

科海故事博览

KEHAI GUSHI BOLAN

(旬刊·1993 年创刊)

2025 年 7 月 第 20 期 (总第 609 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

编辑部主任：张琳玲

编辑：周 墨 官慧琪

运营：李瑞鹏 张娅玲

外联：秦 强 吴彩云

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 7 月 15 日

定价：人民币 15 元

版权声明：

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

目录Contents

科技博览

- 001 数控主轴电机复合故障的跨机诊断方法
.....程 旺，王治全，马志勇
- 004 风电场 SVG 设备高低压穿越能力研究与运用
.....宋 磊
- 007 电力工程技术在智能电网建设中的应用研究
.....蒲海平
- 010 高性能混凝土配合比设计优化及性能提升
.....胡恒源
- 013 全风化花岗岩改良土路基现场填筑施工关键技术
.....范 坤

智能科技

- 016 现代工程测量中多源数据融合技术研究
.....尹文浩
- 019 智慧供电系统在高速公路机电工程中的应用
.....刘国安
- 022 智能制造技术在机械制造行业中的应用与优化
.....张卫丰，张 鹏
- 025 机电安装工程中智能化控制系统的构建与实践
.....岳园松，孙乃冉
- 028 物联网技术在高速公路机电系统建设中的应用
.....党国强
- 031 智能监控技术在公路隧道施工安全管理中的应用探讨
.....李嘉玲

应用技术

- 034 风电工程土建施工桩基础技术分析
.....张志杰
- 037 绿色节能技术在建筑工程施工中的应用
.....于旭东，高莹莹
- 040 房建工程超长结构后浇带施工技术研究
.....陈国芬

目录Contents

043	房屋建筑工程大体积混凝土施工技术研究	史晋皖
046	深基坑支护技术在市政工程施工中的应用研究	王 拓
049	铝模体系桁架钢筋混凝土叠合板施工技术探析	黄 琦
052	市政道路施工中的路基土方工程施工技术分析	王二东
055	沥青混凝土道路施工技术在市政道路施工中的应用	何 扬
058	拼接加宽路基施工技术在公路改扩建工程中的应用分析	宗昌益

科创产业

061	耐摩擦机器人关节轴承研究	徐荣敬, 王 妍
064	EPC 模式下建筑工程施工质量控制研究	叶昊阳
067	一种小区集中车位的智能共享充电桩设计	单治磊, 上官贝贝, 王文文, 池禹志
070	新型建筑材料在建筑工程技术中的创新应用	田振兴, 崔熙泰
073	地铁盾构管片生产中的自动化设备应用研究	何玉斌
076	新能源风力发电站项目建设管理创新方式探索	姜文鹏
079	公路隧道施工安全风险管理的动态评估与应对策略	马文钊

技术管理

082	房屋建筑外墙防渗技术应用分析	赵一俐
085	建筑工程主体结构检测的内容与方法	李 柯
088	公路工程路基施工技术要点探讨	刘文兵
091	公路路基路面设计中的软基处理问题	林钦钞
094	水利渠道工程施工常见问题及解决措施	张文章, 张玉乐
097	市政工程施工中的地下管线施工技术分析	汤 兵
100	基于装配式建筑施工技术的工程施工管理探析	张海洋
103	基于绿色环保理念的市政道桥设计要点与案例分析	吴宇辉

科学论坛

106	水电站压力钢管焊接技术应用研究	汤正军, 杜 波
109	建筑工程施工中的绿色施工方法研究	许超志
112	建筑工程中防渗水施工技术应用研究	于 恒, 王秋凤, 陈东莉
115	垃圾焚烧发电厂干化仓盖板施工技术应用研究	邴 坤
118	高速公路机电工程电力监控系统的重要性研究	张瀚巍
121	高速公路桥梁施工中的高墩施工技术应用研究	田 言
124	水利工程用砂材料特性检测与混凝土强度关系研究	杨林翰, 王 胜

数控主轴电机复合故障的跨机诊断方法

程 旺, 王治全, 马志勇

(山东法因数控机械设备有限公司, 山东 济南 250100)

摘 要 由于各子系统的耦合性和个体差异, 数控主轴电机复合故障的跨机诊断是一项非常重要且具有挑战性的工作。本研究提出了一种用于跨机级个体诊断的现场故障诊断方法, 即插即用模块受到信号处理理论的启发, 被嵌入主流的基于卷积神经网络的模型中, 作为一种有效的工业诊断模型, 即多尺度时空残差神经网络。通过实验和对实际工业电机信号的可视化, 探索了这些新模块的内部机制, 表明基于多尺度时空残差神经网络的模型可以丰富多尺度特征提取能力, 并有利于单个相关特征的抗干扰。

关键词 主轴电机; 复合故障; 跨机故障诊断; 神经网络

中图分类号: TG659; TM343

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.20.001

0 引言

主轴电机系统的故障诊断对于计算机数控机床的加工质量和稳定性至关重要, 是电机制造商工厂检查和数控机床客户验收测试的重要环节^[1]。主轴电机是一种复杂的机械级旋转部件, 传统的维修和拆卸诊断由专业电机制造商完成, 成本高昂。目前的工业故障诊断主要依赖于专家使用昂贵的振动分析仪, 但基于信号处理只能诊断有限的单一故障类型, 机器级设备的耦合故障机理很难进行机理建模。机级电机的现场故障诊断与拆卸式故障诊断有很大区别, 更接近工程应用。主轴电机需要作为一个完整的系统在现场进行诊断, 而不是拆卸部件。建立一个用于批量拆卸和测试的测试台并不是一个理想的维护解决方案, 它会导致实时性差和昂贵的拆卸成本。主轴电机的多子系统耦合和固有振荡使其信号与工业噪声更为复杂^[2]。与故障相关的特征将被耦合和屏蔽, 不类似于实验室数据。本文仅限于一个实验电机包含人为机械故障的场景, 而不是来自生产线的工业故障样本。所建立的深度学习结构被认为是在没有考虑电机特性的情况下从图像处理中得到的一般模型。本研究没有考虑复合故障的解耦, 这些深度学习模型的分类器通常只使用一个热向量标签输出一个类别。

1 故障诊断的卷积神经网络

卷积神经网络是故障诊断的主流结构之一, 它起源于计算机视觉, 得益于其出色的参数共享机制来捕获空间特征信息^[3]。二维卷积神经网络一般是为处理多维数据而设计的。横向传播的二维卷积神经网络的每次运算不能同步处理全信道, 带来额外的计算成本。

卷积块注意力模块是图像处理中的一种轻量级即插即用架构, 是一种流行的技巧。卷积块注意力模块通过简单的二维卷积和池化操作自适应地提取输入特征掩码作为关注权重, 通常作用于两个维度: 像素空间维度和 RGB 通道维度。这种即插即用模块在经过一些自适应改进后, 引起了人们的关注, 并被应用于故障诊断领域。

胶囊神经网络是一种新的智能模块, 旨在取代卷积神经网络操作。与卷积神经网络相比, 胶囊神经网络不仅可以提取特征, 还可以学习特征之间的相关性^[4]。胶囊神经网络具有良好的空间相关特征提取能力, 在工业信号故障诊断中表现优异。工业信号被重构成图像格式或处理成时频图, 以适应胶囊神经网络。

2 基于多尺度时空残差神经网络的故障诊断方法

2.1 跨机诊断框架

基于多尺度时空残差神经网络的框架主要包括源诊断和跨机诊断。将装配电机的多路信号按照 7:2:1 的比例独立分割为 N 个深度学习样本作为训练集、验证集和测试集。多尺度时空残差神经网络使用来自部分运动个体的标记样本在源域上进行训练和测试, 以获得源域精度^[5]。训练后的多尺度时空残差神经网络直接对来自新电机的未见信号进行跨机精度评估, 并同步计算全局置信度、类别置信度。这一过程旨在进一步评估个体差异的抵抗能力, 作为初步的工程试验。

2.2 多尺度时空残差神经网络的结构

多尺度时空残差神经网络模型的结构包含四个即插即用模块, 即单向矩阵核卷积、时空残差卷积模块、时间胶囊模块和多尺度时空注意模块。单通道信号提

供的信息不足,因为在不同的方向上会随机出现异常冲击。传统的信号处理方法只能对每个通道信号独立处理,决策繁琐、耗时且成本高。此外,它很难提取不同信道信号之间的相关信息。在图像处理中,将单向矩阵核卷积内核的长度设置为16,比长度为3的小内核长。

时空残差卷积旨在从稀疏采样的启发下,从不同维度和频率提取多尺度特征,由三个具有不同时空参数的单向矩阵核卷积分支组成。深度特征提取会丢失部分断层特征,仅使用深维特征进行决策容易出现过拟合和梯度消失的问题,特别是对于原位信号的弱特征。通过加入残差模块,可以减少特征提取带来的固有损失,并提供更多的权值更新通道,提高模型性能。这种设计类似于集成学习,可以提供更全面和稳健的性能。

为了尽可能地提取空间相关特征并保持数据维度的一致性,设计了专门针对运动信号的带有单向矩阵核卷积的时间胶囊。多通道信号通过单向矩阵核卷积处理进入初步胶囊,无需任何额外的重塑。

基于单向矩阵核卷积设计了运动信号的多尺度时空注意,主要包括信道注意和时间注意,特别是对于两个注意操作,没有维度重塑操作,避免了不同通道维度之间的干扰。

残差模块旨在进一步提取特征和特征关联,并提供全面互补的特征提取功能。其主要结构由一个胶囊模块和一个单向矩阵核卷积的单向矩阵核卷积组成,其中为上层输出的通道数,数字胶囊数等于多尺度时空注意模块的输出长度。在本文中,两个剩余胶囊模块的数字胶囊数为32个,每个胶囊的特征维数为16。

3 多尺度时空残差神经网络方法验证

本节描述了原位电机数据集的实验设置,通过烧蚀实验和对比实验验证了所提出的多尺度时空残差神经网络方法的优越性。

3.1 实验设置和频率分析

实验装置包括20台数控机床组装的主轴电机、4个DYTRAN3055D6振动传感器、NIcDAQ-9189底盘和NI9231数据采集卡。这些故障主轴电机来源于不合格产品和客户。4个频率为25 600 Hz的振动传感器安装位置位于电机的风扇端和驱动端。所有电动机每分钟转1 000转。已知的机械故障是通过拆卸检查确定的,这主要是由轴承引起的。

包络分析作为一种有效的分析方法被应用到目前的工程实践中,包络分析对每个信道信号都进行分析。根据企业专家的咨询结果和厂家提供的诊断报告,诊

断是不准确和主观的。在大多数情况下,旋转频率只能在包络谱中找到。保持架故障频率等有限故障频率不规则地分布在9号电机第一、第三通道等不同通道中。然而,在拆卸后,我们发现在这些电机中还产生了一些其他故障,如9号电机的外圈故障,但从包络谱中无法获得相应的故障频率。此外,由于可以根据轴承参数计算故障频率,因此只能诊断轴承故障,而无法诊断转子错位等装配故障。

传统的频率分析方法无法准确诊断原位数控主轴电机。使用较少的专家知识开发基于深度学习的方法是必要的,也是有价值的潜在解决方案。从每台电机随机抽取1 000深度学习样本,并标记复合故障标签。每个样本的长度设置为5 120个数据点,即诊断间隔为0.2 s。主轴电机将为每个样品单元旋转至少三个周期,以确保足够的诊断信息。

3.2 多尺度时空残差神经网络的消融实验

考虑到工业故障诊断的实时性,多尺度时空残差神经网络网络结构的参数选择参考了主流卷积神经网络的规模保持轻量化的结构设计。采用相似的模型尺度进行实验验证是为了尽可能保证后续对比实验的公平性,验证结构设计和改进的有效性。确定并列出了数控主轴电机多尺度时空残差神经网络架构推荐的超参数。提出的多尺度时空残差神经网络模型在电机数据集上执行,训练阶段的批大小设置为64,在每个训练历元中应用Adam算法。在20个epoch中,学习率设置为0.002。通过烧蚀实验来评估这些即插即用模块的性能改进情况。时空残差卷积、时间胶囊和多尺度时空注意模块中的时空参数被经典模块取代,以保证提取的特征数量相同和比较的公平性。这些模型的代码是在intel(R)Core(TM)i710700CPU的计算机上使用TensorFlow2.6进行编译的。基于多尺度时空残差神经网络模型的消融实验结果如表1所示。这些结果是五次诊断实验的平均值,以保证实验的公正性。

所有多尺度时空残差神经网络模型的源域精度都接近100%,但代表泛化测试性能的跨机精度有所下降。多尺度时空残差神经网络—时空残差卷积、多尺度时空残差神经网络—时间胶囊和多尺度时空残差神经网络—多尺度时空注意的跨机精度分别为89.32%、81.68%和88.40%。所提出的多尺度时空残差神经网络方法达到了跨机精度的最高性能92.81%。可以看出,由于舍入损失参与评估,所有模型的全局置信度都低于准确率。经类别置信度评估,基于多尺度时空残差神经网络的模型在标签3、6和7的分类中具有较高的

置信度。由于所提出的即插即用模块被基本模块移除或取代，整体精度和置信度下降，验证了这些模块在提高多尺度时空残差神经网络整体泛化方面是合理有效的。

这些即插即用模块提高了模型的跨机精度和决策置信度，特别是时间胶囊。通过更全面的实验验证了多尺度时空残差神经网络方法的优越性，将多尺度时

空残差神经网络模型的结果与最先进的基于卷积神经网络的方法进行比较，包括基于训练干预的卷积神经网络、卷积神经网络、和多尺度残差融合卷积模型。源域的诊断几乎没有错误，对于训练集中看到的单个信号，深度学习的特征提取能力是非常充足的，多尺度时空残差神经网络具有最高的精度和最好的稳定性。仅靠源域验证不能保证对电机级电机的工业诊断满意。

表 1 基于多尺度时空残差神经网络模型的消融实验结果

方法	源域 精度	跨机 精度	全局置 信度	类别置信度									
				L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10
多尺度时空残差神经网络—时空残差卷积	99.97	89.32	86.39	83.2	82.71	96.26	92.03	93.28	96.24	96.36	85.73	65.78	72.34
多尺度时空残差神经网络—时间胶囊	100	81.68	74.84	54.56	69.98	92.37	73.45	78.86	92.19	92.68	75.70	50.53	68.06
多尺度时空残差神经网络—多尺度时空注意	99.99	88.40	84.33	70.27	79.29	96.96	89.82	88.49	96.62	96.89	91.06	62.31	71.59
多尺度时空残差神经网络	100	92.81	88.43	85.53	90.39	95.76	92.84	92.73	96.06	95.91	88.93	73.02	72.69

即使在同一类型和工作条件下，跨机诊断也是非常必要的。与现有的一些基于卷积神经网络的模型相比，所提出的多尺度时空残差神经网络具有最佳的跨个体泛化能力、复合故障解耦能力和竞争置信水平。

在实验数据的深度挖掘方面，本研究还对不同故障类型的特征分布进行了细致分析。从 20 台电机的样本数据来看，复合故障中轴承相关故障占比超过 60%，其中风机轴承内圈与外圈复合故障、驱动轴承保持架与内圈复合故障等出现频率较高。这些故障的振动信号在时域上表现为明显的非平稳性，在频域中则呈现出多峰值叠加的特征，传统傅里叶变换难以有效分离。

通过多尺度时空残差神经网络模型的特征可视化发现，对于转子错位等装配故障，其特征主要集中在中低频段（500 ~ 2 000 Hz），且在多个传感器通道中均有体现；而轴承保持架故障的特征则分布在高频段（8 000 ~ 12 000 Hz），具有较强的通道特异性。这一发现为后续针对特定故障类型优化传感器布置提供了重要依据。

此外，对比实验中还补充了极端噪声环境下的测试，当信噪比降至 10 dB 时，多尺度时空残差神经网络的跨机精度仍能保持在 85% 以上，充分证明了其强大的抗噪声能力。这得益于多尺度时空注意力模块对有效特征的动态聚焦，以及时间胶囊模块对空间相关性的精准捕捉，使得模型在复杂工业环境中仍能稳定工作。

4 结论

本研究提出了一种基于多尺度时空残差神经网络的数控主轴电机跨机故障诊断方法，该方法主要针对生产线上存在复合故障的主轴电机系统进行诊断，而不是针对实验室拆装部件进行诊断。即插即用模块的结构设计特别考虑了基于信号处理理论的复合故障解耦个体差异。此外，我们还对决策信心提出了一个新的信心概念，计算了基于精度舍入损失的新的置信度算子，进一步评价了模型的决策置信度。在实际工业电机数据集上的实验结果证明，多尺度时空残差神经网络方法优于一些先进的基于卷积神经网络的模型。

参考文献：

- [1] 许戴铭. 数控机床故障诊断及维护方法应用研究 [J]. 造纸装备及材料, 2024, 53(11): 49-51.
- [2] 黄科元, 蒋智, 黄守道, 等. 一种改进的永磁同步主轴电机速度估算方法 [J]. 中国机械工程, 2016, 27(07): 893-898, 938.
- [3] 陆纪培, 张斌, 陈国祥, 等. 微机控制步进电机变步距数控伺服主轴头 [J]. 电加工, 1991(02): 6-9.
- [4] 傅子霞. 数控机床滚珠丝杆故障诊断试验装置研究与实践 [J]. 中国设备工程, 2024(09): 167-170.
- [5] 张文艺. 基于数字孪生的电主轴故障诊断方法研究 [D]. 长春: 吉林大学, 2024.

风电场 SVG 设备高低压穿越能力研究与运用

宋 磊

(神华(故城)新能源有限责任公司, 河北 衡水 053000)

摘 要 大型风电提升无功补偿设备的安全稳定运行能力是保障电力系统运行安全的关键, 而提高无功补偿设备低电压穿越和高电压穿越能力是风电系统亟待解决的核心问题。本文研究了风电场 SVG 设备耐压耐频能力技术改造方法, 在控制系统软件、一次部分硬件、二次部分硬件等方面进行了技术升级改造, 旨在确保当电力系统中电网出现故障后 SVG 内部控制链路中关键模块的直流母线电压始终处在正常状态, 进而改善系统电压突变的设备耐压能力。

关键词 风电场; SVG; 高低电压穿越

中图分类号: TM614; TM761.12

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.20.002

0 引言

随着风电并网规模的扩大, 风电涉网性能改造是适应网源结构及电网运行方式变化、提升并网安全水平的必然要求。在双碳目标的大背景下, 风电场的建设规模快速增长, 虽然风电场能够在不同工况下达到标准规范的技术要求, 但并网性能与新技术要求之间仍存在很大差距, 无法适应网源结构及电网运行方式变化, 因此必须开展风电场高穿性能改造工作。

1 研究背景

本项目拟以某风电场 SVG 设备为研究对象, 研究风电场 SVG 设备的高低电压穿越及耐频能力的技改方法, 实现风电场 SVG 设备的耐压耐频功能。常规状态下, 电网运行发生电压扰动异常时, 对 SVG 设备的主要影响 SVG 功率部分链节的直流过压, 控制部分电源系统异常, 使得 SVG 无法正常工作, 进而无法为系统提供故障恢复所需的无功和电压支撑^[1]。为提高风电场设备发生故障时电力系统的电压恢复能力, 确保风电场设备具有较强的稳定性与抗扰能力, SVG 装置需提高故障高电压穿越能力, 通过风电场高穿改造可以提升无功补偿设备的安全稳定运行能力, 既能满足电网安全运行的要求, 也能改善风电场的适应性和可靠性^[2]。

2 风电场 SVG 设备改造方案

2.1 高电压穿越 HVRT 改造方案

首先需要增强 SVG 装置的绝缘耐压能力, 保证其内部各级功率模块在故障或电网扰动工况下直流母线电压能够承受最大正常电压阈值^[3]; 其次需要升级 SVG 控制系统, 确保在电网故障工况下, 控制链路中各功

率模块的直流电压不超过安全阈值。具体整改措施有以下几个方面:

1. SVG 设备一次部分(主电路系统): SVG 设备的一次部分应以不低于 1.3p.u. 耐压等级作为首要条件, 并全面核算 SVG 成套装置中一次设备的交流耐压性能, 包括隔离开关、连接变压器、串联电抗器以及本体绝缘件等关键部件, 确保其在系统最大运行电压和异常工况下具备足够的绝缘裕度与冲击耐压能力。同时, 需结合 SVG 感性出力工况, 准确评估各功率链节的直流母线电压耐受能力, 并分析在高电压冲击扰动下的电压波动特性, 为后续控制策略优化与保护配置提供依据。

2. SVG 设备二次部分(保护系统): 在高电压扰动工况下, 应按照按不低于 1.35p.u. (额定相电压的 135%) 的暂态过电压水平对其控制系统及冷却系统的二次供电回路进行过电压耐受能力核算; SVG 设备控制系统中的电压采样单元(PT 电压采样回路)亦应按不低于 1.35p.u. 电压耐受等级进行设计与测试, 确保其高电压冲击情况下具备足够的绝缘强度与测量精度, 从而避免电压异常引发的保护误动或测量偏差。

3. SVG 设备的控制系统: SVG 系统的过压保护定值按照 1.3p.u. 设计和测试; SVG 控制系统应具备对本体功率模块直流母线电压的实时监测与调控能力, 确保其在电网故障期间(特别是高电压扰动工况下)始终运行在设定的正常电压阈值内, 系统应提升对高电压事件的快速检测与识别响应能力, 并能在短时间内切换至感性无功输出模式, 以主动吸收电网多余无功功率, 从而增强整个风电场的高电压穿越能力(HVRT), 确保其在暂态电压升高期间实现连续稳定并网运行(见表1)。

表 1 SVG 设备 HVRT 主要参数和整改措施

类别	部件名称	整改标准
一次部分	功率模块 耐压核实	一次功率部分按照不低于 1.3p.u. 设计,并确保整体系统在高电压扰动工况下,满足相关设备规定的连续运行时限,现场为常规 35 kV 降压式设备每相 12 个模块,满足高低穿要求,不需要额外增加功率模块
系统采样部分	PT 输入测量 范围精度	PT 输入过压采样需按照最高电压不低于 1.35p.u. 设计;PT 输入是否磁饱和待核实,并满足以上设备整体低电压穿越运行时间要求
软件控制部分	直流电压 控制策略	系统高电压冲击时,通过提升 SVG 直流电压的动态调控能力,可有效抑制故障期间的直流过压风险,保障设备稳定运行,并满足 SVG 系统在高电压穿越工况下的持续运行时间要求
	控制保护定值	在高电压扰动工况下,应确保 SVG 设备满足整体穿越运行时间要求,同时避免因暂态电压波动引发保护误动作,全面满足继电保护系统在可靠性与选择性方面的技术规范

2.2 低电压穿越 LVRT 改造方案

在低电压扰动工况下,SVG 设备易出现功率模块直流电压超限问题,首要任务是提升模块链节对直流母线电压的耐受等级,从硬件设计层面增强其低电压穿越能力^[4];其次需升级 SVG 控制系统,在故障扰动工况下,必须通过合理的控制策略和硬件设计,确保控制设备各链节模块的直流电压运行不超出其安全耐受范围。整改具体措施如下:

(1) SVG 设备一次部分:应开展 SVG 功率链节的直流电压耐受能力计算,评估在电网高电压冲击工况下其直流侧的电压波动范围与承压能力,确保模块不因过电压失效;核算 SVG 设备在低电压极端容性无功输出工况下的电流承载能力,防止因输出电流超限触发本体过流保护,导致设备跳闸或闭锁,影响故障穿越和系统无功支撑能力。(2) SVG 设备二次部分:对 SVG 的主控装置在低电压穿越过程中系统的 PT 电压采样范围精度等进行核算。(3) SVG 设备控制系统:SVG 装置的低电压保护定值按照 0.2p.u. 设计和测试;SVG 控制系统必须具备对本体功率模块链节直流母线电压的实时调控能力,确保其在故障期间运行于正常电压阈值内,同时实现控制逻辑的快速切换,在短时间内投入最大容性无功出力模式,为电网提供必要的无功支撑,从而提高风电场整体的 LVRT 穿越能力。

3 风电场 SVG 设备改造主要措施

本次技术升级是根据相关规范和标准,对 SVG 硬件部分进行更换或改造,软件部分升级为高低电压穿越匹配程序。

3.1 控制系统升级

1. 新的主控板卡升级为三核架构,具有运算速度高、稳定性强的优点,通过瞬时无功控制算法可在 5 ms

内完成控制计算,系统响应时间 ≤ 10 ms。

2. 新的主控板卡增加通信数据预处理模块及电路,可实现模拟量高速实时处理,精度高、响应快,能够满足高电压穿越时的调节要求。

3. 新的主控板卡对芯片升级,扩展芯片数据容量及处理速度,提升数据处理和响应速度,确保电压异常波动时的快速响应要求。

4. 新的主控板卡提高了硬件电压突变耐受能力,满足高压穿越时的稳定控制要求。

3.2 升级互感器板卡

1. 新的互感器板卡升级为 INTEL 高性能 FPGA 芯片,通过 16 位同步转换 AD 芯片实时采集进线电压、进线电流、同步电压、SVG 输出电流,并发送至主控板卡,具有采集精度高、同步性高的优点。

2. 新型互感器板卡集成滤波芯片以增强线路抗干扰能力,同时采用高精度信号采集电路,在采样精度与响应速度方面实现全面升级,从而有效满足控制系统在耐频、耐压工况下的运行要求。

3. 新的互感器板卡数据采集具有更大的带宽和小信号线性度,确保控制系统在系统发生故障暂态或低电压时的采样精确度。

3.3 升级开入开出板卡

1. 新的开入开出板卡升级为 4 层电路板设计,规避电压和频率异常时的系统干扰,可以适应现场各种恶劣电磁环境的要求。

2. 新的开入开出板卡增加开入开出通道,用于扩展信号判断,提高了高穿信号响应速率。

3. 新的开入开出板卡提高了对功率单元电压的监控与调节能力,具备基于并网点电压波动自动调节无功功率输出的能力,可有效参与电压稳定控制,起到

稳定快速电压的作用,同时可增强 SVG 对系统电压异常波动的抵抗能力,实现高电压穿越时的稳定运行。

4 升级光纤板卡

1. 新的光纤板卡采用 INTEL 高性能 FPGA 芯片,可同时处理多达 21 路通信数据,可迅速识别出功率单元通信中断、驱动模块故障、直流过电压、IGBT 过温、IGBT 损坏等故障,确保 SVG 设备的稳定运行。

2. 新的光纤板卡增加了加密解码模块,可有效规避在电压频率异常时的数据丢帧现象,确保数据收发更加稳定可靠。

3. 新的光纤板卡更换了高速收发模块,提高数据传输实时性和稳定性,满足高穿时的控制要求。

5 软件程序升级

升级措施:更新为最新耐频耐压程序。

1. 升级为具有耐频耐压功能的控制程序,含 DSP 控制程序、FPGA 算法加速模块、显示程序等,以匹配高低电压穿越控制功能。

2. 新控制程序在配合硬件升级的基础上,提高了系统的采样速率与通信总线传输效率,可显著提升设备对并网点高低电压暂态故障的响应速度与调控精度,增强电网扰动下的适应性与稳定性。

3. 新控制程序新增电网故障工况下的运行控制功能,在对电网故障类型及特征进行实时分析的基础上,采用适当的序分量控制策略,确保 SVG 装置在故障期间直流侧功率平衡、避免因过压或能量冲击引发跳闸。同时,依据并网点电压标幺值的变化情况,动态调节无功输出容量,有效支撑系统电压的恢复,提升故障穿越能力^[5]。

6 功率单元升级

升级措施:功率单元板卡升级。

1. 将每套 114 个功率单元内部驱动板进行升级,并增加 3 个功率单元,满足高低电压穿越时的均压要求,使其拥有高低电压穿越的能力。

2. 驱动板升级后采用 INTEL 高性能 CPLD 芯片通过光纤收发器与控制装置通信,确保能够准确、可靠地控制 IGBT,使 SVG 稳定运行。

3. 驱动板升级后采用安华高 IGBT 驱动专用光耦,提高控制精度和响应速度,满足高电压穿越时的硬件电压耐受能力。

7 升级改造效果

本次技改升级之后,增加了 SVG 对电压突变的耐受能力,设备完全可以适应当前电网系统电压波动,满足耐频耐压要求^[6]。并对升级后的 SVG 设备进行了

无功补偿装置故障穿越功能测试试验,试验采用高低压穿越模拟信号源模拟场站并网点 PT 二次电压信号,并发送给场站无功装置测量单元。试验结果表明,升级后设备在高低压穿越期间均能不间断并网运行,并按要求正确响应,具备动态无功支撑能力。

设备改造后,满足《电力系统网源协调技术规范(DL/T 1870-2018)》和《国家电网有限公司关于印发十八项电网重大反事故措施(修订版)的通知(国家电网设备【2018】979号)》等规范文件中的要求。当风电场并网点电压跌落至标称电压 0.2 p.u. 时,SVG 设备应能够持续运行不少于 625 ms,且不得脱网。当电压在发生跌落 2 s 内恢复至不低于标称电压 0.9 p.u. 时,SVG 设备应确保全过程持续并网运行,不得出现跳闸或闭锁。

8 结束语

本文分析了风电场 SVG 设备高低电压穿越能力的研究与运用,明确了 SVG 设备可对风电场并网点的电压提供有力支撑,在电网电压波动时快速调节无功功率,维持并网点电压稳定。其高低电压穿越能力可确保风电场在电网故障(如电压跌落或骤升)时保持连接,避免大规模脱网,从而确保系统的正常运转。风电场涉网性能改造具有客观现实需求以及一定的技术前瞻性,可以显著提升风电场的并网运行性能,有助于增强电网对波动性电源的适应能力,提升系统灵活性和安全冗余水平,进一步推动新能源高效利用与规模化接入,未来可进一步结合智能算法与数字化技术深化其功能拓展。

参考文献:

- [1] 李思宇,方磊,张保平,等.电网末端风电场 SVG 设备高低压穿越功能改造与测试[J].电工技术,2020(22):56-58.
- [2] 马婷婷,邓王博.基于 SVG 的直驱风电场次/超同步振荡影响因素分析[J].太阳能学报,2023,44(10):339-345.
- [3] 安静雨,袁帅,宋坤.风电场 AVC 系统无功分配方法的探讨[J].电力设备管理,2024(01):84-86.
- [4] 王斌.某风电场 35kV 干式空心电抗器起火事件分析及处理[J].风能,2023(01):94-95.
- [5] 郑泽天,沈沉,严璠,等.直驱风电场多电压源型变流器控制耦合引发振荡的机理分析[J].电力系统自动化,2023,47(17):14-26.
- [6] 陈继开,郝鑫,常旗峰,等.考虑 SVG 控制模式的风电场系统中频谐振分析与抑制[J].电力自动化设备,2023,43(09):39-46.

电力工程技术在智能电网建设中的应用研究

蒲海平

(西北(西安)电能成套设备有限公司, 陕西 西安 710054)

摘要 随着全球能源需求的不断增长和环境保护意识的日益增强, 传统电网面临着供电可靠性、电能质量和节能减排等诸多挑战。智能电网作为一种现代化的电力网络解决方案, 通过集成先进的信息技术、通信技术、传感技术和控制技术, 实现了电力系统的智能化管理。本文主要介绍了新能源并网技术、高压直流输电技术、特高压输电技术、配电自动化、电力调度与控制等技术在智能电网中的应用现状和发展趋势, 以期为显著提高智能电网的性能提供借鉴, 进而为实现更加可靠、高效和可持续的电力供应奠定坚实的基础。

关键词 智能电网; 电力工程技术; 电能质量; 能源转换

中图分类号: TM76

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.20.003

0 引言

随着经济的发展和人口的增长, 对电力的需求持续上升, 这给现有的电力系统带来了前所未有的压力。与此同时, 环境问题也日益突出, 传统的化石燃料发电方式导致了大量的温室气体排放, 加剧了气候变化的风险。面对这些挑战, 发展更加智能、高效和环保的电力系统成为必然选择。智能电网作为新一代电力系统的核心, 通过引入先进的信息技术和自动化手段, 实现了电力传输、分配、消费全过程的智能化管理。智能电网不仅能够优化电力资源配置, 降低能源消耗, 还能够提升电力供应的可靠性, 增强安全性, 促进可再生能源的有效利用。因此, 研究和推进智能电网建设不仅是电力行业发展的必然趋势, 也是实现经济社会可持续发展的关键环节。

1 智能电网概述

1.1 智能电网的基本概念

智能电网是一种现代化的电力网络, 它通过集成先进的信息技术、通信技术、传感技术、控制技术和电力工程技术, 实现了电力系统的智能化管理。与传统电网相比, 智能电网不仅能够更有效地进行电力传输和分配, 而且还能实时监控电网状态, 优化电力资源的配置, 提高供电可靠性和电能质量。智能电网的核心在于其具备自愈能力, 即在遇到故障时能够自动识别问题并采取措施恢复正常运行, 同时它还支持双向通信, 使得电力公司与用户之间可以实现信息互动, 促进节能减排和可持续发展。

1.2 智能电网的组成模块

智能电网由多个关键组件构成, 共同确保电力系统的高效运行与管理。首先是发电部分, 包括传统的

火力和水力发电站以及新兴的太阳能电站和风力发电场等可再生能源设施; 其次是输配电网络, 它由高压输电线路、变电站及配电网组成, 负责将电力从发电站传输到用户端。高级计量基础设施(AMI)作为智能电网的重要组成部分, 通过智能电表及相关通信技术实现对电力使用的精确计量和实时监控。通信网络则为整个电网提供了数据交换的基础, 使得各个组件能够相互通信和协调工作。此外, 信息系统处理并分析收集到的数据, 支持电网的优化决策。最后, 用户端应用允许消费者参与到能源管理系统中来, 提供诸如智能家居设备和能源管理应用程序等工具, 使用户能够更好地了解和控制自身的能源使用情况。这些模块无缝衔接, 构成了一个智能化、自动化的现代电力网络^[1]。

1.3 智能电网的作用与发展现状

智能电网可以显著提高供电可靠性, 减少停电时间和频率, 保证电力供应的连续性。智能电网有助于整合大量分布式能源资源, 特别是可再生能源, 从而推动清洁能源的发展。智能电网还可以改善电能质量, 降低损耗, 增强电网的安全性和稳定性。目前, 全球范围内正在加速推进智能电网建设, 各国政府和企业纷纷加大投资力度, 开发新技术和新产品。在我国, 随着特高压输电技术取得重大突破, 智能电网建设已经步入快速发展轨道, 并在提升国家电网的整体性能方面取得了显著成就。

2 电力工程技术在智能电网建设中的应用价值

2.1 提升供电智能化水平

提升供电智能化水平极大地增强了电力系统的灵活性和响应能力。首先, 智能电网通过实时监控和数据分析, 能够更精准地预测负荷变化趋势, 从而优化

发电计划和资源分配,确保电力供应的稳定性和可靠性;其次,智能化技术使得用户能够更加主动地参与到能源管理中。例如:通过智能电表获取详细的用电信息,了解自身的消费模式,并据此调整用电行为以节省开支。这种双向互动还促进了分布式能源的有效整合,包括太阳能、风能等可再生能源,进一步提升了电网的灵活性和可持续性。

2.2 改善电能质量

改善电能质量是智能电网建设中的关键目标之一,其应用价值显著。高质量的电能对于保障各种电气设备的安全运行至关重要,尤其是对电压稳定性、频率偏差及谐波失真敏感的精密设备而言。良好的电能质量不仅能延长设备使用寿命,还能减少因电力波动导致的生产中断或数据丢失等问题,提高工业生产的连续性和效率。同时,在接入大量间歇性可再生能源的情况下,维持稳定的电能质量有助于增强整个电力系统的适应性和抗干扰能力,为实现清洁能源的大规模利用提供了坚实的技术支撑^[2]。

2.3 增强电能计量准确性

增强电能计量的准确性在智能电网建设中具有显著的应用价值。首先,精准的电能计量有助于确保电费计算更加公正透明,避免了因传统计量方式精度不足而导致的计费争议。这不仅提升了用户对电力服务的信任度,也为电力公司提供了可靠的收入基础;其次,通过准确计量用户的用电数据,可以更有效地识别电网中的损耗点,从而优化电网运行效率,减少不必要的能源浪费。

2.4 推动节能环保理念

一方面,智能电网支持更多清洁能源,如太阳能、风能等分布式能源的接入,减少了对传统化石燃料的依赖,有效降低了温室气体排放。另一方面,智能电网通过先进的能量管理系统根据实时电价信号自动调整负荷,鼓励用户在非高峰时段增加用电,这种需求侧管理策略有助于平衡电网负荷,提高整体能源利用效率。

3 电力工程技术在智能电网中的具体应用

3.1 能源转换技术的应用

1. 新能源并网技术的应用。随着可再生能源的发展,新能源并网技术成为实现这些清洁能源高效接入电网的重要手段。新能源发电具有间歇性和不确定性,这对传统电网构成了挑战。新能源并网技术通过采用先进的电力电子变换器,可以将不稳定且变化频繁的直流电或交流电转化为适合电网传输的标准频

率和电压等级的电力。此外,智能逆变器技术不仅能够提高新能源发电系统的效率,还能增强其对电网波动的适应性。基于大数据分析和人工智能算法的预测模型也被应用于预估新能源发电量,以便更好地规划电网调度策略,确保电力供应的稳定性^[3]。

2. 高压直流输电(HVDC)技术的应用。高压直流输电技术在长距离、大容量电力传输以及不同频率或制式的电网互联方面展现出了显著优势。相较于传统的交流输电系统,HVDC输电系统能够减少线路损耗,并允许更有效的跨区域电力传输。尤其是在连接远离负荷中心的大型风电场或太阳能电站时,HVDC技术能够提供更为经济高效的解决方案。此外,HVDC输电系统还具备良好的可控性和灵活性,能够在不影响现有电网结构的情况下实现与不同国家或地区电网的安全连接。近年来,随着技术的进步,HVDC系统的成本逐渐降低,可靠性不断提高,这为其在智能电网中的广泛应用奠定了坚实的基础。

3.2 电网输电技术的应用

1. 特高压输电技术的应用。特高压输电技术是使用电压等级为 ± 800 千伏及以上的直流输电或 $1\,000$ 千伏及以上的交流输电技术。这种技术主要用于远距离、大容量的电力传输,具有显著减少输电损耗、提高传输效率的优势。随着我国在特高压输电技术上的突破与应用,它已经成为智能电网中实现跨区域电力调配的关键手段之一。特高压输电能够有效解决能源分布不均的问题。例如:将西部丰富的水电、风电资源高效地传输到东部负荷中心地区,不仅促进了清洁能源的大规模开发利用,还加强了不同地区之间的电力互济能力。特高压输电技术的发展,使得长距离电力输送变得更加经济和高效,为构建更加环保和可持续发展的电力系统提供了强有力的支持。

2. 直流输电技术的应用。相较于传统的交流输电方式,直流输电在长距离电力传输上表现出更低的损耗率和更高的传输效率。直流输电技术特别适用于海底电缆输电以及不同频率电网之间的互联,如连接孤立的岛屿电网或跨国界的电力传输项目。该技术还可以用于增强现有交流电网的稳定性和可控性,通过提供快速的功率调节功能来缓解由于可再生能源间歇性带来的电网波动问题。

3.3 智能监测与控制技术的应用

1. 高级量测基础设施(AMI)的应用。高级计量基础设施是智能电网的重要组成部分,它包括智能电表、通信网络和数据管理系统等组件。AMI允许电力公司和用户之间进行双向通信,不仅能够精确记录用户的用

电量,还能向用户提供详细的能耗信息,帮助他们更好地理解自己的用电模式并采取节能措施。此外,AMI还支持远程抄表、实时电价通知等功能,有助于优化负荷管理,减少高峰时段的电力需求。对于电力公司而言,AMI提供的实时数据分析可以识别电网中的潜在问题,如异常耗电或设备故障,从而及时采取措施预防停电事故的发生^[4]。

2. 配电自动化的应用。配电自动化是指利用现代信息技术和控制技术对配电网进行监控和管理的过程。它包括馈线自动化、变电站自动化和分布式能源资源管理等方面。通过安装传感器和控制器,配电自动化系统可以实时监测电网状态,并根据需要自动调整开关设备的状态以隔离故障区域,恢复非故障区域的供电,大大缩短了停电时间。此外,配电自动化还可以优化电压调节和无功功率补偿,改善电能质量,提高供电可靠性。随着越来越多的分布式能源接入配电网,配电自动化在协调传统发电与新能源发电方面的作用也越来越重要。

3. 电力调度与控制的应用。电力调度与控制是确保整个电力系统安全稳定运行的关键环节。智能电网采用先进的电力调度与控制系统,能够基于实时数据做出快速而准确的决策。这些系统利用大数据分析、机器学习算法等先进技术预测负荷变化趋势,评估系统稳定性,并制定最优的发电计划和调度策略。例如:在应对可再生能源间歇性带来的波动时,电力调度中心可以通过灵活调整各类电源的输出比例,保证供需平衡。同时,电力调度与控制系统还负责协调跨区域能源传输,提高资源利用效率。智能化的电力调度与控制不仅能提升电网的运行效率,还能增强其应对突发事件的能力,为构建更加可靠、经济、环保的未来电力系统提供保障。

3.4 系统运行自动化保护技术的应用

1. 分布式控制技术的应用。分布式控制在智能电网中的应用旨在提高系统的灵活性和鲁棒性,使电网能够更有效地应对各种复杂情况。分布式控制系统通过网络中部署多个控制节点,实现对电力系统各部分的精细化管理。每个节点都能独立执行特定的任务,并与其他节点进行信息交换以协调操作。在智能电网中,分布式控制技术被广泛应用于负荷管理、分布式能源资源整合以及微电网运行等领域。当电网发生局部过载时,附近的分布式控制器可以迅速调整本地负荷或增加储能设备的输出,从而避免了更大范围的停电事故。此外,随着越来越多的家庭和企业安装了太阳能板和其他形式的可再生能源发电装置,分

布式控制技术也成为优化这些资源利用效率的关键手段,通过动态调节各个分布式电源的输出功率,在确保电网供需平衡的同时最大化清洁能源的使用比例^[5]。

2. 远程监控技术的应用。远程监控技术使得电力公司能够在任何时间、任何地点对其电网进行全面监测和控制,极大地提高了运维效率和服务水平。借助先进的传感器、通信技术和数据分析平台,远程监控系统可以实时收集电网各个环节的数据,包括电压、电流、频率等参数,以及设备状态和环境条件等信息。这些数据经过处理后,可用于预测可能发生的故障,提前采取措施防止事故发生;或者在故障发生时,帮助技术人员快速定位问题所在,制定有效的修复方案。

远程监控技术的一个重要应用场景是在维护偏远地区的输电线路和变电站方面。以往,这些地方由于地理位置偏僻,现场检查困难且成本高昂。而现在,通过部署无人机、机器人巡检等远程监控设备,结合高清摄像头、红外热成像仪等传感装置,工作人员无需亲临现场即可完成巡检任务,既节省了时间和费用,又降低了人员风险。在紧急情况下,如自然灾害发生后,远程监控系统还可以帮助评估损害程度,指导抢修工作优先级排序,加快恢复供电的速度。

4 结束语

智能电网的建设背景源于对传统电网在供电可靠性、电能质量及环境保护方面不足的深刻反思,其意义在于通过集成先进的信息技术、通信技术、传感技术和控制技术,实现电力系统的智能化管理。本研究详细介绍了新能源并网技术、高压直流输电技术、特高压输电技术、配电自动化等电力工程技术在智能电网建设中的应用现状和作用。这些技术不仅可以显著提升智能电网的整体性能,也为解决当前电力系统面临的挑战提供了切实可行的方案。

参考文献:

- [1] 孔德育. 电力工程技术在智能电网建设中的应用研究[J]. 科技资讯, 2025, 23(01): 76-78.
- [2] 于金梅, 惠裕. 智能电网建设中电力工程设备安装管理与技术研究[J]. 光源与照明, 2025(02): 231-233.
- [3] 伍捷怡. 智能电网建设中电力工程技术的应用分析[J]. 电工技术, 2024(S2): 406-408, 411.
- [4] 沐影, 武成慧, 曹灵, 等. 智能电网建设中机电工程技术运用研究[J]. 电力设备管理, 2025(08): 200-202.
- [5] 戴虹, 钟山. 智能电网建设中电力工程设备安装关键技术研究[J]. 流体测量与控制, 2024, 05(06): 99-102.

高性能混凝土配合比设计优化及性能提升

胡恒源

(四川路航建设工程试验检测有限公司, 四川 成都 610000)

摘要 为了优化高性能混凝土的配合比设计,本研究分析了原材料选择、水胶比控制及外加剂使用等关键要素,并探讨了矿物掺合料的二次水化、纤维增强技术及养护措施对混凝土性能提升的影响,旨在为高性能混凝土的生产与应用提供可靠的设计优化指导和性能提升方案参考。研究表明,优选高强水泥和合理级配骨料能显著改善混凝土基体性能;降低水胶比并采用功能性外加剂可大幅提高混凝土密实度和耐久性;矿物掺合料的二次反应和纤维材料的引入可有效增强混凝土抗裂性和抗冲击性;优化养护制度可进一步保障混凝土的长效性能表现。

关键词 高性能混凝土; 配合比; 设计优化; 性能提升

中图分类号: TU528

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.20.004

0 引言

随着建筑行业的快速发展,传统混凝土已难以满足复杂多变的工程要求。高性能混凝土通过精细的骨料配置和恰当的养护条件,提高材料的均匀性和抗压强度。然而,高成本 and 环境影响限制了其广泛应用。因此,本研究致力于优化配合比设计,探索使用工业副产品和废弃材料替代部分水泥,以降低成本并提升环保性能,对于推动建筑行业可持续发展具有重要意义。

1 高性能混凝土配合比设计优化的关键要素

1.1 原材料的优选与质量控制

高性能混凝土的配合比设计优化首先需要从原材料入手,确保使用的原材料质量优异且性能可靠。水泥作为混凝土的主要胶凝材料,其种类和强度等级直接决定了混凝土的基本性能。在高性能混凝土中,通常选用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥,其中强度等级多为42.5级或更高,以满足高强度和耐久性需求。高强度水泥不仅能提供足够的初期强度,同时还能在后期表现出优越的耐久性。例如:某项目中使用42.5级硅酸盐水泥,在0.32水胶比、优质骨料及高效外加剂的协同作用下,混凝土28天抗压强度可达80 MPa;若采用32.5级普通硅酸盐水泥,需通过降低水胶比至0.28以下,并复合掺入高活性矿物掺合料(如硅灰 $\geq 10\%$ 、粉煤灰 $\geq 20\%$),方可实现相近强度水平。由此可见,高性能混凝土配合比设计应以胶凝材料体系优化为基础,需综合考量水泥强度等级、水胶比控制、掺合料协同及外加剂匹配等多因素耦合作用。

其次,骨料的选择与级配也是影响混凝土性能的重要因素。优质骨料应具有均匀的粒径分布、良好的级配以及适中的吸水率。在高性能混凝土中,粗骨料的

最大粒径一般不超过20 mm,以确保较好的工作性和强度。在细骨料方面,建议使用符合《建设用砂》(GB/T 14684-2022)的Ⅰ类中砂或特细砂,其粒型良好,杂质含量低,不仅能提供必要的密实性,还能改善混凝土的和易性。

根据试验,砂率从35%增加至38%时,混凝土的流动性显著提高,而抗压强度保持不变;当砂率进一步提高至42%时,尽管流动性继续改善,但抗压强度开始下降。因此,优化的砂率通常在38%左右,既能满足施工性能,又保证了力学性能。此外,骨料的表面粗糙度和压碎指标也是关键控制参数。研究表明,压碎指标不超过10%、吸水率低于1%的骨料能显著提高混凝土的密实度和耐久性。

最后,矿物掺合料的选择与合理掺量也是高性能混凝土配合比设计中的重要组成部分。粉煤灰作为典型的火山灰质材料,其掺量控制在胶凝材料总量的20%~40%,可以通过填充效应和火山灰反应改善混凝土的密实性和后期强度。硅灰因颗粒极细且活性高,通常掺量为5%~10%。当硅灰掺量接近8%时,混凝土抗压强度提升明显,泌水现象减少,塑性收缩裂缝显著降低。矿渣粉通过潜在活性反应和填充作用提升混凝土的耐久性,改善抗化学侵蚀能力,掺量为20%~40%。当矿渣粉掺量接近30%时,混凝土的抗压强度显著提升,氯离子扩散系数明显降低^[1]。

1.2 水胶比的控制与优化

水胶比是影响高性能混凝土性能的核心参数,其控制直接决定了混凝土的抗压强度、耐久性和施工性能。当水胶比较高时,水化反应能够充分进行,混凝土具有较好的工作性,但随之而来的是内部毛细孔隙较多,抗压强度和耐久性降低。当水胶比减小时,水

化产物的密实程度显著提高,毛细孔减少,抗压强度明显上升,耐久性能也随之改善。但过低的水胶比可能导致流动性不佳,混凝土施工难度加大,同时内部水化不完全,最终限制后期强度增长。因此,找到适宜的水胶比范围是配合比设计的核心目标。

控制水胶比的优化方法通常结合试验数据与理论模型。试验方法是通过对不同水胶比条件下的混凝土性能进行系统测试,包括抗压强度、抗折强度、抗渗性能和耐久性指标等。试验数据显示,水胶比为 0.30 时,混凝土的 28 天抗压强度达到 75 MPa,氯离子扩散系数为 $2.5 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$,表现出较好的力学性能和耐久性。如果将水胶比降至 0.25,虽然抗压强度略有提升至 80 MPa,但混凝土的工作性显著下降,混合物拌合难度增加,不利于大规模工程施工。

在理论上,经验公式为优化水胶比提供了计算依据。常用公式为:

$$f_c = K \cdot \left(\frac{1}{w/c} \right)^n \quad (1)$$

在公式(1)中, f_c 表示混凝土抗压强度(MPa), w/c 为水胶比, K 和 n 是经验系数,取决于水泥强度等级和配合比设计条件。当目标抗压强度为 70 MPa,取 $K=33$ 和 $n=0.7$,计算得到水胶比为 0.32。进一步结合试验数据验证后,水胶比 0.32 被认为是该设计条件下的最佳选择。

在工程实践中,水胶比优化还需综合考虑实际施工条件和长期性能需求。针对高强混凝土,高效减水剂的使用可以在保证工作性的同时降低水胶比,从而改善混凝土的力学性能和耐久性。对于高抗渗要求的耐久性混凝土,水胶比通常需控制在 0.28 以下,通过添加矿物掺合料如硅灰和粉煤灰来进一步提高致密性和抗渗性能。

1.3 外加剂的合理使用

通过优化外加剂的种类、掺量与掺入方式,可以改善混凝土的和易性、强度及耐久性。常用的外加剂包括高效减水剂、缓凝剂、早强剂、引气剂等。高效减水剂通过降低用水量,使混凝土在低水胶比条件下保持良好的流动性,提升抗压强度和耐久性。例如:加入减水率为 30% 的高效减水剂后,混凝土的 28 天抗压强度提高 20% 以上,同时保持良好的施工性能。缓凝剂的使用能延长混凝土的初凝和终凝时间,为复杂结构施工提供充足的操作时间。早强剂的主要功能是加快水泥水化进程,早期强度提升 10% ~ 15%,适合工期紧张的工程。引气剂通过引入微小的稳定气泡,提升混凝土抗冻融性能,同时对泵送混凝土的可泵性有显著改善作用。

外加剂的掺量和掺入方式是外加剂使用的关键点。

掺量过少可能达不到预期效果,而掺量过多可能导致副作用,如引起混凝土离析或影响后期强度。以高效减水剂为例,掺量通常为胶凝材料总量的 0.5% ~ 1.5%。在实际工程中,通过试验确定具体掺量,例如:当掺量为胶凝材料总量的 1.0% 时,减水效果最佳,混凝土的流动性和强度均表现良好^[2]。缓凝剂的掺量控制在胶凝材料总量的 0.1% ~ 0.5%,其使用主要视施工环境温度和工期要求而定。在高温施工条件下,适当增加缓凝剂掺量能够有效延缓凝结时间,确保浇筑和振捣的质量。早强剂的掺量通常控制在 0.5% ~ 2%,用于寒冷环境或需要快速拆模的情况,以满足工期需求和早期强度增长要求。引气剂掺量一般为胶凝材料总量的 0.01% ~ 0.1%,用于提高混凝土的抗冻性和抗渗性,同时对混凝土的施工性能也有明显改善。此外,在掺入方式方面,高效减水剂在搅拌初期与拌合水一同加入,以确保外加剂与水泥充分混合,发挥最佳减水效果。缓凝剂和早强剂的掺入时间应根据其作用特点合理安排。缓凝剂可与拌合水同步加入,而早强剂通常在主胶凝材料完全分散后加入,以确保其活性物质能够尽快发挥作用。引气剂建议在搅拌中期加入,使其在混合过程中充分分散到混凝土基体中,形成均匀的微小气泡。

2 高性能混凝土性能提升的关键技术

2.1 矿物掺合料的二次水化反应

矿物掺合料的二次水化反应通过粉煤灰、硅灰和矿渣等掺合料与水泥水化产物的相互作用,产生更多的胶凝材料,从而显著改善混凝土的强度、耐久性和抗化学侵蚀能力。其机理可以分为三个方面:首先是掺合料的物理填充效应,其次是火山灰反应和潜在活性反应,最后是与水泥水化产物的协同作用。

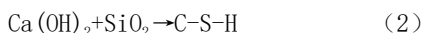
粉煤灰是常见的火山灰质掺合料,主要由活性氧化硅和氧化铝组成。粉煤灰的颗粒呈球状,具有良好的流动性,在混凝土中可以填充空隙,从而提高混凝土的密实性。这种物理效应显著改善了混凝土的工作性和早期强度。此外,在水化过程中,粉煤灰中的活性二氧化硅与水泥水化产生的氢氧化钙($\text{Ca}(\text{OH})_2$)发生二次水化反应,生成更多的 C-S-H 凝胶。新生成的 C-S-H 凝胶既能提升混凝土的后期强度,也能降低孔隙率和渗透性,从而提高抗化学侵蚀能力和耐久性。

硅灰因其超细颗粒和高活性,常被用于高性能混凝土中。硅灰颗粒的粒径通常为水泥颗粒的 1/100,显著填充水泥颗粒间的孔隙,提高混凝土的致密度。硅灰的高活性使其在混凝土早期就可以参与反应,加速 C-S-H 凝胶的形成,同时减少钙矾石等有害产物的生成。这种反应进一步提升了混凝土的抗压强度和抗折强度,改善了抗裂性能和抗冻融能力。硅灰的掺量通常为胶

凝材料总量的5%~10%，研究表明，当硅灰掺量为8%时，混凝土的28天抗压强度提升约20%，氯离子扩散系数降低50%以上^[3]。

矿渣粉作为潜在活性掺合料，在高性能混凝土中起着重要作用。矿渣粉中含有一定量的氧化钙、氧化硅和氧化铝，在水泥水化过程中，这些成分会与 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 和其他水化产物反应，生成额外的C-S-H凝胶和钙铝酸盐水化产物。矿渣粉的加入减少了孔隙率，提高了混凝土的抗渗性能和抗化学侵蚀能力。掺量通常为胶凝材料总量的20%~40%。当矿渣粉掺量达到30%时，混凝土的28天抗压强度提升超过12%，氯离子扩散系数降低约40%，并且耐久性明显改善。

掺合料与水泥水化产物的相互作用主要表现在其参与二次水化反应中。在水泥初期水化过程中，生成了C-S-H凝胶和 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 。粉煤灰和硅灰中的活性氧化硅与 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 反应生成额外的C-S-H凝胶，从而提高混凝土的强度和致密性。矿渣粉则通过活化反应与水化产物生成更稳定的水化产物，同时减少碱性物质的含量，降低了混凝土的碱-硅反应风险。公式可以简化为：



由公式(2)可知，该反应减少了 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的量，防止其在混凝土孔隙中形成裂缝，还增加了C-S-H凝胶的总量，使混凝土的整体强度和耐久性得到进一步提升^[4]。

2.2 纤维增强技术

钢纤维与聚丙烯纤维在高性能混凝土中的应用有助于提升其抗裂性能和抗冲击性能。钢纤维掺量一般为混凝土体积的0.5%~2.0%，有效桥接混凝土中的微裂缝，限制裂缝扩展并提高抗裂能力。掺量为1.0%时，混凝土抗拉强度提高20%，抗弯强度提高15%，表现出更强的力学性能。钢纤维分布均匀后，裂缝尖端的应力集中减轻，使混凝土在受外力作用下展现出更高的韧性和稳定性，同时提升抗冲击性能，适用于需要耐久承载的工业地坪和抗震结构等工程。

聚丙烯纤维以细小的颗粒分布在混凝土中，掺量范围为混凝土体积的0.05%~0.20%。在硬化初期，聚丙烯纤维能有效减少塑性收缩裂缝的产生。掺量为0.1%时，裂缝宽度减少30%，抗冲击性能提高10%~15%。聚丙烯纤维与水泥基体形成纤维网结构，分散应力，抑制裂缝扩展，使混凝土更具韧性，同时在保持工作性能的基础上延长使用寿命。

钢纤维与聚丙烯纤维各自针对不同的性能需求，在混凝土中发挥增强作用。钢纤维主要改善力学强度和抗冲击性能，而聚丙烯纤维侧重于控制早期裂缝和提高韧性。合理组合和选择两种纤维的种类和掺量，在不同工况下有效提升混凝土的整体性能，满足工程结构在强度、耐久性和施工性上的多重要求。

2.3 养护措施的优化

高性能混凝土性能的提升需要科学控制养护时间、温度和湿度。首先，养护开始时间对性能发展至关重要，应在混凝土浇筑后12小时内进行覆盖保湿养护，以避免早期失水导致自收缩裂缝。在养护环境温度建议控制在 $20 \pm 5^\circ\text{C}$ ，相对湿度保持95%以上，以促进水泥充分水化。通过优化养护工艺（如采用湿热养护），可使14天强度达到28天强度的100%以上，从而缩短养护周期，提高施工效率。充足的养护时间还能够减少内部孔隙，增强抗渗性和抗冻性^[5]。其次，温度对水化速率影响显著。在适宜范围（ $20 \sim 30^\circ\text{C}$ ）内，水化反应加快，早期强度提升约20%。但温度超过 50°C 可能引发内部开裂和非均匀水化，影响耐久性。因此需控制温度，避免温度过高或过低，以平衡早期强度增长与长期性能。此外，在湿度管理方面，保持湿度在95%以上有助于防止表面失水，保障内部水化的持续进行。在高湿度条件下，28天抗压强度比干燥环境高10%，氯离子扩散系数降低约20%。通过覆盖湿布、喷雾或塑料薄膜等方式可有效维持湿度，避免裂缝产生并改善耐久性。最后，养护方法直接影响混凝土的性能表现。覆盖湿布适合中小型结构，喷雾养护适用于大面积施工，蒸汽养护用于预制构件，通过控制湿热环境显著加快水化反应。蒸汽养护后7天强度可提升20%~25%，同时减少早期裂缝风险。

3 结束语

本研究探讨了高性能混凝土配合比设计优化及性能提升的关键要素与技术。通过原材料的优选、水胶比的控制、外加剂的合理使用以及矿物掺合料的二次水化反应、纤维增强技术和养护措施的优化，可以提升混凝土的各项性能。未来，随着绿色建筑和可持续发展的需求日益增长，高性能混凝土的研究与应用将更加注重环保性、经济性和实用性，为建筑行业的可持续发展贡献更多力量。

参考文献：

- [1] 王涛. 高性能混凝土配合比设计研究[J]. 交通世界, 2024(27):17-20.
- [2] 尹博威. 高性能混凝土配合比设计及其力学性能检测研究[J]. 中国建筑金属结构, 2024,23(11):111-113.
- [3] 孙婧, 洪俊哲, 宋晓英, 等. C60多孔粗骨料高性能混凝土配合比设计[J]. 建筑科学, 2024,40(05):126-133,98.
- [4] 张博文, 陆岩, 宋修广, 等. 低碱高性能生态混凝土配合比设计与优化[J]. 河南科学, 2025,43(02):207-217.
- [5] 张嘉伟. 高性能混凝土配合比设计及应用[J]. 大众标准化, 2025(02):133-135.

全风化花岗岩改良土路基 现场填筑施工关键技术

范 坤

(四川公路桥梁建设集团有限公司铁路工程分公司, 四川 成都 610000)

摘 要 为改良全风化花岗岩土层, 满足公路建设对路基土的实际要求, 本研究以具体工程为例, 从填料重要指标确定、施工准备、改良土拌合、土方平整摊铺、碾压压实、养护处理、质量控制入手, 探究全风化花岗岩改良土路基现场填筑施工关键技术。通过施工质量检测得出, 路堤土掺入 5% 水泥, 基床底层掺入 6% 水泥后, 获得了良好的改良效果, 改良土压实系数、动态变形模量、变形模量、地基系数各项指标均满足施工要求。

关键词 全风化花岗岩; 改良土; 路基现场填筑; 改良土拌合; 填土

中图分类号: U416.1

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.20.005

0 引言

我国幅员辽阔, 土壤类型较多, 由于公路建设线路较长, 易面临多样化的地质情况。全风化花岗岩是一种经过风化作用、粒径锐减、颜色变浅的花岗岩, 具有稳定性差、含水率高等特征, 若直接将其用于公路建设路基填料, 公路运营后易出现工程病害。因此, 需要对其进行改良处理。现阶段, 我国公路建设中往往会在原土壤中加入石灰实现土壤改良, 经改良后的土壤具有更高的强度以及稳定性, 可更好地满足公路建设对路基的要求。

1 工程概况

某公路工程线路全长 16.542 km, 涉及工程内容包括交通安全设施、路面、路基、桥涵等。工程路基宽度为 33.5 m, 双向六车道, 设计速度为 120 km/h。在本工程建设中, 个别路段需要穿过较长的花岗岩全风化层, 为确保项目施工质量满足设计要求, 需要对花岗岩全风化层土壤进行改良处理。结合项目实际, 最终选择加入水泥的土壤改良方式。

2 全风化花岗岩改良土路基现场填筑施工关键技术

2.1 填料重要指标确定

1. 最大干密度及最优含水量。在本项目中, 全风化花岗岩层含水量处于 19% ~ 25% 范围内, 需要经过晾晒才可满足施工要求。并且, 全风化花岗岩层不具备良好的水稳性, 与水接触后强度会明显下降, 易出现滑坡问题, 无法满足项目对路基的实际要求, 需要对原路基土进行改良。表 1 为掺入不同水泥时的最优含水量及最大干密度情况。

表 1 掺入不同水泥时的最优含水量及最大干密度情况

填料量	加入 5% 水泥	加入 6% 水泥
最优含水率 $w_{opt}/\%$	11.4	12.0
最大干密度 $\rho_{dmax}/(g \cdot cm^{-3})$	1.97	1.99

从表 1 数据中能够得出, 全风化花岗岩通过实际改良, 夯击特性会发生变化。通常, 相比于原状土, 加入水泥的改良土最大干密度及最优含水量会发生变化, 但变化并不明显。所以针对水泥改良土性能试验时, 其最大干密度以及最优含水量, 可将原状土情况作为主要依据。

2. 改良掺合料与掺和比。本项目中的全风化花岗岩层不具备良好的水稳性, 无法直接用于路基填料, 应对其加以改良, 为获得科学的改良方案, 开展了不同配合比研究, 详见表 2 所示。经综合分析, 将普通硅酸盐水泥掺入量设定为 5% ~ 6%, 路堤土掺入 5% 水泥; 机床底层掺入 6% 水泥。结合施工条件, 实际施工中, 水泥掺量可提升 0.5% ~ 1.0%。

表 2 不同配合比改良土性能情况

水泥掺量	加入 5% 水泥	加入 6% 水泥	加入 4% 水泥
水稳定系数	0.73	0.74	0.73
变异系数	0.17	0.12	0.23
室内 7 d 无侧限抗压强度平均值	520 kPa	690 kPa	980 kPa
室内 7 d 无侧限抗压强度极小值	460 kPa	530 kPa	640 kPa

2.2 施工准备

1. 技术准备。在此项工作中,需要做好技术交底工作,对水准点、导向、中线等进行测量,还应对原材料进行检验。在本项目中,严格根据设计规范要求开展土样填料检验工作,借助击实实验,掌握填料的最大干密度以及最佳含水量,在此基础上绘制出关系曲线,对填料含水量进行严格控制^[1]。

2. 现场准备。结合施工要求,做好设备配置工作,如表3所示,同时还应科学配置技术人员,划分出不同作业区域,并挂好标识牌。

表3 设备配置

序号	名称	数量	单位	型号
1	平地机	1	台	180
2	挖掘机	2	台	山重 400
3	振动压路机	1	台	26 t
4	推土机	1	台	山推 160
5	洒水车	2	辆	10 m ³
6	砂性土钢轮压路机	1	台	18 t
7	冲击式压路机	1	台	25 kJ
8	运输车	8	辆	20 m ³
9	装载机	1	台	临工 50

2.3 改良土拌和

在本项目中,改良全风化花岗岩填料时,选择厂拌法进行施工,施工流程如图1所示。

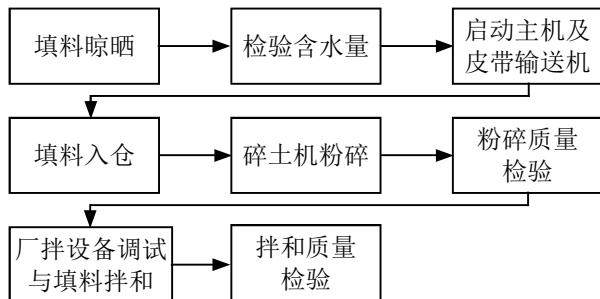


图1 改良土厂拌法流程图

拌和环节,正式拌制改良土填料前,应做好设备调试工作,明确各料斗材料计算数量,确保填料配比满足规定要求;通过破碎区破碎填料前,应对其进行过筛处理,经过筛检合格后,才能进行后续操作;借助加入水泥的方式进行土壤改良,若想获得较高的拌和质量,应保证填料粒径大小符合要求,水泥掺入量合理,还应做到均匀拌和,严格控制水泥剂量误差,将其保持在 $-0.5\% \sim 1.0\%$ 范围内。

2.4 填土

1. 测量放样。此项工作开展环节,施工人员应做好测量放样工作,在明确水准点的同时,开展导线点增设工作。将此作为重要基础,科学确定全风化花岗岩改良土路基中桩以及边桩位置。放样完成后,组织专人进行复核,保证各控制点布局合理、数据无误,为后续土方开挖与分层填筑奠定精准基础。

2. 基底处理。在本工程建设中,由于工程项目所在位置地下水埋深较浅,所以项目地基表层无法很好地满足碾压密实需要。为获得良好的碾压效果,满足工程建设需求,避免后期出现不良沉降问题,需要做好基底处理工作。施工环节,施工人员应借助压路机开展冲击碾压工作。此项工作开展过程中,进行表层填筑,将具体厚度控制在30 cm左右。随后进行冲击碾压工作,确保碾压质量满足实际要求,同时在质量验收合格后,再开展后续施工操作。

2.5 土方平整摊铺

此项工作开展环节,应对摊铺厚度进行控制,松铺过程中的厚度应处于20~25 cm范围内;压实后厚度应处于15~20 cm,最终厚度可结合施工需求做出科学调整。在施工过程中,为获得较高的填筑质效,本项目中应用了薄层快填施工技术,可避免频繁返工情况。原材料经过消解处理后,不可在路基中放置较长时间,需要及时摊铺,避免材料性质受到不良影响。将施工设计规划作为主要依据开展摊铺活动^[2]。借助推土机初步推平,对于不平整的位置,借助平地机实施刮平处理,及时清除尺寸过大的颗粒。施工人员应做好平整处理工作,对于低洼坑面,可应用齿耙进行松散处理,具体深度约为5 cm,并加入适量填料,借助水准仪对路基松铺度进行测定,确保路基摊铺满足标准要求。

2.6 养护处理

施工人员完成改良土路基碾压工作后,为保证碾压质量,需要做好养护处理工作。如果路基填筑为持续作业,可省去养生时间,若未能做到持续作业,应留出适当的养生期。全风化花岗岩改良土路基养生过程中,选择保湿喷洒的养护方式,养护处理时间需要超过7 d^[3]。此环节,施工人员应对喷洒湿度进行科学控制,在喷洒水分时,应采用细雾均匀洒布的形式,避免含水率波动剧烈,施工单位需配置专人定时洒水,控制养护湿度稳定在最佳含水率 $\pm 2\%$ 以内。同时,该区域不可有车辆经过,避免影响到养护效果^[4]。对于长时间暴露的改良层,还应根据天气变化进行二次洒

水或覆盖处理, 保证改良土在养护期内保持良好的强度增长环境, 从而提升路基整体工程质量。

2.7 质量控制措施

(1) 做好改良土配合比控制工作。为保证路基填筑质量, 应对外掺料质量进行控制, 确保其满足规范要求, 从而获得性能较强的改良土。完成搅拌工作后不存在土块。施工人员在此环节应注重含水量控制, 第一, 若土的含水量较小, 向土料中加水时, 可选择雾状喷洒的方式; 若土的含水量较大, 开展配比工作前, 工作人员应对其进行晾晒处理, 减少其中存在的水分。全风化花岗岩改良土施工环节, 应做到均匀拌和, 严格控制搅拌质量, 获得更高质量的改良土, 为全风化花岗岩改良土路基现场填筑施工奠定良好基础。

(2) 做好测量放线及土工试验工作。施工人员开展测量放线工作时, 需要超出边线 50 cm, 同时做好路基边缘位置压实工作。通过科学开展土工试验, 获得准确、可靠的试验数据, 为高质量施工提供数据支持^[5]。技术流程如图 2 所示。

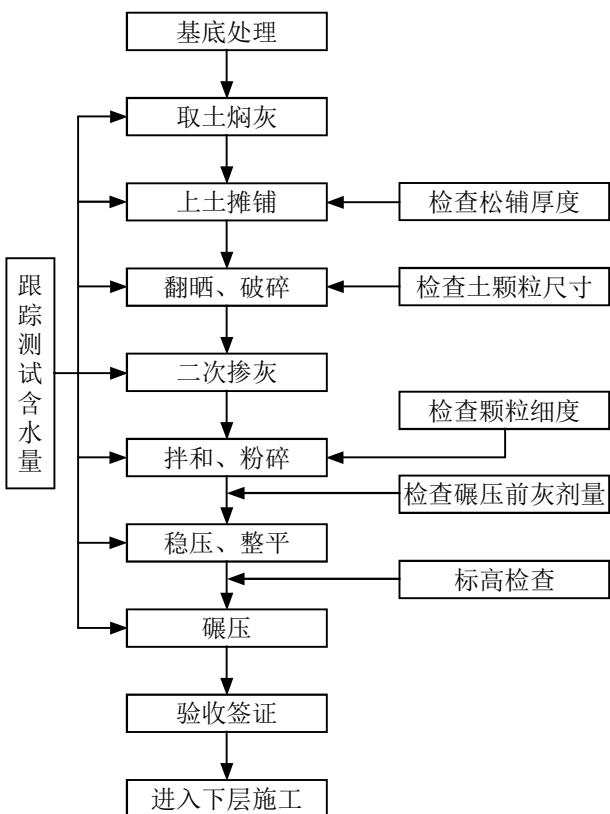


图 2 技术流程

2.8 安全保证技术措施

(1) 在施工活动开展过程中, 施工人员应针对施工现场强化交通安全管控。开展夜间施工活动时, 应

在道路口位置设置明显的标志, 安排专人设置警示灯, 同时做好灯光照明管理工作。(2) 在挖方体上边坡位置, 进行观测桩的科学设置, 保证观测桩具有良好的完整性, 同时安排专人定期巡逻检查。(3) 雨后复工前, 施工人员应对挖方体边坡等位置进行全面检查, 避免出现裂缝问题。

2.9 资源节约施工技术

为贯彻绿色施工理念、提升资源利用效率, 本项目在全风化花岗岩改良土路基施工中采取了一系列资源节约措施。在材料处理环节, 优先采用现场厂拌模式, 减少水泥及骨料的长距离运输, 降低粉尘污染。同时, 拌合站配备喷雾降尘装置和封闭式操作系统, 保证作业过程清洁有序。施工中产生的筛下料、废弃石屑等经过分级筛分后, 分类用于非承重部位或回填区域, 做到材料循环再利用。在运输环节, 统一调度压路机、运输车的行驶路线, 缩短作业空行时间, 避免重复碾压, 从而减少能耗与机械磨损。此外, 在施工区域设置多级沉淀池, 保证含水泥废液和泥浆都可以经过沉淀处理后再达标排放, 避免污染周边环境。整体施工过程严格执行《绿色公路建设指南》相关标准, 实现资源节约与环境保护的双重目标。

3 结束语

随着我国社会经济发展水平不断提升, 公路建设项目逐渐增多, 而在公路工程建设环节, 通常会出现土质较差的路段。全风化花岗岩属于公路建设中较为常见的一种地质类型, 若直接将其作为材料进行路基填筑, 则会影响到公路建设质量, 公路运营后会出现严重的病害问题。因此, 施工人员应结合项目情况, 借助全风化花岗岩改良土路基现场填筑施工技术提升路基填筑质量, 保证公路建设高质量推进。

参考文献:

- [1] 邱兴飞. 高速公路强风化千枚岩改良土路基填筑施工分析[J]. 交通世界, 2023(36):73-75.
- [2] 陈兴杰. 高速公路千枚岩改良土路基填筑施工分析[J]. 工程建设与设计, 2023(01):115-117.
- [3] 王庆乐, 刘勇. 红层地区高速铁路路基填筑型式研究[J]. 山西建筑, 2023, 49(09):160-162.
- [4] 谢荣福. 赣东北地区花岗岩残积土路基填筑关键技术研究[J]. 新材料·新装饰, 2024, 06(02):159-162.
- [5] 董仕昱. 多议石灰改良土路基试验段施工技术[J]. 低碳世界, 2024, 14(02):136-138.

