能。随着电压等级升高, 对金具的电气性能要求大幅提升, 如绝缘性能、载流能力等。高电压等级下的电磁环境复杂, 金具的抗电磁干扰能力也成为重要考量因素。本文认为深入研究金具在不同电压等级电力线路中的性能要求, 有助于优化电力线路的设计、建设和运行。

关键词 金具; 不同电压等级电力线路; 性能要求; 适应特殊工况设计

中图分类号: TM72; TM24

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.05.025

0 引言

在电力工程领域, 金具的性能直接影响电力线路的可靠性和安全性。对于不同电压等级的电力线路, 金具所承担的任务有所差异。在较低电压等级下, 金具的结构相对简单, 主要确保导线的连接、固定和支撑。当电压等级提高到超高压甚至特高压时, 金具不仅要承受更大的机械拉力和应力, 还需适应复杂的电气环境。特殊工况如高海拔、重污染地区等对金具也提出了特殊要求, 这就需要对金具进行有针对性的设计改进。《新型液态金属限流器自收缩特性研究》为金具在复杂电气环境下的性能优化提供了新思路; 《电力线路用铜接线端子》对金具连接部分的设计有参考价值。在金具设计改进中, 应充分借鉴此类研究, 提升金具对不同工况的适应性。

1 不同电压等级电力线路的特点

1.1 低电压等级

低电压等级电力线路主要用于向终端用户分配电能, 在输电距离方面, 其输电距离相对较短, 一般在较短的区域内, 如城市中的街区、乡村中的小范围区域等, 将电能从配电变压器输送到用户端。线路结构较为简单, 多采用架空线或者电缆敷设方式, 架空线的杆塔高度较低, 导线的线径相对较小, 这是因为所传输的电能容量较小, 不需要承担大规模的电能传输任务。从安全性能角度看, 低电压等级下的触电危险相对较低, 但由于线路分布广泛且靠近用户, 对绝缘性能仍有一定要求, 以防止漏电对用户造成危害。在

电力系统中的定位是终端配送, 直接与用户的用电设备相连, 所以其可靠性直接影响用户的用电体验, 一旦出现故障, 可能导致局部用户停电, 但影响范围相对较小。低电压等级线路的维护相对容易, 不需要大型的维护设备和复杂的维护技术, 成本也相对较低。

1.2 中电压等级

中电压等级电力线路在电力系统中起到区域配电的作用, 输电距离上, 相较于低电压等级线路有所增长, 可以覆盖一个相对较大的区域, 如小型城镇或者大型工厂园区等。其线路结构有架空线路和电缆线路两种形式, 架空线路的杆塔高度和导线线径比低电压等级的要大, 因为传输的电能容量增加, 需要具备更高的载流能力。在安全性能方面, 中电压等级触电危险较高, 所以对线路的绝缘要求更为严格, 不仅要防止漏电, 还要避免相间短路等故障^[1]。在电力系统中的定位是区域配电, 将电能从变电站分配到各个用电区域或者大型用户, 它的可靠性影响一个区域的用电情况, 故障时可能导致一个区域停电, 影响范围较大。中电压等级线路的维护需要一定的专业设备和技术人员, 维护成本也相应提高, 并且在规划和建设时需要考虑更多的因素, 如与周边环境的协调性、线路走廊的规划等。

1.3 高电压等级

高电压等级电力线路主要用于远距离大容量输电。在输电距离方面, 能够实现长距离的电能传输, 跨越城市、地区甚至省份, 将大型发电厂的电能输送到远方的负荷中心。其线路结构以架空线路为主, 杆塔高

大且坚固，导线线径粗，并且多采用分裂导线，这是为了满足高电压、大容量输电的需求，降低线路的电抗，提高输电效率。从安全性能来看，高电压等级带来了极高的触电危险和电气绝缘要求，需要采取多种绝缘措施，如绝缘子串的长度较长，并且要防止电晕现象的发生，因为电晕会导致电能损耗和电磁干扰。在电力系统中的定位是主干输电，是电力系统的骨架，一旦发生故障，将影响大片区域的供电，甚至可能导致电网的不稳定，所以对其可靠性要求极高^[2]。高电压等级线路的维护需要高度专业化的设备和技术团队，成本高昂，并且建设时需要考虑更多的地理、环境和社会因素，如跨越江河、山脉时的工程难度和对生态环境的影响等。

2 金具在不同电压等级电力线路中的性能要求

2.1 低电压等级

2.2.1 性能要求

在低电压等级电力线路中，金具的性能要求主要集中在基本功能的实现上。金具需要具备良好的机械性能，能够可靠地固定和支撑导线。由于低电压线路的导线相对较细，金具的握力要足以防止导线在正常运行和一定的气象条件下（如微风、小风等）下发生滑动或脱落。例如，在低压架空线路的绝缘子串与横担的连接金具，要确保绝缘子串稳定地悬挂在横担上。导电性能也是重要的要求，虽然低电压等级下电流相对较小，但金具的接触电阻应足够低，以保证电能的有效传输，减少电能在连接部位的损耗^[3]。金具的耐磨损性能需要满足要求，因为在长期的使用过程中，可能会受到导线的摆动、振动等影响，避免因磨损导致连接松动或损坏。金具的安装要方便快捷，这有助于提高电力线路的建设和维护效率，降低成本。

2.2.2 特殊工况设计改进

在特殊工况下，低电压等级电力线路中的金具需要进行相应的设计改进。在高湿度环境下，例如在南方的梅雨季节或者靠近水域的地区，金具容易生锈腐蚀，为应对这一情况，可以采用表面镀锌处理的金具，锌层能够起到隔离空气和水分的作用，延缓金具的腐蚀速度。对于一些位于沿海地区的低电压线路，除了考虑湿度因素外，还要应对盐雾的侵蚀，可以采用耐盐雾性能更好的材料制作金具，或者在金具表面增加特殊的防护涂层，如氟碳涂层，这种涂层具有良好的耐盐雾、耐化学腐蚀的性能。在一些可能遭受小动物破坏的地区，如农村地区常有鸟类筑巢或者鼠类啃咬的情况，可以对金具的结构进行改进，例如采用封闭性更好的连接金具，防止小动物进入连接部位造成短路或损坏。

2.2 中电压等级

2.2.1 性能要求

中电压等级电力线路中的金具，其性能要求在低电压等级基础上有所提升。在机械性能方面，由于中压线路的导线线径增大、张力增加，金具需要具备更高的机械强度，以承受更大的拉力和压力。例如，中压架空线路的耐张线夹，要能够牢固地握住导线，在大风、覆冰等恶劣气象条件下确保导线的稳定。在导电性能方面，随着电压和电流的增大，金具的接触电阻必须严格控制在较低水平，以减少电能损耗和发热现象，防止因过热导致连接部位的损坏。绝缘性能成为一个更为重要的考量因素，中压线路的相间电压较高，金具要具备足够的绝缘距离和绝缘强度，避免相间短路或接地故障。

2.2.2 特殊工况设计改进

在特殊工况下，中电压等级电力线路中的金具设计改进有其独特之处。在高海拔地区，由于空气稀薄、气压低、气温低等因素，金具的电气性能会受到影响。例如，空气绝缘性能下降，金具的绝缘距离需要适当增加，以防止发生放电现象，可以采用特殊的绝缘材料或者增加绝缘子的片数来提高绝缘性能。在重污染地区，如工业污染严重的区域，污染物会附着在金具表面，影响金具的导电和绝缘性能。针对这种情况，可以对金具进行密封设计，减少污染物的侵入，同时定期对金具进行清洁维护。对于中压线路在山区的情况，地形复杂，可能会受到山体滑坡、落石等地质灾害的影响。

2.3 高电压等级

2.3.1 性能要求

高电压等级电力线路中的金具面临着更为严格性能要求。在机械性能方面，由于高电压线路的杆塔高大、导线张力极大，金具必须具备超强的机械强度，能够承受巨大的拉力、压力和弯矩。例如，特高压线路的耐张线夹，要承受数吨甚至数十吨的拉力，因此在材料选择和结构设计上都要满足高强度的要求。在导电性能方面，金具的接触电阻要极小，以减少在高电压、大容量输电过程中的电能损耗，同时要保证在大电流通过时不会出现过热现象。绝缘性能是高电压等级金具的关键性能之一，由于电压极高，金具需要具备很长的绝缘距离和极高的绝缘强度，防止电晕现象的发生，因为电晕不仅会造成电能损耗，还会产生电磁干扰和噪声。金具的抗电磁干扰能力要很强，在高电压等级下的强电磁场环境中，金具自身的电磁性能要稳定，不能对周围设备和线路产生干扰，也不能因外界电磁干扰而影响自身性能。

2.3.2 特殊工况设计改进

在山区等特殊工况下，高电压等级电力线路中的金具设计改进意义重大。在山区，地形复杂，气象条件多变，金具需要适应这种复杂环境。例如，在跨越山谷时，金具要承受更大的风荷载和不均匀的拉力，因此在结构设计上要考虑增强其抗风能力和适应不均匀受力的能力，可以采用特殊的结构形式，如加强型的耐张线夹和悬垂线夹，提高金具的整体稳定性。在跨越江河方面，金具面临着特殊的挑战。江河上方的气象条件较为复杂，湿度大、风速快，金具的防腐和抗风性能需要进一步提高。对于水下部分的金具，如过江电缆的连接金具，要具备良好的防水性能，防止水分侵入导致绝缘性能下降或腐蚀，可以采用密封性能良好的防水金具，并对金具进行特殊的防腐处理，如采用海洋工程中常用的防腐涂层技术，以延长金具的使用寿命。

3 金具在不同电压等级电力线路中适应特殊工况的通用设计改进

3.1 耐候性设计

在抗紫外线方面，紫外线会使金具的材料发生老化，降低其机械性能和绝缘性能等。为了抵抗紫外线的影响，可以在金具的表面添加紫外线吸收剂或者采用抗紫外线性能良好的涂层材料。例如，一些有机涂层材料能够有效地吸收紫外线，防止紫外线直接照射到金具本体。在抗腐蚀方面，不同的环境会对金具产生不同类型的腐蚀，如化学腐蚀、电化学腐蚀等。对于化学腐蚀，在一些化工污染严重的地区，金具可能会接触到酸性或碱性的化学物质，可以采用耐腐蚀的材料，如不锈钢制作金具，或者对金具进行化学防腐处理，如钝化处理，在金具表面形成一层钝化膜，阻止化学物质的侵蚀。对于电化学腐蚀，在潮湿的环境中，金具不同部位可能会形成微电池，导致腐蚀^[4]。通过采用绝缘涂层或者牺牲阳极保护法等措施，可以有效地防止电化学腐蚀。例如，在沿海地区，空气中盐分高且湿度大，金具易受电化学腐蚀，可在金具表面涂覆绝缘性能优良的环氧涂层，隔绝金属与潮湿空气接触；也可安装锌块作为牺牲阳极，锌比金具材料更活泼，优先发生氧化反应，从而保护金具本体。在化工园区，使用不锈钢材质金具并进行钝化处理，能有效抵御酸性气体腐蚀。

3.2 采用合适的材料

在低电压等级和部分中电压等级电力线路中，铝合金金具能够满足基本的性能要求，并且由于其重量轻，便于安装和运输，能够降低线路建设和维护的成本。

例如，在低压架空线路的一些连接金具采用铝合金材料，既保证了导电性能，又减轻了杆塔的负担。不锈钢材料则具有更强的耐腐蚀性，适用于一些特殊环境下的金具制作。在高湿度、高污染或者沿海地区的电力线路中，不锈钢金具能够有效地抵抗腐蚀，保证金具的长期稳定运行。对于一些高电压等级、大电流的线路，还会采用铜合金等具有更高导电性的材料制作金具的关键部位，以满足其对导电性能的严格要求^[5]。

3.3 优化制造工艺，提高质量

在铸造工艺方面，通过改进铸造模具和铸造参数，可以提高金具的成型质量，减少铸造缺陷，如气孔、砂眼等。例如，采用精密铸造技术，可以制造出形状复杂、精度要求高的金具，并且能够保证金具的机械性能均匀性。在机械加工工艺上，提高加工精度可以确保金具的尺寸精度和表面光洁度，这对于金具的安装和性能有着直接的影响。例如，金具的连接部位加工精度高，可以保证良好的接触性能，降低接触电阻。在金具的热处理工艺方面，合理的热处理可以提高金具的机械性能，如提高材料的硬度、强度和韧性。

4 结语

金具在不同电压等级电力线路中的性能要求各有侧重，并且在特殊工况下需要进行相应的设计改进。从低电压到高电压等级，金具的电气、机械等性能要求逐步提高且更为复杂。在特殊工况下，金具的设计改进是保障电力线路稳定运行的关键。只有深入理解不同电压等级线路对金具的需求，针对特殊工况进行优化设计，才能提高金具的适用性和可靠性，进而提升整个电力线路系统的性能，确保电力的安全、高效传输。

参考文献：

- [1] 任浪.金属监督在电力行业中的应用及技术探究[C]//冶金工业教育资源开发中心.2024 精益数字化创新大会平行专场会议：冶金工业专场会议论文集：上册. 四川：国能四川天明发电有限公司,2024.
- [2] 方俊健,劳光泽.高低压电力电缆线路的运行与维护分析[J].科海故事博览,2023(09):41-43.
- [3] 谢为赢.新型液态金属限流器自收缩特性研究[D].大连：大连理工大学,2022.
- [4] 李孟.电力系统中接地引下线材料的试验与研究[D].郑州：郑州大学,2020.
- [5] 赵爱莲,赵录兴,俞超,等.不同电压等级交流输电线路交叉跨越电磁影响[J].电力科技与环保,2020,36(05):1-6.

低等级公路在高山陡坡地段的线形设计与施工技术探讨

马金权

(四川环月工程勘察设计有限公司, 四川 凉山 615000)

摘要 本研究聚焦于低等级公路在高山陡坡地段的线形设计与施工技术, 通过分析地形地质特征、探讨线形设计方法、研究路基路面施工技术、评估防护工程措施以及总结质量控制要点, 旨在为类似工程提供参考。研究发现, 因地制宜的线形设计、适应性强的施工技术以及全面的防护措施对于确保工程质量和安全至关重要, 严格的质量控制和环境保护也不可或缺。本研究旨在对提升高山陡坡地段低等级公路建设水平具有一定的理论和实践意义。

关键词 低等级公路; 高山陡坡; 线形设计; 防护工程

中图分类号: U415

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.05.026

0 引言

低等级公路在高山陡坡地段的建设面临诸多挑战, 如地形复杂、地质条件差、施工难度大等, 合理的线形设计和适当的施工技术对于确保公路的安全性、舒适性和经济性至关重要。本研究通过分析高山陡坡地段的特殊性, 探讨适用于此类地形的线形设计方法和施工技术, 旨在为相关工程实践提供参考, 本研究还关注防护工程和质量控制等关键问题, 以期全面提升低等级公路在高山陡坡地段的建设水平。

1 高山陡坡地段地形地质特征分析

1.1 地形特点及其对公路建设的影响

高山陡坡地段地形特点主要表现为地势起伏大、坡度陡峭、沟壑纵横, 海拔高度变化显著, 常见相对高差超过 500 米的山地, 坡度多在 25° 以上, 局部甚至达到 45° 以上, 地形破碎, 沟谷发育, 谷坡陡峻, 谷底狭窄, 这些特点对公路建设产生多方面影响: 增加了路线选择难度, 常需采用连续回头曲线或长大纵坡以克服高差, 加大了路基开挖和填筑工程量, 需进行大量挖方填方作业, 增加工程造价, 易引发滑坡、崩塌、泥石流等地质灾害, 威胁公路安全, 陡坡地形限制了机械设备施工, 增加了人工作业比重, 降低了施工效率, 坡度陡峭还影响行车安全和舒适性, 需采取减速、防滑等措施。沟壑发育导致排水系统设计复杂, 需建设大量涵洞、桥梁等构造物。高山地区气候多变, 温差大, 易形成冰冻融化循环, 加速路面破坏, 因此高山陡坡地形特点显著增加了公路建设难度和成本, 对线形设计、施工技术和防护措施提出更高要求^[1]。

1.2 地质条件分析及其工程地质评价

高山陡坡地段地质条件复杂多变, 主要特征包括: 岩性多样, 常见花岗岩、片麻岩、板岩等变质岩以及砂岩、页岩等沉积岩, 岩层倾角较大, 节理裂隙发育, 岩体破碎, 地质构造复杂, 断层、褶皱普遍存在, 第四系覆盖层厚度变化大, 坡积、崩积、残积等松散堆积物广泛分布, 地下水活动频繁, 多以裂隙水和孔隙水形式存在。这些地质条件对公路工程产生了重要影响, 需进行全面的工程地质评价。岩性多样性导致工程性质差异大, 需针对不同岩性采取相应的开挖和支护措施, 岩体破碎程度影响边坡稳定性, 需通过岩体分级评估确定合理的边坡坡率和防护方案。地质构造复杂性增加了工程地质灾害风险, 断层破碎带和褶皱核部易成为滑坡、崩塌的发生区, 需重点关注并采取针对性措施。松散堆积层分布广泛, 其厚度、物理力学性质直接影响路基稳定性和沉降特性, 需进行详细勘察和处理。地下水活动则可能引发软化、冲刷、管涌等问题, 需合理设计排水系统。综合评估表明, 高山陡坡地段地质条件复杂, 工程地质问题突出, 需采取因地制宜的设计方案和施工工艺, 加强地质灾害防治和监测, 确保公路工程的安全和稳定。

2 低等级公路线形设计方法

2.1 平面线形设计技术

低等级公路在高山陡坡地段的平面线形设计技术需综合考虑地形地质条件、行车安全性和工程经济性, 首要原则是因地制宜, 充分利用有利地形, 避开不良地质, 设计中常采用连续圆曲线或回头曲线克服高差,

但需控制曲线半径,确保视距要求,一般情况下,曲线最小半径不应小于 15 米以保证行车安全,为减少土石方工程量,可适当增加曲线数量,但应避免急剧变化。在连续圆曲线之间应设置足够长度的缓和曲线,通常采用三次抛物线型以改善行车舒适性,对于特别陡峭的地段,可考虑采用蛇形线设计^[2]。通过增加路线长度降低纵坡,平曲线与纵坡的组合应协调,避免在陡坡处设置小半径曲线。转弯超高的设置尤为重要,通常采用内侧加高法,最大超高度不宜超过 10%,在危险路段如急弯陡坡处,应加宽路面,增设避险车道,桥隧与路线衔接处需重点考虑,确保平顺过渡,还应注意路线与周围环境的协调,尽量减少对自然景观的破坏,在设计过程中可借助三维设计软件进行方案比选和优化,提高设计质量和效率。高山陡坡地段低等级公路的平面线形设计技术要求灵活运用各种技术手段,在确保安全的前提下实现工程造价和运营成本的最优平衡。相关设计参数如表 1 所示。

表 1 关键的设计参数和建议值

设计参数	建议值	备注
最小曲线半径	≥ 15 米	保证行车安全
缓和曲线类型	三次抛物线	改善行车舒适性
最大超高度	≤ 10%	通常采用内侧加高法
连续圆曲线间距和曲线长度	≥ 30 米	视具体情况而定
平曲线最小间距	≥ 50 米	避免急剧变化
蛇形线最小回转半径	≥ 12 米	适用于特别陡峭地段
路面加宽量(急弯处)	0.5 ~ 1.5 米	根据曲线半径和车辆类型确定

2.2 纵断面设计技术

纵断面设计是低等级公路在高山陡坡地段设计的关键环节,需要充分考虑地形地质特点和行车安全,根据《公路工程技术标准》(JTGB01-2014),结合高山地区实际情况,纵断面设计应遵循以下技术要点:最大纵坡宜控制在 8% ~ 10% 以内,特殊困难地段可放宽至 12%,连续长大纵坡应每上升 100 ~ 150 米设置一处缓坡段或平台,长度 50 ~ 100 米,坡长超过 2 千米时,考虑设置爬坡车道,凸形竖曲线最小半径不应小于 150 米,凹形竖曲线最小半径不应小于 100 米,相

邻纵坡代数差大于 5% 时,必须设置竖曲线,其长度宜为 20 ~ 40 米^[3]。

在高山陡坡地段纵断面设计中还应注意与地形协调,尽量贴近地形以减少大填大挖,可利用台阶状地形设计阶梯式路线,应避开不良地质段如滑坡体、软土地基等。排水系统设计尤为重要,纵坡应确保路面排水通畅,一般不小于 0.3%,路堑地段需设置边沟、截水沟等排水设施,涵洞、桥梁等构造物与路线纵断面的协调过渡也需特别注意,在桥隧衔接处,应保证平顺过渡,一般采用 1/200-1/400 的过渡段,通过合理的纵断面设计可有效提高公路的安全性、舒适性和经济性。

3 路基路面施工技术

3.1 路基施工技术及注意事项

高山陡坡地段低等级公路路基施工技术面临诸多挑战,需采取针对性措施,路基开挖应采用自上而下分层开挖法,控制每层厚度在 3 ~ 5 米,确保边坡稳定,对于岩质路堑,可采用台阶式开挖,结合锚杆、挂网喷锚等支护措施,软弱岩层需进行特殊处理,如采用片石回填或浆砌片石挡墙加固,填方路基施工应注意分层填筑,压实度控制在 93% ~ 96%,填料选用透水性良好的砾石或碎石,避免使用易风化岩石,边坡坡率应根据填料性质和填高确定,一般不陡于 1:1.5,高填方路基可采用台阶式填筑,每级高度控制在 8 ~ 10 米,台阶宽度不小于 2 米,软基路段需进行地基处理,可采用换填、固结灰土桩或碎石桩等方法。对于滑坡地段,应采取综合治理措施如截排水、压脚、抗滑桩等^[4]。半填半挖路段需特别注意新老路基的结合,可采用挖台阶、设置渗沟等措施防止沉降开裂,路基防护工程是确保路基稳定的关键,常用方法包括植草护坡、浆砌片石护坡、格宾石笼挡墙等,排水系统设计应综合考虑地表水和地下水,采用截水沟、排水沟、涵洞等设施,确保排水通畅,在施工过程中应密切关注气象条件,雨季施工需采取临时防护措施,还应注意对周围生态环境的影响,及时进行绿化恢复。施工过程中应加强质量控制和监测,特别是边坡稳定性监测,发现问题及时处理,高山陡坡地段低等级公路路基施工技术要求因地制宜,灵活采用各种工艺,确保路基稳定和工程安全。

3.2 路面结构设计与施工要点

高山陡坡地段低等级公路路面结构设计与施工需

考虑特殊地理环境和气候条件，路面结构设计应以满足交通荷载要求和抵抗环境因素影响为原则。常用路面结构包括沥青混凝土路面、水泥混凝土路面和简易路面，沥青混凝土路面具有良好的行车舒适性和耐久性，但在高寒地区易出现低温开裂问题，可通过改性沥青或增加防裂层解决。水泥混凝土路面抗变形能力强，适用于陡坡路段，但需注意温度应力控制，简易路面如碎石路面、砂砾路面等造价低廉，适用于交通量较小的路段，路面结构层次一般包括面层、基层和底基层，面层材料选择应考虑耐磨性和防滑性，可采用SMA沥青混凝土或粗糙表面处治，基层可选用级配碎石、水泥稳定碎石等材料，提高路面整体强度。底基层通常采用天然级配砂砾或石灰土，增强路面的排水能力，路面厚度设计应根据交通量和气候条件确定，一般在20~40厘米之间，陡坡路段应适当增加厚度，提高抗剪强度。

在施工过程中，应严格控制材料质量和施工工艺，沥青混合料拌合温度和碾压温度需精确控制，确保压实度达标，水泥混凝土路面施工应注意养护，防止早期开裂，简易路面需注意粒料级配和压实度，路面横坡设计对排水至关重要，一般采用1.5%~2%的双向横坡，弯道超高段需特别注意排水设计，可采用单向横坡。

4 边坡防护及排水工程

4.1 边坡防护工程设计与施工

高山陡坡地段低等级公路的边坡防护工程设计与施工是确保路基稳定和行车安全的关键环节，设计时需先进行详细的工程地质勘察，分析边坡的岩土性质、结构特征和稳定性，根据边坡类型和地质条件，选择适当的防护措施。对于土质边坡，常用的防护措施包括植物防护、喷播植草、格构梁植草、挡土墙等。植物防护适用于稳定性较好的低矮边坡，可选用当地适生植物如狗牙根、百喜草等。喷播植草技术适用于中高边坡，通过喷射混合了种子、肥料、粘合剂的浆液快速形成植被覆盖。格构梁植草则结合了工程措施和植物措施，适用于较高边坡。挡土墙适用于高填方或软弱地基路段，常见类型包括重力式挡墙、衡重式挡墙和加筋土挡墙等。对于岩质边坡，防护措施主要包括锚杆（索）、喷锚、植筋、挂网等，锚杆（索）适用于大块岩体的加固^[5]。

4.2 排水系统设计与施工技术

高山陡坡地段低等级公路的排水系统设计与施工技术是保障路基稳定和路面耐久性的关键，排水系统设计应遵循“以防为主，防排结合”的原则，综合考

虑地表水和地下水的排除。排水系统主要包括路面排水、路基排水和路基以外排水三部分。路面排水主要通过合理的横坡和纵坡设计实现，一般采用1.5%~2%的双向横坡，确保路面水快速排除，在弯道超高段需特别注意内侧路缘的排水设计，路基排水包括边沟、排水沟、急流槽等设施。边沟断面设计应根据汇水面积和降雨强度确定，常用梯形或矩形断面，内边坡不陡于1:1。排水沟用于截排坡面水，应布置在填方边坡坡脚或挖方边坡坡顶。急流槽用于陡坡段快速排水，应采用抗冲刷材料铺砌。路基以外排水主要包括截水沟和涵洞，截水沟布置在路堑上方，防止坡面水冲刷边坡。

涵洞用于疏导天然沟谷水，其断面尺寸应根据水文计算确定，最小净空不小于1米。在软土路基段还需考虑设置渗沟或盲沟等地下排水设施，降低地下水位。排水构造物的材料选择应考虑耐久性和抗冲刷性，常用浆砌片石或现浇混凝土，在施工过程中应严格控制排水沟的纵坡，确保水流畅通。边沟和排水沟的衔接处应平顺过渡，避免形成涡流。涵洞施工应注意基础处理和防水措施，确保结构稳定。在易冻胀地段排水设施应采取防冻胀措施，如增加保温层或采用透水性好的回填材料。

5 结束语

低等级公路在高山陡坡地段的线形设计与施工是一项复杂而富有挑战性的工作，通过对地形地质特征的深入分析采用适当的线形设计方法，结合先进的路基路面施工技术，辅以有效的防护和排水措施，可以有效克服高山陡坡地段的不利因素，严格的质量控制和环境保护措施对于确保工程质量和可持续发展至关重要，未来研究可进一步探索新材料、新工艺在此类工程中的应用，以期不断提高低等级公路在高山陡坡地段的建设水平。

参考文献：

- [1] 赵博文.辽宁省国省干线低等级公路概况分析与改扩建设计研究[J].北方交通,2024(03):64-66.
- [2] 赵晖.低等级公路隧道轮廓带设置间距优化研究[J].公路,2024,69(03):412-419.
- [3] 谭化富.山区低等级公路设计困难及设计要点分析[J].运输经理世界,2024(06):20-22.
- [4] 陈峰岚.低等级公路项目陡坡路基方案选择探讨[J].交通世界,2024(18):53-55.
- [5] 范宗敏.山区低等级公路提升改造工程技术研究[J].山西建筑,2024,50(04):134-138.