现代工程测量中多源数据融合技术研究

尹文浩

(西安市勘察测绘院, 陕西 西安 710000)

摘要 在现代工程测量领域, 多源数据融合技术已成为提升测量精度与效率的关键手段。本文深入探讨了多源数据融合技术在现代工程测量中的应用现状及重要意义, 从优化数据采集、提升处理精度、创新融合算法、强化质量控制四个方面提出了具体的实施策略, 旨在为工程测量教学与实践提供有益参考, 推动该技术在现代工程测量中的深入研究与广泛应用。

关键词 现代工程测量; 多源数据融合技术; 数据采集; 数据处理精度; 融合算法

中图分类号: TU198

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.20.006

0 引言

随着现代工程规模的不断扩大与技术的日益复杂, 工程测量面临着更高的精度要求与更复杂的测量环境。多源数据融合技术作为一种新兴的测量手段, 能够整合来自不同传感器、不同平台的测量数据, 充分发挥各数据源的优势, 为工程测量提供更全面、更准确的信息支持。深入研究多源数据融合技术在现代工程测量中的应用, 对于提升工程测量的质量与效率具有极为重要的现实意义。

1 多源数据融合技术在现代工程测量中的现状与意义

目前, 多源数据融合技术在现代工程测量中已得到广泛应用, 如在桥梁变形监测中融合 GNSS、全站仪与 InSAR 数据, 全面掌握桥梁的变形特征; 在地形测绘中结合航空摄影测量与地面激光扫描数据, 提高地形细节的表达精度。这些应用不仅显著提升了测量结果的精度与可靠性, 还丰富了测量数据的类型与维度, 为工程分析与决策提供了更为坚实的数据基础^[1]。此外, 多源数据融合技术的应用有助于优化测量流程, 减少重复测量与数据冗余, 提高测量工作的效率与经济性。

2 多源数据融合技术在现代工程测量中的实施策略

2.1 优化数据采集, 拓宽数据源

在现代工程测量领域, 数据采集作为测量工作的基础环节, 其质量与完整性直接决定了后续数据处理与融合的成效。因此, 优化数据采集并拓宽数据源, 是提升多源数据融合技术应用效果的关键前提。

构建多元化的数据采集体系, 意味着要打破传统单一测量手段的局限, 融合多种先进测量技术与设备

的优势。高精度全球导航卫星系统 (GNSS) 接收机能够提供高精度的三维坐标信息, 其定位精度可达毫米级, 尤其在开阔区域的测量中表现出色。全站仪则以其高精度的角度测量和距离测量能力, 在工程测量的控制网建立和地形测绘中发挥着重要作用。无人机摄影测量系统凭借其灵活性和高效性, 能够在短时间内获取大面积的高分辨率影像数据, 为地形地貌的快速建模和地物信息提取提供了有力支持。地面激光扫描仪则以其高密度的点云数据输出, 能够精确地捕捉物体表面的三维几何形状, 尤其适用于复杂地形和建筑物的精细测量。

在实际工程测量项目中, 不同测量设备所采集的数据具有不同的特点和优势。例如: GNSS 数据具有高精度的坐标信息, 但缺乏地形地貌的细节描述; 全站仪数据能够提供精确的地形高程信息, 但在大面积覆盖方面存在局限; 无人机摄影测量数据能够直观地反映地形地貌的纹理信息, 但精度相对较低; 地面激光扫描数据则能够精确地描绘物体的三维形状, 但数据量较大且采集成本较高。因此, 将这些不同类型的测量数据进行融合, 可以充分发挥各数据源的优势, 弥补单一数据源的不足, 从而提高测量结果的精度和可靠性。

以大型水利工程建设测量为例, 水利工程的建设涉及复杂的水文、地质和地形条件, 需要全面、准确的数据支持。通过联合水利部门获取水文数据, 可以了解工程区域的水位变化、水流速度、水量等信息, 这对于水利工程的设计和运行管理至关重要。与气象部门共享气象信息, 能够实时掌握工程区域的天气变化, 提前做好应对措施, 保障测量工作的顺利进行。

结合工程测量数据,如 GNSS、全站仪、无人机摄影测量和地面激光扫描等数据,可以实现对工程区域环境的全方位监测与分析。例如:在大坝建设过程中,通过融合水文数据、气象数据和工程测量数据,可以实时监测大坝的变形情况、坝体结构的稳定性以及周边环境的变化,为大坝的安全运行提供科学依据。

2.2 提升数据处理精度,挖掘数据价值

在现代工程测量中,多源数据融合技术的应用为数据处理带来了前所未有的挑战与机遇。针对多源数据来源广泛、类型多样、精度不一且存在时空差异的特点,数据处理的精度提升成为挖掘数据价值的关键环节。数据预处理作为数据处理的首要步骤,其目的在于通过一系列算法与技术手段,对原始测量数据进行去噪、校正与补充,从而提高数据的可用性与一致性。

卡尔曼滤波作为一种经典的线性动态系统估计方法,广泛应用于多源数据融合中的动态数据处理^[2]。通过建立系统的状态空间模型,卡尔曼滤波能够实时估计系统的状态变量,同时对观测数据中的噪声进行滤除。在工程测量中,对于动态监测对象如桥梁、大坝等结构的变形监测数据,卡尔曼滤波可有效去除由于仪器误差、环境干扰等因素导致的噪声,从而准确反映监测对象的真实变形状态。小波变换则以其多分辨率分析的特性^[3],在处理非平稳信号方面表现出独特优势。它能够将数据分解为不同频率层次的信号,从而在不同尺度上对数据进行分析与处理。在地形测绘数据处理中,小波变换可用于去除地形数据中的高频噪声,同时保留地形的细节特征,如山脊线、山谷线等,为后续的地形分析与建模提供高质量的数据基础。神经网络作为一种模拟人脑神经元结构与功能的计算模型,具有强大的非线性拟合与自适应学习能力。在多源数据融合中,神经网络可用于建立数据之间的复杂非线性关系模型,通过训练学习数据的内在规律,实现对数据的去噪、校正与预测。例如:在卫星遥感影像与地面测量数据融合中,神经网络可用于校正由于大气散射、地形遮挡等因素导致的影像数据误差,提高影像数据与地面测量数据的一致性。

在完成数据预处理,提高数据质量与一致性之后,数据挖掘与知识发现技术成为挖掘数据价值的核心手段。数据挖掘技术通过运用统计分析、机器学习、模式识别等方法,从海量的多源数据中提取隐含的、有价值的规律与信息。在工程测量中,数据挖掘可用于分析地形地貌特征,如通过对地形高程数据、坡度数据、坡向数据等的挖掘,识别出地形的起伏规律、地貌单元

的划分等,为工程建设的选址、规划与设计提供科学依据。对于建筑物变形监测数据,数据挖掘技术可挖掘出建筑物变形的规律与趋势,如周期性变形、累积变形等,从而提前预警建筑物的安全隐患,为建筑物的维护与加固提供决策支持。在地质灾害监测领域,通过对地质灾害监测数据,如地震波数据、降雨量数据、地表位移数据等的挖掘,可识别出地质灾害的前兆信息与诱发因素,为地质灾害的预警与防治提供科学依据^[4]。

2.3 创新融合算法,增强融合效果

在现代工程测量领域,多源数据融合技术的核心在于融合算法的创新与优化。融合算法的优劣直接决定了多源数据融合的精度、效率与可靠性。因此,针对不同的工程测量任务与数据特点,研发适用于多源数据融合的新型算法,是提升融合效果的关键所在。

以动态变形监测为例,工程结构的变形过程通常具有时间连续性与动态变化性。传统的数据融合方法往往难以实时、准确地捕捉这种动态变化特征。为此,引入基于时间序列分析的融合算法具有重要意义。时间序列分析方法能够充分利用数据的时间相关性,通过对多源监测数据的时间序列建模与分析,实现对变形趋势的实时预测与监测。例如:卡尔曼滤波算法是一种经典的动态数据融合方法,它能够实时处理来自不同传感器的动态监测数据,通过递推估计与更新,准确地捕捉结构变形的动态变化过程。在实际应用中,结合卡尔曼滤波算法与多源数据融合技术,可以有效地提高动态变形监测的精度与实时性,为工程结构的安全评估与预警提供更为可靠的数据支持。

在三维地形重建领域,多源数据融合同样面临着诸多挑战。航空影像与激光点云数据作为当前三维地形重建的常用数据源,各自具有独特的数据特点与优势。航空影像能够提供丰富的纹理信息,而激光点云则具有高精度的三维几何信息。然而,如何将这两种不同类型的数据进行高效融合,生成高精度的三维地形模型,一直是该领域的研究热点。基于几何约束的多源数据融合算法为这一问题提供了有效的解决方案。该算法通过建立几何约束关系,将航空影像与激光点云数据进行空间配准与融合。具体而言,利用激光点云数据的高精度几何信息作为几何约束,对航空影像进行空间纠正与匹配,从而实现两种数据在几何空间上的统一。在此基础上,进一步融合两种数据的纹理与几何信息,生成高精度、高分辨率的三维地形模型。

除了针对特定工程测量任务的融合算法创新,探索多传感器协同测量与融合的新模式也是提升融合效

果的重要途径。在实际工程测量中,多传感器协同测量能够实现数据的互补与增强,但同时也面临着传感器布局优化、数据传输与同步等技术难题。通过优化传感器布局,合理配置不同类型的传感器,可以最大限度地发挥各传感器的优势,提高数据采集的效率与质量。例如:在大型工程结构的监测中,结合GNSS传感器、全站仪与光纤传感器等不同类型传感器,通过科学布局,实现对结构变形、应力、应变等多物理量的协同监测。此外,建立高效的数据传输与同步机制也是多传感器协同测量的关键环节。通过采用先进的通信技术与数据同步算法,确保各传感器采集的数据能够实时、准确地传输与同步,从而实现数据在采集端的初步融合。

2.4 强化质量控制,保障数据可靠性

建立完善的多源数据融合质量控制体系,从数据采集、处理到融合结果评估的全流程,制定严格的质量标准与检验方法,是确保数据可靠性的基础。在数据采集阶段,对测量设备进行定期校准与维护,是确保数据准确采集的关键环节。测量设备的精度直接影响数据的质量,因此,必须建立完善的设备校准机制,采用高精度的校准设备和标准,对各类测量仪器进行全面校准。同时,定期对设备进行维护保养,确保其在测量过程中的稳定性和可靠性^[5]。此外,还应加强对测量环境的监测与控制,减少环境因素对数据采集的干扰,从而从源头上保障数据的准确性与一致性。

在数据处理过程中,采用多种算法进行对比验证是检查数据处理合理性与稳定性的有效手段。多源数据融合涉及不同类型的数据,其处理方法也各不相同。为了确保数据处理的准确性,需要综合运用多种数据处理算法,对同一数据集进行处理,并对处理结果进行对比分析。通过对比不同算法的处理结果,可以发现数据处理过程中的潜在问题,如数据偏差、噪声干扰等,并及时进行调整与优化。此外,还应建立数据处理的追溯机制,记录数据处理的每一步骤与参数设置,以便在发现问题时能够快速定位并解决,从而提高数据处理的稳定性和可靠性。

在融合结果评估方面,引入精度指标、可靠性分析等方法,对融合后的数据进行综合评价是质量控制的重要环节。融合结果的质量直接影响工程测量的最终成果,因此,必须建立科学合理的评估体系。精度指标是衡量融合数据质量的重要参数,通过计算融合数据与真实值之间的误差,可以定量评估数据的精度。同时,采用可靠性分析方法,如置信区间估计、假设

检验等,对融合数据的可靠性进行评估,能够进一步验证数据的有效性。在实际应用中,应根据不同的工程测量任务和特点,选择合适的精度指标和可靠性分析方法,对融合后的数据进行全面、系统的评价,及时发现并纠正质量问题。

例如:在地震灾害评估测量中,融合后的遥感影像、地震烈度数据、地面调查数据等多源数据的质量至关重要。遥感影像能够提供大范围的宏观信息,地震烈度数据能够反映地震的强度与分布,而地面调查数据则能够提供详细的现场信息。对这些多源数据进行融合后,需要从多个维度进行质量检验。首先,对遥感影像的分辨率、对比度、色彩还原度等进行评估,确保其能够清晰地反映灾害区域的地形地貌和建筑物破坏情况;其次,对地震烈度数据的准确性进行验证,通过与历史地震数据对比分析,检查其是否符合地震学规律;最后,对地面调查数据的真实性进行核实,通过实地复查和数据交叉验证,确保其能够准确反映灾害现场的实际情况。

3 结束语

多源数据融合技术作为现代工程测量领域的重要发展方向,具有广阔的应用前景与深远的研究价值。通过优化数据采集、提升数据处理精度、创新融合算法、强化质量控制等多方面的实施策略,能够充分发挥多源数据融合技术的优势,为现代工程测量提供更为精准、高效、全面的技术支持。在未来的研究与实践中,应持续关注该技术的发展动态,不断探索新的应用领域与方法,推动现代工程测量技术的持续进步与创新。

参考文献:

- [1] 尹世滔,李楠,肖克炎,等.基于人工智能的地质矿产勘查软件系统开发与应用[J].中国矿业,2024,33(12):31-37.
- [2] 白璐.UUV对跟踪目标运动要素估计方法研究[D].哈尔滨:哈尔滨工程大学,2020.
- [3] 牟岩.基于子空间的高光谱影像降维及分类研究[D].西安:西安科技大学,2018.
- [4] 张旭.黄土高原南部黄土优先流与微观孔隙结构关系研究[D].西安:长安大学,2023.
- [5] 郭飞燕,刘检华,邹方,等.数字孪生驱动的装配工艺设计现状及关键实现技术研究[J].机械工程学报,2019,55(17):110-132.

智慧供电系统在高速公路机电工程中的应用

刘国安

(葛洲坝集团交通投资有限公司, 湖北 武汉 430000)

摘要 智慧供电系统通过信息技术与供电设备的深度融合,提升了高速公路机电工程的供电可靠性和管理效率。本文围绕智慧供电系统的应用场景展开探讨,分析了其在供电调度、监控及运维中的具体应用,重点介绍了智慧供电系统在高速公路照明、监控、收费和应急系统中的作用,阐述了相关技术特点与工程实践,并提出了智慧供电系统在复杂工程环境中的优化应用策略,旨在为促进高速公路建设提供技术参考和实践指导。

关键词 智慧供电系统; 高速公路; 机电工程; 供电调度; 系统优化

中图分类号: U417

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.20.007

0 引言

高速公路机电工程涉及多个供电子系统,对供电系统的可靠性与智能化程度要求较高,传统供电系统在复杂环境中易出现故障,影响整体运行效率,智慧供电系统通过整合数字化控制、信息传输和设备管理,能够显著提高供电保障能力。深入探讨智慧供电系统在高速公路机电工程中的具体应用,分析智慧供电系统在工程实施中的技术实践和创新手段,对于提升高速公路机电工程运行质量具有重要的现实意义。

1 智慧供电系统的架构与功能

1.1 智慧供电系统的总体架构

智慧供电系统的总体架构以层次化设计为基础,主要包括数据采集层、控制执行层和管理决策层,数据采集层通过分布式传感器网络和通信设备,实现对电力系统运行状态的实时监控,覆盖电压、电流、温度等多种关键参数,这些数据通过高速通信链路传输至控制执行层。控制执行层利用智能化控制设备对采集的数据进行分析和处理,从而完成对供电设备的调节、切换及故障处理,同时管理决策层通过集成大数据分析、人工优化算法和智能预测技术,对整体系统进行协调和优化,制定动态供电策略以应对复杂多变的电力需求。分层架构的设计使得系统能够快速响应外部环境变化,同时保障数据的高效传递和设备间的无缝协作,系统架构还包括冗余设计和备份机制,在关键设备故障或通信链路中断时能够迅速启动备用模块,确保供电系统的稳定性和连续性。

1.2 智慧供电系统的核心功能

智慧供电系统作为现代电力管理的核心平台,整合了多项先进技术,实现了供电过程的全方位智能化

管理,在供电调度方面,系统采用实时监测与预测相结合的方式,通过布设在各个用电节点的智能传感器持续采集用电负荷数据。结合历史用电规律和人工智能算法,系统能够准确预测未来一段时间内的用电需求变化,基于这些数据,调度模块自动计算最优供电方案,包括电源切换策略、功率分配比例等,确保供电系统始终运行在最佳状态,这种智能化的调度管理不仅提高了供电的稳定性,还显著提升了电能利用效率。

在故障管理方面,智慧供电系统构建了完整的预警与诊断体系。系统通过对供电设备运行参数的实时监测,包括电压、电流、温度、谐波等多维度数据,结合大数据分析技术,建立了设备异常行为模型,当检测到参数偏离正常范围时,系统能够快速判断故障类型和严重程度并自动生成故障诊断报告。基于历史故障数据的深度学习,系统还能预测潜在的故障风险,提前发出预警信号,远程控制功能则使运维人员能够通过智能终端随时掌握设备运行状态,并进行远程操作和调试,极大地提高了故障响应速度和处理效率。

能源优化管理是智慧供电系统的另一重要功能。系统通过实时分析负载分布特征和用电行为模式,自动调整供电策略,实现能源消耗的精细化管理,在用电高峰期系统会优先调用效率较高的供电设备,并通过负载转移等方式平衡用电压力,系统还整合了光伏发电、储能装置等新能源设施,建立了多能互补的供电网络。通过智能算法对各类能源的发电特性和储能容量进行统筹规划,系统能够在保证供电可靠性的同时最大限度地提高可再生能源的使用比例,实现了经济效益和环境效益的统一,这种智能化的能源管理模式不仅降低了运营成本,也为建设绿色低碳的供电系统提供了技术支撑^[1]。

2 智慧供电系统在高速公路机电工程中的应用

2.1 照明系统的优化供电管理

高速公路照明系统的智慧供电管理是现代智能交通基础设施的重要组成部分,智慧供电系统通过部署光照传感器、交通流量检测器等多类型传感设备,构建了全方位的环境数据采集网络。系统采用先进的动态控制算法,能够根据实时采集的环境光照强度、能见度、车流量等数据,自动计算最优照明参数,这种基于多维数据的智能控制方式不仅确保了行车安全,还实现了照明供电的按需调节,有效避免了传统照明系统中普遍存在的能源浪费问题。

智慧供电系统的分区控制功能为高速公路照明管理提供了更为精细化的解决方案,系统根据道路等级、线型特征、互通立交分布等因素,将整个照明系统划分为多个独立控制区域,每个区域都配备独立的供电回路和控制单元,可以根据该区域的特定需求制定个性化的供电策略。

通过持续的数据采集和分析智慧供电系统实现了照明设备的预测性维护管理。系统会记录每盏路灯的运行时长、功率变化、电流波动等关键参数,通过大数据分析技术建立设备健康评估模型,当系统检测到某些异常指标,如功率衰减过快、电流波动异常等情况时,会自动生成设备维护建议并根据故障的紧急程度发出不同级别的预警信号。维护人员可以通过系统提供的故障诊断信息,有针对性地开展检修工作,既避免了设备带病运行的安全隐患,也减少了不必要的巡检工作,这种基于数据驱动的智能运维模式,显著提高了照明系统的可靠性。

2.2 监控与收费系统的稳定供电

高速公路的监控与收费系统是保障交通秩序和实现通行费收取的核心模块,对供电系统的稳定性与可靠性有着极高的要求,智慧供电系统通过采用双回路供电设计、冗余供电配置及动态负载均衡技术能够为监控与收费设备提供持续、稳定的供电支持,双回路供电设计确保在某一回路出现故障时,另一回路能够迅速切换接入,保障系统不间断运行,冗余供电通过增加备用电源为关键设备提供多重保护,进一步提高供电的安全性。智慧供电系统在监控摄像头、收费终端等核心设备的供电路径中部署了动态负载均衡模块,可以根据实时电力需求调整各回路的供电功率,避免因负载过大导致设备异常停机或系统瘫痪。智慧供电系统的故障检测功能能够在供电线路出现电压波动、

过载等问题时实时发出预警并定位故障点,便于维护人员快速排除故障,缩短供电中断时间,系统的远程控制模块进一步增强了供电管理的灵活性,管理人员可以通过信息平台直接调整供电参数,完成对设备运行状态的监控与优化^[2]。在复杂的工程环境中,如长隧道或多收费站区域,智慧供电系统通过结合分布式供电技术与自动化控制手段解决了传统供电模式中供电路径长、设备布置复杂等问题,确保监控与收费系统始终处于稳定的工作状态。

2.3 通信系统的高效供电保障

智慧供电系统在高速公路通信系统中有极为重要的作用,能够满足系统高效、稳定通信的要求。为确保高速公路系统正常运行,通信系统作为信息传输的核心,将光纤传输、无线通信、紧急电话、广播等各项设备融入通信系统内,进而提高通信系统运行的可靠性、稳定性,并且具备较强的应急响应能力和服务效率。以往高速公路供电系统的负荷波动大、设备分散范围广,供电系统中断、电压不稳定的情况较为常见。智慧供电系统在内部设置智能化配电单元,它能够动态化调节电流、电压,使其运行具备可靠性、稳定性的要求。同时,智慧供电系统内部设置备用电源,主要为UPS或锂电池组,在发生故障后能够满足紧急呼叫、路况广播的各项功能,从而确保系统运行不受影响。

2.4 服务区设施的节能供电策略

高速公路服务区为重要基础设施,它的主要作用是给驾乘人员提供休憩场所,其供电系统需要满足功能性、节能性的要求。智慧供电系统根据服务区设施的运行实际情况,对照明、空调、充电桩的各项设施展开智能化供电,满足驾乘人员的使用需求。例如:智能供电系统中配置智能照明控制器,能够确保服务区满足照明需求。该系统在分析人员密度和照明需求的情况下,调整照明亮度;空调系统内布置传感器和能耗监测模块。根据服务区的运行需求能够调节制冷、制热效率,防止引发能源浪费的现象。同时,电动汽车数量逐步增大的情况下,结合服务器区的充电需求配置智能充电桩调控系统,它使得功率分配达到适宜性要求,并且制定峰谷电价策略,进而能够降低运营成本。此外,智能供电系统可对用电负荷参数展开分析,制定适宜的充放电策略,从而提高运行效率以及节能性。

2.5 应急供电与灾害恢复能力强化

在高速公路运营的过程中,由于极端天气引起的突发事件现象比较多,这种情况会在一定的范围内影

响交通通行的安全。而智慧供电系统主要是采用多元电源系统的方式,通过结合柴油发电机、超级电容与光伏储能系统形成一个稳定的供电系统,这样就能够减少电力系统故障引起的波动异常问题。同时,为了能够保证高速公路机电工程系统的安稳运行,也可以将智能控制算法融合到供电系统当中,利用该算法能够进行电源的切换,达到保护系统稳定的目的。而考虑到高速公路机电工程的稳定需求,分布式微电网也是一种经济可行的方法,因为分布式电网主要是采用光伏电站储能装置进行电能分配,可以把它与高速公路机电工程的相关系统对接,这样就能有效预防受到灾害影响而导致的停电^[3]。

3 智慧供电系统的运维与优化策略

3.1 设备运维的智能化管

在现代供电系统中,智能化运维管理已成为确保电力设备安全稳定运行的关键要素。智慧供电系统通过部署远程监控和数据采集装置,实现了对变压器、开关柜、配电线路等关键设备的全方位监测。这些在线监测装置不仅能够实时采集设备的运行参数,如电压、电流、温度、振动等数据,还可以通过内置的智能算法对采集到的数据进行初步分析和筛选,系统会根据预设的阈值自动生成设备运行状态报告并对异常数据进行标记^[4],使运维人员能够快速识别潜在的设备故障隐患,及时采取预防性维护措施。

智慧供电系统的智能巡检功能极大地提升了设备维护的效率和准确性,系统会根据设备类型、运行环境和历史故障记录等因素,自动制定科学合理的巡检计划,通过预设的巡检规则,系统能够识别设备运行过程中的异常状况,如设备过载、绝缘老化、接触不良等问题。一旦发现异常,系统会立即发出预警信号并给出具体的故障类型和处理建议。智能巡检系统还整合了大数据分析技术,通过对历史运行数据的深度挖掘和分析建立设备健康状态评估模型,实现对设备故障的精准预测^[5]。

在具有高温、高湿、强电磁干扰等特殊环境特征的供电场景中,智能化运维管理发挥着更为重要的作用,智慧供电系统采用特殊设计的传感器和监测设备,确保在恶劣环境下仍能准确采集设备运行数据,系统通过实时监测环境参数的变化,自动调整设备运行参数,优化其工作状态。基于人工智能技术的故障诊断系统能够快速分析复杂环境下的设备异常现象,提供准确的故障定位和处理方案,这种智能化的运维管理

方式不仅提高了供电设备在极端环境下的适应能力,也显著延长了设备的使用寿命,确保了整个供电系统的可靠运行。

3.2 复杂环境下的系统优化

智慧供电系统在复杂环境中通过分布式供电设计和优化算法实现了对供电网络的灵活调整与高效管理,对于山地、隧道等地形复杂的区域,系统通过分布式供电节点的设置,缩短供电路径,减少线路损耗,提升供电效率。同时,结合环境感知技术,系统能够根据实时的环境参数来动态调整供电设备的运行参数,增强系统的环境适应性,在遇到突发事件如自然灾害或设备异常时,智慧供电系统的快速恢复模块能够自动识别供电中断的位置和原因,并迅速启动备用供电方案,确保系统尽快恢复正常运行。另外,通过对供电负载进行动态平衡分配,智慧供电系统能够优化供电网络的负载压力,避免单一节点过载导致供电中断,在系统优化过程中采用高抗干扰性设备和先进传输技术可以进一步增强供电线路的稳定性和可靠性,这种多层次的优化策略使智慧供电系统在复杂环境下仍能保持高效稳定的运行状态,为高速公路机电工程的长期运营提供了有力保障。

4 结束语

智慧供电系统在高速公路机电工程中的应用提升了系统运行的可靠性与管理效率,通过优化供电管理、提高设备运行稳定性,实现了智能化运维。智慧供电系统在工程实践中展现出显著优势,未来工程实施中,需针对不同场景优化系统设计与应用策略,进一步发挥智慧供电系统的技术潜力,为高速公路机电工程建设提供持续支持。

参考文献:

- [1] 高玲.智慧供电系统在高速公路机电工程中的应用分析[J].运输经理世界,2023(26):146-148.
- [2] 姜少飞.高速公路智慧供电系统的应用[J].中国交通信息化,2021(11):135-137.
- [3] 赵强.智慧供电系统在高速公路机电工程中的应用[J].工程建设与设计,2022(21):120-123.
- [4] 李磊.智慧供电系统在高速公路机电工程中的应用[J].电子技术,2023,52(05):184-185.
- [5] 王岩.直流智慧照明供电系统在城市轨道交通中的应用[J].智能建筑与智慧城市,2024(S1):136-138.

智能制造技术在机械制造行业中的应用与优化

张卫丰, 张 鹏

(济南京华邦威聚氨酯设备有限公司, 山东 济南 250000)

摘 要 为解决机械制造过程中存在的生产效率低、设备响应迟缓、信息系统割裂等问题, 本文对智能制造技术在机械制造行业中的应用路径与优化策略进行了系统研究, 提出基于智能感知、制造数据闭环控制、智能决策系统与产线自动化的技术集成方案, 构建面向未来的制造优化模型。同时, 围绕平台化架构构建、流程智能重组、数据安全治理与多维协同机制设计, 提出具有可行性的系统优化路径, 以期为机械制造行业的智能化转型升级提供理论支撑和工程实践参考。

关键词 智能制造技术; 机械制造行业; 智能感知; 智能决策; 智能装备

中图分类号: TH164

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.20.008

0 引言

机械制造作为国民经济的重要基础产业, 正面临从传统加工向智能生产体系转型的深刻变革。随着工业 4.0 与中国制造 2025 战略的持续推进, 制造模式正由标准化、批量化向柔性化、定制化加速演进。传统制造体系在应对复杂任务、数据驱动决策与资源协同方面逐渐显现出局限性。推动智能制造技术深度融合至机械制造全过程, 已成为提升行业核心竞争力与构建高效制造生态系统的关键路径。

1 机械制造行业的技术瓶颈与需求

1.1 当前机械制造的核心痛点

当前机械制造行业在快速迭代的产业环境中暴露出多方面的结构性技术瓶颈。首先, 生产系统的柔性制造能力严重不足, 难以有效响应多品种、小批量及个性化定制的市场需求。其次, 加工设备信息化水平偏低, 关键工艺参数采集滞后, 导致产品质量波动大、可控性差。再次, 企业内部普遍存在数据孤岛问题, 设计、工艺、制造与物流等环节之间的信息传递断层, 制约了生产流程的协同优化。最后, 传统车间依赖人工管理和操作, 制造过程透明度不足, 实时调度响应能力差, 严重制约了生产效率与资源利用率的提升。以上问题共同构成机械制造行业向智能化、高效化发展的主要障碍, 亟需通过系统性技术革新加以破解, 以实现制造过程的可视化、精准化与自适应调控。

1.2 对智能制造的需求分析

面对生产精度、效率与灵活性同步提升的需求, 机械制造行业对智能制造技术表现出高度依赖性。首先, 制造流程需借助数字建模与实时感知实现动态调

度与过程闭环控制, 以保障复杂工序的工艺一致性与产品质量稳定性。其次, 智能感知系统可提升设备状态监控的实时性与精准性, 为预防性维护与故障预测提供数据支撑, 降低非计划性停机风险。再者, 通过集成制造执行系统 (MES) 与企业资源计划系统 (ERP), 可实现产供销一体化管理, 增强企业内部资源协同能力。最后, 大数据与人工智能技术的引入, 有助于构建基于数据驱动的决策模型, 提升工艺优化与资源配置效率。由此可见, 智能制造不仅是技术升级的手段, 更是推动机械制造体系深度重构与价值链延伸的核心引擎^[1]。

2 智能制造技术在机械制造中的应用路径

2.1 智能感知与状态监测技术的嵌入

在机械制造领域, 智能感知与状态监测技术的嵌入为制造系统提供了高度实时性与高精度的信息获取能力。通过在关键设备部位部署多源传感器, 如温度、振动、压力、位移、电流与噪声传感器, 能够实时采集加工过程中的多维数据, 并实现对设备运行状态的全生命周期监控。以数控机床为例, 通过集成基于 MEMS 技术的振动传感器, 其测量频率可达 1 kHz 以上, 可识别轴承早期疲劳损伤, 误差检测精度达到 ± 0.005 mm。此外, 结合分布式光纤传感与无线传感网络技术, 可实现多节点状态同步采集, 有效构建设备运行的状态画像。在信号处理层, 引入基于时频域联合分析的 Hilbert-Huang 变换与快速傅里叶变换算法, 提高对复杂信号的解构能力。在系统集成方面, 状态数据通过工业以太网 (如 PROFINET 或 EtherCAT) 上传至工业云平台, 实现远程监控与大数据融合分析。智能感知技术的深度

嵌入显著提高了设备的感知灵敏度、健康评估准确率以及生产过程的透明度，为后续智能决策提供了数据基础^[2]。

2.2 智能决策与制造执行系统优化

智能决策系统与制造执行系统（MES）的深度融合已成为实现机械制造流程优化与资源精准配置的关键支撑。智能决策模块通常以人工智能算法为核心，结合历史数据与实时数据进行多维分析与自适应决策推演。在典型的制造调度场景中，引入基于遗传算法与粒子群优化算法，可实现生产工序的最优排列组合，将设备利用率提高至 92% 以上，平均换型时间降低至原有水平的 65%。MES 系统则在执行层提供作业指令下发、设备联控与质量反馈的闭环功能，实现计划与执行之间的高效联动。通过与企业资源计划（ERP）、产品生命周期管理（PLM）等系统的数据接口集成，MES 可获取上下游的制造需求与资源状态，实现跨系统数据互通与流程协同。例如：在多品种混流装配线中，借助基于 BOM 动态配置与订单驱动模型，可完成复杂任务的在线分解与实时分配，显著提升定制化生产能力。智能决策与 MES 系统的联动优化不仅强化了制造系统的敏捷性与应变能力，也为实现动态制造计划、实时质量控制和资源高效利用提供了强有力的支撑。

2.3 智能装备与产线自动化改造

智能装备的引入与产线自动化的系统重构已成为机械制造升级的核心手段。通过部署具备自适应控制能力的高精度五轴联动数控机床，设备在执行多轴联动复杂工艺时可实现轮廓误差控制精度达到 $\pm 0.002\text{ mm}$ 。与此同时，基于工业以太网通信协议的设备互联体系构建了高效的数据传输通道，使多机协同加工模式得以实现，产线作业节拍缩短 15% 以上。在自动化改造方面，采用协作型工业机器人（如带有力控反馈系统的六轴机器人）可在装配、焊接、搬运等环节替代人工操作，其重复定位精度达 $\pm 0.03\text{ mm}$ ，并通过视觉识别与路径规划算法实现复杂结构识别与动态路径调整。除此之外，通过引入柔性夹具与可重构工装，生产系统在应对多品种切换时无需更换关键硬件部件，可将平均换型时间控制在 7 分钟以内。智能装备系统的部署还需集成实时监控与控制接口，确保设备运行状态在闭环逻辑下保持稳定性与高效性，全面提升产线的可靠性、适应性与智能化水平。

2.4 制造数据的闭环控制与预测性维护

制造数据的闭环控制体系构建基于多层级数据采集、融合与反馈机制，可实现对全过程工艺参数的实

时干预与动态修正。在数据采集层，通过部署高精度工业数据采集模块（如 NI cDAQ 系列），采样率可达 100 kS/s，确保对刀具磨损、主轴负载、电流波动等关键变量的高频监测。在控制层，基于模型预测控制与模糊控制算法融合的控制策略，可对加工过程中的非线性扰动进行动态补偿，使关键工艺输出稳定性提升 22%。数据在执行层经由 PLC 控制器与智能执行单元闭环传输后反馈至云端决策模块，实现参数自适应调节。在设备维护方面，采用基于深度学习算法（如 LSTM 时序预测模型）的预测性维护系统，通过历史状态数据建模预测故障趋势，准确率可达 93% 以上。维护策略由预警机制转变为主动干预，使设备平均无故障运行时间（MTBF）提高至 500 小时以上，显著降低维修频次与备件消耗。制造数据闭环控制系统不仅能优化生产稳定性，也能显著提升制造资源的响应效率与生命周期价值^[3]。

3 智能制造在机械制造中的优化策略

3.1 技术集成与平台化建设

智能制造系统的可持续运行依赖于多种关键技术的集成协同与平台化架构的有序构建。面向机械制造的典型工业应用场景，通过构建统一的工业数据中台，实现设计、工艺、生产与管理系统的贯通，平台的数据接入吞吐量应达到 104 条/s 以上，支持百万级工单并发处理能力。在系统集成层，需打通 CAD/CAM、MES、SCADA 与 ERP 系统间的数据交互接口，采用 OPC UA 等标准化通信协议保证跨平台通信的稳定性与安全性。在设备接入层，通过部署 IoT 边缘网关与工业协议转换器，可兼容 Modbus、Profibus 等主流协议，确保异构设备的高效接入。平台构架需具备微服务架构与容器化部署能力，使功能模块实现解耦与快速迭代，在支持多租户并行操作的同时，确保系统响应时延低于 200 ms。在安全层面，引入基于访问控制矩阵的权限分级模型与工业防火墙集成机制，可有效隔离平台核心控制域与外部访问路径，防止数据泄露与系统入侵。技术集成与平台化建设是实现智能制造系统规模化部署与可扩展性的基础保障。

3.2 制造流程的智能再设计

制造流程的智能再设计旨在通过嵌入式算法、虚拟建模与实时反馈机制重构生产逻辑，从而实现生产流程的自适应、高效率与闭环控制。首先，采用基于 BPMN 标准的流程建模方法，对制造环节中的工艺节点、数据流与决策点进行结构化重组。通过在设计阶段引入数字孪生建模工具，对工艺路径与资源配置方案进

行动态仿真与优化,使产品生命周期中的初始工艺方案优化率提高至30%以上。在调度控制层,引入基于启发式搜索与Q-learning强化学习算法的动态调度模型,具备自适应调整能力,可在任务负荷波动范围 $\pm 20\%$ 内保持产能利用率稳定在95%以上。在执行环节,结合实时状态识别与工艺参数自适应调控技术,确保工序切换过程中刀具路径自动校正误差小于 $\pm 0.01\text{ mm}$,显著提升工艺一致性与加工稳定性。制造流程的智能再设计不仅体现于物理过程的重构,还涵盖信息流、决策流与控制流的深度协同,是推动机械制造系统迈向智能自优化的关键路径^[4]。

3.3 智能制造人才与组织体系建设

实现智能制造体系的持续演进,需依赖多维度人才结构与组织协同机制的系统构建。在人才构成方面,应建立以“复合型工程技术人才+智能系统开发人才+数据科学与分析人才”为核心的技术梯队。根据《中国智能制造人才发展报告》,截至2023年,制造业对复合型高端技术人才的缺口超过400万人,其中机械与自动化工程领域复合背景人才比例不足15%。为应对该挑战,需通过产教融合机制引导高校设置以工业AI、边缘控制、工业网络安全为导向的交叉学科课程体系,推动知识体系向工程应用转化。在组织架构设计中,应以任务导向构建横向扁平化与纵向智能决策协同的双层组织模型,提升组织响应灵敏度与决策效率。在人才管理体系中,需嵌入基于关键绩效指标(KPI)与机器学习模型驱动的能力评估系统,实现人才能力建模、动态评价与精准匹配。人才结构与组织机制的同步升级,是实现机械制造企业向智能制造生态体系跃迁的组织保障。

3.4 数据治理与安全防护体系

在高度数字化的智能制造环境中,构建完善的数据治理与安全防护体系是保障制造系统运行稳定性与信息可信度的关键措施。数据治理需从数据质量控制、主数据管理、标准化建模及权限控制等多个维度同步推进。基于数据质量分析平台,可对数据完整性、一致性与实时性进行指标化度量,合规性检查覆盖率需达98%以上。主数据管理体系需构建统一数据主键编码规则与语义建模规范,避免因冗余与冲突引发信息交互混乱。在安全防护层面,应部署工业防火墙、入侵检测系统(IDS)与数据加密模块,构建纵深防御体系。根据工业控制系统(ICS)安全等级防护框架,智能制造系统应至少满足三级防护要求,在物理层、协议层与应用层均实现访问隔离与行为审计。在实际部署中,

通过引入基于AI的异常行为识别算法(如Isolation Forest)进行多维行为分析,设备入侵识别准确率可达95%以上。高强度数据治理策略与系统安全机制共同支撑了智能制造环境下的数据可信性、可控性与持续可用性^[5]。

3.5 与信息技术深度融合的协同机制

智能制造的发展必须依赖与新一代信息技术的深度融合与协同机制的系统化设计。在融合架构上,需构建多技术协同体系,以5G低时延通信、区块链可信数据机制、边缘计算实时处理能力为核心,实现制造系统从集中式控制向分布式智能转型。在5G网络环境下,设备间通信延迟控制在1 ms以内,满足高频率设备调度与多传感器并发数据传输需求。区块链技术的嵌入则通过哈希链与智能合约实现生产数据的可信记录与多节点共识机制,关键数据不可篡改率达100%。边缘计算平台在控制层实现边缘侧实时响应,通过多核心ARM架构嵌入式模块进行计算分发,可降低中心处理压力约35%,并保障敏感数据在本地实时处理闭环内运行。协同机制需嵌入统一API架构,保障各类系统(PLM、ERP、WMS)间无缝集成,并通过中台式架构提升资源共享效率与服务弹性。信息技术的深度融合与协同机制是推动智能制造系统由局部智能向整体智能跃迁的系统引擎。

4 结束语

智能制造技术正逐步成为机械制造业实现高质量发展的关键支撑力量。通过智能感知、智能决策、自动化装备与数据闭环控制等技术路径,制造过程的效率、精度与柔性显著提升。同时,平台化架构、流程重构与人才体系的协同优化,为行业提供了持续演进的内在驱动力。在多技术融合与系统集成的推动下,机械制造业正加速迈向智能化、数字化与可持续发展的新时代。

参考文献:

- [1] 吴永新.新时代背景下机械智能制造现状研究[J].中国金属通报,2022(01):136-138.
- [2] 周峰.机械制造工艺与机械设备加工工艺研究[J].模具制造,2025,25(01):184-186.
- [3] 韦再峰.现代机械加工中智能制造技术的应用与技术分析[J].模具制造,2025,25(01):187-189.
- [4] 程永康,赵晨悦,胡小波.智能制造技术在机械设计制造领域中的应用[J].内燃机与配件,2025(01):106-108.
- [5] 李艳.先进制造技术与机械制造工艺优化措施分析[J].中国机械,2025(01):74-77.

机电安装工程中智能化控制系统的构建与实践

岳园松¹, 孙乃冉²

(1. 济南泉世界商业管理有限公司, 山东 济南 250000;

2. 济南万融产业发展集团有限公司, 山东 济南 250000)

摘 要 机电安装工程中智能化控制系统的构建与实践对于提升建筑物的智能化水平、优化能源管理、提高设备运行效率具有重要意义。本文探讨了机电安装工程智能化控制系统的构建方法, 从系统架构设计、硬件系统设计、软件系统设计以及系统集成与优化等方面进行了详细阐述, 分析了物联网技术、大数据分析技术以及人工智能技术在智能化控制系统中的实践应用, 总结了一些关键技术实施过程中的经验与细节, 通过合理的系统构建方法和先进技术的应用实践, 能够实现机电安装工程智能化控制系统的高效运行, 以为建筑物提供更加智能、节能、高效的系统化服务。

关键词 机电安装工程; 智能化控制系统; 物联网

中图分类号: TP273; TH-39

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.20.009

0 引言

随着现代科技的飞速发展, 智能化控制技术在各行业得到广泛应用。机电安装工程作为建筑工程的重要组成部分, 其智能化控制系统的构建与实践对于提升建筑物整体的智能化水平具有关键作用。高效、可靠、灵活的机电智能化控制系统能够实现建筑环境的自动感知、自适应调节与优化控制, 极大地提高建筑物的舒适性、安全性和能源利用效率。先进的物联网技术、大数据分析技术以及人工智能技术为机电智能化控制系统带来了新的发展契机。

1 机电安装工程智能化控制系统的构建

1.1 系统架构设计

1.1.1 分层架构设计

机电安装工程智能化控制系统通常采用分层架构设计, 将系统划分为设备层、控制层、管理层等不同层次, 每个层次承担不同的功能, 通过标准化接口实现层间通信和数据交互, 设备层包括各类传感器、执行器、现场总线设备等, 负责实时采集环境参数和设备状态数据, 并根据控制指令调节执行机构。控制层由可编程控制器、嵌入式控制器等组成, 根据设定的控制策略和算法, 对设备层进行实时控制和调度, 管理层通过人机界面、通讯网关、数据库服务器等^[1], 实现对下层的管理、监视功能, 并提供数据分析、决策支持等高级应用。合理的分层架构有利于提高系统的可扩展性、可维护性和安全性。

1.1.2 模块化设计

模块化设计是智能化控制系统构建中的重要原则。系统按照功能特点可以划分为多个相对独立的模块, 如数据采集模块、控制策略模块、人机交互模块等, 可以降低系统耦合度, 便于软硬件的独立开发和升级维护。同时, 模块间采用标准化的数据接口规范, 如 Modbus、BACnet 等, 可实现不同厂商产品的兼容互联, 提高系统集成度。在实际工程中, 应根据具体的应用需求和技术条件, 合理确定模块划分的粒度和接口方式, 既要考虑模块的独立性, 又要避免过细划分导致的系统复杂度提升。

1.2 硬件系统设计

1.2.1 控制器选型与设计

控制器是智能化控制系统的核心硬件, 其选型和设计直接影响系统性能, 针对机电安装工程的应用特点, 控制器需要具备可靠稳定、实时性强、扩展性好、环境适应性强等特点。常见的控制器包括 PLC、DDC 控制器、嵌入式控制器等。在选型时, 要综合考虑控制点数、通信方式、编程语言、供电方式等技术参数, 以及产品质量、售后服务等非技术因素, 针对不同建筑类型的机电系统, 要设计合理的控制器配置方案^[2], 如采用分布式控制器, 实现就地控制和集中管理相结合。在硬件设计时, 还需考虑控制器的电源、通信等接口电路设计, 确保电气安全和信号完整性。

1.2.2 传感器布置与接口设计

科学合理的传感器布置是实现智能化控制的基础, 根据机电系统的监测控制需求, 选择温度、湿度、压力、

流量、电参数等不同类型的传感器,在布置时,要充分考虑房间布局、设备位置、管线走向等因素,合理确定传感器的数量和安装位置,避免重复布置和监测盲区。同时,传感器布置要便于安装、维护和更换,在接口电路设计时,要保证传感器供电的持续性和稳定性,采取有效的电气隔离和信号滤波措施,提高抗干扰能力,针对不同传感器的信号类型和幅值,选择合适的信号调理电路,如放大、隔离、A/D转换电路等,保证采集数据的精度和可靠性。

1.3 软件系统设计

1.3.1 控制算法设计

控制算法是智能化控制系统的核心软件,其设计水平直接影响系统的控制性能,常用的控制算法包括PID控制、最优控制、模糊控制、预测控制等,针对机电安装工程的复杂应用场景,往往需要综合运用多种控制算法,如采用PID控制实现恒温恒湿,模糊控制实现能耗优化,预测控制实现负荷预测等。在算法设计时,要建立准确的被控对象数学模型,综合考虑系统的非线性、滞后、耦合等特性,合理设置控制参数。算法的鲁棒性、自适应性也是关键指标,既要保证控制的快速性和稳定性,又要适应系统参数和外部环境的变化。

1.3.2 人机交互界面设计

界面设计要遵循以人为本、功能明确、操作简便的原则,满足不同层次用户的使用需求。在图形化设计时,采用设备符号、流程图、趋势曲线等直观元素,配合合理的色彩、布局,使界面更加美观、易读。在交互设计时,提供多级菜单、快捷键、触摸屏等灵活的人机交互方式,并兼顾键盘、鼠标等传统输入设备,针对不同的功能模块,设计相应的操作逻辑和流程^[3],如设备监控、参数设置、故障诊断、报表查询等,并提供必要的帮助指引和提示信息。

1.4 系统集成与优化

1.4.1 子系统集成与测试

机电安装工程智能化控制系统往往由多个子系统组成,如暖通空调、照明控制、电梯控制、安防监控等。在系统集成时,需要处理不同子系统之间的协议转换、数据交换、控制逻辑协调等问题,确保子系统间的无缝连接和协同工作。在集成过程中,还需对各子系统进行单元测试、联合测试,全面考核系统的功能、性能、稳定性、安全性等指标,针对集成测试中发现的问题,及时分析原因,制定整改措施,不断完善系统。

1.4.2 系统优化与性能评估

智能化控制系统投入运行后,需进行持续的优化

和性能评估,通过对运行数据的挖掘分析,深入研究设备的能耗特性、故障规律、控制效果等,并结合实际用户反馈,不断优化控制策略和算法。在系统软硬件方面,需定期评估更新需求,通过升级改造、功能拓展来提升系统性能,性能评估应采用科学、规范的方法,既包括定性评价,如舒适度调查、用户满意度调查等,也包括定量评价,如能耗统计、响应时间测试等。

2 机电安装工程智能化控制系统关键技术的实践应用

2.1 物联网技术在智能化控制系统中的应用

2.1.1 传感器技术的选择与应用

物联网技术是智能化控制系统的重要支撑,其中传感器技术的选择与应用尤为关键。机电安装工程涉及的感知对象和环境参数种类繁多,要根据现场实际需求,合理选择温湿度传感器、压力传感器、流量传感器、气体传感器等多种类型,并匹配合适的量程、精度、分辨率、线性度等技术指标。针对布点分散、环境恶劣的特点,选用无线传感器和微型化、集成化的智能传感器,既可简化布线、降低成本,又能提高测量精度和可靠性。在实际应用中,通过对传感器进行标定校准,建立准确的测量修正模型,并采用冗余配置、定期维护等措施,持续保障传感数据的准确性和完整性。借助分布式边缘计算技术,可在传感器端进行初步的数据分析与异常检测,减少数据传输压力,提高系统实时性。

2.1.2 无线通信技术的应用与优化

机电安装工程中各类设备、传感器分布广泛,采用无线通信技术可有效降低布线成本、提高系统灵活性。针对建筑物内部信号传输环境的复杂性,要合理选择WiFi、ZigBee、LoRa等不同制式和频段的无线通信技术。

在方案设计时,通过对信号覆盖范围、传输速率、功耗特性、抗干扰能力等性能的综合比选,匹配合适的无线通信技术和产品。针对数据量大、实时性要求高的场合,采用高速WiFi、5G等技术;针对分布广、功耗敏感的场合,采用ZigBee、NB-IoT等低功耗广域网技术;在组网部署时,合理规划无线节点和汇聚节点的布局^[4],通过功率控制、信道优化等措施,减少无线信号的冲突和干扰,采用多路径路由、自愈网络等机制,提高无线网络的可靠性和鲁棒性;在数据传输过程中,引入先进的数据压缩、加密、校验算法,在保证数据机密性、完整性的同时,提高数据传输效率。

2.2 大数据分析技术在智能化控制系统中的应用

2.2.1 数据采集与预处理技术

机电智能化控制系统在运行过程中会产生海量的设备状态数据、环境参数数据、能耗数据等,蕴含了丰富的应用价值,要充分挖掘这些数据,首先需进行高效的采集与预处理,针对机电设备协议种类多样、数据格式不统一的特点,在数据采集时,采用边缘网关设备,在现场实现多协议解析和格式转换,并通过配置化的数据采集模板,实现灵活可扩展的采集功能^[5]。

在数据预处理环节,采用自动化的数据清洗、去噪、归一化算法,滤除异常值、矛盾值,提高数据质量。同时,针对时序类型的监测数据,引入时间序列特征提取、分解、聚类等技术,实现对时间维度的数据挖掘。针对机电设备、系统的空间拓扑关系,引入图数据分析技术,刻画设备间的连接依赖,为后续的关联分析提供支撑。

2.2.2 数据挖掘与机器学习算法的应用

海量的机电系统数据中往往隐藏了设备健康状态、能源消耗模式、空间舒适度等有价值的信息,利用数据挖掘与机器学习算法,可从多源异构的大数据中发现新知识、优化控制策略。一个典型的应用场景是机电设备的健康管理及预测性维护,通过在线实时采集设备的振动、温度、电流等状态参数,结合设备的历史维修记录,构建具备可靠性的统计学习模型。模型通过数据训练,可学习设备的正常工作模式,当监测数据出现异常偏离时,可及时预警设备的故障风险,引导维修人员提前检修,避免设备非计划停机。针对大型公共建筑的能源管理,可利用关联分析、时序模式挖掘等算法,从海量的分项能耗数据中,发现能源浪费的典型模式,如同时供冷供热、长明灯现象等,并挖掘不同能耗分项间的关联规律,优化协同控制策略。

2.3 人工智能技术在智能化控制系统中的应用

2.3.1 深度学习在故障诊断与预测中的应用

机电安装工程涉及大量复杂的设备和子系统,传统的基于物理模型和专家经验的故障诊断方法往往难以应对复杂工况,引入深度学习技术,可建立端到端的、从数据到诊断结果的映射模型,克服了专家知识获取难、模型泛化能力弱等问题。以暖通空调系统为例,通过对海量运行工况下的温度、压力、流量等参数的时空序列数据进行深度特征学习,构建多层次的神经网络模型,可准确刻画设备性能衰退规律。

模型经过大量故障工况样本的训练,能够学习到从数据到故障模式的深层关联,在输入新的监测数据

后,可快速判别故障的严重程度、类型和原因,并给出后续维修决策的参考建议。在算法设计时,针对机电系统时空数据的高维性、非线性,采用长短时记忆网络、卷积神经网络等深度模型,通过端到端的特征表达学习,提高算法的自适应能力和诊断精度。

2.3.2 强化学习在控制策略优化中的应用

机电智能化系统的控制优化往往面临着“维数灾难”和复杂的动态约束。传统的优化控制算法采用显式建模的方式,难以应对日益复杂的机电系统,强化学习通过智能体与环境的交互试错,可在无需显式建模的前提下,通过不断尝试和学习,逐步逼近最优控制策略。以空调系统的温度控制为例,传统的 PID 控制难以满足日益严格的节能和舒适性需求,引入强化学习算法^[6],可通过嵌入式智能体实时感知室内温度、湿度等环境状态,结合用户反馈和能耗数据,动态调整自身的控制策略。智能体通过大量的仿真训练和策略迭代,逐步学习最优的控制参数,在应用阶段,智能体可根据环境和用户状态的动态变化,实时调整控制指令,在满足约束条件的前提下,最小化能耗和舒适度损失。

3 结束语

机电安装工程智能化控制系统是建筑智能化不可或缺的关键组成部分,其构建和实践需要紧密结合工程应用实际,统筹兼顾系统的功能性、可靠性、安全性、可维护性等多个目标,综合运用物联网、大数据、人工智能等新一代信息技术,打造开放、融合、智能、高效的系统解决方案。未来,随着 5G、人工智能、区块链等技术的进一步发展,机电智能化控制系统将呈现出跨域融合、主动智能、安全可信的发展态势,为建筑行业的智慧化转型提供强大的数字底座和使能平台。

参考文献:

- [1] 沈茂军.通信技术在智能化机电设备安装中的相关运用[J].数字技术与应用,2025,43(06):110-112.
- [2] 魏仲发.装配式建筑机电安装工程施工技术[J].大众标准化,2025(09):117-119.
- [3] 李金宝.建筑工程机电设备安装的施工管理探究[J].中国设备工程,2025(09):252-254.
- [4] 齐福祥,李国锋.绿色施工理念下石化机电安装工程质量保障措施[J].中国品牌与防伪,2025(05):179-181.
- [5] 田沛.浅谈市政工程机电安装施工及管理[J].中国设备工程,2025(08):263-265.
- [6] 刘润宝,李德军.建筑机电安装工程中智能化技术应用分析[J].建筑,2025(02):126-128.

物联网技术在高速公路机电系统建设中的应用

党国强

(四川亿达通交通工程有限责任公司, 四川 成都 610000)

摘要 高速公路机电设施涵盖众多复杂的设备, 这些设备的稳定运行会直接影响高速公路的稳定运行。工作人员通过物联网技术, 能够实时监测设备的运行状态, 迅速响应各种突发状况, 从而降低人工维护成本。本文阐述了物联网技术在高速公路机电系统建设中的重要性, 并探讨了物联网技术在高速公路机电系统建设中的具体应用方法, 以期为保障高速公路的长效运营提供有益参考。

关键词 物联网技术; 高速公路; 机电系统建设

中图分类号: U495

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.20.010

0 引言

在高速公路机电系统建设中, 物联网技术的迅速发展为其带来了巨大的变革, 成为提升管理效率的重要力量。高速公路是重要的交通枢纽, 其机电系统是保障高速公路长效运营的关键。通过在高速公路机电系统建设中运用物联网技术, 借助该技术强大的数据采集及处理能力, 可以为高速公路机电设施提供全新的智能化解决方案。

1 物联网技术在高速公路机电系统建设中的重要性

首先, 物联网技术可以提升高速公路机电系统的自动化。在物联网技术的支持下, 所有的交通监控设备以及其他机电设施都可以实时连接到一个统一的智能平台。借助这个平台, 管理人员能够即时获得设备的运行状态、交通流量、气象条件等数据, 实现对整个高速公路系统的实时掌控。在这种智能化环境下, 交通流量的管理变得更加灵活, 通行效率得到了显著提高^[1]。其次, 物联网技术在故障预警和远程监控方面发挥着至关重要的作用。高速公路机电系统涉及众多复杂设备, 这些设备一旦出现故障, 会影响交通流畅或增加维护成本。物联网技术可以实时监控这些设备的运行状态, 一旦发生故障或设备异常, 系统会自动发出警报, 管理人员可以在第一时间获取到故障信息并进行远程处理, 能缩短维修响应时间, 减少设备停运对交通的影响。远程监控的实现, 可以避免频繁现场巡检的需求, 降低人工成本。此外, 物联网技术还对交通安全管理起到了重要作用。高速公路的安全管理不仅仅依赖于道路本身的设计和施工质量, 还需要有效的系统保障。物联网技术在高速公路中的应用

可以实现对交通流量、车速、天气变化等多种因素的实时监控, 帮助管理部门及时采取相应措施, 减少交通事故的发生。最后, 在高速公路的运营中, 设备的维护和更新往往是最为复杂和耗费资源的部分, 物联网技术能够实时监控设备的使用状态, 系统可以根据这些数据做出智能判断, 确定哪些设备需要维护、哪些设备可以延长使用周期, 降低不必要的资源浪费。

2 物联网技术在高速公路机电系统建设中的应用方法

2.1 智能监测, 精准感知设备状态

在机电系统的各个环节安装智能传感器, 能够实时监控设备的运行状态, 确保设备在最佳工作状态下运行。传感器采集到的数据能够传输至中央控制系统, 形成一个庞大的数据流。中央控制系统会根据数据的变化趋势, 及时识别出设备的异常情况, 并自动生成预警信息。一旦某个设备出现异常, 系统可以立即通知管理人员进行远程诊断和维修。这种智能监测方式不仅提高了设备维护的及时性, 还减少了人为操作错误和延误情况的发生。高速公路机电系统需要配置高精度的数据采集系统, 并与其他监控平台的数据互通。传感器必须具备较强的抗干扰能力和适应不同工作环境的能力, 这样才能确保监测数据的准确性和可靠性。

数据传输的稳定性也是实施智能监测的关键, 工作人员必须采取先进的无线通信技术, 确保传感器与中央系统之间的实时数据传输。随着时间的推移, 系统会积累大量设备运行数据。借助大数据分析技术, 系统能够发现潜在的规律与趋势, 从而预测设备可能

出现的故障和磨损情况。工作人员可以通过对历史数据的比对,为每个设备制定出最合适的保养周期,并自动提醒工作人员进行定期检查。这种智能化的预判能力能够最大程度地减少设备的故障停机时间,延长设备的使用寿命,降低维护成本。此外,智能监测还能与设备的生命周期管理系统相结合。通过系统对设备从安装、调试、运行到维护、退役的全过程数据进行跟踪,可以全面掌握每个设备的健康状况^[2]。当设备出现问题时,智能监测系统会为维修人员提供设备历史运行数据、故障记录等信息,帮助其更快速地找到问题根源,并制定出最合适的维修方案。

2.2 远程控制,提高管理响应速度

在设备上安装传感器及控制模块,可确保实时采集设备运行状态数据,并借助无线通信或光纤网络传输到中央控制系统。当监控到设备出现故障或异常时,工作人员能够立即获取报警信息,从而控制平台远程操作设备。例如:若收费系统发生故障,工作人员可以用系统界面直接对设备进行远程重启或调整,避免交通拥堵或收费差错。对交通信号灯的管理也是如此,工作人员可以在远程平台上实时监控交通流量数据,并根据实际情况调整交通信号灯的控制参数,以疏导交通,减少交通堵塞和事故的发生。工作人员必须配置高效的无线通信设备,确保传感器与中央控制平台之间的实时数据传输不出现延迟或丢失。每一台设备的连接必须通过多重备份通信链路保证冗余,确保关键时刻系统依然能够正常工作^[3]。

在实际操作时,工作人员要定期检查设备的通信状态,并进行必要的调试,以保持数据流的稳定性。若设备的通信出现异常,要迅速定位问题并进行修复,确保系统始终处于良好的工作状态。当设备的控制逻辑发生变化或需要调整时,工作人员要根据具体情况,对控制策略进行实时更新。工作人员还可以设定自动化流程和报警机制,当设备出现异常时,自动生成故障诊断报告并通知相关工作人员,避免延误响应时间。在数据分析方面,工作人员可以借助大数据分析平台,根据设备采集的实时数据进行趋势分析和异常预测。当某一设备的使用频率或工作负荷达到一定标准时,工作人员可以根据数据自动生成预警,进行提前检修,避免设备故障的发生,提升管理的效率。

2.3 数据分析,优化交通运行策略

数据分析可以实时监测交通流量等关键指标,及时发现并解决交通瓶颈。工作人员要确保传感器的精准性,避免因设备故障导致数据丢失或错误传输。与

此同时,工作人员要配置多个数据传输通道,以确保数据传输不出现中断。当数据被传输至中央平台后,可以利用数据分析软件,对大量交通流量、车速变化、事故发生频率、路况等因素进行深度挖掘,发现潜在的交通拥堵原因以及交通运行中的瓶颈。在数据分析中,工作人员要特别关注交通高峰期、突发事件以及特殊天气条件下的交通情况。这些因素往往会影响交通的流畅性,而通过对这些数据的细致分析,工作人员能够识别出可能出现的交通问题,从而提前采取应对措施。在分析结果的基础上,工作人员可以优化交通信号灯,例如:工作人员可以分析高峰时段的流量数据,实时调整信号灯的配时方案,缓解拥堵情况。在交通流量较大的路段,调度更多的车道进行开放,以提高道路通行能力。而在低流量时段,工作人员则可以调整车道的开放情况来降低能耗。工作人员要结合实时天气数据进行交通策略调整,遇到恶劣天气时会增加交通监控频率,并自动调整车道封闭和车辆速度限制,确保道路安全。工作人员可以通过监控系统及时发现事故地点,迅速调度救援力量,并优化道路通行方案,避免事故对其他路段的影响。此外,通过分析历史数据,工作人员能够提前制定出交通事故高发路段的预防策略,并根据事故发生的原因进行针对性改进,从而降低未来事故发生的概率。除了常规的交通流量数据,工作人员还要用大数据分析工具对车辆类型、驾驶行为、道路施工等因素进行深入研究。例如:工作人员可以分析高速公路不同车种的通过速度和车道使用情况,判断是否存在车辆通行不均的现象,并在此基础上优化车道分配方案。通过对车流类型的分析,工作人员能够识别出需要改进的路段,从而在交通高峰时段进行合理的车流调配和流量引导,确保交通更加顺畅^[4]。

2.4 智能收费,提升通行结算效率

实施智能收费的第一步是将物联网技术与收费设备相结合,工作人员可以在高速公路收费站安装各种传感器和摄像头,用于实时识别车辆信息。设备借助无线网络与中央系统连接,将车牌号码、车辆类型、车速等信息实时传送到后台。工作人员可以配置车辆自动识别系统,使车辆能够在过收费站时自动完成信息采集,将车辆的通行数据与对应的收费标准进行匹配,并自动计算出通行费用。在这一过程中,通过优化 ETC 系统,能够在车辆通过收费站时迅速完成费用扣除,而无需停车等待。这一方式大大减少了人工干预的需求,使通行过程更加流畅,避免了因车辆停留

等待结算而造成的交通拥堵。为了确保智能收费系统的高效运作,工作人员需定期对收费设备进行维护,确保设备能够准确识别不同类型的车辆并实时传输数据。工作人员还要不断更新系统软件,提升收费系统的智能化水平,使其能够应对各种复杂的收费场景,如不同车型的费用差异、特殊通行需求等。

工作人员可以定期检查网络连接,确保数据传输的稳定性,避免出现信息传递错误或延迟现象。每当系统出现故障或识别错误时,工作人员能够借助远程监控系统及时发现问题并进行调整,保证收费系统的持续稳定运行。智能收费系统还要与交通管理系统和数据分析平台相连接,工作人员可借助大数据分析,实时监控各收费站的通行情况,进行数据对比分析,发现可能的瓶颈或效率低下的环节。智能收费系统能够为工作人员提供丰富的数据报告,这些报告可以帮助工作人员分析收费站的运营状况,了解通行效率、收费金额、通行车辆类型等数据。借助分析这些数据,工作人员可以优化收费站的配置和收费策略。例如:如果某些收费站的通行流量较高,工作人员可以根据数据报告适时增加车辆通过的车道,或者调整收费策略,以提高通行效率。工作人员还可以利用数据分析结果预测未来可能出现的交通情况,提前做好准备工作,如在节假日、恶劣天气等特殊时段增派人手或加强设备维护,保障系统的高效运作。

2.5 能耗管理,降低公路运营成本

高速公路的能源消耗主要来源于照明系统、交通信号系统、收费设施、监控设备等。这些设施的能耗往往是固定的且持续存在的。工作人员可以部署智能传感器和能源监控系统,实时了解各个设备的能耗情况,识别能耗较高的设备,并进行针对性优化。工作人员要确保这些传感器能够精准地采集电力、水源、气体等各种能源的使用数据,并将其上传至中央监控平台。平台不仅可以显示实时的能耗数据,还可以生成能源消耗报告,帮助工作人员及时了解各项设施的能源使用状况。在数据采集后,工作人员利用大数据分析技术对这些信息进行处理,分析能耗高的设备和环节。对比不同时间段的能耗情况,工作人员能够识别出能源浪费的具体环节。在收费站,工作人员可以发现某些时段或某些区域的照明设施、空调设备、设备待机状态等存在过度消耗现象,造成不必要的能源浪费。针对这一问题,工作人员会根据实时数据调整照明设备的开关时间或亮度,在夜间低流量时段减少照明强度或自动关闭不必要的灯光,减少能耗^[5]。

工作人员要根据设备的使用频率和能耗情况,优化设备的运行方式。例如:工作人员对交通信号灯的控制系统进行智能化改造,配备能耗监测模块,当路段交通流量较低时,信号灯系统会自动调整到节能模式,减少不必要的电力消耗。在交通流量较大的时段,信号灯系统可以根据流量自动调节其工作频率,从而实现最大程度的能源节约。此外,工作人员还可以根据天气和季节变化对空调、暖气等系统进行调整。在寒冷季节,工作人员可以使用智能温控系统,调整取暖设备的工作状态,确保在低能耗的前提下仍能维持设备正常运行。在一些条件适合的路段,可以在收费站、监控设施等位置安装太阳能电池板,为设施提供可持续的清洁能源,确保这些可再生能源设备能够与传统电力系统进行合理对接,当太阳能或风能足够时,优先使用这些清洁能源,降低对电网的依赖。这能够有效降低运营成本,减少对环境的影响,实现绿色发展。多设备在长时间运行后可能会出现故障或能效降低的情况,工作人员要定期检查这些设备并进行保养,确保设备能耗最低,从而减少不必要的能量损耗。特别是对于高能耗设备,工作人员要定期检测其能效,及时更换老化的设备部件,确保设备的高效运行。

3 结束语

在高速公路机电系统中应用物联网技术,可以推动智能交通系统的发展,提升高速公路管理的智能化水平,显著改善交通管理效率。未来,随着物联网技术的不断创新,更多的智能化应用将进一步融入高速公路的各个环节。在智能化交通体系的引领下,机电系统将变得更加高效,满足日益增长的交通需求。

参考文献:

- [1] 张征.基于物联网技术的高速公路机电设备监控系统分析[J].交通世界,2024(16):181-183.
- [2] 张宏飞.物联网技术在高速公路车辆运行监控系统中的应用[J].交通世界,2023(18):1-3,7.
- [3] 刘永龙,李中汉,李东毅.基于物联网技术的高速公路机电设备智能监控系统[J].西部交通科技,2023(04):23-25,28.
- [4] 杨玉涛.基于物联网技术的高速公路机电智能化管控系统研究[J].湖南邮电职业技术学院学报,2022,21(02):19-22.
- [5] 张璇.高速公路机电管理系统中物联网技术的应用研究[J].交通世界,2022(07):125-126.