变电站倒闸操作中防误操作策略分析

王英帅

(焦作煤业(集团)有限责任公司供电工程分公司,河南 焦作 454000)

摘要 在变电过程中,倒闸操作的正确性直接影响变电站价值的发挥,如何落实变电站倒闸操作中防误操作工作任务,成为供电企业关注的重点。本文通过分析变电站倒闸操作中常见误操作类型,进一步了解倒闸操作的性质和特点,同时提出采用智能防误操作系统、应用先进监测技术、精准定位与可视化技术、基于物联网与移动互联的操作技术等防误操作策略,以期为相关从业人员提供可用参考。

关键词 变电站; 倒闸操作; 防误操作

中图分类号: TM63

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.05.027

0 引言

变电站是供电系统中对电压、电流进行变换、接收并分配电能的场所,倒闸操作是变电站日常工作中最为重要的工作任务之一,其操作目的是通过操作断路器和隔离开关改变电气设备的状态或系统的运行模式,此项操作将直接关系到电网整体的安全性和可靠性,若在倒闸操作中出现误操作,那么不仅会导致电气设备损坏,大面积停电,影响电网稳定性,同时还可能威胁相关人员的生命安全,造成一定的经济损失和社会问题。因此,本文就变电站倒闸操作中防误操作策略展开分析,旨在为保障倒闸操作安全提供借鉴。

1 变电站倒闸操作中常见误操作类型

1.1 误拉、误合断路器

断路器是一种机械开关电器,也被形象地称之为智能电闸,其可以连通、承载和分断正常电路条件下的电流,也可以在规定的如短路等非正常情况下连通、承载和分断电流。误拉断路器是指操作人员在电路正常运行的情况下拉开不应断开的断路器,误合断路器则是指操作人员闭合了不应该闭合的断路器,误拉断路器会导致停电,影响电能正常使用,误合断路器会使不带电设备突然带电,进而形成安全风险。

1.2 带负荷拉、合隔离开关

隔离开关是一种电器设备,其可以用来隔离电源、连通和切断小电流电路以及倒闸操作,因此在电力检修中通常发挥隔离检修设备和带电部分的作用。部分隔离开关的灭弧能力很弱,还有部分隔离开关没有灭弧装置,所以隔离开关不能用来切断正常的负荷电流。在变电站倒闸操作中若进行带负荷拉、合隔离开关操

作,那么隔离开关连接的线路或设备可能会发生短路问题,在巨大的电动力情况下,设备柜体可能会变形,母线排移位,甚至引发电气火灾。并且,因为隔离开关没有灭弧装置,所以在带负荷拉、合隔离开关时,触头间产生的强烈电弧可能会灼伤操作人员,引发安全事故。

1.3 带电挂接地线或合接地刀闸

接地线与接地刀闸均起到将设备上残留的电荷导入大地的作用,前者将设备与大地相连接,是一种导线,后者是一种将设备接地的开关装置。在变电站倒闸操作中,需要确定设备处于停电状态才能进行挂地线或合接地刀闸,严禁带电操作,这是因为当带电操作时,电流会顺着接地线或接地刀闸形成一个回路,此时若操作人员接触到接地线或接地刀闸,那么就会发生触电,导致人员伤亡^[1]。同时,带电操作也会造成接地短路,产生的短路电流是非常大的,此电流进入电气设备中后,可能会损坏设备,严重时还会引发电气火灾,威胁供电系统的正常运行。

2 变电站倒闸操作中防误操作策略

2.1 采用智能防误操作系统

智能防误操作系统是一种辅助性系统,其可以在变电站操作人员进行倒闸操作时实施监测和操作分析,提供智能化的提示和警告,若操作人员操作正确,那么此操作系统会自动监测操作环境与设备状态,反之,此操作系统会发出警报并阻止操作。在变电站倒闸防误操作中,智能防误操作系统有如下应用:第一,操作前进行模拟预演,即操作人员可以在倒闸操作前先通过智能防误操作系统进行预操作,观察倒闸操作任

务被输入到系统中后的运用情况，此时系统依据预设好的防误逻辑和当前电网运行状态模拟预演操作流程，验证操作是否正确和安全，若操作正确且安全，则顺利完成演练，反之则会做出错误预警，提醒操作人员重新操作。第二，实时监测并采集数据，即智能防误操作系统通过与变电站的测控装置和监控系统等连接，从而实时采集开关、刀闸等变电站内各种设备的状态信息，这些状态信息将被自动回传到智能防误操作系统中，为系统智能判断操作是否正确提供支持。第三，操作过程中的逻辑校核，在变电站倒闸操作中，操作人员的每一步操作都将接受智能防误操作系统的实时逻辑校核，如当操作人员进行闭合断路器操作时，智能防误操作系统将对此项操作步骤与预设的防误逻辑规则进行比对，若操作不符合逻辑条件，那么系统会即刻发出警报，并同步阻止操作的执行^[2]。第四，操作票的生成与管理，操作票是变电站倒闸操作时使用的书面依据，操作人员必须要严格依据操作票上列明的步骤执行操作，这样的规定可以在很大程度上规范倒闸操作流程，防止误操作情况发生。智能防误操作系统会依据操作任务与防误逻辑自动生成标准化的操作票，此操作票将被自动存储，随时调取、查看和确认，因操作票是经过智能核验后生成的，所以在防误操作方面起到很大的作用。通过以上分析可知，智能防误操作系统在变电站倒闸操作中防误操作时发挥了极大的作用和优势，操作人员在此系统的辅助下可以有效降低误操作发生率，提高操作安全性与可靠性。

2.2 应用先进监测技术

监测技术在变电站倒闸操作的防误操作中发挥着关键作用，从操作前的状态确认方面分析，监测技术可以通过传感器等设备实时监测开关、刀闸等的位置状态及设备的电压、电流、功率等电气参数，监测数据将实时反馈给监测系统，由系统判断操作与倒闸操作条件是否相符，相符时会允许操作，不符时会发出预警。从人员误操作行为方面分析，监测技术可以实时监测操作人员的行为，如操作人员没有按照规定要求进行操作时，监测系统会发出预警，提醒操作规范。并且，监测技术还将在倒闸操作结束后复核操作结果，记录整个操作过程的数据，此数据不仅可以用于事后分析和追溯，同时也能作为智能防误操作系统逻辑判断的数据支持。目前，可用于变电站倒闸操作中防误操作的监测技术有很多，视频监控系统就是其中的一种，此系统需要在变电站的关键位置安装高清摄像头，

并实时视频监控倒闸操作现场。相关工作人员可以通过远程监控的方式了解倒闸操作现场情况，观察操作人员的倒闸行为，及时发现并纠正不当操作行为。局部放电监测主要是对变电站中的电气设备进行监测，当电气设备内部出现故障或绝缘缺陷时，倒闸操作会导致设备局部出现异常的放电信号，通过监测技术可以及时发现这一异常情况，从而提示操作人员暂停倒闸操作，及时检查设备情况，消除故障，解决问题后再进行倒闸操作^[3]。红外测温技术与局部放电监测发挥的作用相似，其主要用来监测电气设备的接头、母线等部位的温度，若某电器设备的接头或母线出现了异常温度，那么红外测温技术会给出监测反馈，提醒工作人员设备可能出现接触不良或过负荷运行等情况，需要处理。随着科技的不断发展进步，监测技术正在不断创新发展，针对变电站倒闸操作中防误操作的监测技术也在持续研究开发中，监测技术将成为预防倒闸误操作最大的助力之一。

2.3 精准定位与可视化技术

精准定位技术是指通过技术手段确定目标在空间中的准确位置，可视化技术是指将数据等信息以图形、地图等直观的视觉形式呈现。在变电站倒闸操作中防误操作策略研究中发现，精准定位与可视化技术具有突出应用优势。一方面，精准定位技术可以精准定位倒闸操作的具体位置，可视化操作技术可以具体呈现倒闸操作流程，便于操作人员在明确倒闸操作的基础上操作，提高变电站倒闸操作准确性。另一方面，在精准定位与可视化技术的共同作用下，监护人员可以对进行倒闸操作的工作人员实施远程指导，避免操作错误发生。在具体实践中，精准定位技术可以通过两种方式发挥作用，第一种是兼容各种传感器定位，在变电站的各种设备上安装多类型的传感器，如电磁感应类、超声波类、红外线类等，这些传感器反馈回来的数据会在卡尔曼滤波算法等算法下被融合处理，从而得到可靠信息。如在拉合断路器的倒闸操作中，卡尔曼滤波算法可以综合处理超声波传感器传回来的距离数据信息，电磁感应传感器传回来的电磁场变化信息，以及红外传感器传回来的设备温度变化分布信息等，此时关于断路器的倒闸操作会因计算结果而做出调整^[4]。第二种是将室内定位技术与设备关联，一是为操作人员及其操作工具上配备超宽带定位标签，在基站与标签的信息传输中确定操作人员的具体位置；二是为变电站内的每一个设备建立唯一的数字身份标

识,且此标识要与超宽带相连,当操作人员进入变电站进行倒闸操作时,其靠近哪一个设备,系统会自动识别此设备,并给出此设备相关的操作信息,提示操作人员应做出相应的倒闸操作。

可视化技术在变电站倒闸操作中防误操作中的应用一般通过搭建 3D 建模与虚拟操作环境的方式实现,在计算机软件辅助下,为变电站内的所有设备进行 3D 建模,针对变压器、气体绝缘全封闭组合电器等较为复杂的电气设备,还需要利用激光扫描技术创建设备内部与外部高度还原的 3D 模型。接着,将搭建的 3D 模型放置在变电站的虚拟场景中,由操作人员进行虚拟的倒闸操作,熟悉倒闸操作流程,了解多种倒闸操作情况与结果。从可视化技术的应用分析中可以看出,此项技术应用的最大优势是帮助操作人员熟悉变电站倒闸操作流程和规范要求,同时锻炼操作人员的操作技能,使其可以在真实的工作环境中熟练做好倒闸操作,避免误操作情况发生。与 3D 建模相似的可视化技术还有增强现实 (AR) 辅助操作,此项操作也可以有效助力操作人员熟悉变电站倒闸操作流程和操作步骤,提高操作水平。

2.4 基于物联网与移动互联的操作技术

具体分析变电站倒闸操作中误操作问题及产生原因可知,其与操作人员的技术水平关联最密切,因此若想从根本上减少误操作行为,应减少人员的操作频次,基于物联网与移动互联的操作技术可以实现这一目标。分析物联网技术在变电站倒闸操作防误操作中的应用,首先应在断路器、母线、隔离开关等变电站中的设备上安装物联网智能传感器,这些传感器将智能监测并反馈各设备的运行状态。当传感器将监测数据信息通过无线通信传输到变电站的边缘计算网关时,边缘计算网关将汇总这些信息,将错误数据及噪声数据处理掉再继续传输数据到物联网监控系统中^[5]。这时,物联网系统中预设好的规则引擎将自动进行倒闸操作。例如,当传输回来的监测数据提示某一设备所在线路的电流异常升高时,规则引擎将自动做出判断和操作,即自动触发断路器,并将相关隔离开关切换到安全状态,以上联动操作是基于预设执行的,没有人工干预,极少情况下会出现误操作。物联网系统始终受操作人员监管,因此物联网技术下进行的倒闸操作将时刻受监管,若系统操作为误操作,那么运维人员将在远程发起指令,执行紧急操作,保障变电站安全。

分析移动互联操作技术在变电站倒闸操作防误操

作中的应用,移动互联操作技术最大的应用优势是可以将传统的变电站操作票系统转移到智能手机、平板电脑等移动终端上,相关工作人员可以在移动终端上随时执行操作命令,提高操作灵活性。并且,移动互联技术也有助于操作人员在变电站设备现场利用移动终端查询设备的详细信息,调取设备近阶段的运维信息,如了解设备的历史维护记录,查找设备的技术参数等,以便于操作人员在倒闸操作时做出正确判断,避免在信息不全面的情况下做出误操作。此外,在移动互联环境下,变电站操作人员可以设置人脸识别、指纹识别、数字证书等多种身份认证方式,每种身份对应不同的操作权限,这样可以防止未经授权的操作人员进行误操作。

3 结束语

在变电站倒闸操作中,误拉、误合断路器,带负荷拉、合隔离开关,带电挂接地线或合接地刀闸是常见的误操作行为,究其产生原因,发现与操作人员失误、安全措施不到位等有直接关系。因此,通过采用智能防误操作系统可以强化逻辑校验,自动判断操作人员操作是否符合预设逻辑,若不符合则立即发出警报并阻止操作。通过应用先进监测技术可以实现自动监测异常情况,避免误操作事故发生。通过精准定位与可视化技术能够实现智能化倒闸操作,提高操作安全。通过基于物联网与移动互联的操作技术可以实现远程操作与协同作业支持,提高倒闸操作的准确性和安全性。总之,可以防止变电站倒闸操作误操作的技术方法有很多,供电企业应重视深入研究与实践探索,整体提升倒闸操作水平。

参考文献:

- [1] 王洋,刘付占.基于三维可视化的智能变电站倒闸防误操作技术[J].自动化应用,2024,65(13):234-236.
- [2] 吉宜月,杨祯浩.变电站倒闸操作中误操作的原因及对策[J].光源与照明,2022(03):147-149.
- [3] 郝小峰,孙凌涛.变电站倒闸操作防误操作探讨[J].电力安全技术,2022,24(02):70-72,75.
- [4] 卡丽比努尔·克尤木,阿扎提古丽·吾斯曼.变电站倒闸防误操作方法研究[J].科技创新导报,2017,14(14):69,71.
- [5] 李尚浩.变电站运行中倒闸防误操作及对策[J].黑龙江科技信息,2017(13):102.

铁路站场线路纵断面调整施工方案分析

李旌榕

(华设设计集团股份有限公司, 江苏南京 210014)

摘要 铁路站场线路纵断面调整施工是确保铁路运输安全和效率的关键工程。本文针对铁路站场线路纵断面调整施工技术进行深入探讨, 系统分析了施工前准备工作要点、关键施工技术和质量控制措施, 通过科学合理的施工组织, 严格的质量管控体系, 以及先进的施工工艺和设备, 可以有效保证站场线路纵断面调整工程的施工质量。实践证明, 严格遵循施工规范, 做好施工准备, 采用合理的施工方法, 加强质量控制, 是确保铁路站场线路纵断面调整工程顺利实施的重要保障。

关键词 铁路站场; 纵断面调整; 质量控制; 轨道结构

中图分类号: U21

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.05.028

0 引言

随着铁路运输需求的不断增长, 既有铁路站场的改造升级已成为当务之急。站场线路纵断面调整是站场改造工程中的重点和难点, 其施工质量直接关系到铁路运输的安全和效率。由于站场改造工程往往需要在既有线路运营条件下进行, 这就对施工组织和技术措施提出了更高要求。本文结合工程实践, 对站场线路纵断面调整施工关键技术进行深入研究, 旨在为类似工程提供技术参考。

1 铁路站场线路纵断面设计原则

1.1 站内曲线半径设计

铁路站场曲线半径设计在实践中需要综合考虑多个技术要素与现场条件的制约。区间正线上的曲线半径必须确保满足列车设计运行速度的基本要求, 通过合理的线形设计来降低离心力对车辆运行的不利影响。在地形条件受限的情况下, 站内曲线半径可根据列车实际通过速度适当调整, 但最小值不应低于 800 米。对于车站咽喉区的线路设计尤为重要, 应尽可能采用直线布置以确保列车进出站安全。站内曲线的偏角宜采用较小数值, 通过减小曲线转向角度来降低对车辆运行的影响, 提高运行平稳性和舒适性。在曲线设计过程中还需要充分考虑超高加设与轨距加宽等技术措施, 确保曲线段轮轨关系良好。

1.2 站内正线纵断面设计

站内正线纵断面设计应以确保列车运行安全和作业便利为根本出发点。站坪区域理想状态下应设置在水平路基上, 这样有利于降低列车启制动时的纵向附

加阻力。在工程实践中, 应采用高程测量和地形测绘等手段, 精确掌握站场地形条件。在地形条件确实受限的情况下, 可以考虑将站坪设置在不大于 1% 的坡道上, 并采取加强排水等防护措施。站内咽喉区的纵断面设计需要与站坪坡度保持协调一致, 避免出现剧烈的坡度变化, 这需要通过精细的纵断面计算与调整来实现。当遇到特殊困难条件时, 咽喉区可以设置在不大于限制坡度减 2% 的坡道上, 但区段站不应超过 2.5‰, 中间站不应超过 10‰, 同时需配备必要的防溜设施。

1.3 坡段连接设计

坡段连接设计是确保列车平稳过渡的关键环节。相邻坡段之间的坡度差超过 3‰ 时, 必须采用竖曲线进行连接过渡, 竖曲线半径不应小于 10 000 米。特别是在重载铁路中, 需要综合考虑机车牵引特性与制动性能, 合理布置坡段过渡。在坡段连接处的竖曲线设计中, 应根据列车通过速度、车辆构造特性等因素合理确定竖曲线要素。对于客货共线或重载铁路的到发线, 其坡段连接处的竖曲线半径应尽可能采用较大值, 以确保列车运行平稳性, 避免因坡段变化造成纵向冲击。当受到地形条件限制时, 在确保运行安全的前提下, 可适当调整竖曲线半径, 但仍需满足规范对最小竖曲线半径的要求, 同时要采取加强道床结构等补充措施。

1.4 竖曲线与其他要素的关系

竖曲线与其他线路要素的组合设置需要遵循严格的技术规定。站内正线上的道岔不得布置在竖曲线范围内和变坡点上, 这是为了避免因坡度变化导致的附加轮轨力对道岔部件造成不利影响。道岔区段的线形

设计应充分考虑轮轨动力学特性。竖曲线与平面圆曲线原则上不宜重叠设置，但在困难条件下可以通过加大曲线半径等措施来减轻重叠带来的不利影响，必要时可采用加强扣件系统等技术措施。在进行线路设计时应充分考虑竖曲线与缓和曲线的衔接关系，确保两者之间的过渡平顺，避免出现突变点。设计时还需注意曲线段超高的衔接过渡，整体设计应以确保线路几何形态的连续性和平顺性为目标。

2 铁路站场线路纵断面调整的必要性

2.1 适应地形条件变化

铁路站场线路纵断面调整过程中需要充分考虑地形地貌特征带来的技术制约。在山区地形条件下，线路纵断面的调整尤为重要，需要通过合理的坡度设计来克服地形起伏带来的高程差异。以唐公塔站为例，由于位于山坡地带，站场地形条件较为复杂，在进行纵断面设计时必须充分考虑填挖平衡及边坡防护等工程措施。通过采用台阶式路基设计，配合边坡加固防护，可以有效适应地形起伏变化。在路基工程中，需要综合考虑填方边坡稳定性与挖方边坡支护要求，合理确定路基断面形式。纵断面调整还需要统筹考虑站场排水要求，通过纵坡与横坡的合理组合设计确保排水通畅，避免积水对路基稳定性造成不利影响。

2.2 满足运营需求变化

随着铁路运输需求的不断提升，站场线路纵断面调整需要适应新的运营要求。通过合理调整纵断面技术指标，可以显著提高列车通过能力和运行速度。在车站改造过程中，需要延长到发线有效长度以适应万吨列车开行条件，这就要求对纵断面进行相应调整。对于既有线路，在调整过程中应着重考虑列车制动距离要求，尤其是在站内正线及至发线坡度设计方面需要严格控制。通过增设交叉渡线及机待线等设施，结合纵断面调整优化来提升车站作业效率，满足列车会让及分解组合作业需求。站场纵断面的调整同时需要协调解决轨道衡、列检等设备设施的布置要求。

2.3 既有设施限制下的调整

在既有铁路站场改造过程中，纵断面调整往往受到既有设施的诸多限制。对于既有桥涵构造物，需要充分考虑其结构性能及使用年限，通过接长改造等措施来适应线路调整需求。在与既有线路的交叉处理上，需要合理确定施工顺序，通过设置临时走行线等措施确保施工期间既有线路正常运营。站场范围内的接触网、信号、通信等各类设备设施的改移工作也需要与纵断面调整方案相协调。在施工组织设计中，应通过

分步实施的方式，降低对既有运营的影响。对于既有排水设施，需要结合纵断面调整同步进行改造，确保站场排水系统完整性。

3 铁路站场线路纵断面调整施工方案

3.1 施工前准备工作

铁路站场线路纵断面调整施工前的准备工作直接关系到整个工程的顺利实施。现场勘查过程中需要对既有站场设施进行详细调查，重点核实既有线路纵断面高程、轨道结构状态以及地下管线分布情况^[1]。对唐公塔站而言，需要重点勘察既有到发线 5 条及货物线的技术状态，测量既有线路各处高程，确定与新建万吨列车到发线的高差关系。与此同时，要对周边环境进行全面踏勘，摸清拆迁范围内的建筑物情况，评估施工对周边环境的影响。施工图纸审核阶段应着重检查新建 8 道、10 道的纵断面设计是否满足 1 600 米有效长要求，验证交叉渡线设置是否符合 C80 万吨列车分解组合作业需求。在技术交底环节，要着重强调施工工序之间的衔接配合，尤其是新建轨道与既有 6 道的连通施工顺序。除此之外，还需要针对施工过程中可能遇到的技术难点制定相应的应急预案。针对施工机具配备，要根据工程特点选择合适的测量放线设备、轨道施工设备以及道砟填筑压实设备，确保各类机具的性能参数满足施工质量要求。

3.2 关键施工技术要点

3.2.1 线路纵断面调整方法

以鄂尔多斯市薛家湾镇唐公塔站车站场地改造为例，方案将既有 4 道延长至 1 660 米以满足万吨列车会让条件，方案实施时，需要通过抬升或降低路基的方式调整纵断面。在路基工程实施过程中，采用分层填筑与压实的施工工艺，基床表层选用 A 组填料，厚度为 0.6 米，基床底层厚度为 1.9 米，总厚度达到 2.5 米，压实度不低于 0.97。值得注意的是，基床底层及以下填料部位的顶部应设置 2% ~ 4% 的人字排水坡。在路基填筑过程中需要严格控制含水量，保证最佳压实效果。通过现场试验确定最佳含水量，进行填料改良处理。对于坡段连接处理，当相邻坡段的坡度差大于 3% 时，采用竖曲线过渡，竖曲线半径不小于 10 000 米。在实际施工中，需要通过每 20 米设置一个控制点的方式精确控制竖曲线范围内的高程。在咽喉区范围内，纵断面调整要与既有线路平顺衔接，避免出现突变点。根据规范要求，咽喉区坡度不应大于 2.5%，特殊困难条件下不超过 10%。为了确保衔接质量，需要对接头处进行特殊处理，包括轨枕加密铺设和道床加强等措施。

施工过程中通过全站仪和水准仪等精密测量仪器控制纵断面高程，测量精度应达到±3毫米，并每天进行复测验证，确保线路纵断面线形圆顺^[2]。

3.2.2 轨道结构调整与铺设

轨道结构调整与铺设是确保线路平顺性的重要环节。新建到发线采用60千克/米钢轨、III型钢筋混凝土轨枕配弹条II型扣件的轨道结构，道床采用I级道砟，道床顶宽3.0米，边坡采用1:1.5，厚度不小于0.35米。具体施工时，需要对钢轨进行探伤检测，确保无内部缺陷。无缝线路施工时需进行应力放散，确保钢轨锁定质量，锁定温度区间应控制在15~30℃之间。新设18号道岔采用无缝道岔设计，工地焊接时应严格控制焊缝质量，每道焊缝均需进行探伤检测。焊接完成后的接头平直度偏差不得超过0.3毫米。道岔基础采用钢筋混凝土岔枕，基础承载力满足要求，施工时需要特别注意控制基础的平整度和稳定性。在轨道铺设过程中，需要严格控制轨距、水平及高低，道床压实度要求达到0.95以上。为确保轨道施工质量，需采用精密测量仪器进行轨道几何状态检测，同时做好轨枕铺设间距控制，确保每千米铺设1760根。道砟填筑过程中应分层进行，每层厚度控制在15~20厘米，压实度达到规定要求^[3]。

3.2.3 防护栅栏与排水设施施工

防护栅栏和排水设施施工是确保站场运营安全与排水通畅的重要保障。站场两侧防护栅栏采用钢筋混凝土立柱金属网片结构，高度1.8米，每隔200米设置警示标志。栅栏设置于用地界内0.5米处，采用钢筋混凝土立柱金属网片防护栅栏带刺丝滚笼。具体施工时需要注意立柱的垂直度控制，允许偏差不超过3毫米，保证基础混凝土浇筑质量。栅栏基础埋深应满足冻结线要求，混凝土强度等级不低于C30。金属网片安装时要注意网片间的连接牢固性，确保整体性。站场排水系统采用纵向排水槽与横向排水槽相结合的布置形式，纵向排水槽采用钢筋混凝土盖板式结构，槽底宽0.4米，深度0.8米，壁厚0.15米。排水槽纵坡不应小于2%，困难条件下不小于1%。排水槽施工时要特别注意纵坡控制，避免出现反坡或积水点。在货场区域需要设置碴顶式排水槽，槽底应采用三七灰土垫层。横向排水槽的基础埋深应在冻结线以下0.25米，坡度不小于5%，宜采用机械排水方式。排水设施完工后需进行24小时充水试验，确保排水畅通^[4]。

3.3 质量控制措施

质量控制贯穿于站场线路纵断面调整施工全过程。

路基填筑施工时采用分层压实工艺，通过现场灌砂法检测压实度。质量检验频率需要符合规范要求，每层填筑面积500平方米应进行一次压实度检测。轨道几何尺寸采用轨检小车进行检测，对关键控制项目如轨距、水平、高低等进行全面检查。道岔区段采用专用检测设备进行检查，重点关注道岔的几何尺寸及轨距尺寸。施工过程中要建立完善的质量检验制度，做好质量检验记录。对施工过程中出现的质量问题，要及时分析原因并采取整改措施。以唐公塔站新建万吨列车到发线为例，轨道铺设允许偏差值为：轨距+2/-1毫米，水平2毫米/10米，高低2毫米/10米。这些技术指标都需要通过精密测量来保证。质量验收时按照铁路工程质量验收标准进行分项、分部及单位工程验收，建立完整的质量验收档案。对发现的不合格项要制定详细的整改方案，落实整改责任，并进行验证性试验，确保整改效果符合要求^[5]。通过严格的质量控制体系，确保工程质量满足设计要求和使用功能。

4 结束语

本文通过对铁路站场线路纵断面调整施工方案的深入分析，探讨了设计原则、调整必要性、施工技术要点及风险评估等方面内容。研究结果表明，制定一套科学、合理的施工方案对于确保施工过程的顺利进行和工程质量的可靠保障具有重要意义。在未来的铁路站场线路纵断面调整工程中，应继续加强对设计原则的研究与实践，不断完善施工技术要点与质量控制措施，同时加强风险评估及对策分析工作，以确保施工安全和工程质量。此外，还应积极借鉴国内外先进经验和技术创新，推动我国铁路站场建设事业的持续健康发展。

参考文献：

- [1] 刘杰.高速铁路站场专业设计接口探讨[J].高速铁路技术,2021,12(06):95-99.
- [2] 王冠琪.铁路工程设计践行绿色发展的实践[J].铁路节能环保与安全卫生,2021,11(02):11-14.
- [3] 蒋朝阳.关于三亚至乐东开行市域列车工程站场设计的经验与建议[J].低碳世界,2021,11(03):229-231.
- [4] 陈祥龙.复杂铁路站改施工方案制定与实施[J].价值工程,2020,39(18):124-126.
- [5] 吴旭.新建高铁引入既有客专线路引起的站场改造工程施工方案探讨[J].建筑技艺,2020(S1):1-6.

复杂环境下输电线路维护检修策略研究

李凤韬, 郭晓晋, 赵 浩

(山东送变电工程有限公司, 山东 济南 250000)

摘要 本文针对复杂环境下输电线路维护检修面临的多方面挑战, 系统分析了自然因素、人为因素和环境因素对输电线路的影响, 总结了现有维护检修技术的不足, 并提出了基于风险评估的预防性维护策略、实时监测与预警机制、应急抢修快速反应方案以及综合利用常规与高新技术手段的综合策略, 旨在通过关键技术的应用和策略的优化为复杂环境下输电线路维护检修提供科学指导, 提升输电线路的安全性、可靠性和经济效益。

关键词 输电线路; 复杂环境; 维护检修策略

中图分类号: TM72

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.05.029

0 引言

输电线路作为电力系统的关键构成部分, 其安全运行不仅直接影响社会各方面的电力供应, 更与社会经济稳定发展紧密相连。在复杂多变的环境中, 自然因素、人为因素以及环境因素相互交织, 给输电线路的维护检修工作带来了重重挑战。本文聚焦于研究并提出适用于复杂环境下输电线路维护检修策略, 旨在通过应用关键技术和优化策略, 有效提升输电线路的运行安全性与维护效率。

1 复杂环境对输电线路的影响分析

1.1 自然因素对输电线路的影响

自然因素是影响输电线路安全运行的重要因素之一。随季节变化导致极端天气事件频发, 如高温、冰冻、风暴等, 会加速线路材料老化, 降低其机械强度和电气性能, 增加短路和断线的风险。其中森林火灾不仅能够直接损害输电设备, 还可能引起线路跳闸, 严重时甚至导致电力系统局部瘫痪。地质灾害, 如地震、滑坡和泥石流, 对输电线路基础稳定性构成威胁, 可能引发塔基倾斜、倒塌等重大事故。因此, 针对这些自然因素, 必须采取有效的预防和应对措施, 以保障输电线路的安全稳定运行^[1]。

1.2 人为因素的影响

人为因素也是输电线路维护中不可忽视的重要方面。施工不当、违规操作以及设备安装不规范等容易造成线路结构损伤和电气故障, 影响输电效率和系统稳定性。运行中的误操作, 如未经充分检测即进行负荷切换, 可能导致短路、过电压等事故, 增加检修难度和成本。此外, 非法盗窃、恶意破坏等违法行为也是造成线路损坏的重要原因, 不仅直接影响电力供应

的可靠性, 还可能引发严重的安全隐患。为应对上述人为因素, 需加强施工质量控制、操作培训及法律法规宣传, 同时完善物理和电子安防措施, 提高线路的防护水平。

1.3 环境因素综合分析

输电线路所面临的环境因素复杂多变, 不仅包括上述自然因素和人为因素, 还涉及其他多种环境变量的综合作用。例如, 电磁环境的干扰可能影响输电线路的安全和稳定运行; 工业污染和酸雨等化学因素则加速线路材料的腐蚀, 缩短设备的使用寿命。城市化进程中建筑物、树木的不断增长也对输电线路的铺设和维护提出了更高要求。因此, 需要采用系统性方法对各种环境因素进行综合评估, 建立多因素耦合模型, 以准确预测环境变化对输电线路的影响, 为制定科学合理的维护检修策略提供依据。通过综合分析, 可以更全面地理解输电线路面临的环境风险, 从而采取更为有效的预防措施, 确保输电系统的长期可靠运行^[2]。

2 输电线路维护检修现状与存在问题

2.1 输电线路维护检修的一般流程

输电线路的维护检修通常包括巡视检查、在线监测、状态评估、缺陷处理和大修更新等环节。巡视检查通过定期或不定期的人工或无人机巡检, 发现线路的表面缺陷和潜在隐患。在线监测利用传感器、智能终端等设备实时收集线路运行数据, 监测电气参数和环境条件变化。状态评估基于巡视检查和在线监测数据, 结合专家经验和分析模型, 对线路的整体健康状况进行综合评定。缺陷处理针对发现的问题, 采取必要措施进行及时修复。大修更新则是对老化或损坏严重的线路部件进行更换, 以恢复其设计性能。然而,

上述流程在实际操作中仍存在诸多局限，如数据采集不全面、评估模型准确性不足、缺陷处理响应不及时等问题，亟需优化和改进。

2.2 输电线路维护检修存在的主要问题

在复杂环境下，输电线路的维护检修面临多方面挑战。首先，传统的人工巡检方式难以全面覆盖长距离、复杂地形和恶劣气候条件下的线路，导致巡检遗漏和安全隐患。其次，现有在线监测技术的数据采集与处理能力有限，监测数据的准确性和实时性有待提升，尤其在电磁干扰严重的环境中表现不佳。此外，各监测系统的数据孤岛现象严重，数据融合与共享机制不完善，影响了综合评估的科学性和可靠性。再者，智能化诊断技术的应用尚处于初级阶段，故障预测模型的准确性和鲁棒性不足，未能充分发挥其优势。最后，维护检修经费与人力资源有限，难以适应日益增长的维护需求，导致部分线路维护不足，增加了运行风险^[3]。

2.3 输电线路维护检修对策与建议

为提高复杂环境下输电线路的维护检修效能，需从多个方面进行改进。首先，加强多源数据融合与共享，通过物联网技术实现各类监测系统的互联互通，提升数据的准确性和实时性。其次，引入先进的无人机和机器人巡检技术，提高巡检覆盖率和效率，尤其在复杂地形和恶劣气候条件下。此外，加强智能化诊断技术的研发与应用，利用大数据和机器学习算法，建立更加精准的故障预测模型，实现早期预警和故障定位。同时，建立完善的标准和规范体系，确保维护检修工作的科学性和规范性。最后，加大资金投入，优化资源配置，提升维护检修队伍的专业能力，确保输电线路的安全稳定运行。

3 输电线路维护检修策略设计原则

3.1 安全性原则

确保安全性是输电线路维护检修策略的首要原则。安全性原则要求在制定维护检修计划时，充分考虑复杂环境下的潜在风险因素，如极端天气、地理位置、电磁干扰等。进一步来说，应通过风险评估和隐患排查等来制定合理的巡检路线和周期，过程中首先要确保巡检人员安全及设备正常运转；与此同时，配合在线监测系统的优化，实时监控线路运行状态，及时预测、发现并处理异常情况；此外，还应建立健全复杂环境下维护检修输电线路的应急处置预案，提高应急处置能力。通过多层次、多维度的安全保障措施，确保输电线路维护检修工作的顺利进行，最大限度地减少安全事故的发生。

3.2 经济性原则

经济性原则要求在输电线路维护检修策略设计中综合考虑成本效益，实现资源的优化配置。具体而言，应通过科学的方法对检修项目进行成本效益分析，合理安排检修周期和检修范围，避免过度检修造成的资源浪费。同时，引入先进的维护技术，如无人机巡检、机器人检修和智能监测系统，提高检修效率和准确性，减少人力和物力的投入。此外，加强维护检修工作的信息化管理，实现数据的集成与共享，提高决策的科学性和时效性，降低运维成本。通过合理的资源配置和技术创新，确保输电线路维护检修工作的经济性和可持续性^[4]。