智能监控技术在公路隧道施工安全管理中的应用探讨

李嘉玲

(四川公路桥梁建设集团有限公司公路隧道分公司, 四川 成都 610222)

摘要 公路隧道工程是公路建设的核心构成部分, 其施工过程中的安全管理工作尤为重要。公路隧道工程由于其特殊的施工环境和复杂的工艺流程, 存在诸多潜在的安全风险和挑战。智能监控技术在公路隧道施工的安全管理领域发挥着重要作用, 为保障施工安全、提高工程质量、加快施工进度和降低投资成本提供了有力的技术支持和保障。本文深入探讨了智能监控技术在公路隧道施工安全管理中的应用, 旨在为相关工作提供理论依据和实践指导。

关键词 智能监控技术; 公路隧道; 施工安全管理

中图分类号: U455

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.20.011

0 引言

公路隧道施工因其特殊的环境条件而呈现出复杂多变、作业难度极大以及安全风险极高的特点。传统的安全管理手段在面对施工过程中的各种潜在安全隐患时, 往往难以做到全面覆盖和及时响应, 从而导致安全事故频发, 给施工人员的生命安全以及工程项目的顺利推进带来了严重威胁。随着科技的飞速发展, 智能监控技术不断升级优化, 在工程建设领域展现出了强大的应用潜力。在公路隧道施工安全管理工作中, 智能监控技术的引入为公路隧道施工安全管理提供了新的思路和方法。

1 智能监控技术在公路隧道施工安全管理中的作用

1.1 实时监测

智能监控系统具有高度集成的传感器网络和先进的数据采集技术, 能够不间断、实时地捕捉公路隧道施工过程中的各类关键数据。这些数据涵盖了广泛的环境参数, 如空气质量(包括氧气含量、有害气体浓度)、温湿度、照明强度等, 它们对于评估施工环境的安全性和舒适度至关重要。同时, 系统还能精确追踪施工人员的实时位置, 通过佩戴的定位设备或移动通信设备, 确保管理人员能随时掌握人员分布和动态, 这对于紧急疏散和人员调度极为有利^[1]。除此之外, 对于施工区域内的车辆状态, 如速度、位置、是否违规停放或行驶等, 智能监控系统也能进行细致监控, 有效防止交通事故的发生。通过实时数据的采集, 为公路

隧道安全管理人员提供了全面、即时的信息支持, 使他们能够迅速响应施工现场的变化, 保障施工安全^[2]。

1.2 预警分析

智能监控系统不仅能够采集数据, 还具有强大的数据分析能力。系统内置的智能算法能够对海量数据进行深度挖掘和模式识别, 通过对比历史数据、预设的安全阈值以及行业标准, 能够敏锐察觉到潜在的安全隐患。无论是环境参数的异常波动, 还是人员、车辆的违规操作, 一旦触发预警条件, 系统便会立即自动生成预警报告, 并通过声音、光信号、短信或 APP 推送等多种方式, 迅速向管理人员和现场施工人员发出预警信号。通过即时反馈机制, 可以让安全隐患在萌芽状态就被发现并处理, 大大减少了安全事故发生的可能性。

1.3 数据可视化

要想有效提升公路隧道施工安全管理效率, 可以利用智能监控系统强大的数据可视化功能。通过将复杂的施工数据转化为直观的图表、曲线、地图和热力图等形式, 管理人员可以一目了然地掌握公路隧道施工的全貌。例如: 环境参数的实时变化趋势图可以帮助判断施工环境是否稳定; 人员位置的热力图能够直观展示人员密集区域, 便于进行安全风险评估; 车辆行驶轨迹图则能揭示车辆流动模式, 为优化交通管理提供依据。这种直观的数据展示方式, 不仅进一步降低了理解数据的门槛, 也在很大程度上增强了决策的

科学性和准确性,使得管理人员能够基于数据驱动做出更加及时、合理的决策,从而有效提升公路隧道施工的安全管理水平和施工整体效率。

2 智能监控技术在公路隧道施工安全管理中的应用

2.1 人员与车辆定位系统

利用超宽带(UWB)技术,安全管理人员可以对隧道内人员和车辆进行高精度定位。这一技术通过部署UWB标签于人员佩戴的安全设备或车辆上,并结合隧道内部精心布置的定位设备,能够实时捕捉并传输这些标签发出的超宽带信号。这些信号经过复杂的算法处理,能够精确计算出每个标签、每个人员或车辆的具体位置信息,误差极小,达到了厘米级的定位精度。这种高精度的实时定位不仅在日常施工中发挥着重要作用,确保所有进入隧道的人员和车辆都能在安全可控的范围内活动,有效防止了因位置不明确而导致的潜在安全风险,更在紧急情况下成为救援行动的生命线。一旦隧道内发生突发事件,如火灾、坍塌或其他需要紧急疏散的情况,UWB定位系统就能够迅速提供所有人员和车辆的确切位置信息,为救援队伍提供精准的导航,使救援行动能够迅速、准确地展开。人员与车辆定位技术的应用在很大程度上降低了因人员或车辆位置不明而导致的救援延误风险,为公路隧道施工安全提供了坚实的保障。与此同时,救援人员也能够基于实时的位置数据,制定最优的救援路线,快速到达事故现场,展开救援行动,最大限度地减少人员伤亡和财产损失。

2.2 有害气体检测系统

在公路隧道施工过程中,由于地质条件、施工机械运作以及爆破作业等多种因素,可能会产生一氧化碳(CO)、二氧化硫(SO₂)等一系列有害气体。这些有害气体不仅会对施工人员的健康构成严重威胁,还可能引发火灾、爆炸等安全事故,因此,对公路隧道内的有害气体进行实时监测和有效管理至关重要。为了保障施工人员的健康和生命安全,公路隧道施工现场通常会安装有害气体检测设备。这些设备能够实时监测隧道内的气体浓度,包括一氧化碳、二氧化硫等有害气体的含量。通过高精度的传感器和先进的检测技术,有害气体检测设备能够准确、快速地捕捉到气体浓度的变化,并在浓度超标时立即发出警报。一旦有害气体浓度超标,系统将通过声光电等多种方式发出警报,提醒管理人员和施工人员立即采取通风或其他必要措施。其中,通风是降低隧道内有害气体浓度的有效手

段之一,通过增加空气流动,可以将有害气体迅速排出隧道,保持空气新鲜。此外,管理人员还可以根据实际情况,采取其他措施,如暂停施工、撤离人员等,以确保施工人员的安全。除了实时监测和警报功能外,有害气体检测设备还可以将监测数据实时传输至信息化管理平台。如此一来,管理人员可以随时随地查看隧道内的气体浓度情况,及时掌握施工现场的安全状况。同时,信息化管理平台还可以对监测数据进行统计分析,为公路隧道施工安全管理提供更加科学、准确的决策依据^[3]。

2.3 视频监控

在公路隧道施工过程中,引入高清摄像头进行实时监控是至关重要的安全管理措施。通过高清摄像头能够全天候、无死角地捕捉隧道施工区域内的每一个细节。管理人员通过高清画面可以清晰地观察到施工过程中的每一个环节,包括施工人员的具体操作、设备的运行状态以及现场的整体环境等。一旦施工过程中出现任何异常情况,如施工人员未按规定佩戴安全装备、进行违规操作或者施工设备出现故障、存在安全隐患等,高清摄像头都能迅速捕捉并记录下来。这些实时的监控画面不仅可以为管理人员提供直观、准确的现场信息,还能够帮助他们迅速定位问题所在,及时做出响应。更重要的是,结合先进的数据分析技术,这些高清摄像头所捕捉到的信息还可以被进一步挖掘和利用。通过对监控画面的深入分析,管理人员可以识别出施工过程中的潜在风险点,预测可能发生的安全事故,从而提前采取措施进行预防。同时,这些数据还可以用于对施工人员的操作行为进行评估和反馈,帮助他们纠正不良习惯,提升安全意识,进一步保障公路隧道施工的安全、有序开展。

3 智能监控技术在公路隧道施工安全管理中的应用策略

3.1 优化管理理念,提升动态监管效能

首先,为了确保公路隧道施工的质量和生命安全,必须获得各部门的充分重视与积极参与。各部门需明确自身的工作内容与职责,对施工方案进行严格把关,并深入研究和理解施工的具体内容及要求,从而有效预防常规问题的发生。同时,需要借助信息化技术的力量,拓宽安全监控系统的应用范围,确保系统能够实现对整个施工过程的动态监管。只有在确保施工安全的前提下,才能进一步保证施工质量和进度,确保各项任务能够按时、高质量地完成。其次,注重施工

方案的合理设计。设计人员必须充分考虑公路隧道工程的实际情况,因地制宜地选择最合适的施工方案。通过综合运用各项管理机制和施工技术,帮助各部门更好地掌握施工要点和难点,深入理解设计意图,并按照施工图纸进行规范施工,以此提升工程的施工进度和施工质量。再次,需不断优化管理理念,注重施工材料的质量和及时供应,不断提升施工人员的专业能力和技术水平。在各个工作环节中,加大安全管控和质量管控的力度,尽量避免出现返工或延误工期等问题。最后,选择适合的机械设备,并加强日常维修和保养工作,以降低设备故障的发生率,从而加快工程进度。在技术交底工作中,应严格按照工程计划实施,为整体作业效率奠定坚实的基础^[4]。

3.2 加大安全监控力度,推动各项工作的持续开展

施工安全监控工作在公路隧道工程施工成效中具有决定性作用,必须将工作重心聚焦于施工阶段,确保各项安全规范与标准化要求贯彻执行。管理人员应紧密结合现场作业的实际状况,充分发挥项目监管部门的职能作用,通过实地观察与全程监督,为施工安全构筑起坚实的防线。为此,项目部应构建一套专门针对安全生产的奖惩机制,对于严格执行安全规范、表现突出的个人或团队给予表彰与奖励,以此激励全员积极参与安全生产;而对于安全意识淡薄、违规操作者,则应及时给予警告乃至处罚,以此形成有效的震慑力。通过奖惩分明的制度,有助于营造全员关注安全、重视安全的良好氛围。同时,还应充分利用信息化安全监控系统的优势,实现对整个施工过程的动态化、智能化监管,以此大幅度提升监管效率,确保监管的全面性和准确性。在此基础上,建设部门与监督机构应携手合作,根据工程的具体特点不断完善安全监控体系的内容,确保各项监控措施既符合政策导向,又贴近实际需求。此外,还需积极吸引并培养专业化的管理人才,为他们提供广阔的发展空间和施展才华的平台。这些专业人才能够以其深厚的专业知识和丰富的实践经验,全身心投入施工安全的跟踪监控工作中,为公路隧道工程的建设质量提供强有力的保障。

3.3 强化施工安全检查力度,突出安全监控重要性

在公路隧道工程施工阶段,开展安全监控工作可以确保施工过程的规范性和标准性,这要求管理人员切实履行监督职责,将各项安全标准和机制落实到位。监管部门需在施工现场强化安全基础保障的管控力度,确保每一项安全措施都得到有效执行。考虑到公路隧

道工程项目不仅关乎施工单位的经营管理,还与群众的日常生活和生产活动紧密相连,因此,在安全监控方面必须格外谨慎。只有确保施工过程的高度安全性,提前识别并消除潜在的安全隐患和风险,才能有效防止重大安全事故的发生,保障工程竣工后能够带来巨大的经济效益和社会效益。以往,一些公路隧道工程在施工过程中因吊塔搭建不当、脚手架脱落、爆破施工操作不规范等问题引发了严重事故,这些事故不仅阻碍了工程进度,更对作业人员的心理造成了巨大冲击,甚至影响了后续工作的正常开展。这些教训警示我们,建设施工单位必须在工程启动阶段就高度重视安全监控系统的创建与应用,并将其视为提升工程项目质量和技术水平的基石。在施工前,应依据工程监管计划制定严格的标准作业流程,深入分析可能导致质量问题和安全隐患的主要因素及其影响。通过虚拟施工条件对监管计划进行不断完善,从多角度、深层次进行剖析,采用精细化管理模式对各个工作环节中的关键要点进行细致研究^[5]。这样不仅可以确保隧道工程的顺利竣工,还可以达到竣工后的经营管理成效,为公路隧道工程项目的长期稳定运行提供坚实的安全保障。

4 结束语

安全管理人员应充分认识到公路隧道施工安全监控工作的重要性,通过构建并实施安全监控体系,可以全面促进公路隧道安全管理工作的开展。同时,合理应用信息化技术建立安全监控系统,加强对各项工作的有效控制和管理,可实现对施工过程的动态监管。这样不仅能够及时发现并解决问题,确保工作质量和进度符合要求,充分满足隧道工程的建设和发展需求,还能有效降低项目投资成本,显著提升整体效益。

参考文献:

- [1] 肖靖,曾锦松,林鸿玲,等.智能监控系统在电力施工安全管理中的应用研究[J].电子元器件与信息技术,2023,07(12):86-89.
- [2] 王飞,王倩倩,赵铁正,等.隧道施工智能化监测与安全管理分析[J].交通世界(上旬刊),2021(05):5-6.
- [3] 张文智,何洪洋,高岳,等.智能监控系统在电力施工安全管理中的应用[J].电子技术,2023,52(01):322-324.
- [4] 王莉莎.建筑工程施工现场信息化安全管控措施分析[J].商品与质量,2022(35):166-168.
- [5] 赵声海.建筑工程施工现场信息化安全管控措施分析[J].建筑工程技术与设计,2021(33):1109-1110.

风电工程土建施工桩基础技术分析

张志杰

(中电建新能源集团股份有限公司河北分公司, 河北 石家庄 050000)

摘 要 在风电工程土建施工中, 桩基础技术是确保风机运行稳定的关键环节, 其对风电场长效运营效益具有决定性影响。然而, 面对日益复杂的荷载要求, 传统桩基施工在垂直度控制、承载力稳定性及防腐耐久性方面仍存在诸多技术挑战。本文结合风电工程特点, 提出构建实时纠偏垂直监测系统、开发桩端土体改良加固技术、建立多层复合防腐涂层工艺及优化预应力桩疲劳寿命的策略, 旨在为提高桩基础的施工精度提供参考。

关键词 风电工程; 土建施工; 桩基础技术

中图分类号: TU753.3; TM614

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.20.012

0 引言

风电工程是清洁能源基础设施的核心, 其桩基结构承载性能直接决定风机系统的使用寿命。预应力高强度混凝土管桩作为常见的风电桩, 具有良好的承载能力和耐久性, 但在复杂地质环境下面临着垂直度控制、荷载传递效率及耐久性保障等多重挑战。因此, 施工人员亟需构建涵盖设计理论、施工控制以及运维监测的全链条技术体系。

1 风电工程常见桩基础类型

1.1 预应力高强度混凝土管桩基础结构

预应力高强度混凝土管桩结构的核心原理是利用高强度混凝土管桩承载风机荷载, 施工人员在风电工程中常采用该结构。该材料具有较高的抗弯刚度, 能够适应海上或陆地的复杂地质条件。另外, 预应力高强度混凝土管桩在液压锤击下垂直贯入土层, 顶端与风机塔筒法兰连接形成整体传力路径, 荷载依靠桩身均匀传递至地基深处^[1]。该结构对桩体垂直度控制要求严格, 施工过程中需实时监测钢管贯入姿态, 确保桩身轴线与塔筒中心线精确对正。设计钢管壁厚时需综合考量风电机组动态荷载及地质勘探数据, 通常会采用改变截面形式来优化材料用量。

1.2 多桩承台连接体系

施工人员在设计阶段需根据地质勘察数据确定桩的布置形式, 采用对称排列或梅花分布以优化荷载传递效率。多桩承台体系的优势在于把塔筒荷载分散至多个支撑点, 适用于承载力较弱或土层分布不均的场地条件。承台结构作为荷载分配中枢, 须具备足够的强度以平衡各桩受力差异, 混凝土材料因其抗压性能成为主要承台构筑材料。桩基间距设计需考虑群桩效

应影响, 避免相邻桩体应力叠加导致地基整体失稳。在软土地基中, 桩端要穿透软弱土层进入持力层, 桩侧阻力与桩端阻力共同承担垂直荷载。施工过程中需重点控制承台与桩顶的连接精度, 确保灌浆料充分填充接触面空隙。

2 风电工程常见桩基础技术应用中存在的不足

2.1 沉桩垂直度控制精度不足

施工人员在预应力高强度混凝土管桩或多桩承台施工时, 桩体轴线偏移易造成基础偏心受力, 导致塔筒法兰连接面应力集中。垂直度偏差超出允许范围时, 桩身与地基土体的接触压力分布不均, 会削弱桩侧摩擦阻力的有效发挥, 土层压缩差异会放大倾斜桩体的弯矩效应。打桩过程中液压锤击能量传递路径若与桩体实际轴线存在夹角, 就会引发桩锤—桩—土系统动力响应失衡, 进一步加剧桩身偏移。传统监测手段在动态工况下存在数据滞后性, 无法实时反馈桩体三维姿态变化, 致使纠偏措施缺乏时效性。预应力桩焊接与法兰端面加工误差会形成初始垂直度缺陷, 在后续打桩阶段缺陷值呈非线性增长。同时, 桩顶法兰与塔筒底法兰之间的匹配精度因垂直度偏差产生连锁反应, 影响高强螺栓紧力的均匀分布。

2.2 复杂地层桩端承载力不稳定

地质构造复杂区域桩端可能悬空或嵌入破碎岩体, 接触面咬合强度不足削弱桩端阻力发挥效果。桩端穿过软弱夹层时, 下卧硬土层厚度不足会引发刺入破坏, 承载力随时间发生固结沉降。在动态荷载作用下, 桩土接触面反复剪切致使桩端阻力软化, 易产生液化现象加剧承载力衰减^[2]。预应力管桩贯入时桩端土体过度挤密形成“土塞效应”, 实际端阻力低于理论计算值,

同时桩端检测手段受地层界面反射干扰,导致低应变法难以准确识别实际持力层状况。除此之外,季节性地下水位波动会改变桩端土体有效应力,端阻力会呈现周期性变化。

2.3 桩基防腐涂层耐久性欠缺

环氧树脂涂层在长期暴晒下容易老化开裂,潮湿环境中会扩大涂层细小裂缝,腐蚀性物质渗入裂缝后钢材基体加速氧化生锈,焊接部位因高温加工导致材料结构改变,涂层易从焊缝边缘翘起脱落。另外,多雨或多尘环境中涂层长期受颗粒物冲刷磨损,表面粗糙度增大后更易附着污染物,滋生微生物进一步侵蚀涂层结构。安装电流保护装置不当时,涂层与辅助防护系统协同效果下降,过强电流区域会产生气体使涂层鼓包分离。钢管内外壁防腐处理差异也会造成腐蚀速率不同步,内部密闭空间积水形成局部腐蚀环境加速材料损耗。施工时空气湿度过高会引起涂层表面形成微孔,腐蚀性粒子依靠孔隙侵入钢材界面。安装过程中螺栓孔周边涂层易受机械刮擦,破损处形成锈蚀扩散起点。

3 风电工程常见桩基础技术分析

3.1 构建实时纠偏垂直监测技术

风电工程常用的预应力高强度混凝土管桩、多桩承台等结构对桩体垂直度要求极高,细微偏差会导致基础受力不均,影响风机运行稳定。传统测量方法依靠人工定时检查,数据更新慢,难以及时发现施工过程中的偏移问题。桩身倾斜会造成顶部连接位置压力集中,长期可能引发金属疲劳。实时监测技术可持续跟踪桩体姿态,在施工全过程动态掌握垂直度变化,为施工人员进行精准调整提供可靠依据。

施工人员在施工时应按在预应力高强度混凝土管桩表面每隔 2 米安装角度测量仪,此设备可检测桩体倾斜数据,测量仪外壳使用防震材料,内部配备温度调节功能,避免打桩震动或天气变化影响数据准确性。桩顶安装高精度激光仪,帮助施工人员实时监控顶部平面倾斜情况,对于多桩承台施工,在固定支架周围加装扫描设备,用微波反射原理计算桩体与支架间的位置偏差。所有的监测数据由无线网络实时传输到控制室电脑,系统自动过滤施工噪声干扰,结合地质预测模型分析偏移风险。屏幕上用红黄绿三色标记桩体状态:绿色代表正常,黄色表示轻微偏移,红色表示需要立即调整,一旦发现超标倾斜,立刻启动纠偏装置。施工流程分为监测、预警、调整、确认四个环节,开工前施工人员用三维模型模拟不同土层的打桩过程,

设定动态预警标准:前 10 米打桩阶段允许少量偏差,超过 10 米后严格控制在 0.3 度以内。每打入 3 米深度就启动全桩扫描,生成电子报告记录调整过程。质量管控采用区块链技术,把所有操作记录实时加密存储,防止篡改,同时开发手机监控软件,现场人员或总部专家可同步查看数据,当累计调整量超出安全范围时,系统自动要求重新检测桩基结构安全。

3.2 开发桩端土体改良加固技术

桩端土体改良可改变土体物理力学性质,形成高强度加固区,有效扩大桩端承载面积并提升整体稳定性。该技术能显著降低桩身应力集中风险,改善荷载传递路径,促使桩基适应更广泛的地质条件^[3]。与此同时,土体改良可抑制液化或蠕变现象,保障风电基础设施在全寿命周期内的安全运行。

在实际操作中,施工人员需按照不同的土体进行差异化治理,在砂质地层作业时,采用高压旋喷注浆法形成固结体,浆液与砂粒胶结形成混凝土状加固区。在注浆过程中,施工人员要实时监测压力变化,当压力骤降时立即补充速凝剂防止浆液流失;黏土地层则采用深层搅拌法,利用螺旋钻杆将生石灰粉与黏土强制混合;岩层破碎带处理使用微型预应力桩加密技术,在桩端位置呈放射状打入螺纹钢,管间距保持 30 厘米,管内灌注水泥浆料。钢管群形成网状支撑结构,凭借注浆压力将裂隙岩体重新胶结,还可采用地质雷达扫描岩体裂隙分布,动态调整钢管布置密度,加固主裂隙交叉区域。针对有机质含量高的淤泥层,引入微生物诱导技术,向桩端土体注入巴氏芽孢杆菌溶液,细菌代谢产生碳酸钙晶体可充分填充土体孔隙。质量控制需建立全过程监测体系,注浆施工时施工人员同步开展电阻率检测,依靠电极阵列测量土体电阻率变化,实时判断加固区扩散范围是否达标。加固区域应在顶部预埋光纤传感器,监测运营阶段土体应力变化,数据异常时自动触发预警。设备选型要注重高效,配置自带废浆回收系统的注浆设备,把溢出浆液过滤后循环使用,减少材料损耗,同时研发可拆卸式搅拌头,适应不同土层硬度需求:在密实砂层切换锯齿刀头,软土层使用螺旋叶片刀头。建立标准化施工流程,从钻孔定位、材料配比到质量检测形成规范化操作,可提升砂土地基桩端承载力,减少黏土地基沉降量,为风电桩基的可持续发展奠定基础。

3.3 建立多层复合防腐涂层工艺

复合涂层依靠不同材料的特性互补,形成物理隔绝与化学防护的协同作用。底层涂料紧密附着钢材表

面, 填补微观孔隙; 中间层提供抗渗透屏障; 面层抵抗紫外线或外力磨损, 这种分层防护体系可延缓腐蚀介质渗透速度, 降低涂层开裂剥落风险^[4]。对于海上风电桩基, 复合涂层的抗生物附着特性还能减少海洋生物对涂层的侵蚀。多层结构设计促使防腐系统具备自我修复能力, 局部损伤不易扩散至整体, 延长基础结构维修周期。

施工人员应首先对预应力高强度混凝土管桩表面进行喷砂处理, 彻底清除锈迹或杂质, 让表面粗糙度达到涂层附着标准。接下来, 使用三层复合体系: 底层为富锌环氧涂料, 用无气喷涂设备均匀覆盖, 形成阴极保护层; 中间层为玻璃纤维增强型聚氨酯, 手工填补焊缝凹陷后机械喷涂, 厚度控制在0.8毫米; 面层使用氟碳树脂涂料, 添加二氧化硅提升耐磨性, 每层涂装间隔严格遵循材料固化时间。焊缝区域实施加强处理, 先用弹性密封胶填充焊缝咬边缺陷, 再缠绕玻璃纤维带形成过渡层, 避免涂层在应力集中部位开裂。螺栓孔边缘采用橡胶刮刀手工涂刷环氧底漆, 确保棱角处涂层厚度达标。涂层完全固化后, 用电磁测厚仪进行全表面扫描, 局部厚度不足区域标记补涂。建立全周期质量控制体系, 记录每道工序实施影像, 重点监控喷砂清洁度、涂层流平性及界面结合状态, 实验室定期抽检涂层试片的抗冲击性能, 模拟老化试验验证配比可靠性。现场配备便携式电火花检测仪, 对涂层针孔缺陷进行全数排查, 发现漏点立即修补。材料储存与施工环保同步优化, 涂料库房保持恒温通风, 双组份材料启用前用电子秤精确配比, 废弃涂料桶设置专用回收装置。除此之外, 还要研发水性环保涂料替代传统溶剂型产品, 在风电工程试点应用生物基环氧树脂, 降低挥发性有机物排放。

3.4 优化设计预应力桩疲劳寿命

风电工程中预应力高强度混凝土管桩长期承受风机运行产生的交变荷载, 桩身反复受力易引发金属材料疲劳损伤。传统设计方法侧重于静力强度, 对动态荷载作用下的应力累积考虑不足。桩体在波浪冲击、叶片转动等复杂荷载组合下, 应力集中区域易产生微观裂纹^[5]。优化设计需施工人员平衡结构轻量化与耐久性需求, 改善应力分布, 降低疲劳损伤速率。另外, 施工人员合理设计桩壁厚梯度能有效分散应力峰值, 延长关键部位的疲劳寿命。

在设计阶段, 施工人员可在桩体上部采用渐变加厚管壁方案, 改变桩身不同位置的厚度匹配实际受力需求。桩顶与塔筒连接处设计为大圆弧过渡段, 避免直角连接造成的应力突变。材料选用抗疲劳性能更好

的专用钢材, 经由特殊热处理后, 提升金属内部晶粒的均匀性, 增强抗裂纹扩展能力。制造环节重点优化焊接工艺, 使用新型焊接技术缩小焊缝热影响区, 减少焊接高温对材料性能的损伤。焊后对焊缝表面进行精细打磨, 消除凹凸不平的焊瘤, 促使焊缝与母材平滑过渡。钢管对接时, 使用专用固定装置保持接口平整, 防止错位导致的局部应力集中。对所有焊缝进行探伤检测, 重点排查熔合不充分或存在气泡的缺陷点。防腐处理与结构设计协同配合, 在钢管表面先涂覆含金属粉末的底漆, 形成主动防锈保护层; 中间层使用弹性材料覆盖, 缓冲外力冲击对涂层的破坏; 最外层采用耐磨面漆, 在易受海水冲刷的部位也可加缠纤维增强带。需要注意的是, 要把防腐涂层与钢管的热胀冷缩特性相匹配, 防止温度变化引起涂层开裂。施工阶段建立全周期监测系统, 施工人员在桩顶安装传感器网络, 实时监测桩体振动, 同时数据采集系统设定安全预警线, 当检测到异常振动或变形时自动提示风险。运营期间定期检查桩体表面状态, 需重点观察焊缝区域的涂层完整性, 发现锈斑或裂纹要及时修补。为进一步加强钢材性能, 还应建立预应力桩健康档案, 记录每次检测结果并分析疲劳损伤趋势, 以便动态调整维护计划。

4 结束语

创新风电工程桩基础技术是保障基础设施安全高效运行的核心支撑, 可有效解决传统桩基存在的垂直度失控、承载力波动、腐蚀损伤与疲劳失效等问题。未来, 需重点关注多物理场耦合作用下桩基性能演变规律, 开发自修复型智能桩基材料, 并建设基于数字孪生的全生命周期管理平台, 为全球能源结构转型提供更为坚实的技术保障。

参考文献:

- [1] 孙小强. 建筑工程土建施工中桩基础技术的应用分析[J]. 建材发展导向, 2025, 23(01): 109-111.
- [2] 张占兵. 风电工程土建施工桩基础技术分析[J]. 居业, 2024(06): 43-45.
- [3] 张博宁. 风电工程土建施工桩基础技术分析[J]. 居业, 2023(02): 49-51.
- [4] 李庆林. 建筑工程土建施工中桩基础技术的应用分析[J]. 中国建筑金属结构, 2022(03): 70-71.
- [5] 王潇. 桩基础技术在建筑工程土建施工中的应用分析[J]. 化工管理, 2020(15): 167-168.

绿色节能技术在建筑工程施工中的应用

于旭东¹, 高莹莹²

(1. 山东高速德建集团市政工程分公司, 山东 德州 253000;

2. 山东崇文文物保护工程有限公司, 山东 济南 250000)

摘 要 随着社会经济的快速发展, 环境问题日益突出, 各行各业都越来越重视生态环境保护。在建筑行业中, 传统的建筑工程施工模式已经无法满足绿色节能的要求, 因此, 绿色节能施工技术的应用成为行业发展的新趋势。绿色节能施工技术能有效降低施工过程中的资源消耗和环境污染, 提升建筑物的整体能效和环保性能, 为建筑行业的可持续发展提供有力支持。本文阐述了绿色节能施工技术的定义及特性, 分析了建筑工程中应用绿色节能施工技术的意义, 总结了建筑工程施工中的绿色节能施工技术应用方法, 以期对推动建筑业实现绿色化、节能化发展有所裨益。

关键词 绿色节能技术; 建筑工程; 建筑采暖; 屋面节能; 地面节能

中图分类号: TU74

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.20.013

0 引言

建筑业作为国民经济的重要支柱产业之一, 其发展态势直接影响到我国经济的健康运行。然而, 随着建筑物数量的快速增长, 建筑业对自然资源的需求与日俱增, 对环境的影响日渐加剧, 特别是在施工过程中产生的大量能耗和污染问题愈发显著, 引发了社会各界的广泛关注。因此, 如何在保证建筑质量的前提下, 通过优化建筑设计和管理, 采取绿色节能施工技术, 以减轻对环境的影响, 有效降低建筑过程中的能耗和污染, 成为当前建筑业亟待探索和解决的问题。同时, 绿色节能施工技术所带来的经济效益也是我们无法忽视的。

1 绿色节能施工技术的定义及特性

1.1 绿色节能施工技术的界定和发展

绿色节能施工技术是一种在建筑工程项目中综合应用可再生资源、低能耗材料及高效施工工艺的现代施工方法。其核心在于通过技术革新和系统优化, 实现建筑全过程中的节约资源和保护环境。这种技术不仅包括建筑材料和施工工艺的选择, 还涉及建造过程中的能量利用优化以及建筑物全生命周期内的生态影响评价。近年来, 随着全球对于可持续发展的日益重视, 绿色节能施工技术也在不断发展。其发展主要表现为技术标准的逐步统一和完善, 相关政策法规的出台, 以及绿色建筑市场的快速扩张。不过, 绿色节能施工技术的推广仍然面临技术壁垒、成本控制和市场接受度等挑战^[1]。

1.2 绿色节能施工技术的主要特点

绿色节能施工技术呈现出多样化的特点, 这些特点不仅在技术上为建筑行业带来了创新, 也在实践中展现了显著的优势。其首要特性是高效能的资源利用, 通过优化设计和施工流程, 大幅度减少能源和材料的消耗。这一技术注重环保性, 力求在施工过程中减少污染物排放, 降低对环境的负面影响。绿色节能施工技术还具备经济性, 通过提高施工效率和降低运行成本, 达到经济效益最大化。它的适应性较强, 通过灵活应用最新材料和技术, 能够满足不同工程项目的多样化需求, 有利于推动建筑行业的可持续发展^[2]。

2 建筑工程中应用绿色节能施工技术的意义

在建筑工程施工中应用绿色节能施工技术有利于节约资源。传统的建筑施工会消耗大量的能源、水资源和各类原材料, 同时, 传统建筑还缺乏足够的保温和隔热措施, 在使用过程中会持续消耗大量能源用于维持室内适宜的温度。而绿色节能施工技术通过一系列创新手段(如采用高效的保温隔热材料)可以显著降低建筑物在使用期间的能源损耗, 减少对煤炭、电力等能源的依赖。绿色节能施工技术能实现对建筑废弃物的回收再利用, 将原本废弃的混凝土、砖块等重新加工成建筑材料, 再次投入建筑施工中, 大大提高了资源的利用率, 缓解了资源短缺的压力。在建筑工程中应用绿色节能施工技术有利于保护环境。在传统建筑施工过程中, 会产生大量的扬尘、噪声、污水以及固体废弃物等污染物, 对环境和周边居民的生

活造成不良影响。例如：在土方开挖、材料运输过程中产生的扬尘，不仅影响周边空气质量，还危害居民的身体健康；施工设备运转、建筑结构施工产生的噪声，会干扰周围居民的正常生活。绿色节能施工要求施工单位实施封闭式施工、安装噪声隔离设施、采用环保型施工机械等，以有效减少扬尘的扩散和噪声的传播。此外，在绿色节能施工过程中，还要对污水进行净化处理，对固体废弃物进行分类回收和妥善处理，避免对土壤和水体造成污染，从而维护生态环境的平衡与稳定，降低建筑施工对自然环境造成的破坏。应用绿色节能施工技术虽然在初期要投入更多的资金用于设备购置、技术研发和人员培训，但从建筑全生命周期来看，能带来显著的经济效益。在建筑运营阶段，节能设备和技术的应用能大幅降低能源消耗成本。例如：节能照明系统、智能建筑控制系统的使用，可有效减少电费支出。同时，资源的回收利用能减少原材料采购成本，从而降低整体的施工成本。随着社会对绿色建筑的认可度不断提高，绿色节能建筑在市场上具有更强的竞争力，能获得更高的租金收益或房产增值空间，为投资者和开发商带来长期的经济回报^[3]。

3 建筑工程施工中的绿色节能施工技术应用方法

3.1 建筑采暖

给水系统作为建筑工程中至关重要的一部分，为保障广大群众正常生活、生产，满足多样化用水需求，必须做好建筑采暖绿色节能施工工作。根据相关统计分析，我国大多数地区，为确保寒冷季节供暖系统可靠运行，以热水为媒介的供暖系统，消耗大量能源，通过燃烧煤炭增加水资源温度后，利用散热器提供到各个建筑工程的各个分区，增加能源消耗量，且工作效率有待提升。在新型绿色节能施工过程中，要求施工单位秉持节约水资源的理念，深度分析绿色节能技术内涵，搭建水循环系统高效使用水资源。为控制能源燃料消耗量，施工单位还可以在项目外围建设垃圾处理系统，大型垃圾燃烧站点能够科学处理施工垃圾，将生活垃圾用于燃料，给建筑采暖系统提供热量来源，一方面能够控制燃料采购成本，另一方面也能够避免施工垃圾对周边环境造成的污染。

3.2 屋面节能

在建筑屋面节能施工中，施工单位提前组织多名专业人员，详细勘察施工情况，整合调查结果，制定完善的施工方案，合理选择较强隔热性、较弱吸水性等类型的施工材料。例如：屋顶施工中可以使用混凝土面板、排水层间添加加气混凝土砌块等材料，全过

程严格按照现有行业标准，认真核查材料使用性能，要求施工人员践行施工方案规范化作业。同时，施工单位根据现场环境，提前准备好适宜生长的绿色植被，种植在建筑屋顶可以避免光照直射室内，也能够营造温度适宜的生存环境，降低暖通设备使用频率。目前，相对于常规建筑工程，绿化施工后的工程室内温度与表面温度都明显降低。综合土壤层、排水层、保护层等屋顶结构，能够避免阳光直射，确保工程室内温度适宜，通过屋顶种植植被调节温度，推动建筑工程可持续发展。

3.3 地面节能

各地不断增加的建筑施工量，大型工程施工中产生的诸多能耗，导致地面热量迅速流失，违背当前可持续发展施工要求。在传统建筑地面施工中，施工单位通常在混凝土下方合理设置以复合硅酸盐板等材料为主的保温层。由于该种材料吸水后会快速膨胀，较差的耐久性增加了地面开裂概率，弱化地面保温效果。随着科学技术水平的不断提升，建筑绿色节能施工中，在废旧玻璃、碎玻璃中添加发泡剂、改性剂等制作而成的泡沫玻璃，经过高温焙烧，具有较低导热系数、较少吸水率等优势，体现出环保性、节能性的应用价值，确保工程地面更具良好的保温效果。同时能够改变传统地面保温施工弊端，充分发挥保温材料使用性能。

3.4 门窗新型节能

提升整体建筑保温性、通风性，做好门窗结构设计及施工工作至关重要。传统木材、金属等窗框材料虽然具有一定耐用性，但是保温性、隔热性有待提升，不利于能源储存。而塑料复合材料、聚氨酯材料等窗框材料具有良好的绝热性能，可以避免热量迅速流失，确保门窗更具保温效果。施工单位可以提前准备好铝合金型材，将其添加隔热条后充分阻断热量传递路径，提升门窗节能施工成效。同时，建筑门窗绿色节能施工中，合理选择玻璃材料也是必不可少的一环。以往的单层玻璃保温隔热性能较差，而夹层、中空等类型的玻璃，通过中间的空气层或夹层来减少热量传递，提高绝热性能。施工单位根据施工现场情况，灵活选择适合的玻璃材料，更具保温隔热性能的门窗能够大大减少空调等系统能耗，符合节能减排的施工标准。此外，炎热季节由于强烈的太阳辐射，造成室内温度不断上升，增加空调系统能源消耗量。建筑门窗施工时，施工单位必须开展遮阳作业，合理安装遮阳帘、百叶窗等，遮阳设施能够遮挡光照直射，控制建筑工程内部温度；而寒冷季节可以采用隔热杂糅玻璃、隔热窗

帘等隔热材料,维持室内适宜的温度,避免外部冷空气进入,通过遮阳与隔热施工方法,能够提升门窗节能效果,也能够为居民提供宜居的生存空间^[4]。

3.5 建筑外墙节能环保

建筑工程保温层施工效果,以及保温系统防水漏水等问题,都会影响外墙节能保温性。相对于工程内墙保温效果来讲,虽然外墙保温效果较好,但需要投入较大的施工成本,施工中所使用的多元化施工材料,会增加现场墙皮脱落、渗水等概率。建筑外墙节能环保施工中,施工人员应提前全面分析施工图纸,明确砖块排列顺序,调整热阻、墙体裂缝等因素有序进行砌墙。其中,承重墙砌筑时,必须秉持整砖齐平法施工要求,按照既定施工工艺,提升墙体施工质量。同时,材料配比时需要控制好水泥、石膏石灰等添加量,根据严格标准配置保温砂浆。着重做好基层清洁工作,确保整个基层表面更加洁净,为后期干燥处理、喷涂等事项奠定坚实的基础。此外,要求施工人员控制好保温层喷涂厚度,贯彻均匀性的施工理念,提升外墙保温效果,确保整个建筑更具良好的防水性、隔热性等。目前,深受行业青睐的干挂施工方法,需在保温层施工中综合现场风力、地震、持久性等条件,提升干挂系统的使用强度,在长期使用中始终保持稳定性。注意检查墙体是否牢固,根据施工现况选用针对性的施工工艺,高效开展防水作业。

4 绿色节能施工技术与建筑行业的可持续发展

4.1 绿色节能施工技术对建筑行业持续发展的影响

绿色节能施工技术对建筑行业持续发展的影响体现在多个层面。此类技术能够显著降低建筑期间的能源消耗和环境污染,推动建筑行业向低碳化转型,有助于减少温室气体的排放。这些技术通过引入新型环保材料和优化施工流程,提高了建筑物的使用性能和耐久性,延长了建筑的生命周期,降低了长期的运营和维护成本。绿色节能施工技术在提升施工效率的同时可增加行业内的就业机会,推动技术创新与产业升级,更重要的是响应了全球对于可持续发展的号召,与国际绿色建筑标准接轨。在政策和市场的推动下,绿色节能施工技术逐渐成为建筑企业追求可持续发展的核心竞争力,助力建筑行业的整体转型和升级,促进人与自然的和谐共存^[5]。

4.2 建筑行业持续发展对绿色节能施工技术的需求

建筑行业的持续发展对绿色节能施工技术提出了更高的要求。随着城市化进程的加快,建筑能耗逐渐

成为城市能耗的重要组成部分。在此背景下,绿色节能施工技术不仅有助于减少建筑能耗,还能降低对自然环境的负面影响,提高资源利用效率,成为实现建筑行业可持续发展的关键。绿色节能施工技术为建筑行业提供了创新性的技术解决方案,通过优化建筑材料、改进施工方法、提升管理效率等手段,促进环保目标的达成。未来,建筑行业面对气候变化和资源稀缺等挑战,将更加依赖绿色节能技术,以满足生态保护和经济发展的双重需求。

4.3 未来可持续发展中绿色节能施工技术的开发方向和挑战

绿色节能施工技术的发展方向集中在智能化、模块化和可再生能源的集成应用,技术的进步需与国际标准接轨。未来,建筑行业将面对技术革新不足、成本控制难度大和公众意识薄弱等挑战。提升建筑信息模型(BIM)技术的应用,加强复合材料研发及优化管理流程是应对挑战的关键。技术的推广需要政策扶持和行业协调合作,以克服市场推广的障碍,实现建筑行业的全面可持续发展^[6]。

5 结束语

绿色节能技术在建筑工程施工中的应用,不仅能够降低能源消耗、减少环境污染,还能提高资源利用效率,实现可持续发展。通过采用绿色节能材料以及各类绿色施工技术,建筑工程施工可以实现节能减排、环境保护和可持续发展。随着技术的不断进步和政策的支持,绿色节能技术在建筑工程施工中的应用将越来越广泛。相关企业应继续关注绿色节能技术的研发与应用,为构建美丽中国与和谐社会贡献力量。

参考文献:

- [1] 李晓峰.新型绿色节能材料在建筑工程施工中的应用[J].石材,2024(06):75-77.
- [2] 王先晁.新型绿色节能施工技术在建筑工程中的应用研究[J].产品可靠性报告,2024(05):136-137.
- [3] 杨鹏,赵利彪.绿色节能建筑施工技术在房建工程施工中的应用探究[J].陶瓷,2024(05):193-195.
- [4] 王勇.绿色施工技术在建筑工程施工中的应用[J].城市建设理论研究(电子版),2024(14):100-102.
- [5] 徐俊杰.房屋建筑工程施工中的绿色节能施工技术应用分析[J].建筑技术开发,2024,51(05):68-70.
- [6] 裴磊.节能技术在绿色住宅建筑工程中的应用分析[J].居舍,2024(13):53-56.

房建工程超长结构后浇带施工技术研究

陈国芬

(陕西豪俊项目管理有限公司, 陕西 咸阳 712000)

摘要 在房屋建筑物的构造施工中, 后浇带施工已经成为不可或缺的一个部分。后浇带设置的质量会直接影响到房屋建设品质, 因而该项施工的工艺技术需严格实施控制。本研究基于后浇带施工的特点, 通过分析房建工程超长结构后浇带的作用, 进一步分析了房建工程中应用超长结构后浇带施工技术的要点, 旨在为有效提高房建后浇带施工作业的专业水平提供借鉴。

关键词 房屋建筑; 超长结构; 施工缝处理; 后浇带施工

中图分类号: TU755

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.20.014

0 引言

在现代城市化进程不断加速的背景下, 房屋建筑规模与数量与日俱增。许多建筑为满足功能需求, 开始采用超长结构设计, 这种结构虽然优势显著, 给建筑施工带来了许多便利, 但同时其施工作业挑战也比较大, 需把控各项要点, 否则会导致施工不到位而影响工程整体质量。后浇带施工工艺技术作为解决超长结构混凝土施工难题的关键手段, 在应用方面的合理性与技术精准度直接关乎建筑物使用成效与寿命, 因此, 有必要对此展开深入研究。

1 房建工程超长结构后浇带的作用

房屋建筑中的后浇带是一种基于钢筋混凝土结构抗裂、抗收缩需求设置的临时性带状施工缝。超长结构后浇带的作用体现在以下几点:

1. 有效处理混凝土收缩的问题。混凝土硬化时会产生收缩反应, 造成开裂, 设置超长结构后浇带可以为混凝土的收缩开裂预留出一定空间, 待结束收缩反应后则可重新补齐, 避免因收缩缝造成施工质量下降。

2. 能够防范基础的不均匀沉降情况。若建筑物规模较大, 其地基土不同位置的压缩特性也会存在一定差异, 容易造成基础的沉降不均问题, 但设置后浇带后基础更容易调整, 等待其沉降基本稳定后再实施浇筑施工, 可避免混凝土结构噪声破坏。

3. 有助于减小温度应力造成的影响。超长结构混凝土对环境的变化更加敏感, 温度应力带来的影响会导致结构变形, 而后浇带能够释放一部分温度应力, 使结构的抗裂特性更强, 有利于长期使用。

4. 方便优化施工组织。从施工作业的管理角度来讲, 超长结构混凝土施工的难度更大, 其供应的材料

更多, 对设备性能也有着很高的要求, 而设置后浇带则更利于开展高效的施工组织, 比如后浇带将超长结构划分为多个施工段, 每段都能够独立作业, 浇筑时间也不必统一, 避免混凝土材料长时间集中工艺, 使资源的调配水平更高, 施工中还会科学规划工序, 每个工序都能实施精细化管理, 把控整体工程的质量^[1]。

2 超长结构后浇带施工技术要点

2.1 工程项目概况

某新建住宅楼项目设计预期使用寿命为50年, 由9栋11层(地上10层、地下1层)总高为31.9 m的单体组成, 总建筑面积约为72 543.34 m²。项目总体呈东西向分布, 总长约140.3 m, 南北向宽度较短, 约为16.8 m。住宅楼主要构造部分为现浇钢筋混凝土+梁板框架, 整体颇为稳固, 地下室部位的防水等级为国家二级标准, 在建设方面要求更高。建筑物以体现实用价值为原则, 因此也设计出大底盘、多塔零散分布的结构, 基础施工方面采用了深桩技术工艺, 同时也使用了筏板式基础形式。建筑混凝土浇筑采用整体策略, 其中地下室位置混凝土的等级为C40, 其抗压性能较佳, 在抗渗透方面也能满足工程需求。

2.2 超长结构后浇带的具体设计

基于本次工程项目实情, 在设计超长结构后浇带时需注意把控三项要求:

1. 控制好浇筑带间距。此次所研究的建筑物设计为矩形架构, 因此后浇带设置中先预计间距范围在30~40 m之间, 同时充分了解房建的情况, 在综合考量后决定该工程住宅楼设置后浇带数量为3道, 合理把控相邻后浇带的间距, 如第1道和第2道后浇带之间保持29.9 m的距离, 第2道和第3道后浇带之间保

持 31 m 的距离,后浇带的布置方向同地基方向一致,长度和地基宽度保持相等,以确保施工匹配,本工程最终确定后浇带间隔的控制标准为 40 m。

2. 合理确定后浇带宽度。房屋建筑施工结构保持完整性是最为基础的要求,因而在设置后浇带时不能使用多块无关联的板块来替代原本完整的结构,尤其是楼基、楼板等部位,要保证其钢筋正常发挥出支撑作用,严控断裂的问题,因此,后浇带设计与施工的技术人员需要在结构完整度达标的情况下确保房建的安全水平较高,后浇带跨度不宜过大,保持在适宜范围,否则钢筋会因受力加剧出现割断,后浇带的浇筑还需对钢筋进行焊接处理,实现熔合效果,目的是避免楼板两端受到压力而出现形变。本工程超长结构后浇带设计宽度为 800 ~ 1 200 mm,遵循减小跨度的原则,最终确定设置后浇带的宽度参数为 800 mm。表 1 为本工程超长结构后浇带的设置参数^[2]。

表 1 超长结构后浇带的设置参数

序号	项目	参数
1	后浇带数量	3 道
2	后浇带 1 与 2 的间距	29.9 m
3	后浇带 2 与 3 的间距	31 m
4	后浇带间距设置标准	40 m
5	后浇带宽度标准	800 mm

3. 科学选择后浇带位置。房建工程的后浇带一般设置在受力不大但受到温度收缩影响的混凝土结构件位置,根据以往的经验可知,超长结构后浇带通常在梁和楼板转折位置、剪力墙中心受力部位等,其是为了确保混凝土结构整体不受到剪切力、弯矩力的负面影响,如房屋建筑物梁的承载力偏低且跨度设计偏小时,专业人员会在梁跨度的 1/3 区域处布置后浇带,这是基于应力分布基本原理,旨在帮助梁结构分散局部过载的应力,提高其安全水平。从水平布局来讲,梁的后浇带走向也基本与梁体相同,可以降低梁的中断概率,本工程项目也遵循了前述要求选择后浇带位置^[3]。

2.3 后浇带模板支撑施工

建筑物超长结构后浇带模板支撑施工为关键的技术环节,其具体要把控三项施工要点:

1. 筏板位置模板的支撑施工。即立面的模板支设,在施工中需要选择木制模板,再竖向逐步拼成整个立面,筏板部位模板为双侧布置形式,横向位置上,两侧的模板连接通过木方实现,能够避免后续混凝土浇筑时遇到胀模情况,增强支撑效果。

2. 墙体位置模板的支撑施工。墙体后浇带的模板通常是由两块模板合拢组成,为了使钢筋更稳固,水平配筋相交位置以及模板的内侧与外侧都要设计半圆孔,方便钢筋紧固到模板处,两个模板的中间还会预先设置木制模板,在浇筑作业前去除即可,浇筑作业要防止墙体位置受到侧向压力的影响。因此,墙体模板的支撑施工也要在侧向模板位置的木方外侧捆绑上铁丝,起到固定的效果,对于与止水带相近的木方可以使用其支顶内侧,而墙体的外侧模板位置也应以木方进行横向支撑,一般墙体的部分模板混凝土浇筑结束,才能进行后续支顶模板的连接,使其产生相互作用,故而后续安装的模板横向上木方无需固定在墙体模板位置^[4]。

3. 顶板位置模板的支撑施工。超长结构后浇带为保证立面浇筑混凝土的作业有效推进,还要注重顶板位置的模板支设,以横向为基准,布设 1 根木方,房屋建筑的楼板完成浇筑工作后,要立即在后浇带位置铺设一层顶板模板,避免外部杂物直接进入后浇带,或防范因踩踏造成的浇筑损坏情况。在具体安装后浇带顶板模板前,要先进行准确定位,以保证支撑施工的有效性。在后浇带支设两侧模板时,应同时开展跨度内梁模板的支设工作,二者的间距控制在 1 m 之内,为梁的安装预留一定位置,该部分模板的整个支护作用体系具有独立特性,无论是其他模板的安装还是拆除都不会受到影响,顶板位置模板的混凝土强度需确保 100% 达到设计标准后才能执行拆除。

2.4 后浇带底板的强化施工

在后浇带混凝土浇筑施工前,需先开展底板位置的强化施工,其是为了增强结构的承载能力,也为了适当预防开裂和变形问题。因此,首先应规范清洗底板位置,主要使用碎石、钢丝网以及高压水来完成,冲洗时间不低于 24 小时,部分钢筋存在浮锈问题,因而可以先使用钢丝网刷净表面,再进行冲洗,钢筋若弯曲过度,则进行调直处理。房建工程后浇带经常会遇到渗水情况,为了防止外部雨水进入,底板强化施工中也要进行阻水墙布置作业,主要从后浇带的两侧分别入手,单侧设置一条阻水墙,其与后浇带的间距控制在 0.5 m 左右,本工程后浇带阻水墙的宽度设计为 6 cm,高度则为 35 cm 左右,能够保证满足阻水需求,为强化阻水成效,阻水墙表面也涂抹了一层防水性质的砂浆材料。

2.5 后浇带施工缝处理

后浇带浇筑之前需全面检查界面位置的原有施工缝并进行规范处理,比如裂缝周围凹凸不平的情况可

以使用钻机钻掉再清除,对于存在杂物、松散碎石的情况也要清除,弱性混凝土可以手动进行凿毛并使用清水冲洗。二次浇筑混凝土时要注意与原施工缝完全贴合且密实振捣,混凝土与施工缝距离小于 300 mm 后则需进行收光,以保证施工缝区域更加平滑^[5]。

2.6 后浇带混凝土调制

对于房屋建筑物来讲,其超长结构后浇带使用大体积混凝土浇筑工艺,因而要控制混凝土硬化过程水化热反应造成的收缩问题,否则会导致裂缝滋生,带来安全隐患,对此,有必要合理控制后浇带混凝土的配合比。本工程项目中混凝土的调制遵循了以下几项要求:第一,使用合适的聚丙烯纤维材质或添加抗裂特性防水剂,使混凝土的抗拉性能更优,后浇带结构的综合性能也会提高;第二,在水泥原料中掺入一定量的粉煤灰、矿粉等物质,可以抑制水化热反应;第三,在配制混凝土前先开展配合比测定试验,即设置多种配合比参数,测试试验构件的性能,再选择适宜的配合比参数,以保证混凝土调制更加合理;第四,使用性能较优的减水剂,减少加入混凝土中水的实际用量;第五,适当加入一定量的膨胀剂,可以补偿混凝土因收缩造成的变形损失^[6]。

2.7 后浇带混凝土浇筑作业

本工程项目的后浇带作用是防止外部环境温度变化、结构动态波动造成房屋建筑物混凝土结构出现收缩或膨胀的问题,因而后浇带混凝土的浇筑作业一般会从整体着手实施浇筑。超长结构后浇带的混凝土施工时间较长,为避免混凝土材料出现变性情况,施工技术人员进行了分段作业,能够确保浇筑施工整体的稳定进行。同时,混凝土浇筑期间也需设置振动设施调整混凝土材料性能,在上层、中层以及下层等三个不同的浇筑区域内分别设置振动点,振动时长为 10 s/轮,混凝土在振动作用下可以将内部多余水分顺利排出。混凝土浇筑也要考虑实际需求,其施工缝位置 24 h 保持湿润状态,每层混凝土的浇筑都要保证厚度均匀,完成浇筑后的 3~6 h 之内,使用高压冲水设备冲洗后浇带区域,对于地下室位置的侧面混凝土后浇带可以设置钢板结构的止水带,以保证浇筑后的混凝土性能更加稳定。

2.8 后浇带混凝土养护

后浇带混凝土浇筑完工后,为有效控制混凝土收缩、干缩等多种裂缝的出现,还需规范推进养护作业。本工程基于房屋建筑的实际情况,采用了一系列的保湿、保温举措,混凝土浇筑并顺利终凝后,使用塑料

薄膜将结构表面完全覆盖,以避免其内部水分快速流失,因施工时间在夏季,为保证湿润效果更佳,也额外进行了洒水养护,相关作业的参数标准如表 2 所示,其能够确保混凝土表面始终维持湿润,整体养护时间不低于 14 天,养护完成后还要检测其混凝土强度,要求超过 70% 的部分达标才能进入竣工环节^[7]。

表 2 后浇带混凝土洒水养护参数

序号	项目	参数
1	养护总时间	≥ 14 天
2	白天养护频次	2 h/次
3	夜间养护频次	2 次

3 结束语

在房建工程超长结构施工中,后浇带施工技术至关重要。通过合理设置后浇带,能够有效解决混凝土收缩、基础不均匀沉降、温度应力等问题,从而保障工程质量。从本研究的工程实例来看,精准把控后浇带设计、模板支撑、底板强化、施工缝处理、混凝土调制、浇筑及养护等技术要点,是确保后浇带发挥作用的关键。未来,随着建筑技术的不断发展,后浇带施工技术有望进一步创新。例如:新型建筑材料将不断涌现,为后浇带混凝土性能提升提供更多可能,如高性能纤维材料、新型外加剂的应用,能更好地抑制裂缝产生。同时,也可借助数字化技术,如建筑信息模型(BIM),对后浇带施工过程进行更精准的模拟与监控,提前发现并解决潜在问题,提高施工效率与质量,推动房建工程超长结构后浇带施工技术向更智能化、高效化的方向发展,为建筑行业的高质量发展提供有力支撑。

参考文献:

- [1] 李杰.超长结构后浇带施工技术在建筑工程中的应用[J].工程建设与设计,2023(02):167-169.
- [2] 易海珊.建筑工程超长结构后浇带的施工技术[J].城市建设理论研究(电子版),2022(31):64-66.
- [3] 官荣建.建筑工程超长结构后浇带的施工技术研究[J].中国建筑金属结构,2021(05):118-119.
- [4] 孔艳萍.房建工程超长结构后浇带的施工技术探讨[J].中国建筑金属结构,2024,23(09):121-123.
- [5] 李国庆.基于 BIM 的房建工程结构后浇带施工技术[J].中国建筑装饰装修,2025(01):103-105.
- [6] 万斌杰.房建工程超长结构后浇带施工技术探析[J].江西建材,2021(09):158-159.
- [7] 石建建.解析房建工程超长结构后浇带的施工技术[J].建筑与预算,2021(04):65-67.

房屋建筑工程大体积混凝土施工技术研究

史晋皖

(安徽拓鑫建设集团有限公司, 安徽 合肥 230031)

摘 要 城市化进程的持续推进使城市具有越来越强的虹吸效应, 人口聚集带来了对居住建筑和功能建筑需求的提升。大体积混凝土结构以其独特优势在现代房屋建筑工程建设中发挥着重要作用, 尤其在大型、高层建筑的基础底板、承台、剪力墙等关键部位的应用越来越广泛。大体积混凝土结构具有体积庞大、浇筑量高等属性, 施工技术面临各种挑战。本文从大体积混凝土结构的材料特性和技术难点出发, 深入分析了大体积混凝土结构在建筑工程应用中的关键技术要点, 并对其未来发展趋势进行了探讨, 以期为现代建筑工程的质量提升提供借鉴。

关键词 房屋建筑; 大体积混凝土; 连续浇筑; 施工缝

中图分类号: TU755

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.20.015

0 引言

大体积混凝土施工技术的深化研究和应用实践, 对建筑行业的发展和现代化城市的建设具有提升工程质量与安全性、推动施工效率与经济效益、促进绿色建筑与可持续发展、引领行业技术进步等多个维度的积极作用。因此, 针对大体积混凝土施工技术进行深入研究, 既是解决当前工程难题、优化现代工程建设质量的必然需求, 也是推动建筑行业高质量发展, 推动建筑产业深刻融入我国产业现代化转型事业的重要动力。我们不仅要持续推动大体积混凝土施工技术理论 and 应用策略的完善与优化, 还要充分重视现代数字技术、绿色技术等先进科学成果在建筑领域的应用, 平衡好工程安全、经济效益和可持续发展之间的关系, 推动我国建筑领域健康可持续发展。

1 大体积混凝土结构的特性与技术难点

大体积混凝土结构在现代建筑工程中应用广泛, 从大量的工程应用实例来看, 大体积混凝土结构具有其独特的特性和施工难点。大体积混凝土结构的施工是一项综合了材料科学、热力学控制及精细化施工管理的复杂施工项目, 需要从多个维度应对大体积混凝土结构的固有特性所带来的挑战, 从而保障工程安全与耐久性。

1.1 大体积混凝土结构的特性分析

1. 大体积混凝土结构具有体积庞大与内外温差大的属性, 这也是大体积混凝土结构最典型的特征。通常情况下, 大体积混凝土结构的最小几何都在 1 米以上, 这种庞大的体积会导致结构内部的水化热难以快速散发, 内部热量的积聚非常显著, 会在大体积混凝土结

构内部形成较大的温差, 而这种温差会引发温度应力, 当应力超出混凝土的抗拉强度时, 就会在结构上形成裂缝。并且, 为了确保大体积混凝土结构的整体性, 施工时需要进行连续浇筑并且不允许留施工缝^[1]。

2. 大体积混凝土结构所使用的材料及其配合比也具有一定的特殊性。为了降低大体积混凝土结构内部的水化热, 大体积混凝土施工中应尽可能减少水泥的使用量, 通过在水泥中掺入粉煤灰、矿渣粉等矿物掺合料及缓凝型外加剂优化配合比, 而这对施工方的施工控制和设计能力有一定的要求, 其所使用的骨料也需要级配良好且含泥量低, 从而达到减少结构收缩度、提高密实度的目的。

3. 大体积混凝土结构的热工性能比较复杂, 由于水泥水化反应释放的热量在结构内部快速积聚, 形成了绝热温升的现象, 导致混凝土内部温度远高于表层, 温差可达数十摄氏度, 这种热梯度对结构稳定性构成了较大的挑战。

1.2 大体积混凝土结构的技术难点

1. 温度控制与裂缝防治。水化热所引起的温差应力是大体积混凝土结构施工中的一项核心难点。为了保证大体积混凝土结构的整体性和质量稳定性, 要将其内外温差控制在 25℃ 以内。当前, 在一些大体积混凝土结构工程实践中, 通过预冷骨料、分层浇筑、内部埋设冷却管及覆盖保温层等措施对温度进行调控。这些温控思路可以分为内部控制和外部控制两种, 内部控制就是采用深井水拌和或掺冰块降低材料的入模温度, 而外部控制就是使用蒸汽养护或覆盖麻袋达到减缓表面散热的效果^[2]。

2. 收缩变形与约束应力。在混凝土硬化过程中,会出现不同程度的干燥收缩、化学收缩现象,并且受到混凝土结构体积的影响,收缩变形往往会形成收缩裂缝。这种收缩变形在大体积混凝土结构中表现得尤为明显,收缩变形的累积效应也更为显著,需要在施工中加入一定量的膨胀剂实现补偿收缩,或者设置一定区域的后浇带,以分块浇筑的形式释放应力。

3. 施工组织与质量控制。大体积混凝土结构具有浇筑量大、时间长的特性,而通常使用到大体积混凝土结构的建筑工程,也往往具有施工周期长、涉及的主体多的特点。这需要施工方协调好混凝土供应、运输、振捣等环节的连续性,避免出现冷缝。同时,在分层浇筑时,要确保在下层初凝之前完成上层的覆盖,在大体积混凝土结构的长厚比大于3时可以使用斜面分层法。除此之外,大体积混凝土结构的质量控制对养护环节的要求也更加严格,浇筑完成后需要保持至少15天的湿润状态,实时监测结构整体的温度与强度变化,及时采取必要的养护手段和弥补措施。

4. 泌水与离析风险。大体积混凝土结构在浇筑过程中容易由于骨料下沉、水分上浮导致泌水,进而形成表层空隙和内部不均匀的问题,影响混凝土结构的抗渗性与耐久性。针对这一情况,需要优化配合比,控制好坍落度,采用二次振捣配合合理的振捣工艺改善混凝土结构的密实度。

2 大体积混凝土结构关键施工技术

2.1 原材料选择与配合比设计

大体积混凝土的原材料选择和配合比设计是控制结构内部的水化热、提高混凝土结构整体抗裂性的关键路径。首先,在水泥的选择上,应当优先选用低热硅酸盐水泥或矿渣水泥,这种水泥的铝酸三钙含量相较于普通水泥更低,可以使混凝土结构的水化热控制在一个较低的水平。在粗骨料的选择上,最好使用连续级配的碎石或卵石,骨料的最大粒径不超过40 mm,其中含泥量控制在1%以内,而细骨料则优先选用细度模数在2.3~3.0之间的中砂,细骨料的含泥量则要控制在1%以内。在掺合料的使用上,粉煤灰掺量在原材料中的比重控制在15%~40%为宜,矿渣粉的掺量控制在50%以内,并且这两种掺合料的总量不能超过水泥总用量的一半。这一施工技术的整体思路就是以其他一部分原料取代部分水泥,达到最终降低水化热,改善原料和易性的目的。在外加剂的选择上,现代建筑工程多选用缓凝型高效减水剂,水胶比控制在0.35~0.45,每单位的用水量不超过170 kg,还可以

在其中加入一定量的膨胀剂,能够起到补偿收缩的效果。最后,大体积混凝土结构原材料的配合比设计也非常关键,每立方米的水泥用量在250~320 kg中最佳,并通过60 d强度适配优化配比,加入合成纤维或钢纤维增强结构的抗拉性能。

2.2 大体积混凝土结构施工工艺控制

大体积混凝土结构施工工艺的关键在于控制好结构的浇筑温度和振捣密实度。在浇筑作业之前,需要预埋冷却水管,并采用深井水给混凝土原料降温,确保原材料的入模温度不超过32℃,为了降低外部高温的影响,在夏季进行施工时,最好选择夜间进行浇筑作业。在分层浇筑作业中,可以按照斜面分层、薄层推进的浇筑原则,每一个浇筑层的厚度控制在500 mm以内,初凝时间则控制在10~14个小时,确保上下层混凝土的衔接。在振捣作业环节,可以采用高频插入式振捣器,并严格遵循快插慢拔的原则,每个振捣点的振捣时间控制在30秒以内,在间隔两个小时后实施二次振捣,能够有效地消除泌水孔隙。对于泵送混凝土坍落度,需要控制在160 mm左右,控制好混凝土的运输时长,确保达到施工场地的混凝土质量满足工程设计要求,在浇筑完成后及时覆盖塑料薄膜减少表面水分蒸发,同时达到控制温差的效果。除此之外,对于如9 m的厚筏板一类的超厚混凝土结构,需要进行分块浇筑,并预留出一定的后浇带,同时在浇筑体的内部每隔3~5 m设置一个测温点,监控结构内部温差的动态变化和降温速率的实际速率。

2.3 裂缝控制技术

裂缝是影响大体积混凝土结构稳定性和整体性的关键因素,对整个工程的质量也具有较大的影响。当前,对于大体积混凝土结构中的裂缝控制主要从温度应力、收缩变形及外部约束三个方面的控制入手。首先,对于由于温度应力而产生的裂缝,可以通过优化水化热释放路径实现有效控制,包括采用冷却水管循环降温、预埋热电偶实时监控等。其次,对于由于混凝土硬化收缩变形而导致的裂缝,则通常使用膨胀剂来补偿自收缩,并通过二次抹压来消除表面塑性收缩。大体积混凝土结构中抗裂配筋设计则需要采用小直径、密间距的钢筋网片,并在转角、孔洞一类的应力集中区增设加强筋,也能够起到控制收缩变形的效果。最后,外部约束裂缝控制则主要通过设置滑动层来减少基底摩擦力,并采用跳仓法施工分割大体积结构为小块体,释放早期收缩应力。除此之外,聚丙烯纤维的使用也能够一定程度上分散内部应力,提升混凝土的抗拉强度^[3]。

2.4 大体积混凝土结构的养护技术

养护环节是巩固大体积混凝土结构施工质量的核心环节,而这一环节的最终目的是维持浇筑完成的混凝土湿度和温度稳定。在混凝土保湿环节,要在混凝土终凝后立即覆盖塑料薄膜,通过蓄水或喷淋养护,养护时长通常需要超过两个星期,如果使用的抗渗混凝土则延长到一个月左右。在混凝土结构保温环节,通常会使用 XPS 挤塑板、棉毡一类的保温物品对混凝土结构表面进行覆盖,控制好混凝土结构表面与大气温差。在大体积混凝土结构侧面则可以使用带保温层的模板,拆模后贴附湿麻袋并定期补水。

3 大体积混凝土结构施工的创新发展方向

3.1 智能化监测

基于新型技术的大体积混凝土结构监测手段正在重构大体积混凝土施工的质量管理体系。物联网、大数据和人工智能等新型智能技术的发展为大体积混凝土结构施工的智能化监测提供了更加高效便捷的工具。基于云平台的远程监测系统具备从温度感知层到远程监控层的五级架构的功能,能够实现对混凝土内部温度、湿度及应力的实时动态监测与预警^[4]。例如:中冶建工基于物联网技术研发的“测温装置”采用预埋件与驱动件联动技术,无需依赖钢筋绑扎就可以精准获取大体积混凝土结构中的多点温度数据,并且相较于传统测温手段误差率更低,有效解决了传统人工测温效率低、误差大的问题。除此之外,当前已经在部分大体积混凝土结构施工中应用的混凝土浇筑匀质性智能检测系统,能够通过移动式悬挂框架与多功能复合检测器,实时分析混凝土的坍落度、骨料分布等参数,并结合 AI 算法生成施工优化建议,能够大幅度提高大体积混凝土结构的匀质性合格率。下一阶段,大体积混凝土结构的智能化监测技术将聚焦数字孪生技术与施工场景的深度集成,通过 BIM 模型与实时监测数据的双向映射,实现裂缝风险的预判与工艺参数的自主调节。

3.2 绿色材料的应用

在推动我国建筑产业现代化转型的过程中,绿色施工理念具有重要地位,而绿色材料正是绿色施工理念下的重要实践成果。大体积混凝土结构中的绿色材料的创新更加关注施工过程的低碳转型,比如再生骨料混凝土是先将废弃混凝土进行破碎,再对其级配进行优化,再生骨料混凝土的使用替代了相当一部分的天然骨料,并且由于再生骨料混凝土具有较高的抗渗系数,在降低资源消耗的同时还有提升混凝土抗氯离

子渗透性的作用。工业固废的再利用也是大体积混凝土结构绿色施工的重点内容,如粉煤灰与矿渣粉双掺技术,在降低混凝土结构内部水化热峰值的同时,能够有效地减少大体积混凝土结构施工中的水泥用量,以及生物骨料混凝土与地质聚合物水泥的研发,进一步丰富了大体积混凝土结构施工中绿色材料的选择。

3.3 施工工艺创新

大体积混凝土结构施工工艺的创新以裂缝控制与效率提升为目标。当前,大体积混凝土结构施工中使用的跳仓法,是通过对施工区域进行合理划分,控制浇筑间隔,替代传统后浇带,不仅能够减少混凝土结构的冷缝,还能够有效地缩短工期,这一施工方法在某些大型建筑工程项目中已经成功应用。同时,全蓄水温控工艺结合分层浇筑与循环冷却水系统通过动态调整蓄水深度与通水策略,能够将混凝土结构的内外温差稳定在较低的水平,大幅度降低温度应力所导致的结构裂缝。除此之外,智能化工艺设备在现代大体积混凝土结构施工中的应用也越来越普遍,基于人工智能技术开发的温控系统能够做到监测、预警和处置一体化,实现降温速率的自动调节^[5]。下一阶段,3D 打印技术与自密实混凝土的结合有望突破复杂结构的施工瓶颈,减少大体积混凝土结构施工对传统施工技术的依赖。

4 结束语

大体积混凝土结构施工的关键点在于混凝土结构的温度和裂缝控制,通过对现有施工技术要点进行分析,能够有效地提高大体积混凝土结构施工中技术应用的准确性。同时,将大体积混凝土结构施工技术的创新发展作为未来研究的重点方向,既能够提高大体积混凝土结构施工质量,又能够进一步推动我国建筑产业的现代化发展。

参考文献:

- [1] 李玉欣. 土木工程中大体积混凝土结构施工技术运用[J]. 产品可靠性报告, 2024(12):141-143.
- [2] 刘新博. 超长混凝土结构跳仓法施工技术[J]. 工程建设与设计, 2024(24):130-132.
- [3] 荆林. 房建施工中混凝土裂缝控制技术的研究与应用[J]. 陶瓷, 2024(12):173-176.
- [4] 陈伟仙. 浅析大体积混凝土施工质量的控制措施[J]. 四川水泥, 2024(12):141-143.
- [5] 连蓼燕. 建筑工程中大体积混凝土结构施工研究[J]. 房地产世界, 2024(21):158-160.

深基坑支护技术在市政工程施工中的应用研究

王 拓

(安徽聚合投资有限公司, 安徽 淮南 232000)

摘 要 为解决市政工程深基坑支护面临的地质复杂、空间受限及环境敏感等技术难题, 本文以淮南煤化工产业园项目为例, 对支护技术适配性、空间优化及绿色施工等关键问题进行了研究, 针对粉质黏土层弱膨胀潜势, 提出分级支护策略与动态监测体系; 在狭窄作业环境下开发复合支护结构与低净空施工工艺; 融合可回收材料与资源循环技术实现绿色建造; 建立地质参数—支护响应的映射模型, 形成经济性与安全性的量化平衡方法, 以为类似城市密集区深基坑工程提供技术参考。

关键词 深基坑支护; 市政工程; 动态响应机制; 绿色施工; 智能化监测

中图分类号: TU753

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.20.016

0 引言

深基坑工程作为市政建设的关键环节, 面临地质条件复杂、施工环境受限、环保要求严格等多重挑战。传统支护技术已难以满足现代工程的高标准需求, 亟需探索更加安全、高效、绿色的技术路径。以淮南煤化工产业园项目为例, 该工程涉及弱膨胀性粉质黏土、高地下水位等复杂地质条件, 同时受限于城市密集区的狭小作业空间, 对支护技术的适配性和创新性提出更高要求。近年来, 智能化监测、新材料应用及跨学科技术融合为深基坑支护带来了新的发展机遇。BIM 技术、物联网和数字孪生等数字化手段逐步应用于工程实践, 推动支护设计从经验依赖向数据驱动转变。同时, 绿色施工理念的深化促使可回收材料、低环境影响工艺得到广泛应用, 使工程经济性与生态可持续性得以兼顾。

1 市政工程施工中深基坑支护技术的特性分析

1.1 复杂地质条件下的技术适配性

复杂地质条件下的技术适配性表现为支护方案必须与地层特性形成动态响应机制。在淮南煤化工产业园项目中, 场地内分布的粉质黏土层具有弱膨胀潜势, 其自由膨胀率达到 41.5% 至 53.0%, 这种特殊土质要求支护结构预留足够的变形空间。针对不同深度土层的力学特性差异, 设计采用分级支护策略: 浅层土体使用土钉墙控制变形, 深层不稳定层位则布置微型桩提供刚性支撑。当地下水位埋深在 1.05 米至 2.35 米波动时, 降水井的成孔深度需穿透粉土层进入下部相对隔水层, 形成完整的降水帷幕。技术适配性的本质是建立地质参数与支护参数的映射关系, 通过实时监测

数据的反馈调节, 使支护体系始终与地层变形保持协同。这种动态平衡既避免了支护不足导致的安全隐患, 又防止了过度支护造成的资源浪费。

1.2 城市化背景下的空间约束挑战

城市化背景下的空间约束挑战推动支护技术向立体化、集约化方向发展。化工物流园项目西侧紧邻经八路, 南侧距煤化工大道仅 37 米, 这种狭窄的作业环境迫使支护结构必须实现最小占地。解决方案是采用复合支护体系: 临近道路侧布置排桩结合内支撑, 内部开阔区域采用土钉墙, 形成“刚柔相济”的空间布局。施工期间设置自动化监测系统, 当支护结构位移超过预警值时, 可立即启动预应力补偿装置。空间约束还催生了新型施工工艺, 如使用折叠式支护模板减少材料堆放空间, 开发低净空作业设备适应受限场地。这些技术创新不仅解决了空间不足的难题, 更重塑了城市密集区深基坑工程的技术范式。

1.3 深基坑支护的经济性与安全性平衡

经济性与安全性的平衡需要建立全生命周期的价值评估模型。传统支护设计往往偏重初期建设成本, 而忽视后期维护费用和 risk 成本。现代工程管理将安全性能量化为经济参数, 如将支护失效概率与损失强度相乘得到风险期望值。在污水处理池基坑项目中, 虽然增加一道土钉会使直接成本上升 15%, 但可将坍塌风险降低 60%, 这种投入产出比成为决策依据。平衡的实质是通过精确计算找到安全边际与经济效益的拐点, 在这个临界点上, 每增加单位安全投入获得的边际效益开始递减。智能化监测技术的应用使这种平衡更加

精准,通过实时数据可以动态调整安全储备,避免资源错配。

1.4 环境因素对支护设计的影响

环境因素对支护设计的影响呈现多尺度特征。微观层面要考虑地下水的弱腐蚀性,这要求钢筋保护层厚度增加 20%,混凝土掺入抗硫酸盐外加剂。中观层面需评估周边水系的影响,如经八路水系明渠导致的地下水位波动,需要通过设置观测井实时监控水力梯度。宏观层面则要响应区域气候特征,淮南地区降雨集中在 6-8 月,这就要求在雨季前完成关键支护工序。环境响应型设计不是被动防护,而是将环境参数转化为设计输入条件,通过材料优选、构造改良和工艺创新,实现工程建设与生态环境的共生发展。这种设计理念正在从附加选项转变为基本准则,重塑着深基坑工程的技术伦理。

2 市政工程施工中深基坑支护技术的应用策略优化

2.1 多维度支护体系设计

多维度支护体系设计需要突破传统单一技术路径的局限,建立基于地质条件、结构形式和环境影响的协同决策机制。在淮南煤化工产业园项目中,针对 7.2 米深基坑的支护设计采用了分级控制策略:浅层土体采用土钉墙控制变形,深层不稳定层位布置微型桩提供刚性支撑^[1]。临近水系暗渠的区段增设高压旋喷止水帷幕,形成立体防渗体系。这种复合支护体系通过土钉与微型桩的协同工作,既确保了结构安全,又避免了过度设计造成的资源浪费。设计过程中采用三维地质建模技术,模拟不同开挖阶段的土体应力重分布,预判潜在风险区域。动态监测数据的实时反馈使支护参数能够随施工进度优化调整,实现技术方案与经济性的最佳平衡。多维度设计的核心在于将支护体系视为动态响应系统,其性能需随施工进程和环境变化不断调整优化,这种设计理念显著提升了复杂环境下深基坑工程的安全性和经济性。

2.2 绿色施工理念的融合实践

绿色施工理念的融合实践体现在资源循环利用和环境保护的系统性优化措施上。项目采用可回收式预应力锚杆替代传统钢筋锚杆,减少地下遗留物对后续开发的限制。喷射混凝土掺入 30% 矿渣微粉,在降低水泥用量的同时提升面层抗渗性能。基坑降水系统设置三级沉淀装置,处理后的地下水用于现场降尘和混凝土养护,实现水资源循环利用。施工期间配置低噪

声设备和定向照明系统,将施工噪声控制在 65 分贝以下,光污染限制在作业区域范围内。绿色施工不是简单的环保措施叠加,而是通过材料优选、工艺创新和设备升级,将环境因素转化为工程决策的核心参数。这种施工模式在保证工程质量的前提下,实现了经济效益与生态效益的双赢,为类似工程提供了可参考的环保实践方案。

2.3 施工工艺的标准化管

施工工艺的标准化管

2.4 协同作业的高效组织

协同作业的高效组织需要打破专业壁垒,实现施工要素的有机整合。基于 BIM 技术的协同平台集成地质数据、支护设计和施工进度信息,为测量、土方、支护等专业团队提供统一的工作界面^[3]。开发的工序冲突预警系统,当土方开挖与支护施工出现空间重叠时,自动生成优化后的施工流程。现场配置的多功能支护机械集成钻孔、注浆、喷射功能,减少设备转场时间损耗 30% 以上。高效组织的本质是通过信息共享和资源整合,将离散的施工活动转变为连续的价值创造过程。项目建立的每日协调会制度,确保各专业施工无缝衔接,关键路径工期压缩 15%。随着物联网和数字孪生技术的发展,深基坑工程正从经验驱动转向数据驱动,为协同作业提供更强大的技术支撑,这种组织模式将成为未来复杂工程施工管理的主流方向。

3 市政工程施工中深基坑支护技术创新方向探讨

3.1 智能化技术的应用前景

在市政工程深基坑支护施工中,智能化技术正展现出广阔的应用前景。智能化监测系统可实时采集基

坑的位移、沉降、应力等关键数据,借助传感器与智能算法,对数据进行快速分析处理。例如:通过在基坑周边布置高精度位移传感器,能精确获取支护结构的微小变形信息,一旦变形接近预警值,系统立即发出警报,为施工人员争取处理时间,有效预防事故发生。智能化施工设备同样为深基坑支护带来了变革^[4]。自动化的钻孔设备可依据预设参数精准作业,确保土钉、锚杆的成孔位置、角度和深度符合设计要求,极大地提高了施工精度与效率。同时,智能起重机能够自动识别吊运材料的重量和位置,优化吊运路径,避免碰撞,保障施工安全。智能化技术还能实现对基坑施工全过程的数字化模拟。在施工前,通过建立三维模型,模拟不同施工阶段基坑的力学响应和变形情况,提前发现潜在问题并优化施工方案。在施工过程中,将实际监测数据与模拟结果实时比对,及时调整施工参数,实现动态化、精细化施工管理,提升深基坑支护的整体质量和安全性。

3.2 新材料与新工艺的探索

新材料的研发和应用为市政工程深基坑支护技术注入新活力。高强度、耐腐蚀的新型钢材逐渐应用于支撑结构,其优异的力学性能可有效提高支护体系的承载能力,延长使用寿命。例如:新型复合材料制成的土钉和锚杆,重量轻但强度高,能更好地适应复杂地质条件,减少施工难度。在新工艺方面,一些创新的支护方法不断涌现^[5]。例如:采用旋挖扩底灌注桩工艺,可扩大桩底面积,增加桩的承载能力,提高基坑稳定性。冻结法支护工艺则利用人工制冷技术使基坑周围土体冻结,形成坚硬的冻土帷幕,起到挡土和止水的双重作用,特别适用于富水软土地层。此外,将绿色环保理念融入新工艺中成为趋势。如采用可回收的支护材料,在基坑施工完成后可回收再利用,减少资源浪费和环境污染。一些生态友好型的土体加固材料也在研发应用,既能实现土体加固的目的,又能降低对周边生态环境的影响,为可持续发展的市政工程建设提供有力支持。

3.3 跨领域技术融合的可能性

跨领域技术融合为市政工程深基坑支护技术发展开辟了新方向。与岩土工程领域融合,借助先进的岩土力学研究成果,可更准确地分析基坑周边土体的力学特性和变形规律,为支护设计提供更科学的依据。结合地质雷达等地球物理探测技术,可详细了解地下土体结构和隐患,提前制定针对性的支护措施。此外,

引入机器学习算法分析地质数据,可快速识别高风险区域,优化支护方案。与计算机科学和信息技术融合,可推动深基坑支护技术向智能化、信息化方向发展。利用大数据分析技术处理海量的监测数据,挖掘数据背后的潜在规律,实现对基坑安全状态的精准评估和预测。借助虚拟现实(VR)和增强现实(AR)技术,施工人员可在虚拟环境中进行施工模拟和培训,提高施工操作的准确性和安全性。未来,区块链技术的应用还可实现施工数据的不可篡改和透明共享,提升工程管理的可信度。与航空航天领域的技术融合也具有潜力,借鉴航空航天领域的轻量化材料设计理念和制造工艺,开发更高效、更轻质的基坑支护材料^[6]。跨领域技术融合不仅提升了深基坑支护的技术水平,还为城市基础设施建设的韧性和安全性提供了新的解决方案。

4 结束语

市政工程深基坑支护技术发展需突破传统思维局限,淮南项目实践表明,地质动态响应机制与立体化支护体系能有效应对复杂环境挑战。将智能化监测、绿色材料与跨领域技术有机融合,构建了全生命周期价值评估模型。研究成果验证了分级控制策略在弱膨胀土层的适用性,空间集约化设计缓解了城市施工场地约束,环境响应型工艺为可持续发展提供了新思路。未来,应进一步探索新材料性能与数字孪生技术的深度应用,推动深基坑工程向精准化、生态化方向演进,为市政工程建设奠定技术基础。

参考文献:

- [1] 郑轩. 市政工程中深基坑开挖支护技术的重要性及应用分析[J]. 中国建筑金属结构, 2025, 24(05): 34-36.
- [2] 丁军明. 建筑工程施工中深基坑支护的施工技术管理[J]. 居业, 2025(02): 171-174.
- [3] 刘松柏, 李云, 单良. 建筑工程深基坑支护技术及施工要点分析[C]//《施工技术(中英文)》杂志社, 亚太建设科技信息研究院有限公司. 2024年全国工程建设行业施工技术交流会论文集(下册). 中建八局浙江建设有限公司, 2024.
- [4] 史燕娜. 大型市政工程深基坑支护设计优化与应用探讨[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2024(24): 190-192.
- [5] 侯宝山. 市政工程深基坑支护技术及施工要点分析[J]. 建筑与预算, 2023(07): 77-79.
- [6] 金仁菊. BIM技术支持下的泵站工程深基坑支护防渗方法[J]. 建材发展导向, 2025, 23(04): 76-78.

铝模体系桁架钢筋混凝土叠合板施工技术探析

黄 琦

(华西集团四川省第十五建设有限公司, 四川 南充 637000)

摘 要 在响应装配式建筑政策背景下, 铝模体系中桁架钢筋混凝土叠合板施工技术备受关注。本文介绍了桁架钢筋混凝土叠合板施工技术与传统叠合板施工工艺的差异, 涵盖接线盒预埋、支撑体系及垂直度校正等方面, 详细说明了桁架钢筋混凝土叠合板施工工艺流程、操作要点以及质量、安全控制措施, 并进行了效益分析, 以期为促进装配式建筑施工开展提供有效参考。研究结果表明, 桁架钢筋混凝土叠合板施工技术经济效益显著, 每平方米节约建设成本 9.02 元, 节约率 4.29%, 且在进度、质量、安全方面具备社会效益。

关键词 铝模体系; 桁架钢筋混凝土叠合板; 效益分析

中图分类号: TU755

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.20.017

0 引言

在高层建筑标准层主体结构中, 铝模体系桁架钢筋混凝土叠合板施工工艺至关重要。铝模体系桁架钢筋混凝土叠合板施工工艺与传统的叠合板施工工艺相比较, 既一脉相承又有所不同, 相同的是施工流程基本一致, 但是在生产工艺和施工效率、材料性能与成本、施工环境与质量、环保与可持续性等方面, 铝模体系桁架钢筋混凝土叠合板施工工艺具有显著优势。

1 铝模体系桁架钢筋混凝土叠合板施工技术特点

一是在叠合板生产过程中采用新式的暗装式带耳阻燃接线盒, 对叠合板内的水电点位的线盒进行精准预埋, 由于穿过带耳接线盒的固定钢筋, 与叠合板板内的钢筋网进行了牢固绑扎或点焊在一起, 可以最大限度地避免线盒在浇筑振动中以及后序施工人员在上面踩踏造成的移位和滑脱^[1]。而传统的叠合板采用普通接线盒, 经常会出现因人员在上面行走踩踏造成的线盒向下滑动等质量问题。

二是由于预制叠合板的尺寸一般较大, 并且重量也较大, 为了保证叠合板下面的支撑牢固稳定, 也为了保证叠合板安装过程中安装人员的操作方便和施工安全, 故在叠合板下均要进行支撑。而我们采用了与传统的木龙骨支撑和工字钢支撑不同的、比较新颖的格栅形铝模板带支撑体系, 该体系与原有墙梁铝模体系连接成一体, 具有整体性好、安全可靠、表面宽敞平整、可兼作临时通行道路等传统的木龙骨支撑和工字钢支撑不具备的优点。

三是利用激光射线色彩明亮、方向性好、光束不

散射等优点, 采用了自动安平激光投线仪对格栅形铝模板带下的可调独立钢支撑的垂直度来进行校正, 取得了很好的效果。与传统的吊线坠检查相比, 其具有操作更简便、准确度更好、效率更高、全天候不受视觉环境影响等优点^[2]。

2 铝模体系桁架钢筋混凝土叠合板施工流程及操作要点

2.1 施工流程及材料工具准备

铝模体系桁架钢筋混凝土叠合板施工流程严谨且环环相扣。首先是叠合板预制生产, 由专业厂家负责制造。生产完成后进行叠合板进场验收, 确保质量达标。之后依次开展板下格栅形铝模板带支撑搭设、板下铝模板支撑体系检查校正等工作。在叠合板安装完成后, 还要对支撑体系二次检查校正, 接着进行线管配管敷设、板上层筋绑扎, 最后进行楼层梁板墙混凝土浇筑。

施工所需材料众多, 主要包括暗装式带耳阻燃接线盒、60 mm 厚预制桁架钢筋混凝土叠合板、拉片铝模体系、水电预埋线管、钢筋和混凝土等。这些材料质量直接关乎工程质量。同时, 施工离不开各类工具设备, 如自动安平激光投线仪用于精准测量, 扳手、弯管器、切管器等用于材料加工, 电焊机辅助连接, 扎钩、振动棒、铝合金靠尺、铁抹子、小卷尺等在不同施工环节发挥关键作用, 共同保障施工顺利进行^[3]。

2.2 操作要点

2.2.1 叠合板预制生产与进场验收

叠合板预制生产由专业有资质的厂家承担, 此过程中采用暗装式带耳阻燃接线盒, 精准预埋叠合板内

水电点位的线盒,这一操作的精准度对后续水电安装的顺利进行至关重要。厂家需严格按照标准规范,把控生产环节,确保叠合板质量。

叠合板进场后,总包单位联合监理单位进行全面检查验收。查验内容涵盖出厂合格证及质量证明文件,对叠合板的长度、宽度、厚度、预留钢筋尺寸规格进行细致核对,还要检查板内预埋线盒的点位数量、位置以及线盒类型。只有各项技术指标都符合设计要求,叠合板才能进入施工现场投入使用,从源头保障工程质量,避免因叠合板质量问题引发后续施工风险。

2.2.2 板下支撑体系的搭设、检查与校正

预制叠合板尺寸和重量较大,为保障支撑稳固、施工人员操作安全与便利,采用格栅形铝模板带支撑体系。该体系布置要求严格,与叠合板相邻的墙、梁侧模转角模板要随梁模一同安装;叠合板间300 mm接缝处下方支设500 mm宽铝模板带;每张叠合板下设置纵横格栅形铝模板带,横向宽150 mm、间距不大于700 mm,纵向宽100 mm、间距不大于1 200 mm;不同宽度铝模板带的支撑点设置和间距也有明确规定。

楼层墙、梁、板带铝合金模板组架支设完毕后,要对铝合金模板连接销钉和可调钢支撑进行检查校正。销钉间距不大于150 mm且板带间禁止单销钉连接,可调独立钢支撑应垂直,其垂直度需满足《建筑工程组合铝合金模板施工技术规范》要求,即 $\leq$ 层高的1/300且 ≤ 10 mm,借助自动安平激光投线仪进行精准检查,保证支撑体系稳定可靠。叠合板安装后,再次加固回顶并复查支撑垂直度,确保支撑体系持续稳固。

2.2.3 叠合板安装与后续工序

叠合板铝模板带支撑布置完成后,即刻开展叠合板吊装工作。依据构件图纸平面布局,将叠合板逐一吊装至已支设好的铝模上。吊装时注意叠合板粗糙面朝上,糙面粗糙度控制在4 mm左右,其混凝土边沿嵌入墙或梁模板内侧10 mm,操作时停稳慢放,避免碰撞损伤预留钢筋。

叠合板安装调平后,进行线管配管敷设,连接要牢固严密,避开叠合板与墙梁交接处20 cm范围,与桁架钢筋相交时从其下方穿过。水电线管敷设完成后,进行板上层筋绑扎,先检查调整墙立筋,再铺设绑扎上层钢筋网片,交叉点全部扎牢。钢筋绑扎自检合格并通过监理验收后,进行楼层混凝土浇筑。浇筑时铺设操作通道,按设计标号施工,控制标高、振捣密实并二次抹面,使表面平整密实,完成钢筋、线管隐蔽,确保结构质量^[4]。

3 铝模体系桁架钢筋混凝土叠合板施工质量控制措施

3.1 材料与构件质量控制

在铝模体系桁架钢筋混凝土叠合板施工中,材料与构件质量控制至关重要。暗装式带耳阻燃接线盒预埋时,要依据设计精准放线定位,确保盒内填充物紧实不变形且紧贴底板,固定钢筋与叠合板钢筋网牢固连接,防止移位。叠合板进场严格检查,其尺寸规格、预埋线盒情况必须符合设计,有裂纹的坚决退场。铝模组装也有严格标准,相邻梁、板带模板以及墙柱模板的销钉间距都有明确限制,板带间禁止单销钉连接,以此保障模板连接稳固,为后续施工筑牢基础。

3.2 施工过程关键环节质量把控

施工过程的各个关键环节质量把控直接影响整体施工质量。在钢支撑方面,每个可调独立钢支撑都要保持垂直,借助自动安平激光投线仪检查校正,使垂直度满足规范要求,叠合板安装后还要复查。吊装叠合板时,注意粗糙面向上,控制好粗糙度,安放时嵌入墙或梁模板合适深度,小心操作保护预留钢筋。布置管线要合理穿越桁架钢筋,上层钢筋网片绑扎用水平梯子筋固定墙立筋并扎牢交叉点。混凝土浇筑时铺设通道,控制好板厚、标高,振捣密实并二次抹面,全方位保障施工质量。

4 铝模体系桁架钢筋混凝土叠合板施工安全措施

铝模体系桁架钢筋混凝土叠合板施工安全工作的管理方针是“安全第一、预防为主、综合治理”。安全措施管理应符合《建筑与市政施工现场安全卫生与职业健康通用规范》(GB 55034-2022)、《建筑与市政工程施工现场临时用电安全技术标准》(JGJ/T46-2024)等国家规范、要求。必须牢固树立安全意识,严格遵守公司及项目部的规章制度,遵守“三不伤害”的原则,严禁酒后进入工地。楼层施工作业面,配备足够数量的灭火器。铝模板带支设时,应注意相连的板带模板、梁模板销钉间距应不大于150 mm,特别是板带之间严禁采用单销钉连接,避免人员行走时板带转动,发生安全事故。板带下的每根可调独立钢支撑均应拧紧受力,且立杆垂直,不应倾斜。

另外,施工时,尤其应注意叠合板吊装的安全管理,具体措施如下:

1. 对从事预制构件吊装作业及相关作业人员进行安全培训与交底,识别预制构件进场、卸车、存放、吊装、就位各环节的作业风险,并制定防控措施。

2. 吊装作业开始前,应对吊装作业区进行围护并做出明显的标识,拉警戒线,安排安全员旁站,严禁与安装作业无关的人员进入。

3. 施工作业使用的专用吊具、吊索等,应进行定期、不定期检查,确保其安全状态。

4. 预制构件起吊后,应先将预制构件提升 300 mm 左右后,停稳构件,检查钢丝绳、吊具和预制构件状态,确认吊具安全且构件平稳后,方可缓慢提升。

5. 采用四点起吊法,吊运过程中应保持平稳,应采用慢起、稳升、缓放的操作方式,不得偏斜、摇摆和扭转,严禁吊装构件长时间悬停在空中,应保证起吊设备的吊钩位置及构件重心在垂直方向上重合,吊索与构件水平夹角不宜小于 60° ,不应小于 45° [5]。吊装时,吊钩应同时钩住钢筋桁架的上弦钢筋和腹筋。

6. 吊装区域内,非作业人员严禁进入,吊运预制构件时,下方严禁站人,应待物件降落至距地面 1 m 以内,方准作业人员靠近,就位固定后方可脱钩。

7. 遇到雨、雪、雾天气,或者风力大于 5 级时,不得进行吊装作业。

5 铝模体系桁架钢筋混凝土叠合板施工效益分析

5.1 经济效益

以某工程为例,标准层叠合板总方量为 $2\ 261.22\ \text{m}^3$ 、板内钢筋数量为 180.29 吨,本工程结构标准层由原设计图纸的全现浇楼板改为叠合板后,与原设计的现浇板相比较,有着比较明显的经济效益,两者比较具体如下:

1. 标准层采用现浇楼板体系:

(1) 收入方面。混凝土: $2\ 261.22\ \text{m}^3 \times 600\ \text{元}/\text{m}^3$ (综合单价)=135.6 732 万元;钢筋: 180.29 吨 $\times 7\ 500\ \text{元}/\text{吨}$ (综合单价)=135.2 175 万元

(2) 支出方面。混凝土: $2\ 261.22\ \text{m}^3 \times 470\ \text{元}/\text{m}^3$ (材料费)=106.2 773 万元, $2\ 261.22\ \text{m}^3 \times 60\ \text{元}/\text{m}^3$ (人工费)=13.5 673 万元;钢筋: 180.29 吨 $\times 5\ 000\ \text{元}/\text{吨}$ (材料费)=90.145 万元, 180.29 吨 $\times 1\ 500\ \text{元}/\text{吨}$ (人工费)=27.0 435 万元

(3) 利润方面: $135.6\ 732 + 135.2\ 175 - 106.2\ 773 - 13.5\ 673 - 90.145 - 27.0\ 435 = 33.8\ 576$ 万元。

2. 标准层采用叠合板体系:

(1) 收入方面。叠合板: $2\ 261.22\ \text{m}^3 \times 3500\ \text{元}/\text{m}^3$ (综合单价)=791.427 万元

(2) 支出方面。叠合板: $2\ 261.22\ \text{m}^3 \times 3000\ \text{元}/\text{m}^3$ (材料费)=678.366 万元; $2\ 261.22\ \text{m}^3 \times 200\ \text{元}/\text{m}^3$ (人工费)=45.224 万元

(3) 利润方面: $791.427 - 678.36 - 45.224 = 67.837$ 万元

本工程采用叠合板施工工艺,与未普通现浇楼板施工工艺相比较,可增加经济效益: $67.837 - 33.857 = 33.98$ 万元。经测算比较,本工程采用铝模体系中桁架钢筋混凝土叠合板施工工艺,比传统采用现浇楼板体系每平方米节约建设成本 9.02 元,节约率可达 4.29%,有着较好的经济效益。

5.2 社会效益

与传统现浇楼板体系相比,铝模体系中桁架钢筋混凝土叠合板施工技术社会效益显著。

在进度方面,叠合板预制生产及底面特性,使每层施工至少缩短一天,每栋高层楼建设周期加快超一个月。

在质量方面,工厂流水线规范化生产,严格把控产品质量,有力提升主体结构施工品质。

在安全方面,工厂生产减少现场高处作业量与时长,大幅降低安全隐患。

总之,该技术在多方面优势突出,有力推动建筑行业向高效、优质、安全方向发展。

6 结束语

铝模体系桁架钢筋混凝土叠合板施工技术在实际项目中的应用成效显著,不仅实现了可观的经济效益,还在社会效益上展现出诸多优势。未来,随着装配式建筑的持续发展,铝模体系桁架钢筋混凝土叠合板施工技术将在更多建筑项目中推广应用。同时,应不断探索铝模体系桁架钢筋混凝土叠合板施工技术优化与创新,进一步提升施工效率与质量,强化安全保障,更好地贯彻建筑行业绿色、高效的发展理念,推动装配式建筑迈向新高度。

参考文献:

- [1] 翁柳青,张景杭.考虑桁架钢筋节点间距的叠合板批量吊点验算与寻优[J].常州工学院学报,2024,37(01):20-26.
- [2] 陈哲,吴仲勤,尹刚,等.桁架钢筋混凝土叠合板抗弯承载性能研究现状探析[J].工程质量,2023,41(08):35-39.
- [3] 卢巧玲,卢健乐.桁架钢筋混凝土叠合板裂缝成因分析及对策研究[J].价值工程,2023,42(05):1-3.
- [4] 雷毓伟.浅析桁架钢筋混凝土叠合板施工技术[J].四川水泥,2020(12):33-34.
- [5] 谢赞斌.钢筋混凝土叠合板抗弯性能试验研究[J].砖瓦,2025(01):95-99.

市政道路施工中的路基土方工程施工技术分析

王二东

(单县城乡环卫一体化服务中心, 山东 菏泽 274300)

摘 要 市政道路路基土方工程是道路建设的基础, 其施工技术直接关系到道路的稳定性和耐久性。本文从施工准备、土方开挖、填筑压实及特殊地质处理等环节分析技术要点, 强调需通过地质勘探与精准测量优化施工方案, 严格控制开挖深度与边坡稳定性, 采用分层填筑压实技术提升路基强度, 针对软土地基、湿陷性黄土等采取换填、排水固结等针对性处理技术, 并提出通过现场监测与试验检测强化质量控制, 结合安全管理和成本优化形成系统管理体系, 以期提升市政道路施工效率与工程可靠性提供技术支撑。

关键词 市政道路; 路基土方工程; 土方开挖技术; 土方填筑与压实技术; 安全管理

中图分类号: U416.1

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.20.018

0 引言

市政道路作为城市交通网络的重要组成部分, 不仅承载着大量的车流和人流, 还直接关系到城市的形象和发展。路基土方工程作为市政道路建设的基础, 其施工质量直接影响到道路的稳定性和耐久性。因此, 深入研究市政道路施工中的路基土方工程施工技术, 对于提高道路建设质量、保障交通安全、延长道路使用寿命具有重要意义。路基土方工程施工技术涵盖了从施工准备到竣工验收的全过程, 涉及多个技术环节和细节。这些技术的运用直接影响到路基的承载能力、稳定性和抗变形能力, 进而影响到整个道路的使用性能。因此, 对路基土方工程施工技术的研究不仅具有理论价值, 更具有实践指导意义。

1 市政道路路基土方工程概述

1.1 路基土方工程定义与特点

路基土方工程是指市政道路建设中, 对路基进行开挖、填筑、压实等一系列土方作业的过程。其特点主要包括施工量大、技术复杂、受环境因素影响大等。由于市政道路通常穿越城市繁华地段, 施工空间有限, 且需要考虑到周边建筑、管线等设施的安全, 因此路基土方工程的施工难度较大。

1.2 路基土方工程施工流程

市政道路路基土方工程的施工流程一般包括施工准备、土方开挖、土方填筑与压实、质量验收等步骤^[1]。施工准备阶段需要进行地质勘探、设计审查、测量放线等工作; 土方开挖阶段需要根据设计图纸进行开挖

作业, 确保开挖深度和边坡稳定性; 土方填筑与压实阶段需要选择合适的填筑材料, 进行分层填筑和压实作业, 确保路基的强度和稳定性; 最后进行质量验收, 确保路基土方工程符合设计要求和相关标准。

2 路基土方工程施工技术要点分析

2.1 施工前准备工作

路基土方工程施工前的准备工作是确保工程顺利进行的基石, 这一环节至关重要, 需要施工人员全方位、细致地筹划与执行。首先, 地质勘探工作必不可少。通过深入的地质勘探, 施工人员可以全面了解施工区域的地质状况, 包括土层的分布、地下水的流动情况, 以及是否存在软土地基或不良地质现象等。这些详尽的地质信息, 为后续的施工方案设计、材料选择以及施工措施的制定提供了坚实的依据。其次, 对施工图纸的审查也至关重要。施工图纸是施工的蓝图, 其合理性和可行性直接影响着施工的质量和进度^[2]。因此, 施工人员需要仔细研读施工图纸, 确保设计方案既符合实际要求, 又无遗漏或错误。同时, 还应与设计人员进行充分沟通, 对图纸中的疑问或模糊之处进行明确, 以确保施工过程的准确无误。此外, 测量放线工作同样不容忽视。通过精确的测量放线, 施工人员可以准确确定路基的中心线、边线以及高程等关键控制点, 为后续施工提供精准的定位基准。在进行测量放线时, 施工人员需严格遵循设计要求, 确保测量结果的准确性和可靠性。同时, 还应对测量结果进行复核和验证, 以避免误差或错误。最后, 施工场地的清理和排水设施的设置也是施工前准备工作的重要组成部分

分。清理施工场地可以去除杂物和障碍物,为施工创造更加有利的条件。而设置合理的排水设施,则能确保施工过程中的排水顺畅,有效避免积水对施工造成的不利影响。这些工作虽然看似平常,但对于施工的顺利进行和施工质量的保障却起着至关重要的作用。路基土方工程施工前的准备工作是一个全面而细致的过程,需要施工人员以高度的责任心和敬业精神去认真对待和执行。只有做好充分的准备工作,才能为施工的顺利进行和施工质量的可靠保障奠定坚实的基础。

2.2 土方开挖技术

土方开挖作为路基土方工程的关键环节,其施工质量和效率直接影响着整个工程的进度和质量。在开挖过程中,施工人员需要严格遵守操作规程,确保开挖工作的顺利进行。首先,严格控制开挖深度是土方开挖中的重要一环。开挖深度过浅会导致路基强度不足,而开挖过深则会造成资源浪费和增加施工难度。因此,施工人员需要根据设计图纸和现场实际情况,精确计算开挖深度,并在施工过程中进行实时监控,避免超挖或欠挖现象的发生。同时,确保边坡的稳定性也是土方开挖中不可忽视的问题。边坡的稳定性直接关系到施工安全和路基的稳定性。在开挖过程中,施工人员需要采取必要的支护措施,如设置挡土墙、护坡等,以增强边坡的稳定性,防止边坡坍塌或滑坡事故的发生。为了提高施工效率,土方开挖可以采用机械开挖和人工开挖相结合的方式。机械开挖具有速度快、效率高的优点,适用于大面积、大深度的开挖作业。然而,在机械无法到达或施工条件受限的区域,如狭窄的街道、复杂的地形等,则需要采用人工开挖方式进行施工。人工开挖虽然速度较慢,但具有灵活性强、适应性强等优点,可以弥补机械开挖的不足^[3]。此外,合理安排开挖顺序也是土方开挖中的重要一环。开挖顺序的合理安排可以避免交叉作业和重复开挖,提高施工效率。施工人员需要根据现场实际情况和施工进度要求,制定详细的开挖计划,并严格按照计划进行施工。同时,还需要加强现场管理和协调,确保各施工环节之间的顺畅衔接,确保土方开挖工作的顺利进行。

土方开挖作为路基土方工程的重要环节,需要施工人员严格遵守操作规程,严格控制开挖深度,确保边坡的稳定性,采用合理的开挖方式和开挖顺序,提高施工效率和质量。只有这样,才能确保路基土方工程的顺利进行和路基的稳定性。

2.3 土方填筑与压实技术

土方填筑与压实是路基土方工程中至关重要的步骤,直接关系到路基的强度和稳定性。在填筑过程中,选择合适的填筑材料是首要任务。一般来说,砂砾石、碎石土等具有良好透水性和压实性的材料是优选,它们能够满足路基对强度和稳定性的要求。同时,为了确保填筑材料的均匀分布和有效压实,需要严格控制填筑厚度,避免过厚或过薄导致压实不足或资源浪费。在确定了填筑材料和填筑厚度后,接下来是采用分层填筑、分层压实的方式进行施工。分层填筑可以确保每一层填筑材料都能得到充分的压实,从而提高整个路基的压实质量。而分层压实则是通过逐层压实,使填筑材料之间的空隙逐渐减小,密度逐渐增大,从而达到提高路基强度和稳定性的目的。在压实过程中,选择合适的压实设备也是至关重要的。振动压路机、轮胎压路机等设备具有不同的压实效果和适用范围,施工人员需要根据实际情况进行选择。同时,控制压实遍数也是确保压实质量的关键环节。过多的压实遍数可能导致填筑材料过度压实,影响路基的使用性能;而过少的压实遍数则可能导致压实不足,影响路基的强度和稳定性^[4]。此外,遵循正确的压实原则也是提高压实效果的重要保障。一般来说,“先轻后重、先静后振、先低后高、先慢后快”的压实原则能够确保压实过程的顺利进行。先轻后重是指先用较轻的压实设备进行初步压实,再用较重的设备进行深度压实;先静后振是指先用静态压实设备进行压实,再用振动压实设备进行进一步压实;先低后高是指先从低处开始压实,逐渐向上推进;先慢后快则是指先以较慢的速度进行压实,逐渐加快压实速度。遵循这些原则可以确保压实过程的均匀性和有效性,提高路基的压实质量。

土方填筑与压实是路基土方工程中不可或缺的步骤,需要施工人员严格控制填筑材料、填筑厚度、压实设备和压实遍数,并遵循正确的压实原则,以确保路基的强度和稳定性。

2.4 特殊地质条件下的施工技术

在特殊地质条件下进行路基土方工程施工,无疑对施工技术提出了更高的要求。面对不同类型的特殊地质,施工人员必须采取针对性的处理措施和施工方案,以确保路基的安全、稳定和耐久性。当施工区域位于软土地基上时,由于软土的承载力低、压缩性高,直接进行路基填筑可能导致路基沉降过大,甚

至引发路基失稳。因此,施工人员需要采用一系列有效的方法对软土地基进行处理。换填法是一种常用的方法,通过挖除软土层,换填为承载力较高、压缩性较小的砂砾石、碎石土等材料,从而提高地基的承载力。排水固结法则是通过设置排水系统,加速软土的排水固结过程,提高其强度和稳定性。深层搅拌法则是利用搅拌机械将软土与固化剂充分混合,形成具有较高强度的复合地基。在湿陷性黄土区域施工时,湿陷性黄土在遇水后会发 生显著的沉降,对路基的稳定性构成严重威胁。因此,施工人员需要对湿陷性黄土进行夯实处理,通过机械夯实或强夯等方法,消除其湿陷性,提高黄土的密实度和承载力。此外,针对其他特殊地质条件,如滑坡、泥石流等,施工人员也需要采取相应的处理措施。对于滑坡地段,需要采取抗滑支挡结构、排水工程等措施,增强滑坡体的稳定性。对于泥石流区域,则需要设置拦挡设施、导流槽等,防止泥石流对路基的冲刷和破坏。

综上所述,在特殊地质条件下进行路基土方工程施工时,施工人员必须充分了解地质条件的特点和规律,采取针对性的处理措施和施工技术方案,确保路基的安全和稳定。同时,还需要加强现场监测和施工管理,及时发现并处理可能出现的问题,确保施工过程的顺利进行。

3 路基土方工程施工质量控制与管理

3.1 质量控制措施

在路基土方工程施工过程中,需要采取一系列质量控制措施来确保施工质量。首先,要加强现场监测工作,对施工过程中的关键指标进行实时监测和记录。其次,要进行试验检测工作,对填筑材料、压实度等进行试验检测,确保符合设计要求和相关标准^[5]。最后,还需要对关键施工环节和隐蔽工程进行质量控制,如开挖深度、边坡稳定性、填筑厚度、压实质量等。

3.2 施工安全管理

路基土方工程施工中存在着一定的安全隐患,如机械伤害、坍塌事故等。因此,需要加强施工安全管理工作。首先,要对施工人员进行安全教育和培训,提高他们的安全意识和操作技能。其次,要制定完善的安全管理制度和应急预案,确保在发生安全事故时能够及时有效地进行处置。最后,还需要加强施工现场的安全防护措施,如设置安全警示标志、配备安全防护用品等。

3.3 进度与成本管理

在路基土方工程施工过程中,还需要进行进度和成本管理。首先,要制定合理的施工进度计划,确保施工按时完成。其次,要加强对施工进度的监控和调整,及时处理施工中出现的进度延误问题。在成本管理方面,要优化施工组织和资源配置,提高施工效率,降低成本。同时,要加强对施工成本的核算和分析,确保施工成本控制在合理范围内。

4 结论

路基土方工程作为市政道路建设的基础,其施工质量对道路 的稳定性、安全性和耐久性具有直接影响。因此,必须高度重视路基土方工程的施工质量控制。路基土方工程施工技术涉及多个技术环节和细节,要求施工人员不仅具备扎实的专业知识,还需要拥有丰富的实践经验,以确保施工过程的顺利进行。

在施工前准备阶段,需要进行详细的地质勘探、施工图纸审查和测量放线等工作,为后续施工提供准确的地质依据和定位基准。在土方开挖过程中,要严格控制开挖深度,确保边坡的稳定性,并采用合理的开挖方式和顺序,提高施工效率。土方填筑与压实环节同样关键,需要选择合适的填筑材料,采用分层填筑、分层压实的方式进行施工,确保填筑材料的压实质量。对于特殊地质条件,如软土地基、湿陷性黄土、滑坡和泥石流等,需要采取针对性的处理措施和施工技术方案,以确保路基的安全和稳定。同时,加强施工质量控制、安全管理和成本管理也是提高路基土方工程施工质量、保障施工安全、降低成本的重要途径。综上所述,市政道路施工中的路基土方工程施工技术是一项复杂而重要的工作。通过深入研究和实践探索,我们可以通过不断提高施工技术和管理水平,为市政道路建设质量提供有力保障。

参考文献:

- [1] 李薇.市政道路施工中的路基土方工程施工技术分析[J].葡萄酒,2024(08):199-201.
- [2] 李玲莉.市政道路施工中的路基土方工程施工技术分析[J].运输经理世界,2023(03):17-19.
- [3] 沈源刚.市政道路施工中的路基土方工程施工技术[J].魅力中国,2021(03):127-129.
- [4] 闫强庆.市政道路工程路基土方工程施工技术要点[J].建材与装饰,2024(11):20.
- [5] 王元继.市政道路工程路基土方工程施工技术要点及质量控制措施[J].商品与质量,2021(03):235.

沥青混凝土道路施工技术在市政道路施工中的应用

何 扬

(安徽科海建设项目管理有限公司, 安徽 合肥 231200)

摘 要 市政道路工程是城市基础设施的重要组成部分, 对于提升城市品质、促进经济发展、改善民生福祉等方面都具有重要意义。沥青混凝土道路是目前市政道路工程中一种常见的道路结构形式。但在实际建设过程中, 往往会受到各种因素的影响, 导致沥青混凝土道路施工产生质量问题。为保障市政道路工程的质量和效率, 应加强对沥青混凝土施工技术的研究和分析。本文对沥青混凝土道路施工技术在市政道路施工中的应用展开深入探讨, 以期为提高市政道路施工水平提供参考。

关键词 沥青混凝土; 市政道路工程; 基础层施工; 混合料摊铺; 路面压实

中图分类号: U415.6

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.20.019

0 引言

提高市政道路工程中的沥青混凝土道路施工质量, 对提升城市交通运输效率、保障居民出行安全至关重要。沥青混凝土施工技术在市政道路建设中不仅能提高路面的平整度和耐磨性, 还能有效增强道路的防水性能与抗滑能力, 为市民提供更加安全、舒适的行车环境。因此, 施工单位深入研究沥青混凝土施工技术在市政道路中的应用对于推动城市建设高质量发展具有深远的现实意义。

1 沥青混凝土道路施工设计优化

沥青混凝土道路施工质量的好坏直接关系到道路使用寿命、行车安全及环境影响。因此, 在施工前必须对施工现场进行仔细勘测, 以保证每一步都能达到预定的设计标准和施工要求。首先, 勘测人员要深入现场详细记录并分析施工路段的地质条件, 包括土壤类型、岩石强度、地下水状况等因素, 这些信息对于后续的沥青混凝土材料选择与配比至关重要。同时还要重视水工情况, 其涉及路面排水系统的设计, 以及可能出现洪水、冰冻等极端天气情况下的应对措施。勘察结束后要根据市政道路的具体用途, 结合上述勘察结果进行沥青混凝土道路的施工设计。在这一环节中, 设计人员不仅要考虑材料的物理性能, 还要充分考量经济性和环境友好性, 以通过科学合理的设计实现最佳的工程效果。在沥青混凝土道路施工设计中, 配合比的设计直接影响到沥青混凝土的强度、稳定性和防水防冻性能。配合比既要保证有足够的强度, 又不

能成本过高导致浪费资源, 这一过程中, 设计人员可参考过往成功案例, 或者结合新的技术研究成果来确定配合比。如果没有现成的实例可供参考, 那么就要通过实验室测试和实际施工验证来确定最优配合比^[1]。

2 沥青混凝土道路施工准备工作

优质的沥青混合料是保证沥青混凝土道路工程质量达标的关键, 在采购原材料时必须严格控制原料的质量, 以防止不合格的材料流入施工现场。在这一过程中, 要对供应商资质进行审查, 并进行材料测试和质量评估, 只有经过检验确认合格的材料才能允许进入施工环节。在材料进场之后则要采取周密的保管措施, 无论是在仓库还是现场堆放区, 都要避免物料的受潮或损坏。为了延长材料的使用寿命, 应采用防潮包装, 并定期进行检查, 确保材料处于最佳状态。在物料拌合过程中, 含水率的控制尤为重要, 通过精确测量和调整砂石等原料中的含水率, 可以保证混合料在浇筑时的稳定性和强度。物料调配过程中要采用称重法来确定所需的物料比例, 这样不仅可以精确控制物料用量, 还能够有效避免水分过多或不足导致的质量问题。

此外, 搅拌直接影响着混合料的强度和稳定性, 因此, 在物料搅拌阶段必须精准控制搅拌速度和时间, 以及保证原料按照最佳配比混合均匀。另外, 还要做好温度控制, 高温会加速材料的化学反应, 降低混合料的强度; 而低温则可能使材料凝结不佳, 影响最终产品的性能^[2]。

3 沥青混凝土道路施工要点控制

3.1 基础层施工

在路基挖掘完成后,要对路基进行一系列的加固处理。如果路基的土质不佳,特别是富含粘土或其他软土成分的路基,就需要采取相应的措施来提高其稳定性。如完善路基排水系统,以减少地基中水分的积聚,或者通过更换更坚固、密度更高的土壤材料来进行加固,以保证沥青混凝土道路能够承受住长期使用过程中所带来的压力和荷载。沥青混凝土道路主要有三层结构,最底部的道路路基是整个道路的基本支撑,必须保持足够厚且坚硬,以抵御日常车辆行驶时产生的重量。中间的混凝土层需要具有良好的强度和耐久性,能够支撑上面铺设的沥青层。最上面一层就是表面的沥青混合料层,必须均匀密实,保证车辆在上面行驶时的舒适性和安全性。在中间层施工过程中,施工质量的控制尤为关键。施工人员必须严格按照技术规范操作,保证混凝土浇筑的每个细节都达到预期的质量标准。如混凝土的配比、浇筑速度以及振捣程度等方面,只有这样中间层才能形成结实的框架,为上层的沥青层提供稳定的支撑平台,进而保证整个道路结构的稳定性和承载力^[3]。

3.2 混合料摊铺

在沥青混凝土道路路基施工之后,要在沥青混凝土道路的中间层上均匀铺设沥青混合料。为保证沥青混凝土道路施工的质量,施工人员必须做好前期工作,首先在沥青混合料的摊铺之前,要在选定的道路中间层上涂抹一层特制的粘层沥青,粘层不仅具有粘附作用,而且还能防止后续摊铺过程中的材料剥落或被车轮碾压而损坏。涂刷后的沥青粘层应进行妥善保护,避免因车辆行驶而导致其遭到破坏。在正式对沥青混合料进行摊铺之前,施工人员要在接触层上涂上一层热沥青结合料,加强沥青混合料与道路中间层之间的粘合力,保证当沥青混合料摊铺后能够牢固结合在一起。为了进一步提升沥青混合料的摊铺速度并保证施工质量,施工单位通常会采用摊铺机来进行摊铺作业,这些机器的最大宽度可以达到13 m左右,施工人员要根据路面宽度,合理选择合适的摊铺作业流程,在道路宽度允许的情况下应尽量一次性摊铺成型,以减少二次摊铺可能带来的接缝问题。此外,摊铺作业中使用的各种参数(如摊铺速度、温度等)的选择也非常重要,这些参数要综合考虑沥青混合料参数以及道路路基的具体情况,以保障道路施工的质量。在实际操作中,施工人员要利用摊铺机的自动找平装置和自动

调节厚度装置来实现连续摊铺作业,这样可以有效控制摊铺质量,保证路面的平整度达到最佳状态。然而,并非所有道路区域都适合使用摊铺机,有些特殊位置,如拐角、井沿等地方,由于空间限制或其他因素,无法进行机械摊铺。在这种情况下就要进行人工摊铺作业,施工人员要具备精湛的技术和丰富的经验,以保证摊铺工作的连续性和稳定性。在摊铺完成后,还要及时对路面进行持续的检查和维护,如果发现路面出现凹陷或者其他路面灾害,要及时采取修补措施,以保证路面的摊铺质量不受影响^[4]。

3.3 路面压实

在摊铺作业完成之后,要对路面材料进行碾压压实。沥青路面的碾压工作通常划分为三个主要阶段,即初压、复压和终压。每个阶段都有其特定的目标和要求,因此选择合适的沥青路面碾压机尤为重要。在初压阶段,要采用双钢轮式碾压机来实施作业。在这一过程中,操作人员要精确控制碾压的温度和速度,以保证压实效果达到预期标准。同时还可以考虑使用带有振捣功能的碾压机,在进行碾压的同时产生振动,从而进一步增强压实效果。为了优化沥青混合料的压实质量,可以在碾压前对沥青混合料进行预拌处理。例如:在刮板和系统中加入肥皂水,可以防止沥青混合料粘附在碾压机的轮子上,从而避免出现车轮打滑或轮胎损坏等问题。当所有碾压作业完成后,碾压机必须及时撤离路面,避免碾压机长时间停留而导致路面表面发生变形。至于沥青路面的复压和终压阶段,则可以再次使用轮式碾压机来完成。然而,在复压时操作人员要等待沥青混凝土路面表面温度降至适宜的温度范围后才能进行碾压作业,过高的温度不仅会影响沥青混合料的性能,还可能导致碾压轮上的沥青混合料因粘附力不足而脱落。

3.4 路面接缝作业

在沥青摊铺和压实后,路面已经形成了初步的轮廓,但是为了保证其长期的使用性能和美观度,还要对这些接缝进行细致的处理。处理不仅包括路面与边缘的接缝,如路沿和井沿等,还包括路面两端的缝隙处理。由于接缝类型多样,纵向与横向裂缝是最为常见的两种情况。其中纵向裂缝的处理多是采用热接缝技术来确保路面的整体性和平整性。

热接缝技术的核心在于当沥青摊铺完成后仍然可以保持沥青混合料一定的温度,从而在接缝的地方能够迅速进行下一阶段的摊铺作业。在具体操作时,施工人员不会立即对路面进行碾压作业,而是选择等接

缝处完全凝固后再进行压实。只有等沥青混合料完全密实后,才能保证路面的平整度和稳定性达到最佳状态。而且,通过这种方式可以保证路面结构在整个摊铺过程中得到较好的温度控制,避免因温度差异导致的接缝不牢固或者路面开裂等问题。在实际摊铺作业过程中,摊铺机相距要保持至少 10~20 m 的安全距离。与此同时,熨平板应当设置在相对稳定且水平的位置上,以保证摊铺效果的一致性。对于宽度达到一定标准的路段,如高速公路或者城市主干道,热接缝技术不仅能够提高工程效率,还能减少因热影响造成的路面损坏风险。然而,对于那些路面宽度受限或者需要特别关注经济性的狭窄路段,传统的热接缝处理可能就不再适用,这时就要考虑采取一次性摊铺成型方法。除了纵向缝之外,还有横向缝,导致路面出现横向缝的原因有很多,如摊铺机在作业过程中对路面施加的压力不均、材料的热胀冷缩以及温度变化等因素,都可能导致横向裂缝的出现。为了有效避免这一问题,施工人员就要采用冷接缝技术来处理这种情况。

冷接缝技术施工主要是当一边道路完成摊铺和压实之后,就要开始进行另一侧道路的摊铺与压实工作。在接缝处要先用扫帚等工具将松散的材料清理干净,保证没有多余的碎石或其他杂质影响粘合效果。然后使用粘结沥青,沿着接缝两边的边缘均匀涂抹,以形成牢固的接合层。这层新铺的沥青可以很好地填补原来路面留下的空隙,从而使路面看起来更加平整、连续。然而,尽管冷接缝施工相对简单,但实际操作时仍需注意一些细节。首先,第二条车道的摊铺机熨平板要在第一条车道上稍微重叠一定高度,高度要控制在 2.5~5 cm 之间,这样可以保证两条车道之间有足够的粘合力,防止未来路面出现明显的接痕或裂缝。其次,要控制好搭接宽度,搭接宽度应保持在 100 mm 以内,过宽则容易导致接缝不均匀,甚至某些特定区域出现松散现象。因此,施工人员在进行接缝操作时,必须精确测量并调整机器的位置,保证每一次搭接都达到最优的宽度。此外,为了保证冷接缝的质量,施工人员还要利用先进的计算机软件对接缝处的参数进行细致的分析和计算,通过计算调整松铺系数,以保证接缝处的沥青能够紧紧粘附在一起^[5]。

4 沥青混凝土道路施工质量控制

4.1 沥青路面压实

沥青路面作为交通运输的重要组成部分,其压实程度直接影响着道路使用的安全性、舒适性以及耐久性。因此,在沥青路面施工过程中,路面压实工作必

须严格执行,操作人员要遵循科学的压实工艺,如精准操作压路机,选择合适的压实遍数等,保证每道工序都达到预定的标准,有效消除路上的任何空隙,减少未来出现裂缝或塌陷的风险,提高沥青路面的整体性能和寿命。此外,沥青压实工作还要关注压路机的行驶方式,为了保证压实效果,压路机在作业过程中必须保持连续、均匀的纵向行驶,要从较低的沥青路面边缘开始,逐渐向较高的部位推进,整个过程中车速要缓慢而平稳,避免因速度过快导致路面被压坏或者产生不均匀的压实效果。

4.2 沥青路面裂缝处理

在完成沥青路面的摊铺和压实之后,要对沥青路面进行全面的细致检查,检查可及时发现并处理潜在的裂缝或其他缺陷,保证路面的质量符合标准要求。对于出现的任何裂缝,施工人员要立即采取相应的措施进行修复,如使用特殊的材料来填充缝隙,使用机械设备进行更正,或者调整施工工艺以避免未来的损坏。此外,对于接缝处,施工人员首先要切除接缝处的两端,留下平整、干净的接缝边缘,然后在接缝末端灌注高质量的沥青混合料,这样不仅可以填补裂缝,还能提高整个路面的平整度和美观度。

5 结束语

沥青混凝土道路施工技术在市政道路工程中发挥着重要作用,通过科学的施工设计、严格的材料控制、先进的施工工艺和全面的质量控制,能够有效提升路面的平整度、耐磨性和防水性能,为市民提供更加安全、舒适的行车环境。同时,沥青混凝土施工技术因其施工效率高、维护成本低、适应性强等优势,可进一步提高市政道路工程的质量和效益,推动城市建设的高质量发展。因此,施工单位应持续加强沥青混凝土施工技术的应用,不断提升市政道路施工水平,以满足城市发展的需求。

参考文献:

- [1] 代永青. 沥青混凝土道路施工技术在道路施工中的应用[J]. 居业, 2022(03):42-44.
- [2] 王艺文. 市政道路施工中沥青混凝土道路施工技术的应用[J]. 建筑技术开发, 2021, 48(24):79-80.
- [3] 叶亚银. 沥青混凝土施工技术在市政道路施工中的应用[J]. 江西建材, 2021(08):125-126.
- [4] 张帆. 市政道路施工中沥青混凝土路面摊铺技术的应用研究[J]. 散装水泥, 2021(04):109-110, 128.
- [5] 汤汉波. 市政道路施工中沥青混凝土道路施工技术的应用[J]. 运输经理世界, 2021(20):78-80.

拼接加宽路基施工技术在公路改扩建工程中的应用分析

宗昌益

(四川三江交通建设工程有限公司, 四川 宜宾 644000)

摘 要 拼接加宽路基施工技术可以提高道路的通行能力, 确保新旧路基的稳定性和整体性, 在公路改扩建工程中具有重要的应用价值。本文认为通过拼接加宽路基施工技术, 可以有效利用原有路基, 减少新征土地, 节约成本, 同时缩短施工周期, 减少对周边环境和交通的影响。拼接加宽路基施工技术通过合理的拼接设计, 使新旧路基结合部能够均匀受力, 避免了不均匀沉降, 提高了道路的使用寿命。此外, 该技术还能有效解决新旧路基材料性质差异带来的问题, 通过采用合适的拼接材料和施工工艺, 保证了路基的整体稳定性。在施工过程中, 拼接加宽技术的应用促进了资源的合理配置, 减少了废料产生, 符合绿色环保的施工理念。

关键词 拼接加宽路基; 公路改扩建工程; 软弱地基; 拼接技术; 路基改造技术

中图分类号: U418.8

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.20.020

0 引言

拼接加宽路基施工技术在公路改扩建工程中的重要性不言而喻, 它直接关系到工程的质量、进度和成本控制。该技术通过在原有路基旁边拼接新的路基, 不仅扩大了道路的宽度, 提高了交通流量, 而且确保了道路的平稳过渡和行车安全。拼接加宽技术的应用, 使得公路改扩建工程能够更加高效地进行, 减少了因重新征地和大规模拆迁带来的社会成本和环境影响。同时, 拼接加宽路基施工技术能够有效解决新旧路基之间的差异沉降问题, 防止裂缝产生, 延长公路的使用寿命。

1 拼接加宽路基施工技术的特点

1.1 施工便捷性

拼接加宽路基施工技术在公路改扩建工程中显示出其独特的便捷性, 它无需拆除原有路基, 只需在原有路基两侧或一侧进行拼接加宽, 大大简化了施工流程, 提高了施工效率。这种技术减少了大量的土方开挖和回填工作, 降低了施工难度, 使得工程能够快速推进。由于施工过程的简化, 所需的施工设备和人员也相应减少, 这不仅降低了工程成本, 还减少了施工期间对周边环境的影响^[1]。拼接加宽技术的应用, 使得公路改扩建工程能够在较短的时间内完成, 对于缓解交通压力, 提高道路通行能力具有重要意义。此外, 该技术还能有效利用原有路基的稳定性, 减少新路基的沉降时间, 从而加快工程进度。

1.2 结构稳定性

新拼接的路基与原有路基之间的紧密结合, 通过合理的拼接设计和技术措施, 如使用土工合成材料、设置搭接台阶等, 增强了整体结构的稳定性, 避免了不均匀沉降。拼接加宽技术考虑了新旧路基的差异性, 通过采用匹配的填料和压实工艺, 确保了拼接部位的压实度, 提高了路基的整体抗变形能力。此外, 该技术还能够有效处理新旧路基间的差异沉降问题, 通过设置排水系统、加固软土地基等措施, 保障了路基的长期稳定性。拼接加宽路基施工技术的应用, 不仅提高了公路的承载能力, 还增强了其在各种自然环境下的稳定性, 对于保障行车安全, 减少维护成本具有重要作用。结构的稳定性是拼接加宽路基施工技术的一大优势, 它为公路改扩建工程提供了坚实的保障。

1.3 适应性较强

拼接加宽路基施工技术在公路改扩建工程中展现出较强的适应性, 能够根据不同的地形地质条件灵活调整施工方案, 确保新旧路基的顺利衔接, 提高施工效率。该技术不受限于原有公路的宽度, 能够根据实际需要加宽路基, 适应不同交通流量和设计要求, 对于提升公路通行能力具有重要意义^[2]。在复杂地形条件下, 如山地、丘陵地带, 拼接加宽技术能够通过合理的路基设计和加固措施, 适应地形变化, 保证路基的稳定性。对于不同类型的路基材料, 该技术也能表现出良好的适应性, 无论是土质、砂石还是特殊填料,

都能通过适当的处理方法实现有效拼接。此外,拼接加宽路基施工技术还能够适应各种气候条件,无论是高温多雨还是寒冷干燥,都能保证施工质量和进度。该技术的适应性还体现在对环境保护的考虑上,通过优化施工流程和材料使用,减少对周边环境的影响,符合绿色施工的要求。

2 拼接加宽路基施工中的质量控制

2.1 设计阶段控制

在公路改扩建工程中,拼接加宽路基施工技术的质量控制设计阶段至关重要,需对原有路基进行详细调查,评估其稳定性、材料特性及排水系统等因素,确保设计方案合理可行。同时,考虑新路基材料质量,符合规范要求,包括土石料级配、含水量、压实性能等,特殊路基材料需进行质量检测。基底处理同样关键,清理原有路基边坡,去除不合格土层,确保基底平整坚实,必要时加固处理。此外,关注新旧路基结合部设计,采用台阶开挖、土工合成材料加筋、注浆加固等措施,提高结合部整体性和抗剪切能力。施工工艺控制亦不容忽视,严格按照施工方案和操作规程执行,确保每道工序质量,特别是新旧路基拼接处施工工艺。监测与检测工作需贯穿施工全过程,定期检查路基沉降、位移、压实度等关键指标,及时发现并处理质量问题。环境保护措施亦需到位,减少施工对周围环境影响,符合环保要求。

2.2 压实度控制

施工前要进行试验段施工,确定最佳含水率和压实参数,为大面积施工提供依据。在施工过程中,要实时监测土的含水率,确保其在最佳含水率范围内,以保证压实效果。对于新旧路基结合部,采用分层压实方法,每层厚度控制在规定范围内,确保结合部的压实度达到设计要求^[3]。同时,加强对压实作业的监督,确保压实机械按既定路线和速度作业,避免因操作不当影响压实度。在压实过程中,定期进行压实度检测,采用环刀法、灌砂法等手段,对路基各层进行检测,确保压实度符合规范要求。对于检测不合格的部位,要及时查明原因,采取措施进行返工处理。此外,关注路基边缘压实度,采用小型压实机械或人工夯实,确保边缘部位也能达到设计压实度。

2.3 排水系统优化

优化排水系统,能够有效防止水分对路基的侵蚀,确保路基的稳定性和使用寿命。设计时需充分考虑地形地貌,合理规划排水设施,确保新旧路基排水系统的有效衔接。在施工过程中,首先要确保排水沟、截水沟、排水管道等设施的位置准确,尺寸符合设计要求,

避免因排水不畅导致路基内部积水。在路基加宽部分,增设横向排水盲沟,提高排水效率,减少水对新填筑路基的侵害。同时,对既有排水系统进行清淤和修复,确保其功能正常。在路基拼接处,采用防渗措施,如铺设土工布、土工膜等材料,防止水分沿拼接缝渗透。优化排水坡度,确保水能迅速排出路基范围,减少水对路基的浸泡时间。对于低洼地带,设置必要的排水井和泵站,提高排水的及时性。

3 拼接加宽路基施工对环境的影响

3.1 土地资源影响

在公路改扩建工程中,拼接加宽路基施工技术对土地资源的影响表现在征地与拆迁过程中,原有农田、居民区及生态用地的减少,改变了土地使用性质。施工需要大量土石方,取土场和弃土场的设置会占用更多土地,这些区域的植被破坏后,土壤侵蚀和水源流失的风险增加。此外,路基加宽意味着原有土地被切割,土地资源碎片化,导致土地的利用率降低。在施工过程中,采用重型机械压实土壤,会造成土壤结构恶化。同时,新路基的稳定性要求对原土地进行加固处理,如采用深层搅拌、CFG 桩等工艺,这些都会对土地造成二次扰动。

3.2 生态环境影响

在公路改扩建工程中,拼接加宽路基施工技术对生态环境的影响不容忽视,施工过程中产生的噪声和扬尘会对周边动植物的生存环境造成干扰,影响其栖息和繁殖。原有植被的清除导致生物多样性减少,生态链可能因此断裂,野生动物的迁徙路径受阻,生态系统的稳定性受到威胁。路基加宽意味着更多的土地被硬化,地表水渗透能力下降,原有的水文循环被改变,可能引发局部地区的水资源短缺和洪水风险。施工产生的废水和固体废物若处理不当,会污染土壤和地下水,进一步恶化生态环境。此外,新路基的建筑材料如混凝土和沥青,其生产过程本身就是能源和资源消耗大户,会对环境造成额外负担。

3.3 地下水变化

在施工过程中,大量挖掘和土壤扰动可能导致地下水位下降,尤其是在干旱季节,这种下降可能会影响到周边农田的灌溉和居民的生活用水。同时,路基的加宽和硬化减少了地表水的渗透,改变了地下水的补给模式,长期来看可能会造成地下水资源的减少。此外,施工中使用的化学材料,如混凝土添加剂、沥青中的有害物质,若不妥善处理,可能会通过雨水渗透进入地下水,造成水质污染。这种污染不仅影响人们的生活用水安全,也对地下水生态系统构成威胁^[4]。

拼接加宽路基施工还会破坏原有的地下水流动路径,导致水流方向和速度的改变,这可能影响地下水文网的平衡,甚至引发局部地区的土壤盐碱化或沼泽化。

4 拼接加宽路基施工技术在公路改扩建工程中的应用策略

4.1 处理软弱地基

在公路改扩建工程中,拼接加宽路基施工技术面对软弱地基的处理策略至关重要,需采取一系列措施确保地基稳定性,要进行详细的地质勘察,掌握软弱地基的分布范围和性质,为后续处理提供依据,并且根据勘察结果,选用合理的地基处理方法,如采用CFG桩(水泥粉煤灰碎石桩)、砂桩或粉喷桩等加固技术,增强地基承载能力。同时,施工中要严格控制加宽部分的路基填筑速度和压实度,避免不均匀沉降。加强地表和地下排水系统设计,减少水分对软弱地基的影响,防止地基软化。在拼接部位采用土工合成材料或格网加固,提高新旧路基结合部的抗剪切能力。在施工过程中,实时监测地基沉降和侧向位移,及时发现异常并采取措施,如增加预压荷载或调整施工进度。此外,要确保施工材料质量,优化施工工艺,通过合理的施工顺序和高效的机械设备,提高施工效率和质量。

4.2 稳定拼接技术

在拼接施工前,要对旧路基进行清理和整平,去除软弱层和不稳定因素,为拼接创造良好条件。合理规划施工顺序,先进行路基拼接,再进行路面施工,确保路基拼接质量。同时,要注重施工过程中的环境保护,采取措施减少对周边环境的影响。针对不同地质条件和气候环境,调整拼接技术参数,如调整填料类型、压实工艺等,以适应具体工程需求。加强施工人员技术培训,提高施工队伍的专业素质,确保拼接技术的正确实施。通过上述策略的综合应用,实现公路改扩建工程中拼接加宽路基的稳定拼接,为公路长期安全运营提供保障。

4.3 加宽工程操作指南

施工前,要详细规划施工方案,包括加宽宽度、材料选择、施工方法等,确保方案的科学性和可行性。进行充分的现场调查,了解原有路基状况,制定合理的拼接方案。在施工过程中,严格控制加宽部分的基底处理,清除杂草、树根等杂物,平整基底,保证基底承载力。加宽部分路基填筑材料应与原有路基材料相匹配,确保压实后路基的均匀性。分层填筑,每层厚度控制在规定的范围内,使用合适吨位的压路机进行充分压实。在拼接处设置台阶,台阶宽度应满足设计要求,确保新旧路基有效搭接。使用土工合成材料加

强拼接界面,提高界面抗剪切能力。在施工期间,加强现场管理,确保施工安全,设置必要的施工标志和安全防护措施。

4.4 路基改造技术

针对原有路基状况进行详细勘察,制定科学的拼接加宽方案,确保新路基与旧路基的协调性。选用高质量的材料进行路基填筑,保证材料性能满足设计要求。施工时,采用分层填筑、分层压实的方法,确保路基压实度^[5]。对于新旧路基拼接处,采取加固措施,如铺设土工合成材料,提高拼接部位的稳定性。在施工过程中,严格控制拼接加宽的宽度和平面位置,确保新旧路基的平稳过渡。加强排水系统建设,防止水分对新路基造成损害。定期进行路基沉降观测,及时发现并处理异常情况。施工结束后,进行长期的路基稳定性监测,确保公路安全运营。同时,注重施工过程中的环境保护,减少对周边生态环境的破坏。加强施工现场管理,提高施工效率,缩短工期。

5 结束语

拼接加宽路基施工技术在公路改扩建工程中的应用,对于提升我国公路交通基础设施水平具有重要意义。通过深入分析与实践验证,拼接加宽路基施工技术在确保新旧路基良好衔接、提高路基整体稳定性方面发挥了关键作用。严格的施工质量控制、合理的拼接方案设计、优化的材料配比以及先进的施工工艺,均为工程质量的提升提供了有力保障。同时,本研究还强调了施工过程中的环境保护和资源节约,体现了绿色施工理念。在实际工程中,拼接加宽路基施工技术的成功应用,不仅提高了道路通行能力,还降低了运营维护成本。未来,随着科技的不断进步和施工技术的不断创新,拼接加宽路基施工技术将得到进一步优化,为我国公路改扩建工程提供更加优质、高效、环保的解决方案。

参考文献:

- [1] 黄舒文.路基路面拼接施工技术在高速公路改扩建工程中的应用研究[J].价值工程,2024,43(29):86-88.
- [2] 赵自强,陈春元,赵前峰.基于实例分析的高速公路改扩建工程中路基拼接施工技术[J].交通科技与管理,2024,05(14):176-178.
- [3] 柴月新.高速公路改扩建工程新旧路基加宽拼接施工技术探究[J].中国公路,2023(23):101-103.
- [4] 姜彪.路基路面拼接施工技术在公路改扩建工程中的应用[J].工程技术研究,2023,08(18):99-101.
- [5] 李静.路基路面拼接施工技术在公路改扩建工程中的应用[J].四川建材,2022,48(01):147-148,152.