3.3 实用性原则

实用性原则是落实输电线路维护检修策略的关键一环，这就要求输电线路维护检修策略在具体的复杂环境中具有最朴实的可操作性及有效性。首先，应结合输电线路的真实运行环境和属性特点，针对性地制定维护检修方案，确保措施的适配度和可行性。其次，应注重维护检修技术的稳定性，尽可能规避尚处于实验阶段的技术，以减少不确定性因素带来的实施风险。此外，应加强一线维护检修人员的能力培训，确保技术人员能够熟练掌握并应用新的技术和方法。同时，建立完善的维护检修策略效果评估机制，定期分析实际效果，依据真实反馈及时调整方案。通过以上措施，能够确保输电线路维护检修策略能够切实解决实际问题，提高维护检修工作的整体效能。

3.4 可持续性原则

可持续性原则就是充分考虑输电线路维护检修策略在项目规划、方案设计及具体实施过程中对自然环境和资源带来的负面影响。因此，在检修方案上，应采用低碳环保、维护简单的清洁材料及检修技术。在检修流程中，注重资源利用率，计算能源消耗以设计合理方案，减少废弃物的产生。此外，还应加强对周边生态环境的保护，建立实时的环境监测和评估体系，动态优化输电线路维护检修策略，确保其长期符合可持续发展的要求。

4 针对复杂环境的输电线路维护检修策略

4.1 基于风险评估的预防性维护策略

在复杂环境中，基于风险评估的预防性维护策略是确保输电线路安全稳定运行的有效手段。首先，通过系统性的风险识别和评估，全面分析线路所面临的各种自然和人为风险因素，如恶劣天气、地质灾害、外部干扰等，确定线路的薄弱环节和高风险区域。其次，结合历史数据和实时监测信息，建立风险评估模型，

动态评估线路的风险等级,为维护检修提供科学依据。在此基础上,制定分级预防性维护计划,对高风险区域和关键设备进行定期和重点维护,降低故障发生的概率。同时,引入先进的监测技术,如无人机巡检和在线监测系统,实时监控线路状态,及时发现和处理潜在问题。通过基于风险评估的预防性维护策略,可以有效提高输电线路的可靠性和安全性,降低维护成本,延长设备使用寿命^[5]。

4.2 实时监测与预警机制构建

在复杂环境下,构建实时监测与预警机制是提高输电线路运行可靠性的重要措施。首先,需采用多种监测手段和技术,如无人机巡检、在线监测系统和地基雷达等,实现对线路及其周边环境的全方位、多角度监测。这些监测手段可以实时获取线路的运行数据和环境信息,为故障诊断和预警提供可靠依据。其次,建立完善的数据处理和分析平台,运用大数据和人工智能算法,对采集到的海量数据进行实时分析和综合评估,识别潜在的故障风险。预警机制应具备多级预警功能,根据风险等级的不同,采取相应的预警措施,确保快速响应和及时处理。此外,还需建立与维护检修人员的联动机制,确保预警信息能够迅速传递到一线工作人员,提高应急处理效率。通过实时监测与预警机制的构建,可以有效提升输电线路在复杂环境中的运行安全性和维护效率。

4.3 应急抢修快速反应方案

在复杂环境中,输电线路可能面临突发故障或自然灾害的威胁,因此制定高效的应急抢修快速反应方案至关重要。首先,需建立健全的应急管理体系,明确各级职责和应急流程,确保抢修工作的有序开展。其次,建立快速响应机制,通过实时监测系统和预警平台,及时获取故障信息,迅速启动抢修预案。同时,配备先进的抢修设备和技术,如移动抢修基站、便携式检测仪器和远程操作机器人,提高抢修效率和安全性。此外,加强对抢修人员的专业培训,确保他们在复杂环境下的操作能力和应急处置能力。最后,建立与地方政府和其他相关部门的联动机制,确保资源的及时调配和协同作战,最大化减少故障对电网运行的影响。

4.4 综合利用常规与高新技术手段

在复杂环境下,输电线路维护检修需要综合利用常规与高新技术手段,以提升整体维护效率和可信度。

“定期巡视”“人工检测”和“维护记录”等常规手段可以保存提供基础的历史数据,“在线监测系统”“智能传感器”和“大数据分析”等高新技术手段可以实现远程、实时和高精度监测,融合二者可形成多层次、

多维度监测体系,有效提高输电线路故障诊断的准确性和应急处置速度。高新技术手段还能通过虚拟现实技术对检修人员进行培训,通过模拟真实复杂环境,锻炼工作人员的应对能力,提高安全意识。

5 维护检修策略实施中的关键技术

在复杂环境下,输电线路维护检修策略的有效实施依赖于一系列关键技术,其中线路故障诊断技术尤为关键。该技术通过综合运用传感器、在线监测系统和无人机巡检等方式,实时采集输电线路的运行数据,包括电流、电压、温度、湿度、风速和振动等参数。利用大数据分析和高级信号处理技术,对这些数据进行多维度综合评估,实现对故障的快速定位和精准诊断。输电线路的故障诊断方式主要包括基于模型的诊断、基于信号处理的诊断以及基于机器学习的诊断。基于模型的诊断主要通过物理模型和数学模型对线路状态进行预测和分析;基于信号处理的诊断则利用频谱分析、小波变换等技术识别异常信号;基于机器学习的诊断方法通过训练算法模型,提取故障特征,提高诊断的准确性和效率。除此之外,故障诊断技术还需具备实时更新和自适应学习能力,以应对复杂多变的环境因素,为维护检修提供科学依据和技术支持,确保电网的安全稳定运行。

6 结语

通过综合分析复杂环境中输电线路面临的多种风险因素,本文提出了基于风险评估的预防性维护策略、实时监测与预警机制、应急抢修快速反应方案以及综合利用常规与高新技术手段的综合策略。这些策略和技术的应用,不仅能够提高输电线路的安全性和可靠性,还能降低维护检修成本,延长设备使用寿命,实现经济效益和环境效益的双重提升。本文的研究为复杂环境下的输电线路维护检修提供了科学指导和理论依据。

参考文献:

- [1] 朱云云.复杂环境下输电线路异物智能检测算法研究[D].恩施:湖北民族大学,2024.
- [2] 齐敬先,吴迪,叶海峰,等.面向复杂环境的输电线路覆冰预测研究[J].粘接,2022,49(11):151-155.
- [3] 颜丽,邓芳明.面向复杂环境的输电线路关键设备缺陷检测方法[J].无线工程,2022,52(12):2237-2244.
- [4] 刘杰.复杂环境下输电线路绝缘防护关键技术、系列产品及应用[J].河北电力技术,2022,41(04):95.
- [5] 卞建鹏,李凡,郝培旭,等.复杂环境下输电线路绝缘子的破损识别与定位[J].高电压技术,2022,48(02):681-688.

电力工程安全管理体系建设与实施效果分析

蒋 浩

(四川南充恒通电力有限公司, 四川 南充 637000)

摘要 我国对电力工程建设力度不断加大, 电力工程建设规模日益扩充。电力行业关系着民生发展, 为我国社会建设与发展提供良好条件。电力工程建设环境复杂、施工人员和设备较多, 安全风险较高, 如果施工过程中缺少安全管理, 就容易引发各种安全问题, 影响工程效益与发展。本文从电力工程施工安全管理角度出发, 论述了电力工程施工安全管理的重要性, 分析了电力工程施工安全管理工作存在的问题, 通过对不同问题产生原因的调查, 提出建立电力工程安全管理体系的相关措施, 以期能够为电力工程安全管理工作顺利进行提供有益参考。

关键词 电力工程; 安全管理; 安全教育

中图分类号: TM7

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.05.030

0 引言

安全管理是我国电力工程建设与运营中的重要内容, 但是受各种因素影响, 在电力工程施工建设中频繁出现各种安全问题, 这些问题制约我国电力行业的稳定发展。基于此, 相关部门应给予电力工程安全管理工作高度重视, 从工程建设各个环节入手, 明确安全管理要求, 构建一套完善的安全管理体系, 将其落实到位, 有效提高电力工程施工安全性, 保证电力工程建设工作有序进行。

1 电力工程施工安全管理的重要性

在电力工程施工中, 施工有效性、安全性直接影响施工进程, 并在整个电力工程施工中, 安全管理是一项非常重要的工作, 在电力工程建设与发展中起到了关键性作用。电力企业在开展电力工程建设工作时, 应提高对施工安全管理工作的重视程度, 强化施工过程安全检查与管理, 保证电力工程施工工作正常进行。电力工程施工安全管理的重要性体现在以下几个方面:

第一, 有效保障群众生命与财产安全。在电力工程施工建设中, 如果安全管理工作落实不到位, 容易引发各种安全问题, 如触电、火灾等, 不仅会让施工企业面临经济损失, 也会制约我国电力行业的发展, 甚至会引发人员伤亡^[1]。加强电力工程施工安全管理, 能够有效预防安全事故发生, 保障群众生命与财产安全。

第二, 保证电力工程施工质量。在电力工程施工中, 安全管理水平会直接影响电力工程施工质量和施工进度。如果能够将施工安全管理工作落实到位, 就能够保证施工现场各项安全措施有效实施, 降低安全事故发生概率, 保证电力工程施工质量和安全。反之, 容

易在施工中发生各种事故, 影响施工进度和工程质量。

第三, 有利于推动电力企业稳定发展。电力企业是电力工程施工安全管理中的主要负责人, 其安全管理水平会给企业发展及形象产生一定的影响。通过加强电力工程施工安全管理, 促进企业安全管理提升, 减少安全事故发生, 帮助企业塑造良好的形象, 增强企业综合发展实力, 有利于推动电力企业长远发展^[2]。

2 电力工程施工安全管理中存在的问题

2.1 安全管理体系不完善

电力工程施工比较复杂, 对安全管理有着严格要求。通过建立一套完善的施工安全管理体系, 能够为电力工程施工安全管理工作顺利开展提供依据, 减少安全问题发生。当前, 施工企业更强调施工进度和施工质量, 忽略施工现场安全检查, 导致电力工程施工安全管理体系缺乏完善性。大部分电力安全事故产生原因是安全预警不到位、风险排查不严、安全风险管理制度不完善等, 加强安全管理体系建设具有重要意义。

2.2 施工安全培训工作落实不到位

现阶段, 一些施工企业对于施工人员安全培训的重视度不高, 施工人员掌握的安全管理知识比较少, 安全管理意识薄弱, 不能从根源识别和防范安全风险, 对电力工程施工安全隐患排查不到位, 时常会出现疏忽大意的状况, 使得在施工过程中频繁出现各种安全问题。例如, 部分施工人员未接受安全教育, 在实际施工中存在逆反心理, 虽然明白违规施工会引发安全问题, 但是依然我行我素。另外, 电力工程施工安全管理人员职责分配不明确, 监督工作落实不到位, 部分施工人员没有严格按照施工安全要求作业, 玩忽职

守, 不利于电力工程施工安全管理工作有序进行^[3]。

2.3 安全隐患排查不彻底

在电力工程施工建设中, 应定期对施工现场安全隐患进行排查与处理, 一旦发现安全问题, 及时采取相关措施解决, 消除安全隐患。但是在实际施工建设中, 部分施工企业过于强调工程效益, 忽略施工安全管理, 安全排查工作落实不到位, 排查工作不彻底, 采用的安全排查方式比较落后, 施工现场安全管理信息化水平不高, 如人工巡视、纸质报告等, 这些方式不但工作效率比较低, 同时也会产生各种疏漏, 使得安全隐患不能及时被发现和处理。

2.4 安全管理责任划分不清

在电力工程施工建设中, 包含的管理内容有很多, 在建设规模不断扩大、施工人员增多的情况下, 无法科学划分管理职责, 权限分配不明确, 各部门及施工管理人员在日常工作中如果出现安全问题, 容易相互推卸责任, 无法将安全问题第一时间处理。责任机制不完善, 无法对施工人员工作行为有效约束, 如不能按照施工安全要求, 构建对应的奖罚制度, 安全管理主体不明确, 责任意识不足, 无法将施工安全管理工作落实到位, 阻碍安全管理目标实现。

2.5 现场安全管理不严

在电力工程施工安全管理中, 现场安全管理是比较重要的内容, 但是部分施工企业在施工现场安全管理方面多多少少存在一些问题, 如巡查不严、监督不力, 使得施工中的安全问题没有第一时间被察觉和处理。同时, 一些施工企业现场安全管理信息化水平不足, 不能实现对施工现场动态监控, 安全问题无法做到及时预警。

3 电力工程安全管理体系建设措施

3.1 建立完善的施工安全管理体系

在建立电力工程施工安全管理体系时, 应包含安全责任机制、安全教育制度等内容, 结合工程现场实际情况, 从多方面入手进行安全管理工作创新, 加强安全风险预警, 形成全面覆盖的安全管理体系。对于当前电力工程施工中出现的安全问题, 通过完善安全管理体系对施工过程动态监督, 保证电力工程施工工作有序进行, 给施工人员提供安全的工作环境。在建立施工安全管理体系时, 要按照现有法律政策, 调整当前管理制度和管理模式, 对已经出现的安全问题, 科学调整安全管理方案, 对重大工程现场进行勘察与合理设计, 完善施工现场安全检查和管理制度, 为每个施工环节安全管理工作开展提供依据。同时, 在

构建施工安全管理体系时, 应注重管理体系可行性, 对安全管理体系内容适当调整, 从根源上保证电力工程施工。为了提高施工安全管理体系可行性, 在制定安全体系时, 应结合工程现场具体情况, 综合分析, 并严格按照国家现有法律政策要求, 不断优化和调整施工安全管理体系内容, 实现对电力工程施工安全科学化管理, 减少不必要的安全问题发生。电力企业还要优化安全责任机制, 明确各部门及人员工作职责, 将安全管理工作落实到位, 从而减少安全隐患发生^[4]。

3.2 加强员工施工安全教育

安全教育和培训是保证电力工程施工的基础条件, 同时也是提高施工人员安全意识和自我保护能力的有效方式。在开展电力工程施工建设工作时, 电力施工企业应注重对各级人员的安全教育和培训, 严格按照各岗位工作要求, 安排适合的工作人员, 成立专业的施工团队, 保证工程建设工作有序进行。在人员岗前培训时, 要把安全教育和岗位培训作为重点, 除了要加强理论教育之外, 还要对安全生产技能和管理方法进行专门培训, 及时学习国家政策方针和现有法律、行业法规、政策内容, 按照相关标准和要求进行安全教育培训。企业还要鼓励施工人员主动学习最新的安全管理方法, 提高施工人员安全意识, 增强其安全施工能力。如果在施工过程中发生突发状况, 施工人员需具备自我保护能力。另外, 在培训中讲解一些典型案例, 并安排施工人员接受安全演练, 让其在培训中学习更多的安全知识, 提高施工人员综合素养, 增强其应对各种突发事件的能力, 降低影响。通过对施工人员定期进行安全教育和培训, 在管理中不断增强施工人员的安全管理意识, 降低安全事故发生率^[5]。

3.3 强化现场安全管理

在开展电力工程施工安全管理工作时, 强化施工现场安全管理是非常重要的, 具体内容有以下几点: 一是明确施工现场安全管理要求, 规范安全管理流程。施工企业应结合现场具体情况, 构建一套完善的施工现场安全管理规章制度, 明确施工中的安全操作要求, 增强施工人员的安全施工意识, 降低安全事故发生率。二是加强施工现场安全检查与巡视。施工企业应对施工现场各个环节进行安全检查与巡视, 完善安全巡视检查管理制度, 将其落实到位。在安全巡视检查制度中, 覆盖施工现场各个角落, 一旦发现安全问题, 及时采取相关措施处理。三是明确施工安全质量标准, 实施标准化管理。施工企业应优化施工安全质量管理方案, 对施工现场质量安全全面检查, 保证施工质量满足安

全要求。四是增强安全事故处理能力。施工企业应科学编制应急预案，提高安全事故处理能力，应急预案中包含各种安全事故处理方法，如突发事件应急处理、设备故障处理、人为失误处理等，保证在发生相关事故时能够第一时间解决，降低对电力工程施工质量的影响。五是引进先进的管理手段。例如，在施工建设中应用现场实时监测技术，利用视频监测、传感器监测等设备，实现对施工的全过程监督检查，对于发现的安全问题及时预警，采取相关处理措施。

3.4 明确安全管理责任

对于电力工程施工中常见的安全管理问题，应提高施工安全管理力度，从根源上防控安全风险。以制度为基础进行强化安全管理，对施工人员施工行为进行约束，主动参与电力工程施工安全管理活动，科学划分施工安全管理职责，明确安全管理责任与范畴。在构建施工安全管理责任机制时，应明确和施工安全管理相关的各种内容，并且在体系建设中进行统筹规划，结合工程建设实际情况，把各施工环节安全细节进行列举，给施工安全管理人员提出具体的安全管理要求，将安全管理工作落实到位。在电力工程施工安全管理中，应完善安全监督管理责任机制。例如，从事高空作业过程中，要求施工安全管理人员重点检查施工使用的安全防护设施，如安全绳、安全保护装置等，保证不会出现质量问题且具有良好安全保障的情况下才能使用。与此同时，要求施工人员具备安全检查的意识，在使用安全设施时，及时检查其安全性。通过完善安全监督管理机制，让各级人员明白安全管理对电力工程建设发展的影响，为了保证施工整体安全，应协调各部门之间的关系，明确施工现场各个环节安全管理要点。通过对电力工程施工现场情况的调查，成立专业的安全检查管理小组，同时对小组成员进行责任划分，如施工安全管理专员、施工现场日常巡视检查人员等。通过成立专业的安全管理部门，对电力工程施工安全进行标准化管理，明确监督管理部门各级人员的职责，对部门内成员提供对应的奖罚措施，把施工过程中安全管理效果和其薪酬进行结合，从而强化各级人员职责意识，在安全管理中充分发挥自身价值。例如，在电力工程施工中，要求日常巡视人员对施工现场全方位检查，认真检查施工细节和隐蔽工程，判断是否存在安全问题，如果存在，督促施工人员及时处理，同时对每天巡查的结果进行总结。如果在巡视检查中发现安全问题，及时找到相关负责人，对其进行处罚^[6]。通过这种方式，能够有效减少人员

推卸责任的状况，保证电力工程施工安全管理工作顺利完成。

3.5 加强对施工危险点的安全防控

在电力工程施工过程中存在一定的风险性，施工企业应对施工现场潜在风险进行安全排查，结合现场情况制定具体的处理方案，避免出现不必要的安全事故，导致人员伤亡。对于安全事故防范，应注重安全事故处理，制定应急预案，在面对突发状况时能够及时应对处理，延长抢救时间。在电力工程施工中，如果缺少充足的资金支持，会导致安全生产水平下降，引发各种安全事故。如果施工企业未建立完善的安全防护系统，安全检查工作落实不到位，施工人员技术水平偏低，则会给各种安全事故发生提供条件。安全管理是电力施工企业重点关注的内容，企业为了实现长远发展，应将施工中的安全问题科学处理。因此，施工企业应注重施工现场危险区域的安全检查与控制，注重施工材料、施工工艺及施工设备安全，保证电力工程风险点控制的全面性，要求各部门主动参与施工安全管理活动中，明确施工危险点，做好防控和处理工作，让整个电力工程施工保持在安全、稳定的状态。

4 结语

在电力工程施工中，做好安全管理工作，不仅能够保证电力工程施工质量和进度，也能为施工人员提供安全的施工环境，减少安全事故发生。通过对电力工程施工安全管理措施进行全面的分析研究，采取建立完善的施工安全管理体系、加强施工人员安全教育、强化现场安全管理、明确安全管理责任等措施，提高电力工程施工安全管理水平，减少安全事故的发生，为保证电力工程施工安全奠定良好的基础。

参考文献：

- [1] 张艳青.配电网电力工程施工安全管理措施研究[J].中国高新科技,2024(10):120-121,124.
- [2] 吴志超.电力工程施工安全管理以及质量控制管理分析[J].电气技术与经济,2024(01):264-267.
- [3] 朱文博,张芸.配电网电力工程施工安全管理及消防措施分析[J].消防界:电子版,2023,09(24):117-119.
- [4] 胡常青.电力工程施工安全管理与质控路径探讨[J].工程建设与设计,2023(18):211-213.
- [5] 文佳兴.配电网电力工程施工安全管理措施研究[J].光源与照明,2023(01):246-248.
- [6] 古帆.10kV电力工程施工安全管理及现场质量控制[J].工程技术研究,2021,06(23):100-102.

关于机电设备安装工程 施工技术管理的探讨

张俊怡

(张家口宣钢医院有限公司, 河北 张家口 075100)

摘要 机电设备安装工程施工技术管理贯穿于工程项目的各个阶段, 其是通过精细化的管理提升施工质量和效率, 确保设备安装后能够安全稳定运行。施工技术管理涵盖施工前的技术准备、安装过程中的质量控制以及设备调试与验收等环节, 每一个环节都要求高度的专业性与规范性。为应对实际施工中存在的技术难题, 采用信息化技术、强化团队协作以及优化管理流程成为提升施工管理水平的重要策略。结果表明, 通过不断完善施工技术管理体系, 能够明显降低工程风险, 提升整体施工成效。

关键词 机电设备; 安装工程; 施工技术管理

中图分类号: TU85

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.05.031

0 引言

机电设备安装工程作为建筑与工业项目中的关键环节, 其施工质量直接决定了项目的整体性能与使用寿命。不同于传统的土建工程, 机电设备安装涉及多种系统与复杂工艺, 任何一个环节出现问题都可能影响整个系统的正常运行。因此, 施工技术管理的科学性与精确性极为重要。但实际施工中会因为技术管理不到位、人员配合不协调等原因导致质量缺陷与安全隐患频发, 为了有效解决这些问题, 必须在技术准备、质量控制、设备调试与安全管理等方面采取全面的管理措施。

1 机电设备安装工程施工技术管理的重要性

机电设备通常涉及复杂的系统和多样化的技术, 包括电气系统、通风系统、水暖系统以及自动化控制系统, 这些设备在安装过程通常需要高度的技术支持, 还需要对各个系统之间的接口和协同进行精准控制。施工技术管理的有效实施能够最大程度地降低因为安装偏差引起的设备故障与系统失灵, 从而保障工程整体的安全性和可靠性。同时, 在机电设备安装过程中, 由于设备种类较多、工艺标准不同, 不同环境对设备安装的适应性要求较高, 如果缺乏合理的技术管理, 就容易造成设备运行效率低下或出现不符合使用要求的情况。此外, 由于在一个完整的建设项目建设中, 机电设备安装通常贯穿在多个施工阶段, 其复杂性与连续性决定了这一环节对整体进度的直接影响, 如果在施工中缺乏有效的技术管理, 不只会导致施工流程紊乱

和重复施工的现象出现, 还可能出现材料浪费、工期延误等一系列问题, 进一步增加工程总成本。而通过精细化的技术管理, 可有效优化资源配置与作业流程, 确保每个环节高效衔接, 最大限度地减少不必要的资源浪费与施工延迟。

2 机电设备安装工程施工技术管理的主要内容

2.1 施工前的技术准备与方案制定

在机电设备安装工程中, 高质量的技术准备工作可以提升施工效率, 还能最大程度上降低施工风险与后期故障发生率, 技术准备的核心是对图纸、设备规格和施工环境进行全面审核与分析。图纸审核既要关注系统的完整性与合理性, 更需要对各专业之间的接口细节进行深入分析, 确保电气、管道、暖通等各系统之间协同一致。在这个过程中, 任何细小的疏忽都可能导致后续施工阶段出现偏差或返工。因此, 施工团队需要组织相关专业人员对图纸进行多次会审, 针对可能存在的问题提出优化建议, 并在施工方案中明确各环节的技术要点。同时, 还需要根据施工现场的实际情况, 结合设备特性与工艺流程, 对可能影响施工的因素进行预判与评估, 确保每一项施工任务都有明确的操作标准。此外, 方案制定的核心目标是细化施工流程与资源配置, 确保施工各环节能够高效衔接, 在方案制定过程中, 需要充分考虑机电设备安装的工艺特点, 合理规划施工顺序与作业面, 避免各工种之间的交叉干扰^[1]。而且针对复杂设备或特殊施工条件, 应该制定详细的专项施工方案, 并附加必要的应急预

案，来应对可能出现的突发情况。在方案编制阶段，还需要明确设备安装所需的材料、工具与施工机具清单，确保施工资源能够及时到位，从而避免因材料供应不及时或机具不足造成的停工和延误。

2.2 安装过程中质量控制与技术指导

在机电设备安装工程中，质量控制的核心是将可能出现的质量问题提前进行识别和消除，从而避免返工和后续运行中出现隐患。在安装前期，需要对施工人员进行详细的技术交底，确保技术人员明确各设备安装的工艺流程和质量标准。在施工过程中，需要对关键节点的质量进行检查，例如在大型设备吊装与定位时，要重点检查位置精度与垂直度，确保设备符合设计要求并具备最佳运行条件。同时，还需要对管道系统的连接质量进行全面监测，确保焊接部位的强度和密封性达标，从而保证整个机电系统安全运行。并且通过分阶段质量检查与验收，不仅可以提升施工过程的可控性，还能及时纠正施工中的偏差，确保整体工程质量。在技术指导方面，由于机电设备种类繁多、工艺复杂，施工过程中通常面临一些现场实际情况与设计不符的问题，此时就需要技术人员根据具体情况进行合理调整与指导，例如当发现某些设备与建筑结构之间存在空间冲突时，技术指导人员需要快速分析原因，并提出可行的解决方案，确保施工顺利进行^[2]。在这个过程中，技术指导的及时性与针对性极为重要，既要确保施工的连续性，又要避免因调整不当造成新的问题。此外，技术指导还包括对特殊设备的安装支持与调试监督，例如电气设备的接线与控制系统的安装，需要技术人员进行逐项检查与测试，确保系统的完整性与稳定性。

2.3 设备调试与验收的技术要点

在机电设备安装工程中，设备调试必须对各子系统进行独立调试与联动测试，确保每个系统都能够独立正常运行，并且在联动时能够协调工作。独立调试阶段，需要重点关注设备的功能是否满足设计要求，包括电气设备的接线是否正确、动力系统的运行稳定情况以及控制系统的反应灵敏情况。同时，通过对设备的关键参数进行反复校准，能确保设备能够在最优状态下运行，例如在空调系统的调试中，需要针对风量、温度和湿度等参数进行多次测量与调整，直至达到设计指标。在这个阶段，调试人员既要具备扎实的技术能力，还需要对设备的特性与运行环境有深入了解，能够根据实际情况及时调整调试方案，确保调试结果的精确性与一致性^[3]。同时，在验收过程中，需要严

格按照设计文件与施工规范逐项检查设备的安装位置、连接状态与运行性能，确保各项指标都符合要求。针对不同类型的设备，应该制定相应的验收标准与测试方法，例如对于电气设备，要重点检查其绝缘电阻与接地电阻的达标情况，而对于管道系统，需要进行压力测试与密封性检测，以排除潜在隐患。此外，验收过程中还应该对设备的运行记录与调试数据进行详细核对，确保所有参数都在合理的范围内，验收合格后，还要及时完成设备运行维护手册和验收报告的编制，从而为后续的运行管理与维护提供技术依据。

2.4 安全管理与环保措施的技术要求

在机电设备安装工程中，针对安全管理，必须建立一套系统化、标准化的技术规范，涵盖施工现场的安全防护、特殊作业的安全操作以及应急预案的制定与演练。在实际施工过程中，由于机电设备安装涉及高空作业、动火作业和大型设备吊装等高风险作业，任何疏漏都可能引发严重事故。因此，在每项作业开始前，施工单位需要进行详细的安全技术交底，确保所有施工人员都清楚各自的任务与风险点。同时，针对高风险作业，应该设立专门的技术指导人员和安全监督人员，实时监控施工过程，确保安全防护措施落实到位。此外，还需要定期开展安全检查与隐患排查，通过及时发现与整改潜在的问题，来降低事故发生的可能性，保障施工安全。再者，环保措施是对施工过程中的污染进行控制，并对资源利用进行优化，施工过程中通常伴随着噪声、粉尘和废弃物的排放，这不仅会对施工环境造成影响，还可能扰民。因此，施工单位需要根据实际情况制定详细的环保技术措施，例如通过设置降噪屏障与洒水降尘设备，能有效减少施工产生的噪声与扬尘污染^[4]。此外，针对施工中产生的废弃物，需要按照“分类处理、集中清运、循环利用”的原则进行规范管理，最大程度的降低对环境的影响。而且环保措施的技术要求还体现在施工资源的合理使用和节能降耗上，例如在电气安装过程中，可以推广使用节能型材料与设备，减少能源消耗与浪费。

3 机电设备安装工程施工技术管理的优化策略

3.1 引入信息化技术提升管理水平

在机电设备安装工程施工技术管理中，信息化技术能够实现施工全过程的实时监控和数据管理，使项目管理更加精细化和高效化。通过应用建筑信息模型(BIM)技术，可以在项目初期创建数字化的三维模型，将设备的安装流程、位置及技术参数直观地呈现出来，

这种信息可视化方法，不仅能帮助施工人员更好的理解复杂的施工方案，还能有效减少因为设计不合理或施工错误引起的返工现象。在实际施工中，BIM 模型也可用于动态模拟施工过程，对关键工序进行预演与优化，从而提前规避潜在风险。另外，通过 BIM 技术与现场智能监控系统的联动，管理人员能够实时掌握施工进度与质量状态，及时调整施工策略，确保各环节按计划发展。此外，由于在传统管理模式下，施工数据多以纸质或分散电子文件形式存在，导致查阅和更新困难，还容易导致信息滞后与数据遗漏。而通过建立统一的施工信息管理平台，可以将施工过程中产生的各类数据集中存储与管理，实现施工现场与管理后台的信息实时同步，各施工团队与管理人员可以随时通过平台获取最新的施工动态与技术参数，从而在第一时间作出合理决策^[5]。此外，信息化技术在施工质量与安全管理中的应用也具有明显优势，例如利用智能传感器与物联网技术，可以对关键设备的运行状态与环境参数进行自动监测与预警，确保施工场始终处于可控状态。

3.2 加强人员培训与团队协作

在机电设备安装工程施工技术管理中，由于机电设备种类较多、工艺复杂，施工过程中涉及多专业、多工种的协同作业，施工人员的技术水平与团队协作能力会直接影响到项目的整体推进。因此，在施工前期，通过针对性强、内容全面的技术培训，可以有效提高人员的专业素质与操作技能，这种培训需要包括设备的安装工艺、操作规范与安全防护措施，还应该涵盖不同工种之间的协作流程与沟通要点，例如在复杂设备的吊装与定位过程中，需要电气、管道与结构专业的人员紧密配合，任何环节出现偏差都可能导致安装失败。同时，技术培训还需要结合实际案例进行分析与模拟演练，使人员能够在真实情境中熟练掌握设备安装的关键技术与难点，确保在施工中遇到问题时能够快速解决。此外，团队协作的核心是建立高效的沟通与协调机制，在大型机电设备安装项目中，不同专业之间的工作内容通常交叉进行，如果缺乏有效的协调与沟通，容易导致施工进度受阻与质量问题的发生。因此，施工管理人员需要明确各工种的职责与任务，建立定期沟通与反馈机制，及时解决施工中出现的问题，确保工程进度与质量同步推进。再者，团队协作还包括各级管理人员与技术人员之间的信息共享和决策支持，在这个过程中，管理人员需要充分发挥协调与指导的作用，通过组织现场会议与技术交底，可以

确保所有人员对施工计划与技术要求的理解一致。

3.3 完善施工技术管理制度与流程

在机电设备安装工程中，制度的完善需要结合具体项目的实际情况，形成一套具有可操作性和灵活性的管理体系。针对机电设备安装的复杂性和多样性，施工技术管理制度需要涵盖多个方面，包括设备安装的技术标准、施工质量的验收要求以及现场安全管理等，在制度编制过程中，在参考行业标准与规范的基础上，还需融入企业自身的技术经验与管理特色，确保制度既能满足普遍的技术要求，又能在具体项目中灵活应用。同时，管理制度的有效性依赖于严格的执行与监督，因此需要通过建立技术审核与质量验收机制，将管理制度贯穿于施工的各个环节，例如在关键工序与隐蔽工程施工前，技术人员需要对施工方案与技术交底进行审核，确保所有操作都符合技术标准和设计要求。

此外，在实际施工中，流程的优化应该以动态调整和持续改进为原则，即是根据不同阶段的施工特点与进度要求，对流程进行适时调整与优化。

4 结束语

机电设备安装工程施工技术管理可以提高施工质量、保障设备稳定运行以及降低施工风险等方面。通过加强管理制度建设、引入信息化技术和强化人员培训等方法，可以有效应对施工中的各类挑战，实现施工过程的精细化。未来，随着科技的进步和机电设备的不断更新，施工技术管理也需要不断创新和完善。企业应持续关注行业动态和技术发展趋势，不断引入新技术、新工艺和新设备，提高施工效率和质量。同时，加强与国际先进企业的交流与合作，借鉴其成功经验和先进技术，不断提升自身的施工技术管理水平。

参考文献：

- [1] 严智梅.建筑机电设备安装工程施工技术研究[J].中国高新科技,2024(14):136-138.
- [2] 庄剑波.建筑机电设备安装工程施工技术探讨[J].四川水泥,2024(04):141-143.
- [3] 刘建廷.建筑机电设备安装工程施工技术的研究[J].自动化应用,2023,64(S1):151-153.
- [4] 牛常辉.建筑机电设备安装工程施工技术浅析[J].中国设备工程,2023(06):244-246.
- [5] 王磊.机电设备安装工程施工技术以及质量管理方法分析[J].城市建设理论研究:电子版,2023(08):22-24.