耐摩擦机器人关节轴承研究

徐荣敬, 王 妍

(山东福马轴承有限公司, 山东 聊城 252000)

摘 要 机器人关节轴承的性能对机器人的整体性能、寿命和可靠性起着决定性作用。在现代工业、医疗、航空航天等领域, 机器人应用愈发广泛, 本文探讨了耐摩擦机器人关节轴承的研究进展, 涵盖材料、结构设计、润滑技术等多个方面, 深入剖析了当前研究面临的挑战, 并对未来发展趋势进行了展望, 以为耐摩擦机器人关节轴承的后续研究与发展提供有价值的参考, 有助于推动机器人技术在各领域的深入应用。

关键词 机器人关节轴承; 摩擦性能; 材料; 结构设计; 润滑技术

中图分类号: TB383.4; TP242.2

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.20.021

0 引言

机器人在当今社会的各个领域发挥着日益重要的作用, 从工业生产中的精密装配、焊接, 到医疗领域的手术辅助、康复治疗, 再到航空航天领域的太空探索、卫星维护等, 其应用范围不断拓展^[1]。关节轴承作为机器人机械系统的核心部件, 直接关系到机器人的运动精度、负载能力以及使用寿命^[2]。在机器人运行过程中, 关节轴承不可避免地承受着复杂的载荷和摩擦作用。摩擦不仅会造成能量的大量损耗, 导致机器人运行效率降低, 还可能引发磨损、发热等问题, 进而影响机器人的运动精度和稳定性, 严重时甚至会引发故障, 造成巨大的经济损失^[3]。因此, 深入开展耐摩擦机器人关节轴承的研究, 对于提升机器人的整体性能、拓展其应用边界具有至关重要的现实意义。

1 耐摩擦机器人关节轴承的研究现状

1.1 材料研究

材料是决定机器人关节轴承耐摩擦性能的关键因素之一。近年来, 在高性能金属材料、陶瓷材料和高分子材料等方面的研究取得了显著进展。

在高性能金属材料领域, 新型合金材料不断涌现。研究人员通过添加特殊合金元素, 并对成分进行精确调控, 研发出一系列具有优异性能的合金钢。例如: 在某些合金钢中添加适量的铬、钼、钒等元素, 能够形成细小而弥散的碳化物, 有效提高材料的硬度和耐磨性^[4]。同时, 这些合金元素还能增强材料的抗疲劳性能, 使轴承在承受交变载荷时, 不易产生疲劳裂纹, 从而延长使用寿命。在航空航天领域, 对机器人关节轴承的性能要求极高, 此类高性能合金钢的应用, 显著提升了轴承在极端工况下的耐摩擦性能, 确保了航天机器人在太空环境中的可靠运行。

陶瓷材料凭借其独特的性能优势, 在机器人关节轴承领域受到了广泛关注。氮化硅陶瓷具有高硬度、低摩擦系数、良好的耐高温性能和化学稳定性等优点。在高速、高温的工作环境下, 氮化硅陶瓷轴承表现出卓越的摩擦学性能, 其低摩擦系数使得机器人关节的运动更加顺畅, 能量损耗大幅降低。

高分子材料以其自润滑性、轻量化、耐腐蚀等特点, 成为耐摩擦轴承材料的重要选择。聚四氟乙烯 (PTFE) 及其复合材料在一些对负载要求相对较低、但对摩擦系数和轻量化有较高要求的机器人关节中得到了广泛应用^[5]。PTFE 具有极低的摩擦系数, 能够有效减少关节之间的摩擦阻力, 提高机器人的运动灵活性。同时, 通过在 PTFE 中添加碳纤维、玻璃纤维等增强材料, 可以显著提高其机械强度和耐磨性, 拓宽其应用范围。在服务型机器人领域, 如家用清洁机器人、医疗护理机器人等, PTFE 复合材料轴承的应用能够降低噪声、提高运行平稳性, 为用户提供更好的使用体验。

1.2 结构设计优化

结构设计的优化是提升机器人关节轴承耐摩擦性能的重要手段, 特殊几何形状设计和多自由度结构设计是其中的关键方向。

特殊几何形状设计能够有效改善轴承的受力分布, 从而降低摩擦。一些研究采用非对称结构或特殊的曲面设计, 使载荷能够更加均匀地分布在轴承表面。通过对轴承滚道进行特殊的曲面优化, 能够减少局部应力集中现象, 降低摩擦和磨损。这种设计不仅提高了轴承的承载能力, 还延长了其使用寿命。在重载机器人关节中, 合理的几何形状设计能够确保轴承在承受较大载荷时依然保持良好的摩擦性能, 保障机器人的稳定运行。

多自由度结构设计为机器人关节提供了更灵活的运动方式，同时有助于减少摩擦。球面或万向节结构的关节轴承能够在多个方向上实现相对运动，避免了单一方向运动带来的集中摩擦。这种结构设计使得机器人在执行复杂任务时，关节能够更加灵活地调整姿态，减少了因摩擦而产生的能量损耗和磨损。在一些需要进行复杂空间运动的机器人中，如救援机器人、特种作业机器人等，多自由度关节轴承的应用能够显著提高机器人的适应性和工作效率。

1.3 润滑技术改进

润滑技术对于降低机器人关节轴承的摩擦、提高其性能和寿命起着不可或缺的作用，涵盖润滑脂和润滑油的选择与应用、自润滑材料的使用以及新型润滑技术的研究等方面。

润滑脂和润滑油的合理选择与应用是常见且重要的润滑方式。在不同的工况下，需要根据轴承的工作条件，如温度、转速、负载等，精确选择合适的润滑脂或润滑油。在高温环境下，应选择具有高滴点和良好热稳定性的润滑脂，以确保在高温下润滑脂不会流失，保持良好的润滑性能。在高速运转的情况下，低粘度、高抗剪切性能的润滑油更为合适，能够有效减少因润滑油内部摩擦而产生的能量损耗。此外，润滑油的添加剂配方也在不断优化，通过添加抗磨剂、抗氧化剂等添加剂，可以进一步提高润滑油的润滑性能和使用寿命。

自润滑材料的应用为机器人关节轴承的润滑提供了新的解决方案。含有固体润滑剂的复合材料，如石墨、二硫化钼填充的聚合物材料，能够在无外部润滑条件下，通过自身释放的润滑剂实现自润滑。这种自润滑特性使得轴承在运行过程中能够持续保持较低的摩擦系数，减少了维护成本和停机时间。在一些难以进行定期润滑维护的机器人应用场景中，如深海探测机器人、太空机器人等，自润滑材料轴承的应用具有显著的优势。

气体润滑和磁悬浮润滑等新型润滑技术在机器人关节轴承中的研究也取得了一定进展。气体润滑利用气体的低粘性和良好的散热性能，实现了近乎无摩擦的运动。在高精度机器人关节中，气体润滑轴承能够提供极高的运动精度和稳定性，适用于对精度要求极高的任务，如芯片制造、精密仪器装配等。磁悬浮润滑则通过磁场使轴承悬浮，完全避免了直接接触，极大地降低了摩擦和磨损。这种润滑技术为高速、高负载机器人关节的发展提供了新的方向，有望在未来的高端制造业中得到广泛应用。

2 耐摩擦机器人关节轴承研究面临的挑战

2.1 复杂工况下的摩擦问题

机器人在实际应用中面临着极为复杂多样的工况，如高温、低温、高湿度、强腐蚀等极端环境，以及重载、冲击载荷等复杂载荷条件，这些都对关节轴承的耐磨性能提出了严峻的挑战。

在高温环境下，轴承材料的性能会发生显著变化。材料的硬度可能会降低，导致耐磨性下降；润滑脂或润滑油的粘度会降低，甚至会发生氧化和分解，使润滑效果大幅下降，摩擦系数增大。在钢铁冶炼、玻璃制造等高温工业生产场景中，机器人关节轴承长期处于高温环境，摩擦加剧，磨损严重，频繁的维护和更换轴承不仅增加了生产成本，还影响了生产效率。

在低温环境下，材料的脆性增加，容易出现裂纹和断裂。同时，润滑介质的流动性变差，无法在轴承表面形成良好的润滑膜，导致摩擦增大，甚至可能出现卡顿现象。在极地科考机器人、低温冷冻仓储机器人等应用中，关节轴承在低温下的摩擦问题严重限制了机器人的工作效率和可靠性。极地科考机器人需要在极低的温度下执行任务，关节轴承的摩擦问题可能导致机器人的运动精度下降，甚至无法正常工作。

2.2 多物理场耦合作用的影响

机器人关节轴承在工作过程中，往往受到多种物理场的耦合作用，如温度场、电磁场、力场等，这些物理场的相互作用会对轴承的摩擦性能产生复杂而微妙的影响。

温度场和力场的耦合会导致轴承材料产生热应力和变形。在高速旋转的机器人关节中，由于摩擦生热产生的温度场与机械载荷产生的力场相互作用，会使轴承的局部温度升高，材料膨胀，进而影响轴承的间隙和接触状态，改变摩擦系数。这种热-力耦合作用会加速轴承的磨损，降低其耐磨性能，缩短使用寿命。在一些高速加工机器人中，由于热-力耦合作用，关节轴承的磨损速度明显加快，需要频繁更换轴承，增加了维护成本和停机时间。

2.3 寿命预测与可靠性评估

准确预测耐摩擦机器人关节轴承的寿命和评估其可靠性是当前研究中的一个难点。由于轴承在实际工作中的工况复杂多变，受到多种因素的综合影响，现有的寿命预测模型和可靠性评估方法难以准确反映其真实的使用寿命和可靠性。

传统的寿命预测模型大多基于经验公式或简单的力学分析，这些模型往往忽略了材料的微观结构变化、

复杂工况以及多物理场耦合等因素的影响。在实际应用中,这些模型预测的寿命与轴承的实际使用寿命存在较大偏差。一些基于经验公式的寿命预测模型,没有考虑到材料在长期使用过程中的微观结构演变,如晶粒长大、位错运动等,导致预测结果与实际情况不符。

3 耐摩擦机器人关节轴承的未来发展趋势

3.1 新型材料的研发与应用

耐摩擦机器人关节轴承的材料将朝着高性能、多功能的方向不断发展。持续研发新型高性能合金材料,通过添加稀有元素、采用先进的制备工艺,如粉末冶金、快速凝固等,进一步提高材料的强度、硬度、耐磨性和抗疲劳性能。研发具有自修复功能的材料,使轴承在出现轻微磨损时,能够通过自身的物理或化学反应自动修复损伤部位,延长使用寿命。在一些关键领域,如航空航天、高端制造业等,自修复材料的应用将极大地提高机器人的可靠性和维护性。

加强对纳米材料、智能材料等新型材料的研究和应用。纳米材料具有独特的尺寸效应和表面效应,将纳米颗粒添加到轴承材料中,可以显著改善材料的摩擦学性能。纳米氧化铝、纳米碳化硅等颗粒能够有效提高材料的硬度和耐磨性,降低摩擦系数。智能材料能够根据外部环境的变化自动调整自身性能,如形状记忆合金在温度变化时能够恢复到预定形状,可用于制造自适应的关节轴承。在机器人运行过程中,当关节轴承受到不同的载荷或温度变化时,形状记忆合金能够自动调整结构,优化受力分布,降低摩擦和磨损。

3.2 结构创新与优化设计

随着计算机辅助设计、计算机辅助工技术的不断进步,机器人关节轴承的结构设计将更加创新和优化。利用先进的仿真软件对轴承的结构进行多物理场耦合分析,能够更准确地预测轴承在不同工况下的性能,为结构设计提供更科学的依据。通过拓扑优化、参数化设计等方法,在满足轴承强度和刚度要求的前提下,实现结构的轻量化和高性能化。在设计过程中,要考虑材料的分布和结构的合理性,使轴承在承受载荷时能够更加均匀地分散应力,减少局部应力集中。

设计更加复杂和高效的多自由度关节轴承结构,以满足机器人在复杂任务中的运动需求。研发具有自适应结构的关节轴承,能够根据工作载荷和环境条件自动调整结构参数,优化受力分布,降低摩擦和磨损。采用智能材料或传感器与结构相结合的方式,使关节轴承能够实时感知外部环境的变化,并自动调整结构,提高机器人的适应性和性能。

3.3 智能润滑与监测技术

智能润滑与监测技术将成为耐摩擦机器人关节轴承未来发展的重要方向。开发智能润滑系统,能够根据轴承的工作状态,如温度、转速、负载等参数,实时调整润滑剂量和润滑方式,实现精准润滑。利用传感器监测轴承的运行状态,通过智能算法分析这些参数,及时调整润滑系统的工作状态,确保轴承在最佳润滑条件下运行。在轴承温度升高或转速变化时,智能润滑系统能够自动增加润滑剂量或调整润滑油的喷射位置,保证良好的润滑效果。

结合物联网技术,实现对机器人关节轴承的远程监测和故障预警。通过将传感器采集的数据上传至云端,利用大数据分析和人工智能技术对数据进行处理和分析,能够提前预测轴承的故障,及时采取维护措施,提高机器人的运行可靠性和安全性,降低维护成本。通过对大量运行数据的分析,建立故障预测模型,提前发现轴承的潜在故障隐患,安排预防性维护,避免因突发故障导致的生产中断和损失。

4 结束语

耐摩擦机器人关节轴承的研究对于提升机器人的性能和可靠性具有举足轻重的意义。当前,在材料、结构设计和润滑技术等方面的研究虽然已经取得了一定的成果,但在复杂工况下的摩擦问题、多物理场耦合作用的影响以及寿命预测与可靠性评估等方面仍面临诸多挑战。未来,应加大在新型材料研发与应用、结构创新与优化设计、智能润滑与监测技术等方面的研究力度,以应对这些挑战,进一步提高机器人关节轴承的耐摩擦性能,满足不同领域对机器人日益增长的高性能需求,推动机器人技术在各领域的深入发展和广泛应用。

参考文献:

- [1] 安小康.低重力模拟装置关节滚动轴承摩擦力矩建模与补偿[D].福州:福州大学,2021.
- [2] 潘云龙.面向轴承车削加工的机器人上下料系统三维设计与工艺优化[D].银川:北方民族大学,2018.
- [3] 闫鸽,魏瑾,王少楠.基于HOSVD的工业机器人多关节轴承故障诊断分析[J].现代工业经济和信息化,2024,14(10):85-86,90.
- [4] 刘星雄.工业机器人异常监测系统的设计与实现[D].南京:南京航空航天大学,2022.
- [5] 李鹏飞.四足机器人结构设计与运动学仿真分析[D].昆明:昆明理工大学,2019.

EPC 模式下建筑工程施工质量控制研究

叶昊阳

(浙江华东工程科技发展有限公司, 浙江 杭州 310000)

摘要 本文聚焦 EPC 模式下建筑工程施工质量控制展开研究, 阐述了 EPC 模式的定义、特点及该模式对施工质量的影响机制, 从人员、材料与设备、施工工艺与技术、管理等方面探究了影响施工质量的因素并提出相关质量控制要点, 以期提升 EPC 模式下建筑工程施工质量提供理论支持和实践参考, 以促进 EPC 模式在建筑行业的更好发展。

关键词 EPC 模式; 建筑工程; 施工质量控制

中图分类号: TU712.3

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.20.022

0 引言

建筑工程施工质量不仅关系到项目的使用寿命和安全性能, 还直接影响到人民群众的生命财产安全和社会的稳定发展。在 EPC 模式下, 由于涉及环节众多、参与方复杂, 施工质量控制面临着新的挑战和机遇。如何在这种模式下有效保障施工质量, 成为当前建筑行业亟待解决的重要问题。

1 EPC 模式的定义与特点

EPC 模式即设计采购施工(Engineering Procurement Construction)一体化模式, 是指工程总承包企业按照合同约定, 承担工程项目的设计、采购、施工、试运行服务等工作并对承包工程的质量、安全以及工期全面负责。在这种模式下, 业主将工程项目的大多数权力下放给承包单位, 自己负责宏观调控以及项目走向的把控^[1]。

EPC 模式具有交钥匙的特点, 业主仅进行宏观把控, 具体施工流程等权力下放给承包单位, 项目建成后承包商直接向业主交付可使用的项目, 最大限度简化了业主的管理工作, 进一步增强了项目交付效率。在建筑工程中, 承包商通常要负责众多子项目, 为缓解施工负担就会把子项目层层分包给不一样的分包商。分包商负责具体项目的实施并按时向总承包单位汇报工程进度, 如此可以最大限度凸显出各分包商的专业优势, 从而提高整体的施工效率。设计在 EPC 模式中占据关键地位, 设计过程涵盖施工方案、材料选择等关键内容, 只有将设计工作管理落到实处, 后续施工流程才能顺利开展, 良好的设计能够有效避免施工过程中的变更和延误, 保障项目的顺利进行。为保证施工

质量, 承包单位会将一部分权力下放到监管部门, 对分包商的工程建设进行实时监管, 确保施工符合设计要求和质量标准, 监管部门的有效监督可以在第一时间发现并纠正施工中出现的问题, 保障工程质量。

2 EPC 模式下建筑工程施工质量影响因素

2.1 人员因素

项目经理作为项目的核心领导者, 其自身管理能力以及经验直接决定着项目的成败。一个拥有大量项目管理经验以及优秀领导能力的项目经理可以科学规划项目进度、调配资源, 处理好施工中存在的一系列问题。例如: 在某大型商业综合体的 EPC 项目中, 项目经理凭借其出色的沟通协调能力协调了设计、施工和供应商等各方关系, 使得项目顺利实施, 施工质量得到保障^[2]。相反, 如果项目经理经验不足, 就会有一定概率致使项目进度失控, 质量问题层出不穷。一些研究表明, 有 30% 左右的建筑工程项目质量问题和项目经理自身的管理能力不足息息相关。

2.2 材料因素

在材料采购环节, 如果采购人员没有专业知识和责任心, 就会采购到质量达不到要求的材料。如在某学校教学楼的 EPC 项目中, 采购人员为节省成本而采购了不符合国家标准的钢材, 导致教学楼在使用期间出现了结构安全隐患。为防止此类问题出现, 就要建立严格的供应商评估制度并对供应商资质、信誉、生产能力等进行全方位评估, 以此选择高质量供应商。同时, 加强对采购人员的培训和管理, 提高其质量意识和专业水平。材料检验是保证材料质量的关键环节。例如: 在某桥梁工程的 EPC 项目中, 对进场的水泥、

砂石等材料进行了严格的检验,发现部分砂石的含泥量超标,及时进行了退货处理,避免了因材料质量问题影响桥梁的施工质量。而如果材料检验不严格,往往会使不合格材料进入施工现场,影响工程质量,应建立完善材料检验制度,明确检验标准和方法,对每一批进场材料进行严格检验^[3]。

2.3 施工工艺因素

施工方案是指导施工的关键文件,其科学性以及合理性对于施工质量起到了决定性的影响。例如:在某体育馆的 EPC 项目中,施工方案充分考虑了场馆的结构特点和施工要求,制定了全面可靠的施工流程以及质量控制方法,使体育馆的施工质量达到了较高水平。而如果施工方案不合理就会引发施工质量问题,如在某住宅小区的施工中,施工方案中对基础施工的方法选择不当,导致地基沉降不均匀,影响了建筑物的结构安全。相关人员应在施工前对工程特点、难点进行深入分析,基于工程具体情况建立科学的施工方案,包括施工流程、方法、质量控制手段以及安全保障措施等内容,从而确保施工过程的良好实施以及施工质量的有效控制。

3 EPC 模式下建筑工程施工质量控制要点

3.1 施工前质量控制要点

3.1.1 项目策划与设计质量控制

在项目策划阶段要考虑项目特点和需求,制定相对应的项目目标和计划。对项目的地理位置、周边环境以及市场需求等进行深入分析,确定项目的功能定位和建设标准。例如:在某医院的 EPC 项目中,考虑到医院对医疗环境和设施的特殊要求,在项目策划阶段就明确了严格的质量标准和环境要求,为后续的设计和施工提供了指导。因此,要制定详细的项目进度计划,合理安排各阶段的工作时间和顺序,确保项目按时完成;还要制定项目的质量管理计划和成本控制计划,明确质量目标和成本控制目标,为项目的实施提供保障。

设计质量是建筑工程施工质量的基础,决定着工程安全性、可靠性和使用功能。在设计阶段要加强对设计方案的审核、优化,从而保证设计方案满足项目要求,如在某桥梁工程的 EPC 项目中,通过对设计方案的多次优化进一步增强了桥梁的结构稳定性,而且还节省了工程成本。同时,要彻底审查设计单位的资质和能力,选择具有足够经验和良好信誉的设计单位。例如:在某高层建筑的 EPC 项目中选择了一家

具有多年高层建筑设计经验的设计单位,其设计方案充分考虑了建筑的抗震、防火等要求,为项目的质量提供了非常有效的保障^[4]。

另外,要建立完善的设计质量控制体系,加强对设计过程的监督和管理,明确设计人员的职责和权限,建立设计文件的审核和审批制度,确保设计文件的质量。此外,还要加强与设计单位的沟通和协调,第一时间处理好设计中出现的问题,如在某住宅小区的 EPC 项目中,在与设计单位展开密切沟通之后快速调整了设计方案,满足了业主对户型和景观的要求。

3.1.2 施工组织设计审查

施工方案是施工组织设计的核心内容,要审查施工方案的合理性和可行性。例如:在审查某建筑工程的施工方案时发现其基础施工方案存在安全隐患,及时提出修改意见,防止了施工过程中发生安全事故。另外,要审查施工方法有没有满足工程特点和施工要求,施工工艺是否先进合理。例如:在某工业厂房的 EPC 项目中采用了现代化装配式施工工艺,提高了施工效率和质量。此外,还要审查施工方案中的资源配置是否合理、是否满足施工需求。

施工进度计划是保证工程按时完成的重要依据,要审查施工进度计划的合理性和可行性。例如:在审查某市政工程的施工进度计划时发现其关键线路不合理,可能导致工程延期,及时提出调整建议,确保了工程按时交付。要审查施工进度计划是否符合合同要求,是否考虑了施工过程中的各种因素,如天气、材料供应等。还要审查施工进度计划中的工期安排是否合理,是否有足够的弹性应对可能出现的问题。

3.1.3 施工人员与材料设备准备

施工人员是建筑工程施工的直接执行者,其素质和技能水平直接影响到施工质量。首先,在施工前一定要对施工人员进行培训,提高其质量意识以及操作技能。例如:在某建筑工程的 EPC 项目中,通过对施工人员进行质量培训和技能考核,提高了施工人员的质量意识和操作水平,减少了施工质量问题的发生。其次,要根据工程的特点和要求,合理配备施工人员,确保施工人员的数量和素质满足施工需求。再次,要加强对施工人员的管理,建立健全施工人员的考核和激励机制,提高施工人员的工作积极性和责任心。最后,还要加强对施工人员的安全教育,提高其安全意识和自我保护能力。例如:在某建筑工地,通过定期开展安全教育活动,提高了施工人员的安全意识,减少了安全事故的发生。

材料和设备是建筑工程施工的物质基础,其质量和性能直接影响到施工质量。首先,在材料和设备采购前,要进行充分的市场调研,选择质量可靠、信誉良好的供应商和厂家。例如:在某酒店的EPC项目中,通过对市场的调研和对供应商的评估,选择了优质的建筑材料和先进的设备,为酒店的高质量建设提供了保障。其次,要严格按照设计要求和相关标准,采购符合要求的材料和设备。例如:在某桥梁工程的EPC项目中,对采购的钢材、水泥等材料进行了严格的检验,确保其质量符合设计和规范要求。

3.2 施工过程质量控制方法

3.2.1 工序质量控制

在施工过程中要全方位落实“三检制”,即自检、互检和专检。首先,施工人员在完成每一道工序后都要自检,从而保证发现问题并马上整改。例如:在某建筑工程的EPC项目中,施工人员在完成墙体砌筑后进行了自检,发现一些墙体垂直度偏差超标,立即进行了返工处理。其次,各施工班组之间要进行互检,保持学习、监督以共同增强施工质量。例如:在某装修工程的EPC项目中,木工班组和油漆班组之间进行了互检,发现木工制作的家具尺寸不符合要求,及时通知木工班组进行整改。最后,专业质检员要对每一道工序进行专检,严格按照质量标准进行验收,确保工序质量合格。例如:在某桥梁工程的EPC项目中,专业质检员对桥梁的钢筋绑扎、混凝土浇筑等工序进行了专检,发现钢筋间距不符合设计要求,及时要求施工人员进行调整^[5]。

在重要工序施工前要先制作样板,经检验合格后再进行大规模施工。通过样板引路,可以让施工人员明确质量标准和施工工艺,提高施工质量的稳定性。例如:在某酒店的EPC项目中,在客房装修施工前先制作了样板间,经业主和监理验收合格后再按照样板间的标准进行大规模装修施工,保证了客房装修的质量。此外,还要对样板做好记录和标识以便后续施工参考,如在某住宅小区的EPC项目中,对样板房的装修材料、施工工艺等进行了记录并在样板房内设置了标识牌,方便施工人员查看。

3.2.2 质量检验与检测

在施工过程中,要根据工程的特点和要求,制定合理的质量检验与检测计划,明确检验与检测的项目、方法、频率和标准。例如:在某水利工程的EPC项目中,制定了详细的质量检验与检测计划,对大坝的基础承载力、混凝土的抗渗性等进行了严格的检测,确保了

大坝的质量。另外,还要严格按照检验与检测计划进行操作,确保检验与检测数据的准确性和可靠性。例如:在某桥梁工程的EPC项目中,对桥梁的钢材进行了抽样检测,严格按照检测标准进行操作,确保了检测数据的准确,为桥梁的质量评估提供了依据^[6]。

要根据不同的检验与检测项目选择合适的方法。对于材料的质量检验可以采用抽样检验、理化分析等方法;对于工序质量的检测采用测量、试验等方法。例如:在某建筑工程的EPC项目中,对进场的水泥进行抽样检验,采用理化分析的方法检测水泥的强度、凝结时间等指标;对墙体的垂直度进行检测,采用测量的方法,确保墙体的施工质量符合标准。此外,还要根据工程的规模和施工进度,合理确定检验与检测的频率。对于重要的材料和关键工序,要增加检验与检测的频率,确保质量稳定。例如:在某地铁工程的EPC项目中,对盾构机的关键部件进行定期检测,增加检测频率,及时发现并处理隐藏问题,保障施工安全和进度。

4 结束语

EPC模式作为一种一体化的工程总承包模式,具有交钥匙、责任明确等特点,对于建筑工程施工质量有着至关重要的影响。施工质量受人员、材料、施工工艺等多方面因素的综合作用,需在施工前、施工过程中和施工后各个阶段采取有效的控制措施以提高EPC模式下建筑工程施工质量控制水平。未来的研究可以进一步扩大样本范围,研究各个类型、规模的EPC项目施工质量控制差异及信息化技术在施工质量控制中的应用效果等问题,最大限度地完善EPC模式下建筑工程施工质量控制的理论和实践体系。

参考文献:

- [1] 唐宏.EPC模式下建筑工程施工质量控制研究[J].城市建设理论研究(电子版),2025(03):31-33.
- [2] 常尧.EPC模式下X建筑工程项目施工质量控制研究[D].大连:大连海事大学,2024.
- [3] 刘沐涵.工程总承包(EPC)模式下装配式建筑工程质量控制探究[J].福建建筑,2024(09):136-139.
- [4] 滕飞.EPC模式下建筑工程施工质量控制分析[J].中华建设,2024(07):38-40.
- [5] 江立秋.EPC模式下建筑工程施工质量控制研究[J].北方建筑,2023,08(03):69-73.
- [6] 程凯丽.EPC模式下建筑工程施工质量控制管理策略[J].城市建筑,2023,20(12):99-101.

一种小区集中车位的智能共享充电桩设计

单治磊, 上官贝贝, 王文文, 池禹志

(国网泗洪县供电公司, 江苏 宿迁 223900)

摘 要 本研究针对目前共享充电桩存在的成本较高、安装位置受限、车位覆盖率小、安全风险大、配套变压器容量要求高、线路敷设困难等隐患, 充分考虑小区内电动车车位固定、流通性小、空间有限、车位集中等特点, 研究一种能够智能控制开关, 将一个充电桩同时供多车位充电的共享充电桩。通过扫描充电枪二维码, 智能控制开关开合、充电枪充电。此共享充电桩适用于小区内部, 特别是老旧小区有限的公共停车空间、集中车位等位置, 具有充电功率小、同时率低、项目投资小、实施相对简单的特点, 可提高配套电力设备使用效率, 减少投资, 降低安全隐患, 解决了充电桩占车位的问题。

关键词 小区集中车位; 智能共享充电桩; 电源; 充电桩本体; 共享开关

中图分类号: TM910.6; U491.8

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.20.023

0 引言

随着全球对环境保护和可持续发展的关注度不断提高, 新能源汽车作为一种绿色出行方式, 近年来得到了迅猛发展。在我国, 新能源汽车的保有量持续攀升, 成为汽车市场的重要组成部分。然而, 新能源汽车的快速增长也带来了一系列问题, 其中充电桩的建设与布局成为制约其进一步发展的关键因素。

传统的充电桩建设模式, 每辆新能源汽车建设一个充电桩需要配套配电房、变压器、分支箱、低压电缆等电力设施, 投资巨大。但家用充电桩的使用频率较低, 通常一至两周才使用一次, 每次充电时长约 4~5 个小时, 这就导致了大量投资的电力配套设施未能充分发挥其经济效益, 造成了资源的浪费。

传统的共享充电桩大多为经营性, 以提高充电功率来加快充电车辆的流动性, 从而实现盈利^[1]。这类充电桩需要较大的配套变压器容量, 大功率充电桩不仅成本较高, 而且在安装位置上受到诸多限制, 车位覆盖率较小。同时, 大功率充电还带来了较大的安全风险。在小区内, 由于车辆停车位相对固定, 车位流动性小, 安装集中式的共享充电桩容易出现车辆占位的矛盾, 影响共享充电桩的实际使用率^[2]。此外, 小区内公共空间有限, 配电变压器容量的增加以及线路敷设都面临着极大的困难, 线路集中敷设还存在消防隐患。

基于以上背景, 本文针对小区电动车车位固定、流通性小、空间有限、车位集中等特点, 探索和研究

一种新型的共享充电桩模式, 旨在解决老旧小区因配电设施容量不足导致充电设施建设困难的难题, 降低配套电力成本, 提高配套电力设备的使用效率, 为新能源汽车在小区内的便捷充电提供有效的解决方案。

1 现有共享充电桩存在的问题分析

1.1 成本问题

传统共享充电桩尤其是大功率充电桩, 设备采购成本高昂。以常见的大功率直流充电桩为例, 单台设备价格可能高达数万元甚至更高, 这还不包括后续的安装调试费用。除了设备本身, 配套的变压器、配电房等电力设施建设成本也不容小觑。建设一个具备一定规模的传统共享充电桩站点, 前期的一次性投入资金巨大, 对于运营商来说资金压力极大。

1.2 安装位置受限

城市中土地资源紧张, 尤其是在老旧小区, 可用于建设充电桩的空间十分有限。传统的共享充电桩对安装场地有一定的要求, 需要较大的平面空间来停放充电车辆, 并且要满足与周边建筑物、道路等的安全距离要求。在小区内, 很难找到足够大且合适的场地来集中安装充电桩。

1.3 车位覆盖率小

由于安装位置受限以及建设成本的考虑, 传统共享充电桩在小区内的布局往往难以做到全面覆盖。很多小区只能在有限的几个区域设置充电桩, 导致部分车位距离充电桩较远, 车主使用不便。

1.4 安全风险大

大功率充电桩在工作过程中会产生较大的电流和热量,如果散热系统设计不合理或者设备质量不过关,容易引发过热、起火等安全事故。此外,在集中充电区域,如果线路敷设不合理,一旦发生电气故障,可能会引发连锁反应,造成更大的安全事故。

1.5 配套变压器容量及线路敷设问题

小区内集中建设充电桩,对配套变压器容量要求极高。若按照传统的每个车位配备一个充电桩的模式,小区现有的变压器容量往往无法满足需求,需要进行大规模的扩容改造。同时,线路集中敷设还存在消防隐患,一旦发生电气火灾,后果不堪设想。

2 小区集中车位智能共享充电桩的设计方案

2.1 结构组成

小区内部集中车位的共享充电桩主要由电源部分、充电桩本体、智能控制开关、共享开关、充电枪组成。

2.1.1 电源部分

电源采用 380 V 三相四线交流电,这是小区内常见的市电接入方式,具有电压稳定、供电可靠的特点。电源分别设置在充电桩上端接入市电,为充电桩本体提供稳定的电力供应。这种接入方式可以充分利用小区现有的电力基础设施,减少了额外的电力接入成本和施工难度。同时,380 V 的电压能够满足充电桩本体对功率的需求,保证充电桩能够正常运行。

2.1.2 充电桩本体

充电桩本体设置在电源下侧,其总功率为 21 kW。该充电桩包括 5 路出线,每路出线功率为 7 kW,出线通过线缆与 5 合 3 开关模块连接。这种设计使得充电桩可以同时为多个充电枪提供电源,并且通过合理分配功率,能够满足不同车辆的充电需求。同时,5 路出线的设计也增加了充电桩的使用灵活性,提高了充电桩的利用率。

2.1.3 5 合 3 智能控制开关

5 合 3 开关包括五路进线与 5 路出线,开关进线连接充电桩本体出线。5 路开关通过 5 合 3 闭锁实现 3 路开关同时打开,即最多可以同时为 3 个车位提供充电服务。这种智能控制开关的设计,既保证了充电桩在有限的功率下能够合理分配电力,又避免了过多车辆同时充电导致的功率过载问题。5 路开关的出线连接共享开关,通过智能控制开关的开合,实现对充电过程的有效控制。

2.1.4 共享开关

共享开关具有扫码通断功能,该功能通过 4G 模块实现开关与手机、网络的连接。用户通过扫描共享开关上的二维码,即可实现对应充电桩的通电操作。这种扫码通断的方式,方便了用户的使用,提高了充电桩的使用便捷性和智能化程度。同时,通过 4G 模块与网络连接,还可以实现对充电桩的远程监控和管理,实时掌握充电桩的使用状态、电量消耗等信息^[3]。

2.1.5 充电枪

充电枪用于实现向电动车充电,通过线缆与共享开关连接,由共享开关向充电枪供电。充电枪的设计符合国家标准,能够与各种类型的新能源汽车兼容,确保充电的安全性和稳定性。同时,充电枪的线缆长度适中,既保证了用户在一定范围内能够方便地为车辆充电,又避免了过长的线缆带来的安全隐患和管理不便。

2.2 操作步骤

2.2.1 供电电源接入

供电电源采用小区内部市电,电压等级为 380 V。这种直接接入市电的方式,无需额外建设复杂的电力接入设施,大大降低了建设成本和施工难度。同时,也保证了电源的稳定性和可靠性,为充电桩的正常运行提供了有力保障。

2.2.2 充电桩功率转换与分配

充电桩总功率为 21 kW,充电桩本体将 380 V 电源变成 5 路充电枪使用电源,每路电源 7 kW,输出给 5 合 3 控制开关。通过这种功率转换和分配方式,充电桩可以同时为多个充电枪提供合适的电源,满足不同车辆的充电需求。

2.2.3 5 合 3 控制开关工作

5 合 3 控制开关包括五路进线与 5 路出线,开关进线连接充电桩本体出线,5 路开关通过 5 合 3 闭锁实现 3 路开关同时打开。这样的设计可以在保证充电桩功率合理分配的前提下,最多同时为 3 个车位提供充电服务,避免了因过多车辆同时充电导致的功率过载问题。

2.2.4 共享开关扫码通电

共享开关通过扫码通断功能,利用 4G 模块实现开关与手机、网络连接,用户通过扫码实现对应充电桩通电。这种便捷的扫码通电方式,提高了充电桩的使用便利性和智能化程度,用户只需通过手机扫码即可轻松开启充电过程。在充电过程中,用户可以通过手机实时查看充电状态和电量消耗情况。

3 小区集中车位智能共享充电桩安全注意事项

3.1 位置稳固

充电桩的安装位置应稳固可靠,确保不因震动、碰撞等原因导致充电桩倾斜或倒塌。在安装过程中,应选择坚实的地面或基础,采用合适的固定方式,如地脚螺栓固定等。同时,要考虑到周边环境因素,避免在易受外力冲击的位置安装充电桩。

3.2 环境安全

充电桩应做好防水、防潮、防尘等措施,防止受到恶劣天气的影响。在户外安装的充电桩,应配备防水罩、遮阳棚等防护设施,确保充电桩内部电气设备不受雨水、阳光直射等影响。同时,充电桩周围应保持足够的空间,便于操作和维护,避免堆放杂物,防止阻碍散热和引发火灾。

3.3 连接安全

在使用充电桩前,必须检查电源插头、电缆和充电桩连接是否牢固,有无破损、短路等情况。若发现插头松动、电缆外皮破损或内部导线裸露等问题,应及时停止使用,并进行维修或更换。同时,要定期对充电桩的连接部位进行检查和维护,确保连接的可靠性。

3.4 操作规范

严格按照操作步骤进行安装和使用充电桩,避免操作不当引起电池过热、起火等安全事故。用户在使用充电桩时,应仔细阅读充电桩的使用说明书,了解正确的操作方法和注意事项。

3.5 定期维护

定期对充电桩进行维护保养,检查电气连接、散热系统、安全保护装置等是否正常。对充电桩的插头、插座等易损部件进行定期清洁,防止因积尘、油污等原因导致接触不良或漏电。

4 小区集中车位智能共享充电桩优势分析

4.1 提高电力设备使用效率

相较于传统的充电桩模式,本文提出的小区集中车位共享充电桩模式,通过智能控制开关将一个充电桩同时供多车位充电,提高了充电桩的使用频率,使得配套电力设备能够得到更充分的利用^[4]。

4.2 减少投资成本

这种共享充电桩模式无需为每个车位都配备独立的充电桩和配套电力设施,大大减少了设备采购、安装调试以及电力接入等方面的成本。

4.3 降低安全隐患

共享充电桩的充电功率相对较小,同时率低,减少了因大功率充电和过多车辆同时充电导致的安全风险^[6]。较小的充电功率使得充电桩在工作过程中产生的热量较少,降低了过热引发火灾的风险。同时,智能控制开关的设计可以避免因过载、短路等原因导致的电气故障,提高了充电桩的安全性。

4.4 解决车位问题

在小区内,尤其是老旧小区,车位资源紧张。共享充电桩模式可以通过一个充电桩为多个车位服务,减少了充电桩对车位的占用,有效解决了充电桩占车位问题。

4.5 节省人力、财力、物力

共享充电桩的智能化管理模式,通过扫码通断功能和远程监控系统,减少了人工管理的工作量。运营商可以通过手机 APP 或电脑端实时掌握充电桩的使用状态、电量消耗等信息,实现远程控制和管理,无需安排专人在现场值守。这不仅节省了人力成本,还减少了因人工管理不善导致的资源浪费和运营成本增加。

5 结束语

本研究针对小区集中智能车位共享充电桩进行了深入的探索与研究,通过对现有共享充电桩存在问题的分析,提出了一种新型的共享充电桩设计方案。该方案通过智能控制开关将一个充电桩同时供多车位充电,具有充电功率小、同时率低、项目投资小、实施相对简单等特点,有效解决了小区内充电桩建设面临的成本高、安装位置受限、车位覆盖率小、安全风险大等问题,提高了配套电力设备使用效率,减少了投资,降低了安全隐患,解决了充电桩占车位问题,节省了人力、财力、物力。

参考文献:

- [1] 彭也.电动汽车共享充电桩系统设计[D].长沙:湖南大学,2022.
- [2] 梁士栋,赵勃,何建佳,等.共享充电桩下负荷时间分布均衡的小区电动汽车充电方案优化[J].计算机应用研究,2022,39(12):3688-3693,3700.
- [3] 黄小庆,李隆意,徐鹏鑫,等.多主体博弈共赢的电动汽车充电桩共享方法[J].电工技术学报,2023,38(11):2945-2961.
- [4] 刘娟娟,曹胜兰.电动汽车充电桩运营模式研究[J].科技管理研究,2015,35(19):202-206.
- [5] 谢伟才.电动汽车充电桩的设计与研究[J].通讯世界,2016(01):105-107.

新型建筑材料在建筑工程技术中的创新应用

田振兴¹, 崔熙泰²

(1. 山东泰山工程项目管理有限公司, 山东 济南 250000;

2. 青岛亿联建设集团股份有限公司, 山东 青岛 266400)

摘 要 新型建筑材料的应用是推动建筑工程技术创新的重要力量。本文探讨了新型建筑材料在建筑工程技术中的创新应用, 分析了其在提高工程质量、节能环保、改善建筑功能以及推动技术创新等方面的作用。通过实际案例和趋势分析, 揭示了新型建筑材料在现代建筑工程中的重要价值和前景, 旨在为新型建筑材料在建筑工程技术中的创新应用提供有益参考。

关键词 新型建筑材料; 建筑工程技术; 节能环保; 高性能材料

中图分类号: TU50

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.20.024

0 引言

在建筑行业飞速发展的大环境下, 传统建筑材料已经很难适应现代建筑工程高效性、环保性、功能性以及美观性等方面的需要。新型建筑材料不断涌现, 给建筑工程技术创新带来了新思路、新途径。这类材料不仅性能比传统材料优越, 而且在节能环保和智能化方面也显示出了很大的潜力, 已经成为促进建筑行业可持续发展不可忽视的关键。

1 新型建筑材料特点

新型建筑材料是伴随着现代科技发展以及建筑行业需求升级出现的一种新型建材, 其相较于传统建筑材料有许多显著特征。新型建筑材料通常都具有优良的特性。从力学性能来看, 部分高强度钢材及高性能混凝土等传统材料抗压、抗拉强度较高。比如超高强钢材屈服强度可以达到普通钢材屈服强度的几倍, 将其用于大型建筑结构, 可以显著提高其承载能力与稳定性, 以适应大跨度、超高层以及其他复杂建筑设计需要。高性能混凝土不仅确保了出色的工作性能, 还具有更高的结构强度和持久性, 从而有助于延长建筑物的使用寿命。从物理性能来看, 真空绝热板等新型保温材料导热系数很低, 保温隔热性能较常规聚苯乙烯泡沫板提高了几倍, 能够大大降低建筑物能耗, 满足节能减排需求^[1]。

新型建筑材料强调环保节能。很多新型材料都是利用可再生资源或者工业废弃物作为原材料, 降低了人们对于天然资源的依赖性。以加气混凝土为例, 它主要以硅质材料(如石英砂、粉煤灰)和钙质材料(如水泥、石灰)为原料, 经发气、养护等工艺制成, 既

使得工业废弃物资源化, 又减少了生产中的能源消耗。与此同时, 某些新型材料也可以在实际应用时有效地降低建筑物能耗, 例如光导纤维照明材料可以使自然光进入室内以减少人工照明, 进而减少电力消耗, 达到节能目的。

2 新型建筑材料在建筑工程技术中的创新应用优势

建筑工程技术对新型建筑材料的创新应用, 给建筑行业带来诸多优势, 有效地促进了建筑行业的发展。在建筑质量提升方面, 新型建筑材料的应用可显著提升建筑结构稳定性与耐久性, 将高强度钢材及高性能混凝土用于大型建筑结构, 使得建筑物能承受更大的荷载及外力, 减少建筑物遭受地震、台风及其他自然灾害破坏的风险。以超高层建筑为例, 以高强度钢材为结构支撑并与高性能混凝土相结合, 可以有效地改善建筑抗震性能并确保居民生命财产安全^[2]。采用新型防水材料及防潮材料, 可有效地解决建筑物渗漏、受潮等现象, 延长建筑物使用寿命。新型防水材料如自粘防水卷材、高分子防水涂层, 粘结性好, 抗老化性能强, 可在各类复杂建筑基层上形成一层可靠防水层, 防止水的渗入, 以免建筑结构被潮湿侵蚀破坏。新型建筑材料对节能降耗起着至关重要的作用, 广泛采用新型保温隔热材料使建筑物能耗显著降低。外墙外保温系统选用聚苯板、岩棉板及其他保温材料与断桥铝门窗及其他节能产品结合在一起, 可有效地阻隔室内与室外热量传递, 降低空调、暖气及其他设备使用频率与能耗。根据数据显示, 使用新型的保温隔热材料的建筑, 其能源消耗可以比传统建筑减少 30% ~ 50%。同时将太阳能光伏材料运用到建筑中实现建筑能源自

给。光伏建筑一体化（BIPV）技术融合了太阳能电池板和建筑结构，不仅满足了建筑的审美需求，还能将太阳能转换为电能，向建筑物局部或整体供电，降低对传统能源的依赖程度，使建筑物获得绿色能源供应。

3 新型建筑材料在建筑工程技术中的创新应用方法

3.1 建筑结构的优化应用

就建筑结构优化而言，新型建筑材料应用给建筑设计带来了更多可能，有利于建筑结构轻量化、高效化与智能化^[3]。高强度钢材与高性能混凝土在建筑结构优化中占有重要地位，在如体育馆和展览馆这样的大跨度建筑结构中，使用高强度的钢材来制造钢梁和钢柱等关键结构部件，可以显著地降低结构的自重，并增强其承重和跨越的能力。高强度钢材所具有的优良力学性能使得它能承受更大的拉力与压力、减小结构构件截面尺寸以达到最大限度地利用建筑空间。高品质的混凝土在确保其强度的基础上，展现出更出色的持久性和性能表现。超高层建筑可以采用高性能混凝土对核心筒、基础等关键位置进行加固，以增强建筑物稳定性及抗震性能。优化混凝土配合比、掺加外加剂也能改善混凝土自密实性、减少施工期振捣操作、提高施工质量与效益。

建筑结构也越来越多地采用了新型复合材料。纤维增强复合材料（FRP）因其高强度、轻重量和耐腐蚀的特性，成为建筑结构加固和修复的理想选择。在古建筑的保护工作中，使用碳纤维增强的复合材料来加固受损的木质和砖石结构，不仅可以显著提升结构的承重能力，还能在最大程度上保留古建筑的原始风貌。另外，FRP 也可以应用于新建建筑结构设计，例如在桥梁结构方面，利用 FRP 来制造桥面板、拉索以及其他部件，能够降低桥梁自重，增加桥梁使用寿命以及耐久性。

3.2 在保温隔热方面的应用

在保温隔热方面，使用新型建筑材料对减少建筑物能耗和改善室内舒适度有着十分重要的作用，新型保温隔热材料的不断出现给建筑的保温隔热带来了更多的选择。真空绝热板（VIP）作为一种内部呈真空状态、充填纳米级多孔材料、导热系数极低的高效保温材料。VIP 具有比传统保温材料高几倍保温隔热性能，用于建筑外墙和屋面等处，可有效阻隔热量传递和减少建筑物能耗。寒冷地区建筑使用 VIP 作外墙保温材料可以极大地降低冬季供暖能源消耗和增加室内温度稳定性^[4]。

气凝胶材料是一种很有发展前途的保温隔热材料。气凝胶拥有纳米尺度的多孔构造，其内部的孔隙率超

过了 90%，这使得它的密度和热导率都非常低。气凝胶材料可制得气凝胶毡和气凝胶板，用于建筑保温隔热领域。气凝胶毡可用来进行管道保温和设备保温，它柔软的性能决定了它能适应多种复杂外形；气凝胶板被广泛应用于建筑的外墙、屋顶等关键区域的保温和隔热工作，从而显著增强了建筑的保温效果。

3.3 在防水防潮工程中的应用

防水防潮对于建筑工程来说非常关键，将新型建筑材料应用到防水防潮工程当中，能够有效地提升建筑物防水防潮性能，确保建筑物质量与使用寿命。新型防水材料的不断革新，给防水工程提供了更加可靠的方案。自粘防水卷材作为一种新型防水材料，表面涂有一层自粘胶，在施工过程中不需要升温，只要直接把卷材贴到基层表面上就可以了，施工起来方便、快捷。自粘防水卷材粘结性好、抗老化性能强、可在多种复杂基层表面上形成致密防水层、有效阻止水分渗透^[5]。自粘防水卷材被广泛地应用于地下室、屋面及其他防水工程，具有施工效率高，防水效果良好的特点，深受建筑行业欢迎。高分子防水涂层材料是性能优越的防水材料之一，高分子防水涂层是由合成高分子材料复合而成，柔韧性、耐水性及抗老化性能优异。高分子防水涂层可以按照不同施工要求配制成液体涂料或者卷材，应用在各种建筑防水工程中。卫生间、厨房等狭小区域防水工程，可以采用涂刷方法进行液体高分子防水涂层施工，从而形成无缝防水层并有效地防止渗漏。在大规模的屋顶防水项目中，高分子防水卷材展现出了快速施工和稳定的防水特性等明显优势^[6]。

3.4 装配式建筑的融合应用

装配式建筑作为建筑行业的一个重要发展趋势，将新型建筑材料融入装配式建筑中，可促进装配式建筑迅速发展，提升建筑质量及效率。预制混凝土构件构成了装配式建筑的一个关键部分，而新型混凝土材料的使用则显著提升了这些构件的性能和整体质量。新型混凝土材料如高性能混凝土和自密实混凝土在预制构件中的应用，赋予了预制构件更高的机械强度、更出色的耐用性以及工作表现。高性能混凝土能提高预制构件承载能力和寿命；利用自密实混凝土，可以在不进行振捣的前提下，自行填补模具，从而制造出密实的混凝土部件，不仅提高了施工的效率，还增强了部件的品质。将新型混凝土材料应用于预制梁、柱及墙板的制作，可有效地改善构件质量及性能，达到装配式建筑要求。轻质隔墙板作为一种内部分隔材料在装配式建筑中常被采用，其新型轻质隔墙板应用能

增强装配式建筑空间灵活性及保温隔热性能。轻质隔墙板是由加气混凝土和聚苯乙烯泡沫板两种轻质材料复合而成的隔墙板,它具有质轻、易安装和保温隔热性能优良的优点。就装配式建筑而言,轻质隔墙板可以按照建筑设计要求灵活设置以达到室内空间自由分隔的目的。同时,轻质隔墙板还具有保温隔热性能,可以有效地改善室内舒适度和减少建筑物能耗^[7]。

就装配式建筑而言,其连接材料性能的好坏直接影响建筑结构整体性与稳定性。如高强度螺栓和焊接材料这样的新型连接材料,展现出了出色的机械特性和连接的稳定性。高强度螺栓可以应用于预制构件间的联接,它便于安装,联接牢靠,并能承受很大荷载。在钢结构装配式建筑中,焊接材料是一个有效的选择,它可以通过焊接把钢构件连接为一个统一的整体,从而增强结构的强度和稳定性。装配式建筑的建设过程中要对连接材料质量以及施工工艺进行严格把控,保证连接部位可靠^[8]。

3.5 在建筑外观装饰中的应用

在建筑的外观和装饰方面,新型建筑材料的引入为建筑带来了独特的吸引力,满足了人们对于建筑美观和个性化的期望。新型外墙装饰材料的不断革新,使建筑物外观效果更加丰富。金属幕墙作为高档外墙装饰材料之一,由铝合金、不锈钢和其他金属板材构成,质感高、耐久性和防火性能好。金属幕墙可以根据建筑设计的具体需求进行个性化加工,从而创造出各种不同形状和颜色的幕墙面板,包括平板、曲面和异形等,这无疑为建筑的外观带来了更多的现代感和科技感。金属幕墙被广泛应用于大型商业建筑、写字楼以及其他建筑当中,它所具有的特殊光泽与纹理可以提高建筑物的等级与形象。石材幕墙是常见的外墙装饰材料之一,石材加工新技术的运用,使得石材幕墙得到了更广泛、更多样化的使用。超薄石材、复合石材及其他新型石材产品可在保持天然石材美观与纹理的同时,减轻石材重量,减少施工难度与费用。超薄石材在建筑外墙装饰中可以采用背衬材料进行复合,厚度仅为传统石材的 1/2,而强度及耐久性不受影响。复合石材是一种将天然石材与其他如陶瓷、玻璃等材料结合的装饰材料,它不仅具有独特的外观和性能,还能满足各种建筑风格和设计需求^[9]。

玻璃幕墙作为现代建筑常用的外墙装饰形式之一,新型玻璃材料在其中的应用,增强了其性能与美观度。低辐射玻璃(Low-E 玻璃)不仅拥有出色的隔热和光学特性,还能有效地阻止太阳辐射热量进入室内环境,

同时还能维持良好的自然光照效果。将 Low-E 玻璃用于玻璃幕墙可以减少建筑物能耗和增加室内舒适度。另外,采用智能玻璃,使得玻璃幕墙具备自动调节透明度及隔热性能,进一步提高建筑智能化水平及美观度。

建筑内部装饰中新型装饰材料同样扮演着举足轻重的角色。采用新型环保涂料,不但装饰效果好,而且环保抗菌防火。环保涂料如水性涂料和硅藻泥不含有任何有害物质,不会危害人体健康,而且有很好的透气性及吸附性,可调节室内湿度及净化空气。在进行室内墙面装饰时,采用环保涂料不仅符合人们对于美观的要求,同时还能保证室内环境的卫生。另外,新型装饰板材如集成墙板和艺术玻璃也给室内装饰带来了更多选择,使室内空间装饰效果更加丰富,符合人们追求个性化和高品质的居住需求。

4 结束语

新型建筑材料在建筑工程技术中的创新应用,给建筑行业带来了革命性变革。新型建筑材料从提高工程质量、达到节能环保、完善建筑功能和促进技术创新等方面对建筑行业可持续发展起到强有力的支撑作用,但它的广泛应用还面临着技术、成本及市场的挑战。未来,随着技术的不断进步和相关政策的支持,新型建筑材料将在建筑工程中发挥更大的作用,为人们创造更加优质、绿色、智能的建筑环境。

参考文献:

- [1] 唐怡,鄢晶.节能环保绿色材料在建筑装饰设计中的应用分析[J].居舍,2024(26):91-93.
- [2] 师翻宝.再生混凝土骨料在建筑工程中的应用[J].居舍,2025(05):74-76.
- [3] 卢彦泽.建筑装饰装修工程中绿色材料应用存在的问题及优化措施[J].中国建筑装饰装修,2024(15):86-88.
- [4] 祝明,戴玉钊.土木建筑工程中的高性能混凝土和绿色材料[J].建材发展导向,2024,22(12):4-6.
- [5] 李兆辉,李俊鹤,苏建锋,岳晓灿.金属屋面系统抗风揭性能影响因素研究[J].建筑技术,2023,54(21):2635-2638.
- [6] 陈永锋.建筑装饰装修工程中创新技术与材料的应用研究[J].中国建筑装饰装修,2024(07):121-123.
- [7] 张洁.新型建筑工艺和建筑材料在工程建设中的应用[J].中国科技期刊数据库 工业 A,2024(03):29-31.
- [8] 唐黎标.新型建筑材料在建筑工程中的应用[J].上海建材,2021(02):28-29.
- [9] 张慧君.新型建筑材料在建筑工程中的创新应用与发展前景研究[J].湖北画报(下半月),2024(04):134-135.

地铁盾构管片生产中的自动化设备应用研究

何玉斌

(中国水利水电第七工程局有限公司, 四川 成都 610000)

摘 要 盾构隧道是地下交通系统的关键, 其构件制造水平对整体施工效率有直接影响。盾构管片预制过程涉及钢筋安装、模板定位、混凝土成型等多个高敏工艺节点, 且生产组织的连贯性构成稳定产出的要素。本文根据自动化设备对地铁盾构管片生产的价值, 围绕盾构管片生产中的焊接精度、脱模结构稳定、网片布设效率与混凝土弧面控制展开详细研究, 旨在对提升构件成型一致性有所裨益。

关键词 地铁盾构管片生产; 自动化设备; 焊接; 抹面工艺

中图分类号: U231.3

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.20.025

0 引言

当前城市轨道交通系统建设进入精细化与集约化并重的新阶段, 地下空间开发深度不断加大, 对隧道结构构件的制造质量与生产效率提出更高要求。盾构管片作为支撑隧道稳定的核心构件, 其成型过程涵盖钢筋焊接、模具装配、混凝土浇筑与脱模转运等高精度工艺流程。自动化设备为提升管片制造环节的标准化提供了关键支撑, 也为构建智能产线体系打下坚实的基础。在技术集成与流程协同持续演进的背景下, 地铁盾构管片的制造模式正在经历系统性重塑。

1 自动化设备对地铁盾构管片生产的价值

1.1 提升生产效率, 加速管片产出进程

地铁盾构管片是隧道建设的核心部件, 其制造速度直接影响整体工程进度, 采用智能化生产装置能够显著改善传统人工模式效率不足的问题。同时, 各类机械装置与智能控制系统的协同配合使得各环节作业能够在精准调控下无缝衔接, 减少了人为因素导致的节奏波动。在钢筋加工、物料浇筑以及成品脱模关键工序中, 智能化流水线一方面缩短了单次作业耗时, 另一方面还能同步开展多工序, 进而大幅提升日产量。这种稳定的生产模式让不同施工段的配合更为紧密, 降低了工期延误风险。此外, 该类系统面对大批量订单时具备优异的持续运转能力, 仍能保持高效输出, 为管片规模化制造提供可靠保障。与此同时, 智能化技术不但优化了生产流程, 而且减少了人工干预带来的不确定性。

1.2 保障人员安全, 降低作业风险系数

由于盾构管片制造涉及高温、潮湿、重载等复杂工况, 所以传统人工操作易面临吊装意外、设备误触

及机械伤害等潜在威胁^[1]。但是智能化生产系统利用远程操控或者自动化执行, 能够大幅减少人员直接接触高危作业环节的机会。如机械焊接臂、智能顶推设备和光学定位技术能够精准识别作业对象, 避免因人为疏忽导致的操作偏差。另外, 产线还集成多重安全防护机制, 一旦检测到运行异常或人员靠近危险区域, 系统可立即触发紧急停机, 快速切断事故蔓延路径。并且全封闭式生产结合中央监控模式能有效隔离粉尘、噪声和高温环境, 减少工人长期暴露在恶劣条件下的健康风险, 进而既提升了整体安全水平, 又为作业人员创造了更稳定可控的工作环境^[2]。

1.3 稳定产品质量, 提高管片合格比率

盾构管片是隧道结构的核心承重部件, 对几何尺寸、材料强度及外观质量都有着极高标准。虽然传统人工生产方式容易因操作者状态波动或技术差异导致产品性能不稳定, 但是引入智能化制造体系后, 从模具拼装到钢筋布设, 再到混凝土浇筑与养护, 每个步骤都能利用数字化精准调控。高精度传感装置与在线检测技术可即时捕捉管片成型数据, 并与预设参数自动比对, 及时修正微小偏差, 避免缺陷产品进入后续流程。此外, 智能抹平设备可以使构件表面更加平滑规整, 显著降低修补和废品率。利用全过程质量监控与自适应调整, 能有效保障管片的力学性能, 让产品一次验收合格率明显提升, 完全符合工程设计寿命。

1.4 降低能源消耗, 实现绿色生产目标

盾构管片制造过程中的钢材成型与混凝土浇筑工序属于典型的高耗能环节, 不过传统生产模式因管理粗放普遍存在能效低下和原材料浪费现象。数字化生产系统经过精确调控能源分配, 成功解决了设备待机

能耗以及重复工序造成的电力浪费问题。除此之外,运用实时工况监测的生产调控系统可动态优化加热参数与养护方案,减少能源浪费。废热回收装置与材料再生系统的协同运作,使资源利用率获得整体提升。企业借助能耗数据监测平台的分析功能,能够制定更科学的能源管理策略,并且该模式在控制碳排放的同时,构建了资源循环利用的完整链条。将环保理念融入制造全过程,自动化生产线在保证产能的同时可实现更低单位能耗,此方式既符合当前节能减排的政策导向,也为轨道交通建设的绿色发展提供了切实可行的解决方案^[3]。

2 地铁盾构管片生产中应用自动化设备的策略

2.1 优化焊接流程设计,提升异形骨架成型精度

异型管片钢筋骨架的焊接质量直接影响最终产品的尺寸精度和结构可靠性。传统手工焊接依赖操作者技术水平,在特殊形状部位容易产生位置偏差、角度误差以及焊缝质量不达标等问题。引入智能化焊接系统后,利用数字化编程控制焊枪运动轨迹,能够适应各种复杂几何形状连续焊接需求。针对异型骨架尺寸多变、连接节点复杂的特点,自适应路径规划技术可高精度点位焊接,使各连接部位受力均衡,避免局部变形^[4]。系统集成焊接参数动态调节功能,实时优化电流强度、行进速度和焊枪姿态,维持稳定的熔池状态,显著降低热变形风险,保证异型构件尺寸稳定性。这种数据驱动的焊接模式取代了传统经验判断,一方面提高了工艺一致性,另一方面还为质量追溯提供了完整的数据支持。

施工人员在实际操作中应采用弧焊机器人完成异形钢筋骨架的立体组装,并在焊接前利用三维建模系统还原设计图纸与实际构件的空间关系。接下来,焊接路径以0.02 m间隔生成关键点序列,每一段路径包含焊接角度控制范围在 $\pm 3.50^\circ$ 以内,且焊枪偏移误差控制在0.50 mm以内,保障熔深均匀分布。操作台还需要配备激光跟踪用来校正焊枪运行轨迹,避免因骨架轻微变形导致焊接节点偏移。在定位异形弯折段前,技术人员依据钢筋预制角度设置夹具限位块,使其受控在 $\pm 1.20^\circ$ 内,进一步提升焊接预设精度。为避免高温扭曲影响成型稳定性,可使用分段冷却与跳焊方式,让系统自动调整每段焊缝热输入,使焊接间歇周期维持在4.2~5.0 s之间,有效控制整体应力分布。在焊接完成后,智能检测臂扫描每条焊缝连续性与厚度,数据同步上传至制造监控系统进行比对分

析,误差超过0.25 mm则自动标注返工点,保证每个焊缝均达到结构强度标准。焊接完成的异形骨架利用液压顶升装置转运至成型模板中,误差数据汇总后用于下一批次参数优化,形成闭环反馈机制,逐步提高批量构件尺寸一致率。

2.2 集成液压顶出装置,防止钢筋脱模结构变形

管片脱模是预制过程中最容易出现质量问题的环节,传统方法主要依靠人工操作千斤顶或简易机械装置,存在施力不均、定位不准等缺陷,经常造成管片边角破损或钢筋移位。为解决这些问题,可运用新一代智能液压脱模系统,该系统用模块化设计让每个液压顶出单元都配备独立控制系统,并能够根据管片形状自动调整施力大小以及方向。系统内置高精度传感器网络,可以实时监测脱模过程中的压力变化,保证整个脱模过程平稳可控。特别设计的缓冲机构能有效吸收瞬时冲击力,避免管片突然脱离时产生的振动损伤^[5]。系统还具备自学习功能,能够记录每次脱模的参数数据,结合大数据分析不断优化作业流程。实际应用表明,这套系统可以将脱模合格率提升到99.2%以上,同时将作业时间缩短30%。

具体操作时,工作人员需要按照标准流程执行以下步骤:先系统自检确认所有液压单元工作正常,油压稳定在3.5~4.0 MPa设定范围内。然后根据待脱模管片的规格型号,从数据库调取对应的作业参数,包括顶出顺序、施力大小和速度等。系统会自动分配16个液压顶杆的工作任务,其中8个主顶杆负责主要承重,另外8个辅助顶杆提供稳定支撑。开始脱模前,要先启动预热程序,让液压油温度达到40~50℃最佳工作状态。正式作业时,系统会按照先中心后四周的顺序依次启动顶杆,相邻顶杆的启动间隔控制在0.5 s以内。整个顶出过程分为三个阶段:初始阶段采用0.5 mm/s慢速顶出,中期适当加快速度到1.0 mm/s,最后阶段再次减速到0.3 mm/s以确保平稳脱离。在脱模过程中,施工人员需要密切关注控制屏上的实时数据,特别是压力曲线和位移监测值。如果发现某点压力异常升高或位移滞后,系统会立即启动自动调整程序。脱模完成后,要全面检查管片的尺寸测量、表面检查和内部质量。并且所有检测数据都会自动记录并生成报告,作为后续工艺改进的依据。

2.3 协同双机对称布设,增强网片定位安装效率

在地铁盾构管片生产中,传统人工搬运与定位方式存在工序衔接不畅、空间定位偏差等问题,特别是

在大型模板内布置多层网片时，易因协同误差导致安装错位。为解决这一问题，双机协同布置技术用两台并行操作的机械臂，控制称轨迹规划能够在确保空间对称性与角度精度的同时提高单件安装效率。双机械臂通过空间互补布局形成均衡的作业体系，使安装点位与工序节奏精确匹配，有效减少装配误差导致的应力分布不均问题。该系统兼容多种规格模板，支持轨迹自适应功能，可稳定保持安装深度的精确性。

施工人员在管片生产线进行网片布设前，先把两台定位机械臂分别位于模板两侧并呈现出对称状态，间距保持在 3.20 m。控制系统中预设模板宽度、纵深与布设点数量后，自动生成布设路径，按照左右对称原理将模板划分为两个作业区域。同时，每台机械臂对应一侧区域向两侧均匀展开，动作起始点设定为模板底部中心轴线，布设总长度设定为 2.40 m，间距控制在 0.30 m，系统生成 8 组布设坐标。机械臂运行轨迹由控制台程序调度，每一步动作都需传感器确认定位精准后才执行夹持、移动和投放。另外，在定位过程中，两侧机械臂抓取同一批网片的起始高度设定为 2.10 m，下降速度控制在 0.15 m/s。在移动至指定位置后，定位检测模块检测网片是否与模板中心对齐。如果偏差超过 0.80 mm，机械臂自动回退并重新调整角度和夹持深度。每片网片投放时间约为 18 s，双臂同步完成安装后自动进行下一组布设。整个模板范围内布设完毕后，辅助压紧装置启动，压紧头下压行程为 30 mm，压力控制在 3.80 MPa，保持 3 s 固定，防止钢筋移动或悬浮（如表 1 所示）。

表 1 模板抹面作业中关键点参数

布设点 编号	X 轴位 置 (m)	投放高 度 (m)	对中偏 差 (mm)	下压行 程 (mm)	固定压 力 (MPa)
P1	-1.60	2.10	0.4	30.0	3.80
P2	-0.80	2.10	0.6	30.0	3.80
P3	0.00	2.10	0.3	30.0	3.80
P4	+0.80	2.10	0.5	30.0	3.80
P5	+1.60	2.10	0.2	30.0	3.80

2.4 升级抹面工艺流程，规避混凝土弧面缺陷

混凝土管片脱模前的表面质量直接影响其拼装精度，其中曲面区域的空鼓、裂纹等缺陷会显著削弱管片间的应力传递效果。传统抹面工艺存在轨迹随机、压力不均等问题，容易引发曲面部位易出现气泡残留、浆体分布不均等质量隐患。但是改进后的工艺采用基

于模板几何特征的智能抹面系统，结合数字化建模生成自适应运动轨迹，动态贴合抹面工具与混凝土曲面。该系统集成压力反馈和倾角调节功能，可根据曲面曲率实时优化作业参数，保证接触压力均匀分布。

在管片脱模前 12 min，操作人员启动自动抹面设备，系统自动识别模板规格并生成匹配的 3D 仿形作业路径。抹面起点位于模板顶部中心位置，设备沿纵向 2.10 m 的行程逐层下移，横向每 0.05 m 覆盖一次。抹面压头采用弹性浮动设计，各接触点压力维持在 3.20 ~ 3.50 MPa，并依据模板弧度自动微调，弧形区压力比平面区提高约 0.15 MPa，以抵消侧壁浆料沉降影响。与此同时，设备运行速度设定为 0.08 m/s，在拐角或端部位置降速至 0.05 m/s，保证浆料充分填充并排出空气。抹面宽度固定为 300 mm，每段作业结束后压头保持 3 s 静压增强密实度，随后抬升进入下一工序。除此之外，模板周边每隔 0.60 m 布置激光定位传感器，实时监测设备与模板的贴合精度。若检测到偏差超过 ± 1.00 mm，系统立即修正压头位置后继续作业。全程耗时 22 min，系统同步存储压力曲线、运动路径及模板信息。

3 结束语

当前地铁盾构管片制造正加速向智能化转型，各工序自动化设备的协同作业能力已成为产线技术水平的重要体现。未来，需重点推进设备通信标准化建设，建立多场景工况自适应系统，深化智能检测与过程控制的有机结合。同时，在模具循环利用、能耗管理、质量预判等环节进一步整合技术资源，为地铁隧道工程建设提供更坚实的技术支撑。

参考文献：

- [1] 陈炳炎. 地铁盾构近距离下穿铁路桥桩安全风险控制 [J]. 建筑机械, 2025(05):95-100.
- [2] 关嘉旭. 地铁盾构管片自动化生产中真空吸盘的结构优化与可靠性分析 [J]. 居业, 2025(03):187-189.
- [3] 徐浩, 李慎奎, 吴圣贤. 地面加、卸载下地铁盾构隧道管片变形规律及加固效果研究 [J]. 城市轨道交通研究, 2025, 28(03):175-180.
- [4] 胡秋斌, 师一鸣, 曹伟颢, 等. 基于弯矩传递足尺试验的大直径地铁盾构隧道承插式管片环间传力性能研究 [J]. 城市轨道交通研究, 2025, 28(04):161-164, 171.
- [5] 赵善鹏, 吴宣哲, 薛华坤, 等. 基于内聚力模型的盾构管片承载能力测试方法分析及评估：以福州滨海快线地铁项目为例 [J]. 科学技术与工程, 2024, 24(27):11519-11528.