精细化管理在提升堤防安全性能中的作用分析

汪 涛

(安徽省宿松长江河道管理局, 安徽 安庆 246500)

摘要 本文运用论述法和案例分析法, 深入剖析了精细化管理在提升堤防安全性能中的关键作用, 通过明确管理目标、细化职责分配、加强日常巡查与维护、强化防汛抢险能力构建及推动信息化管理与监督革新等策略, 旨在实现堤防管理的全面优化; 以同马大堤宿松段为例, 验证了精细化管理不仅可以提升堤防的维护效率与质量, 还可以通过数据分析与预警系统增强防洪能力, 为堤防的可持续发展提供了有力支持。

关键词 精细化管理; 堤防安全性能; 防汛抢险

中图分类号: TV8

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.05.032

0 引言

随着气候变化的加剧和城市化进程的推进, 堤防作为防洪体系的重要组成部分, 其安全性能的提升日益受到重视。精细化管理作为一种高效、科学的管理模式, 被广泛应用于堤防管理中。本文探讨精细化管理在提升堤防安全性能中的实践应用策略, 旨在为堤防管理提供新的思路和方法。

1 精细化管理在提升堤防安全性能中的作用剖析

在堤防综合管理中引入精细化管理模式对于提升管理的综合效益至关重要。它通过将管理和养护职能分离, 管理层专注于制定规则、堤防巡查及监督工作, 而养护则由专业部门承担, 如堤防的日常维护、小型工程修理等, 这种企业间的分工合作能确保堤防得到迅速且专业的维护, 极大地提升了维护的效率与质量。

另外, 构建堤防管理信息平台, 录入、分析历年来的大量堤防数据, 形成一个立体化的数据网络, 有助于加强对堤防薄弱段及典型断面的监控与预警, 为制定科学、合理的管理决策提供了有力支持。

此外, 精细化管理还强调对堤防的全面检查, 详细规划薄弱段的防汛安全检查计划, 并进行应急抢险演练, 能够及时发现并修复潜在隐患, 增强堤防的防洪能力。

在此基础上, 相关单位还可通过精细化管理加强生态管控, 如改造硬质防护墙为生态斜坡, 丰富岸线景观, 实施生态修复, 既缓解了防洪压力, 又为水域动植物提供了良好的生存环境^[1]。

2 精细化管理在提升堤防安全性能中的实践应用策略

2.1 明确管理目标与细化职责分配

基于精细化管理的理念, 相关单位在提升堤防安全性能的过程中, 首要任务是明确管理目标和细化职责分配。单位需依据堤防的实际状况、防护要求及上级主管部门的指导, 制定涵盖堤防的完整性、稳定性、安全性及应对突发事件的能力等多个方面的总体目标, 并设定如堤防完好率、隐患发现与处理及时性等具体指标, 以量化管理目标。在总体目标的基础上, 将管理任务层层分解至各部门、各岗位, 包括堤防的日常管理、养护、防汛抢险及隐患排查等, 确保每项工作都落实到具体责任人。通过细化分解, 每位管理员都能清晰了解自己的职责范围和工作要求, 有效避免了责任不清、任务不明的情况。为进一步明确职责, 单位还可制定详细的责任清单和流程图, 责任清单详细列出各岗位的具体职责、工作内容及要求, 流程图则清晰展示工作流程和步骤, 帮助管理人员更好地理解和执行职责。在此基础上, 单位还需加强管理员的责任意识, 通过定期培训和宣传教育, 提高他们对堤防安全管理重要性的认识, 确保他们认真履行自己的职责^[2]。

例如, 在同马大堤宿松段堤防的日常管理中, 精细化管理的理念被赋予了生动实践。宿松长江河道管理局首先依据堤防的实际情况(堤防总长 62.822 km), 历年受洪水侵袭频率及程度, 以及上级水利部门关于防洪标准的具体要求(制定了全面而具体的管理目标)。

这些目标不仅涵盖堤防的完整性（如设定堤身裂缝修复率不低于 98%）、稳定性（如确保堤基沉降年变化量不超过 5 mm）和安全性（如堤防完好率需维持在 99% 以上），还特别强调了应对突发事件的能力，如规定防汛物资准备充足率需达到 100%，且能在 2 小时内迅速响应。为实现这些目标，单位采取了“横向到边、纵向到底”的职责分配策略。横向，将管理任务细分为堤防日常巡查、通江涵闸工程养护、防汛抢险准备、害堤动物（特别是白蚁）普查防治等多个模块，每个模块指定一名负责人，确保专业对口，责任到人。纵向，从单位领导到一线管理员，层层签订责任书，将管理目标逐级分解，如要求堤防日常巡查每天不少于两次，每次记录需包含照片及详细情况说明，确保问题早发现、早报告、早处理。为了进一步明晰职责边界，单位创新性地编制了《同马大堤宿松段管理责任手册》，不仅详细列出了各岗位的具体职责、日常工作内容及考核标准，还配套制作了工作流程图，以直观形象的方式展示了从问题发现到解决的每一步流程。例如，在害堤动物防治方面，流程图清晰标注了从监测预警、初步识别、专业防治到效果评估的全过程，便于管理员快速准确地采取行动。

2.2 加强日常巡查与精心维护

开展堤防安全性能管控的过程中，需制定常态化的巡查与维护计划。单位应制定详细的巡查计划，明确巡查时间、频率、路线、内容及负责人等信息。特别是在汛期、风暴潮等关键时期，需增加巡查频率，加强对重点地段和险工险段的监测，并根据巡查结果适时调整巡查计划，以满足堤防安全管理的需求。在巡查过程中，单位需明确巡查内容和标准，涵盖堤防的完整性、稳定性、渗透情况、裂缝、滑坡及白蚁危害等方面。每次巡查后，需记录详细信息，生成台账，为后续深入分析评估提供依据。对于巡查中发现的问题，如堤防裂缝，需在巡查日记中详细记录其宽度、长度、深度等信息，并进行深层次评估分析。此外，单位还需按照巡查计划实施定期与不定期巡查工作，定期巡查按计划时间表推进，不定期巡查则根据天气变化、水位涨落等实际情况灵活调整。一旦发现堤防存在损坏或安全隐患，应立即进行养护，包括清除杂草、修复裂缝、加固薄弱环节、处理渗漏等，以提升管理水平^[3]。

例如，宿松长江河道管理局制定了一份详尽的巡查计划，不仅明确了巡查时间（如每日上午 9 时至下午 5 时）、频率（日常巡查每日两次，汛期及风暴潮期间增加至每两小时一次）、路线（覆盖全堤 63 公里，特

别标注了 16 处历史险工险段）、内容及负责人（每段堤防指定一名经验丰富的巡查员负责），还建立了灵活的调整机制。例如，在 2024 年汛期，面对长江水位持续上涨的严峻形势，单位及时将巡查频率提高至每小时一次，确保了对重点地段的实时监控。巡查内容全面而细致，涵盖了堤防的完整性（如检查堤身有无缺失、损坏）、稳定性（观察堤脚、堤坡有无滑坡迹象）、渗透情况（通过观测井监测地下水位变化）、裂缝（记录裂缝的宽度、长度、深度及走向）、滑坡（评估滑坡体的规模、稳定性及潜在威胁）及白蚁危害（利用专业工具探测蚁巢位置，记录白蚁活动迹象）等多个方面。巡查标准严格，如规定裂缝宽度超过 5 mm 即需立即上报并采取应急措施。每次巡查后，巡查员需详细记录巡查情况，包括发现的问题、采取的措施及建议等，并生成电子台账。截至目前，该段堤防已累计记录巡查日志 1 200 余篇，形成了宝贵的堤防安全管理数据库。

2.3 强化防汛抢险能力构建

防汛抢险是堤防安全管理中的关键环节，需在堤防区域进行全面风险评估，识别潜在的洪水危险点和薄弱环节，并基于评估结果制定详细的防汛抢险预案，明确流程、人员分工、物资储备及应急响应机制。在此基础上，组织预案演练和修订，检验预案的可行性和有效性，并根据演练结果和实际情况不断完善预案，以适应不断变化的风险环境^[4]。同时，单位还需组建专业的防汛抢险队伍，包括抢险人员、技术人员及后勤保障人员，并对队伍进行系统性培训，涵盖防汛知识、抢险技能、应急响应及团队协作等方面。为保持队伍的高度应急响应能力，单位需建立健全抢险队伍管理制度，明确队员的职责和任务，并定期对队伍进行考核评估。此外，单位还需制定详细的防汛抢险物资清单，包括抢险设备、救援器材、防护用品及通信设备等，并根据清单进行采购，确保物资的质量和数量满足抢险需求。在提升防汛抢险技术水平的进程中，单位还应积极引进新技术，如无人机巡查、遥感监测、智能预警分析等，结合实际情况做好精细化把控，提高管理水平^[5]。

例如，宿松长江河道管理局对堤防区域进行了深入的风险评估，利用 GIS 技术和历史洪水数据，识别出 15 个潜在的洪水危险点和 20 处薄弱环节，如堤防的弯道、交汇处及低洼地带。基于评估结果，单位明确了从预警发布、人员集结、物资调配到抢险实施的每一步流程，详细划分了抢险指挥组、技术保障组、物资供应组、后勤保障组等关键岗位，并详细列出了

各类物资储备量,如沙袋5 000袋、防汛帐篷300顶、救生衣200件等。预案还规定了应急响应的启动条件、响应级别及升级降级机制,确保了在不同洪水等级下能够迅速、有序地采取行动。为确保预案的可行性和有效性,单位定期组织预案演练,如2023年5月举行的一次模拟洪水抢险演练,就成功检验了预案的各个环节。演练中,抢险队伍在接到预警后30分钟内完成集结,1小时内将首批抢险物资送达现场,并成功实施了沙袋封堵、抽水排涝等抢险措施。演练结束后,单位根据演练中暴露出的问题,如通信不畅、物资调配速度慢等,对预案进行了修订和完善,确保预案更加贴近实战需求。单位制定了详细的防汛抢险物资清单,并根据清单进行了充足的物资储备,确保在紧急情况下能够迅速调用。同时,单位还积极引进新技术,如利用无人机进行堤防巡查,通过遥感监测技术实时掌握洪水动态,以及运用智能预警分析系统对洪水风险进行精准预测。

2.4 推动信息化管理与监督革新

引进信息化管理与监督模式,以提高管理效率。堤防管理单位需对堤防管理的信息化需求进行全面分析,明确实现的功能和目标,如数据采集、实时监控、预警发布及数据分析等。基于需求分析结果,设计信息化管理平台的架构和功能模块,确保平台功能满足堤防管理的各项需求。在技术选型阶段,需选择成熟稳定的技术栈进行平台开发,以确保平台的可靠性,并考虑与现有系统的兼容性和数据共享等问题。在信息化管理体系中,还需引进合适的智能监测设备,如传感器、无人机等,在堤防关键位置安装相关设备,以实现实时监测堤防状态。之后,将智能监测设备采集的数据接入信息管理系统,进行集中管理和分析。在信息化管理平台上,可实时展示监测设备采集的信息,如水位、流速、渗漏量等,并基于大数据和人工智能技术揭示堤防的风险和趋势。因此,需在绩效管理中强化信息化监督和考核,制定严谨细致的监管机制及信息化管理指标,以提高管理水平^[6]。

例如,宿松长江河道管理局对堤防管理的信息化需求进行了全面而深入的剖析,明确了数据采集、实时监控、预警发布及数据分析四大核心功能。基于这一需求蓝图,单位设计了一款集成化的信息化管理平台,该平台包含数据采集模块、实时监控模块、预警管理模块及数据分析模块,全面覆盖了堤防管理的各个环节。例如,数据采集模块通过传感器网络实时收集水位、流速、渗漏量等关键数据,为堤防安全提供了精准的数字画像。在技术选型阶段,单位经过严格

评估,选择了成熟稳定的Java技术栈作为平台开发的基础,确保了平台的可靠性和可扩展性。同时,单位充分考虑了与现有系统的兼容性和数据共享问题,通过API接口实现了与原有监测系统的无缝对接。平台开发过程中,单位采用了敏捷开发模式,快速迭代,确保平台功能能够迅速响应管理需求的变化。经过近一年的开发与测试,信息化管理平台于2023年正式上线运行。为提升监测效率,单位引进了包括高精度水位传感器、无人机巡检系统在内的多种智能监测设备。这些设备被部署在堤防的关键位置,如涵闸、弯道、低洼地带等,实现了对堤防状态的实时监测。在信息化管理平台上,单位利用大数据和人工智能技术对数据进行了深度挖掘和分析。通过构建堤防安全风险预测模型,平台能够基于历史数据和实时监测数据,揭示堤防的风险点和趋势,为管理决策提供了科学依据。在2023年汛期前,平台通过数据分析预测出某段堤防存在滑坡风险,单位及时采取了加固措施,有效避免了险情的发生。此外,平台还提供了丰富的可视化展示功能,如水位变化趋势图、渗漏量分布热力图等,使得管理人员能够直观了解堤防状态,提升了管理效率。

3 结束语

通过对精细化管理在堤防安全性能提升中的深入剖析和实践应用策略的探索,本文揭示了精细化管理在堤防管理中的巨大潜力。同马大堤宿松段的成功案例不仅证明了精细化管理的有效性,还为其他堤防管理单位提供了宝贵的经验。在实践环节,相关单位需基于资源整合、信息互动,构建起完整的管理体系和架构,尝试与多方主体单位进行紧密合作,提高管理水平。

参考文献:

- [1] 詹纪文.基于模糊层次分析法的堤防安全稳定性评价[J].水利科技与经济,2024,30(12):149-152.
- [2] 黄利.河道堤防安全生产中的六项机制实施策略探讨[J].水上安全,2024(23):79-81.
- [3] 苏阅文.基于Peck公式隧道下穿堤防引起的沉降分析[J].中国水运,2024(23):150-152.
- [4] 冯德新.河道堤防渗流安全复核及防渗加固技术研究[J].水利技术监督,2024(11):196-198,227.
- [5] 许彬彬,张昊,李者,等.堤防安全的多因素预测模型及一体化管理平台探究[J].水利规划与设计,2024(11):138-142.
- [6] 薛子龙,万景红,石蓝星.长江堤防南京段安全智能化监测应用[J].水利建设与管理,2025,45(01):39-43,79.

地下水监测数据在城市水资源管理中的应用

——以呼和浩特市为例

徐立陶, 杨 浩

(内蒙古自治区地质调查研究院, 内蒙古 呼和浩特 010010)

摘要 地下水是城市可持续发展的重要水资源之一, 其合理开发和管理直接关系到城市供水安全和生态环境保护。呼和浩特市作为内蒙古自治区的省会城市, 面临着地下水资源过度开发、污染及水质变化等多重挑战。在此背景下, 利用先进的地下水监测技术, 结合监测数据对地下水资源进行科学管理, 已成为重要课题。本文通过分析呼和浩特地下水监测数据, 探讨其在城市水资源规划、应急管理及可持续发展中的应用, 提出地下水水资源管理的优化策略, 以期为其他类似城市提供参考。

关键词 地下水监测; 水资源管理; 呼和浩特; 城市水资源; 可持续发展

中图分类号: X83

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.05.033

0 引言

水资源是城市发展的命脉, 在城市化进程加快和气候变化的双重影响下, 全球水资源短缺问题日益严峻。地下水作为一种重要的水源, 其合理开发利用直接影响城市的供水安全、生态环境和社会经济发展。呼和浩特市位于干旱半干旱地区, 水资源短缺问题尤为突出。近年来, 地下水资源的过度开发导致水位下降、地面沉降及水质恶化等问题凸显, 亟需科学管理。通过利用地下水监测数据, 可以实时掌握地下水资源的动态变化, 为制定合理的水资源管理政策提供科学依据。本文系统分析呼和浩特地下水监测数据的应用现状与潜力, 旨在为城市水资源管理提供理论支持和实践指导。

1 呼和浩特地下水资源现状

1.1 地下水资源的基本概况

呼和浩特市位于内蒙古自治区中部, 是典型的干旱半干旱地区, 水资源的保障对该地区经济发展和生态环境保护至关重要。由于年均降水量仅约 400 mm, 远低于全国平均水平, 地表水资源较为有限, 因此地下水成为呼和浩特市最为重要的水资源来源。根据近十年的监测数据, 呼和浩特市地下水年平均储量约为 10 亿 m^3 , 主要分布在平原地区, 包括土默特左旗、新城区及赛罕区等区域。这些区域地势较为平坦, 土壤透水性较强, 有利于地下水的储存与分布^[1]。地下水的主要补给来源是大气降水和黄河输水, 其中降水补

给受气候变化显著影响, 降水量的年际波动直接导致地下水补给的不稳定性。而黄河输水作为人工补给的重要来源, 尽管有效缓解了部分地区的地下水供需矛盾, 但受制于输水规模和成本, 仍然难以完全满足城市及农业的用水需求。此外, 随着城市化进程加快, 人类活动对地下水的开发强度持续增加, 包括工业用水、农业灌溉及生活用水的不断攀升, 使得地下水资源承受着较大的压力。地下水储量的时空分布与开发利用不均衡, 已经成为影响呼和浩特市水资源可持续利用的一个关键问题。

1.2 地下水水质状况

根据呼和浩特市 2020 年至 2023 年的地下水监测结果, 部分区域的水质指标超标, 尤其是在城市化进程较快和工业集中区域, 水质污染问题尤为突出。监测数据(见表 1)显示, 主要污染物包括硝酸盐、总溶解固体(TDS)以及重金属离子。例如, 在赛罕区和玉泉区的部分监测点, 地下水中的硝酸盐浓度超过了国家饮用水标准, 最高值达到了 50 mg/L, 远高于标准限值(10 mg/L), 这主要与农业面源污染和工业废水排放有关。硝酸盐的积累不仅会影响水质, 还可能对人体健康造成威胁, 特别是在饮用水源中。与此同时, 部分区域地下水的总溶解固体(TDS)含量也呈现超标趋势, 部分地区 TDS 值达到 1 200 mg/L 以上, 而标准值通常不应超过 1 000 mg/L。高 TDS 值意味着水中溶解的盐分较高, 可能导致水质硬度过大, 影响居民的饮用水品质及水质的处理效果。此外, 监测还发现, 部分区域的地下水

含有重金属离子，如铅、镉和铬等，尤其是在工业区周边，重金属污染较为严重。例如，某些监测点的铅含量接近0.1 mg/L，超过了饮用水的安全标准(0.05 mg/L)。这些重金属离子不仅会对生态环境造成长期损害，还可能对人类健康造成慢性中毒影响。

表1 呼和浩特市地下水主要水质指标监测数据

监测点	pH值	TDS (mg/L)	硝酸盐 (mg/L)	重金属离子 (mg/L)
新城区 监测点1	7.4	450	12	0.02
玉泉区 监测点2	7.2	520	18	0.04
赛罕区 监测点3	7.3	490	15	0.03
土默特左 旗监测点4	7.5	380	8	0.01

2 地下水监测技术与方法

2.1 常用地下水监测技术

呼和浩特市在地下水水资源管理中采用的多种先进监测技术为其水资源的可持续管理提供了坚实的基础，展现了技术创新与科学决策的有机结合。自动化监测系统利用传感器实时采集地下水的水位、水温、水质等多维度数据，其高频率和高精度的特点使得系统能够迅速反应地下水状态的变化，及时发现异常并发出预警，这对于防范地下水资源枯竭和水质恶化具有重要作用^[2]。同时，遥感技术通过卫星影像和无人机等设备，获取地下水的空间分布和动态变化信息，尤其在大范围和偏远地区，遥感技术能够弥补传统地面观测手段的不足，为资源管理提供了实时、全面的支持。此外，地下水模型通过数值模拟对地下水的流动和水质变化进行预测，为不同开采强度下的地下水资源变化提供了科学依据，帮助决策者评估水资源管理措施的长远影响。这些技术在相互配合中形成了动态监测与科学分析的闭环，为地下水资源的优化管理提供了多维度的数据支撑。然而，随着技术的不断进步和水资源管理需求的提升，呼和浩特市仍需进一步优化这些监测技术的组合，提升监测网络的覆盖范围和精度，确保各项措施能够更有效地应对日益严峻的地下水管理挑战，实现水资源的可持续利用。

2.2 技术应用案例

呼和浩特市近年逐步引入自动化监测系统，实现了对关键区域地下水水位的实时监测。例如，在赛罕区布设了5个自动监测站点，用于连续记录地下水动

态变化，为制定水资源管理政策提供了准确的数据支持(见表2)。

表2 常用地下水监测技术对比表

技术	优点	缺点
自动化监测 系统	实时监测，精确度高，数据持续性好	设备成本高，维护复杂
遥感技术	数据覆盖范围广，适用于大区域评估	分辨率有限，数据需进一步校正
地下水模型	可预测地下水变化，适用于长期规划	模型精度依赖输入数据，适应性有限

3 地下水监测数据在城市水资源管理中的应用

3.1 数据在水资源规划中的应用

通过对地下水监测数据的系统分析，呼和浩特市制定了科学的地下水分区管理政策，将城区划分为“保护区、控制区和开发区”，并对不同区域实施差异化管理。这种分区管理模式充分考虑了各区域地下水资源的分布特点、水质状况以及开发利用强度。在地下水“保护区”，由于水质优良且具有重要的生态价值，严格限制各类开发活动，优先保障生态用水和居民饮用水安全，并禁止工业和高耗水农业的地下水开采，确保资源的可持续利用^[3]。在“控制区”，主要针对水资源已受到一定压力的区域，政府采取了调控措施，包括限制工业用水总量、鼓励企业采用节水工艺，以及严格监控地下水位和水质变化，防止资源进一步恶化。而在“开发区”，地下水资源的开发利用受到适当放宽，但要求企业和居民在用水过程中严格遵守规定，避免浪费和污染。例如，在水质较差的区域，如受污染较为严重的工业区，政府明确要求限制地下水的工业用途，推行再生水和地表水替代用水的政策，同时加大污水处理设施的建设与改造力度，提高排放标准以减少对地下水的二次污染。

3.2 应对水资源危机的作用

2021年，呼和浩特市遭遇了多年不遇的降水不足情况，全市降水量远低于年均水平，导致地下水的自然补给严重不足，部分区域甚至出现了地下水位急剧下降的危机。赛罕区和玉泉区等供水压力较大的区域，地下水水资源难以满足居民和工业用水需求，部分农村地区甚至出现了供水中断的情况。在这一背景下，政府充分利用地下水监测数据，迅速分析各区域的地下水储量、水位变化及用水需求，制定了科学的应急供水方案。一方面，政府根据监测数据优先保障居民生活用水需求，通过对地下水水位较稳定的区域进行适度开采，为紧缺区域调拨供水；另一方面，加大地表水和再生水的调配力

度, 通过引黄河水补充供水, 同时加强供水管网的优化调整, 最大限度减少水资源的浪费。此外, 政府还临时设立了多个供水应急站点, 确保偏远地区居民能够获得基本的用水保障。为避免进一步加剧地下水资源的危机, 政府还通过限制工业用水和推广节水灌溉技术, 削减了非生活必需的用水需求。

3.3 持续监测与可持续发展

监测数据为呼和浩特市实现水资源的可持续发展提供了重要的基础支持。通过对地下水水位变化、补给量和消耗量的长期监测与分析, 政府能够准确评估地下水资源的动态变化, 进而为水资源的合理调配提供科学依据。例如, 监测数据显示, 农业灌溉是地下水消耗的重要环节, 特别是在旱季, 过度的地下水抽取已导致部分区域水位显著下降。针对这一情况, 政府依据监测数据制定了一系列减缓地下水压力的措施, 重点在于优化农业灌溉用水结构。具体而言, 政府限制了传统的大水漫灌方式, 并大力推广节水灌溉技术, 如滴灌、微喷灌溉等, 这些技术能够精准控制水流量, 减少水资源浪费, 提高灌溉效率, 减少地下水的过度消耗^[4]。

4 呼和浩特地下水监测与水资源管理的挑战与前景

4.1 面临的挑战

尽管呼和浩特市已在地下水监测方面取得一定进展, 但仍面临一些挑战, 影响了监测网络的全面性和决策的效率。监测网络覆盖不足是一个突出问题, 尤其在部分农村和偏远地区, 由于缺乏足够的监测站点, 导致地下水动态无法得到全面覆盖。这些区域的地下水状况常常无法实时监测, 使得相关部门难以及时发现地下水水位异常变化或水质污染情况, 从而无法做出有效的管理和应对措施。另外, 技术应用不足也是制约地下水监测工作的关键因素。当前, 地下水监测技术仍以自动化监测和遥感技术为主, 虽然能够提供大量数据, 但这些技术设备的建设和维护成本较高, 尤其对于基层单位来说, 难以承担大规模的技术投入, 导致监测覆盖范围受限, 技术应用效果不佳。

4.2 未来发展方向

为解决当前地下水监测面临的问题, 呼和浩特市应采取一系列措施来优化监测网络布局, 提升监测和管理效率^[5]。优化监测网络布局是提升地下水监测效能的关键一步。政府应增加监测站点的数量, 特别是在农村和偏远地区, 确保每个区域都能实时获取地下水水位、水质等关键信息。通过科学的站点布局和合理的覆盖范围, 能够提高监测的全面性和准确性, 为

地下水资源的管理提供更完整的数据支持。其次, 智能化与自动化技术的引入是提升数据分析效率的重要手段。通过引入先进的人工智能算法和自动化技术, 能够对大量监测数据进行快速处理与分析, 及时识别地下水动态变化和潜在问题, 提升监测系统的智能化水平。例如, 人工智能可以通过大数据分析预测地下水水位变化趋势, 为决策提供科学依据。同时, 自动化系统的应用能够减少人工干预, 确保数据的实时性和准确性。

5 结语

呼和浩特市地下水资源的开发与管理不仅关乎当前的水供给, 还直接影响到城市的未来发展和生态平衡。随着城市化进程的推进, 地下水作为重要的水资源之一, 其合理开发与有效管理对于保障居民用水、支撑工业发展以及维持生态环境的可持续性具有至关重要的作用。通过对地下水监测数据的广泛应用, 政府能够实时掌握水资源的动态变化, 并依据精准数据科学地规划水资源的利用, 制定更加合理的政策和措施。与此同时, 数据分析结果为相关部门提供了决策支持, 帮助有效预警地下水资源的过度开采或污染风险, 确保资源的可持续性。然而, 呼和浩特市在地下水资源管理方面仍面临一些挑战。现有监测网络的覆盖和精度仍有提升空间, 尤其是在偏远地区或地下水复杂的区域, 现有技术的不足可能会影响数据的实时性与准确性。为此, 未来的水资源管理需进一步优化监测技术, 整合智能化技术, 如物联网、大数据分析和人工智能等, 这些技术能够实时、精确地监控地下水状况, 并提供预判与调控建议, 从而提高管理效率和决策的科学性。此外, 政策层面的支持也至关重要, 政府应加大资金投入, 推动跨部门协作, 加强水资源保护法规的执行力度, 确保地下水资源的可持续发展。

参考文献:

- [1] 徐腾, 王以鹏, 叶逾, 等. 地下水超采管控体系及水量—水位双控体系研究进展 [J]. 水资源保护, 2024, 40(04): 27-35, 81.
- [2] 张锦宁. 典型草原曲流河潜流交换及氮素迁移转化特征 [D]. 内蒙古: 内蒙古大学, 2023.
- [3] 陈红光. 乌拉盖河流域水文过程变化及其对生态系统质量的影响研究 [D]. 内蒙古: 内蒙古师范大学, 2023.
- [4] 卢旺. 呼和浩特市区地面沉降空间分布及趋势预测 [D]. 内蒙古: 内蒙古师范大学, 2022.
- [5] 王建平. 水文地质勘察技术及应用 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2021.

建筑工程管理及施工质量控制的有效策略分析与研究

孔庆勇¹, 李秋瑾², 李玉真³

(1. 山东盛泰腾达建筑工程股份有限公司, 山东 济宁 272000;
2. 山东盛泰维拓设计股份有限公司, 山东 济宁 272000;
3. 山东东方星智能化工程有限公司, 山东 济宁 272000)

摘要 在建筑工程管理中, 科学的管理理论强调动态管控工程的全生命周期, 要求施工人员有序推进工程目标; 施工质量控制的核心则在于精细化把控施工各环节的质量, 进而提升建筑工程的可靠性。然而, 随着现代社会的不断发展, 建筑行业面临着诸多挑战, 本文基于此深入探讨了优化工程管理及施工质量控制的方法, 旨在为施工人员解决复杂工程问题提供有效路径, 同时为行业发展注入创新动力。

关键词 建筑工程管理; 施工质量控制; 信息化管理

中图分类号: TU71

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.05.034

0 引言

在建筑领域, 建筑工程管理涉及多个环节, 施工质量控制则贯穿于项目的整个生命周期。在此基础上, 高效的工程管理体系与严格的质量控制机制, 能够有效保障施工质量, 提高项目的经济效益。因此, 施工人员要探索有效的工程管理及施工质量控制措施, 以系统思维为基础, 协调各方利益, 优化资源配置, 增强全局统筹能力, 推动建筑行业向规范化方向发展。

1 建筑工程管理及施工质量控制的重要性

随着社会的不断发展, 工程项目的建筑需求日益复杂。因此科学的工程管理、有效的施工质量控制显得尤为突出。一方面, 精细的管理体系能够协调统一施工各个环节, 从前期规划到后期交付, 让每一阶段的工作都能在有序的框架内推进。施工质量控制则是全程管控工程质量, 确保项目符合设计要求, 最大限度地避免质量隐患, 增加建筑的使用寿命。另一方面, 施工人员开展管理工作, 还能为工程各方提供有效的沟通平台, 使不同部门之间的信息流动更加顺畅。管理层细化工作任务, 可有效降低潜在的风险, 并为项目的顺利完成奠定坚实基础。此外, 工程管理有助于施工人员实时监控资金使用情况, 控制成本预算, 避免资源浪费, 提高工程的经济效益; 施工质量控制的有效执行, 还能降低工程返工的概率, 节省时间与成本, 确保项目按时交付, 为项目后期的维护提供保障。

在此基础上, 工程管理与质量控制的有机结合, 不仅能提升项目本身的整体水平, 还能够增强行业的市场竞争力^[1]。

2 建筑工程管理及施工质量控制的有效策略

2.1 健全管理机制, 规范施工流程

完善的管理机制是指层级分明, 且权责明确的制度体系。借助这一体系, 施工人员能够从宏观层面落实具体管理目标, 以制度约束提高自身的执行力。在施工过程中, 施工人员以施工方案为指导, 严格遵循作业标准, 通过团队协作强化工序衔接, 减少资源浪费现象, 以免延误工期。同时, 健全的制度建设需融入动态调整机制, 以适应不同工程规模的需求。施工人员应细化流程控制, 规范施工各环节的技术标准, 合理调度资源, 进而科学安排进度, 提高施工质量。

例如, 管理层在制定施工方案时, 基于工程的整体规划, 细化每一阶段的具体目标, 同时明确各项施工活动的执行标准。每个作业组依据施工图纸, 设置具体的作业计划, 精准落实从开工到竣工每个环节。施工现场的各项任务由专门的团队进行管理, 每个施工班组根据分工, 负责自己领域内的施工质量。在土方开挖阶段, 技术负责人详细勘查地质条件, 保证作业人员准确掌握土质情况, 调整施工方法。根据施工图纸要求, 挖土深度与边坡坡度需严格遵循设计标准。在基坑施工阶段, 施工人员根据已有的管理体系严格

控制每一项操作。所有的安全检查都由现场管理人员和专门的安全员共同完成，提升支护结构的稳定性。

2.2 强化技术培训，增强人员素质

建筑工程技术培训包括施工工艺培训、安全管理和质量检测培训等内容。其中，施工工艺培训注重深入讲解规范化操作，提高施工人员的施工能力；安全管理培训以安全生产责任制为核心，强调高风险作业的规避方法和应急处置流程；质量检测培训涉及施工过程中的标准化操作（质量控制要点），确保各环节符合验收要求。施工人员需将培训内容与工程实际相结合，在制度保障下强化执行力度，以施工任务为导向，全面提高自身素质，规范作业流程，落实技术标准^[2]。

为强化技术培训并增强施工人员的专业素质，施工管理层制定针对性的培训方案，并贯穿整个施工周期。施工工艺培训阶段，根据工程特点，施工管理层将楼板钢筋绑扎作为重点培训内容，由技术负责人组织施工人员进行集中讲解和实操演练。培训场地设置模拟施工区域，利用真实材料，详细讲解钢筋绑扎的步骤、钢筋间距的控制方法以及接头处理的标准，确保每名施工人员熟悉规范操作。培训过程中，管理层采用分组方式开展实操演练，每组人员按照规范流程完成钢筋绑扎任务，由技术人员全程监督，逐项指出操作中的偏差并进行纠正。安全管理培训以施工现场高风险作业为重点，管理层围绕高空作业和吊装作业组织安全知识讲解，明确高空作业中的安全带佩戴规范以及防护栏设置要求，同时在现场搭建临时脚手架，演示脚手架搭设与拆除的全过程，重点突出连接点的固定方法。对于吊装作业，管理层安排塔吊操作员操作演示吊装设备，说明吊装过程中如何判断物体重心、选择吊索以及规划吊装路径，强调细节处理的重要性。质量检测培训以混凝土浇筑质量控制为核心内容，管理层选定施工过程中某一批次的混凝土浇筑作业作为培训案例，让现场技术负责人向施工人员讲解混凝土配比设计的原则，明确坍落度检测的标准流程与测量工具的正确使用方法^[3]。

2.3 优化检测手段，严格监控质量

在建筑工程管理及施工质量控制中，科学的质量检测手段能够有效识别潜在问题，避免发生质量隐患。常见的检测手段包括物理性能测试、化学成分分析、结构稳定性监测及非破坏性检测等。物理性能测试通常依靠实验室检测手段，评估建筑材料的核心指标，

使其符合设计标准；化学成分分析则针对易受环境因素影响的材料进行成分检测，保证其化学稳定性；结构稳定性监测则依据仪器设备（应变计和位移传感器），实时监控建筑结构的变形情况，预防安全隐患；非破坏性检测方法（超声波检测、X射线检测），能够在不损害建筑物本体的前提下，准确评估其结构健康状态，适用于隐蔽工程的质量检查。

例如，施工人员在隧道的地基施工阶段，现场取样原状土开展实验室测试，检测其密实度、含水率及抗剪强度，依据测试数据校核地基是否满足设计承载要求；在施工区域布设多点沉降观测设备，实时记录地基沉降数据，并比对设计标准，发现异常时立即启动预警机制。为确保地基的稳定性，施工人员采用平板载荷试验进一步核验地基承载力的分布情况，并将检测结果录入工程质量管理系统，为后续施工提供基础数据支持。隧道开挖阶段，管理层使用非破坏性检测手段，布设应变计或位移传感器，沿隧道断面分布安装检测点，记录围岩变形速率和支护结构的受力变化情况；在开挖面每推进一段距离后，利用超声波探伤仪检测围岩的裂缝分布情况，并借助雷达扫描技术精确描绘岩体的裂隙网络，判断潜在的不稳定区域，以调整开挖工艺，优化喷锚支护参数。隧道二次衬砌施工阶段，施工人员引入X射线检测技术，全面检测混凝土内部是否存在气泡、裂纹或蜂窝状缺陷。为确保检测覆盖率，施工人员制定详细的扫描路线，将衬砌断面划分为多个小区域，对其进行精细化扫描并保存检测图像。在完成X射线扫描后，施工人员比对图像处理结果与设计标准，确定混凝土结构的健康状态^[4]。

2.4 完善监督体系，落实责任追究

完善的监督体系是建筑工程质量控制及管理的重要保障，旨在以科学的动态调控，让施工人员规范化运作施工全过程。具体而言，监督体系可划分为事前监督、过程监督和事后监督三个阶段。其中，事前监督以审查施工方案为核心，重点核验设计图纸、技术参数以及资源准备；过程监督以实时动态监测为手段，强调施工现场的安全管理，确保各环节按照标准化要求顺利实施；事后监督则依赖质量检测，结合工程验收和质量回溯，综合评定施工成效，为未来项目提供优化依据。以上各阶段在统一协调机制下紧密衔接，能够形成高效闭环的质量监督体系。

例如，项目开工前，管理层组织专门的审查小组详细审查施工方案。审查小组依据设计图纸进行逐项核

对，项目部同时检查资源准备情况，保证所有施工设备和材料符合标准，并提前对施工队伍安全交底，强调施工过程中各项安全防护措施。施工前期，管理层审查施工人员的相关资格，保证施工人员的专业能力与项目要求相匹配。进入施工阶段后，管理层动态监控每个施工环节：在地基施工阶段，监控根据施工图纸与技术规范，核对每一层土方的挖掘深度及压实度，每完成一层土方施工进行实测，并记录土方的密实度数据。此时，施工人员根据反馈，调整施工方法，确保施工质量始终符合标准。在钢筋绑扎过程中，管理层严格控制钢筋规格与混凝土配比。钢筋绑扎完成后，施工人员按计划逐层检查钢筋的间距、保护层厚度和搭接长度，确保符合设计要求。混凝土浇筑时，管理层应制定详细的作业指导书，确保每个环节按标准操作，依据配比设计对浇筑的混凝土现场抽样检测，使其强度达到设计要求，另外实时监控混凝土的浇筑质量，保证浇筑过程无遗漏，每一层混凝土都经过振捣密实。除此之外，项目施工的事后监督环节同样严格。施工完成后，管理层组织质量检查小组逐项验收每一项工程，依据标准化质量检查表，详细检查每个环节。每一项施工成效都经过严格的质量检测，包括材料的取样检测、结构的强度测试以及表面质量的检查^[5]。

2.5 推行信息化管理，提高管理效率

信息化管理是指利用先进的信息技术手段，建立统一的技术架构，有效整合项目管理、资源调度、施工进度、质量控制、安全管理等信息，形成全面的数据管理系统。在信息化管理系统的支持下，各类实时数据得以存储，从而为施工决策提供依据。施工人员利用建筑信息模型（BIM）技术，可以实现施工前期的虚拟建模，优化设计方案，并将施工过程与设计模型紧密结合，提高施工效率。此外，信息化管理还包括移动互联网技术的运用，以智能手机或平板设备远程监控施工现场的相关信息，加快管理的响应速度^[6]。

管理层构建基于建筑信息模型（BIM）技术的管理系统，要求施工人员在项目初期建立三维数字模型，将设计图纸的每一个细节输入模型中。数字模型完成后，施工人员在虚拟环境中开展碰撞检测，识别设计中的管线交叉、结构冲突等潜在问题，根据检测结果优化设计方案，确保施工环节的可行性。开工阶段，管理层结合BIM模型与施工进度计划，通过时间维度模拟施工过程，将模型细化到每一工序节点，明确各环节的施工顺序及资源需求。在管理平台中，施工人

员输入设备和材料的具体信息，利用信息化系统生成资源调度方案，动态调整资源供应。施工人员还将施工任务分解为具体的日计划，并将每日施工进度上传至系统，与模型进度进行比对，实时掌握任务完成情况。施工过程中，现场施工管理人员使用平板设备扫描模型二维码，调取构件的详细信息，避免现场错误操作；利用无人机航拍技术获取施工场地的实时影像，对比影像数据与BIM模型，检查施工现场的实际进展是否与计划一致。对于发现的偏差，管理平台会自动生成提示，以便施工人员快速调整方案，确保现场操作与优化方案保持一致。质量控制环节，施工人员在系统中设定质量检测标准，同时在施工过程中实时记录各项检测数据。检测数据依托移动终端上传至管理平台，与BIM模型中的设计标准进行对比。对于偏差数据，系统自动标记并生成分析报告，提醒施工人员及时排查问题。

3 结束语

建筑工程管理及施工质量控制是提高工程品质的核心环节。施工人员借助健全的管理机制，能够规范施工流程；参加技术培训，并优化检测手段，进一步提高了自身素质，提升了工程质量的可控性；完善的监督体系为施工全过程提供了强有力的保障，形成了科学高效的闭环管理；推行信息化管理为项目工程注入了创新性活力。这些策略从制度、技术、监督到信息化手段，形成了多维度的质量管理框架。未来，施工人员应持续结合先进技术与行业实践，不断优化管理模式，同步提升建筑工程质量与管理水平，助力建筑行业的可持续发展。

参考文献：

- [1] 林江玲.建筑工程管理及施工质量控制的重要性及优化策略[J].城市建设理论研究：电子版,2024(32):22-24.
- [2] 蒋成思.提高建筑工程管理及施工质量控制的思考[J].科技与创新,2024(21):109-111.
- [3] 杨刚.提高建筑工程管理及施工质量控制的有效策略分析[J].中国建筑装饰装修,2024(12):152-154.
- [4] 李文君.建筑工程管理及施工质量控制措施探讨[J].广东建材,2024,40(06):141-144.
- [5] 罗光彩.建筑工程管理及施工质量控制研究[J].低碳世界,2024,14(05):91-93.
- [6] 陈伟.建筑工程管理及施工质量控制的有效策略[J].砖瓦世界,2024(24):160-162.

高效节能供热系统施工技术研究

娄来岩¹, 王金波², 王志远³

- (1. 北京华源泰盟节能设备有限公司, 北京 100000;
2. 山东众博工程设备有限公司, 山东 济南 250000;
3. 山东金洲矿业集团有限公司, 山东 威海 264500)

摘要 本文概述了高效节能供热系统的基本组成、工作原理及其节能、环保的特点, 研究了施工前的准备与规划、关键施工技术与方法, 并提出了施工过程中的优化策略, 包括进度控制、质量控制、新材料的应用以及智能化施工技术的引入, 还关注了施工中的环境保护与安全管理, 提出了相应的措施和建议; 通过具体施工案例分析, 评估了高效节能供热系统的施工效果, 并对其未来发展趋势进行了展望, 旨在为高效节能供热系统的施工提供理论依据和技术支持, 从而推动供热行业的可持续发展。

关键词 高效节能; 供热系统; 节能减排; 智能化施工

中图分类号: TU995

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.05.035

0 引言

当前, 全球环境污染问题越发严峻, 同时, 能源消耗增大, 高效节能供热系统的研发与应用成为世界各国的重要任务。传统供热系统由于技术落后、能耗高、排放大等问题, 已难以满足现代社会对环保、节能的迫切需求。因此, 探索高效节能供热系统的施工技术, 对于减少能源消耗和降低环境污染、提高供热效率具有重要意义。本研究旨在通过深入分析高效节能供热系统的施工技术, 为供热行业的转型升级提供有力支持, 推动供热系统向更加高效、环保的方向发展。

1 高效节能供热系统概述

1.1 系统组成与工作原理

高效节能供热系统主要由热源、热网、热用户三部分组成。热源部分通常采用清洁能源或高效能源转换设备, 如太阳能集热器、地源热泵、空气源热泵等, 降低能源消耗与环境污染。热网部分负责将热源产生的热能输送到热用户, 包括管道、泵站、阀门等关键设备, 其设计需考虑热能损失最小化。热用户部分则是热能的最终使用场所, 如住宅、商业建筑、工业厂房等, 通过散热器、地暖等末端设备将热能转化为室内温度。

高效节能供热系统的工作原理基于热力学原理, 通过热源设备将低品位热能转换为高品位热能, 再通过热网输送到热用户。在热用户端, 热能通过散热器或地暖等设备释放, 提高室内温度。同时, 系统还具

备智能调控功能, 可根据室外温度、室内温度、用户需求等因素自动调节供热强度, 实现按需供热, 减少能源浪费^[1]。

1.2 节能与环保特性

高效节能供热系统在节能与环保方面表现卓越。通过采用清洁能源如太阳能、风能及高效能源转换设备如地源热泵、空气源热泵, 系统显著降低对化石燃料的依赖, 减少二氧化碳等有毒有害气体排放, 从而缓解环境污染问题。此外, 系统设计注重热能利用效率和损失最小化。具体措施包括优化热网布局以减少传输过程中的热损耗, 选用高导热系数且低热阻的保温材料包裹管道, 确保热能在输送过程中保持高效性。智能调控技术的应用则实现了按需供热, 根据实时监测数据自动调节供热量, 避免不必要的能量浪费。同时, 通过引入变频调速技术于泵站及末端设备中, 进一步提升系统的整体能效比, 达到节能减排的目的。这些综合措施不仅提升了供热系统的运行效率, 也为可持续发展提供了强有力的技术支撑。

1.3 技术发展趋势

随着科技的进步和环保意识的提高, 高效节能供热系统的技术发展趋势日益明显。一方面, 热源设备将更加智能化、高效化, 如太阳能集热器与储能技术的结合、地源热泵与智能控制系统的集成, 以及空气源热泵的优化应用, 实现多能互补和按需供热。另一方面, 热网技术也将不断创新, 采用新型耐腐蚀、低热阻管道材料, 优化管网布局以减少热损失, 并通过

变频调速技术提升泵站效率，进一步降低能耗。此外，物联网、大数据等先进技术的应用，为供热系统的实时监控与智能调控提供支持，实现故障预警、能耗分析及远程维护等功能，提升系统运行稳定性。这些综合措施不仅提高了供热系统的整体性能，也为可持续发展提供了强有力的技术支撑。

2 高效节能供热系统施工技术研究

2.1 施工前准备

在施工高效节能供热系统前，首要任务是制定详尽的施工方案。该方案需明确施工范围、工艺流程、所需材料、设备选型、人员配置及时间节点等关键信息，并详细列出各阶段的质量控制措施与验收标准。同时，还需充分考虑施工过程中的安全、环保及节能要求，确保施工过程符合法律法规，根据施工方案，提前采购所需材料和设备。材料方面，选用符合标准的产品，如高效保温材料、耐腐蚀管道及其他具有高导热系数且低热阻特性的保温材料。设备方面，需选择性能稳定、能效高的热源设备、泵站及智能控制系统等，以提升系统的整体运行效率。所有采购的材料和设备必须经过严格检验，包括材料的物理性能测试、设备的功能性测试，确保其质量满足施工要求。

施工前，对施工队伍进行专业培训，使其熟悉施工方案、掌握施工工艺及安全操作规程。培训内容不仅涵盖高效节能供热系统的根本原理、施工工艺流程、关键设备操作及维护保养，还应包括常见故障排查与应急处理措施。通过理论学习与实操演练相结合的方式，提高施工队伍的专业素质和操作技能，确保施工质量和安全。此外，针对特种作业人员（如焊工、电工等），需确保其具备相应的资质证书，并定期进行复审与再培训，以保证其技术水平始终处于最佳状态。同时，建立完善的施工管理档案，记录每一步施工细节与质量检测结果。

2.2 施工过程管理

在施工过程中，严格控制施工质量，确保各项施工活动符合设计要求。对关键工序进行旁站监督，如管道焊接、设备安装及调试等，并详细记录每一步操作参数，确保其符合技术规范。定期对施工成果进行检验和评估，利用无损检测技术检查焊缝质量，采用精密仪器校准设备安装精度，及时发现问题并采取纠正措施，确保施工质量达到设计标准^[2]。

施工现场应加强安全管理，落实安全生产责任制。设置明显的安全警示标志，对施工人员进行定期安全培训，提高其安全意识与应急处理能力。每日开展安

全巡查，及时发现并排除安全隐患，确保施工环境安全可靠。针对电气操作，高空作业等高风险环节，制定专项安全预案并严格执行。

在施工过程中，采取环保与节能措施，减少施工活动对环境的影响。优先选用低噪音设备，安装隔音屏障，降低施工噪声污染。使用湿法作业减少施工扬尘，配备洒水车定时喷洒路面。妥善处理施工废弃物，分类回收可再利用材料，减少垃圾填埋量。优化施工工艺，推广高效能机械设备的使用。通过合理安排施工顺序，避免重复作业，进一步节约资源。

2.3 施工后验收与调试

施工完成后，对高效节能供热系统进行全面验收。详细检查各项设备的安装位置、连接状态及运行参数，确保其符合设计规范；通过压力测试和泄漏检测，确认管道系统的严密性和无渗漏情况；利用模拟工况检验控制系统的稳定性与可靠性，验证其在不同工况下的响应速度和精度。同时，进行系统性能测试，涵盖热效率、流量分布及能耗指标，确保其满足设计要求并具备优化空间^[3]。

在系统验收合格后，进入调试阶段。首先对热源设备进行功能性调试，包括燃烧器点火试验、燃料供给调节及排烟温度监测，确保其稳定运行。接着对泵站进行调试，检查泵组的启动特性、扬程曲线及振动情况，优化泵组运行参数以提高输送效率。对控制系统逐一进行功能性调试，确保各组件协调运行，并记录详细的运行数据。根据实际工况需求，优化调整系统参数，包括调节阀门开度、校准传感器精度、优化PID控制算法等，以提高供热效率和节能效果。此外，需进行联调测试，模拟不同负荷条件，验证系统的动态响应能力和稳定性，最终实现系统的最佳运行状态。所有调试过程需详细记录并形成报告，为后续运维提供详实的数据支持。

3 高效节能供热系统施工中的优化策略

3.1 施工流程优化

在高效节能供热系统施工时，应制定精细化的施工计划。该计划需充分考虑施工过程中的各个环节，包括材料采购、设备运输、现场布置、人员调配等，并结合工程进度和资源需求进行动态调整。通过合理安排施工顺序和时间节点，确保施工活动有序进行，减少不必要的等待和浪费。针对材料采购，需明确各阶段所需材料的规格与数量，并提前与供应商沟通，确保及时供货；对于设备运输，则需根据设备尺寸和重量选择合适的运输方式，避免损坏或延误。

采用模块化施工策略，将供热系统划分为多个相对独立的功能模块，如热源模块、热网模块、控制系统模块等。每个模块在施工前进行预制和组装，利用工厂化生产环境提高精度与质量，减少现场施工的工作量，提升施工效率并保障工程质量。模块化设计不仅能有效降低现场施工复杂度，还能缩短安装周期，提高整体施工效率。同时，模块化施工有利于系统的后期维护和升级，便于故障排查与部件更换，增强系统整体可靠性。

此外，施工过程中应引入信息化管理工具，如 BIM（建筑信息模型）和 ERP（企业资源计划）系统，实时监控各模块进度及质量，及时发现并解决问题，确保项目顺利推进。通过 BIM 技术对供热系统进行三维建模和模拟分析，可以精确预测施工过程中的问题和风险，提前制定应对措施，优化施工路径，降低施工难度和成本。ERP 系统则能够实现资源的有效调度和管理，确保各类资源的合理配置与高效利用^[4]。

为确保施工安全，需进行全面的安全风险评估，识别潜在危险源并制定相应的应急预案。加强施工人员的安全教育培训，涵盖施工安全法规、操作规程及应急处理措施等内容，提升其安全意识与操作技能。定期组织安全演练，确保施工人员具备应对突发情况的能力，从而保障施工过程的安全性与稳定性。所有施工活动应严格按照计划执行，并做好详细记录，为后续运维提供可靠的数据支持。

3.2 技术创新应用

引入智能施工技术，如 BIM、GIS（地理信息系统）等，对供热系统进行三维建模和模拟分析。通过智能施工技术，可以精确预测施工过程中的问题和风险，提前准备合理方案，降低施工难度和成本。利用 BIM 技术的协同功能，实现设计、施工与运维各阶段数据共享，提升项目管理效率。在操作中，积极采用最新材料和先进技术，如高效保温材料、耐腐蚀管道、智能控制系统等，确保系统性能最优。这些新型材料和技术不仅提高了供热系统的能效与可靠性，同时通过减少保养需求来延长设备使用寿命。同时，智能控制系统能够实时监控与调节系统运行参数，进一步优化能耗管理，实现施工及运营过程中的节能减排目标^[5]。

3.3 安全管理优化

在施工前，进行全面的安全风险评估。根据评估结果，制定详尽的安全防范措施和应急预案，确保施工安全。加强施工人员的安全教育培训，包括施工安全法规、安全操作规程、应急处理措施等内容，提升其安全意识与操作技能。培训应结合实际案例分析，

强化施工人员对风险的认知与应对能力。通过定期考核与演练，确保施工人员能够熟练掌握并运用安全知识与技能，有效预防施工事故的发生，保障项目顺利推进。

3.4 环保与节能管理

在施工过程中，实施绿色施工管理策略，如减少施工噪声、控制施工扬尘、妥善处理施工废弃物等。通过绿色施工管理，降低施工活动对环境的影响，实现施工过程中的节能减排。具体措施包括使用低噪声设备、安装扬尘抑制系统和分类回收施工废弃物。同时，积极采用节能技术，如优化管道布局以减少热损失、提高管道保温性能以提升能效、选用高效节能设备以降低能耗。此外，通过智能系统对系统同步检测，同时对参数进行对比分析调节，进一步优化能耗管理。这些综合措施不仅提升了供热系统的整体能效，确保项目符合绿色建筑标准，推动可持续发展目标的实现^[6]。

4 结束语

随着社会对环境保护一级能源效率要求的不断提高，高效节能供热系统的施工技术和优化策略显得尤为重要。通过对施工流程、技术创新、安全管理和环保节能等方面的研究与实践，我们不仅能够提升供热系统的能效和稳定性，还能有效减少施工过程中的能耗和排放，实现经济效益与环境效益的双赢。未来，随着技术的不断进步和政策的持续引导，高效节能供热系统的施工技术和优化策略将进一步完善，为构建绿色、低碳、可持续的能源体系贡献更大力量。我们期待在更多领域看到高效节能供热系统的广泛应用，共同推动社会的可持续发展。

参考文献：

- [1] 白雪. 基于多目标耦合评价的铁路站区供热系统运行策略研究 [D]. 太原: 太原理工大学, 2022.
- [2] 方丽华. 浅析造成集中供热系统调节滞后性的因素 [J]. 资源节约与环保, 2023(08):187-190.
- [3] 郑清海. 供热管网工程施工质量的隐患与防治措施 [J]. 绿色环保建材, 2020(11):78-80.
- [4] 吴铁海. 百公里级超大管径长输供热管网预热技术研究 [J]. 中国水运, 2024(24):34-36.
- [5] 陈银丽. 热电联产的供热运行调节方式及热电分产能源效率对比 [J]. 低碳世界, 2020(01):99-100.
- [6] 张凯峰. 供热管网工程施工质量的隐患与防治措施 [J]. 四川建材, 2024(12):67-69.