新能源风力发电站项目建设管理创新方式探索

姜文鹏

(中能建国际建设集团有限公司, 北京 100025)

摘要 新能源是一种清洁、低碳、高效的可再生能源，建设新能源风力发电站项目，不仅能节约能耗、降低成本，还能提高发电效果，满足现阶段及未来生产生活用电需求。为提高发电站项目建设水平，发挥其最大效能，还需要全面分析目前项目建设管理存在的痛点及挑战。本文就新能源风力发电站项目建设管理进行分析，并结合实际情况和建设需求，提出了有效的管理策略，旨在为提升项目建设质量水平提供借鉴，进而实现节能减排目标。

关键词 新能源; 风力发电站; 项目建设和管理

中图分类号: TM615

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.20.026

0 引言

传统煤炭发电模式会造成大量能源消耗, 不仅增加运行成本, 还会引发大气及环境污染, 直接违背社会可持续发展要求, 也难以推动电力行业长远稳定发展^[1]。在此情况下, 风力发电站项目建设过程中应充分发挥新能源的作用, 根据现存的建设管理痛点及挑战, 结合项目建设需求及节能减排目标, 优化制定管理策略, 进一步提高新能源风力发电项目建设运行水平。

1 当前风力发电项目建设管理模式的痛点与挑战

1.1 技术层面

对于技术层面，主要体现在以下几点：（1）风资源评估误差。项目建设前需要根据相关数据信息进行选址，但目前前期数据采集效果偏低，技术应用不佳，存在评估误差，这种情况下选址不合理，进而会导致后续发电效率低下。（2）并网技术瓶颈。目前电网消纳能力不足，储能配套需求增加项目复杂度与项目成本。（3）技术迭代压力。科技发展快速，风机技术更新速度较快，导致所需的设备类型性能与未来兼容性难以平衡^[2]。（4）运维成本高。风电项目后期维护难度较高，且智能化运维体系还未全面普及落实。

1.2 管理层面

对于管理层面，主要体现在以下几点：（1）协同低效。风电项目建设管理涉及多个主体，但目前设计、施工、供应商等多方协同低效，存在信息误差，不仅管理效率低下，还会引发频繁的项目变更。（2）审批复杂。多部门审批导致项目建设周期长，跨地区协调管理困难，增加风电项目建设的不确定性。（3）管理人员能力问题。缺少复合型专业管理人员及相关技术专家，

使得风电项目建设管理实效性不足。同时,目前管理数字化程度偏低,难以实现数据信息的高效传输、共享,导致决策延迟或错误,降低项目建设管理效果^[3]。

1.3 经济层面

对于经济层面，主要体现在以下几点：（1）政策波动性。补贴退坡、电价调整等政策变化会影响项目经济性预测，增加投资风险^[4]。（2）成本控制难点。原材料价格波动较大，会进一步提高建设成本，导致项目预算超支，无法达成经济性目标。（3）融资压力。项目初期投资较大，回报周期较长，使得融资难度较高。同时，电价竞争加剧、国际竞争挤压等方面的影响，导致项目融资存在较强的挑战性。

1.4 环境与政策

对于环境与政策层面，主要体现在以下几点：（1）生态环境保护压力。鸟类迁徙路径、生态敏感区等都会限制选址，且为更好地保护生态环境，采取环保措施也会增加一定成本^[5]。（2）社区冲突。风电项目建设过程中产生的噪声、征地补偿等问题会引发与当地居民的矛盾，出现冲突问题，也是目前项目建设管理的常见痛点，导致项目延迟落地。（3）政策支持不足。部分地区对风电环保效益不了解，公众认知偏差，难以认同项目的建设开展，也影响相关政策的落实，政策支持不足的情况下使得项目建设管理水平偏低。

2 技术创新：智能化与模块化驱动效率提升

2.1 智能监控与运维系统

为提高项目建设管理实效性，应加强技术创新，有效运用智能监控与运维系统。系统采取 B/S 架构，支持多种客户端，不同用户都可通过不同设备登录系

统,进行相关功能模块的点击操作。系统通过云平台存储处理大量数据信息,依托大数据分析技术,建立相应的模型,能够对风电综合能源的使用情况进行监控分析,进而评估风电项目运行状况和性能表现。同时,设置开放接口,第三方可通过平台提供应用和服务,且支持定制化开发,可与其他系统有效集成,满足多样化管理需求^[6]。

对于智能监控与运维系统来说,其核心技术包括物联网通信管理、移动互联网、云计算、大数据分析、人工智能等。比如针对物联网通信管理来说,可高效交换风电设备之间的数据,且将数据实时传至监控中心,便于工作人员查看了解。针对人工智能来说,可根据大量的数据信息自动预测可能发生的事故,进而在监测到异常数据时能够进行自动预警和报警,第一时间通知工作人员,以提高运维效果,避免故障扩大化。

系统具备多个功能:(1)实时监测功能。可配合传感器,对风力发电机的各项运行参数进行监测,包括温度、风速、风向等。同时,还可在风电机舱等重要区域安装摄像装置,实现视频实时监控,便于工作人员第一时间发现故障等相关隐患风险。(2)智能预警与告警功能。利用 AI 技术、大数据分析技术等,可自动识别潜在风险,并通知运维人员及时检查维护。当设备出现故障、运行参数异常时,系统也能立即发出告警信息,并进行告警分级,不同级别采用不同声音提示,以及同步进行录像存储,便于后续分析总结^[7]。

(3)数据分析功能。系统可根据时间节点自动生成相应的报告,报告内含有运行数据、告警次数、故障位置等相关信息。(4)决策支持功能。利用 AI 算法、大数据分析等技术,可对风电场进行战略决策分析,并利用离散率等分析工具,进一步优化运营风电项目提供有力依据。(5)运维管理功能。规范优化运维管理流程,高效实现故障与运维信息的传输、交流、跟踪,不仅可提高运维效率,还能降低运维成本。同时,还可对运维任务进行工单化管理,记录运维人员的任务分配、执行情况与结果等情况,便于监督和后期考核管理。

2.2 模块化施工技术

模块化施工技术的有效应用能够提升项目建设效率、降低成本、提高质量,且该技术具有良好的环境适应性,能够减少对生态环境的破坏,降低海上作业风险。针对新能源风电项目建设采取模块化施工技术,主要需对以下关键环节加强管理控制:(1)模块化设计。采取分体式机组设计,将风电机组分解为多个独立模

块,统一接口标准,保证后续运输稳定,能够快速组装。采用混凝土或钢结构预支基础模块,如重力式基础、桩基等,这样可减少施工现场浇筑时间。将升压站、变压器、控制系统等设计为集装箱式模块,实现“即插即用”^[8]。(2)工厂化预制。在工厂内提前完成各个模块的制作、预装等环节操作,能够更好地把控施工质量。同时,工厂生产过程中采取自动化生产线、数字化检测技术等手段,可保证模块一致,提高其精度和可靠性。(3)运输优化。通过公路、海运等方式进行分批次运输,不仅节约成本,还能减少超限运输需求,保证运输质量,该方式更适用于偏远地区或海上风电项目。(4)现场快速组装。预制模块到达项目施工现场后,可通过大型吊装设备进行模块化拼装,有效减少吊装窗口期。同时,在现场组装过程中还可利用增强现实技术、BIM 技术等进行现场指导,提高组装精确度,保证施工建设质量。

2.3 数字化设计平台

随着新能源行业的快速发展,以及全球对节能环保的重视度,全球风电装机总量及装机容量快速增加。但由于风电项目规模大、周期长、投入资金多,且管理复杂困难,所以为更好地满足电力行业发展需求,解决能源供应问题,还需加强重视前期设计环节,能够运用数字化设计平台提高设计方案的可行性、有效性、科学性。比如新能源风电项目设计环节,运用 GIS 技术、BIM 技术等先进手段,对风电场景的虚拟地理环境进行建模,以 360 度全景全方位的方式展示^[9]。设计人员可通过数字化设计平台进行选址设计、风机及箱变基础设计、场内集电线路设计等多个设计作业,可实现从初步设计到施工图阶段的全设计流程的数字化。如针对风电场集电线路路径设计来说,设计人员利用平台技术,可搭建三维虚拟模型,与现有设备结合,进一步完成输电线路的规划,以及自动排塔、线路周边地形的仿真实验,这样可避免不合适立塔及跨越的区域,提高选线规划设计效果,不仅能降低设计成本,还能保护生态环境,提高后期项目建设运行效果。

3 管理创新:全流程协同与风险控制

3.1 供应链协同管理

提高项目建设管理效果,应采取供应链协同管理模式,利用信息化技术对风电产业链上各个环节的运作进行优化和协调,整合资源。对于供应链协同管理来说,主要涉及原材料采购、设备制造、运输安装、运维维护等关键环节。

在供应链协同管理过程中,借助先进技术,建设运行对应的管理系统,可通过不同功能模块进行相应的管理监督,以实现各个环节协同配合。(1)供应商管理。该模块中可对供应商的基础信息、产品信息等相关数据信息进行跟踪、管理,可帮助项目管理人员及时了解情况,选择更合适的供应商。(2)订单管理。可对整个生命周期进行跟踪管理,包括订单的生成、确认、分配、执行和结算等环节,保证订单准确及时交付,保障项目进度。(3)生产计划。根据市场需求、资源配置等多方面情况进行综合分析,以更好地制定生产计划,保证风电设备生产质量,推动风电项目的高效建设施工。(4)物流管理。可对设备的运输、配送等各个环节进行实时跟踪管理,保证设备可按时安全到达项目施工现场。(5)数据分析。采集、整理和分析供应链相关的数据,为决策提供支持和业务优化的依据,帮助企业做出准确及时的决策,提升供应链管理水平。

3.2 EPC 总承包模式优化

优化EPC总承包模式,以降低项目成本,提升项目建设水平。首先,优化设计环节,能够借助BIM技术等优化设计方案,在设计过程中加强与采购、施工等部门的沟通力度,提高协作配合效果,减少项目变更问题的发生。其次,优化采购环节,可采取公开招标、邀请招标等多种招标方式,引入竞争机制,以降低采购成本。同时,建立完善的供应商评估和选择体系,提高供应商管理质量,减少风险问题的发生。最后,优化施工环节,合理选择施工团队,对施工过程进行全方位监督管理,以及做好施工安全管理,保证施工质量。

另外,还需优化项目风险管理。针对招投标风险来说,风电项目的设计、采购等事项的总承包属于法定必须招标的项目范畴,需严格遵循规定要求,提高招投标工作开展的公平性、公正性、公开性。针对合同风险来说,在签订EPC总承包合同和分包合同时,需确定双方的义务、权利,以及风险分担条款。在合同签订后,后续也要做好跟踪管控工作,了解合同的履行情况,并解决合同履行期间存在的问题,避免经济损失。

3.3 全生命周期管理系统

实现全生命周期项目管理,可完善风电项目管理流程,系统的运行主要涉及项目规划、设计、建设、运营及退役多个环节,通过数字化、智能化管理能够提高效率、降低成本、优化资源、控制风险,以推动

风电项目可持续发展。以下就系统核心模块和关键功能作出分析,比如针对前期规划与开发阶段来说,可根据气象数据、GIS技术等,建立模型,确定最佳风电场选址。利用数字化规划平台,集成多源数据,生成三维可视化选址方案。针对采购与建设阶段来说,优化运用供应链管理,提高管理实效性。采用无人机巡检、AI图像识别技术等先进手段对施工过程进行监督管理,有效识别隐患,规避风险。针对运营与维护阶段来说,可采取智能运维平台、资产健康管理方式等,进一步保证设备运行的安全性,延长设备使用寿命,提高风电项目整体运行水平。针对退役与回收阶段来说,可采取循环经济管理模式,对废旧叶片等材料进行回收再利用,或者通过全生命周期数据存档,为后续相关项目的建设提供参考。

4 结束语

新能源风力发电站项目的高质量建设管理,能够提升风力发电站运行效率,节约能耗,降低环境污染,更好地达成节能、减排、环保目的。项目管理人员应加强重视,明确存在的管理问题,以更新观念,通过运用智能监控与运维系统、采用模块化施工技术、实施供应链协同管理、运行全生命周期管理系统等方式提高项目建设管理质量,解决能源供应问题,保护生态环境,为电力行业及社会可持续发展提供助力。

参考文献:

- [1] 刘永珍,冯楠,尚智文.新能源风力发电站项目建设管理[J]. 工程施工与管理,2023,01(06):7-9.
- [2] 孙磊.新能源光伏电站项目建设管理优化策略研究[J]. 电脑采购,2020(05):205-207.
- [3] 刘剑波,苗驰壮,吴振,等.新能源风电工程建设施工的管理要点分析[J]. 大观周刊,2020(21):361.
- [4] 刘鹏,孙崇峰.新能源光伏电站建设安装中存在的问题及技术难点[J]. 电脑校园,2020(11):8288-8289.
- [5] 袁敏.基于新能源开发的风电工程项目管理的难点及改进途径探讨[J]. 建筑工程技术与设计,2021(32):1493-1494.
- [6] 周正永.风力发电项目建设期的风险管理和风险对策研究[J]. 水电科技,2023,06(05):96-98.
- [7] 吴艳明.风力发电工程建设项目现场管理探讨[J]. 科学与财富,2021(27):391-392.
- [8] 李晓蓓.电力建设工程项目管理过程中的风险控制分析[J]. 汽车博览,2022(36):176-178.
- [9] 杨少华.探讨风力发电厂的施工建设管理策略[J]. 流体测量与控制,2024,05(06):67-70.

公路隧道施工安全风险管理的动态评估与应对策略

马文钊

(四川公路桥梁建设集团有限公司公路隧道分公司, 四川 成都 610222)

摘要 对公路隧道项目进行科学的风险评估与严格的施工安全管理是保障施工安全的基石。然而, 当前公路隧道施工中存在的管理疏漏与不足, 致使安全事故频发, 给施工人员的生命和财产安全带来了巨大威胁。为了确保施工活动能够安全、有序地进行, 本文基于公路隧道施工安全风险, 分析了施工安全风险管理的动态评估, 并提出了相关的管理措施, 以期提升公路隧道施工安全风险管理的效能提供有益参考。

关键词 公路隧道; 施工安全; 风险管理; 动态评估; 风险预警

中图分类号: U455.1

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.20.027

0 引言

公路隧道施工作为现代交通基础设施建设不可或缺的一环, 需要穿越复杂多变的地质结构、面对极端恶劣的作业条件以及满足高难度的施工技术要求, 并且施工期间始终伴随着一系列严峻的安全挑战。公路隧道施工安全风险动态评估就是在公路隧道施工的各个阶段, 对施工现场进行全面、系统且科学的评估, 有效识别潜在的安全隐患, 预测可能发生的安全风险, 从而确保施工过程中人员、设备、材料的安全, 保障施工质量和进度, 有效减少事故的发生, 维护社会的稳定与经济的持续发展^[1]。通过施工安全风险评估, 施工方可以及时掌握施工现场的安全状况, 对潜在的风险因素进行精准识别与评估, 进而采取相应的预防措施, 将安全风险降至最低, 可以提升施工的安全性, 避免因安全事故导致的工期延误和成本增加。

1 公路隧道施工安全风险分析

1.1 人为风险因素

人为因素在公路隧道施工安全风险中尤为关键。施工人员的操作不当、安全意识薄弱、违规作业等行为, 都是引发安全事故的重要原因。例如: 施工人员未按照操作规程进行钻孔、爆破作业, 可能导致围岩损伤加剧, 增加坍塌风险; 忽视个人防护装备的使用, 如在粉尘浓度高的环境中不佩戴口罩, 可能引发职业病^[2]。此外, 管理人员对安全管理的忽视、安全培训不到位等问题, 也会间接增加人为风险。

1.2 环境因素

气候条件、水文条件等自然因素也会对公路隧道施工安全产生较大影响。暴雨、洪水等极端天气事件

可能导致隧道施工区域积水严重, 不仅会影响施工进度, 还可能引发坍塌、涌水等安全事故; 高温、寒冷等极端气候条件也可能对施工人员的身体健康和施工设备的正常运行造成不利影响。

1.3 技术风险因素

施工工艺不当、设备故障等技术因素也是导致公路隧道施工安全事故的重要原因。施工工艺的选择和实施直接关系到隧道的稳定性和安全性。例如: 支护结构的选型不合理、支护参数设置不当等, 都可能导致隧道围岩失稳。施工设备的性能状态对施工安全同样至关重要。设备故障、老化等问题可能导致施工中断, 甚至引发安全事故。

1.4 地质风险因素

在公路隧道施工中, 地质条件是决定施工安全性的关键因素之一。隧道往往需要穿越复杂多变的地质构造, 如断层、破碎带、软弱岩层等, 这些地质异常体具有极高的不稳定性, 给隧道掘进和支护工作带来了极大的挑战; 断层和破碎带中的岩石破碎、节理发育, 使得隧道开挖后围岩自稳能力极差, 容易发生坍塌事故; 地下水位的变化和地下水的渗透可能会导致隧道内涌水、突水等安全事故, 不仅威胁施工人员的生命安全, 还可能造成施工设备的损坏和工期延误。

2 公路隧道施工安全风险管理的动态评估

2.1 风险辨识阶段

在公路隧道施工项目的初期, 为了确保工程的安全与顺利进行, 需要进行全面的风险辨识, 包括现场勘查, 以直接观察施工环境、地质条件、设备状况等潜在风险因素。可以邀请具有丰富经验和专业知识的

隧道工程专家，利用其深厚的行业背景和判断力，识别可能存在的技术难题、管理漏洞或外部影响因素。通过这些方式，全面、系统地识别出隧道施工过程中可能遇到的各种风险因素，为公路隧道后续的风险管理奠定坚实的基础^[3]。

2.2 风险评估环节

在风险辨识的基础上，要采用定性与定量分析相结合的综合评估方法，对已辨识出的风险因素进行深入剖析。定性分析侧重于根据风险发生的可能性和其对项目造成的潜在影响程度进行主观判断与分类，通常依赖于专家打分、历史案例对比等手段。而定量分析则更加精确，其利用数学模型、统计方法等工具，计算风险事件发生的概率以及一旦发生可能带来的经济损失、工期延误等具体损失值，从而对风险进行量化评估，为施工安全风险应对策略的制定提供科学依据。

2.3 风险监控过程

为了确保公路隧道施工过程中的风险得到有效控制，必须实施全过程的风险监控。例如：实时观察已辨识出的风险因素的发展动态，保持对可能新出现的突发风险的警觉。通过安装监控设备、定期巡查、数据分析等手段，记录和查询风险的发展状况，及时发现任何异常或不利趋势。一旦发现潜在问题，立即启动应急响应机制，迅速采取措施予以解决，防止风险升级或转化为事故。

2.4 风险预警机制建设

为了进一步提升施工安全风险管理的主动性与前瞻性，需要建立有效的风险预警机制。该机制基于风险评估的结果，设定合理的风险预警指标和阈值。当监控数据显示某项风险指标接近或达到预警值时，系统能够自动触发预警信号，及时通知相关人员。随后，根据预警级别，迅速启动相应的应急预案，采取预防措施或紧急干预，最大限度减少风险带来的负面影响，保障公路隧道施工的安全与效率。

3 公路隧道施工安全风险管理体系

3.1 健全管理制度

在公路隧道施工活动中，安全事件的发生往往源于作业过程中沟通不畅，构成了重大安全隐患。具体而言，一些维修人员在执行设备维修任务时，未能及时通知相关岗位的工作人员并挂上检修标识牌，导致操作人员因不知情而误操作，即便设备处于非正常运行状态，仍继续作业，从而引发安全事故。为解决这一问题，需要建立健全的管理制度，包含检修流程、挂摘牌规范、安全锁使用及确认记录等多个方面。通过制度的实施，从根本上消除安全隐患，确保公路隧

道施工流程更加标准化、规范化。此外，需要建立安全奖惩机制，对在施工安全管理方面表现突出的单位或个人给予表彰与奖励，对安全管理不善的单位或个人实施处罚与问责，以此激励全体员工积极参与安全管理，提升整体安全管理效能，全方位保障施工人员的安全与财产安全^[4]。

3.2 建立紧急应对预案

建立紧急应对预案是确保施工安全管理有效性的核心环节，尤其在面对突发事件或事故时，迅速且科学的应对措施能够最大限度地减少损失，保护人员安全，维护施工秩序。首先，构建完善的事故报警机制，一旦施工现场出现任何异常情况，能够立即触发报警，确保相关信息迅速传达至相关人员，包括现场管理人员、安全监督员以及应急救援队伍，为及时响应打下坚实基础。其次，明确各类事故的紧急处理程序，包括工人的紧急疏散路线、现场封锁与隔离措施以及初步的事故控制手段，如切断电源、关闭危险源等，防止事态进一步恶化，保障人员安全撤离。同时，预案中还应详细规划事故后续处理步骤，涵盖伤员的初步救治与转运、事故现场的清理与恢复以及事故原因的深入调查与分析，确保每一步都有章可循，有序进行。最后，为了验证和优化紧急应对预案的有效性，需要进行定期演练。通过模拟不同类型的施工事故，如火灾、坍塌、设备故障等，不仅可以检验预案的实际操作性和可行性，还能在演练中发现潜在的问题与不足，为预案的持续优化提供宝贵依据。演练结束后，应及时组织总结会议，分析演练过程中的亮点与不足，提炼经验教训，确保预案在实战中能够发挥出最佳效果。

3.3 建立信息沟通与协调机制

第一，确立明确的沟通渠道和协作流程。公路隧道施工设计单位、施工单位、监理单位以及应急管理部门等，必须建立稳定的联系方式，确保在紧急情况下能够迅速、准确地传递信息，形成快速反应机制。同时，各方还需就协作流程达成共识，明确在突发事件发生时各自的角色与责任，以及信息传递、资源调配、应急响应等关键环节的操作流程，确保协同作战的高效性和有序性。

第二，借助现代化的通信技术和信息平台。可以充分利用云计算、大数据、物联网等信息化技术，构建统一的信息平台，实现施工现场的实时监测和数据共享。通过这一平台能够实时反映施工进度、设备状态、人员分布等关键信息，提供预警、报警等功能，帮助管理人员及时发现并处理潜在的安全隐患。而且，信息平台还能促进施工各方之间的信息共享，提高信息传递的效率和准确性，为协同作战提供有力支持。

第三, 加强各方的沟通协调能力。施工各方需要具备专业的知识和技能、良好的沟通协调能力和团队合作精神。可以通过定期召开协调会议、组织联合演练等方式, 增进各方之间的了解和信任, 提高协同作战的默契度和效率; 邀请专家进行沟通协调技能培训, 提升施工人员的沟通协调能力, 确保在紧急情况下能够迅速形成共识, 共同应对挑战。

第四, 建立健全监督管理机制。通过建立应急处置指挥中心、设立安全监测岗位等方式, 加强对公路隧道施工现场的监督管理。应急处置指挥中心负责统筹协调各方资源, 指导应急处置工作; 安全监测岗位则负责实时监测施工现场的安全状况, 及时发现并解决安全隐患。

此外, 还可以建立信息反馈机制, 鼓励施工人员积极报告安全隐患和问题, 为持续改进信息沟通与协调机制提供有力支持。通过这些措施的实施, 可以确保施工现场的安全稳定, 为公路隧道施工的顺利进行提供有力保障。

3.4 应用安全技术手段

1. 引入现代化的监控系统。监控系统能够对施工现场进行全天候、实时地监控, 确保施工过程中的每一个细节都处于掌控之中。高清晰度摄像头能够捕捉到施工现场的每一个细微变化, 无论是人员操作、设备运行状态, 还是地质条件的变化, 都能被清晰记录。与此同时, 可以结合各类传感器, 如位移传感器、应力传感器等, 实时监测隧道围岩的稳定性, 以及施工过程中的各种力学参数, 从而及时发现可能存在的安全隐患。一旦发现异常情况, 监控系统能够立即触发警报, 提醒现场管理人员和施工人员采取紧急措施, 有效避免事故的发生。此外, 监控系统的建立还为事故调查提供了直观、准确的证据, 有助于快速查明事故原因, 为后续的安全管理提供宝贵经验。

2. 应用先进的施工技术和设备。通过先进的技术手段提高施工效率, 减少对工人的依赖性, 降低人为因素导致的安全风险。例如: 采用自动化、智能化的施工设备, 如遥控挖掘机、智能支护系统等, 可以大幅度减少施工人员在危险区域的操作时间, 降低因操作不当或疲劳导致的安全事故风险。此外, 利用三维建模、虚拟现实等技术手段进行施工模拟和风险评估, 还可以在施工前对施工方案进行优化, 确保公路桥梁施工过程的安全性和可行性。

3.5 加强施工人员培训与教育

通过系统的培训与教育提升施工人员的安全认知与技能水平, 进而减少公路隧道施工中的事故率, 确

保施工现场的安全。首先, 培训与教育内容需广泛且深入, 应涵盖安全操作规程、紧急救援技巧、危险预防与应对策略等多个方面, 并根据不同岗位的具体需求进行个性化设计, 以确保培训的精准性和实效性。针对施工现场可能遭遇的各类风险, 培训内容应着重强调预防措施与应对策略, 使施工人员在面对紧急状况时能够迅速、准确地采取行动。其次, 培训与教育应采用多元化的形式, 包括理论授课、实地模拟演练、经典案例分析等, 以激发施工人员的学习热情, 加深他们对安全知识的理解与掌握。特别是通过实地模拟演练和案例分析, 能够将抽象的安全理论转化为具体的实践应用, 帮助施工人员更直观地理解安全知识, 提升他们在紧急情况下的应对能力^[5]。此外, 培训与教育应紧密结合施工现场的实际情况, 注重实用性和针对性。施工单位应根据自身特点和实际需求, 定期举办培训活动, 针对不同岗位的施工人员进行定制化培训, 确保培训内容与实际工作紧密衔接, 提升培训的实用性和针对性。最后, 培训与教育是一个持续优化的过程, 需要不断跟进与改进。公路桥梁施工单位应建立完善的培训与教育机制, 定期对培训效果进行评估, 根据评估结果及时调整和优化培训方案, 确保培训与教育工作的持续性和有效性。

4 结束语

公路隧道施工安全风险管理的动态评估与应对策略是保障施工安全的重要手段。通过全面识别、评估、监控和预警风险, 采取针对性的风险管理措施, 可以有效降低安全风险, 确保隧道施工顺利进行。公路隧道施工企业应进一步加强安全风险管理的理论研究和实践应用, 不断提高施工的安全管理水平, 为公路隧道施工安全提供充分的保障。

参考文献:

- [1] 李辉. 浅谈公路工程桥梁隧道施工安全评估监控技术[J]. 中国设备工程, 2023(05):245-247.
- [2] 周俊杰. 高速公路工程施工安全管理存在的问题及应对措施[J]. 大众标准化, 2022(06):91-93.
- [3] 芦海军. 山区高速公路高桥墩的施工安全管理措施[J]. 北方建筑, 2022,09(01):87-90.
- [4] 刘慧莹. 浅谈高速公路施工安全管理信息化的开发与应用[J]. 中国交通信息化, 2022,291(01):41-43.
- [5] 陈宇雄. 高速公路隧道施工安全管理研究与对策[J]. 大众科技, 2022,25(11):41-43.

房屋建筑外墙防渗技术应用分析

赵一俐

(安徽阜阳天元建设工程有限公司, 安徽 阜阳 236000)

摘要 本文探讨了房屋建筑外墙防渗技术的应用及其必要性, 针对砂浆抹灰饰面外墙、大模板预制外墙板墙面、框架轻质砌块填充墙以及女儿墙等不同类型的外墙结构, 详细分析了渗漏问题的成因、综合防渗措施以及修漏技术, 并提出通过采用先进的施工工艺、优质的防水材料以及科学的施工管理等一系列外墙防渗措施, 旨在提升建筑物外墙的防渗性能, 从而延长建筑物的使用寿命, 提升居住环境的舒适度, 保障建筑结构的整体安全性。

关键词 房屋建筑外墙防渗技术; 防水材料; 防渗性能

中图分类号: TU761.11

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.20.028

0 引言

房屋建筑外墙作为抵御外界风雨侵蚀的第一道防线, 其防渗性能直接关系到建筑物的质量、安全性和使用寿命。外墙渗漏不仅会导致墙体开裂、霉变、脱落等美观性和功能性问题, 还可能对室内装修造成损害, 增加维修成本, 甚至影响居民的健康。随着建筑技术的不断进步和人们对居住环境要求的提高, 外墙防渗技术已成为房屋建筑施工中的重要环节。本文综合探讨房屋建筑外墙防渗技术的应用, 分析不同类型外墙结构的渗漏问题及其解决方案, 以为建筑施工提供科学的指导和实践参考。

1 房屋建筑外墙防渗技术应用的必要性

房屋建筑外墙防渗技术的应用至关重要, 它直接关系到建筑物的使用寿命、居住环境的舒适度以及建筑结构的整体安全性。外墙作为房屋的第一道防线, 承受着外界风雨、温差变化等多种因素的侵蚀^[1]。如果外墙防渗措施不到位, 就会导致墙体渗漏, 进而引发一系列问题, 如墙体开裂、霉变、脱落等, 严重影响建筑的美观性和功能性。此外, 外墙渗漏还可能对室内装修造成损害, 增加维修成本。因此, 在房屋建筑施工过程中, 必须高度重视外墙防渗技术的应用, 从设计、施工、材料等多个环节入手, 采取综合措施, 确保外墙的防渗性能。同时, 随着建筑技术的不断进步和人们对居住环境要求的提高, 外墙防渗技术也需要不断创新和完善。通过采用先进的施工工艺、优质的防水材料以及科学的施工管理, 可以进一步提高外墙的防渗能力, 为居民提供更加安全、舒适、耐久的居住环境。房屋建筑外墙防渗技术的应用不仅是建筑质量的重要保障, 也是提升居民生活品质的重要途径。因此, 在房屋建筑施工过程中, 必须加强对外墙防渗

技术的研究和应用, 确保建筑物的外墙具有优良的防渗性能。

2 砂浆抹灰饰面外墙

2.1 综合防渗措施

砂浆抹灰饰面渗漏问题主要集中在门窗与墙体连接处、分格缝以及面层裂缝等部位, 无论发生在哪个部位的渗漏都应采用综合防渗措施进行处理。施工中首先, 要充分浸泡分格条, 浸泡时间不少于1天, 充分浸泡的分格条能够充分吸收, 并发生膨胀, 这样的分格条更加便于嵌固与取出, 既有助于提升施工效率, 也能更好地保障施工质量, 规避外墙渗漏问题。其次, 施工应确保分格条镶贴牢固, 为此在粘结灰制备过程中应合理制定水灰比, 保证粘结灰的稠度, 这样才能确保分格条镶贴牢固。分格条镶贴牢固才能避免出现气泡、砂眼等问题, 保证外墙的防渗效果。抹灰施工之前, 应对基层洒水, 保持基层湿润, 在这种情况下, 抹灰有助于提升底灰与基层之间的紧密贴合^[2]。抹完底灰之后再抹中层灰并进行养护。如果在夏季施工则应适当延长养护时间。再次, 抹灰施工中要保证灰缝密实、砂浆饱满。在设计阶段应合理布置拉结筋、圈梁以及构造柱, 合理设置遮阳板、檐口, 以免屋面水流直接侵袭墙面。阳台、窗台等房屋建筑结构要做流水坡度, 避免出现积水而深入墙面。最后, 施工中要做好地基处理工作, 保证地基稳定性, 以此来规避沉降裂缝。做搓毛、扫毛以及洒毛灰时应合理把握面层收水时间, 避免搓抹过程中对基层造成扰动。

2.2 砂浆抹面外墙修漏

1. 微裂缝封闭法。砂浆抹灰饰面外墙施工过程中容易出现微裂缝, 微裂缝会严重影响外墙防渗效果, 因此在施工中应注重对微裂缝的处理。微裂缝封闭法

是防止房屋建筑外墙渗漏的有效措施。微裂缝封闭法是指借助封闭材料涂刷微裂缝集中区域,起到对微裂缝封闭的作用。首先要合理配置封闭材料,然后均匀涂刷封闭材料,最后再应用有机硅防水剂喷涂封闭材料,进一步强化防渗效果。通过这种方式可以有效解决砂浆抹灰饰面外墙微裂缝渗漏问题。具体而言,施工中应先将墙面风化层清除,然后按照 1:1 的比例将多功能砂浆改性剂与水泥配置成封闭材料,应用封闭材料涂刷建筑外墙,待封闭材料干燥后再喷涂有机硅防水剂,以此来提升房屋建筑外墙防渗效果^[3]。

2. 乳胶水泥浆批面法。乳胶水泥浆批面法也是应用比较广泛的砂浆抹面外墙修漏技术,技术应用过程中首先要清理墙面,不仅要清除墙面的浮灰、杂物,还要将墙面的风化层同步清除干净。之后配置批面料,先在外墙面上批第一度胶乳水泥浆,将其厚度控制在 1.5 毫米,待其干燥泛白之后,再批第二度胶乳水泥^[4],厚度同样为 1.5 毫米,最后用漆刷蘸水按由上至下的顺序涂刷墙面,批面更加和顺、平整。

3. 机喷胶乳水泥砂浆。机喷胶乳水泥砂浆是指借助涂料喷枪对房屋建筑墙面喷涂胶乳水泥砂浆,提升房屋建筑墙面抗渗能力与防渗效果。施工中首先要做好墙面清理与找平,然后按照 10:2:5 的比例配置水泥、胶乳以及黄砂,再加入适量的水配制胶乳水泥砂浆。在原材料中,胶乳可以选用 EVA 胶乳或者丁苯等,黄砂则应选用中细砂。胶乳水泥砂浆配制过程中应先用 50% 的水稀释胶乳,之后在依次加入水泥黄砂混合物以及另外 50% 的水,充分搅拌后再分两次喷涂,必要时还可以喷两度防水剂。

3 大模板预制外墙板墙面

大模板预制外墙板墙面渗漏的原因较多,如阳台、门窗等建筑接缝处处理不当、勾缝干缩产生裂缝、外墙板混凝土质量不合格、外墙板在制作、运输、存放过程中受损等,都会导致大模板预制墙板墙面发生渗漏。

3.1 综合防渗措施

大模板预制外墙板墙面防渗首先要保障外墙板防水结构完整,外墙板防水结构的形状以及尺寸等均要符合设计标准要求。在安装施工之前,应仔细检查外墙板的水平、垂直防水构造,如果发现有损坏现象则应及时修复。其次,应结合外墙防渗施工需求优选防水塑料条。防水塑料条的性能直接关乎着外墙防渗效果,施工中应尽量选用软质塑料条,相较于其他类型的塑料条,软质塑料条的可塑性更强,应用软质塑料条防渗效果更加显著。施工过程中将防水塑料条上部与挡水台阶交接严密,下部则插入排水坡。立缝勾浆过程中应避免对塑料条造成挤压。最后,在浇筑混凝土

土之前应借助油毡将外墙板上下连接键槽处封堵严密,以免漏浆堵塞立腔。

3.2 大模板外墙面修漏技术

1. 接缝渗漏。在处理材料防水的预制外墙板接缝时,防止渗漏是一个至关重要的环节。这些接缝往往是外墙渗漏的潜在风险点,因此需要特别关注并妥善处理。为确保接缝的严密性和防水性能,施工中常采用密封膏作为主要的防渗材料。具体操作步骤如下:首先,将嵌条精准地嵌入预制外墙板的拼缝中,确保嵌条与拼缝紧密结合,不留空隙。随后,向拼缝中均匀挤入密封膏,利用密封膏的弹性和粘附性,将拼缝完全封堵,形成一个连续的防水屏障。在挤入密封膏后,还需进行刮平处理,以确保密封膏表面平整光滑,避免凹凸不平导致防水效果下降。同时,为了防止密封膏在施工过程中受到污染,还需在密封膏表面贴上防污带,待施工完成后及时揭去。对于垂直风的情况,处理接缝时还需特别注意。由于风力作用,垂直墙面的接缝更容易受到侵蚀和破坏。因此,在施工前,应先将接缝处的护面砂浆剔除,以便密封膏能够更好地与墙面结合。

2. 板面渗漏。针对板面渗漏的处理可以采用微裂缝封闭法、多功能砂浆改性剂修补法或者彩色外墙防水涂料喷涂法等。微裂缝修补法主要针对外墙出现大面积微裂缝的情况进行处理,施工中首先要按照 1:1 的比例配置多功能砂浆改性剂与水泥,再加入适量的水配置成封闭材料,应用封闭材料对墙面进行封闭处理,最后在喷两度防水剂。针对板面破损或者较大裂缝的处理则应采用多功能砂浆改性剂修补法,施工过程中首先做好墙面清理,清除墙面疏松混凝土以及浮灰,然后沿修补面涂刷一道多功能砂浆改性剂水泥净浆,借助水泥净浆来提升新老混凝土界面粘结。按 1:2:0.2 的比例配制水泥、砂以及多功能砂浆改性剂,再加入适量水配制砂浆,分层将砂浆填抹修补处,每层厚度控制在 10 毫米以内,各层施工应间隔 2~3 小时,最后在其表面喷涂一道多功能砂浆改性剂水泥净浆。彩色外墙防水涂料喷涂法主要应用于房屋建筑外墙出现裂缝渗漏现象并且有色彩要求的情况。施工之前首先要清理基部,如果存在孔洞或者蜂窝^[5],则应先对其进行整平处理,然后喷涂防水涂料。喷涂过程中应按照由上至下或者由左至右的顺序施工,喷涂两遍。待喷涂层实干后,再喷两度有机硅防水剂。

4 框架轻质砌块填充墙

框架轻质砌块填充墙不仅自重轻,而且具有较强的隔音、保温效果,因此在房屋建筑工程中的应用比较广泛。但框架轻质砌块填充墙也会面临渗漏问题,

砌块规格不同,并且砌块自身的吸水率较大,容易导致界面与砂浆粘结不稳定或者饰面层砂浆失水等问题,进而出现裂缝引发外墙渗漏。

4.1 综合防渗措施

框架轻质砌块填充墙防渗首先要选用标准砌块,保证砌块的规格相同,提升墙面的平整度。墙体施工过程中,要注重检验墙面平整度,针对平整度差异应及时找平。另外,在抹灰之前要对墙体洒水,保持墙体湿润,墙体砌筑之前也要充分浸润砌筑材料。砌筑施工中应确保立缝砂浆饱满,以免存在缝隙造成渗漏。砌筑完成后应用防水砂浆勾缝,提升墙面防渗能力。针对墙体上的脚手架孔洞,应先填满砂浆,然后再应用充分进水的砌块填充孔洞,保证砂浆填充的密实度。

4.2 框架轻质砌块填充墙修漏技术

关于框架轻质砌块填充墙的修漏技术,其实质与砂浆抹灰饰面外墙以及大模板外墙面的修漏技术存在诸多相似之处。在施工过程中,针对不同饰面类型的具体需求,合理地选择和应用相应的修漏方法尤为重要。具体来说,框架轻质砌块填充墙的修漏工作并非孤立进行,而是需要依据墙面的装饰材料或饰面工艺来综合考量。例如:如果填充墙表面采用了砂浆抹灰作为饰面,那么在修漏时就可能借鉴砂浆抹灰饰面外墙的修漏技术,如利用特定的修补材料、工具和工艺来恢复墙面的平整和美观。同样地,如果框架轻质砌块填充墙的外表面采用了大模板工艺进行处理,那么在遇到渗漏或损坏等问题时,也可以参考大模板外墙面的修漏技术。这可能涉及对墙面进行局部清理、填补裂缝、涂刷防水涂料等步骤,以确保墙面的防水性能和整体美观^[6]。

5 女儿墙

女儿墙作为房屋建筑中的关键部位,尤其是当其高度较高或长度较长时,往往成为渗漏问题的多发区。渗漏的成因复杂多样,包括温度变化引发的墙体裂缝、防水层处理不当等。因此,为了有效防治女儿墙的渗漏问题,需要从设计、施工和材料等多个环节进行综合考量。针对长度较长的女儿墙,可以采取增设钢筋混凝土短柱的措施,短柱的间距控制在大约3米,以增强女儿墙的整体稳定性,从而有效预防渗漏。同时,考虑到屋面结构变形可能导致女儿墙与屋面板接缝开裂的风险,可以将靠近女儿墙的预制屋面板改为现浇结构,以显著提升接缝处的强度和耐久性,避免开裂现象的发生。对于高度较高的女儿墙,除了增设钢筋混凝土短柱外,还需要在泛水凹槽的顶部额外加设一

条6厘米厚的钢筋混凝土带。在屋面保温层的施工过程中,必须预留出宽度不小于2厘米的伸缩缝,并确保其不被填死,而是作为排气槽使用。这样,即使保温层在受热后发生膨胀,也不会对防水层造成破坏,同时也能有效避免女儿墙根部因应力集中而产生的裂缝。在砌筑女儿墙时,需要确保砌筑砂浆的强度达到要求,砌块在使用前应充分浸水。在冬季施工时,还应适量掺入防冻剂,以提高砂浆的抗冻性能。同时,砌筑过程应确保砂浆饱满,落水头接水口周围应填满嵌实,防水层应深入接水口内部,以确保防水效果。此外,女儿墙的阴角部位应抹成圆弧面或斜面,圆弧面的半径控制在10~15厘米范围内,斜面的斜度则控制在45度左右。这样的设计有助于提升油毡贴合的牢固性,避免油毡因受力不均而折断,从而引发渗漏问题。最后,还需要做好油毡的收头处理工作,采用石膏嵌缝法进行密封处理。

6 结束语

房屋建筑外墙防渗技术的应用是保障建筑质量、提升居民生活品质的重要途径。针对不同类型的外墙结构,本文提出了具体的综合防渗措施和修漏技术,包括砂浆抹灰饰面外墙的微裂缝封闭法、乳胶水泥浆批面法和机喷胶乳水泥砂浆技术,大模板预制外墙板墙面的防水塑料条应用、接缝处理和板面修补方法,框架轻质砌块填充墙的标准砌块选用、砌筑施工和防水砂浆勾缝措施,以及女儿墙的钢筋混凝土短柱增设、现浇结构应用、伸缩缝预留和油毡收头处理等。通过加强对外墙防渗技术的研究和应用,可以进一步提高建筑物的外墙防渗能力,确保建筑物的长期安全稳定使用。未来,随着建筑技术的不断创新和发展,外墙防渗技术也将不断进步,为居民提供更加安全、舒适、耐久的居住环境。

参考文献:

- [1] 陈国庆.房屋建筑工程外墙防水施工技术分析[J].技术与市场,2023,30(11):118-121,126.
- [2] 年菊丰.外墙防渗工程技术在建筑工程中的应用[J].中国建筑装饰装修,2023(11):127-129.
- [3] 于瑞丽.外墙防渗漏施工技术在房屋建筑工程中的应用[J].居舍,2023(21):58,60.
- [4] 同[3].
- [5] 汪贞伊.外墙防渗工程技术在房屋建筑工程中运用研究[J].工程机械与维修,2023(03):253-255.
- [6] 苏志敏.防渗漏技术在建筑工程设计与施工中的应用研究[J].中国设备工程,2023(09):19-22.

建筑工程主体结构检测的内容与方法

李 柯

(山东魅元工程质量检测有限公司, 山东 济南 250000)

摘 要 建筑工程主体结构检测是保障建筑安全的关键。本文探讨了建筑工程主体结构检测的内容, 包含材料性能、构件尺寸与外观、结构连接构造及结构性能检测。检测方法多样, 无损检测技术如超声、声发射、雷达检测, 可检测内部缺陷; 半破损检测技术中的钻芯法、拔出法能测定混凝土强度; 物联网、BIM 和机器人检测等新兴技术, 可实现实时监测、可视化分析和危险区域检测。本文认为实际检测需综合考虑多种因素, 选择合适的检测方法, 复杂结构更需多方法协同, 以精准评估结构状况。

关键词 建筑工程; 主体结构检测; 无损检测; 新兴技术

中图分类号: TU317

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.20.029

0 引言

建筑工程主体结构作为建筑的核心部分, 其质量直接关乎建筑的安全与稳定, 对人们的生命财产安全有着深远影响。在建筑的全生命周期中, 从新建建筑的质量把控, 到既有建筑的维护、改造与评估, 主体结构检测都发挥着不可替代的作用^[1]。通过科学、精准的检测, 能够全面了解结构的实际状况, 及时发现潜在问题, 为结构的维修、加固以及后续使用决策提供坚实的依据。随着建筑技术的不断进步和建筑规模的日益扩大, 对建筑工程主体结构检测的要求也越来越高, 不仅需要检测方法具备更高的准确性和可靠性, 还需更加高效、便捷, 以适应不同建筑结构和复杂环境的检测需求^[2]。因此, 深入研究建筑工程主体结构检测的内容与方法具有重要的现实意义。

1 建筑工程主体结构检测的重要性

建筑工程主体结构犹如建筑的骨架, 承载着建筑物的竖向和水平荷载, 维持着建筑的整体稳定性。一旦主体结构出现问题, 可能引发建筑局部损坏甚至整体倒塌, 严重威胁人们的生命安全, 造成巨大的经济损失。对建筑工程主体结构进行检测, 能够在早期发现诸如混凝土强度不足、钢筋锈蚀、结构连接松动等问题, 及时采取有效的修复和加固措施, 阻止病害的进一步发展, 延长建筑的使用寿命, 保障建筑在使用过程中的安全性和可靠性。从结构力学角度分析, 建筑主体结构的性能直接影响其在各种荷载工况下的内力分布和变形情况。当结构存在缺陷时, 其力学性能会发生改变, 导致局部应力集中或变形过大, 进而影响结构的整体稳定性。

以混凝土结构为例, 混凝土强度不足会降低结构的承载能力^[3], 使得结构在正常使用荷载下就可能出现裂缝、变形等问题; 钢筋锈蚀不仅会削弱钢筋的截面面积, 降低其承载能力, 还会导致钢筋与混凝土之间的粘结力下降, 影响两者的协同工作性能, 最终危及结构安全。从建筑全生命周期成本的角度来看, 早期进行主体结构检测并及时处理问题, 相较于结构损坏后再进行修复或重建, 能够显著降低成本^[4]。及时发现并修复结构的微小缺陷, 可以避免缺陷发展成严重病害, 减少维修和加固的工作量和成本, 同时也能减少因建筑停用或拆除重建带来的间接经济损失。

2 建筑工程主体结构检测内容

2.1 材料性能检测

混凝土作为建筑工程中最常用的材料之一, 其强度、弹性模量、耐久性等性能指标直接影响结构的承载能力和稳定性。通过超声回弹综合法、钻芯法等检测手段, 可以准确测定混凝土的实际强度。超声回弹综合法是基于超声声速和回弹值与混凝土强度之间的相关性, 通过测量这两个参数来推定混凝土强度。该方法在大量试验研究的基础上, 建立了超声声速、回弹值与混凝土强度的经验公式, 具有操作简便、检测效率高、对结构损伤小等优点, 但需要注意的是, 其检测结果受到混凝土原材料、配合比、养护条件等因素的影响, 在使用时需进行修正。

钢材的力学性能如屈服强度、抗拉强度、伸长率等, 以及其品种、规格和锈蚀情况, 对钢结构和钢筋混凝土结构的性能至关重要。在一些建筑中, 钢筋锈蚀会导致其截面减小、力学性能下降, 严重影响结构的安

全性,因此需采用相应的检测方法对钢材性能进行检测评估。常用的检测方法包括外观检查、电磁感应法、电化学法等。

砌体结构中的块材和砂浆强度,以及砌体的抗压、抗剪性能,关系到砌体结构的承载能力和抗震性能。在老旧砌体建筑中,由于材料老化和环境因素影响,砌体性能可能会下降,需要进行检测以评估结构的安全性。对于块材强度,可采用回弹法、取样试验等方法进行检测;砂浆强度检测则常用贯入法、回弹法等。这些方法通过测量块材或砂浆的表面硬度、贯入深度等参数,结合经验公式来推定其强度。

2.2 构件尺寸与外观检测

构件的实际尺寸与设计要求的偏差会对结构的受力性能产生影响。梁、板、柱的尺寸偏差可能导致其承载能力不足或内力分布异常。从结构力学原理出发,构件尺寸的变化会改变其截面惯性矩和刚度,进而影响结构的内力分布和变形。对构件外观进行检测,及时发现裂缝、变形、蜂窝、麻面等缺陷,对于评估结构的安全性和耐久性至关重要。裂缝不仅会影响结构的美观,还可能成为结构破坏的隐患,如不及时处理,可能导致结构的承载能力下降。裂缝的产生原因较为复杂,可能是由于混凝土收缩、温度变化、荷载作用、地基不均匀沉降等因素引起的^[6]。根据裂缝的形态、宽度、深度以及分布情况,可以初步判断裂缝的成因和对结构的影响程度。

2.3 结构连接与构造检测

建筑结构的连接节点,如梁与柱的节点、钢结构的焊接节点等,是保证结构整体性和传力性能的关键部位。节点的连接方式、焊接质量、螺栓紧固程度等直接影响结构在荷载作用下的性能。从结构传力路径来看,连接节点起着传递内力的重要作用,良好的连接节点能够确保结构在荷载作用下内力的顺畅传递,使结构各部分协同工作。结构的构造措施,如钢筋的锚固长度、箍筋的配置、墙体的拉结筋设置等,对结构的抗震性能和整体稳定性有着重要影响。不合理的构造措施会削弱结构的抗震能力,在地震作用下容易引发结构的破坏。

2.4 结构性能检测

通过现场加载试验,如对梁、板进行静载试验,可以直接测定结构构件在荷载作用下的变形、裂缝开展情况以及承载能力,从而评估结构的实际性能是否满足设计要求。静载试验是在结构构件上逐级施加荷载,通过测量构件在不同荷载阶段的变形、裂缝宽度等参数,绘制荷载—变形曲线和荷载—裂缝宽度曲线,

进而分析结构的性能。在试验过程中,需严格按照相关标准和规范进行操作,确保试验数据的准确性和可靠性。

3 建筑工程主体结构检测方法

3.1 无损检测技术

超声检测利用超声波在混凝土等材料中的传播特性,通过测量波速、波幅等参数,检测结构内部的缺陷、裂缝深度以及混凝土的均匀性。例如:在混凝土灌注桩的检测中,超声检测能够有效发现桩身的缩颈、夹泥等缺陷。超声波在混凝土中传播时,遇到缺陷会发生反射、折射和绕射现象,导致波速、波幅等参数发生变化。通过分析这些变化,可以判断缺陷的位置、大小和性质。超声检测具有操作简便、检测速度快、对结构无损伤等优点,但对检测人员的技术水平要求较高,且检测结果的准确性受混凝土内部结构和测试条件的影响较大。

声发射检测通过监测结构在受力过程中产生的声发射信号,可判断结构内部的损伤情况和发展趋势,用于实时监测结构的安全状态。当结构内部发生损伤,如裂缝扩展、钢筋断裂等时,会释放出弹性波,即声发射信号。声发射检测技术通过对这些信号的采集、分析和处理,可以确定损伤的位置、类型和严重程度。

雷达检测利用电磁波在介质中的传播特性,对结构内部的钢筋分布、混凝土缺陷等进行探测,具有快速、高效、无损的特点。在对既有建筑的检测中,雷达检测可以清晰地显示出钢筋的位置、数量和混凝土内部的空洞等缺陷。雷达发射的电磁波在混凝土中传播时,遇到不同介质的界面会发生反射和折射,通过接收反射波的强度、时间等信息,可以构建出结构内部的图像,直观地反映出钢筋和缺陷的分布情况。

3.2 半破损检测技术

钻芯法是从结构构件中钻取芯样,通过对芯样的抗压试验,直接测定混凝土的实际强度,检测结果较为准确可靠,但会对结构造成一定程度的局部损伤。在对某老旧建筑的混凝土强度检测中,钻芯法能够提供直观准确的强度数据,为后续的结构评估和加固提供重要依据。钻芯法的优点是检测结果直接反映混凝土的实际强度,可信度高。但在钻芯过程中,会对结构造成局部损伤,影响结构的外观和性能,因此需要在检测后对芯样孔进行妥善处理。同时,钻芯法的操作较为复杂,需要专业的设备和技术人员,检测成本相对较高。

拔出法是将安装在混凝土中的锚固件拔出,根据拔出力的大小来推算混凝土的强度,操作相对简便,对结构的损伤较小。拔出法适用于各种混凝土结构,

在现场检测中应用较为广泛。该方法基于混凝土与锚固件之间的粘结力与混凝土强度的相关性,通过测量拔出力来推定混凝土强度。拔出法具有操作简单、检测速度快、对结构损伤小等优点,但检测结果受锚固件的安装质量、混凝土的表面状况等因素影响较大,在使用时需要严格按照标准规范进行操作。

3.3 基于物联网和 BIM 技术的检测手段

物联网技术通过在建筑结构中部署大量的传感器,实现对结构的实时、远程监测,能够及时获取结构的应力、应变、位移等数据,并进行数据分析和处理,为结构的安全评估提供依据。在智能建筑中,物联网技术可以实时监测结构的健康状况,一旦发现异常情况,及时发出预警信号。物联网技术利用传感器网络、无线通信技术和云计算等,实现对结构数据的实时采集、传输和存储。通过对大量监测数据的分析,可以建立结构的健康监测模型,预测结构的性能变化趋势,及时发现潜在的安全隐患。但物联网技术也面临着数据安全、传感器可靠性等问题,需要采取相应的措施加以解决。

BIM 技术具有可视化、信息集成等特点,可建立建筑结构的三维模型,整合检测数据,直观展示结构的现状和问题,为检测和维护工作提供支持。在建筑工程的全生命周期管理中,BIM 技术可以将设计、施工和检测数据集成在一起,方便各方人员进行协同工作和信息共享。在检测过程中,将检测数据与 BIM 模型相结合,可以直观地查看结构的缺陷位置、类型和严重程度,为制定维修和加固方案提供直观的依据。同时,BIM 技术还可以进行虚拟检测和模拟分析,提前预测结构在不同工况下的性能变化,优化检测方案和维修策略。

3.4 机器人检测技术

利用机器人进行建筑结构检测,可克服人类检测的局限性,提高检测效率和准确性,尤其适用于危险环境和难以到达的区域。如在对高层建筑物的外立面检测中,无人机搭载检测设备可以快速获取外立面的图像和数据,检测裂缝、脱落等缺陷;爬壁机器人则可在垂直墙面上移动,进行近距离的检测作业。在一些大型桥梁的检测中,机器人可以进入桥梁的内部空洞、狭窄空间等人类难以到达的区域,进行全面细致的检测,及时发现潜在的安全隐患。机器人检测技术具有高效、灵活、安全等优点,但也面临着技术成本高、自主导航和智能控制难度大等挑战,需要不断研发和改进机器人的性能和功能,提高其在复杂环境下的适应性和可靠性。

4 建筑工程主体结构检测方法的选择与应用

不同的检测方法具有各自的优缺点和适用范围,在实际检测工作中,需要根据建筑结构的类型、检测目的、现场条件等因素综合考虑,选择合适的检测方法。对于混凝土结构的内部缺陷检测,超声检测和雷达检测都能发挥重要作用,但超声检测更适用于检测较小尺寸的缺陷,而雷达检测则更擅长检测较大范围的缺陷和钢筋分布情况。在对结构的长期健康监测中,物联网技术与传统检测方法相结合,可以实现实时、连续的数据采集和分析,及时发现结构的性能变化。

对于复杂结构或大型建筑工程,单一的检测方法往往难以全面准确地评估结构的状况,需要综合运用多种检测方法,相互补充和验证,以提高检测结果的可靠性和准确性。在实际应用中,还需要考虑检测成本、检测时间等因素,选择最经济、有效的检测方案。例如:在对一些小型建筑的检测中,可能采用简单的外观检查和基本的无损检测方法即可满足要求;而对于大型复杂结构,如高层写字楼、大型体育馆等,则需要综合运用多种先进的检测技术,进行全面、深入的检测评估。

5 结束语

建筑工程主体结构检测是保障建筑安全的重要环节,其检测内容涵盖材料性能、构件尺寸与外观、结构连接与构造以及结构性能等多个方面,检测方法丰富多样。无损检测技术、半破损检测技术以及基于物联网、BIM 技术和机器人检测技术等新兴方法,为结构检测提供了有力的支持。在实际应用中,应根据具体情况合理选择检测方法,并注重多种方法的综合运用,以实现对建筑工程主体结构的全面、准确评估,确保建筑的安全稳定运行。随着科技的不断进步,建筑工程主体结构检测技术也将不断发展创新,未来应进一步加强对新型检测技术的研究和应用,提高检测的自动化、智能化水平,推动建筑行业的可持续发展。

参考文献:

- [1] 丰圣钦.既有建筑主体结构检测鉴定与加固分析[J].江西建材,2024(08):110-113.
- [2] 李士响.房屋建筑主体结构检测技术分析[J].低碳世界,2024,14(03):103-105.
- [3] 纪皖成.钻芯法与回弹法在建筑主体结构检测中的应用分析[J].安徽建筑,2024,31(06):185-186.
- [4] 赵少华.回弹法在建筑主体结构检测中应用研究[J].中国建筑金属结构,2023,22(07):19-21.
- [5] 汪星星.高层建筑主体结构质量检测方法与应用分析[J].安徽建筑,2024,31(05):167-168.

公路工程路基施工技术要点探讨

刘文兵

(安徽拓鑫建设集团有限公司, 安徽 合肥 230031)

摘要 路基是公路的承重主体,其质量直接影响到路面的平整度、承载能力和使用寿命。当前,公路工程建设面临更为复杂的地质条件和更严格的环保要求,城市化进程加速也对路基的稳定性、耐久性提出了更高标准,传统施工技术已经无法满足现代交通负荷增长的需求。本文认为面对公路工程路基施工中质量问题频发、技术应用存在短板、管理能力与环保意识不足等问题,深化对公路工程路基施工技术要点的研究,对推动公路工程路基施工技术的智能化、绿色化、规范化发展具有十分重要的现实意义。

关键词 公路工程;路基施工;分层压实工艺;排水系统;边坡防护

中图分类号:U416.1

文献标志码:A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.20.030

0 引言

基于公路工程的重要性和普遍性,对于公路工程施工技术的研究在不断地进步和深入。当前公路路基施工技术已经形成了能够适应不同地质条件的差异化处理体系,尤其在软土、冻土、膨胀土等特殊地质的应对上有了更加成熟和实用的技术手段。同时,BIM建模、无人机监测等智能化技术的推广应用大幅度提高了公路工程施工中的数据处理效率,以再生材料和表土剥离再利用技术为代表的环保理念技术和实践也越来越深入,公路工程施工技术的研究进入一个全新的时期。但在具体的公路工程路基施工中还存在着一定的问题,优化路基施工技术对提升工程全生命周期价值至关重要。

1 路基施工前期准备

路基施工前期准备是确保公路工程质量和施工效率的核心环节,前期准备通常涉及技术、现场、材料及管理等多个方面的内容。

1.1 技术准备

不同地质条件下的公路工程建设要求不同,所需要采用的技术也不同,这就需要在施工前开展详细的地质勘察与测量放样,准确掌握公路路基的各项设计参数。尤其是要复测导线、中线及水准点,以确保控制桩间距在合理范围内^[1]。在边坡放样环节,针对高填地段,每填1 m复测标高及宽度,控制边坡大小。除此之外,还要结合设计图纸,对地质条件进行反复确认核对,如果施工范围内有软土、膨胀土等特殊地质,需要制定专项处理方案,必要时可以选择一定的试验段验证填充材料的性能和压实参数,选择的路段长度应当在100 m以上,才能确保获取的数据具有代表性。

1.2 现场准备

现场准备阶段主要是对施工场地进行清理,并搭建施工所必需的临时设施。施工场地清理主要是清除路基施工范围内的植被、腐殖土和可能造成施工妨碍的构筑物,在进行表层土的剥离时,一般要清除超过30 cm的表层土,清理出的表层土通常会先行堆放保存,主要用于施工结束后的生态修复。在河塘、池沼等复杂地形周边进行施工时,还需要修筑用于排水的围堰设施,再将水分过高的软弱土层清理干净,以保证公路基底的承载能力^[2]。还需要注意的是,现场准备需要规划设计出能够满足施工过程中的材料和大型机械运输需求的施工便道,以及在进行临时排水系统设计时,充分考虑工程的永久排水设施,以减少后期的二次施工,控制工程的整体成本。

1.3 材料与设备准备

在公路工程路基施工开始之前,必要的材料与设备就应该准备好,这一环节需要严格检查施工材料和工程机械性能。施工材料的检验内容主要包括CBR值、液塑限等,施工材料中的砂性土或渗水土优先用于桥涵的回填,非渗水土则需要加入一定的石灰或水泥对其性质进行改良和强化。根据公路工程路基的厚度、压实标准等设计标准,选择合适功能和型号的压路机、平地机等设备并进行试运行,以确保施工程序的稳步推进。

1.4 管理协调准备

公路工程路基施工是一项复杂程度高、周期长的工程,这一类工程要求将组织管理和风险防范工作落实到事前、事中和事后。在施工开始之前,组建专业的施工队伍,落实技术交底,明确填筑区段的划分和施工工艺流程的衔接。对于施工路段中的高边坡或滑

坡地段,要提前布设位移观测桩和相应的防护措施,确保在施工过程中能够及时准确地观察到地质的变化情况,才能确保施工过程中边坡的稳定性。除此之外,对于大型公路工程的修建,需要提前和地方政府、环保部门沟通好,对于施工过程中产生的弃渣和不利生态影响协商出具体可行的处理与修复方案,以有效控制路基施工的不利影响。

路基施工前期准备在整个路基建设过程中具有非常重要的意义,通过科学的规划和精细化管理,能够为后续分层填筑、压实及特殊地质处理工作提供充足保障。

2 路基施工核心技术要点

路基施工的核心技术贯穿于填筑、挖方、特殊地质处理及全过程质量控制等多个环节,其中最关键的一点在于要充分结合工程的实际功能设计和具体的规范要求,再选择合适的工艺,以实现公路整体结构的稳定与功能耐久。

2.1 分层压实工艺施工技术

分层压实工艺是保障填方路基承载力的一种常见且实用的工艺。在具体的使用时,就是根据基于试验段确定的松铺厚度进行分层填筑,每层压实前需要控制好填料的含水量,含水率一般在 2% 左右最为适宜。在填实作业中,一般会使用重型振动压路机,按照先弱后强、先慢后快的顺序对路基进行碾压,直到路床顶面压实度达到 96%。在填挖交界处,通常要设置一个宽度大于 2 m 的台阶并逐层预留收坡,能够有效地减少路基中的纵向裂缝^[3]。在桥头过渡段一类的特殊部位,需要采用土工格栅进行加固,以减少施工完成后的沉降差异。

2.2 挖方路基开挖和边坡控制技术

路基挖方一般遵循横向分层、纵向分段的方式,每层开挖后同步修建临时的排水沟,避免出现积水,对路基造成侵蚀。如果是石质路基的挖方,也需要在距离坡面 3~5 m 时,采用光面爆破或预裂爆破,并保证钻孔精度满足孔径、间距和角度上的要求。高边坡施工要预留出一定深度的保护层,为后续坡面的修整留出一定的空间。

2.3 排水系统设计

排水系统是公路工程中尤为重要的一个完整性和独立性都比较强的系统,需要考虑不同范围、区域下的分支系统的个性功能和整体性的协同。地表排水支系统通常采用边沟、截水沟与急流槽的硬化处理方式,根据地区设计合适的坡度,加快雨水的排放,避免出现积水。地下排水支系统则一般使用盲沟、渗沟结合

透水土工布,能够有效地防范地下水对路基的软化作用。在城市范围内设计工具路基的排水系统时,还需要利用 BIM 技术优化排水管网布局,避免和城市其他部门的管线布置发生冲突。

2.4 边坡防护与生态修复技术

现代公路工程的路基施工,既要满足公路的质量要求,也要考虑生态保护和绿色施工的需求。公路路基的坡面可以使用三维植被网、砌石框格与喷播植草进行组合防护,能够有效地降低雨水对路基边坡的冲刷风险。在填方边坡,使用强土工格栅,选择大小和强度适宜的石块进行边坡码砌,确保码砌密实无空洞。对于施工过程中制造出的弃渣场,一边进行表土剥离再利用,一边开展植被修复,能够有效地减少公路范围内的水土流失。公路工程的路基施工技术对精细化的程度要求较高,并且需要充分考虑技术与地质的适应性和匹配度,才能实现结构稳定、功能完善的公路体系建设。

3 公路工程路基施工中的特殊路基处理技术

我国幅员辽阔,地质类型复杂多样,特殊地质在我国公路工程建设中比较常见。所以,公路工程特殊路基处理技术是我国公路工程施工技术研究的重点,提高应对复杂地质条件的技术水平,是保障特殊地质条件下路基稳定性的关键环节。目前对于特殊地质的应对手段主要是针对特殊路基的不适应特征进行改善和强化,以提高路基承载力与耐久性,常见的特殊路基类型一般包括软土、冻土、膨胀土、湿陷性黄土、岩溶及采空区等,不同类型的地质特征要求的适配技术也不同。

3.1 软土地基处理技术

软土地基是最为常见的一种特殊地质,对于软土地基的处理通常以复合地基技术为主,也就是利用砂桩、碎石桩或 CFG 桩增强地基的承载力。不同技术的应用有不同的技术要点。例如:砂桩技术需要控制好拔管速度和填砂量,根据实际情况可以选择使用振动法或者锤击法。CFG 桩通常使用振动沉管法,这就需要控制好坍落度,将其控制在工艺试验参数范围内。对于浅层软土,使用换填法更加便捷,先挖除软弱层,然后使用砂砾、片石进行回填,这种方法在换填深度不超过 3 m 时能够达到最佳的效果。

3.2 冻土与膨胀土处理

冻土与膨胀土的处理重点在于控制好土层的温度与水分。现阶段,对于冻土路基,通常会使用热棒技术结合片石通风层,利用热虹吸效应抚平地基的温度波动,以此达到减少冻胀土层的目的。而针对膨胀土,可以在其中加入一定量的石灰,改良土体活性,加设柔性防水层和截水沟阻挡水分的渗透^[4]。除此之外,

针对和冻土、膨胀土类似的具有较强湿陷性的黄土可以使用预浸水法或强夯法进行处理,以高压注水或冲击压实的方式消除土体中的空隙。

3.3 岩溶与采空区处理

有些公路工程需要经过一定路段的岩溶和采空区,针对这种路段的地基,一般会采用综合注浆加固和结构补强的方式。在岩溶区使用高压旋喷桩对溶洞进行填充,旋喷桩的桩体直径一般在1 m左右,水泥浆液压力则不低于20 MPa,以此保证对岩体裂隙的有效充填。对于采空区也是使用注浆的方式,对松散的地层进行固化,或者使用PHC管桩一类的刚性桩直接穿越塌陷带,在刚性桩桩顶可以设置钢筋混凝土承台,能够分散管桩的承载压力^[5]。

3.4 排水与防护系统设计

排水与防护系统是绝大多数特殊地质下公路路基施工必不可少的一部分,是确保特殊路基稳定的基础。其中,盲沟与渗沟需要分层铺设反滤材料,比如直径在30~50 mm之间的碎石粒,厚度在150 mm左右的砂层等,再配合无纺土工布,能够有效地控制细颗粒流失。在高边坡区域通常会设置仰斜式排水孔或复式渗沟,配合三维植被网护坡,也能够起到预防水土流失的效果。

除此之外,在特殊地质下的公路路基施工需要做好施工过程控制和监测工作。利用好新型施工技术手段和高性能环保材料,如将无人机巡检与BIM模型等智能化技术用于实时监控边坡位移与排水系统效能,预警潜在风险,以及使用轻质泡沫混凝土用于填筑,使用聚酯玻纤布配合钢塑格栅用于拼接缝加固,提升新旧路基衔接部位的抗剪强度。

特殊路基处理技术的应用需要综合考虑地质条件的适应性、工艺精准性,并兼顾生态的可持续性,以科学的多技术协同和全周期管理,实现复杂地质条件下路基工程的安全性与长效性。

4 公路工程路基施工质量控制与创新

公路工程路基施工质量控制与创新是保障道路结构稳定性,延长公路使用寿命的必然举措,也是现代化公路施工工艺进步和发展的必然方向。需要以传统工艺的优化为基础,积极推动先进技术的融合,将新技术、新理念贯穿于公路设计、施工、监测全周期管理。

4.1 公路工程路基施工质量控制

公路工程路基施工的质量控制主要集中在两大核心点,即材料和工艺。用于路基填充的材料必须经过CBR值、液塑限等试验的严格筛选,其中的有机土、腐殖质等不合格材料要完全清除出去。在施工工艺上,要尤其注意施工设备的选择,施工顺序的设计等关键

点^[6]。另外,在一些特殊施工部位,如填挖交界处进行施工,要选择有针对性的加固和防范措施,留下一定的容错和修整空间。

4.2 公路工程路基施工技术创新

当前,公路工程路基施工的技术创新主要在数字化技术应用和高性能材料研发两个方向。数字化技术的应用,如使用BIM与GIS的结合实现三维协同设计与地质数据可视化,提高施工方案设计精度和效率。以及在施工过程中使用全自动导向压路机、激光摊铺机等智能建造装备,可以根据北斗定位系统的信息与传感器实时地采集压实度、摊铺厚度等参数,结合数字化平台实现施工作业的人机互动,能够大幅度提高路基施工的均匀性与稳定性。除此之外,在公路路基的质量管控中,已经开始普遍使用无人机航拍和卫星遥感技术,对边坡位移与路基沉降进行监测,以指导施工进度调整。

高性能材料的引入大幅提升了路基的力学性能与耐久性。例如:轻质泡沫混凝土通过掺入发泡剂形成多孔结构,整体密度和重量明显降低,显著降低了地基的荷载压力,还具有良好的保温与抗震性能。生态混凝土采用再生骨料与低碳胶凝材料,既能够满足工程防水排涝的功能性需求,又能够促进植被生长,满足工程建设的绿色环保要求。

5 结束语

公路工程路基施工技术研究关系到我国社会经济的稳定发展。通过数字化平台整合设计、施工、养护数据,构建路基全生命周期性能预测模型,推动行业向高效、低碳、高精度方向持续升级。未来,公路工程路基施工会持续聚焦施工的智能化、环保化与标准化,以更智能的施工工具、更环保的施工材料和更严格的监管推动公路工程施工的进一步发展。

参考文献:

- [1] 乔晓倩.公路工程路基沉陷及翻浆处理施工技术要点[J].运输经理世界,2024(35):49-51.
- [2] 冯占昭.公路工程中填石路基施工技术的应用要点[J].运输经理世界,2024(20):28-30.
- [3] 王伟.公路工程高填方路基施工技术要点及质量控制措施分析[J].运输经理世界,2024(14):5-7.
- [4] 贾亚红.公路工程膨胀土路基施工技术要点研究[J].运输经理世界,2024(04):159-161.
- [5] 李振虎.公路工程施工中路基加固处理的工艺与技术要点[J].交通建设与管理,2023(06):142-144.
- [6] 石海琴.公路工程路基施工技术要点[J].大众标准化,2023(12):67-69.

公路路基路面设计中的软基处理问题

林钦钊

(绵阳市川交公路规划勘察设计有限公司, 四川 绵阳 621000)

摘要 我国地形复杂多样, 不同地区地质条件差异显著, 其中沿海、沿江及湖泊周边区域存在大面积软土地基。此类地基承载力低、压缩性强, 公路工程容易出现路面沉降、变形等情况, 影响公路的使用寿命。本文分析了软土地基特性, 介绍了软基处理常用技术方法, 从分层处理、就地取材、强化排水、简易加筋和选择技术等方面深入探讨了公路路基路面设计中的软基处理策略, 旨在为公路建设提供有益参考。

关键词 公路; 软土地基; 换填法; 预压法; 复合地基法

中图分类号: U416.02

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.20.031

0 引言

公路作为民生出行与城乡融合的重要基础设施, 其建设质量直接关系到乡村振兴成效。当前我国公路面临软土地基分布广、空间异质性强的挑战, 传统处理技术存在“高成本难适配、低成本欠可靠”的双重矛盾。施工方需因地制宜地探索经济可靠的软基处理方案, 通过技术创新与工程实践相结合, 形成可推广的技术路径, 为公路建设提供科学指导, 切实提升道路质量与服务效能。

1 软土地基特性分析

软土是指天然含水量高、空隙多且承载力极低的黏性土, 常见于河滩等低洼区域, 因沉积时间短多呈软塑状态, 质地黏滑, 颜色以灰黑色为主。根据成因差异软土主要包括淤泥、淤泥质土、泥炭土及冲积软土四类。这类土层在路基施工作用下, 因排水缓慢导致持续沉降, 且因抗剪强度低, 易受地下水位变化影响。因此无法直接在其之上进行施工, 否则很容易产生不均匀沉降, 最终对整体公路施工质量造成严重的影响。尤其是在公路工程建成后, 路基由于本身较软, 再加上车辆反复的荷载影响, 很容易导致路面开裂, 出现严重的裂缝, 不仅影响行车体验, 同时对行车安全也会带来严重的影响^[1]。

2 软基处理常用技术方法

2.1 换填法

软土路基施工环境复杂, 对施工技术提出了较高的要求, 在实际处理工作中常应用到换填法, 主要适用于软土深度小于 3 m 的情况^[2]。具体应用时, 施工人员需根据地质勘察数据确定软土分布范围和换填深

度, 并在施工前排除作业区域积水并清理表层杂质, 随后采用挖掘机开挖至设计标高, 若遇地下水需设置临时排水沟降水。回填材料优先选用砂砾等当地易获取的材料, 分层铺筑厚度不超过 30 cm, 每层采用压路机逐层压实, 压实度需达到 93% 以上。对于换填区边缘与原地基的过渡区域, 需按 1:1 ~ 1:2 坡度开挖台阶并错缝回填, 避免新旧土体接触面形成滑动带。施工中施工人员需同步完善排水设施, 在换填层底部铺设透水土工布, 防止地下水反渗软化地基, 完成换填后需进行承载力检测, 采用轻型动力触探验证处理效果, 保障地基满足设计要求。

2.2 预压法

预压法是指施加外部荷载加速软土排水固结、提高地基强度的处理方法。施工人员实施时需先开展地质勘察, 确定软土层的分布、渗透系数及压缩性参数, 据此设计预压荷载大小与持续时间。荷载通常采用土石方等材料堆载, 其总重量需达到或超过设计荷载的 1.2 ~ 1.5 倍, 并采取分级加载避免一次性加压引发土体剪切破坏。施工前施工人员需在软基表面铺设砂垫层, 并与垂直排水体连接形成立体排水网络, 排水板间距按 0.8 ~ 1.5 m 梅花形布置, 深度穿透软土层至硬底。堆载过程中需严格控制加载速率, 依据沉降观测数据和孔隙水压力监测结果动态调整, 防止地基失稳。预压时间通常需 3 ~ 6 个月, 待沉降速率连续两周小 0.5 mm/d 且固结度达 90% 以上方可分级卸载。

2.3 复合地基法

施工人员在地基中设置竖向增强体与原地基土共同承担荷载, 形成复合承载层的处理方法被称作复合地基法。施工前需平整场地并设置排水沟, 采用专用

设备按设计点位进行成桩作业。对于柔性桩,可借助振动沉管法将桩管压入软土至设计标高,灌入碎石后边振边拔管形成密实桩体。刚性桩则可以使用深层搅拌工艺,将水泥浆与原位土强制混合形成固化桩体。桩体布置多采用矩形网格,桩间距通常为1.0~2.0倍桩径,桩长需穿透软土层进入硬底^[3]。成桩后施工人员需在桩顶铺设30~50 cm厚砂石褥垫层,采用压路机分层压实至密实度 $\geq 95\%$,保证桩土协同受力。施工中还需实时监测桩体垂直度、灌料量及成桩深度,完工后借助静载试验验证桩身完整性及复合地基承载力。

2.4 加筋法

在路基路面设计中,施工人员使用加筋法可以在软土地基中铺设土工合成材料,利用其抗拉性能约束土体变形,增强地基整体稳定性。施工前需根据软土层的力学特性及荷载要求,计算加筋材料的抗拉强度、铺设层数和水平间距,通常选择双向拉伸,极限抗拉强度不低于50 kN/m。施工时施工人员先对软基表面进行整平压实,清除尖锐石块等杂物,随后沿路基横向展开加筋材料,保持铺设方向与路基轴线垂直,相邻幅间搭接宽度 ≥ 30 cm并用U型钉锚固,边缘预留1~2 m反包长度以便与上层填土包裹。铺设完成后分层填筑填料,每层虚铺厚度控制在20~30 cm,采用轻型压路机从加筋材料中部向两侧碾压,避免机械急转弯造成材料位移。施工中还需实时监测填筑速率,控制每日填土高度不超过50 cm,防止加载过快引发地基剪切破坏^[4]。完工后需对加筋材料进行张拉试验,验证其与土体的界面摩擦系数是否满足设计要求,局部薄弱区域可采用二次加筋补强。

3 公路路基路面设计中的软基处理策略

3.1 分层处理,因地制宜

公路软基处理需基于软土分布特点与工程实际条件灵活实施。施工人员对于浅层软土(厚度小于3 m),通常采用局部换填法,在地质触探确定软土边界后,挖除软弱土层至硬底,换填材料优先选用当地砂砾,换填层底部铺设双向土工格栅以增强界面抗剪能力,边缘区域按1:1.5坡度开挖台阶并分层错台回填,避免新旧土层差异沉降。若软土呈透镜体状分布,则针对性地对软弱区进行“挖补”处理,周边衔接区采用土工格栅水平加筋,形成连续受力结构。针对中深层软土(3~8 m),采用竖向排水体与水平加筋协同加固,按1.2~1.5 m间距插设塑料排水板,排水板深度穿透软土层至硬底,顶部铺设30~50 cm砂垫层并嵌入

高强度土工格栅,采用分层填土预压加速排水固结,同时利用格栅张力约束侧向变形。若软土夹粉砂薄层,则优化排水路径,加密排水板至1.0 m间距并采用“短密型”布置,缩短排水距离以提高效率。对于深层软土(厚度超8 m),采用浅层处理与深层控制结合的方式,挖除表层1~2 m软土后换填碎石土,下部软基采用小直径(30~40 cm)水泥土搅拌桩,桩间2.0~2.5 m,桩长穿透高压缩性土层进入相对硬层,桩顶设置20 cm厚级配碎石褥垫层调节桩土应力分配。

3.2 就地取材,节约成本

施工人员充分利用当地易获取的材料替代高价外购资源,以工艺适配降低综合造价。具体实施时,其可以系统调查周边可利用材料,如河道砂砾、农业副产品及工业废料等,结合软基处理需求匹配材料特性^[5]。在浅层换填工程中,优先采用级配良好的天然砂砾替代外购碎石,换填层底部铺设竹篾编织网作为简易加筋材料,降低土工合成材料采购成本。对于软土改良,采用生石灰替代部分水泥,按10%~15%的掺量分层拌合软土,现场进行击实试验确定最优含水率。在加筋法施工中,施工人员可选用竹筋加工而成的纤维带替代土工格栅,增加铺设层数补偿材料强度差异,同时利用植物纤维的天然抗腐蚀性适应潮湿环境。对于排水固结工程,可采用芦苇秆捆扎成束作为竖向排水体的补充,与塑料排水板间隔布置。施工过程中还需动态优化工艺参数,当就地材料强度不足时,可调整配比弥补性能短板。面对材料粒径不均匀问题时,采用人工筛分与机械破碎相结合的方式提升级配合理性。

3.3 强化排水,防治结合

在公路软基处理中,施工人员采用系统性排水设计阻断水分对软土的持续侵蚀,同时预防次生灾害。其需要先根据地表水与地下水分别构建排水网络。在地表,沿路基两侧设置梯形,沟底纵坡坡度 $\geq 0.5\%$,采用预制U型槽结构,沟底铺设透水土工布防止渗漏。低洼易积水路段,可增设横向截水沟与纵向排水沟衔接,将径流引导至自然水系,避免积水下渗软化地基。在地下,软基内部设置立体排水体系,对于浅层软土(< 3 m),在换填层底部铺设30~50 cm厚砂砾垫层作为水平排水通道,垫层内预埋PVC多孔管,按10~15 m间距设置集水井,使用轻型水泵定期抽排。对于中深层软土(3~8 m),需采用塑料排水板作为竖向排水体,板间距1.0~1.5 m,深度穿透软土层至硬底,顶部与砂垫层连接形成“竖向排水+水平导流”的复合通路。

施工人员在施工中强化防渗措施,在路基与农田交界处埋设复合土工膜(厚度 ≥ 0.5 mm)垂直防渗墙,深度延伸至不透水层以下 0.5 m,阻断毛细水与农田灌溉水的横向渗透,遇到有机质含量高的泥炭土,可以在排水板外围包裹无纺土工布滤层,防止细颗粒堵塞排水通道。同时,施工人员需要动态监测排水系统,基于监测结果及时维护,预埋孔隙水压力计与沉降观测桩,实时监测排水固结进程,当孔隙水压力消散速率低于设计值的 70% 时,及时疏通排水管。

3.4 简易加筋,提升整体性

施工人员引入抗拉材料约束土体变形,可显著提升路基整体稳定性,其需要优先选用低成本土工合成材料作为加筋介质,施工前需对软基表面进行简易整平,随后沿路基横断面方向展开加筋材料,铺设方向需与行车荷载主应力方向垂直,相邻幅间采用 U 型钉锚固并预留 30 ~ 50 cm 搭接长度,边缘区域向上反包 1 ~ 2 m 形成闭合包裹结构。填筑时采用分层摊铺法,每层虚铺厚度控制在 20 ~ 30 cm,填料优先选用砂质土或改良黏土(石灰掺量 5% ~ 8%),使用小型振动压路机从路基中线向两侧对称碾压,碾压遍数不少于 6 遍,压实度需达 93% 以上。对于多层加筋结构,层间距通常为 40 ~ 60 cm,上下层加筋体需错缝布置以分散应力集中,边坡区加筋材料末端需与上层填土锚固,形成连续抗滑界面。施工中需严格控制填筑速率,每日填土高度不超过 50 cm,并使用简易沉降观测桩监测差异沉降,若单日沉降量超过 15 mm 则暂停加载并补强加筋层数。对于局部软弱区,可采用“十”字形加筋补强,提升土体抗剪能力。在材料选择上,采用植物纤维,需预先浸泡防腐剂并控制含水率在 18% ~ 22%,防止生物降解导致强度衰减。使用再生塑料格栅时,需抽样检测其紫外线老化性能,露天存放时间不宜超过 7 天。施工后需对加筋界面进行摩擦系数验证,采用简易拉拔试验,保障筋材与土体的咬合力 ≥ 15 kPa,薄弱区域可在表面覆土碾压增强界面摩擦。

3.5 选择技术,绿色施工

在公路软基处理中,施工人员需要注重施工全过程中降低生态干扰,优先采用环境友好型工艺。实施时,其需要筛选低扰动、可再生的处理方法。针对浅层软土,优先选用植物根系加固技术,在换填层中混入紫穗槐等深根系植物种子,借助其根系网络增强土体抗剪强度,取代部分合成加筋材料。对于中高含水率软土,可推广微生物诱导碳酸钙沉淀技术,利用本

地菌群与尿素溶液灌注入土体,生成碳酸钙胶结颗粒,减少水泥等高耗能材料使用。在施工材料选择上,施工人员需要充分利用农业废弃物及工业副产品作为改良剂,采用腐殖酸化改良土体结构,同时利用钢渣替代 30% ~ 50% 碎石用于排水垫层,降低天然石材开采量。另外,采用静压桩机替代冲击式打桩机,减少噪声对周边民居的影响,拌合石灰时设置移动式防尘罩,配合喷雾降尘系统抑制扬尘扩散,泥浆池与机械清洗废水经沉淀过滤后循环利用,避免直接排入农田水系。在此基础上,施工人员也可以在路基边坡采用三维植被网与客土喷播技术,选用狗牙根等本土草种快速固土。临时施工便道利用可拆卸钢栈桥,完工后回收材料并恢复原地貌。此外,还需避免对有机质软土大规模开挖翻晒导致的甲烷释放,改用浅层旋耕掺入木屑,使用好氧发酵加速有机物分解。施工结束后,对取土坑、弃渣场进行生态重塑,回填建筑垃圾破碎料作为基层,表层覆盖种植土并播撒耐旱植物种子,促进土地复绿。

4 结束语

公路的软基处理不是单纯的技术选择题,而是需要在现实条件与工程需求间寻找平衡点的实践命题。此过程需要施工人员综合考量地质条件、工期安排和预算限制,还需统筹区域材料供应、施工便捷性以及长期运营安全等多重因素,建立技术与实际联系。未来,施工人员还需在材料再生利用、小型化施工设备研发等方面持续探索,推动绿色建材的普及应用、改进现场施工工艺、提升机械智能化水平,进一步降低软基处理成本,提高施工效率,为公路工程可持续发展提供坚实的支撑。

参考文献:

- [1] 辛瑞钧.公路路基路面设计中的软基处理问题与优化对策解析[J].居舍,2021(15):111-112.
- [2] 李佳.公路路基路面设计中的软基处理问题与优化对策[J].工程建设与设计,2021(03):34-36.
- [3] 卢彩霞.公路路面设计中关于软基处理的问题[J].城市建设理论研究(电子版),2024(32):162-164.
- [4] 沈月烽,范晓杰.针对软基问题的大型桥梁工程处理技术研究[J].城市建设理论研究(电子版),2024(23):157-159.
- [5] 王常生.水利工程软基处理问题研究[J].城市建设理论研究(电子版),2024(22):199-201.

水利渠道工程施工常见问题及解决措施

张文章, 张玉乐

(阳谷县水利局, 山东 聊城 252300)

摘要 水利渠道工程作为水资源调配和农业灌溉的重要基础设施, 在促进区域经济发展中扮演着关键角色。然而, 在施工过程中常常遇到设计不合理、材料选择不当、施工难度大等多种问题, 不仅影响工程质量, 还可能导致项目延期或成本超支。本文探讨了水利渠道工程施工中的常见问题及其解决措施, 旨在通过优化设计管理、强化前期准备、提升技术水平、严格材料管理和加强施工质量控制等手段, 提高整体施工效率与质量。

关键词 水利渠道工程; 设计管理; 材料选择; 施工质量管理; 安全教育

中图分类号: TV672

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.20.032

0 引言

水利渠道工程对于保障农业生产、调节水资源分配具有不可替代的作用。随着社会经济的发展, 对水利工程的需求日益增加, 这使得工程建设面临更多挑战。在实际施工过程中, 从设计到实施的各个环节都可能出现問題, 如设计不合理导致的功能性缺陷, 施工难度大引起的进度延误, 材料选择不当造成的安全隐患, 以及施工质量不佳引发的使用年限缩短等。因此, 深入研究这些常见问题, 并提出有效的解决策略, 对于推动水利渠道工程高质量发展至关重要。

1 水利渠道工程施工中的常见问题

1.1 设计不合理

水利渠道工程设计不合理会直接影响工程的安全性、稳定性和长期使用效果。渠道纵坡设计未结合实地地形条件, 可能导致水流速度过快引发冲刷, 或过缓造成泥沙淤积, 降低输水效率。断面尺寸计算不准确, 使得过水能力不足, 在汛期容易发生漫顶甚至溃堤事故。地质勘察不全面或数据失真, 导致基础处理方案与实际不符, 如软弱地基未充分加固, 后期可能产生不均匀沉降, 使渠道结构开裂变形。水力计算模型选择不当, 可能造成水流流态不稳定, 形成漩涡或回流, 影响灌溉均匀性。防渗设计存在缺陷, 如防渗层厚度不足或材料选择不当, 会增加渗漏损失, 降低水资源利用效率。寒冷地区未考虑冻胀影响, 渠道衬砌在冻融循环作用下易开裂剥落, 缩短工程寿命。消能设施设计不合理, 如陡坡段未设置合适消力池, 可能引发下游渠床冲刷破坏。交叉建筑物如渡槽、涵洞等与渠道衔接不顺畅, 导致水流紊乱, 增加局部水头损失。设计图纸标注模糊或存在矛盾, 施工时易产生误解, 造成返工或质量隐患。频繁的设计变更打乱

施工计划, 增加成本并延误工期, 甚至影响整体工程协调性。

1.2 施工难度大

山区或丘陵地带地形陡峭, 机械进场困难, 开挖作业空间受限, 土石方运输效率低下。高地下水位区段需采取持续降水措施, 但降水不当可能引发周边地基沉降, 增加支护难度和成本。软弱地基处理技术要求高, 如采用换填法需大量合格土料, 而桩基施工周期长, 影响整体进度。长距离线性工程涉及大量土方调配, 若运输路线规划不合理, 易造成施工延误和成本超支^[1]。穿越村镇或农田时, 征地拆迁协调难度大, 可能因补偿纠纷导致施工中断。冬季低温条件下, 混凝土浇筑需采取保温措施, 否则易出现冻害, 影响强度和耐久性。石方开挖遇到坚硬岩层时, 爆破作业需严格控制装药量和起爆顺序, 否则可能破坏周边结构或引发安全事故。渠道衬砌多为薄壁结构, 大面积施工时易因温度应力或收缩变形产生裂缝, 影响防渗效果。多工种交叉作业, 如土建、防渗、金属结构安装等工序衔接不当, 可能造成施工混乱, 增加质量控制难度。

1.3 材料选择不当

工程材料选用不当会直接影响渠道的耐久性和功能性。水泥品种与施工环境不匹配, 如在寒冷地区使用普通硅酸盐水泥而未掺加防冻剂, 混凝土抗冻性能不足, 易在冻融作用下剥落。骨料含泥量超标或级配不良, 导致混凝土强度降低、收缩增大, 增加开裂风险。外加剂使用不当, 如缓凝剂过量导致混凝土长时间不凝结, 或减水剂配伍错误引发离析泌水。防渗土工膜厚度不足或抗穿刺性能差, 在回填土石方时易被尖锐物刺穿, 失去防渗作用。砌石材料风化严重或强度不足, 在长期水流冲刷下可能松动脱落, 影响渠道稳定

性。钢筋保护层垫块强度低或间距过大,导致钢筋移位,降低结构承载能力。伸缩缝填料弹性不足或粘结性能差,无法适应温度变化引起的伸缩变形,造成渗漏或结构破坏。砂浆配合比设计不合理,如水泥用量过少或砂率过高,降低砌体粘结强度,影响整体稳定性。防腐涂层耐候性差,在长期紫外线照射下老化脆裂,失去对金属结构的保护作用。材料进场检验不严格,如未按规定抽样检测,可能导致不合格材料用于工程,埋下质量隐患。

1.4 施工质量问题的

施工质量控制不严会导致多种质量缺陷,影响渠道工程的安全性和使用寿命。土方回填压实度不足,使得渠道基础在荷载作用下发生沉降,导致衬砌结构开裂变形。混凝土振捣不充分,内部存在气泡或空洞,降低抗渗性和耐久性,表面出现蜂窝麻面影响外观质量。衬砌面板养护不及时或方法不当,如未覆盖保湿或养护时间不足,混凝土因水分快速蒸发产生干缩裂缝。伸缩缝施工不规范,如止水带安装偏位或固定不牢,导致接缝处渗漏,影响防渗效果。边坡修整不符合设计要求,如坡比偏差过大,可能改变水流形态,增加局部冲刷风险^[2]。砌石工程砂浆不饱满,存在通缝或假缝,降低砌体整体性和抗冲刷能力。钢筋安装位置偏差,如保护层厚度不足或间距过大,削弱结构抗弯抗剪性能。防渗层施工接缝处理粗糙,如土工膜焊接不严密或粘结剂涂刷不均,形成渗漏通道。测量放线误差较大,使得渠道轴线偏离设计位置,影响水流顺畅性和工程整体协调性。隐蔽工程如地基处理、防渗层铺设等验收不到位,可能掩盖质量缺陷,增加后期维修难度。

2 水利渠道工程施工问题的解决措施

2.1 加强设计管理

水利渠道工程设计质量的提升需要建立全过程质量控制体系。前期勘察阶段应采用无人机航测和三维激光扫描技术,获取高精度地形数据,避免传统测量方法导致的误差。地质勘探点间距应加密布置,特别关注软弱夹层和地下水分布情况,为地基处理提供可靠依据。水力计算应采用 CFD 流体仿真技术,模拟不同工况下的水流形态,优化渠道纵坡和断面设计。结构设计需考虑极端气候影响,在冻土区采用保温防冻胀结构,在强震区增加抗震构造措施。防渗系统设计应进行多方案比选,综合评估土工膜、混凝土衬砌等不同方案的耐久性和经济性。交叉建筑物设计要运用 BIM 技术进行碰撞检测,确保与主体结构的协调性。建立设计复核制度,组织专家对关键节点设计进行专项审查。推行标准化设计,建立典型渠道断面数据库,提高设计效率。实施设计回访制度,定期对已建工程

进行跟踪评估,将运行数据反馈至设计优化。引入数字化设计平台,实现各专业协同作业,减少设计冲突。建立设计人员考核机制,将工程质量与设计绩效挂钩,增强责任意识。

2.2 加强前期准备工作

工程实施前的准备工作质量直接影响施工进度和工程质量。地质补勘应采用综合物探方法,重点查明不良地质段的分布范围和特性。施工组织设计需运用 BIM 技术进行施工模拟,优化机械配置和工序安排。临时工程规划要科学合理,施工便道应满足重载车辆通行要求,临时排水系统要能抵御暴雨侵袭。征地拆迁工作要提前启动,建立多方协调机制,制定公平合理的补偿标准^[3]。材料采购计划应详细编制,对关键材料建立备用供应渠道。施工测量控制网需采用 GPS 静态测量方法建立,并进行闭合校验。施工机械要提前检修保养,对操作人员进行专项培训。临时用电系统要专业设计,确保电力供应稳定可靠。建立完善的质量保证体系,编制详细的施工质量控制计划。组织施工图纸会审,提前发现并解决设计问题。编制应急预案,针对可能发生的地质灾害、设备故障等情况制定应对措施。与当地气象部门建立联系,及时获取天气预报信息。开展施工前的技术交底,确保所有参建人员明确技术标准和质量要求。

2.3 提高施工技术水平

现代施工技术的应用是保证渠道工程质量的关键。土方工程应采用智能化施工机械,如安装 GPS 定位系统的挖掘机,实现精准开挖。高边坡施工要采用预应力锚杆配合喷射混凝土支护,确保边坡稳定。软弱地基处理可选用真空预压法,大幅提高地基承载力。混凝土施工应采用自动化拌和系统,精确控制配合比。衬砌作业推广使用滑模摊铺机,实现混凝土的连续浇筑。伸缩缝施工采用新型高分子止水材料,提高接缝的密封性能。防渗层铺设应用热熔焊接技术,确保接缝质量。石方爆破采用数码电子雷管,实现精确延时控制。冬季施工采用暖棚法,配合防冻剂使用,保证混凝土质量。引入施工监控系统,实时监测混凝土温度、地基沉降等关键参数。推广使用自密实混凝土,减少振捣作业难度。采用三维激光扫描技术进行施工质量检测,提高验收精度。研发应用渠道修复机器人,实现破损部位的精准修补。建立施工工艺创新奖励机制,鼓励技术人员改进施工方法。

2.4 严格材料管理

工程材料的质量控制应建立全过程监管体系。原材料采购要建立合格供应商名录,实行公开招标采购。水泥进场必须检测安定性、凝结时间和强度指标,不

同批次要分开存放。骨料要严格控制含泥量和级配,设置专门的清洗设备。钢筋必须进行力学性能试验,并检查表面锈蚀情况。土工膜要检测厚度、拉伸强度和抗穿刺性能,仓储时避免阳光直射。外加剂使用前必须进行适应性试验,确保与水泥相容。混凝土试块制作要规范,养护条件必须符合标准要求。建立材料追溯制度,每批材料都要保留完整的质量证明文件^[4]。现场材料堆放要分类管理,设置明显的标识标牌。钢筋加工要采用数控设备,确保尺寸精度。建立材料使用台账,实时掌握材料消耗情况。对关键材料实行驻厂监造,从源头把控质量。定期对材料管理人员进行培训,增强质量意识。建立材料质量奖惩制度,对违规行为严肃处理。运用物联网技术,实现材料库存的智能化管理。

2.5 加强施工质量管理

工程质量管控需要建立多层级的管理体系。实行首件验收制度,每个分项工程开工前都要制作样板段。混凝土施工要严格控制入模温度,夏季采取降温措施,冬季做好保温养护。模板工程必须保证刚度和稳定性,防止跑模变形。钢筋安装要采用定位卡具,确保保护层厚度准确。衬砌施工要控制浇筑速度,避免冷缝产生。防渗层施工后必须进行完整性检测,发现缺陷及时修补。建立质量责任追溯制度,每道工序都要记录操作人员信息。实行隐蔽工程举牌验收制度,留存影像资料。配备先进的检测设备,如钢筋扫描仪、回弹仪等。建立质量巡查制度,项目经理要定期带队检查。开展质量评比活动,对优秀班组给予奖励。建立质量问题台账,实行闭环管理。运用信息化手段,实现质量数据的实时采集和分析。聘请第三方检测机构,对关键部位进行独立检测。建立质量预警机制,及时发现并处理质量隐患。

2.6 加强沟通协调

工程参建各方的有效沟通能保障项目顺利地实施。建立周例会制度,及时协调解决施工中的问题。运用项目管理软件,实现各方信息的实时共享。设计变更必须履行书面程序,避免口头指令造成的误解。与当地政府保持密切沟通,及时解决征地拆迁等问题。建立应急联络机制,确保突发事件能快速响应。定期组织现场协调会,解决各专业交叉施工的矛盾^[5]。与监理单位建立联合检查制度,共同把好质量关。与材料供应商保持畅通联系,确保材料供应及时。建立施工信息公示制度,让所有参建人员了解工程进展。与当地村民建立沟通渠道,及时处理施工扰民问题。运用BIM协同平台,实现设计、施工各方的可视化交流。建立问题反馈快速通道,确保基层问题能及时上报。定期向业主汇报工程进展,保持信息透明。建立施工协

调微信群,提高沟通效率。制定详细的交接制度,确保工序衔接顺畅。组织团队建设活动,增强各方的协作意识。

2.7 加强安全教育

安全生产管理必须贯穿工程施工全过程。建立三级安全教育体系,确保每位进场人员都经过培训。特种作业人员必须持证上岗,定期进行复审考核。施工现场要设置完善的安全防护设施,临边洞口必须封闭^[6]。施工机械要定期检修,操作人员要熟悉设备性能。高处作业必须系挂安全带,设置安全防护网。临时用电系统要符合规范,实行三级配电两级保护。爆破作业要严格审批,设置足够的安全警戒区。雨季施工要做好防雷防静电措施,配备必要的排水设备。开展安全应急演练,提高突发事件处置能力。建立安全风险分级管控制度,重大危险源要重点监控。实行安全巡查制度,专职安全员要每日检查。建立安全奖惩机制,对违规行为严肃处理。运用VR技术开展安全培训,增强教育效果。设置安全文化宣传栏,营造安全生产氛围^[7]。建立工人健康档案,定期进行职业健康检查。配备足够的消防器材,组织消防知识培训。建立安全事故报告制度,严格执行“四不放过”原则。运用智能监控系统,实时监测施工现场安全状况。

3 结束语

水利渠道工程施工涉及多个方面的问题,需要综合运用多种策略加以应对。未来,随着科技的进步和社会的发展,水利渠道工程将迎来更加广阔的发展空间。持续改进和完善现有方法,将为水利工程带来新的活力与发展机遇。

参考文献:

- [1] 孙斌,任东.探讨水利渠道工程施工中的常见问题及解决措施[J].中小企业管理与科技(下旬刊),2019(04):16-17.
- [2] 晏得勋.水利渠道工程施工中常见问题的处理方式探讨[J].中国标准化,2019(04):82-83.
- [3] 朱岳生.水利渠道工程施工常见问题及解决措施[J].吉林农业,2018(14):67.
- [4] 孙琪.浅谈水利渠道工程施工中常见问题的解决措施[J].黑龙江科技信息,2016(35):202.
- [5] 邱志军.水利渠道工程施工常见问题及解决措施[J].科技展望,2016,26(01):99.
- [6] 马学龙.水利渠道工程施工中常见的问题及解决措施[J].甘肃农业,2015(22):56,60.
- [7] 陈建华.探析水利渠道工程施工中常见问题的解决措施[J].中外企业家,2013(16):195.

市政工程施工中的地下管线施工技术分析

汤 兵

(安徽拓鑫建设集团有限公司, 安徽 合肥 230031)

摘 要 地下管线作为城市运行的“生命线”, 承担着供水、供电、燃气、通信等多重功能。然而, 当前地下管线施工面临着城市地下空间资源有限、既有管线资料缺失或更新滞后、施工技术标准化不足等多重问题。复杂的地质条件和施工管理环节的薄弱也进一步加剧了施工风险, 亟需系统性分析地下管线施工技术, 以应对城市化需求与技术短板之间的矛盾。本文从市政工程施工中地下管线施工技术的现状和问题出发, 对其关键性技术进行重点分析, 探讨地下管线施工的具体优化策略, 以期为市政工程施工质量的提升与优化提供有益参考。

关键词 基础设施; 市政工程; 地下管线; 特殊工况处理

中图分类号: TU990.3

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.20.033

0 引言

地下管线施工关系到城市基础设施建设的质量, 科学的施工技术能够有效地控制施工风险, 提升地下管线施工质量, 进而提高城市的韧性, 具有社会与经济上的双重价值。同时, 在现代科学技术不断发展创新的背景下, 深化对市政施工中地下管线施工技术的研究, 将人工智能、3D 建模、绿色材料等领域的发展成果应用到其中, 引入 BIM 技术优化管线布局、应用物联网实时监测管线状态, 为智慧城市建设提供支撑, 能够进一步加快我国建筑行业的现代化转型。施工技术标准化、规范化、绿色化和智能化的发展趋势, 将有效减少地下管线施工中重复施工和资源浪费情况的发生, 将地下管线建设纳入我国“双碳”目标下的绿色可持续发展事业中。

1 地下管线施工现状与问题

1.1 地下管线施工技术应用现状

市政工程地下管线施工包括沟槽开挖、管道基础处理、铺设安装、闭水试验等多个环节, 而对应的施工技术也覆盖整个流程。

在沟槽开挖环节, 当前还是采用人工挖掘配合机械挖掘的方式, 通过分层回填控制密实度, 针对不同地质条件调整开挖深度与支护措施。管道基础处理环节则主要是进行砂石垫层铺设与夯实, 确保地基承载力能够满足工程建设要求, 管道基础处理在软土或地下水位较高地区的地下管线施工作业时尤其重要, 需要采用换填或注浆加固技术改善软土、湿土的性质。管道铺设安装环节强调中心线校准和胶圈密封, 并做好编号管理, 减少错位风险, 当前这一环节的施工自

动化水平还比较低, 大多数内容的施工还是依赖传统人工操作。闭水试验是地下管线施工质量检测的关键步骤, 通过分段压力测试验证管线的密封性, 但在部分工程中存在因赶工期而简化流程或数据记录不全的现象^[1]。虽然信息化监控技术已经逐步地推广开, 部分地下管线施工开始将电磁感应、探地雷达用于管线探测, CCTV 机器人用于内部巡检, 但更多的工程实际上还是以人工巡检为主, 智能化监测系统的整体覆盖率较低。

从技术分类来看, 当前比较主流的地下管线施工技术有浅埋管线加盖法和深埋注浆加固法两种。浅埋管线是通过混凝土墩加固或槽盖保护提升管线的抗压能力, 这一施工技术多适用于管径较小或埋深较浅的管线。而深埋注浆加固法则通过分层注浆来达到稳定土体的效果, 这一技术能够很好地适应复杂交叉或深埋管线的保护需求, 但其浆液配比与注浆工艺具有一定的技术难度, 还存在一定的标准化不足问题。

1.2 地下管线施工问题

在施工管理层面, 管线资料缺失和人员专业素质不高是两项较为突出的问题。尤其是在老旧城区, 由于管线系统的设计时间比较早, 管线资料不完整或与实际分布不符的情况比较常见, 如果施工前勘察不彻底, 就容易导致误挖事故。而人员专业素质不足的问题则主要体现在部分施工人员缺乏规范操作意识, 在闭水试验、回填土密实度检测等环节上的操作不规范、执行不严格, 加剧了地下管线施工的质量风险。除此之外, 在遇到施工高峰期时, 还存在监管缺位的问题, 安全交底流于形式, 管线暴露后未及时设置警示标志, 引发二次破坏。

在施工技术操作层面上,主要的难点集中于排水管道错位、接口漏水及土壤沉降控制等方面。排水管道因基础标高计算误差或地基处理不当,经常出现接口错位,由于密封性不足而产生的长期积水会加速管材的腐蚀。胶圈密封工艺不达标或焊接缺陷也会引起接口漏水,尤其在温差较大地区,材料热胀冷缩更为剧烈,会加剧接口处的渗漏。土壤沉降控制也是地下管线施工的一项关键技术,深埋管线周边注浆加固不均匀或回填土分层夯实不足,容易引发管线倾斜甚至断裂的问题,这一问题对燃气等敏感管线安全威胁尤为严重。

在施工环境因素层面,主要考虑外部因素对管线耐久性的影响和特殊环境控制策略的选择。如地下水域地区施工需要应对流砂、管涌等风险,常规降水措施可能会扰动周边土体稳定性;腐蚀性土壤环境下,传统管材易受化学侵蚀等,需要根据具体的情况选择合适的环境控制策略和工程材料。

从整体上看,虽然地下管线施工技术在不断地完善和发展,但是其管理规范化、技术标准化、材料创新化三方面仍然有一定的进步空间,需要在这三个层面上进一步深化研究,更好地满足现代化城市市政系统建设的复杂需求。

2 地下管线施工关键技术分析

2.1 地下管线施工前准备

在地下管线施工开始之前,需要做好两个方面的准备工作。一是工程勘察与规划,施工前的精准勘察是保障地下管线施工安全的核心环节,借助电磁感应技术和探地雷达技术对既有管线分布进行探测,定位原有管线的走向、埋深和材质^[2]。具体而言,电磁感应技术能够接收金属管线产生的二次电磁场信号,可以根据接收到的信号绘制管线的平面图。而探地雷达则能够探测非金属管线,通过高频电磁波反射识别地下障碍物。在复杂地质区域下进行地下管线施工,还需要结合钻探取样验证土层稳定性,为后续开挖方案的制定提供支撑。除此之外,管线资料的整合与现状复核也尤为重要,将获取到的管线图纸与实地探测结果进行比对,修正管线数据库,规避资料缺失导致的误挖风险。二是管线交底与保护方案调整,施工之前要办妥与管线产权单位的监护手续,明确管线保护责任。针对交叉或邻近管线,根据实际情况制定迁移或加固方案。对无法迁移的浅埋燃气管,采用混凝土墩加固或槽盖保护,对深埋高压电缆,则通过分层次注浆加固周边土体。在施工交底环节,需要明确沟槽断

面尺寸、安全支护措施及应急预案,并通过施工方与产权单位的共同监督,落实防护细节。

2.2 地下管线施工阶段技术要点

地下管线施工主要包括沟槽开挖和管道铺设安装两部分。目前,沟槽开挖采用人工与机械结合的分层开挖模式,先由机械开挖至槽底标高以上30 cm,然后由人工进行清底,避免扰动原状土。在分层回填时,重点在于控制好回填土密实度,管道顶部50 cm内可以使用轻型夯实设备。对于深度超过5 m的沟槽,需要使用钢板桩支护或脚手架管支撑,并实时监测槽壁的变形,防止出现坍塌。

在管道安装前,需要对管道进行编号,并检查防腐层的完整性。非金属管道可以使用胶圈密封接口,在安装时先使用经纬仪对中心线进行校准,将错位偏差控制在最小范围内。钢管的焊接需要遵循“先外后内”的原则,根据管径设计合适的纵向焊缝错开的距离,避免出现十字焊缝^[3]。

2.3 特殊工况处理

市政工程地下管线施工中存在一些施工难度较大,对工程质量影响较强的特殊工况。这些特殊工况可以分为浅埋管线保护和深埋管线加固两大类。埋深小于1.5 m的为浅埋管线,这类管线容易受到机械碾压和地表荷载压力的影响。对于小管径管线,可以采用槽盖保护法,覆盖钢架板或预制混凝土盖板分散压力。大管径管线则可以使用混凝土墩加固,在管线两侧浇筑C20混凝土支撑墙,提升管线的抗压能力,避免施工造成的破坏。而对于埋深大于4 m的深埋管线,需要重点关注土体沉降与地下水渗透风险。可以采用分层注浆技术,以水泥-水玻璃混合浆液加固土体,外侧注浆孔距管线20 cm,分四层灌注,注浆压力控制在0.3~0.5 MPa。注浆顺序按照“由外向内、自上而下”的顺序,确保浆液均匀填充孔隙。对于穿越建筑基础的深埋燃气管,还需设置沉降观测点,实时监测倾斜值,并通过跟踪注浆调整地基稳定性。

2.4 质量检测技术

管道安装后需分段进行闭水试验,试验压力为设计压力的1.5倍,持续时间在半个小时以上。使用砖墙封堵井室两端,注水后观测渗漏量,排水管道允许渗水量按管径计算,如果渗漏量超出了设计标准,就需要检查渗漏点对其进行逐步或者直接更换管段。对于无法直接观察的接口,可以使用CCTV机器人检测内部焊缝或胶圈密封性,精准定位管道的缺陷。在地下管线施工过程中,还需要进行全过程沉降与位移监测。

采用全站仪或电子水准仪布设监测点,每日采集数据并生成变形曲线,通过实时监测发现局部沉降超限,及时采用袖阀管补浆加固,避免管线断裂。监测数据同步录入 BIM 平台,实现三维可视化分析与风险预警^[4]。

地下管线施工要充分融合精细化勘察、标准化工艺与智能化监测技术。通过浅埋与深埋工况的差异化处理、注浆配比优化及物联网实时监控,提升管线耐久性与城市基础设施韧性。

3 地下管线施工问题解决与优化策略

3.1 地下管线施工管理优化

针对地下管线施工中普遍存在的资料缺失与人员素质不足问题,需要构建市政管线数据库并强化数据共享机制,通过大范围、多层次的地下管线普查建立覆盖整座城市的统一数据库,并推动数据脱敏后共享,实现施工前管线交底与动态更新。搭建三维管线信息管理平台,整合城市内的管线数据,支持施工规划与风险预警,并建立多部门协同机制,明确产权单位责任,避免施工冲突。

在人员管理方面,要积极推动高素质施工队伍建设,在建筑行业加快推行持证上岗制度,并完善地下管线施工技术培训体系,针对特种作业人员,搭建技术培训与考核平台,要求作业人员通过平台考核并申领电子证书,建立包含培训记录与动态监管数据的个人培训档案。同时,建立施工安全信息共享平台与应急演练,将持证上岗制度与严格的隐患排查相结合,将地下管线施工的事故发生率降到最低。除此之外,还可以在地下管线施工的技术培训中,引入第三方机构定期评估培训效果,持续提升施工队伍的专业性与规范性。

3.2 地下管线施工技术创新

现代技术的发展为地下管线施工技术创新提供了重要支撑。BIM 技术的应用能够显著提升施工方的管线规划能力与施工精度,通过 BIM 模型模拟管线布局,结合 GIS 系统优化管线与周边建筑的空间关系,能够减少施工碰撞风险。三维建模还能自动生成管线纵断面图与工程量清单,帮助施工单位控制施工成本。在复杂地质区域,将 BIM 技术与物联网传感器配合使用,能够实时监测管道沉降与渗漏,并通过数字孪生技术动态调整施工方案。智能巡检技术的普及则解决了传统人工检测效率低的问题,在老旧城区的地下管网改造项目中,CCTV 机器人能够精准识别管道内壁裂纹与沉积物,再结合 AI 算法分析缺陷类型与风险等级,检测效率能够大幅度提升。无人机搭载激光泄漏检测仪,

能在非接触条件下快速排查燃气泄漏,在老旧社区的管线改造施工中具有重要价值。除此之外,车载 AI 视觉系统可以通过识别施工机械与围蔽区域,提前预警管线破坏风险,保证施工过程的安全与稳定^[5]。

3.3 地下管线施工材料与工艺改进

在地下管线施工的材料选择中,可以使用耐腐蚀涂层来延长管线寿命。例如:ZS-711 无机防腐涂料通过硅氧基螯合技术形成三重防护层,相较于传统管线施工中所使用的沥青材料,这种新型材料具有更强的耐化学腐蚀性,管线的理论使用寿命能够达到 20 年;环氧煤焦沥青涂料则通过阴极保护与涂层联合作用,在杂散电流干扰区域表现出优异的抗电化学腐蚀性能;针对酸性土壤环境,HDPE 管材凭借熔接工艺与抗微生物特性,逐渐替代铸铁管成为主流选择。

注浆工艺的优化重点在于配比科学化与施工精细化,当水泥浆与水玻璃按 1:0.3 混合时,浆液初凝时间可缩短至 10 分钟,结石率也达到最高水平,尤其适用于砂层与卵石层的加固。深埋管线注浆需采用“由外向内、自上而下”的分层注浆法,压力控制在 0.3~0.5 MPa,降低施工对土体的扰动。

整体而言,地下管线施工中管理、技术与材料的协同优化,能够推动地下管线施工突破传统瓶颈,向智能化、绿色化转型。

4 结束语

地下管线施工技术需进一步向绿色化、智能化延伸。要加快对耐腐蚀材料和再生混凝土回填工艺的推广,减少地下管线施工的资源消耗和环境负荷。同时,需推动数字孪生与元宇宙技术的融合,实现管线状态实时仿真与灾害预警。更重要的是,要将标准化施工的“底线思维”与创新驱动的“发展思维”有机结合,推动城市基础设施从“粗放建设”向“精细运维”转型,为智慧城市与可持续发展提供坚实的支撑。

参考文献:

- [1] 梁志刚.市政道路施工中的地下管线施工技术分析[J].建材发展导向,2024,22(20):76-78.
- [2] 陈顺龙.市政工程施工中的地下管线施工技术分析[J].低碳世界,2024,14(09):73-75.
- [3] 张明.市政道路施工中地下管线施工技术分析[J].散装水泥,2024(03):124-126.
- [4] 刘超.市政道路施工中的地下管线施工技术分析[J].工程技术研究,2024,09(11):66-68.
- [5] 苏惠新,林芝旭.市政工程施工中地下管线施工技术的应用分析[J].陶瓷,2024(05):225-227.

基于装配式建筑施工技术的工程施工管理探析

张海洋

(山东方赞建设工程有限公司, 山东 青州 262500)

摘要 当前,越来越多的建筑工程项目采用装配式施工技术来达到提升施工效率和施工质量的目的。在施工过程中,施工管理和质量控制工作的开展情况与装配式建筑工程质量之间存在紧密的关联。施工单位要深入研究装配式施工技术的核心要点和影响因素,针对性开展施工管理工作,构建覆盖全过程、全要素的管理体系,从而有效发挥出装配式施工技术的优势和价值。本文全面分析了装配式建筑施工技术的施工管理和质量控制措施,以期能够为相关单位提供有益参考,助力提升装配式建筑工程质量水平。

关键词 建筑工程; 装配式建筑施工技术; 施工管理

中图分类号: TU741; TU71

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.20.034

0 引言

装配式建筑施工技术是一种先预制建筑结构模块,再进行现场组装的技术。相较于传统现浇施工技术,其具有施工效率高、构件质量可靠、资源节约等诸多优势,因此越来越受到建筑施工单位的关注和欢迎。在实际应用中,装配式施工技术的开展与传统施工有很多不同,因此施工单位只有做好施工管理和质量控制工作,才能避免施工不当导致的质量问题,提升建筑工程的可靠性。

1 装配式建筑施工技术下的建筑工程施工管理要点

1.1 工厂预制管理

装配式建筑施工技术的一大重点在于预制构件的制造,制造效果的好坏直接影响构件的质量和性能。在建筑工程中,常见的预制构件主要有叠合板、梁、预制楼梯、预制阳台等,做好这些预制构件的管理工作,能够有效提升构件质量。

工厂预制管理的要点主要是三个方面:首先,混凝土浇筑管理。预制构件多为混凝土模板浇筑而成,需要重点管理混凝土振捣效果、混凝土强度、养护情况。施工单位应当采用抽样检测的方式确定预制构件的性能是否符合设计标准。其次,形状尺寸管理。鉴于安装方式的特殊性,预制构件的形状、尺寸等参数应当严格符合标准要求,这样才能完整、精密地嵌入建筑结构之中。在实际管理时,相关人员可以借助精密设备进行测量,如激光测距仪等。严格测量构件的各项数据,一旦发现问题,必须及时纠正,以免影响装配式施工^[1]。最后,连接方式、吊装位管理。预制构件的连接方式十分重要,装配式施工主要依靠连接件将构

件与建筑结构进行连接,一旦连接方式不够稳固,必然会影响整个建筑的质量。相关人员要做好构件连接件的管理工作,检查其质量和精密性,避免出现松动、脱落等现象。预制构件在应用时主要采用吊装的方式运输和使用,因此在制造时要预设吊装位,方便吊装设备的安装。工厂可以通过线性计算的方式寻找构件的受力点和平衡点,然后设置吊点。施工单位应当对此进行检验和验收。

1.2 预制构件运输管理

由于预制构件是在工厂进行生产,之后整件运输至施工现场,因此必须加强运输过程中的管理工作,避免由于运输不当造成预制构件的损坏。在这一环节中,管理人员主要应当关注两个方面:

第一,运输规划。提前进行规划有助于保障运输时间和运输过程的可靠性,降低意外风险。规划时应当重点关注两个因素:一是天气因素,在大风、暴雨、大雪等天气环境下,预制构件的运输风险会明显提高,如果必须要在恶劣天气中运输,必须做好预防措施,如加固预制构件的固定装置,为车辆安装防滑链等;二是路线因素,平稳流畅的运输过程能够防止构件因颠簸而损坏,因此要根据运输车辆的特点尽量设计科学的运输路线,还要考虑交通拥堵问题,降低车祸风险的同时保证构件能够及时运送至施工现场。

第二,构件的包装和固定。做好包装固定工作能够有效避免构件受损,但包装固定不能过度,否则反而会造成构件磨损和划伤,应当以松紧合宜、不会移动为原则。包装固定时要充分考虑不同类型预制构件的结构特征,合理进行摆放和加固^[2]。固定之前还要考虑路线问题,预防路面不平造成的颠簸。

1.3 预制构件存放管理

预制构件运送至施工现场后,需要对其进行合理的存放。大部分预制构件的尺寸比较大,形状并不规整,如果存放不恰当,可能会对其质量产生影响。预制构件要避免悬空放置现象,也要避免受到挤压、撞击。放置需平稳,防止构件倾倒、滑落。因此,在进行存放管理时,要重点做好场地设置和环境管理工作。从预制构件的存放要求上来看,一方面,预制构件应当固定存放位置,避免反复搬运构件损伤;另一方面,预制构件在后期使用时最好一次吊装完成,重复吊装亦有可能导致构件损坏,因此最好采用分区存放的方式。在场地设置上,应当根据现场情况进行分区,将不同的预制构件分开存放,并根据施工流程反向存放,避免对构件的二次搬运^[3]。在环境管理上,要做好防潮防晒工作,避免环境因素给构件带来的不良影响。在存储和使用过程中,施工单位还要做好进出库管理工作,编制施工材料台账,制定管理计划。

1.4 施工管理

1. 施工前期准备。在正式开始装配式建筑施工之前,需要开展一系列准备工作,为后期的施工安装奠定良好的基础。具体而言,主要应当做好三方面的工作:

第一,施工现场规划管理。在建筑工程施工开始之前,需要全面分析施工现场的平面状况,开展合理的规划。考虑到装配式施工的特殊性,除了常规的功能分区规划、运输线路规划以外,还需要做好预制构件存放区域、机械设备施工区域的规划。科学的平面规划能够拉近施工楼栋与预制构件之间的距离,减少二次搬运,又能保证大型吊装机械的正常使用,不会出现冲突。

第二,机械设备布置管理。装配式施工技术需要运用到多种大型机械,包括塔吊、起重机、吊车等,在进行机械设备安装和布置时,要着重考虑施工空间的需求,既要确保设备能够覆盖各个施工位置,又要避免设备与建筑物之间、不同设备之间出现碰撞问题。为了提升设计规划的科学性,可以采用模拟施工等方式辅助判断^[4]。

第三,施工组织设计管理。采用装配式施工的重要原因在于能够提升施工效率,为了避免材料、设备等施工资源配置问题导致的进度拖延,施工单位要做好施工组织设计管理,编制科学的施工方案,明确各分部分项工程所需的资源,提前进行规划和安排。

2. 吊装与安装管理。装配式建筑施工技术在实际施工时的操作较为简单,大致可分为两个环节,即吊装和安装。在吊装过程中,首先,要做好起吊设备和

预制构件的检查工作。施工开始之前,要先检查材料和设备,确保其性能完好,符合施工要求。明确预制构件的尺寸和编号,避免出现错吊等情况。其次,要根据施工方案确定吊装方式和顺序。施工计划在确定吊装顺序时,应当考虑构件的结构位置、尺寸、重量等因素,并结合构件的类型和位置选择合适的吊装设备,保证吊装机械的力学性能符合施工要求^[5]。最后,要做好试吊和正式起吊工作。不同预制构件的吊装点有所差异,需要做好高度协调工作。正式起吊前需要进行试吊,即将预制构件吊起 30 cm 后停留调整,确认吊装可靠后可继续吊升,整个过程需保证平稳、缓慢,直至到达指定高度。吊装完成后就需要对预制构件进行安装和固定。在吊装到达指定位置后,需要对构件的位置进行适当的调整,施工人员应当采用水平仪等精密仪器进行测量和校准。预制构件一般通过预留钢筋、卡槽等方式进行固定,要确保套筒位置对齐,连接紧密,同时设置好撑杆等支撑装置,避免构件位移。在安装、测量完成后,需要通过焊接、浇筑等方式彻底固定连接部位。

2 装配式建筑施工技术下的建筑工程施工质量控制

2.1 做好关键节点施工质量控制

为保证装配式建筑施工的质量,需要做好质量控制工作,尤其是施工的关键节点,必须加强管理。首先,安装顺序问题。装配式施工时对预制构件的安装顺序有较为严格的规定,如果出现次序混乱、跳序施工等现象时,很容易导致质量出现隐患。因此,施工单位要严格做好施工管理,确保施工人员依照施工图纸和组织设计方案开展工作,重点预防吊装、安装等环节的施工错误。其次,混合施工问题。一般的装配式建筑工程采用的是混合式的施工模式,即部分装配、部分现浇。在施工时需要着重考虑装配式构件的预留问题,提前留好钢筋、螺栓和卡槽位置,连接部位应当用专用水泥砂浆进行加固,避免出现结构不稳现象^[6]。再者,施工顺序问题。阳台、空调板等外置构件一般设计在项目后期进行施工,施工单位需要考虑工程后期吊装机械是否会存在应用限制。最后,保温板施工问题。外墙保温板通常承载力比较差,在进行外置构件施工时需要采取一定的保护措施,在施工过程中如果出现损坏、穿孔等问题,要采取修复措施,保障保温板的隔热性能良好。

2.2 开展现场质量控制路径分析

通过质量控制路径分析,将影响施工的各个要素融入管理体系之中,从而有效提升管理效能和施工质

量。总体来看,管理工作可按照4M1E的管理体系来开展,即对人员、设备、材料、工艺和环境开展管理工作^[7]。在人员方面,确保持证上岗的同时做好培训工作,科学开展技术交底和人员管理,保证施工人员专业素养和职业精神符合工程需求。在设备方面,定期开展设备维护和保养工作,更换磨损、损坏的零部件,确保其处于正常状态;使用时要注意严格根据技术规范进行操作,避免违规操作等现象,同时开展实时监控,关注机械设备的运行状态,及时处理各种异常情况,避免设备带病工作,保证运行稳定。在材料方面,装配式施工的主要材料为预制构件,在使用前要严格进行质量控制,做好材料检验验收和使用前检查工作,固定存放位置,设置材料标识,开展施工现场的统一化和规范化管理。在管理过程中如果出现使用问题,要采取优化控制措施;如果材料出现质量问题,要立刻停止使用。在工艺方面,科学编制施工方案,对关键节点、重点工程进行精细化管理,保证施工流程、工艺技术的准确性和规范性。在工程施工过程中,要根据实际情况采取对应的管理方法,并做好技术交底、安全检查和跟踪检查工作,明确工艺实施效果。在环境方面,不同的天气环境可能会对装配式施工产生影响,如大风天气会加剧吊装施工的风险性。明确各个施工环节对环境条件的要求,避免在恶劣天气条件下施工。在天气条件不佳的情况下施工时要及时调整施工组织设计,编制专项施工方案进行防范,如低温环境下要延长混凝土养护周期;大风天气要重新开展构件吊装重心分析,加强构件固定措施等。

2.3 完善建筑工程质量验收体系

质量验收是装配式建筑工程的关键环节,由于质量控制措施较为复杂,对施工技术的要求很高,因此在进行质量验收时,应当构建一套科学的全过程验收体系,将项目的各个流程、关键节点的质量要求进行整合,设计合理的验收措施,充分保证项目质量。

在施工前,需要对预制构件进行验收,评估构件的外观、尺寸、预埋件位置等,确保其不存在质量问题,符合工程项目要求。在吊装前,应当对前序工作面进行验收,评估其各项参数指标,包括水平度、垂直度、目标强度等,确保后续施工开展的顺利^[8]。在构件初步安装后,要对构件的位置进行验收,确保偏移量符合施工要求。在安装结束后,要对构件的尺寸、位置、连接和加固效果进行验收,如果存在问题,应当采取措施修复和补救。

2.4 在质量控制中应用信息技术

当前建筑行业的信息化发展速度很快,信息技术不仅可用于前期的设计环节和后期的施工环节,在管理工作中也同样有重要作用。一方面,施工单位可以采用BIM技术对施工过程进行模拟,评估结构的安全性,开展碰撞试验,分析是否可能出现安全问题。在施工前进行技术交底时,BIM技术的可视化功能还能够为施工人员提供施工流程的动画演示,以直观清晰的方式展现施工要点和注意事项,避免出现施工人员没有清楚理解施工意图导致出错的情况。另一方面,施工单位可以采用物联网技术加强对预制构件的管理,将预制构件打上RFID标签,并将生产日期、构件名称、尺寸规格等基本生产信息录入管理系统中,构建台账便于施工材料出入库管理。在施工过程中,通过管理系统能够直观地判断构件的进度情况和应用情况,避免出现安装顺序和安装位置出错的现象。

3 结束语

装配式施工技术相较于传统的现浇施工有诸多技术优势,但在施工过程中需要重点做好质量控制和管理工作,否则可能会对整个项目的工程质量、工程进度造成负面影响。随着装配式施工技术在建筑工程中的应用日渐广泛,施工单位要加强对装配式施工技术的重视,深入评估影响施工质量的诸多因素,并科学开展施工管理和质量控制工作,采取有效措施降低施工过程中的风险隐患,充分发挥装配式施工技术在施工效率、施工质量、节能环保等方面的优势。

参考文献:

- [1] 樊勇.装配式住宅建筑的施工管理与质量控制研究[J]. 居舍,2024(08):141-144.
- [2] 刘安营.装配式建筑施工安全管理影响因素与作用路径分析[J]. 砖瓦,2024(02):104-107.
- [3] 袁萍,张渝辉.装配式建筑施工安全管理现状与优化措施[J]. 陶瓷,2023(12):231-233.
- [4] 季丽莎.装配式建筑施工技术视域下的施工管理[J]. 中国建筑金属结构,2023,22(12):166-168.
- [5] 曹孝平.装配式建筑施工技术在建筑工程施工管理中的应用[J]. 江苏建材,2023(06):96-97.
- [6] 赵艳艳.基于装配式建筑智能建造全过程管理应用发展研究[J]. 城市建设理论研究(电子版),2023(23):59-61.
- [7] 邱丽莎.装配式建筑施工管理问题分析与优化措施研究[J]. 陶瓷,2023(11):231-233.
- [8] 田硕果.装配式建筑施工技术在建筑工程施工管理中的应用分析[J]. 陶瓷,2024(01):224-227.

基于绿色环保理念的市政道桥设计 要点与案例分析

吴宇辉

(浙江新联融建设有限公司, 浙江 杭州 310000)

摘要 城市基础设施的持久性与居民生活质量紧密相连, 市政道路桥梁的设计优劣至关重要。在人们的环境保护意识不断增强及可持续性观念日渐普及的今天, 绿色环保理念在市政道桥设计中的融入尤为关键。本文深入探讨了以绿色环保理念为主导的市政道桥设计关键要素, 涵盖了原材料的选择、能源的高效运用、生态环境的维护等多个方面。同时, 通过具体案例的剖析, 展现了绿色环保理念如何在市政道桥设计中得到实际应用, 旨在为促进市政道桥设计的未来发展提供借鉴。

关键词 绿色环保理念; 市政道桥设计; 绿色材料; 能源利用优化; 生态保护

中图分类号: U412.37; U442.5

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.20.035

0 引言

道路和桥梁是市政基础设施的核心组成部分, 对于确保城市交通畅行与居民日常生活的便捷性起着关键作用。其设计的水准和安全性对城市的繁荣与居民生活品质有着至关重要的影响。传统的市政道桥设计多集中于满足交通需求, 而对生态影响和资源运用重视不足。在全球积极倡导生态环保、可持续发展的当下, 将绿色环保理念融入市政道桥的设计尤为迫切^[1]。在绿色环保理念引领下的市政道桥设计, 不仅能够减轻施工与运营阶段对环境的伤害, 而且能够提升资源的利用效率, 达成经济、社会、生态效益的三方共赢。

1 绿色环保理念在市政道桥设计中的重要性

1.1 促进城市可持续发展

城市基础设施中的市政道桥, 是推动城市进步的根本架构, 其施工与维护过程伴随着资源与能源的巨大消耗。在绿色环保理念的引领下, 设计理念发生了转变, 运用节能技术、生态材料, 并对设计策略进行精细化调整, 有效减少了资源与能源的消耗, 减轻了废料排放, 缓解了对城市自然环境的破坏, 为城市的持续健康发展提供了牢固的基石^[2]。例如: 借助太阳能、风能等可再生能源为桥梁照明及其辅助系统供电, 不仅减少了对传统化石能源的依靠, 还降低了温室气体的排放, 促进了城市向着绿色环保、低碳排放的方向发展。

1.2 提升城市生态环境质量

在传统的市政道桥施工过程中, 往往会对邻近的自然生态带来不利影响, 诸如破坏植物群落、影响水

体系统等问题。秉持绿色环保理念的市政道桥设计, 重视生态环境的维护与恢复, 于设计之初便将桥梁与周围自然环境的和谐统一作为重点, 实施针对性的生态防护策略。例如: 科学选择桥梁位置以降低对生态敏感地带的冲击、运用生态型护坡工艺以遏制土壤侵蚀、在桥梁周围开展植被恢复工程等, 这些措施有助于优化城市生态环境, 提高城市绿色水平, 为居民打造一个更加宜居的生活空间。

1.3 提高道桥全生命周期效益

尽管在初步建设时期, 将绿色环保理念纳入市政道路桥梁建设可能会带来成本的提升, 但综合其整个使用周期, 实施绿色设计理念能有效减少桥梁的日常维护费用。选择持久性更强的环保建材, 能够降低桥梁结构维修与更新的次数; 并且, 通过改善能源使用效率, 可以减少长期的能源使用开销。另外, 桥梁所提供的优良生态环境和积极社会效应, 也能间接增加桥梁的整体价值, 达到经济、社会和环境效益的最大化。

2 基于绿色环保理念的市政道桥设计要点

2.1 绿色材料的选用

1. 再生材料的应用。大力倡导在市政道路桥梁工程中运用再生物料, 如再生骨料制成的混凝土。通过对废弃的混凝土块、砖瓦等建筑废弃物进行再加工, 使其转化为可用的骨料, 进而投入到新型混凝土的制造中^[3]。这种再生骨料混凝土不仅有助于高效处理建筑废弃物问题, 减少对自然骨料的依赖, 从而护卫自然资源, 同时它在性能上也符合市政道路桥梁工程的基本标准, 展现出不错的经济价值和环保效益。另外,

还可以利用回收的钢铁,经过重新熔炼处理后,应用于桥梁钢结构建设,以此减少钢铁生产过程中的能源使用和环境污染。

2. 环保型材料的选择。选用绿色材料,如水性涂装材料、VOC含量偏低的粘合剂等,作为首选。在道路桥梁的防护、防水以及装修施工作业中,传统的有机溶剂型涂装材料与粘合剂含有较高比例的挥发性有机化合物,其在施用阶段会释放至大气中,对自然环境和人类健康带来不良影响。相比之下,水性涂装材料及低VOC粘合剂以水为主要溶剂,或者挥发性有机化合物的含量极低,这有助于显著降低空气中的污染物,确保施工人员及邻近居民的健康安全^[4]。另外,道桥表面可优先使用具备自洁特性的建筑材料,以减少人工清洗的需求,从而节约水资源及减轻清洁剂对环境造成的影响。

2.2 能源利用优化

1. 自然能源的利用。在绿色环保的市政道桥设计理念中,高效运用自然界中的能源占据了核心地位。以太阳能为例,这种纯净且可持续的能源,在道路桥梁的设计中可以被转化为实际应用,具体方法是在桥梁的防护栏、照明支柱乃至桥面适宜区域安装光伏发电板。这样,太阳能便可以转换为电力,进而供应桥梁的照明系统以及交通监控设施。例如:不少城市的桥梁已经在其两侧的防护栏上安装了光伏板,这些板产生的电力不仅足以支持桥梁自身的照明,还可以供电给部分智能交通系统,从而减轻对传统电网的依赖,减少能源消耗和温室气体排放。同时,风能的利用也不失为一种有效途径,在风能资源较为丰富的区域,可以在桥梁周围合适地点布置小型风力发电装置,与太阳能发电系统相辅相成,共同确保桥梁设施的电力供应。

2. 节能设备的应用。在市政道路桥梁的设备配置过程中,节能设备是首选。采用高性能的节能照明工具,如LED照明设备,与传统的白炽灯和荧光灯相比,它们展现出更高的发光效能、更低的能耗和更长的使用寿命。若在道路桥梁的照明系统中全面应用LED照明设备,将显著减少照明能源的消耗^[5]。此外,在道桥的通风与排水系统内,采用节能的风机和水泵等设施,并借助智能控制系统,依据实际需求调整设备的功率与运作时长,以防止能源的无谓消耗。例如:通过实时监控道桥通风需求,自动调整风机的转速,确保通风需求得到满足的同时,实现能源的有效利用。

2.3 生态保护与景观融合

1. 生态保护设计。道路桥梁施工必须高度重视邻近自然生态的维护。当桥梁必须跨越水域,如河流或湖泊时,应采纳科学合理的桥基建造方法,如改用钻

孔灌注技术取代传统的露天挖掘法,以此减轻对水域的影响,并防止施工期间大量泥土砂石混入水中,确保水生生态的安全。针对道路桥梁施工中难以避免的植被损坏问题,制订详尽的植被恢复方案至关重要。施工完成后,应迅速在桥梁周边的空旷地带、斜坡等区域栽种适宜本地生长的植物,以重建生态系统的完整与平衡。例如:在山区道路的建设中,对挖掘后的斜坡实施植被防护措施,栽植耐旱、根系强劲的草本和灌木种类,这不仅能有效遏制水土流失,还能助力自然生态的恢复。

2. 景观融合设计。城市的道路桥梁不单是交通要道,亦扮演着城市风貌的构成元素。在桥梁设计阶段,必须深入考虑其与周围自然及城市风貌的协调性。桥梁的外观设计可以汲取当地文化传统和历史符号,打造出富有地方特色的标志性景观。另外,桥梁周边配置的绿化景观带和休憩步道等设施,把桥梁与邻近的公园和绿地等景观和谐地融为一体,为市民营造了宜人的休憩环境,达到了交通与景观功能的完美结合。

2.4 交通功能与绿色出行的协调

1. 交通流畅性设计。确保市政道桥在交通运行中保持高效流通是其核心职能,恰当的交通流设计能有效减少车辆的无效怠速和频繁的加减速,进而减少能源的消耗与尾气排放。在桥梁的构筑设计中,应当适当规划车道的数目与宽度,并且精心布置交通流向,同时设置合理的信号系统及标志线^[6]。例如:在交通负荷较高的城市主干桥梁上,实施多车道策略,并且利用潮汐车道等措施,依据不同时间段的流量变化调整车道的通行方向,以增强道路的通行效率,缓解交通阻塞。此外,还需优化桥梁与周围道路的连通性,消除潜在的交通瓶颈,保障车辆能够高效且顺畅地穿行桥梁。

2. 绿色出行设施的配套。为倡导低碳环保的出行方式,市政道桥设计时需配备周全的非机动车道和行人步道系统。非机动车道需保持一定的宽敞度和适宜的倾斜度,以保障骑车者的安全与舒适感。桥梁上应规划出单独的非机动车通道,并且与周围的骑行网络互联互通,构成无缝的非机动车通行系统。行人步道在设计中要充分体现人文关怀,配备恰当的休息点、盲道等无障碍设计,确保行人通行便捷。同时,在桥梁附近科学布局公共自行车租借站点和共享单车的停放区域,以便居民轻松选择骑车出行,从而推动环保出行方式的普及。

3 基于绿色环保理念的市政道桥设计案例分析

3.1 案例背景

某市中心地带新建立的一座市政道桥,坐落周围是水系、绿园及繁华商业区域,承担着较大的交通负荷,

对于城市风貌和自然环境保护有着严格的标准。这座桥梁扮演着连接市区两大关键板块的重要纽带角色,其设计构思深度融入环保思想,旨在建设一座功能齐全、与自然和谐共处、外观赏心悦目的现代市政道桥。

3.2 绿色设计要点在案例中的应用

1. 绿色材料的应用。桥梁的主体架构广泛采用了强化型混凝土与抗气候影响的钢材。这种混凝土以卓越的强度和耐用性著称,有效降低了保养次数和经济支出。抗气候影响的钢材主要被利用在桥梁的户外金属结构中,如桥墩和扶手等,这种材料因为其优异的抗大气侵蚀特性而减少了防锈处理的必要性,从而削减了防锈漆的使用和对环境的可能伤害。此外,桥面的铺设选用了低温拌和沥青。与传统的高温拌和沥青相比,这种低温沥青在制造时需要的温度较低,因此节约了能源并降低了沥青烟雾等有害排放,在确保路面功能的同时也兼顾了环保效益。

2. 能源利用优化措施。此桥梁在构造阶段全面融入了太阳能技术的运用。桥梁两翼的路灯支柱上配置了太阳能光伏电池板,这些电池板所转化的电力既为路灯提供了照明,也支持了桥梁部分监控系统的电力需求。根据相关计算,该太阳能供电系统每年能够显著降低对传统电力的依赖,从而减少碳排放。另外,桥梁的照明系统完全采用了 LED 灯具,这显著提升了能源的利用效率。

3. 生态保护与景观融合设计。在河流上方构建桥梁时,采纳了尖端的钻孔灌注桩技术以打造桥基,最大程度地减轻了对河流自然环境的干扰。在施工阶段,对泥浆的排放执行了严格的管控措施,以防其对河水产生污染。此外,桥梁邻近的河畔及开阔地带实施了广泛的植被重塑和环境美化计划,涉及栽植众多本土的树木、灌木以及草类,打造了一个层次丰富的生态景致。桥梁的设计风格融入了当地水乡的文化特色,其结构线条优雅,与周围的自然美景和水乡特色相得益彰,成为新区一道引人注目的风景线,有效提升了该片区整体美观度。

4. 交通功能与绿色出行的协调。该桥梁设计具备双向六车道的通行能力,并增设了变向潮汐车道,以适应早晚高峰时段车流方向的变化,极大程度上减轻了交通压力。桥两侧配备了分离且宽敞的自行车道与行人步道。自行车道铺设了色彩鲜明的防滑材料,与车行道和步行道界限分明,确保了骑行者的安全。步行道配备了休息凳、废物箱以及无障碍设施,为行人提供了便捷的步行环境。桥的两端及附近地区还设置了众多公共自行车借用点,旨在推动居民选择环保出行

方式,减少汽车依赖,从而减少交通领域的碳排放。

3.3 实施效果

该市政道桥自启用以来,实现了多方面的积极效果。在环保效益层面,桥梁建设选用了环保建材、提升了能源使用效率并采取了多项生态维护措施,有效降低了建造成过程中的能源需求和环境污染,维护了周边自然环境的平衡。在社会效益角度,桥梁提供了高效的交通服务与绿色出行支持系统,极大地便利了市民的通勤,增强了出行安全与舒适度,推动了低碳出行方式的普及。从经济角度看,尽管使用了成本较高的高性能材料,但长远计算,这减少了桥梁的保养费用和能源开销,展现了出色的成本效益。这座桥梁已成为城市新建区域绿色基础设施的标杆,并为同类市政道路桥梁的绿色化设计积累了重要参考。

4 结束语

将绿色环保理念融入市政道路桥梁构建之中,不仅是顺应时代前进的必然选择,更是推进城市可持续发展的关键策略。采用环保建材、提升能源使用效率、实现生态防护与景观一体化以及平衡交通功能与绿色出行等设计策略,有助于显著减轻市政道路桥梁在建设 and 维护过程中对自然环境的负担,增强资源使用的有效性,从而带来积极的经济、社会及环境效应。现实中的成功案例已经证明,在市政道路桥梁设计中导入绿色环保理念是切实可行且具备显著优越性的。未来,市政道路桥梁设计领域应当深化绿色环保理念的融合与创新,持续探求更加绿色、高效、人性化的设计理念与技术,助推市政道路桥梁项目走向绿色化、可持续化的道路,为打造适宜居住与工作以及推进生态文明建设提供更全面的助力。

参考文献:

- [1] 吴思凯.市政道桥设计中存在问题与改进措施研究[J].工程与建设,2022,36(05):1289-1291.
- [2] 黄山.市政道桥设计中存在的问题与改进措施研究[J].工程与建设,2022,36(04):983-984,1035.
- [3] 沈鹏.绿色节能理念在市政道桥施工中的应用与实践[J].智能建筑与智慧城市,2024(01):109-111.
- [4] 张明,汪舟,施舒海.基于BIM技术的道桥工程设计要点研究[J].交通科技与管理,2023,04(24):71-74.
- [5] 陈思远.市政道路施工中绿色技术的应用研究[J].城市建设理论研究,2022,11(03):45-48.
- [6] 刘洋,李娜.绿色环保技术在市政道路施工中的应用效果分析[J].环境科学与管理,2023,38(02):67-71.