公路运输基础设施养护策略研究

付吉利

(滨城区公路事业发展中心, 山东 滨州 256600)

摘要 运输基础设施养护是保障公路运输安全的重要措施, 为进一步优化公路运输基础设施养护工作, 开展关于运输基础设施养护与公路运输安全的研究具有重要意义。本文采用理论结合实践的研究方法, 通过查阅文献搜集运输基础设施养护相关资料, 同时借助互联网搜集各地区运输基础设施养护对公路运输安全保障的重要性进行分析, 并提出了优化养护机制、提出预防性养护理念、建立专业运输养护部门、应用养护新技术等措施, 以期为提升公路运输基础设施养护效率提供参考。

关键词 公路运输; 运输基础设施养护; 预防性养护机制; 安全

中图分类号: U418

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.05.036

0 引言

公路运输是我国运输体系的重要组成部分, 尤其是在当前电子商务蓬勃发展之际, 公路运输成为经济发展不可或缺的途径。公路运输对于经济发展的重要性不言而喻, 但是随着公路运输的增加, 安全性问题日渐凸显, 尤其是对于我国而言, 公路运输体系庞大, 覆盖面积大, 部分公路运输体系存在基础设施不够完善的问题, 是造成公路运输安全事故的主要原因。所以, 为保证公路运输安全, 确保公路运输为经济发展提供优良服务, 应做好运输基础设施养护管理工作, 避免因养护不到位而导致运输出现安全问题。

1 运输基础设施养护对公路运输安全的重要意义

运输基础设施养护是公路运输安全保障的重要措施之一, 设施养护工作的有效推进在运输安全管理方面的作用不可替代。公路运输是我国社会发展至关重要的运输方式, 也是生产生活、经济活动中不可缺少的环节。公路运输中公路运输安全问题一直是重点, 每年我国公路交通事故都会给经济发展和人民生活造成一定的损失, 所以从根本上而言, 保证公路运输安全是经济发展、人民生活的必然要求。

运输基础设施养护是保障公路运输安全的重要途径, 可保证公路运输安全与可靠。公共基础设施在长期使用时受到内外力影响比较多, 部分基础设施质量和性能逐渐下降, 如不能及时养护, 容易造成不同损坏以及安全隐患。例如, 路面磨损、老化、网裂等情况都是基础设施老化呈现的表现, 将严重影响公路行车安全; 另外, 车辙、沉陷、坑槽等局部破坏会导致路面承载能力降低, 交通运行安全与质量问题突出。

借助定期养护, 能够及时发现并修复以上问题, 保证公路平整以及稳定, 降低交通事故发生率。

另外, 运输基础设施养护工作开展有利于提升公路运输效率。良好公路状况能够有效缩短车辆行驶时间, 降低运输成本, 提升公路总体运输效率。另外, 通过对基础设施进行养护可有效延长公路使用寿命, 降低重复建设以及维护成本。

2 加强运输基础设施养护的主要措施研究

新时期, 我国经济发展需要运输体系配合。在对运输体系进行优化的过程中, 应重视完善基础设施养护工作, 通过全面且有效的养护措施, 切实保证公路运输安全, 为我国经济发展和生产生活提供运输方面的保障。

2.1 运输基础设施养护机制的优化完善

运输基础设施养护机制的优化与完善是加强运输基础设施养护的主要措施。尤其是在新时期我国社会经济发展对运输基础设施养护提出新的要求, 传统养护机制已经不再适用, 所以必须对运输基础设施养护进行优化, 借助养护机制完善各项工作。研究发现, 传统运输基础设施养护机制在安全、质量问题预防方面有所欠缺。换言之, 养护机制缺乏问题预防能力, 大部分养护工作都是在发现质量或安全问题后才可实施养护, 从而导致养护效果下降, 安全问题无法预防, 损失无法得到有效控制。所以在当前公路运输基础设施养护工作优化之时必须对养护机制进行完善, 建立以预防为主的养护机制, 将运输基础设施质量问题或安全隐患“扼杀于形成事故前”, 控制设施损失风险, 降低安全概率。

2.1.1 预防性养护机制的核心理念

明确运输基础设施全寿命周期内预防性养护机制的核心理念,以预防为支撑,后续的措施都需要围绕预防建立,防止事故发生时控制损失,保障安全的最有效方法。预防性养护机制强调在设施损坏或安全隐患未成型之前实施养护与干预,从而做到消除质量和安全隐患、延长公路运输基础使用寿命、提升基础设施的安全性以及通行能力,可有效减少紧急维修以及重建费用及时间成本。预防性养护机制可在道路、桥梁、隧道、排水设施等各类运输基础设施中应用,提前对问题进行控制,保证预防工作高效开展。

2.1.2 预防性养护机制的关键

制定运输基础设施养护机制非常关键,需要把握预防养护机制的多重要点,可方便预防性养护工作开展。

1. 预防性养护机制要求相关部门首先应用运输基础设施全寿命周期养护理念,确定预防性养护目标,从目标入手开展关于预防性养护机制的研究。例如,将道路、桥梁等基础设施列为预防性养护目标,获取预防性养护的主要需求,可按照设施特点以及需求设定养护目标。例如,以保证全寿命周期内基础设施安全性为目标,后续措施以该目标为关键实施保护。

2. 预防性养护计划制定。预防性养护机制要求定期对运输基础设施采用先进技术手段实施检测,继而按照设施历史数据、应用频率以及老化情况等因素制定明确的养护周期和专业的养护计划,详细列出预防性养护任务。例如,设置检查、维修、更换等多种措施。另外,预防性养护机制的建立必须科学安排养护时间,保证不影响设施正常运行,可明确各项养护任务的责任人^[1]。

3. 预防性养护机制的执行。该机制明确规定计划中的所有养护任务,可按照需求严格遵守操作规程,保证养护质量以及具体进度。另外,详细记录养护作业过程以及结果,及时向上级汇报养护进展情况。另外,预防性养护机制执行环节也需要建立相应的责任制度,保证执行养护工作的相关部门明确自身责任,在出现问题后可第一时间找到责任人,并借助相应的措施解决问题,通过养护机制执行责任的建立也可制定相应的惩处措施,防止相关责任部门不作为。

2.2 建立专业的运输基础设施养护部门

建立专业的运输基础设施养护部门是执行基础设施养护的关键。目前,部分运输基础设施养护工作缺少专业人才,执行机构不够专业,导致运输基础设施养护受到影响。部分养护工作由于不够专业,养护不到位,安全隐患难以被消除。所以在此种情况下,建

议建立专业的运输基础设施养护部门,该部门可执行专业的基础设施养护工作,为后续养护工作奠定基础,为基础设施养护奠定基础。

2.2.1 明确部门的主要工作内容

建立专业的运输基础设施养护部门可执行专业化的养护工作,才可有效保证养护工作高效开展。在具体实施公路养护的过程中,需要提前设置专业的工作内容,为后续的工作奠定基础,保证工作良好开展,以下是对公路运输基础设施养护工作内容的总结。(1)公路巡查工作。定期开展对运输基础设施的巡查,主要巡查工作包括公路路面、路基、排水结构、桥梁以及隧道等设施,可快速发现并处理潜在安全隐患,确保公路安全畅通。(2)基础设施的维护保养。开展对公路的定期保养,主要工作内容包括对路面清扫、路面坑槽修补、标志线、修剪绿化带等,通过以上公路养护措施,可保证公路路面的平整、干净、安全以及整洁,基础设施工作有助于维持公路使用寿命。(3)发生自然灾害、交通事故等紧急措施需要对基础设施进行维护与维修,立刻对已经存在的病害进行处理。(4)养护工程实施:根据养护目的和养护对象,组织实施预防养护、修复养护、专项养护和应急养护等各类养护工程,如路面大中修、灾毁重建、安全生命防护等。(5)交通设施维护:检查、维修标志、标线、栏杆等交通设施,确保交通设施的完好,引导车辆安全行驶^[2]。

2.2.2 组织部门的成立与优化

建立运输基础设施养护部门需要明确组织机构职责,制定专业组织机构管理制度,实施专业化管理,确保基础设施养护工作的专业性。(1)招聘先进人才,要求人才具备运输基础设施建设、养护、维修等相关工作经验。(2)培训人才。要求组织部门内部建立人才培养机制,该机制具体是指在运输基础设施维护养护工作的过程中,需要定期开展对人才的培训工作,通过培训使人才了解到基础设施养护新技术、新知识,不断提升自身能力。(3)成立运输基础设施养护部门后需要建立人员工作制度,制定运输基础设施养护部门的工作责任,根据责任和相关人员能力继续划分养护、检查、维修、验收、技术等不同的工作小组,不同的养护工作再由不同小组完成,运输基础设施养护工作开展将更加有效^[3]。(4)运输基础设施养护部门必须要建立细化的岗位考核制度,坚决预防“人浮于事”的现象,确保部门中的每个成员具备公路养护意识,工作积极主动,全身心投入到公路养护工作。例如,养护考核制度以考勤、工作态度、技术创新、重大贡献为核心指标,围绕各大核心指标建立多元化考核指

标,才可保证考核公平合理,也可以有效提升组织部门的工作能力。

2.3 运输基础设施养护新技术应用

运输基础设施养护新技术应用有利于提升基础设施养护工作效率,为后续基础设施养护工作开展提供保障。传统运输基础设施养护技术应用以人工为主,缺乏新技术、新设备的应用,导致养护工作的总体效率下降,所以在新时期运输基础设施养护工作开展的过程中。必须注重对运输基础设施养护技术的优化创新,为后续的基础设施养护奠定基础。

2.3.1 应用运输基础设施养护新技术

通过对运输基础设施养护技术研究发现,现代运输基础设施养护开始应用新型自动化、智能化等多类新技术。(1)运输基础基础设施养护中应用自动化技术可实现对养护机械设备的自动化改造,使机械设备能够自动运行和工作,节省工作时间,提升机械设备的工作效率^[4]。(2)运输基础设施养护工作可应用智能化技术。智能技术是现代化社会发展应用的新方向,对于运输基础设施养护有非常重要的作用。所以在运输基础设施养护工作开展的过程中,融合应用新技术,提升养护效率。另外,在养护开展的过程中,应用新技术建立智能化养护系统,自动检测运输基础设施是否存在问题并针对性提出养护方案,借助智能技术实施的养护方案具有针对性,精准预防并解决问题^[5]。除以上两大核心技术之外,运输基础设施养护技术也开始融合应用BIM、VR等先进技术,融合多元化技术之后,可共同创建运输基础设施养护技术系统,该系统能够自动创建公路模型,管理人员在管理过程中可在3D立体模型中实施检测与审查,确认公路病害问题并制定针对性的维修和养护措施,确保后续的维修养护工作精准完成。

2.3.2 应用运输基础设施养护新设备

在当前科技发展背景下,基础设施养护已经开始应用多种新设备,利用新设备可完成系统化的养护工作,高效率完成各项养护,与传统人工养护工作相比,技术应用成本也相对较低,可完全达到新时期运输基础设施养护的新标准。(1)针对路树修剪、疏枝、剥芽等日常养护作业内容,某道路养护中心引进一批包括锂电绿篱机及锂电高枝锯在内的新能源养护机械设备。与传统燃油动力的养护机械设备相比,锂电动力的公路养护机械设备具有自重轻、效率高、绿色环保等优点,并且电动机工作时噪声低,减少了对周围环境的影响,提升了作业环境的舒适度^[6]。(2)公路开

槽清灰机。该机器采用本田汽油发动机,性能稳定,出风口方向可调节,超大出风量满足裂缝中的灰尘清理。在环保日趋严重的情况下,吸尘式开槽机得到了广大用户的喜爱,吸尘功能解决了传统开槽机工作产生的灰尘问题,节能环保。开槽宽度0.5~3厘米可调,深度0~5厘米可调,并且可以加装V型刀片节省灌缝材料,这款机器完全可以代替普通的开槽机和吹风机使用。(3)灌缝处理机器。对于小面积的裂缝修补可以使用某款60L沥青灌缝机,加热釜采用液化气加热,方便灵活,配有搅拌装置,让料受热更均匀,根据工程大小还可以选择100L、200L、350L、500L、和650L沥青灌缝机。以上多种养护机械装置在公路养护中均有所应用,应用效率高、应用成本低,更适合全面应用发展^[7]。(4)自动清路机械的应用。现代化公路养护中,公路的清理清洁也是重要的养护工作,有利于预防因路面灰尘过多而造成的打滑现象,是保证车辆安全的关键。自动清路机械设备在应用之时可定时对道路进行清理,反复清理保证道路整洁。

3 结束语

公路运输基础设施养护对于公路运输安全意义重大,我国各地区交通运输管理部门都应该重视相关养护工作,实施全面的基础设施养护。基础设施养护中应成立专业部门、应用新型养护设备和养护技术,继而提升养护效率,降低养护成本。另外,现阶段运输基础设施养护工作正在发展,融合自动化和智能化技术是发展的核心方向。开展运输基础设施养护工作中可应用新型智能化系统,智能检测并实施智能养护,可保证养护工作高效开展。

参考文献:

- [1] 梁智鹏,郭晶,刘丹卉.营改增及蓝天保卫战政策对道路养护造价的影响[J].内蒙古公路与运输,2023(01):10-13.
- [2] 段春利.对高速公路交通安全设施及机电工程质量控制的探讨[J].汽车周刊,2023(06):67-69.
- [3] 李福龙.运输经济对公路养护政策的影响与适应策略研究[J].大众文摘,2023(35):140-142.
- [4] 邓宇君,和士辉,保锐,等.云南省高速公路对外运输主通道发展现状及对策分析[J].公路交通技术,2023,39(01):10-15.
- [5] 同[2].
- [6] 同[3].
- [7] 钱力.公路典型交通基础设施运营期碳排放量化研究[D].长安:长安大学,2023.

铁路隧道防排水施工技术分析研究

谢 钰

(中铁二十三局集团第四工程有限公司, 四川 成都 610000)

摘要 本文针对铁路隧道防排水施工技术进行了深入的分析, 概述了铁路隧道水害问题及成因, 分析了隧道防排水的设计原则; 结合工程实践, 重点探讨了排水盲管、排水板、土工布、防水板、施工缝等防排水措施施工技术, 经工程验证, 相关防排水措施具有较好的应用效果, 同时对铁路隧道防排水施工技术提出了优化建议, 旨在对类似工程具有一定的参考价值。

关键词 铁路工程; 隧道; 防排水

中图分类号: U25

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.05.037

0 引言

铁路隧道作为铁路运输的重要组成部分, 其安全性和耐久性对于保障铁路运输的连续性和可靠性至关重要。在铁路隧道的建设和运营过程中, 水害问题一直是影响隧道安全的主要因素之一。水害不仅会导致隧道结构的侵蚀和破坏, 还可能引发严重的安全事故。因此, 加强铁路隧道防排水施工技术的研究和应用, 对于提高隧道工程质量保障铁路运输安全具有重要意义。本文旨在通过对铁路隧道防排水施工技术的系统分析, 以期为铁路隧道的防排水设计和施工提供科学依据和技术支持。

1 铁路隧道防排水技术理论基础

1.1 隧道水害成因

隧道水害成因主要包括以下几种:

1. 地质条件: 隧道穿越的地层结构、岩土体性质、裂隙发育程度等地质条件直接影响地下水的分布和流动特性, 从而决定水害的类型和程度。
2. 水文条件: 隧道区域的水文地质条件, 包括地下水位、流向、流速以及补给和排泄条件, 对隧道水害的发生和发展具有重要影响。
3. 设计缺陷: 隧道设计时未充分考虑水文地质条件, 或防排水系统设计不合理, 可能导致水害问题。
4. 施工因素: 施工过程中对地下水的处理不当, 如排水不畅、防水层施工质量差等, 会增加水害风险。
5. 环境变化: 气候变化、地表开发活动等环境因素的变化, 可能改变地下水的动态, 增加隧道水害的可能性。
6. 材料老化: 随着时间的推移, 隧道结构材料可

能因老化、磨损而性能下降, 导致防排水功能减弱。

1.2 隧道防排水设计原则

隧道防排水设计原则主要包括以下几点:

1. 预防为主, 综合治理是隧道防排水设计的核心理念。在设计初期, 需全面评估隧道穿越区域的水文地质条件, 识别潜在的水害风险, 并据此制定针对性的预防措施。同时强调综合治理, 即综合运用多种技术手段, 如地表截水、洞内排水、注浆加固等, 形成立体化的防排水体系。

2. 因地制宜, 灵活设计原则强调在隧道防排水设计中应充分考虑地域差异性与特殊性。不同地区的水文地质条件千差万别, 因此, 设计时应紧密结合实际情况, 灵活调整防排水方案。

3. 注重环保, 可持续发展原则要求隧道防排水设计不仅要保障工程安全, 还要尽可能减少对环境的影响。同时, 设计还需考虑隧道运营期间的长期维护与管理, 确保防排水系统的持续有效运行, 促进隧道工程与环境的和谐共生。

4. 经济合理, 技术可行原则强调隧道防排水设计应在确保安全与环保的前提下, 追求经济效益的最大化。在选择防排水方案时, 需综合考虑工程成本、施工难度、维护费用等因素, 确保所选方案既技术可行, 又经济合理。

2 铁路隧道防排水施工技术分析

2.1 项目概况

深圳至汕头合作区铁路工程松子三号隧道起讫里程 DK83+382.7 ~ DK84+079, 中心里程 DK83+750、全长 696.73 m, 双线单洞, 隧道内进口 ~ DK84+000 段坡度

为7.041%，DK84+000~出口段坡度为0。隧道于DK83+387~DK83+610段临近松子坑水库，水库距离线路最近约220m。

根据勘察结果，隧道浅埋段地层多为人工填土，未固结未压实，孔隙较大，渗透性强，导水性较好，隧道施工能造成涌水，甚至突水突泥、冒顶等地质灾害及施工可能存在塌方、地表塌陷等风险。

2.2 项目排水盲管施工方法

初期支护完成并到达设计强度后，定位并固定边墙两侧纵向盲管。纵向盲管每12m设置一段，排水盲沟中部设置一个三通，采用Φ100PVC管与隧道侧沟连通，纵向排水盲管外侧包裹土工布，两端通过135°弯头直接引入侧沟。纵向排水盲管上部纵向均采用C15无砂混凝土反压，底部由土工布、排水板、防水板反包；横向采用DG150打孔PE管，Φ100PVC引水管自侧沟引入中央排水沟，间距均设置为10m每道。盲管安装完毕后，铺设土工布、防排水板，并处理好纵向盲管的防水板反包等关键工艺^[1]。

2.3 项目排水板施工方法

环向排水板在初期支护施工完成后，土工布防水板铺设前挂设排水板，结合施工缝位置布置。

2.4 项目土工布施工方法

铺设土工布前，对初支面检查处理，切除外露突出物，初支平整度经检验满足设计要求，采用热熔垫片配合射钉固定，拱部射钉固定点间距宜采用50~60cm，在边墙最大跨至起拱线射钉固定点间距宜采用60~80cm，边墙最大跨至盖板顶面射钉固定点间距宜采用80~100cm，底部射钉固定点间距宜采用100~150cm。现场采用划线，确保热熔垫片安装位置左右上下成行。土工布搭接长度为5cm，纵向施工缝搭接由下部压紧上部进行搭接，确保搭接质量^[2]。

2.5 项目防水板施工方法

在铺设反粘式防水板时，应首先利用作业台车将防水板精准固定至预定位置。随后，采用手动电热熔接器进行加热，将其焊接于专用的热熔垫片上。防水板的铺设需确保松紧适宜，以充分接合无纺布并紧贴喷射混凝土表面，防止因过紧撕裂或过松造成蓄水点。此外，防水板间的搭接部分需避开防水薄弱环节，如变形缝、施工缝及围岩集中出水处，且搭接宽度需保持在15cm以上^[3]。

拱墙反粘式防水板采用洞内整卷起吊，无钉铺设

工艺。在凹凸显著及拱顶基面上，需增加固定点密度，并确保加固点间有足够的富余量。加固后，防水板经手动上托或挤压不应绷紧或破损，以保证防水层与混凝土表面紧密贴合。

反粘式防水板接缝需采用双焊缝热熔焊接，搭接宽度至少15cm，单焊缝有效宽度不小于15mm。焊接前，应先通过小样试验确定最佳焊接温度和行进速度。焊接时，需清除防水板表面灰尘，并预留空气道以供质量检测。焊缝应透明、无杂质和气泡。防水板采用T字形搭接头，避免十字形接头，且搭接焊缝与衬砌施工缝错开至少100cm。

焊缝质量检测采用现场检漏器对防水板焊接情况进行评估。检测时，首先封闭空气道一端，利用空气检测器自另一端加压至0.25MPa，并保持15分钟，允许压力降低不超过10%。若满足要求，则表明焊接完全黏合；反之，则需利用检测液定位漏气点，以手动热熔器修补并重检，直至完全黏合。

2.6 项目施工缝施工方法

仰拱纵向施工缝防水示意图如图1所示。

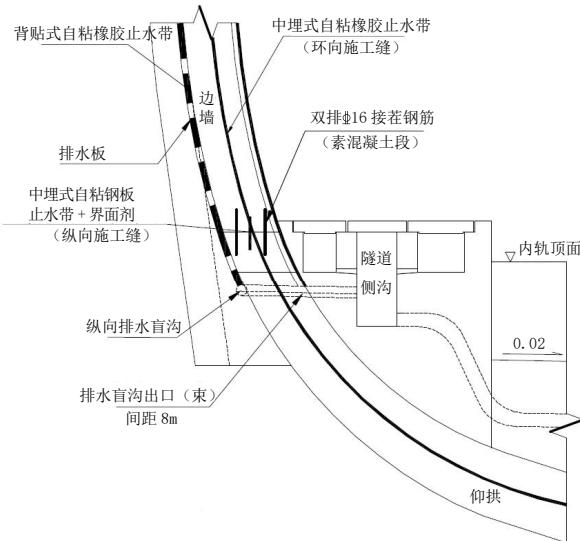


图1 仰拱纵向施工缝防水示意图

仰拱两端环向施工缝设置背贴式自粘橡胶止水带及中埋式自粘钢边止水带，中埋式自粘钢边止水带设置在模筑衬砌混凝土中间位置，止水带宽度300mm，环向止水带两端伸出矮边墙高度至少50cm，保证其防水作用。拱墙环向缝用中埋自粘钢边+背贴橡胶止水带；纵向缝防水则采用中埋自粘钢板带与混凝土界面剂，中埋式自粘钢板止水带设置在纵向施工缝（矮边墙顶面）中间部位，宽度300mm，埋入混凝土和伸

出各 15 cm。支模时,应确保止水带通过可靠的固定措施定位,采用 φ6 定位钢筋加固,防止浇筑混凝土时位移。固定时,禁止穿孔打洞或损坏本体,且搭接长度需达到至少 100 mm^[4]。

3 铁路隧道防排水施工技术优化建议

隧道工程中的防排水施工是至关重要的,直接关系到隧道结构的稳定性和使用寿命。铁路隧道防排水施工技术优化措施主要包括以下几个方面。

3.1 防排水设计的综合考量

隧道防排水设计应综合考虑地质条件、水文特征以及结构设计要求。设计时应遵循“以防为主,防排结合”的原则,通过设置合理的防排水层和有效的排水系统,确保隧道结构的干燥和稳固。同时在设计中采用数值模拟技术对隧道防排水系统进行模拟分析,结合工程实践,优化防排水设计方案。通过模拟分析,可以预测和评估不同设计方案的效果,为实际工程提供理论依据。

3.2 防水层的合理布局

在隧道衬砌中,防水层的布局应考虑到接缝处的防水效果,采用多道设防,包括弹性密封垫、嵌缝防水和注入密封剂等多种措施。同时,应选择具有良好耐久性和遇水膨胀性的橡胶类材料作为密封垫,以提高接缝的防水性能。

3.3 排水系统的优化

隧道排水系统应包括盲沟、泄水孔和透水管等组成部分,形成完整的排水网络。合理设计排水管道的直径、坡度和走向,确保排水畅通。同时,增设排水管道清理系统,定期对排水管道进行清理,防止施工垃圾、泥沙等杂物堆积造成堵塞,确保排水系统的通畅和有效性。此外,还应增设排水监测系统,实时监测排水情况,及时发现并处理排水不畅的问题。

3.4 施工质量控制

在施工过程中,必须严格控制防水层的铺挂质量,避免过紧或焊接不牢等问题。喷射混凝土基面的平整度对防水层的铺挂效果至关重要,应严格按照施工工艺要求进行操作。在结构防排水施工方面,应注重细节处理。如在铺设防水板时,应确保基面坚实、平整、无漏水现象,阴阳角处应做成圆弧形。防水板的铺设应与基层固定牢固,不得有绷紧和破损现象。对于止水带和止水条的施工,应确保其接头连接符合设计要

求,安装位置准确,固定牢固。在浇筑混凝土前,应清理表面的浮浆和杂物,确保施工缝的处理符合设计要求。对于变形缝的处理,应填塞密实,外表光洁,密封材料嵌填严密,黏结牢固^[5]。

3.5 新型材料的应用

推广使用新型防水材料,如丙烯酸盐喷膜,以提高防水层的防水效果和耐久性。新型材料的应用可以减少渗漏水现象,提高隧道的使用寿命。

3.6 加强监督监测

加强对施工过程的监督,及时发现并处理问题。防水层施工完成后,应增设防水层检测系统,实时监测防水层的工作状态,及时发现并处理潜在的破损点,确保防水层的长期有效性。定期对隧道内部湿度、温度等环境指标进行监测,为防排水工作提供数据支持。同时,建立防排水应急预案,针对可能出现的各种问题制定应对措施,确保在突发情况下能够迅速应对。

4 结束语

隧道水害对铁路隧道整体质量、安全运行具有重要的影响,科学合理的防排水施工技术对于有效防止隧道水害问题具有重要意义。本文从防水材料的选择、排水系统的设计与施工、结构防排水措施等方面提出了一系列优化建议,旨在提高铁路隧道防排水施工的质量和效率。针对铁路隧道施工中面临的地质条件复杂、施工技术要求高、施工环境恶劣等特殊条件,需进一步探索适应性强、经济高效的防排水技术,加强技术创新和施工管理,推动铁路隧道防排水施工技术的不断发展和完善。

参考文献:

- [1] 豆海涛.公路隧道工程中防排水施工技术的应用 [J].汽车画刊,2024(08):248-250.
- [2] 陈国杰.铁路隧道工程结构防排水设计及施工分析 [J].工程技术研究,2024,09(14):172-174.
- [3] 李维维.铁路隧道工程结构防排水设计理念及施工措施探究 [J].中国建材,2019(03):112-114.
- [4] 刘晓晨.公路隧道工程中防排水施工技术及防治措施 [J].交通世界,2023(27):131-133.
- [5] 孟庆军.隧道工程中防排水施工技术探讨 [J].交通建设与管理,2021(02):118-119.

压力管道检验技术与风险评估方法探究

刘永刚, 杨 荃, 罗广贤, 李继留

(楚雄彝族自治州检验检测认证院, 云南 楚雄 675000)

摘要 本文系统剖析了压力管道检验技术与风险评估方法的现状, 并深入探究了其优化路径, 通过对压力管道检验技术在技术应用、数据采集以及质量控制等方面存在问题的深度解析, 提出了一系列风险评估体系优化的具体举措, 涵盖完善分级评估标准、构建预警监测平台以及规范评估流程。同时, 积极探索构建检验与评估的协同管理机制, 借助建立信息共享机制、完善质量追溯体系以及搭建协同决策平台, 实现压力管道安全管理的科学化与规范化目标, 旨在为保障压力管道的安全稳定运行提供有益参考。

关键词 压力管道; 检验技术; 风险评估; 评估标准; 协同管理

中图分类号: TU990.3

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.05.038

0 引言

压力管道作为工业生产中不可或缺的关键设备, 其安全运行对生产效率以及人员安全起着决定性作用。随着工业技术的迅猛发展, 传统的压力管道检验方式已难以契合现代工业生产的需求^[1]。检验技术的推陈出新为解决这一难题开辟了新路径, 但在实际应用过程中仍面临诸多挑战。本文旨在深入探讨压力管道检验技术与风险评估的现状及问题, 提出切实可行的优化措施与协同管理方案, 为压力管道安全管理工作提供有价值的参考。

1 压力管道检验技术现状与发展瓶颈分析

1.1 压力管道检验技术应用现状

压力管道检验技术已构建起较为完备的技术体系, 主要包含超声波检测、射线检测、磁粉检测等无损检测手段。超声波检测技术凭借检测精度高、操作简便等优势, 在管道壁厚测量与缺陷检测领域得到广泛应用。射线检测技术则在焊缝质量检验方面扮演着关键角色, 能够精准识别焊接缺陷^[2]。磁粉检测技术适用于表面及近表面缺陷的检测, 具备灵敏度高、成本低廉等特点。近年来, 智能检测技术的兴起促使压力管道检验朝着自动化、智能化方向大步迈进。各类检测机器人与智能传感器的应用, 显著提升了检验效率与数据采集的准确性。然而, 在实际操作中, 检测设备的稳定性与检测结果的可靠性仍有待进一步提高。检测技术的选型与应用需依据管道特性和运行环境进行优化, 以确保检测效果。此外, 新型检测技术的研发与应用还面临着标准化和规范化问题, 亟需建立统一的技术标准与评价体系。

1.2 压力管道检验技术数据采集瓶颈

数据采集设备的精度和稳定性问题较为突出, 环境因素, 如温度、振动、电磁干扰等, 会对采集结果产生显著影响。数据采集过程中的实时性和连续性难以保障, 尤其是在复杂工况下, 数据传输中断或延迟现象频繁发生。数据采集点的布置与优化问题亟待解决, 采集点数量与布置位置直接关乎数据的代表性和可靠性。大量检验数据的存储、处理和分析也带来了技术难题, 需要建立高效的数据管理系统^[3]。数据采集标准化程度不足也是一个突出问题, 不同检验单位采用的数据格式和采集方法存在差异, 增加了数据整合和分析的难度。同时, 数据采集过程中的人为因素影响显著, 操作人员的专业素质和操作规范性直接影响数据质量。数据采集成本控制也是一个重要问题, 需要在保证数据质量的同时, 合理控制检验成本。

1.3 压力管道检验技术质量控制难点

检验环境的复杂性和不确定性, 如管道运行状态、环境温度、介质特性等因素, 都会对检验质量产生影响。检验设备的标定和校准问题较为突出, 缺乏统一标准和规范, 导致检验结果的可比性和可靠性受到质疑。检验人员的专业能力和经验水平参差不齐, 培训体系不完善, 影响检验工作的规范性和准确性。检验过程的质量监督机制不健全, 缺乏有效的质量控制手段和评价标准^[4]。

检验结果的解释和评价存在主观性, 需要建立科学的评价体系。检验质量的追溯和责任界定机制不完善, 难以实现全过程质量管理。此外, 检验质量与效率的平衡问题也需要重点关注, 在确保质量的前提下

提高检验效率。质量控制体系的持续改进和优化机制有待完善，需要建立动态的质量评价和改进机制。

2 压力管道风险评估体系优化路径探索

2.1 压力管道风险分级评估标准体系完善

需建立科学的风险因素识别体系，综合考量管道材质、使用年限、运行环境、介质特性等多维度因素。构建风险等级划分标准，依据风险因素的重要性和影响程度，设定合理的评分标准和权重系统。建立动态评估机制，定期更新风险评估结果，及时反映管道状态变化。完善风险评估指标体系，涵盖定性和定量指标，确保评估的全面性和科学性。构建风险评估模型，运用先进的数学方法和计算机技术，提高评估的准确性和可靠性。建立评估结果验证机制，通过实际案例分析验证评估方法的有效性。同时，要注重评估标准的实用性和可操作性，便于基层单位执行和落实^[5]。建立评估标准的动态更新机制，根据实践经验和技术创新及时优化完善，加强评估标准的宣贯和培训工作，确保相关人员准确理解和运用评估标准。

2.2 压力管道风险预警监测平台构建

在数据采集层面，配置各类智能传感器，实现对管道压力、温度、振动、介质成分等关键参数的实时监测。数据传输层采用高速通信网络，确保数据传输的实时性和可靠性。数据处理层运用大数据分析技术，对采集的数据进行清洗、分类、存储和分析，建立数据模型。应用服务层负责风险预警信息的生成、发布和管理，为管理决策提供支持。同时，建立完善的运维管理机制，包括设备维护、系统升级、数据备份等，确保平台的持续稳定运行。在风险识别方面，通过建立多维度的风险指标体系，结合历史数据分析和专家经验，识别潜在的风险因素和风险点。在风险评估方面，运用机器学习算法和专家系统，建立风险评估模型，对监测数据进行实时分析和评估，量化风险等级。在风险预警方面，根据评估结果，按照预设的预警规则，自动生成相应级别的预警信息，并通过多种渠道推送给相关责任人^[6]。平台还需具备预警信息管理功能，包括预警信息的分级、确认、处置和归档，形成完整的预警处置闭环。此外，建立预警效果评估机制，通过预警准确率、及时性等指标，评估预警系统的有效性，并持续优化预警规则和模型参数，提高预警的准确性和可靠性。

2.3 压力管道风险评估流程标准化建设

在评估准备阶段，明确评估目的和范围，收集管

道基础资料，制定评估方案。现场检查阶段，重点规范检查方法、检查顺序和检查要求，确保数据采集的完整性和准确性。数据分析阶段，统一分析方法和评价标准，运用科学的分析工具，确保分析结果的客观性。结果评定阶段，建立评定标准和审核机制，确保评估结论的科学性。资料归档阶段，建立统一的档案管理制度，实现评估过程的可追溯性。同时，标准化建设需注重评估人员的资质管理和培训考核，建立健全的质量控制体系。风险评估流程标准化建设还需建立动态更新和持续改进机制，根据实践经验和技术创新不断完善评估标准和工作规范。建立标准实施效果评估机制，通过定期总结分析，识别标准执行过程中存在的问题和不足，并及时进行修订和完善^[7]。加强标准化工作的组织保障，成立专门的标准化工作小组，负责标准的制定、实施和维护工作。建立标准化工作考核机制，将标准执行情况纳入绩效考核体系，促进标准的有效落实。此外，加强标准的宣贯和培训工作，通过多种形式的培训和交流活动，提高相关人员对标准的理解和执行能力，确保标准化工作取得实效。在标准的具体内容方面，既要保持适度的规范性和统一性，又要考虑不同类型管道的特点和实际需求，做到统一性和灵活性的有机结合。

3 压力管道检验技术与评估协同管理机制构建

3.1 压力管道检验评估信息共享机制构建

在数据标准方面，制定统一的数据采集标准、交换标准和存储标准，规范数据格式和编码规则，确保数据的一致性和可用性。信息共享流程设计明确信息提供方、使用方的职责和权限，建立信息共享审批制度，规范信息共享的操作流程。在安全管理方面，建立完善的信息安全保护机制，包括访问控制、加密传输、审计跟踪等措施，确保信息共享过程中的安全性。信息共享机制的有效运行还需建立健全的运行维护和管理制度，确保信息共享平台的持续稳定运行。建立信息维护更新机制，明确各类信息的更新周期和更新责任，确保共享信息的时效性。建立信息使用反馈机制，收集用户对共享信息的使用体验和改进建议，不断优化完善共享平台的功能和服务。建立信息共享绩效评估机制，通过设置合理的评估指标，定期评估信息共享的效果和价值^[8]。此外，加强信息共享的组织保障和制度建设，成立专门的信息管理单位，负责信息共享平台的日常运维和管理工作。制定完善的信息共享管理制度，明确各相关方的责任和义务，规范信息共享行为。在技术支撑方面，

采用先进的信息技术手段,提高信息共享的效率和便捷性,同时注重系统的可扩展性和兼容性,为未来的功能升级和系统整合预留空间。

3.2 压力管道检验评估质量追溯体系完善

质量追溯体系应覆盖检验评估工作的全流程,包括检验准备、现场检测、数据分析、结果评定等各个阶段。通过建立统一的质量标准和记录规范,实现质量管理的系统化和规范化。在质量记录方面,建立完整的质量档案管理制度,规范记录的格式和内容,确保记录的真实性和完整性。在质量责任方面,建立岗位质量责任制,明确各环节责任人及其职责,形成质量责任链条。在质量评价方面,建立科学的质量评价体系,通过设置合理的评价指标,对检验评估工作质量进行客观评价。同时,质量追溯体系还需建立问题处理机制,包括质量问题的发现、报告、分析、处理和预防措施的制定,形成闭环管理。质量追溯体系的有效运行需要建立完善的质量管理制度和工作机制,通过制度建设和机制创新,确保质量追溯工作的落实。在制度建设方面,制定质量追溯管理办法、质量记录管理规定、质量责任考核办法等制度文件,明确质量追溯工作的具体要求和操作规程。在机制创新方面,建立质量分析会议制度、质量信息通报制度、质量改进激励机制等,促进质量管理水平的持续提升。同时,加强质量管理队伍建设,通过开展质量管理培训、质量知识竞赛等活动,提高相关人员的质量意识和质量管理能力。在质量改进方面,建立持续改进机制,通过质量分析、质量评价、质量改进等环节,不断优化质量管理方法和手段,提高质量管理的有效性。

3.3 压力管道检验评估协同决策平台搭建

在功能设计方面,协同决策平台重点关注决策分析模型的构建,通过整合检验数据、评估结果和历史经验,建立科学的决策分析方法体系。在数据支撑方面,建立决策知识库,收集整理各类决策相关的数据资料,为决策提供数据支持。在运行机制方面,建立决策流程管理制度,规范决策的提出、分析、讨论和审批程序,确保决策过程的规范性和科学性。建立决策执行监督机制,通过设置监督检查点,跟踪决策的落实情况,及时发现和解决执行过程中的问题。建立决策效果评估机制,通过评估决策的实施效果,总结决策经验,不断提高决策的质量和水平。协同决策平台的有效运行需要建立完善的组织保障和制度体系,通过加强组织领导和制度建设,确保平台功能的充分发挥。在组

织保障方面,成立专门的决策管理单位,负责平台的日常运行和管理工作,同时建立专家咨询制度,为重大决策提供专业支持。在制度体系方面,制定决策管理办法、决策流程规范、决策责任制度等,明确决策工作的具体要求和操作规程。在决策能力建设方面,加强决策人员的培训教育,提高其决策分析能力和风险意识。在决策支持方面,加强决策分析工具和方法的应用,不断提高决策的科学性和准确性。

4 结束语

基于对压力管道检验技术与风险评估方法的深入研究,可以发现当前压力管道检验技术正朝着自动化、智能化方向发展。但在技术应用、数据采集及质量控制等方面仍面临诸多挑战。通过建立科学的风险分级评估标准、构建智能化预警监测平台、规范评估流程等措施,结合信息共享机制、质量追溯体系和协同决策平台的有机整合,能够有效提升压力管道检验评估工作的科学性和规范性。这种多维度、系统化的管理模式不仅能够及时发现和预防潜在风险,还能推动检验技术与评估方法的持续优化,为压力管道的安全稳定运行提供更加可靠的技术支撑和管理保障,对推动压力管道安全管理工作现代化转型具有重要的实践意义。

参考文献:

- [1] 陈铭,刘建军,刘欢迎.压力管道基于风险的在线检验技术应用研究[J].中国化工装备,2024,26(06):39-43.
- [2] 顾熠辉.压力容器管道裂纹检验中无损检测技术研究[J].石油和化工设备,2024,27(04):193-195,192.
- [3] 金世贵,张振宇.基于超期服役压力管道风险评估的定期检验探讨[J].特种设备安全技术,2024(05):27-29.
- [4] 陈建勋,庞慕妮,杨新健,等.面向现场检验的压力管道轴测图测绘仪研发及检验系统应用[J].中国特种设备安全,2024,40(03):4-11.
- [5] 张国杰.锅炉、压力容器及压力管道检验中裂纹问题研究[J].中国高新科技,2024(08):122-124.
- [6] 李志峰,杨利军,宋利滨.2种硬度检测方法在压力管道检验中的有效性对比[J].管道技术与设备,2024(02):34-37.
- [7] 史秋玉.锅炉压力容器压力管道检验中的裂纹问题分析[J].模型世界,2024(13):106-108.
- [8] 王玮佳,韩晶.完善我国压力容器压力管道定期检验规范体系的思考研究[J].内蒙古石油化工,2024(01):36-38.

建筑机电安装中电气管线的预留技术研究

白兴龙¹, 刘伟²

(1. 青岛智光教育科技有限公司, 山东 青岛 266000;
2. 青岛市李沧区智慧通职业培训学校, 山东 青岛 266000)

摘要 随着建筑工程技术的不断进步和电气设备的多样化发展, 传统的预留技术面临管线布局不合理、预埋箱盒位置偏差、施工质量不易控制等诸多挑战, 增加了后续施工的难度, 可能导致建筑物的安全隐患。在建筑工程的各个阶段, 从设计、施工到维护, 电气管线预留技术的优劣直接影响到整个电气系统的性能和建筑的使用品质。本文认为研究电气管线预留技术, 探索科学、合理的预留方法, 对于提高建筑工程质量、保障电气系统安全稳定具有重要意义。

关键词 建筑工程; 机电安装; 电气管线; 预留技术

中图分类号: TU85

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.05.039

0 引言

机电安装是建筑工程的重要组成部分, 直接关系到整体工程项目的实施质量和后期的运行, 因此, 需要严格控制机电安装施工质量, 而电气管线预留预埋工作是机电设备顺利安装和使用的重要基础与前提, 与设备使用寿命、运行效果等息息相关。由于电气管线预留预埋施工周期较长, 流程较为复杂, 很容易受到施工环境的影响, 同时加大了电气预留预埋的施工难度。为此, 本文探讨建筑机电安装中电气管线预留技术的现状, 并提出优化策略, 旨在为相关从业人员提供参考。

1 电气管线预留技术的现状

在当前建筑机电安装中, 电气管线预留技术面临着诸多挑战, 设计图纸与实际施工之间的脱节便是其中的突出表现。设计者往往基于理想化条件进行电气管线布局设计, 但施工现场复杂多变, 结构深化、建筑设计变更、材料规格差异等都会影响预留效果, 若这些变数未能及时反馈给设计团队, 便可能造成图纸与现场严重不符, 如预留孔洞偏小或位置偏差, 电气管线无法顺利穿行, 需进行二次开孔或调整, 不仅增加了施工成本, 还影响建筑结构安全性和美观度。工艺标准方面, 尽管国家和行业已出台多项标准规范, 如《建筑工程施工质量验收规范》GB50303-2015 对电气管线预留提出了具体要求, 但由于技术和市场发展迅速, 部分标准更新滞后, 存在条款过于宽泛、操作性不强等问题, 例如, 针对高层建筑和复杂环境下的电气管线预留, 现有标准可能缺乏细化指导, 导致施工单位在实际操作中无所适从, 采取“土办法”

施工, 进而影响预留精度^[1]。预留质量检验亦是一大难题, 传统检验方法主要依赖施工人员的自检和监理的抽样检查, 而电气管线预留往往涉及隐蔽工程, 一旦出现问题, 难以及时发现和整改, 例如, 若在管线安装阶段发现预留孔洞的尺寸和位置偏差, 不仅需要重新开孔, 还可能损坏其他已安装设备, 导致连锁反应, 影响整个工程进度。而由于质检标准不同, 部分项目在验收阶段对预留质量的要求过于宽松, 施工方容易敷衍了事, 忽视细节, 最终结果是建筑物电气系统在后期使用过程中暴露出诸多问题, 影响设施正常运行和用户安全。

2 建筑机电安装中电气管线的预留技术

2.1 测量定位与放线

测量定位需要综合考虑建筑结构、设备布局以及使用需求, 确保管线预留的位置准确无误; 放线则是根据测量定位的结果, 将电气管线的路径标记在施工面上, 为后续的安装提供指引。在实际操作中, 测量定位与放线需使用高精度的测量工具, 如激光测距仪和水准仪, 确保管线预留的垂直度、水平度及标高误差控制在设计规范允许的范围内, 例如, 垂直度误差不应超过 0.1%, 水平度误差不超过 2 mm/1 000 mm。还需借助 BIM (建筑信息模型) 技术, 提前在虚拟环境中模拟管线的布置, 解决潜在的交叉冲突, 提高预留位置的合理性。放线时, 标记线应清晰可见, 耐久且不易被擦除, 通常使用红色喷漆或反光带进行标记, 以确保施工人员在复杂环境中也能准确辨识管线路径。在机电安装中, 电气管线的特点决定了其测量定位与放线的特殊要求, 如电缆桥架、线槽、电线管等不同

类型的管线，其测量定位方法也有所不同^[2]。电缆桥架的定位需考虑其承载能力，保证直线段和转角处的受力均匀，避免出现桥架变形或塌陷的情况，线槽的安装则需关注其防火性能，确保线槽与墙体、楼板等结构的紧密贴合，减少火灾蔓延的风险。电线管的放线需特别注意其弯曲半径，最小弯曲半径应不低于管径的6倍，以确保导线的顺利穿入，减少安装过程中的阻力和损伤。测量定位与放线还需结合现场的实际情况，灵活调整预留位置，如遇结构梁柱、设备基座等障碍物，应适当绕行或采用穿墙套管等方式，保证管线的连续性和安全性。

2.2 管路敷设与连接

管路敷设时，首要考虑的是管路的选型，选取合适的管材如PVC管、钢管或金属柔性管，PVC管因其良好的耐腐蚀性能和成本优势，常用于潮湿或腐蚀性较强的环境，而钢管则因其高强度和抗压性能，更适合在高负荷或防火要求较高的场所使用。管径的选择则根据导线的截面积和根数来确定，一般要求管内导线的总截面积不超过管截面积的40%，这样可以保证导线的顺利穿入和后期维护的便捷。管路的走向需尽量遵循水平和垂直的原则，减少交叉和弯曲次数，以降低电磁干扰和热量积聚的风险。管路连接则应采用合适的连接件，如PVC管使用专用胶水粘接，钢管则通过丝扣或卡压连接，确保连接紧密无渗漏。连接点应设置在不影响美观且便于检修的位置。为防止水和灰尘进入管内，连接处还需做好密封处理，通常使用密封圈或防水胶带。在管路穿过墙体或楼板时，应预留足够大的孔洞，并在孔洞周围设置防火、防水措施，以保障建筑的安全性和使用功能。在管路敷设过程中，还需注意与水、暖、气等其他管线的协调，避免相互干扰。

2.3 管口处理与封堵

管口处理常常面临众多挑战，比如在施工过程中灰尘、水分等外界因素的侵入，或是管线内部的清洁度问题，这些问题都可能对电气设备的正常工作造成影响。因此，管口的处理不仅要确保管线内部的清洁，还需具备良好的密封性和适应性，以满足不同环境下的安装要求。通常，电气管线选用的是金属或PVC材质，其直径根据实际需求从16 mm到100 mm不等，对于不同直径的管线，封堵材料的选择和处理方式也会有所不同。在处理管口时，需要先对管口进行彻底的清理，去除表面的尘土、油污等杂质，保证封堵材料能够与管线表面形成良好的黏结。在封堵材料的选择上，一般会采用专用的防火泥、防水胶带或密封剂，这些材料不仅能够有效防止灰尘和水分进入，还具有一定的防火、防虫功能，能够提高整个电气系统的安

全性能^[3]。特别是在高层建筑或消防要求较高的场所，电气管线的封堵材料必须达到GB 50168《电气装置安装工程电缆线路施工及验收规范》中所规定的防火等级。封堵完成后需进行严格的检查，使封堵密实无隙，可以通过向管内注入一定压力的空气（压力值约为0.05 MPa），观察是否有泄漏来检验封堵效果。对于一些特殊位置，如穿墙、穿楼板等，还需要使用专用的管口盒或管帽进行二次封堵，以增强密封效果。考虑到电气管线在后期维护中可能需要拆卸检查，封堵时应选用可重复使用的材料，以便在不影响管线结构安全的前提下进行维修或更换。随着建筑技术的不断进步，智能封堵装置也开始逐渐被应用，这些装置可以根据管线的使用状态自动调节封堵力度，在提高封堵效果的同时也能减少人工干预，提升施工效率。

2.4 预埋箱盒安装

预埋箱盒安装直接关系到电气管线的合理布局、安全性和未来的维护便捷性。预埋箱盒安装的要点在于精确控制箱盒的位置、标高和深度，确保在混凝土浇筑或墙体砌筑后，箱盒能够准确地嵌入预定位置，且预留的空间恰好满足后续电气管线的安装要求。考虑到电气管线的特点，如走线的复杂性和对环境的适应性需求，预埋箱盒的尺寸和材质选择也需谨慎。箱盒一般采用金属或阻燃塑料材质，常见尺寸有100×100×50 mm和150×150×70 mm，具体取决于安装位置和所需的线缆数量。为了保证箱盒的稳固性，需在四周和底部增设固定件，如膨胀螺栓或预埋螺栓，同时确保箱盒与结构的密合程度，避免在浇筑过程中混凝土渗入内部。预埋箱盒的位置和标高需严格根据设计图纸执行，利用水平尺和激光测距仪进行精准定位，考虑到装饰层厚度的叠加效应，预留足够的空间以确保箱盒最终位置符合使用要求。在安装过程中需注意箱盒之间的间距，避免影响后续施工或管线的灵活布置。对于多层建筑，垂直方向上的箱盒安装要考虑到承重和防震要求，必要时增设防震垫或支撑架，提升箱盒的稳定性和安全性。在预埋箱盒安装完成后，要进行质量检查，包括箱盒的位置、标高、深度以及箱盒的密闭性，确保无误后方可进行下一步施工。箱盒内部的预留管线应选用合适的管材，如PVC管或金属管，并在管口安装防护套，防止在施工过程中杂物进入，影响后续使用的可靠性。

3 电气管线预留技术的优化策略

3.1 精准设计与深化图纸

电气管线的预留需要综合考虑建筑物的功能需求、安全规范、施工便捷性以及后期维护的方便程度，因此在设计阶段就必须对管线的走向、位置、规格进行

全面而细致的规划；深化图纸则是将这些设计意图具体化，为施工团队提供详尽的操作指南。为了实现这一目标，设计团队要充分掌握电气管线的特点，比如其对空间的占用需求、安装工艺的特殊性、材料的选择标准以及与其他管线的协调性等。在此基础上，设计人员应利用 BIM (Building Information Modeling) 技术，建立三维模型，通过模拟施工过程，提前发现可能存在的碰撞问题，从而调整管线布局，确保预留空间的合理性。精准设计还涉及对建筑物内各区域功能的深入理解，如办公区、居住区、商业区等不同功能区域对电气要求的差异，从而在图纸中反映出不同区域的布线密度和类型选择。例如，商业区可能需要更密集的数据线和电源插座的布置，以满足多种电子设备的使用需求，而居住区则更注重电线的安全性和隐蔽性，减少裸露部分以提升居住环境的安全与美观。在深化图纸过程中，要明确标注出每条管线的规格、型号、材质等信息，比如采用铜芯聚氯乙烯绝缘电线，额定电压为 $450 \sim 750$ V，根据实际负载情况合理选择线径，确保电流通过时的发热损失控制在安全范围内，同时也要符合建筑电气设计规范的要求。对于管线的预埋，要考虑到施工的可操作性，合理设置预留孔洞的位置和尺寸，确保预埋件能够顺利安装，同时减少土建施工对机电安装作业的影响。预留孔洞间距不宜过大，一般建议不超过 1.5 m，深度应大于 50 mm，以保证固定件的牢固性。在管线穿越楼板或墙体时，应预先设计好防潮、防火措施，保障建筑的安全性^[4]。

3.2 预留施工工艺的标准化

预留施工工艺的标准化应当涵盖设计、材料选择、施工过程、质量检测与验收等全流程。设计阶段需依据国家相关标准和规范，如 GB50303《建筑电气工程施工质量验收规范》、GB50054《低压配电设计规范》，结合建筑物的具体使用功能与空间布局，合理规划电气管线的路径、位置和数量。施工单位必须建立健全的质量检测与验收机制，预留施工完成后应进行隐蔽工程验收，重点检查预留孔洞和预埋件的位置、尺寸、标高是否符合设计要求，检查导管固定和密封是否到位，检查预留孔洞和预埋件的外观质量，如是否有损伤、变形等问题，质量检测时应使用专用的检测仪器，如通球试验仪、绝缘电阻测试仪等，确保检测结果的准确性。还要建立标准化的施工记录制度，对预留施工过程中的各项参数和检测结果进行详细记录，便于后续施工与验收的追溯，提升工程的透明度与管理效率，

3.3 预留质量的检验与验收标准

在建筑机电安装中，基于电气管线的特殊性，检验

与验收标准应严格按照国家相关规范执行，如 GB50303《建筑电气工程施工质量验收规范》、GB50054《低压配电设计规范》等，确保预留孔洞与预埋件的位置、尺寸、标高等参数准确无误。预留孔洞和预埋件的尺寸需满足电气设备安装及维修的要求，预留孔洞直径应比最大管径大 20 mm 至 50 mm，以方便管线的穿入与调整，预埋件的安装偏差不得超过 5 mm，尤其是垂直度和平行度的控制，确保预埋件的牢固性和稳定性。导管的弯曲半径对预留质量有直接影响，对于直径小于 25 mm 的导管，最小弯曲半径为 6D，直径大于 25 mm 的导管，最小弯曲半径为 10D，以防止导管内壁产生裂纹或变形，影响管线的正常敷设^[5]。预留孔洞和预埋件在施工完成后应立即进行保护，避免杂物进入，影响后期管线安装，常用的方法是在预留孔洞处安装临时盖板，预埋件处则使用密封材料如硅酮胶进行密封。隐蔽工程验收时，应使用通球试验仪检查导管的通畅性，确保导管内部无阻塞，使用绝缘电阻测试仪检测导管的绝缘性能，绝缘电阻值不得低于 $0.5 \text{ M}\Omega$ ，同时应对导管的固定质量进行检查，确保导管固定牢固、位置正确，固定间距一般为 1.5 m 至 2 m。

4 结束语

电气管线预留技术的优化，对于提高建筑机电安装工程的质量和效率具有重要意义。精准设计与深化图纸，可以确保管线布局合理、符合实际需求；标准化的预留施工工艺则能够减少人为因素导致的质量问题，提高施工的一致性和可靠性；而在预留质量的检验与验收标准方面，建立一套科学、严谨的标准体系，不仅能够为施工提供指导，还能在工程完成后进行有效评估和管理。这些措施的实施，将极大地提升电气系统的安装质量和建筑的使用体验。

参考文献：

- [1] 冯浪. 建筑机电安装中电气管线的预留技术探析 [J]. 建材发展导向, 2024, 22(13):119-122.
- [2] 孙晨宇, 张磊. 建筑机电安装中电气管线的预留技术探析 [J]. 城市建设理论研究: 电子版, 2022(23):79-81.
- [3] 吉勇. 试论建筑机电安装中电气管线的预留预埋施工要点 [J]. 房地产世界, 2022(08):131-133.
- [4] 沈劲, 李星洁, 刘毅. 建筑机电安装中电气管线的预留技术 [J]. 江苏建材, 2024(02):2-4.
- [5] 吴坚. 建筑机电安装中电气管线的预留技术 [J]. 居舍, 2020(30):51-52.

跳仓法在大型医疗项目施工中的应用研究

周俊¹, 郭林军², 邹于捷², 赵乾斌², 高伟²

(1. 浙江省嘉兴市南湖区质量安全管理中心, 浙江 嘉兴 314000;

2. 中国建筑第八工程局有限公司, 上海 200000)

摘要 嘉兴市第二医院迁建项目地下室结构混凝土体量超大, 为加快施工进度, 保证施工质量, 控制施工裂缝, 地下室结构采用跳仓法施工。跳仓法施工减少了后浇带、变形缝等施工的不便, 有效遏制了施工裂缝产生, 减少了后期使用底板渗漏问题, 提高了施工质量。本文详细介绍了工程地下室底板跳仓法施工技术的具体实施方案和相关质量保证措施, 深入研究了跳仓法在嘉兴二院项目中的施工特点、流程和操作要点, 以期为相关人员提供借鉴。

关键词 跳仓法; 施工缝; 大体积混凝土; 混凝土养护; 混凝土测温

中图分类号: TU74

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.05.040

0 引言

大体积混凝土结构产生大量水化热, 结构内部产生大的温度应力, 产生温度裂缝。底板开裂会引起地下水渗入混凝土内部, 影响结构的耐久性^[1]。为了解决该问题, 保证地下室结构正常功能使用, 本项目采用跳仓法施工替代后浇带的做法, 在保证施工质量的同时, 缩短了施工工期, 以其独特的优势在大型地下室结构施工中得到广泛应用, 本文以嘉兴二院项目大型地下室底板混凝土结构为例, 介绍跳仓法施工技术在该项目上的应用。

1 工程概况

嘉兴市第二医院整体迁建项目位于嘉兴市南湖区, 总建筑面积 461 323.20m² (其中地下建筑面积 18.2 万 m²)。结构形式为框架剪力墙结构, 基础采用桩筏基础。本工程 2 层地下室深度 11.1 m, 整体筏板厚度 600 mm, 最深可达 2 500 mm, 混凝土强度等级为 C35, 抗渗等级为 P8, 地下室底板混凝土浇筑体量超过 10 万 m³, 底板混凝土开裂风险较大。同时, 该工程属于医疗项目, 相比常规项目地下室设备用房较多, 对地下室底板抗渗要求极高。因此, 为了加快施工进度以及保证施工质量, 筏板基础和地下室结构整体采用跳仓法施工。

2 工程施工重难点

1. 地下室平面尺寸大, 地下室周长约 1 575 m, 混凝土结构施工体积大, 一次浇筑混凝土量最多可达到 5 000 m³, 大体积混凝土在浇筑时水泥水化作用放出的热量使得混凝土内部温度升高, 混凝土导热条件差, 水化热量散失慢, 使结构内部产生较高的温度不易导出^[2], 而混凝土表面放热系数较大, 使结构产生较大

的温度应力和内外温差, 混凝土变形膨胀差异大, 导致混凝土结构产生裂缝^[3-4]。采用后浇带施工时, 清理封闭工作往往达不到规范要求, 造成基础筏板存在渗漏隐患。

2. 项目南侧紧邻嘉善塘, 北侧规划有新修河道。经过勘察, 该块区域地下水水位标高最低标高为 2.0 m, 基坑最大深度可达 -13.2 m, 远低于地下水最低水位, 且低于两侧河道常年水位。该项目为大型医院综合体, 地下室两层电气设备用房较多, 为保证后续医院功能的正常使用, 要求混凝土结构有较高的抗裂抗渗及防水性能。

3. 项目交付节点比较紧张, 由于该项目地下室结构尺寸较大, 划分区块数大, 按常规要求采用后浇带施工技术时, 设置的后浇带数量密集, 且后浇带部位施工工艺复杂, 造成现场的施工成本增加, 后浇带封闭进度缓慢, 一般施工工序在两侧混凝土浇筑时间达到 45 d 之后, 且后浇带上下贯通搭设, 两侧脚手架支撑体系布置比较密集, 影响地下室施工材料运输的流畅性, 严重制约项目施工进度。

3 跳仓法施工技术

3.1 跳仓法原理

跳仓法施工充分利用了混凝土前期“抗”和后期“放”的特性, 采用抗放结合的原理, 将混凝土在硬化过程中的“体积膨胀”和后期“体积收缩”之间的应力相互制约, 实现平衡状态^[5]。跳仓法在地下室混凝土结构施工中具有明显的优势, 在初期混凝土浇筑阶段, 内部应力变化较大, 将地下室混凝土结构划分为若干不开裂长度的区块, 每个区块作为一个施工段

间隔浇筑施工，合理组织各区块的施工顺序，多仓块同步施工，保证各区块结构有不小于 7 d 的内部应力释放，再将该区块若干混凝土结构连接为整体，依靠混凝土抗拉强度抵抗下一阶段的温度收缩应力。地下室结构采用跳仓法施工技术，减少了施工缝的数量，有效提高了施工效率，保证了施工质量，既保证了超大地下室结构的裂缝控制效果，又能缓解因后浇带施工的施工工艺繁琐而导致的材料周转受限等问题，极大地提高了项目工期节点按时交付的能力。

3.2 结构分仓与浇筑顺序

项目根据工程关键节点工期计划，通过综合比较，合理规划，计划采用 5 个劳务班组同时施工，将地下室筏板基础结构划分为 6 个大的区域，分别为 A、B、C、D、E、F，共计划分为 54 个仓块，每个仓块采用一次整体浇筑完成，且各区仓块分批浇筑，共计 162 次浇筑。施工时混凝土的浇筑量最大达到 4 800 m³，施工时需严格遵守相邻仓块浇筑时间不低于 7 d 的原则，跳仓法地下室结构分仓情况，其中蓝线是所设施工缝，红线为伸缩后浇带，粉线为沉降后浇带。

3.3 原材料的控制和配合比设计

该工程地下室底板混凝土浇筑量超过 10 万 m³，混凝土强度等级和抗渗性要求较高，在减少混凝土的收缩，保证混凝土的强度的同时，降低混凝土水化反应释放的热量，避免有害裂缝产生。因此，合理选择原材料及配合比设计能够有效保证混凝土的力学性能。

根据嘉兴二院项目的施工环境及工程特点，选用混凝土标号为 C35P8，将 90 d 强度值设为混凝土设计强度指标进行配合比设计。胶凝材料在混凝土硬化过程中会放出大量的热量，适当减少胶凝材料的含量可以有效降低水化热。在施工中选择水化热较低且泌水小、保水性能好、抗冻性优的普通硅酸盐水泥，同时采用超量代换的办法，适当提高掺合料和外加剂在胶凝材料中的比例，可以有效降低混凝土内部水化热，提升混凝土结构的密实性，保证混凝土的和易性和耐久性。在经过项目部与搅拌站的多次试配后，选择了强度等级 C35P8 混凝土所用原材料和最优的配合比。

3.4 浇筑及振捣方法

3.4.1 混凝土浇筑

为控制混凝土入模温度，保证浇筑质量，应合理规划交通路线，严格按照既定施工顺序，宜采用分层浇筑、振捣，一个斜面、连续浇筑、一次到底的浇筑方式。电梯基坑以外混凝土浇筑采用整体推移式连续浇筑；核心筒电梯基坑区域采用斜面分层连续浇筑施工，每

层浇筑厚度不超过 500 mm，保证上层混凝土在下层混凝土初凝前浇筑，防止冷缝产生。

3.4.2 混凝土振捣

按照斜面分层或推进式连续浇筑施工方式进行浇筑，严格控制混凝土振捣。在出料口、坡角、坡道中间分别布置振捣点，在浇筑过程中保证振捣，采用插入式振捣棒，操作时要“快速插入，缓慢拔出，均匀振捣”（见图 1）。在振捣上层混凝土时，插入下层混凝土深度不小于 50 mm，可有效增强层间结合密实性，避免出现冷缝。同时注意振捣时间，避免过振产生离析现象。振捣时振捣棒与模板距离大于 150 mm，并采取钢筋、模板定位措施，避免碰撞钢筋、模板、埋件等移位或变形。混凝土不再出现下沉现象和气泡时可停止初次振捣，在约 2 h 后进行二次振捣，振捣时间为 40 ~ 60 min，主要针对水平钢筋及下部的水分或气泡。混凝土两次振捣可使结构更加密实，减少混凝土内部孔隙，有效增强混凝土结构强度。在浇筑完成后，要对混凝土浇筑面及时进行二次或者多次抹压处理，消除混凝土在塑性阶段形成的原始缺陷和裂缝。

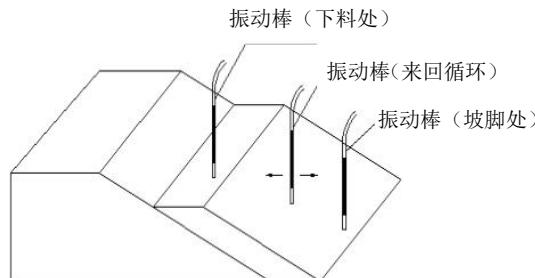


图 1 混凝土振捣位置示意图

3.5 混凝土养护

在潮湿环境下，混凝土能够有效避免表面因脱水而引发的干缩裂缝，确保水泥的正常水化过程，从而显著提升混凝土的极限拉伸强度。此外，对混凝土进行保湿和保温的养护措施，可以减缓其水化热的降温速度，降低结构内外温差，有效防止过大的温度应力导致出现温度裂缝。混凝土浇筑完成 12 h 以内，需采用蓄水方式进行养护 3 ~ 5 d，深度 3 ~ 5 cm，同时保证表里温差不大于 25 °C。后续养护采用保湿养护，保证养护时间 9 d 以上。由于该工程地下室底板混凝土有 P8 抗渗要求，浇水养护时间不得少于 14 d。根据计算可得底板混凝土保湿厚度为 5 cm，选取薄膜 + 棉被进行混凝土保湿，养护时间不得少于 14 d。梁、柱、墙等竖向构件采用带模的方式进行养护，养护时间不

得小于3 d, 拆模后采用喷洒或悬挂土工布不间断洒水进行养护。在混凝土保湿养护的过程中, 在结构表面及内部布设有温度监测点, 及时对混凝土的降温速率和里表温度进行监测, 实时动态调整保湿养护措施。同时, 在混凝土强度达到1.2 MPa之前, 不得上人或施工材料。

3.6 混凝土测温

3.6.1 测温点布置方式及要点

大体积混凝土测温应准确反映里表温差、降温速率、环境温度和最高温升的变化情况。根据基础筏板形状、厚度, 在筏板中心、边缘、角落和混凝土截面厚度变化大等部位布设测温点, 整块底板共计布置160个测温点。每个测温点沿厚度方向设置上、中、下三个测温导线, 部分2~500 mm及以上部位布置五个测温导线, 测温点距筏板底50~100 mm处, 筏板中和距筏板表面50 mm处。五个测温导线应平均分布在筏板厚度部位处, 且间距不宜大于600 mm。

底板测温采用JDC-II型建筑电子测温仪, 搭配测温导线和探头, 每组测温点传感器及导线附着于Φ14钢筋支架进行预埋, 确保温度传感器在测温点位, 测温传感器不得直接接触底板及钢筋, 导线外漏混凝土表面应大于300 mm, 在浇筑时注意保护测温插头, 避免受到污染, 保持清洁。

3.6.2 温度检测要点

在保温养护的过程中, 采用测温系统对大体积混凝土进行全天候的监测, 及时准确地提供混凝土温度测温报告, 并设置一定的报警阈值, 对施工养护工作进行指导。针对测得的温度对养护措施动态调整, 严格控制混凝土里表温差, 避免有害裂缝产生。在养护过程中, 注意混凝土结构的里表温度不宜大于25 °C, 降温速率不应大于2 d/°C, 1~4 d时, 间隔4 h测温一次, 5~7 d时, 间隔8 h测温一次, 7 d之后, 间隔12 h测温一次, 当结构表面温度与环境温度的差值不大于20 °C时, 即可停止测温。

4 施工质量保证措施

4.1 表面防裂施工要点

混凝土振捣时需严格控制上层混凝土振捣, 避免表层形成过厚的浮浆产生裂缝。浇捣后, 及时用2 m刮尺将多余浮浆层刮拍平整至标高控制点, 用混凝土补平凹坑部位。在混凝土表面收浆快要初凝时, 对混凝土表面二次抹光处理, 既要确保混凝土的平整度, 又要保证初期表面的收缩脱水细缝闭合。在混凝土收

浆硬化期间, 除施工人员外, 其余人不得在未硬化的混凝土表面行走, 收浆工作完成后及时覆盖养护。

4.2 施工缝处理

采用跳仓法施工时, 底板与底板、外墙与外墙、底板与外墙等施工缝位置应放置止水钢板防止施工缝位置渗水, 施工缝位置采用焊接Φ8双向方格骨架与快易收口网施工方式封堵混凝土, 同时在底板板顶布置木方, 满设海绵条, 防止漏浆。将止水钢板与钢筋骨架和快易收口网断开, 不得断开止水钢板, 且止水钢板搭接距离不得小于200 mm, 焊接严密, 焊缝饱满, 保持止水钢板的连续性及完整性, 底板施工缝将常规止水钢板迎水面调整为向上翘, 保证止水钢板底部混凝土浇筑密实, 保证浇筑质量。同时, 在施工缝位置适当增加底板通长筋的配置, 当地下室底板筏板厚度大于2 m时, 要在层间增加双向分布钢筋的配置, 以提高大体积混凝土抗裂性和抗震性能。在施工缝封闭时, 按要求清理施工缝处垃圾, 并对已浇筑部位凿毛, 提高新旧混凝土间的密实性。

5 结语

本工程地下室大体积混凝土采用跳仓法施工替代后浇带的工艺来确保施工质量并加快施工进度。根据场地、规范、劳务班组等综合因素设置划分最佳仓块, 并从材料, 浇筑、养护, 构造等方面加强措施, 解决了地下室结构后浇带施工的缺点, 有效降低了大体积混凝土的裂缝风险, 确保了地下室结构的抗裂抗渗性能, 为项目的成功实施奠定了坚实的基础。最终, 跳仓法在本工程中取得了良好的实施效果, 创造了良好的社会和经济效益, 为其他大体积地下室结构施工提供了重要的参考。

参考文献:

- [1] 郑巍, 李厚波, 王懿晟, 等. 超长底板混凝土配合比设计与跳仓法有限元分析 [J]. 建筑施工, 2024, 46(02):164-168.
- [2] 庞程程, 付敏, 王刚, 等. 大型国际航站楼超长、大体积混凝土结构的跳仓法施工技术 [J]. 建筑施工, 2020, 42(07):1169-1170, 1177.
- [3] 余阳. 超长大体积混凝土结构跳仓法施工技术应用 [J]. 智能建筑与工程机械, 2024, 06(03):19-21.
- [4] 超长大体积混凝土结构跳仓法技术规程:DB11/T 1200-2015[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2015.
- [5] 霍喆赟, 杨超越, 王汉伟. 大底盘地下室底板跳仓法应用案例分析 [J]. 建筑结构, 2022, 52(S2):2912-2916.

水利工程施工中混凝土裂缝防治技术研究

罗晓峰

(阜阳市水利水电建设集团有限公司, 安徽 阜阳 236000)

摘要 在水利工程施工过程中, 混凝土施工是非常重要的, 受温度变化、水分变化、结构变形等各种因素影响, 混凝土极易产生裂缝, 混凝土裂缝直接关系到水利工程的结构稳定性以及功能可靠性。本文以混凝土裂缝防治为研究内容, 分析裂缝病害的具体形成原因, 并提出具体的防治处理措施, 旨在对尽可能规避混凝土裂缝所带来的风险有所裨益, 同时减少混凝土裂缝的出现。

关键词 水利工程; 混凝土裂缝; 防治技术

中图分类号: TV5

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.05.041

0 引言

目前, 在水利工程项目施工中, 混凝土裂缝是常见的质量病害, 受到材料、工艺操作、现场环境条件等因素影响, 混凝土结构硬化成型期间常形成一些表面裂缝和贯穿性裂缝, 影响了混凝土外观质量, 甚至引发结构渗漏等一系列问题, 缩短水工建筑物的使用寿命。为此, 应分析各类型裂缝产生的原因, 采取科学的混凝土裂缝的预防措施, 保障混凝土结构安全^[1]。

1 水利工程混凝土裂缝概述

水利工程混凝土调配中的胶凝材料和集料主要由水泥、砂和石等材料构成, 最后由水泥混凝土硬化形成水利工程混凝土。在水泥混凝土配制过程中, 通常需要不断调整水、集料以及其他添加剂的比例, 经过搅拌后, 在水分蒸发状态下水泥混凝土将硬化形成水利工程混凝土。水利工程混凝土内部产生的空隙和裂缝很可能在外部压力和温度变化的影响下呈现出不断扩大的趋势, 并且在后续发展过程中很难将这些裂缝进行黏合, 危及水工建筑物的结构稳定性, 使得工程在投入使用后产生严重的坍塌事故。在水利工程混凝土施工中主要涉及温度裂缝、塑性裂缝、沉降裂缝三种类型, 其中温度裂缝指结构混凝土内外部温差引起的不规律、不均匀裂缝; 塑性裂缝主要与风速、温度等影响因素有关, 并且这种裂缝分布呈现出中间宽、两端细的形式; 沉降裂缝大多以梭形的分布状态为主, 这种裂缝产生的原因在于地基土质松软且分布不均匀。这三种裂缝都会对水利工程项目的施工效果造成一定的影响, 甚至对整个工程的质量安全构成威胁, 因此, 现场施工人员必须对水利工程混凝土裂缝问题

给予足够的重视, 全面考虑水利工程混凝土裂缝产生的主要影响因素, 并针对具体的裂缝形式和特点采取相应的处理技术, 从而借助水利工程混凝土裂缝处理技术保障工程的整体质量。

2 混凝土裂缝的成因分析

2.1 塑性收缩裂缝

塑性收缩裂缝发生在混凝土初凝前的塑性状态下, 主要由表面水分蒸发引起。水分蒸发速率超过混凝土内部水分上浮补充速率时容易产生, 常见于大面积暴露的混凝土结构, 如路面、梁板等块体构件和大体积的混凝土结构等。裂缝呈网状分布, 深度一般不超过几厘米, 裂缝宽度可达 0.1~3 mm。高温、干燥、大风等恶劣气候条件加剧了塑性收缩裂缝的形成, 混凝土中水灰比过高、粉煤灰掺入量过大也会增加塑性收缩裂缝风险。塑性收缩裂缝虽然深度较浅, 但会影响混凝土的耐久性和美观性, 为后期更严重的裂缝埋下隐患^[2]。

2.2 温度应力裂缝

温度应力裂缝源于混凝土内外温差或温度梯度引起的不均匀变形。水泥水化热释放导致混凝土内部温度升高而表面温度较低, 产生温度梯度和应力。当拉应力超过混凝土抗拉强度时形成裂缝, 温度应力裂缝多呈贯穿性, 垂直于主应力方向, 裂缝宽度大小不一, 受温度变化影响较为明显, 冬季较宽、夏季较窄, 宽度可达 0.2~2 mm。混凝土浇筑温度过高、水泥用量过大、外界气温变化剧烈等因素会加剧温度应力裂缝的形成。大体积混凝土结构的冷却收缩也可能引起温度应力裂缝, 这类裂缝往往贯穿整个截面, 严重影响

结构的整体性和耐久性，需采取合理的配合比设计和温度控制措施加以防范。

2.3 配比因素

水利工程混凝土原料配比设计和控制直接影响着整个水利工程项目的施工质量，一旦混凝土原料出现质量方面的问题，就很可能威胁整个工程项目的使用质量和使用安全。但在水利工程施工过程中，有的施工单位并不重视原材料选购方面的工作，往往认为是商品砼厂家的事，在原材料配比调试过程中也未能严格遵守相应的操作规范，而水利工程施工又对这一过程提出了严格的技术操作要求。在混凝土原料调配过程中，相关工作人员很难精准把控各种水利工程材料、外加剂以及辅材的配比，因此在实际操作过程中，相关工作人员应认真研读施工图纸提供的设计要求，优先选用合规的商品混凝土，每次浇筑砼时派人员在商品砼生产厂家进行监督。在水利工程混凝土原料配制、搅拌过程中，还需要注重车辆运输环节可能发生的故障问题或水分含量过高等影响因素，最大限度地降低外界因素对水利工程混凝土质量造成的影响^[3]。

3 水利工程现场施工中的混凝土裂缝防治技术措施

3.1 混凝土原材料配比控制

对于水利工程混凝土施工中的水泥材料质量控制，现场施工人员不仅需要控制混凝土结构的力学强度，还需要控制粉煤灰、外加剂等掺合料的剂量，优先选择水化热程度相对较低的水泥材料，通过控制水泥水化热反应来降低混凝土内外结构之间产生的温差，从而有效预防水利工程混凝土结构产生收缩裂缝。根据水利工程工程施工方案选择原材料时，应优先选择性能、品质优良的钢筋混凝土材料，并在原材料使用前做好检测工作，确保混凝土材料不存在有机质或易腐蚀的杂质。与此同时，相关施工人员还需要选择良好的砂石材料，保证砂石材料可以与其他施工材料充分融合，利用科学的颗粒级配来调整混凝土结构的使用性能。在水利工程混凝土施工中的砂石材料选择方面，既需要保证砂石含泥量被控制在允许范围内，还需要在砂石材料级配过程中选择优质的粗骨料，同时结合现场施工的实际情况控制砂石材料搅拌的用水量，禁止向混凝土搅拌车中加水。此外，添加剂作为水利工程混凝土质量控制的重要材料之一，需要经过反复的掺配试验确定添加剂的用量，以此保证水利工程混凝土结构具有良好的和易性，并在后续的混凝土水化热

反应中有效抑制混凝土裂缝现象。

3.2 施工过程控制

在水利工程混凝土浇筑施工结束后，混凝土结构内部及混凝土表面仍存在不规则的裂缝，这种裂缝在相同水利工程混凝土施工区域内呈现出的形式不同，如部分区域内的裂缝相对较多，而其他区域的混凝土裂缝较少或者未产生裂缝。这一现象不仅与混凝土原料配比及混凝土本身的使用性能有关，在现场施工中还可能因施工工艺差异而影响混凝土结构的密实度及成型质量。针对于此，在水利工程混凝土浇筑施工中必须对整个施工过程进行管控，选择适合的施工方法减少水利工程混凝土裂缝。例如，商用混凝土在搅拌站出站前，即便各项工作性能已达到水利工程混凝土施工的实际要求，但将其运输到施工现场后，这些商用混凝土在泵送环节出现离析、堵管等问题，导致这类商用混凝土无法投入到施工现场使用。由于混凝土搅拌站与水利工程工程的施工现场之间仍存在一定的距离，并且不同工程项目所处的施工区域不同，因此在混凝土运输过程中搅拌罐车到达各地施工现场的时间不同。例如，C30混凝土初凝时间1 h，在混凝土凝结过程中必须保证搅拌罐车的运输时间被控制在4 h以内，优先选择距离施工现场最短的混凝土搅拌站，同时提前规划好搅拌罐车的交通路线，确保混凝土在凝结前被运输到施工现场。在交通运输路段选择方面，相关工作人员应尽可能在平坦的路段下完成整个运输工作，避免因车辆颠簸而引起混凝土离析的情况发生。在混凝土浇筑、振捣施工环节，这两项施工工艺都会影响大体积混凝土、梁板混凝土的成型质量。尤其在混凝土振捣时间不达标的情况下，不仅混凝土粗细骨料的密实度无法保证，混凝土结构内部的水分空气也无法及时排出，由此导致混凝土在硬化过程中出现蜂窝、麻面等不良情况。反之，混凝土振捣时间过长，又会引起水泥浆上浮、骨料下沉等现象，而混凝土经过硬化后，又会在骨料和水泥浆的交界处产生一层薄弱界面，从而在外部荷载作用下使得混凝土出现荷载裂缝。当混凝土入模后，相关工作人员应在振捣过程中灵活运用振动棒，在上一次混凝土出凝前开展下一次的混凝土浇筑工作，并在此过程中保证混凝土振捣操作的密实度。当混凝土浇筑施工结束后，相关工作人员还需要结合实际施工情况选择适合的混凝土养护方式，从而有效预防水利工程混凝土结构出现裂缝问题。在高温天气下，相关工作人员应提前采取相应的

预防措施，避免水利工程混凝土结构中的水分大量流失，甚至出现混凝土实体干缩的情况。一旦混凝土强度不达标，在收缩状态下混凝土结构表面很可能因无法抵抗拉应力而产生细小的裂缝。因此，在混凝土浇筑的后续施工中可以提前覆盖一层塑料膜，而相关工作人员则需要每隔 6 h 对混凝土表面洒水一次，确保混凝土结构的湿润度符合水利工程的施工要求^[4]。

3.3 优化混凝土的配比设计

优化混凝土配比设计是确保工程质量的关键步骤。首先，需根据混凝土的性能和技术指标要求，精准调整配合比，明确生产工艺参数及性能指标。施工前，通过模拟试验，观察不同砂率和水胶比对混凝土性能的影响，包括泌水、离析情况，以及表面光洁度和色差，最终由多方现场评定确定清水混凝土的配合比和原材料。为确保清水混凝土表面颜色一致，施工前需审核配合比，减少粉煤灰掺入量和外加剂种类，统一原材料厂家、产地、规格和颜色。同时，考虑工程环境，针对耐久性影响因素如抗碳化、抗冻害等进行配合比设计。在设计中，优先采用低水化热水泥，精选高强度、级配优异的粗骨料，添加粉煤灰、矿渣粉等高效矿物掺合料，辅以外加剂，共同降低混凝土绝热温升，抑制自缩与干缩，优化性能。对于饰面清水混凝土，采用双掺技术，合理设置水泥掺量和水灰比，避免使用高强度等级混凝土，以减少裂缝出现。这些措施共同构成了优化混凝土配比设计的完整策略，旨在提升工程质量，确保混凝土性能满足设计要求，为工程的长期稳定运行奠定坚实的基础。

3.4 混凝土养护控制

在水利工程混凝土施工的养护管理工作中，施工人员应根据工程项目的施工效果选择适合的混凝土养护方法和手段，特别是在混凝土浇筑施工中把控各环节可能潜在的安全隐患，从整体上增强结构混凝土结构的使用性能。在水利工程混凝土硬化、凝结过程中，相关工作人员应密切关注混凝土结构与水之间发生的理化反应，在水利工程施工的初期阶段创建良好的混凝土养护环境，确保其与混凝土结构的水化反应相适应。在水利工程混凝土浇筑施工完毕后，施工单位应指派专人负责混凝土养护工作，禁止混凝土养护工作出现风吹、雨淋、暴晒等情况，第一时间调整不利于混凝土养护工作的环境因素，在整个混凝土养护过程中预防干裂、异常收缩等问题。除此之外，相关工作

人员还需要及时对水利工程混凝土表面进行洒水喷雾，以此为水利工程混凝土施工提供适宜的湿度空间。目前较为常见的混凝土养护管理方式主要包括覆盖水养护法、浸水养护法、围水养护法等，在各种养护方法选择过程中需要充分考虑工程项目的施工要求以及混凝土结构的实际情况，有针对性地提高水利工程混凝土结构的施工质量。

3.5 混凝土内部结构温度控制

水利工程混凝土裂缝处理的关键在于控制混凝土结构的内外部温度，尤其在现场施工中必须做好混凝土裂缝防治工作，全方位管控混凝土内部结构温度。在水利工程混凝土裂缝处理过程中通常需要考虑各种影响因素，相关工作人员既需要客观分析混凝土结构的规格和型号，又需要结合工程设计选用特定类型的水泥材料，确保各项物料参数符合水利工程混凝土配制施工的实际要求，保证水利工程混凝土结构的内部温度处于稳步上升的状态。与此同时，在混凝土结构的水化热反应过程中还需要控制其中产生的热量，基于整体角度保障水利工程混凝土结构的施工质量，使得水利工程混凝土结构的内外温度处于平衡的状态，以免内外温差过大而产生严重的混凝土裂缝问题^[5]。

4 结束语

在工程施工中，防治混凝土裂缝是一项系统性的工程，需要从设计、施工到养护等多个环节入手，采取综合性措施。通过优化混凝土配比设计，合理控制温度裂缝，可以有效预防和控制混凝土裂缝的产生。希望本文提供的措施能为相关工程技术人员提供有益的参考，从而提升工程的总体效益和安全水平。

参考文献：

- [1] 石宝林. 水利水电工程施工中混凝土裂缝的防治技术研究[J]. 水上安全, 2023(15):28-30.
- [2] 赵士召. 探析水利工程施工中控制混凝土裂缝的技术[J]. 水上安全, 2023(02):181-183.
- [3] 阿合买提·哈司木. 水利工程施工混凝土裂缝成因分析及控制措施[J]. 城市建设理论研究: 电子版, 2024(03): 199-201.
- [4] 林家宇, 刘广华, 薛琦, 等. 水利工程中混凝土裂缝产生的原因及修复分析[J]. 内江科技, 2023, 44(10):68-69.
- [5] 杨军. 水利工程施工中混凝土裂缝防治策略探讨[J]. 大众标准化, 2023(23):34-36.

水文地质勘探在地下水污染修复中的应用研究

宁亚亚¹, 张生海^{2*}

(1. 海天地信科技有限公司, 山东 烟台 264000;
2. 山东省第三地质矿产勘查院, 山东 烟台 264004)

摘要 本文探讨了水文地质勘探在地下水污染修复中的应用, 概述了水文地质勘探的基本原理和方法, 并详细阐述了其在地下水污染识别、定位、修复方案制定与优化以及修复效果评价中的重要作用。研究表明, 水文地质勘探技术为地下水污染修复提供了科学依据, 对于提高修复工程的有效性和针对性具有重要意义。本文的研究成果旨在为地下水污染修复工作提供理论支持和实践指导。

关键词 水文地质勘探; 地下水污染修复; 污染源定位技术

中图分类号:P641; X52

文献标志码:A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.05.042

0 引言

地下水污染已成为全球性的环境问题, 对人类健康和生态系统构成严重威胁。水文地质勘探作为修复地下水污染的关键技术, 其应用研究对于保护地下水资源、实现可持续发展具有重要意义。本文探讨水文地质勘探在地下水污染修复中的应用, 分析其原理、方法及在修复过程中的重要作用, 以期为地下水污染修复提供科学依据和实践指导。

1 水文地质勘探技术概述

1.1 水文地质勘探的基本原理

水文地质勘探结合了地质和水文学的知识, 旨在理解地下水如何流动、储存, 并受自然和人为因素影响。地下水循环涉及地表与地下水的互动、流动路径和水质变化, 这些过程受地形、地质结构、气候和人类活动的影响。地下水的分布受地质构造、岩性和地形等因素限制^[1], 不同地区的水量差异显著。水文地质条件对地下水污染有显著影响, 污染物通过水流传播, 导致水质恶化, 且污染问题具有隐蔽性和治理难度。

1.2 地下水污染调查的水文地质勘探主要方法

针对地下水污染的调查工作, 水文地质勘探的方法显得尤为重要且需更加精细化和专业化。在物探方法方面, 电阻率法、电磁法(如瞬变电磁法)、激发极化法和地震映像法等因其非破坏性、高效性和成本

效益而备受青睐。电阻率法通过测量地下介质的电阻率差异来推断地下水污染情况; 电磁法则利用电磁场在地下介质中的传播特性来探测地下水污染, 瞬变电磁法能够探测到地下水中的导电性异常; 激发极化法则通过向地下施加电流并测量其极化效应来探测地下水污染; 而地震映像法虽然主要用于地质结构探测, 但在某些情况下, 其反射波信息也能间接反映地下水污染导致的地质结构变化。在钻探方法方面, 定向钻探和水文地质钻探是获取地下直接信息的重要手段, 前者可以精确控制钻探路径, 有效采集不同深度的地下水样用于后续水质分析, 后者则结合水文地质条件选择适当的钻探深度和角度, 以获取地下水位、水质以及地质结构信息。此外, 测试方法也是地下水污染调查中的重要环节, 包括水质分析、同位素测试和地下水动态监测等。水质分析能够评估地下水污染程度和类型; 同位素测试可以追踪地下水的来源、流动路径以及污染物质的迁移转化过程; 而地下水动态监测则通过设置监测井, 长期监测地下水位、水质以及地下水流量等参数的变化, 掌握地下水污染的动态特征, 为地下水污染防控和修复提供科学依据。

1.3 水文地质勘探在地下水污染修复中的重要性

水文地质勘探在地下水污染修复中发挥着举足轻重的作用。首先, 它为修复工作提供了科学依据与数据支持。通过勘探, 可以了解污染物质的来源、扩散路径以

*本文通信作者, E-mail: 690932393@qq.com。

及污染范围等信息^[2]，为制定科学合理的修复方案提供重要依据。同时，勘探过程中采集的水质数据还可以用于评估修复效果，为后续的修复工作提供指导。其次，水文地质勘探有助于降低修复成本，提高修复效率。在修复过程中，如果能够准确判断污染物质的扩散路径与污染范围，就可以有针对性地采取措施进行治理，避免不必要的浪费。此外，通过勘探还可以了解地下水的赋存状态与流动规律，为选择合适的修复技术与方法提供依据，从而提高修复效率。

2 水文地质勘探在地下水污染识别与定位中的应用

2.1 地下水污染识别方法

地下水污染的准确识别是启动并有效实施修复工作的基石。这一过程主要包括水质分析与污染指标筛选，以及污染源的初步判断与识别两大步骤。

1. 水质分析与污染指标筛选。水质分析是识别地下水污染的首要步骤，其精确性直接关系到后续修复工作的有效性。这一步骤涵盖了地下水样本的采集、妥善保存、安全运输以及细致的实验室分析。以某工业区为例，在该区域设置了 20 个采样点，确保采样点的布局能够全面反映整个污染区域的水质状况。实验室分析结果显示，其中 5 个采样点的地下水中重金属（如铅、镉）浓度超过了国家地下水质量标准中的 III 类水标准值，具体数据为铅浓度最高达到 0.15 mg/L（标准值为 0.05 mg/L），镉浓度最高为 0.015 mg/L（标准值为 0.005 mg/L）。同时，还检测到了挥发性有机物（如苯、甲苯）的存在，其浓度远高于背景值。这些数据清晰地表明，该区域地下水已受到重金属和有机物的严重污染，铅、镉以及苯系物成为关键的污染指标。

2. 污染源初步判断与识别。污染源的初步判断与识别对于地下水污染的修复工作至关重要。它依赖于对污染物类型、浓度分布特征、地质条件以及人类活动等因素的综合分析。以某工业区为例，结合实验室分析结果和现场调查资料，我们发现该区域地下水的重金属污染可能主要源于周边几家化工厂和电镀厂的废水排放。这些企业长期将含有重金属的废水未经处理或处理不达标直接排入地下，导致地下水受到严重污染^[3]。此外，有机物污染则可能与该区域农业施肥过量、生活污水未经处理直接排放至农田或河流有关。这些污水最终通过渗透作用进入地下水系统，造成了有机物污染。

2.2 污染源定位技术

污染源定位是地下水污染修复中的关键步骤，它

直接关系到修复方案的有效性和经济性。利用水文地质条件进行污染源追踪是一种有效的方法。水文地质条件对地下水的流动和污染物的迁移具有重要影响。因此，通过了解地下水的流向、流速、渗透系数等水文地质参数，可以推断污染物的迁移路径和扩散范围。在此基础上，结合污染源的类型和强度，可以进一步确定污染源的具体位置。这种方法尤其适用于那些具有明显迁移特征的污染物，如重金属、某些有机物等。污染物迁移路径模拟与预测也是污染源定位的重要手段^[4]。它利用数学模型和计算机技术，对污染物的迁移过程进行模拟和预测。这种方法可以考虑多种因素，如地下水流速、污染物浓度、地质结构等，从而更准确地反映污染物的迁移规律。通过模拟和预测，可以预测污染物的未来扩散趋势，为污染源定位和修复方案的制定提供科学依据。

2.3 污染范围界定

污染范围界定是地下水污染修复中的重要环节，它直接关系到修复工作的范围和成本。地下水水流场分析与污染扩散模拟是实现这一目标的有效方法。地下水水流场分析主要关注地下水的流动状态和运动规律。通过了解地下水的流向、流速、水位等参数，可以推断污染物的扩散趋势和范围，结合地质结构和污染物特性，可以进一步分析污染物的迁移路径和可能的影响区域。这些信息对于确定修复工作的重点和范围具有重要意义。污染扩散模拟则是基于数学模型和计算机技术对污染物的扩散过程进行模拟和预测。这种方法可以考虑多种因素，如地下水流速、污染物浓度、地质结构、化学反应等，从而更准确地反映污染物的扩散规律。通过模拟和预测，可以确定污染物的扩散范围和影响程度，为修复方案的制定提供科学依据。在确定污染范围后，还需要对污染区域边界进行确定和划分。这通常需要考虑多种因素，如污染物的浓度分布、地质结构、地下水流速等。通过综合分析这些因素，可以划定出明确的污染区域边界，为后续的修复工作提供明确的范围和目标。

3 水文地质勘探在地下水污染修复方案制定与优化中的应用

3.1 修复方案制定依据

地下水污染修复方案的制定是一个复杂而系统的过程，它必须建立在充分的水文地质条件与污染特征分析的基础之上。水文地质条件包括地下水的流向、流速、渗透性、含水层结构以及地质构造等，是决定污染物迁移路径和扩散范围的关键因素。通过对这些

条件的深入分析，可以更准确地理解污染物的分布规律，从而为修复方案的设计提供科学依据。污染特征分析则侧重于污染物的类型、浓度、分布范围以及其对环境和人类健康的潜在影响，包括对污染源的识别、污染历史的追溯以及污染物在地下水中的转化过程的研究。这些信息对于确定修复目标、选择合适的修复技术以及评估修复效果至关重要。在明确了水文地质条件和污染特征后，修复目标与技术路线的选择便成为修复方案制定的核心^[5]。修复目标通常包括降低污染物浓度至安全水平、恢复地下水水质至自然状态或满足特定用途要求等。技术路线的选择则需考虑修复效率、成本效益、环境影响以及长期可持续性等因素。常见的地下水污染修复技术包括抽出处理、原位修复、生物修复、化学氧化等，每种技术都有其适用的条件和限制。

3.2 水文地质勘探在修复方案优化中的作用

水文地质勘探在修复方案的优化过程中同样发挥着不可替代的作用。勘探数据不仅为修复方案的初步设计提供了基础，而且在方案实施过程中，这些数据还可以作为调整和优化修复策略的重要依据。根据勘探数据，可以更精确地确定污染物的迁移路径和扩散范围，从而有针对性地调整修复策略。例如，如果发现污染物在特定区域集中分布，可以采取更集中的修复措施，以减少不必要的成本和时间投入。

4 水文地质勘探在地下水污染修复效果评价中的应用

4.1 修复效果评价方法

地下水污染修复效果的评价是确保修复工作达到预期目标的关键环节。这一评价过程主要通过水质监测与数据分析，以及地下水恢复程度的评估来实现。

水质监测是修复效果评价的基础。它涉及对修复区域地下水样本的定期采集、保存、运输和实验室分析。监测指标通常包括主要污染物浓度、水质参数（如pH值、溶解氧、电导率等）以及可能的次生污染物。通过对比修复前后的水质数据，可以直观地评估修复措施对地下水质量的改善程度。数据分析则是将监测数据进行整理、统计和分析，以揭示水质变化的趋势和规律，包括对污染物浓度的变化趋势分析、水质参数的相关性分析以及不同监测点之间的空间分布特征比较等。通过数据分析，可以更深入地了解修复措施对地下水系统的影响，以及修复效果的稳定性和持久性。

4.2 水文地质勘探在评价中的作用

水文地质勘探在地下水污染修复效果评价中发挥

着至关重要的作用。它不仅为评价提供了基础数据与参数，还是验证修复效果与评估修复质量的重要依据。在修复效果评价初期，水文地质勘探数据为确定监测点的位置、监测频率以及监测指标提供了科学依据^[6]。这些数据有助于了解修复区域的水文地质条件，包括地下水的流向、流速、渗透性、含水层结构等，从而确保监测工作的针对性和有效性。在修复过程中和修复后，水文地质勘探数据还可以用于验证修复效果。通过对比修复前后的水文地质条件变化，如地下水流速、水位、水质参数等，可以评估修复措施对地下水系统的整体影响。同时，这些数据还可以用于评估修复质量，判断修复后的地下水水质是否达到预定目标或相关标准。

4.3 提高修复效果的评价策略

为了提高地下水污染修复效果的评价准确性和科学性，需要结合长期监测数据进行效果评估，并提出改进建议与后续管理措施。长期监测数据是评估修复效果稳定性和持久性的重要依据。通过持续监测修复区域地下水的水质变化，可以及时发现潜在的反弹或次生污染问题，从而采取针对性的措施进行干预。同时，长期监测数据还可以用于评估修复措施对地下水系统的长期影响，为后续的修复工作提供科学依据。

5 结语

通过本文的研究，深入了解了水文地质勘探技术在地下水污染修复中的应用价值。实践证明，水文地质勘探不仅为修复工作提供了重要的数据支持，而且在提高修复效率和效果方面发挥了关键作用。然而，地下水污染修复是一个复杂且长期的过程，需要不断优化勘探技术和修复方案。

参考文献：

- [1] 孙继平.水文地质勘察方法在找水工作中的应用[J].中国新技术新产品,2012(05):24.
- [2] 朱岩光.我国煤田水文地质问题及勘探技术方法分析[J].城市建设理论研究:电子版,2012(13):1-3.
- [3] 吕新荣.物探技术在地下水污染水文地质调查中的应用:以武鸣县南宁-东盟经济开发区五马归槽地下水污染为例[J].技术与市场,2011,18(08):139-140.
- [4] 郝志林,张全新.水文地质勘察中地下水的问题及有效应对措施分析[J].江西建材,2017(18):214.
- [5] 朱少宾.水文地质问题在工程地质勘察中的重要性及其危害[J].城市地理,2016(06):285.
- [6] 陈雪莲.试分析水文地质勘察中地下水的相关问题及应对措施[J].江西建材,2015(01):238.