水电站压力钢管焊接技术应用研究

汤正军，杜 波

(中国水利水电第七工程局有限公司，四川 成都 610000)

摘 要 水电站压力钢管是输送高压水流的重要组成部分，其焊接质量直接决定了输送管道结构的完整性，若存在裂纹、气孔、未熔合等焊接缺陷，就容易引发严重事故。因此，深入研究压力钢管的材料特性及焊接工艺，对提升工程质量具有重要意义。本文结合实际工程需求，分析常用钢材的性能参数及其焊接性，探讨影响焊接质量的关键因素，并系统介绍了焊接前后需采取的检测方法，以期为焊接水电站压力钢管提供技术支持。

关键词 水电站；压力钢管；焊接技术

中图分类号: TV547.2; TG457

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.20.036

0 引言

在水电站中，压力钢管作为承受高水头、高流速水流冲击的重要部件，必须具备足够的强度以及良好的韧性。而焊接技术是连接压力钢管各段的核心工艺，其质量对管道的承压能力影响较大。不合理的焊接工艺会降低管道的结构强度，甚至引发严重的安全事故。因此，在水电站压力钢管的焊接过程中，焊接人员需严格控制焊接工艺参数，优化焊材选配，并采取科学的预热、焊接、焊后处理及缺陷检测技术，以提升焊缝质量，保证其在高压或低温等复杂工况下稳定运行。

1 水电站压力钢管材料与焊接性分析

1.1 常用钢材性能参数

压力钢管是水电站中用于输送高压水流的管道，其材料需要具备高强度、韧性好、耐腐蚀等性能，提高压力钢管的安全性、耐久性。表1为常见的钢材性能参数。

1.2 焊接性检验方法

焊接性是评价钢材在焊接过程中是否易于获得优质接头的重要指标，而对于水电站压力钢管，焊接质量更是直接关系到其安全性^[1]。焊接性试验方法主要包括焊接工艺评定、焊接接头性能测试以及无损检测等，利用这些方法可以全面评估焊接接头的质量。

焊接工艺评定主要目的是确定焊接工艺参数的合理性，施工人员主要检查焊条、焊丝等焊接材料是否与母材的化学成分匹配，并利用试验确定最佳的焊接电流、电压等参数，根据压力钢管的设计要求，检验对接头、角接头等形式的适用性。同时，焊接接头性能测试是焊接性试验的核心内容，主要包括力学性能测试和微观组织分析，其中，结合拉伸试验、弯曲试验等方法，评估焊接接头的强度、塑性以及韧性，使用金相显微镜观察焊接接头的微观组织，检查是否存在裂纹、气孔、夹渣等缺陷，并分析热影响区的组

表1 常用钢材性能参数

钢材牌号	屈服强度 (MPa)	抗拉强度 (MPa)	延伸率 (%)	冲击韧性 (J)	焊接性能	耐腐蚀性
Q345	345	470 ~ 630	≥ 21	≥ 34(20 ℃)	良好	一般
Q390	390	490 ~ 650	≥ 19	≥ 34(20 ℃)	良好	一般
Q420	420	520 ~ 680	≥ 18	≥ 34(20 ℃)	良好	一般
Q460	460	550 ~ 720	≥ 17	≥ 34(20 ℃)	良好	一般
16Mn	345	510 ~ 660	≥ 21	≥ 34(20 ℃)	良好	一般
15MnV	390	530 ~ 685	≥ 19	≥ 34(20 ℃)	良好	一般
14MnMoV	490	610 ~ 785	≥ 16	≥ 34(20 ℃)	良好	一般
07MnCrMoVR	490	610 ~ 785	≥ 16	≥ 34(20 ℃)	良好	良好

织变化^[2]。无损检测则主要用于检测焊接接头内部的缺陷：施工人员利用超声波在材料中的传播特性，检测焊缝内部的裂纹、气孔等缺陷，借助 X 射线或 γ 射线透视焊缝，生成影像以检测内部缺陷。而磁粉检测（MT）与渗透检测（PT），负责检测焊缝表面的裂纹、气孔等缺陷。对于水电站压力钢管，耐腐蚀性也是焊接性试验的重要内容之一。采用盐雾试验、浸泡试验等方法，评估焊接接头在腐蚀环境中的抗腐蚀能力，保证其长期使用的可靠性。

2 水电站压力钢管焊接技术分析

2.1 焊材选配协同低氢工艺控制技术

在水电站压力钢管焊接中，焊材选配协同低氢工艺控制技术主要负责解决高强度钢材（如 Q390、Q460）在焊接中的氢致裂纹问题，施工人员借助焊材选型、优化工艺参数及焊后处理，系统降低焊缝氢含量（ $\leq 5 \text{ mL}/100 \text{ g}$ ），提升接头抗裂性，应用于高强度低合金钢（碳当量 $\geq 0.45\%$ ）、厚板（ $\geq 40 \text{ mm}$ ）多层焊及低温（ $< 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ）环境。焊材选配选用低氢型碱性焊条（如 E7018-G，扩散氢 $\leq 4 \text{ mL}/100 \text{ g}$ ）、ER80S-G 焊丝配合高纯 $\text{Ar}+20\%\text{CO}_2$ 保护气，或 SJ101 碱度焊剂，从源头减少氢来源^[3]。在焊接工程中，施工人员需要执行焊材复验（按 GB/T3965 检测扩散氢）、工艺评定（NB/T47014 覆盖全工况）及焊接参数全程记录（WeldLogic 系统）。该技术可将氢致裂纹率控制在 0.5%，接头抗拉强度 $\leq$ 母材强度上限 $+30 \text{ N}/\text{mm}^2$ -20 $^{\circ}\text{C}$ 冲击功 $\geq 47 \text{ J}$ ，满足水电站压力钢管在高压、交变载荷下的长期安全服役需求。

2.2 工艺参数优化及热输入精准调控

2.2.1 工艺参数优化

压力钢管焊接时，施工人员根据钢材碳当量（ C_{eq} ）及厚度动态调整预热温度。如 Q460 钢（ $C_{eq} \approx 0.48\%$ ）板厚 40 mm 时，预热温度需 $\geq 150 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ，板厚 60 mm 时提高至 180 ~ 200 $^{\circ}\text{C}$ ，以降低焊接冷裂纹风险^[4]。同时采用阶梯式参数设置，打底焊使用较小电流（如 $\Phi 3.2 \text{ mm}$ 焊条，电流 90 ~ 110 A），填充盖面焊逐步增加（ $\Phi 4.0 \text{ mm}$ 焊条，电流 160 ~ 220 A），电压匹配范围为 22 ~ 28 V，保障熔深与熔宽比例合理（熔宽/熔深 $\approx 1.2 \sim 1.5$ ）。另外，针对不同焊道功能调整速度，打底焊速度 8 ~ 12 cm/min 以减少烧穿，填充焊提高至 15 ~ 20 cm/min 提升效率。利用红外测温仪实时监控层间温度，严格控制在 150 ~ 200 $^{\circ}\text{C}$ （高强度上限为 200 $^{\circ}\text{C}$ ），避免过热导致晶粒粗化。

2.2.2 热输入精准调控

热输入调控侧重于高强钢焊接热影响区（HAZ）性能劣化问题，适用于压力钢管环缝焊接、低温环境（-10 $^{\circ}\text{C}$ 以下）施工等需平衡焊接效率与接头韧性的场景。施工人员依据 $Q = \frac{60 \times I \times U}{1000 \times V}$ （单位：kJ/cm），限定热输入在 15 ~ 25 kJ/cm 范围内。如 Q420 钢焊接时，采用 $\Phi 4.0 \text{ mm}$ 焊条，电流 180 A、电压 24 V、速度 15 cm/min，热输入为 17.28 kJ/cm。之后，采用脉冲 MIG 焊，基值电流设置为 80 A、峰值电流 220 A、频率 2 Hz，降低平均热输入 20% ~ 30%，减少 HAZ 软化。针对厚板（ $\geq 50 \text{ mm}$ ）环缝，采用坡口角度 $\leq 10^{\circ}$ 的窄间隙工艺，热输入在 18 ~ 22 kJ/cm 之间，减少焊道数量（由常规 30 道降至 18 道），HAZ 宽度由 3 mm 缩至 1.5 mm。

2.2.3 预热梯度设计与温控策略实施

压力钢管焊接前需要预热，焊接人员根据板厚分层设置预热温度，其中 60 mm 厚 Q460 钢板，采用三层梯度预热：底层（近焊缝区）预热至 180 ~ 200 $^{\circ}\text{C}$ ，中层 150 ~ 170 $^{\circ}\text{C}$ ，表层（远离焊缝区）120 ~ 140 $^{\circ}\text{C}$ ，梯度温差 $\leq 50 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{层}$ 。并采用中频感应加热器（频率 1 ~ 10 kHz），功率密度 3 ~ 5 W/mm²，加热宽度为焊缝两侧各 100 mm，升温速率 $\leq 50 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ，维持温度波动 $\leq \pm 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 。同时，焊缝两侧 50 mm、150 mm、250 mm 处还需布置热电偶，实时监控温度分布，并使用红外热像仪校准^[5]。焊接过程中还会存在层间温度波动问题，焊接人员在多层焊接时，采用 PID 算法实时调节加热功率，定层间温度 150 ~ 180 $^{\circ}\text{C}$ （高强度上限为 200 $^{\circ}\text{C}$ ），波动范围 $\leq \pm 15 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 。当环境温度低于 -5 $^{\circ}\text{C}$ 时，增设防风棚与辐射加热器，将焊接区域微环境温度提升至 $\geq 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ，并延长预热时间 20% ~ 30%。该技术借助抑制焊接残余应力（ $\leq 150 \text{ MPa}$ ）、保障低温韧性（-30 $^{\circ}\text{C}$ KV2 $\geq 27 \text{ J}$ ），可将氢致裂纹率降至 0.3% 以下，HAZ 晶粒度细化至 8 ~ 9 级，残余应力降低 60% ~ 70%，焊缝一次合格率 $\geq 98\%$ （按 GB/T19869.1 标准），大幅提升压力钢管在高压、低温及交变载荷下的安全性。

2.2.4 多层焊道排布耦合残余应力控制

对于多层焊道排布耦合残余应力控制技术，焊接人员在焊接水电站压力钢管时，采用“窄焊道+对称交错跳焊”策略，单道焊层厚度 $\leq 4 \text{ mm}$ ，焊道宽度 8 ~ 12 mm，相邻焊道搭接量 30% ~ 50%（如首层焊道中心偏移坡口中心线 2 ~ 3 mm，次层反向偏移）。环缝焊接中，按“4-8-12 点对称分段退焊法”划分焊接区段，每段长度 $\leq 300 \text{ mm}$ ，焊接顺序遵循“先内后外、先下后上”原则，电流参数分级设置（打底焊 $\Phi 3.2 \text{ mm}$ 焊条

110 ~ 130 A, 填充焊 $\Phi 4.0$ mm 焊条 160 ~ 200 A, 盖面焊 180 ~ 220 A), 层间温度严格控制在 150 ~ 180 $^{\circ}\text{C}$, 热输入限定为 18 ~ 22 kJ/cm。每焊完 2 ~ 3 层后, 便采用液压式焊缝碾压机碾压焊道 (碾压力 5 ~ 8 kN, 辊轮直径 50 mm), 降低 40% ~ 50% 的表层残余应力。若产生厚板 (≥ 60 mm) 焊缝, 焊后立即进行局部感应加热消应力 (温度 350 ~ 400 $^{\circ}\text{C}$, 升温速率 ≤ 50 $^{\circ}\text{C}/\text{h}$, 保温时间 2 min/mm 板厚), 配合超声冲击 (频率 20 kHz, 冲击能量 0.5 ~ 1.0 J) 细化表层晶粒。最后, 使用气动锤击枪 (锤头半径 3 mm), 锤击力度 0.15 ~ 0.25 MPa, 锤击密度 4 ~ 6 点/cm², 重点作用于焊缝中心及热影响区, 促使残余应力峰值从 350 MPa 降至 ≤ 120 MPa。

3 水电站压力钢管焊接注意事项

3.1 焊前严格检查材料质量

在焊接前, 焊接人员需严格检查进场钢管材料的材质证明、合格证及相关检测报告, 分类存放不同批次、不同材质的钢管, 并做好标识, 防止混淆使用。采用目视检查和量具测量相结合的方法, 检查钢管表面质量, 重点检查是否存在裂纹、夹杂、锈蚀、凹坑等缺陷, 同时测量钢板厚度是否均匀, 管道是否变形或弯曲。使用超声波探伤、射线探伤或磁粉探伤等无损检测方法, 检测钢管内部缺陷, 排查是否存在分层、夹杂、气孔等隐患。及时剔除不合格材料, 并根据相关标准处理。

3.2 焊中严格挑选焊接方法

在焊接过程中, 焊接人员需要根据钢管材质、壁厚等因素进行合理选定焊接工艺, 并保证所选方法满足工程要求。同时, 避免使用可能导致焊缝缺陷的方法, 以降低焊接风险。焊接材料的选用必须符合设计要求, 与母材匹配良好, 保证焊接接头的强度。并防止使用不合格或受潮的焊接材料, 以免影响焊缝质量。焊接设备需保持正常状态, 要求电流、电压等参数稳定, 以避免焊接不均匀、夹渣等问题。焊接环境也是一个重要影响因素, 要尽量在适宜的温度、湿度和风速条件下焊接, 如果必须在不利条件下施工, 则应采取相应的保护措施。焊工应具备相应的资质, 严格按照施工方案操作, 并注意清理焊缝, 避免夹渣、未焊透等缺陷。在焊接过程中, 需特别注意焊接应力的控制, 减少变形、开裂。采取合理的焊接顺序, 均衡释放应力。

3.3 焊后及时检验焊缝质量

压力钢管焊接完成后, 焊缝表面要求无裂纹、气孔等明显缺陷, 焊道连续均匀, 焊缝过渡区域平滑,

需特别注意焊缝与母材连接处的融合状态, 避免因应力集中导致潜在开裂风险。除目视检查外, 必须采用无损检测技术全范围扫描焊缝内部, 检测范围需覆盖焊缝全长度及热影响区, 避免漏检。焊缝检验应在焊接完成后及时进行, 避免因环境温度变化或外部应力干扰影响检测结果。若焊接区域存在残余应力或变形, 需在应力释放或矫正后复检。检验过程中需确保环境湿度、温度符合检测要求, 避免水汽、油污或灰尘附着焊缝表面, 干扰检测精度。露天作业时采取防风、防雨措施, 保证检测条件稳定。检验人员需持有相关无损检测资质证书, 熟悉压力钢管焊接标准 (如 GB/T3323、NB/T47013 等), 并严格按照规范操作检测设备, 避免因人为误判影响结果准确性。对检测不合格的焊缝, 明确标注缺陷区域, 制定返修方案并经审批后实施。

4 结束语

水电站压力钢管作为输送高压水流的重要组成部分, 其焊接技术的优劣直接决定管道的安全性。在压力钢管的焊接过程中, 焊接人员需选择合适的材料以及焊接工艺, 并优化焊接参数, 控制热输入及合理安排焊后处理工艺, 以保证焊接质量符合设计要求。此外, 为保障水电站压力钢管在高压、低温等复杂工况下的长期稳定运行, 焊接人员必须结合现代无损检测技术, 全面检测每一处焊接接头。通过不断优化焊接技术, 不仅可以提高焊接接头的可靠性, 还能有效延长水电站压力钢管的使用寿命, 减少维护成本。未来, 随着新材料、新工艺的不断发展, 焊接技术将不断完善, 为水电站的高效、安全运营提供更为坚实的技术保障。

参考文献:

- [1] 罗聪, 李诚. 大型水电站压力钢管无气刨清根高效率焊接工艺研究 [J]. 水电站机电技术, 2024, 47(09): 116-118.
- [2] 罗聪. 水电站压力钢管全位置自动焊接技术研究 [J]. 水电站机电技术, 2024, 47(09): 132-134.
- [3] 汪海雁, 张顺强. 杨房沟水电站压力钢管鼓包原因分析及处理措施 [J]. 水利水电快报, 2023, 44(S2): 32-34, 38.
- [4] 蔡汝明. 高湿度环境下压力钢管快速制作安装技术 [J]. 水电站机电技术, 2023, 46(11): 78-82.
- [5] 李婷, 许超. 水电站压力钢管焊缝检测中相控阵超声技术的应用研究 [J]. 中国高科技, 2023(20): 130-132.

建筑工程施工中的绿色施工方法研究

许超志

(肥西县乡建工程有限责任公司, 安徽 合肥 230000)

摘要 为了探究建筑工程施工中的绿色施工方法, 以实现环保、资源节约及可持续发展的目标, 本文对建筑工程绿色施工展开了分析, 阐述了节能施工技术、环保施工技术、资源节约与废弃物管理以及绿色施工工艺优化等绿色施工方法, 分析了绿色施工面临的高成本、技术难度大、施工人员技能不足和市场认知度低等挑战, 并提出通过全生命周期成本分析、加强绿色技术研发、建立完善培训体系和提高市场认知度等方法应对挑战, 以期为推动建筑工程的可持续发展提供有益参考。

关键词 绿色施工; 建筑工程; 环保; 资源节约; 可持续发展

中图分类号: TU74

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.20.037

0 引言

随着城市化进程的加速, 建筑工程数量不断攀升, 建筑质量标准越来越高, 传统施工模式暴露出诸多弊端。一方面, 大量的能源消耗给能源供应带来沉重压力, 且碳排放对气候造成负面影响。另一方面, 施工过程中产生的废弃物、扬尘等污染环境, 资源浪费现象也十分严重。在此形势下, 绿色施工理念应运而生。它强调在建筑工程施工中, 最大限度地节约资源、保护环境, 实现社会效益、经济效益和环境效益的统一。绿色施工不仅是应对能源危机和环境问题的必然选择, 也是建筑行业提升自身竞争力、实现长远发展的关键路径。

1 建筑工程施工中的绿色施工方法

1.1 节能施工技术

在建筑工程施工中, 节能施工技术发挥着至关重要的作用。一方面, 合理选用节能灯具可大幅降低施工现场的照明能耗。例如: 采用 LED 灯, 其相比传统白炽灯, 能耗可降低 70%~80%, 且使用寿命更长, 减少了灯具更换频率, 间接降低维护成本。另一方面, 对施工设备进行节能改造也成效显著。比如通过安装智能控制系统, 使施工设备能依据实际工作负荷自动调节功率, 避免设备长时间空载运行。以塔吊为例, 安装该系统后, 在吊运轻载物料时, 可自动降低电机转速, 减少不必要的电能消耗, 经实际测算, 每月可节约 10%~15% 的电能。

1.2 环保施工技术

环保施工技术是绿色施工的关键组成部分。在噪声控制方面, 采用低噪声施工设备, 如液压打桩机相

较于传统柴油打桩机, 能将噪声降低 20~30 分贝, 极大地减少了对周边环境及居民的噪声干扰。同时, 设置有效的隔音屏障, 在施工现场边界搭建吸音材料制成的围挡, 可进一步阻隔噪声传播。在扬尘治理上, 施工现场配备洒水车定时洒水, 保持场地湿润, 有效抑制扬尘产生。对易产生扬尘的物料, 如砂石、水泥等进行密闭存放或覆盖防尘网, 防止其在风力作用下飞扬。在污水处理方面, 建立专门的污水处理系统, 对施工过程中产生的泥浆水、车辆冲洗水等进行沉淀、过滤和净化处理, 达标后再排放, 避免污水对周边水体造成污染, 维护了生态环境的平衡。

1.3 资源节约与废弃物管理

在绿色施工中, 资源节约和废物管理是必不可少的一环。为节约用水, 施工现场设置雨水收集系统, 用于场地降尘、清洗车辆和混凝土养护。据统计, 在中等规模的建筑工程中, 利用雨水收集系统, 每月可以节省 20%~30% 的水资源。同时推广感应式水龙头等节约用水的器具, 减少用水的浪费。对于材料的节约, 要准确计算材料的数量, 避免超量采购; 采用钢筋直螺纹等先进施工技术, 与传统焊接工艺相比, 可降低钢材损失 5%~10%。对建筑废物, 实行分类回收, 用废弃混凝土、砖石等作路面基层, 对钢材、木材等进行循环利用, 提高资源利用效率, 减少对新资源的开采要求, 达到资源高效循环利用的目的。

1.4 绿色施工工艺的优化

绿色施工工艺的优化是提升绿色施工水平的重要手段。在基础施工阶段, 采用先进的逆作法施工工艺, 相比传统顺作法, 可减少基坑开挖面积, 降低对周边

土体的扰动,缩短施工周期20%~30%,同时节约大量模板材料。在主体结构施工中,推广装配式建筑工艺,将建筑构件在工厂预制,然后运输到施工现场进行组装,不仅能提高施工效率,减少现场湿作业,降低建筑垃圾产生量,还能提升建筑质量^[1]。在装饰装修阶段,采用新型环保装饰材料,如水性涂料、竹木纤维板等,这些材料环保性能优越,减少了有害气体的释放,且施工工艺简单,可缩短装修工期,优化整个建筑工程施工流程,实现绿色、高效的建设目标。

2 建筑工程绿色施工面临的挑战

2.1 高成本问题

建设项目绿色施工成本高的问题从不同层次上表现出来。首先,在绿色建筑中使用的节能灯具、低噪声设备和环保材料等的采购成本一般都要比传统的产品高得多。例如:高效率、节能的LED灯,其价格比普通白炽灯贵好几倍;低噪声的建筑设备,隔音效果更好,造价也比传统设备贵。其次,为了达到绿色建筑的要求,建设阶段需要投入更多的资源、资源的节约与废弃物的管理。例如:建造雨水收集系统,不但要购买专用的集雨设备和管线,还要规划和建设场地,这些操作都会增加前期建设费用。

另外,绿色施工过程往往要求施工过程更加精细,管理标准也更加严格,这就意味着要投入大量的人力物力来进行监管,从而造成了劳动力成本的增加。此外,部分绿色建筑技术还需专业人员操作维护,增加人力成本。

2.2 技术难度大

绿色施工技术在实际应用中面临诸多技术难题。在节能施工技术方面,虽然太阳能热水系统等节能设备有较好的节能效果,但受天气、地理位置等因素影响较大,要确保稳定高效运行存在一定困难。例如:在阴雨天气频繁的地区,太阳能热水系统的集热效率会大打折扣,难以满足施工人员的热水需求。在环保施工技术中,污水处理系统要实现对各类复杂施工污水的有效处理并非易事。施工污水中成分复杂,可能含有大量泥沙、化学药剂以及重金属离子等,要通过沉淀、过滤、净化等一系列工艺使其达标排放,需要精准控制处理流程和参数,对技术要求极高。在资源节约与废弃物管理方面,实现废弃混凝土、砖石等的高效回收再利用,需要先进的破碎、筛分和再生工艺,但目前相关技术仍有待完善,再生产品的质量和性能还不稳定。

2.3 施工人员技能不足

建筑施工人员技术水平不高,已成为制约绿色施工发展的瓶颈。大多数一线建筑工人受教育程度不高,很少有机会接受专业的绿色施工技能训练。在节能施工技术方面,由于对智能控制系统工作原理的了解不够,对施工设备的调试与维护不到位,使设备达不到最佳的节能效果^[2]。在环保施工技术方面,施工人员对低噪声设备的正确使用方式不甚了解,或在扬尘治理过程中没有严格按照要求执行材料覆盖和洒水作业,导致环保措施不能有效实施。在资源节约和废物管理方面,施工人员对材料节约的重要性认识不足,造成材料浪费现象严重。另外,在对建筑垃圾进行分类回收时,由于对分类标准及回收流程不熟悉,造成随意丢弃或混放,影响资源回收率。从绿色建造过程来看,装配式建筑等新型建造技术对施工人员的操作技能提出了更高的要求,但由于施工人员经验不足,构件拼装时易产生偏差,影响施工质量与施工进度。

2.4 市场认知度低

市场对建筑工程绿色施工的认知度低是目前面临的一大挑战。一方面,建设单位对绿色施工的理解往往停留在表面,认为绿色施工只是增加成本的额外要求,未能充分认识到其带来的长期效益,如降低运营能耗、提升建筑品质从而增加房产附加值等。这导致建设单位在项目决策时,优先考虑传统施工方式以控制成本,忽视了绿色施工的潜在价值。另一方面,消费者对绿色建筑的认识也较为有限,在购房或租房时,通常更关注价格、地段等因素,对建筑是否采用绿色施工技术、是否节能环保关注较少^[3]。这种市场需求导向使得开发商缺乏推动绿色施工的动力,因为即使采用绿色施工提升了建筑品质,也难以通过市场价格得到充分回报。此外,社会大众对绿色施工的了解普遍不足,媒体宣传力度不够,导致绿色施工在社会层面缺乏广泛的认同感和支持度。这一系列因素使得绿色施工在市场推广过程中面临重重阻力,难以形成良好的市场氛围和发展环境。

3 应对建筑工程绿色施工挑战的方法

3.1 全生命周期成本分析

全生命周期成本分析是解决绿色施工高成本问题的有效手段。在项目决策阶段,对建筑工程从规划设计、施工建设到运营维护,直至最终拆除的整个生命周期进行成本核算,不仅仅要关注前期施工成本,还要充分考虑建筑在长期使用过程中的能耗成本、维护成本

等。例如：虽然采用节能灯具、低噪声设备等绿色施工设备和材料在采购时成本较高，但从长期运营角度看，其节能、降噪效果可显著降低能源消耗费用以及因噪声污染引发的潜在赔偿成本。在施工阶段，通过精准的成本分析，合理安排资源，避免不必要的浪费，确保绿色施工成本投入的合理性。同时，在建筑运营阶段，依据前期成本分析结果，优化能源管理策略，进一步降低运营成本。通过全生命周期成本分析，让建设单位清晰认识到绿色施工虽前期投入较大，但从长远来看，能够实现成本的有效控制和效益的最大化，从而增强其采用绿色施工的积极性。

3.2 加强绿色技术研发

针对绿色施工技术难度大的问题，加强绿色技术研发刻不容缓。一方面，政府和企业应加大对绿色施工技术研发的资金投入，鼓励科研机构 and 高校开展相关研究项目。例如：研发更高效稳定的太阳能热水系统，提高其在不同天气和地理条件下的集热效率，降低对传统能源的依赖程度。另一方面，推动产学研深度融合，促进科研成果的快速转化和应用。如在污水处理技术研发中，科研人员与施工企业紧密合作，根据施工现场污水的实际特点，研发针对性强、处理效果好的污水处理工艺和设备^[4]。同时，加强国际技术交流与合作，引进国外先进的绿色施工技术和经验，结合国内实际情况进行消化吸收再创新。例如：学习国外先进的装配式建筑技术，优化构件的标准化设计和生产工艺，提高装配式建筑在国内的施工质量和效率，逐步攻克绿色施工中的技术难题，推动绿色施工技术的不断进步。

3.3 建立完善的培训体系

要解决建筑工人缺乏专业技能的问题，必须建立健全的培训制度。首先，针对不同岗位、不同技能水平的施工人员，制定有针对性的培训方案；对基层建筑工人进行节能施工、资源节约、环境保护等方面的基本知识和操作技能的培训。例如：对节能灯具的安装和使用，低噪声设备的操作规程，建筑垃圾的分类标准和回收流程进行详细的说明。为技术人员及管理人员提供先进的绿色施工工艺优化及新技术应用培训，以提高技术与管理水平。其次，在培训方式上采取多种形式，如课堂授课、现场实训和网上学习平台等。通过实际操作训练，使建设者们在实际操作中体验并掌握绿色施工技术的操作要点。利用网上学习平台，使施工人员在任何时间、任何地点都能学习到最新的绿色施工知识与技术。此外，还将组织定期培训和考核，

通过考核合格者，颁发相应的证书，激励他们积极参与与培训，提高自己的技术水平，为绿色施工的成功进行提供人才保证。

3.4 提高市场对绿色施工的认知度

提升市场对绿色施工的认知度是推动绿色施工发展的重要举措。首先，加强对建设单位的宣传引导，通过举办绿色施工研讨会、专题讲座等活动，向建设单位详细介绍绿色施工的优势和全生命周期成本效益分析结果，使其充分认识到绿色施工不仅有助于提升建筑品质，还能在长期运营中降低成本，提高投资回报率^[5]。其次，针对消费者，利用媒体宣传、房产展销会等渠道，普及绿色建筑的概念和优点，如绿色建筑的节能环保性能可降低居住成本、提升居住舒适度等，引导消费者树立绿色消费观念，增加对绿色建筑的市场需求。最后，政府部门可通过制定相关政策法规，对采用绿色施工的项目给予一定的政策优惠，如税收减免、容积率奖励等，提高开发商采用绿色施工的积极性。同时，加强社会舆论宣传，提高社会大众对绿色施工的关注度和认同感，营造良好的市场氛围，促进绿色施工在建筑市场的广泛应用。

4 结束语

建筑工程绿色施工对实现环保与可持续发展意义重大。目前，绿色施工方法还面临着高成本、技术难等挑战，但通过全生命周期成本分析、加强技术研发、建立完善的培训体系及提升市场对绿色施工的认知度等方法，可有效应对这些挑战。未来，随着技术不断进步、各方意识提升，绿色施工有望在建筑工程中广泛应用，实现资源高效利用与环境友好，推动建筑行业迈向更绿色、更可持续的发展道路。

参考文献：

- [1] 周鹏,李昌阔.住宅建筑工程施工技术全过程控制与管理[J].居舍,2025(07):173-176.
- [2] 鹿婷,李云春,王佳平.基于云模型的绿色建筑施工阶段成本风险管理研究[J/OL].建筑节能(中英文),1-14[2025-03-05].<https://www.cnki.com.cn/Article/CJFDTotal-FCYY20250227002.htm>.
- [3] 王若涵.绿色建筑理念下的土建施工新技术应用探究[J].建材发展导向,2025,23(04):133-135.
- [4] 严海元.浅析桥梁转体绿色化施工工艺与关键技术[J].智能建筑与智慧城市,2025(02):101-103.
- [5] 刘浩,荣学志.低碳环境下的绿色建筑施工技术要点分析[J].佛山陶瓷,2025,35(02):150-152.

建筑工程中防渗水施工技术应用研究

于 恒¹, 王秋凤², 陈东莉³

- (1. 聊城国恒项目管理有限公司, 山东 聊城 252000;
2. 聊城市冠县国鑫建材有限公司, 山东 聊城 252000;
3. 聊城三正建筑安装工程有限公司, 山东 聊城 252000)

摘 要 防渗水技术在确保建筑物结构安全、延长使用寿命以及提升居住舒适度方面发挥着关键作用。本文通过对防渗水技术的分类、应用现状及存在问题进行分析, 提出了针对性的优化措施, 旨在为提高建筑工程的防渗水能力、减少渗漏问题带来的经济损失和安全风险提供借鉴。研究结果显示, 合理选择和应用防渗水施工技术, 结合严格的质量控制和材料选择, 能显著提升建筑工程的整体质量。

关键词 建筑工程; 防渗水施工技术; 屋面防渗水; 外墙防渗水; 地下室防渗水

中图分类号: TU761.11

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.20.038

0 引言

随着城市化进程的加速, 建筑工程的数量和质量要求日益提高。防渗水作为建筑工程的关键环节, 直接关系到建筑物的稳定性和使用寿命。建筑物防水防渗不达标, 不仅会影响建筑物的外观形象, 严重时还会对建筑物的结构安全和使用功能造成重大损害。因此, 深入研究防渗水施工技术, 优化施工方案, 具有重要的现实意义和应用价值。本文系统分析建筑工程中防渗水施工技术的应用现状, 探讨存在的问题, 并提出相应的改进措施, 以期为提高建筑工程的防渗水能力提供参考。

1 防渗水施工技术概述

1.1 防水材料的选择与应用

根据不同的应用场景, 如屋顶、地下室、桥梁或隧道等, 可以选择适合的防水材料。常见的防水材料包括沥青基材料、合成高分子材料(如PVC、TPO)、橡胶类材料(如EPDM)以及新型复合材料。每种材料都有其独特的性能特点, 例如耐候性、抗老化能力、柔韧性、粘结力等。沥青基材料因其成本低廉且易于施工而被广泛应用, 但它们可能在极端温度下表现不佳。相比之下, 合成高分子材料提供了更好的耐化学腐蚀性和机械强度, 适用于更具挑战性的环境。橡胶类材料则以优异的弹性和延展性著称, 非常适合用于需要适应结构变形的部位。新型复合材料结合了多种材料的优点, 不仅具备良好的防水性能, 还能够提供额外的功能, 比如隔热、隔音等。选择防水材料时, 除了考虑材料本身的特性外, 还需综合评估项目所在

地的气候条件、建筑结构类型及预期使用寿命等因素, 确保所选材料能够在特定环境中发挥最佳效果。

1.2 防水层的设计与施工

设计阶段应充分考虑建筑物的功能需求、地理位置、地下水位高度以及可能面临的水压情况。合理的防水层数量、厚度及其构造形式需基于这些因素来确定。例如: 在地下工程中, 通常会采用多道防线策略, 即设置内外两层甚至更多层次的防水屏障, 以提高防护等级; 而在平屋面工程中, 则更注重排水坡度的设计, 防止积水形成对防水层造成破坏。施工质量同样不可忽视, 它决定了设计方案能否得到准确执行^[1]。施工前必须做好基层处理工作, 保证表面平整干净, 并消除所有可能影响粘结效果的因素。接着按照规定的工艺流程铺设防水卷材或涂刷防水涂料, 确保各层之间紧密贴合无空鼓现象。对于接缝处和细部节点, 要特别加强处理, 使用密封胶条或其他辅助材料进行加固。最后通过严格的检验程序, 如闭水试验等方法验证防水层的整体性能, 确保没有漏水隐患存在。高质量的施工是实现良好防水效果的基础保障。

1.3 排水系统的设置

地表排水主要通过合理规划坡度和安装雨水管渠来实现快速排除表面径流, 避免积水渗透到建筑物内部。地下排水则涉及集水井、排水管道、盲沟等设施的建设, 旨在将地下水引离基础结构, 减少向上渗透的可能性。此外, 还可以利用植被覆盖、透水铺装等方式改善局部微环境, 促进自然排水过程。在某些特殊情况下, 如山区或易发生泥石流地区, 可能还需要

增设挡土墙、护坡等防护措施,防止外部水源入侵。值得注意的是,排水系统的设计不仅要考虑当前的实际需求,还要预留一定的余量应对未来可能的变化,如气候变化带来的降雨模式改变。定期维护也是保持排水系统高效运作的重要手段,及时清理堵塞物、修复损坏部件,可以确保整个排水网络始终处于最佳状态,为建筑物提供全方位的防水保护。

2 防渗水施工技术的应用现状

2.1 屋面防渗水施工技术

当前,市场上广泛采用多种屋面防渗水施工技术以应对不同的气候条件和使用要求。对于平屋面,常见的做法是铺设多层防水卷材,如 SBS 改性沥青防水卷材、PVC 或 TPO 高分子防水卷材等,并结合保护层防止机械损伤。这些材料不仅具有良好的耐候性和抗老化能力,还能适应基层的微小变形。此外,倒置式屋面逐渐流行起来,它将保温层置于防水层之上,利用轻质骨料覆盖,既起到保护作用又提高了隔热效果。坡屋面则更多地依赖于瓦片、金属板或其他装饰性材料来实现防水功能。现代工艺中,除了传统的小青瓦、琉璃瓦外,新型合成树脂瓦因其色彩丰富、重量轻便而受到青睐。同时,为了增强密封性,会在接缝处添加防水胶条或涂刷专用防水涂料。在一些特殊场合,如博物馆、图书馆等公共建筑,可能会选择绿色屋顶方案,通过种植植被形成天然的防水屏障,兼具环保和美观价值。无论哪种形式,确保屋面排水系统的畅通无阻都是防渗水成功的关键,包括合理设置雨水口、天沟以及必要的坡度设计。

2.2 外墙防渗水施工技术

选择合适的外墙饰面材料至关重要。例如:真石漆、弹性涂料等涂层类产品能够有效抵御雨水侵蚀;而石材、瓷砖等硬质材料则凭借自身的致密度提供物理屏障。近年来,保温一体板的应用越来越普遍,它集成了保温与装饰功能,在提高能源效率的同时增强了防水性能。针对细部构造,如窗台、阳台、女儿墙等容易积水的部位,应采取特别的防水处理。通常会采用滴水线、鹰嘴构造等方式引导水流远离墙体,减少回流机会^[2]。另外,门窗洞口四周需用密封胶进行细致填充,避免出现冷热桥现象导致结露问题。在外墙保温系统中,粘结剂和锚固件的选择也必须慎重考虑其防水特性,确保整个体系的完整性。值得注意的是,随着高层建筑增多,幕墙系统成为主流趋势之一。这种悬挂式的外墙结构虽然美观大方,但对密封性能提出了更高要求,因此需要精心设计和严格施工,以确保长期可靠的防渗水效果。

2.3 地下室防渗水施工技术

地下室防渗水施工技术面临着更为复杂和严峻的挑战,因为地下空间常年处于潮湿环境中,且承受着来自上方土壤的压力。为了克服这些问题,业界开发了多种有效的解决方案。首先是基础底板和侧墙的防水处理,一般采用刚性防水和柔性防水相结合的方式。刚性防水主要依靠混凝土本身的密实度和掺入的防水剂来达到目的;而柔性防水则侧重于应用防水卷材、防水涂料等可弯曲伸缩的材料,它们可以更好地适应结构变形而不易开裂。在实际操作中,基坑支护阶段就要开始考虑防水问题,通过降水工程降低地下水位,为后续施工创造良好条件。接着是在浇筑混凝土前铺设防水层,如自粘聚合物改性沥青防水卷材,这类材料施工便捷且粘结力强。对于穿墙管道、预埋件等细节部位,则要额外加装止水带或使用遇水膨胀橡胶圈加以密封^[3]。此外,外墙外侧还可能附加一层排水板或盲管,帮助迅速排走靠近墙体的水分,减轻防水层负担。最后,为了进一步提升整体防渗水能力,可以在室内地面增设一道防水隔离层,形成双保险机制。

3 防渗水施工技术存在的问题

3.1 材料性能不稳定

尽管市场上存在多种防水材料,但并非所有产品都能在各种环境下保持一致的性能表现。例如:某些防水涂料或卷材在高温、低温交替或者长期暴露于紫外线下的情况下,可能会出现老化、龟裂甚至剥落的现象,从而失去原有的防水效果。此外,不同品牌和批次之间的材料质量差异也较大,部分低价劣质材料可能含有有害物质,不仅影响工程寿命,还对环境和人体健康构成潜在威胁。而且,一些新型复合材料虽然理论上具备优异的物理化学性质,但在实际应用中由于缺乏足够的测试数据支持,难以准确预测其长期稳定性和耐久性。这些问题都给防渗水施工带来了不确定性,增加了后期维护成本和风险。

3.2 施工质量参差不齐

一方面,施工单位的技术水平和服务意识存在较大差距,部分企业为了追求利润最大化而忽视了施工细节,如基层处理不到位、防水层铺设不均匀、接缝处密封不良等问题屡见不鲜。另一方面,施工现场管理混乱,工人操作不当、交叉作业频繁等也会导致质量问题频发。特别是在一些工期紧迫的项目中,往往会出现赶工期而牺牲施工质量的情况,使得原本设计良好的防水系统无法发挥预期作用,加之目前行业内缺乏统一且严格的施工标准和验收规范,这进一步加剧了施工质量的不可控性。

3.3 设计缺陷

在方案规划阶段,设计师有时未能充分考虑到建筑物所处的具体地理环境和气候条件,选择了不适合的防水材料或构造形式,导致设计方案与实际情况脱节。对于复杂结构部位,如阴阳角、穿墙管道、变形缝等细部节点,如果设计不够精细,则容易成为渗漏隐患点。另外,传统设计理念倾向于单一防护措施,忽略了多层次、多方位综合防御的重要性,一旦某个环节出现问题,整个防水系统将面临失效风险。随着建筑技术和新材料的不断涌现,现有设计方法和技术手段相对滞后,难以满足日益增长的功能需求和高标准要求。

4 防渗水施工技术的优化措施

4.1 加强材料质量控制

为了优化防渗水施工技术,需要加强对防水材料的质量控制,这包括从原材料采购到成品出厂的全过程管理,确保每一批次的产品都符合高标准的要求。建立严格的供应商评估体系,选择具有良好信誉和技术实力的企业合作,可以从根本上保障材料的品质^[4]。同时,引入第三方检测机构对进场材料进行抽样检验,不仅要检查其物理性能如抗拉强度、延伸率等,还要关注化学成分和环保指标,杜绝有害物质超标的情况发生。此外,推广使用新型高性能防水材料,如自修复型涂料、耐候性更强的卷材等,这些材料能够在极端环境下保持稳定性能,延长使用寿命。加强施工现场的材料管理,避免因储存不当或二次搬运造成的损坏,确保材料在最佳状态下投入使用。

4.2 提高施工质量

想要提高施工质量必须建立健全的质量管理体系,从人员培训、工艺流程标准化到现场监督管理等多个方面入手。一是强化施工队伍的专业技能培训,定期组织理论学习和技术交流活动,提升一线工人的操作水平。通过持续教育机制,员工不仅能掌握最新的施工技术和方法,还能促进团队内部的知识共享与技术进步,确保每位成员都能具备高水准的操作技能。二是制定详细的施工规范和作业指导书,明确各工序的操作要点及质量标准,并严格执行。这些文档不仅有助于减少因人为因素导致的质量问题,还能够形成统一的工作流程,便于管理和监督,从而保证工程的一致性和可靠性。详细的规定为施工过程提供了清晰的指引,使得每一步操作都有章可循。三是加大现场巡查力度,配备专业质检员负责日常监督,及时纠正不符合要求的做法。专业质检员的存在对施工队伍起到了约束作用,促使他们更加注重细节,追求高标准的

工程质量^[5]。四是采用先进的施工技术和设备,如机械喷涂、热熔焊接等,以提高工作效率和施工精度。现代技术的应用不仅提升了施工效率,还显著增强了施工精度,确保工程的一致性和可靠性。五是推行样板引路制度,在大规模施工前先完成示范段建设,经检验合格后再全面铺开。这种方式能够在实际施工前验证施工方案的可行性和效果,最大程度地避免批量质量问题的发生。通过先期示范段的建设,可以为后续施工提供可参考的标准模板,确保整个项目的高质量完成。

4.3 优化设计方案

设计阶段应充分考虑建筑物的功能需求、地理位置以及可能面临的自然条件影响,制定出科学合理的防水策略。一方面,要注重选用适合当地环境特点的防水材料和技术方案,如在多雨地区优先考虑排水系统的设计,在寒冷地带则需增强保温隔热功能;另一方面,针对结构复杂部位,如屋顶天窗、外墙窗口、地下室变形缝等细部节点,应采取更加精细化的设计,采用多重防水构造来确保密封效果。此外,倡导绿色设计理念,利用植被覆盖、透水铺装等方式改善微环境,减少水分渗透的可能性。随着科技的进步,还应积极探索智能化监测手段的应用,实时监控建筑物内部湿度变化,提前预警潜在风险。鼓励设计师与施工方紧密协作,根据实际情况灵活调整设计方案,确保理论与实践相结合,共同打造高质量的防渗水工程。

5 结束语

通过合理选择和应用防渗水施工技术,结合严格的质量控制和材料选择,可以显著提高建筑物的防水能力,减少渗漏问题带来的经济损失和安全风险。然而,在实际应用中,仍存在诸多挑战和问题。因此,未来应继续加强防渗水施工技术的研究和创新,推动防渗水技术的不断发展和完善。同时,还应加强对施工人员的培训和管理,提高施工质量和技术水平,为建筑工程的防渗水工作提供有力保障。

参考文献:

- [1] 邓杰. 建筑工程中防渗水施工技术应用研究[J]. 江苏建材, 2024(06):119-121.
- [2] 孙征. 建筑工程中防渗水施工技术分析[J]. 工程技术研究, 2023,08(18):66-68.
- [3] 同[1].
- [4] 同[2].
- [5] 刘勇, 梁超. 建筑工程中防水防渗施工技术的应用[J]. 江苏建材, 2023(04):107-108.

垃圾焚烧发电厂干化仓盖板施工技术应用研究

邴 坤

(山东省工业设备安装集团有限公司, 山东 济南 250000)

摘 要 本文针对垃圾焚烧发电厂干化仓大跨度盖板施工难点展开研究, 基于 MBT 工艺原理与干化仓结构特性, 提出创新性施工技术体系。在常规吊装设备受限的工况下, 自主研发可移动式组合工装系统, 集成变频行走、多点定位与模块化吊装功能, 实现盖板拼装、移位与精准安装的工序集成。通过施工组织方案优化, 建立预制构件标准化装配流程, 制定轨道定位、吊具卡扣调节等专项作业规程。研究形成质量管控闭环体系, 涵盖材料进场检验、拼缝节点处理及三维坐标复核等关键环节。工程实践表明, 该技术显著提升了施工效率, 降低了作业风险, 其标准化施工模式可为同类工程提供可参考的技术路径, 具有推广应用价值。

关键词 垃圾焚烧发电厂; 干化仓盖板施工技术; 大跨度盖板施工

中图分类号: TU74; TM621

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.20.039

0 引言

近年来, 随着我国经济持续发展及城镇化水平不断提升, 城市生活垃圾处理面临越来越严峻的挑战。为缓解垃圾处理压力, 垃圾焚烧发电技术正在全国范围内加速推广。MBT 技术体系整合生物脱水与机械分选工艺, 相较于传统焚烧方式, 通过预处理有机质显著提升燃料热值, 同步降低运行成本并减少污染气体排放。密封覆盖系统作为关键装置, 其安装精度直接决定物料脱水效能。工程实践表明, 在施工初期大型吊装设备不足的情况下, 非标定制化盖板因体积庞大, 其多模块协同安装工艺成为制约技术推广的核心难点。

1 MBT 工艺原理与干化仓结构解析

本研究以生活垃圾焚烧设施扩建工程为对象, 重点分析生物预处理技术的应用效能。项目采用机械生物处理工艺对原生垃圾实施发酵干化, 通过破碎后的垃圾在通风仓内进行微生物代谢作用, 利用有机质分解产生的生物热能加速水分蒸发。经一周左右动态调控, 物料含水率降至常规焚烧适应区间, 燃烧热值得到有效提升, 满足后续能源化利用需求。主厂房建筑总面积 17 836 m², 配置 MBT 生产线一条及 18 座混凝土结构干化仓单元。各仓体采用保温混凝土建造, 顶部配备统一规格的可移动密封盖板系统。该钢结构保温盖板单体尺寸为长 30 m、宽 5.2 m、厚度 0.42 m, 重量约 12.6 t, 由复合板材、钢制框架、密封组件及导向装置构成。采用模块化设计, 每块盖板由两组对称单元通过螺栓紧固连接, 确保密封性能。盖板由于体积较大且自身刚度不足, 受限于现有工艺条件, 厂内难以

完成整体预制加工。同时受防水施工条件制约, 需在作业面进行散件拼装后整体吊装。结合厂房设备未完全安装到位等客观因素, 综合导致施工难度显著增加。

2 大跨度盖板施工组织方案设计

本工程针对大跨度盖板施工需求, 自主研发模块化智能建造技术。基于结构力学分析, 应用数字化建模优化传统工艺, 形成“单元预制—智能拼装”施工体系。研发团队研制新型模块化施工装备, 集成可调式拼装平台与智能定位系统, 构建三维作业体系。配套吊装设备采用同步控制技术, 设置多维度调节机构, 实现 ±1 mm 级安装精度。安全监测系统嵌入 BIM 模型, 实现全流程实时监控。创新采用分级装配工艺, 通过拓扑优化将整体结构分解为标准单元。应用对称式平衡设计控制单元重量, 采用特种钢材制造导向构件。制造过程实施标准化焊接工艺, 运用激光校准与液压纠偏系统保障加工精度。建立三级质量管控体系: 运用数值模拟验证施工方案, 实施多工况荷载试验检测系统性能, 采用智能定位与人工复测双控模式。第三方检测显示关键参数偏差率稳定在 0.05% 以内。该技术体系较传统工法提升施工效率 40%, 缩短工期 25%, 形成标准化工业建造模式。经中国钢结构协会评估, 技术指标达到 ISO 国际标准先进水平, 获评智能建造示范项目。

3 专用施工装置系统配置及作业规程

3.1 组合式工装的构成

工装由两套独立单元构成: 组装单元配置基础作业台与防护通道集成结构, 移载装置通过轨道移动式

吊机实现核心作业。其承重机构包含标准夹持器、承载支架及动力总成三要素系统。钢结构拼装平台总长度约30 m, 横向净宽5 m, 台面距地高度35 cm。结构体系采用双纵向对称布置6根H型钢主梁, 横向设置2根分段式主梁。次梁系统由10余根纵向布置的标准槽钢构件组成, 主次梁均采用工业建筑常用型钢规格。采用两套三角形支撑结构的承重设备, 最大负荷能力10 t, 通过螺栓组件固定连接, 集成变频驱动、行走限位及升降作业功能。配套铺设四组纵向轨道构件沿厂房轴线延伸分布。拼装台与承重装置组合形成联动操作系统后协同作业。

3.2 组合式工装的使用方法

该工装系统通过预制组件装配与定位机构协同运作, 在确保操作灵活度的同时实现结构稳固。轨道安装和盖板吊装过程充分运用系统自重完成对位调整, 这一特性既保证了施工质量, 又提高了作业效率。实际施工按以下流程展开: 先完成主框架安装, 接着进行盖板组件装配; 当运输设备携带盖板移动时, 同步实施前支撑基座固定; 在中部支撑机构展开后进行盖板吊装定位, 随后解除中部支撑并撤除过渡支架与轨道单元, 使运输系统复位。全部盖板安装结束后, 按照反向操作顺序拆卸装置系统。

3.3 组合式工装安装操作方法

拼装平台定位阶段, 纵向主梁与复合板系统下表面扁钢带应保持45~50 mm标准间距。依据复合板拼接缝位置实施双线定位, 使用测量设备准确定位木方安装位置, 木方经阻燃防腐处理后安装, 标高偏差控制在±2 mm以内。结构支撑体系施工重点关注中腿飞机梁节点处理。梁顶承重构件焊接采用E5015焊条进行连续角焊, 焊缝高度不小于8 mm, 超声波探伤比例不低于30%。中腿闭合施工采用2 t级手拉葫芦配合激光测距仪, 对接偏差不大于1.5 mm。轨道安装采取橡胶垫层防滑措施, 垫片厚度根据实测误差分级配置(2 mm/5 mm/8 mm)。轨道固定使用环氧基粘接剂, 压板间距按600 mm模数设置, 接头部位预留15 mm伸缩缝并实施45°坡口处理。盖板拼装采用模块化施工工艺, 标准板块地面预装时采用扭矩扳手控制螺栓紧固力(45 N·m±5%)。吊装过程设置四点平衡吊具, 密封焊接采用低氢焊条, 层间温度控制在120~150℃。异形构件加工执行BIM放样指导下的数控切割工艺。全过程质量管控执行“三检制”验收程序, 重点监控平台挠度(≤L/400)、焊缝探伤合格率(≥95%)、轨道直线度(≤3 mm/10 m)。应用无线应力监测系统

实时采集结构荷载数据, 各项操作严格执行现行施工规范GB50205-2020标准要求^[1]。

4 预制盖板装配式安装工艺标准

4.1 复合板材结构装配工艺

复合板装配前需清理拼接部位的残留物, 随后分阶段进行表面处理与密封作业。使用规定数量的板材组合成型时, 末端单元需作分割调整。封边构件安装阶段应重点控制定位孔间距、表面平整状态以及边角尺寸匹配度, 避免影响支撑结构的装配质量。

4.2 整体式盖板拼装操作流程

采用人工操作简易吊装设备分步吊装盖板的两个半体。使用倒链配合柔性吊索逐步收紧主梁结构, 同时在拼接处螺栓孔位置临时插入撬棍定位, 随后穿入螺栓。当主梁端部连接板的螺栓完成紧固作业时, 同步安装槽钢部位的连接螺栓, 直至两个半体完全吻合。最后对盖板接缝底部实施密封胶填缝处理。

4.3 盖体构件精准定位实施

1. 使用液压顶升装置支撑前地梁后, 改用刚性支架对地梁两端进行多点支撑。待支撑系统稳定后撤除顶升装置。首块盖板安装参照该流程执行, 后续盖板安装时需增加夹具紧固装置, 将前端夹具与已就位盖板主梁可靠连接^[2]。

2. 通过手动葫芦同步控制中支腿展开动作, 配合双吊具协同提升。待盖板悬停稳定后平移动跨中支腿区域, 完成中支腿复位并实施刚性固定。

3. 盖板下降至距轨道面10 cm安全高度时, 实施平面位置微调定位。最终就位阶段采用分阶段缓降工艺, 确保盖板平稳落位至设计坐标。

4.4 导向装置与配套组件安装调试

在工业厂房钢结构工程中, 行车自动运行系统导向装置的安装质量直接影响设备稳定性。该系统包含导向槽基础定位构件与动态调节机构, 两者施工流程存在明显差异。导向槽施工需在顶部覆板安装前完成, 关键控制要素为: (1) 激光校准轴线偏差±2 mm; (2) 精确控制锚固材料配比; (3) 设置接缝弹性补偿区及密封处理; (4) 保证每延米平直度≤0.3 mm。动态调节机构安装须在覆板就位后实施, 核心要求: (1) 轨道定位复测误差≤1.5 mm; (2) 活动轮组保留0.5~1 mm调节余量并按标准扭矩紧固; (3) 空载测试保持合理调试间隙。压型钢板安装需满足: 搭接方向与设备轨迹一致, 纵向≥150 mm, 横向≥50 mm。紧固件按≤300 mm间距布置, 边缘距离符合设计规范, 消除摩擦隐患。

针对施工质量管控,实施三级管理制度:基础阶段控制预埋精度、安装阶段检验调节机构灵敏度、调试阶段验证系统联动性。标准化施工可提升系统合格率,确保行车运行稳定^[3]。

5 盖板施工质量保障措施

5.1 盖板拼装控制方法

设计方案应满足:

(1) 总重量控制:行车系统盖板组合件必须适配 13.5 t 承载规格;(2) 构件加工标准:不锈钢部件加工公差保持 1.5 mm 范围,四孔组累计偏移量不大于 1 mm,重点保障螺栓定位精度与主梁接合面平直度;(3) 装配基准要求:精准控制 45° 折边角度偏差,保持复合板材接缝与盖板轴线吻合,实现主次梁精准对位;(4) 外观验收指标:各组件表面平顺度应符合技术规范;(5) 密封防护体系:重点处理板材接合部、U 型包边、紧固孔位、连接端面及密封元件接触部位防渗漏措施。

5.2 盖板安装控制方法

盖板吊装实施标准化全程管控。双吊机配平衡系统保持匀速提升,离地后立即启动轴线监测,采用定位设备跟踪吊装轴线偏移情况,及时执行纠偏操作。全过程控制吊具垂直度,使用精密仪器监测索具角度变化。运输过程实行分级调速管理,主通道与近端区域执行差异化行进控制。配置专人实时调节构件姿态,重点保障与周边结构的安全间距。全程振动监测系统触发异常自动停机。定位工序执行分阶段下放,通过三维扫描确定安装基准。同步控制各吊点精准定位,实时监控支点承重情况,确保载荷符合设计指标。接触承重结构即刻实施临时锁定。校正环节实施分级调整,先完成基础定位修正,再使用精密液压系统配合坐标反馈实施微调。重点保障接缝部位安装精度,同步跟踪结构应力变化,动态调整载荷分布。全流程部署智能监测网络,关键节点设置多维度传感器组。基于 BIM 平台整合实时数据流,建立预警响应联动机制,定时更新三维模型。验收前实施持续状态跟踪,完整记录结构参数变化,确保质量达标^[4]。

5.3 盖板施工方法

本工程采用装配式盖板施工工艺,结合场地条件优化作业流程。施工前运用三维建模技术进行空间分析,科学制定分块吊装方案。现场搭建可调节组装平台,配合轻型吊装系统完成构件运输,设备均通过安全检测认证^[5]。构件安装采用主次分步法,先由中型吊机完成主体结构定位,再用手动设备精细调整。按

承重体系优先原则,精准安装基础横梁后(轴线误差符合规范),逐步构建支撑框架。关键传动部件安装时实施同心度专项控制,采用精密仪器保障装配精度。螺栓紧固作业执行分级施拧标准。

针对传统工艺缺陷,项目创新采用特种焊接技术。经工艺试验选定焊材参数,持证焊工按编码管理制度规范操作。通过抽样检测验证焊接质量,有效提升连接强度并节约材料。

密封工程建立全过程质控体系。基层处理阶段运用激光检测技术,超标部位经专业修整达标。密封条采用热熔接合工艺,压紧装置通过微调机构确保接触密实度。各密封单元完工后立即开展初步密闭试验。

验收过程实施分级检测:单体验收开展压力稳定性监测,系统联调阶段重点检测接缝密封效果。最终检测数据均达到设计规范要求,系统整体密封性能验收合格。

6 结束语

本研究通过系统化技术攻关,解决了干化仓盖板施工中的空间受限、精度控制等核心难题。基于 MBT 工艺特点设计的专用工装系统,实现了盖板拼装与安装的机械化作业,突破传统吊装工艺的局限性。建立的标准化施工流程包含模块化拼装平台、自适应定位装置等创新点,确保了大跨度盖板的装配精度与结构稳定性。通过全过程质量管控体系的实施,有效预防了盖板渗漏、位移超标等质量通病。该技术体系经工程验证,在提升施工效率、降低资源消耗方面成效显著,其绿色施工理念符合循环经济发展要求,为垃圾焚烧厂干化仓建设提供了可靠的技术支撑,对类似大跨度预制结构施工具有参考价值。

参考文献:

- [1] 姜涛,魏翔宇,张智,等.垃圾焚烧炉空冷炉排配风管道的流量均匀性能分析与改进[J].哈尔滨工程大学学报,2025(06):1-9.
- [2] 黄小惠.典型生活垃圾焚烧发电厂碳排放量化评价[J].清洗世界,2024,40(11):59-61.
- [3] 崔觉珂.垃圾焚烧发电厂燃烧控制及环保排放探究[J].皮革制作与环保科技,2024,05(22):158-159,162.
- [4] 徐三善,刘雅婷,刘杜,等.生活垃圾焚烧飞灰固化体重金属稳定化试验研究[J].广州化工,2024,52(22):138-140,196.
- [5] 李慧.垃圾发电厂渗滤液沟道通风设计[J].清洗世界,2025,41(05):34-36.

高速公路机电工程电力监控系统的重要性研究

张瀚巍

(四川路桥交通工程有限公司, 四川 成都 610000)

摘要 高速公路机电工程电力监控系统是智慧交通的核心组成部分, 其重要性一方面体现在实时监测、智能调控和故障预警等技术功能上, 另一方面更深度融合了大数据分析 with 物联网技术, 实现了能源精细化管理以及设备全生命周期维护。该系统经过优化电力分配、预防性维护和自动化控制, 显著降低了运营成本, 同时为关键场景的安全运行提供可靠保障。本文探究了高速公路机电工程电力监控系统的重要性, 并提出切实可行的应用思路, 以期为相关人员提供借鉴。

关键词 高速公路; 机电工程; 电力监控系统; 重要性

中图分类号: U417.9

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.20.040

0 引言

近年来, 随着社会经济的快速发展, 道路交通基础设施建设步伐显著加快。高速公路作为现代交通网络的核心组成部分, 重要性日益凸显。在高速公路中引入机电工程电力监控系统, 能够实时监测高速公路运行状态, 并精准调控交通流量, 预防潜在安全隐患。随着物联网技术与大数据分析的不断发展, 电力监控系统功能不断升级, 逐步实现从单一监控跨越到综合管理。当前高速公路的日常运维中, 电力监控系统已成为不可或缺的技术支撑, 为提升道路通行效率提供强有力的技术保障。

1 高速公路机电工程电力监控系统的重要性

1.1 提升能源效率, 优化电力分配

随着高速公路机电设备规模不断扩大, 电力消耗成为运营成本的重要组成部分。电力监控系统实时采集电力数据, 能精准掌握各设备的用电情况, 识别高能耗环节, 针对性调整电力分配策略, 进而在车流量较少的时段, 自动降低照明设备或通风设备运行功率, 避免能源浪费^[1]。电力监控系统还会动态监测电力负荷, 合理调配电力资源, 避免局部设备过载等情况, 从而降低能源消耗, 延长设备使用寿命, 减少电力分配不均导致的设备损坏风险。除此之外, 电力监控系统还能分析相关数据, 为管理者提供科学节能建议, 进一步提高能源利用效率, 为实现绿色交通可持续发展提供技术支撑。

1.2 保障设备稳定, 减少故障停机

高速公路机电设备种类繁多, 涵盖照明、通风、监控以及通信等系统, 直接关系高速公路的安全。电

力监控系统实时监测设备电压、电流以及功率等电力参数, 能够及时发现异常波动, 并立即发出预警, 提示运维人员检查相关设备, 防范相关灾害风险。除此之外, 电力监控系统还具备故障诊断功能, 能快速定位故障点并提供解决方案, 大幅缩短故障处理时间, 减少设备停机对交通运营的影响。这种主动式的管理设备方式, 能显著提高设备的可靠性, 降低运维成本, 为高速公路安全畅通提供坚实的保障。

1.3 降低运维成本, 提升管理效能

传统的高速公路机电设备运维依赖人工巡检, 会耗费大量人力物力, 还难以全面覆盖设备运行状态。而电力监控系统能自动采集相关数据, 实时掌握设备的电力运行情况, 减少人工巡检的频率, 并精准定位高能耗设备, 为运维人员提供针对性维护建议^[2]。另外, 电力监控系统的故障预警功能能够提前发现潜在问题, 减少突发故障导致的设备停机损失, 且延长设备使用寿命, 进一步降低运维成本。除此之外, 电力监控系统还能集中化管理多路段、多设备, 显著提升管理效率, 为高速公路运营单位提供精细化管理手段。这种高效的管理模式, 能降低运营成本, 为高速公路可持续发展奠定基础。

1.4 增强应急能力, 保障运营安全

电力监控系统能够实时监测电力设备运行状态, 及时发现异常情况并发出预警, 有效预防电力故障。突发情况下, 电力监控系统还能迅速定位故障点, 提供准确的故障信息, 为应急处理提供依据, 缩短故障处理时间, 减少电力中断导致的交通拥堵^[3]。另外, 电力监控系统还具备远程控制功能, 可以在紧急情况

下远程操作电力设备,快速恢复供电,确保高速公路的正常运营。通过数据分析,还能识别潜在风险,提前采取预防措施,进一步提升系统的可靠性。电力监控系统既能提高高速公路应急响应效率,还降低人工干预误差,为高速公路安全运营提供保障,有助于提升整体运营管理水平。

2 高速公路机电工程电力监控系统的应用

2.1 调控隧道照明,保障行车安全环境

隧道是高速公路的特殊路段,其稳定运行的照明系统直接关系到行车安全与通行效率。电力监控系统实时监测照明设备的电压、电流以及功率因数等电力参数,能够精准掌握照明系统的运行状态,及时发现并处理异常情况。根据隧道内外的光照强度、车流量等数据,结合 PLC(可编程逻辑控制器)与 SCADA(数据采集与监控系统)技术,电力监控系统能自动调节隧道照明亮度,避免过度照明造成的能源浪费,还能确保充足的隧道光线,减少安全隐患。除此之外,电力监控系统还能在照明设备出现故障前发出警报,提醒运维人员及时检修,防范照明不足导致的交通事故,为隧道行车安全提供有力保障。

高速公路隧道照明系统一般由高压钠灯与 LED 灯组成,未安装电力监控系统前,主要依赖人工调节照明,存在能耗高、故障发现滞后等问题。引入电力监控系统后,该系统能借助集成光照传感器、车流量检测设备与电力监测模块,动态调节照明亮度。在白天光照充足且车流量较小时,自动降低照明功率,节省电能,夜间或阴雨天气,则根据实际需求提高照明亮度,确保行车安全。另外,电力监控系统还能自动诊断设备故障,实时监测照明设备的电流、电压等参数,及时发现异常波动并发出预警,帮助运维人员远程锁定故障点,及时进行维修,避免中断照明。电力监控系统还可以整合物联网技术,连接照明设备,实时传输、分析相关数据,进一步优化照明策略,降低照明能耗,缩短故障处理时间,证明在隧道照明调控中的实际价值,为高速公路隧道安全管理提供有力支持。

2.2 管理收费站电力,确保设备稳定运行

收费站作为高速公路重要枢纽,依赖电力供应正常运转。电力监控系统借助 SCADA(数据采集与监视控制系统)、PLC(可编程逻辑控制器)等自动化控制技术,能实时监测并调控收费站变电站、低压配电系统以及 UPS(不间断电源)等设备,稳定电能质量,防止电压波动、电网故障导致设备损坏^[4]。电力监控系统

还能远程监测、智能调度,优化电力分配,提高能效,减少不必要的能源损耗,降低运营成本,且进一步结合分时电价策略,合理安排用电时段,提升收费站的供电经济性。

在具体应用中,电力监控系统联动控制高速公路收费站的主配电柜、备用电源以及应急柴油发电机等关键设备,能保证电网异常时仍正常运行收费站。当主电源出现短时波动时,UPS 系统可立即切换至电池供电模式,持续为收费系统、车道摄像头及道闸控制器等设备供电。若电网长时间停电,电力监控系统则自动启动柴油发电机,且在恢复供电后无缝切换回正常电网模式,防止突然断电丢失收费数据。该系统还能监测配电柜内断路器的温度、电流电压等参数,结合历史数据进行分析,提前预测设备老化风险,减少突发故障。管理中心可查看各收费站的电力状态,远程调整负荷分配,合理配置不同收费车道的供电优先级。这种精细化管理模式能提升收费站供电系统的可靠性,降低运维成本,为高速公路智慧化发展提供电力保障。

2.3 监控服务区能耗,实现节能降耗目标

高速公路服务区运营时间长、设备种类多,能源管理的复杂性较高,传统人工管理模式难以精细化控制服务区电力,容易造成电力浪费。电力监控系统利用能耗数据采集终端、智能电表以及配电管理系统等设备,能监测服务区各用电单元的实时能耗,实现分区域、分时段的动态管理,并依据历史负荷数据预测不同时间段电力需求,合理调整供电策略,避免高峰期电力负荷过载,提高低谷期能源利用效率。结合智能控制技术,电力监控系统还能精准定位高能耗设备,且自动调节该设备功率,从源头上减少不必要的电能消耗,为服务区的节能降耗提供技术保障。

在照明系统实际应用中,电力监控系统可根据光照传感器数据,智能调节室内外照明亮度,高亮度区域减少不必要的灯光,夜间自动提升照明水平,平衡节能与舒适度。部分服务区还能采用分区照明策略,自动降低人流量较低区域的灯光亮度,在人员经过时瞬时提升亮度,避免长时间空耗电。电力监控系统还可依据温湿度传感器的监测数据,自动调整空调通风设备的运行模式,于客流高峰期均匀分配冷暖风量,确保舒适性,而低人流时段,则适当降低功率或关闭部分区域空调,减少电力消耗。在电动汽车充电桩方面,电力监控系统依据服务区整体用电情况,分配充电桩功率,高峰时段避免大功率充电导致电网负荷过载,低谷时段引导车辆优先充电,提高整体能源利用率。

除此之外,部分服务区还能够在电力监控系统中接入光伏发电系统与储能设备,实现部分自供电,在白天使用太阳能提供电力,夜间利用储能系统供电,进一步降低依赖传统电网的程度,推动高速公路服务区向绿色低碳方向发展。

2.4 电缆防盗监测,防范非法破坏行为

高速公路沿线电缆分布广泛且隐蔽性强,易成为盗窃、破坏的目标,影响供电系统稳定性。电力监控系统借助集成分布式光纤传感技术(DTS)与智能电流监测模块,能够实时监测电缆的电流、电压等参数,识别异常状态^[6]。当电缆因外力破坏导致电流骤降时,电力监控系统会立即触发报警,并使用GIS(地理信息系统)精准定位故障点,分析历史数据,预测高盗窃风险区域,实现主动防护,为电缆安全提供全天候、多维度的技术保障,有效降低盗窃事件发生概率。

在高速公路上,相关部门可以部署DMS(电缆监测系统)与光纤振动传感器,并接入电力监控系统实时监控电缆状态,若某段电缆电流突然归零,光纤传感器检测到异常振动信号,电力监控系统就立即触发多级报警,将定位信息推送至监控中心。运维人员结合无人机巡检,可迅速锁定被盜区域,及时处理相关问题,防止供电中断。电力监控系统还能运用大数据分析,结合历史盗窃事件数据与天气、时间等外部因素,识别高盗窃风险时段,加强相关区域监测频率,且联动视频监控系统重点巡查。另外,电力监控系统还能及时监测温度异常升高趋势,发现检测电缆绝缘层破损等情况,提前发出维护指令,避免漏电引发安全隐患。在技术细节上,LoRa无线通信技术能实现远程传输数据,保障偏远区域监测信号的稳定性,解决传统有线通信局限性,提升电缆防盗效率,为高速公路供电安全提供系统性解决方案。

2.5 监测桥梁机电设备,预防突发故障

从本质上来看,高速公路机电工程电力监控系统是一种集成化远程监测系统,能实时检测桥梁上的机电设备运行状况,提供智能调控功能。在运行过程中,该系统借助传感器、数据采集终端以及光纤通信技术,能将桥梁机电设备的运行状态转化为数字信号,传输至监控中心数据库。该系统还具备自动控制功能,管理人员可以在电力监控软件上直观地查看各项运行数据,远程处理各种异常情况,减少人工巡检工作量,优化设备运行策略,提升桥梁机电设施的稳定性。

在具体应用中,电力监控系统主要监测桥梁的供电设施与排水设备,防止突发故障影响桥梁正常运

行。供电设施是桥梁机电系统的核心,直接关系到各类设备的稳定运行。当配电柜中电路出现过载、短路时,电力监控系统能自动识别异常并快速切断故障线路,启动备用电源,避免供电中断影响桥梁通行。另外,其还能根据历史数据分析设备运行状态,提前识别潜在隐患,若变压器长期处于高负荷运行状态,系统会发出预警,提醒管理人员进行检修,减少突发性故障。强降雨季节,排水系统发生故障,桥面就容易出现积水,影响车辆行驶安全。电力监控系统能够实时监测排水泵的运行状态,结合桥梁排水井的水位传感器数据,动态调整抽排水速率。系统检测到桥面排水井水位迅速上升时,会自动提升排水泵工作效率,加快积水排出,防止水位过高影响桥梁结构安全。电力检测系统还会重点查看电源供应情况,预防电力故障影响排水泵正常工作,保障排水作业的正常运行。除此之外,通过数据分析,电力检测系统可识别水泵功率消耗异常升高、电机温度持续上升等排水泵运行中的异常情况,预警设备堵塞等问题,避免突发性损坏影响桥梁安全,提高整体应急响应能力。

3 结束语

高速公路机电工程电力监控系统作为现代交通基础设施的重要组成部分,其重要性体现在提升能源效率、优化电力分配以及保障设备稳定运行等方面。借助实时监控、数据分析与智能调控等技术,机电工程电力监控系统能够有效降低运维成本,增强应急响应能力,为行车安全提供保障。在具体应用中,电力监控系统也展现出多场景、多维度的综合管理能力。未来,随着技术的不断升级,电力监控系统将在高速公路智能化建设中发挥更加关键的作用,为实现安全、高效、绿色的交通运营目标提供持续动力。

参考文献:

- [1] 申文超,中铁军.基于高分可视化技术的高速公路监控系统:以机电工程为例[J].交通科技与管理,2024,05(02):13-15.
- [2] 阮应安.高速公路机电系统电力监控前端监测预警系统探讨[J].交通科技与管理,2023,04(11):23-25.
- [3] 朱悦敏.基于模糊控制的高速公路改扩建工程机电设备智能监控系统[J].中国交通信息化,2023(03):96-98.
- [4] 邓博轩,徐峰.高速公路机电工程电力监控系统研究[J].工程技术研究,2022,07(15):98-100.
- [5] 甘韶安.广深高速公路沿线变电所电力监控改造工程施工要点分析[J].黑龙江交通科技,2021,44(08):218-219,221.

高速公路桥梁施工中的高墩施工技术应用研究

田 言

(四川公路桥梁建设集团有限公司机械化施工分公司, 四川 成都 610200)

摘 要 本研究针对复杂地形条件下高速公路桥梁高墩施工的技术难题, 系统分析了高墩施工的技术需求、工艺类别及实施路径, 提出翻模、滑模及爬模技术的差异化应用准则: 翻模工艺适用于截面规则的中低墩柱施工, 滑模技术可满足连续变截面高墩快速成型需求, 爬模体系则在高空大截面墩体施工中展现显著优势。并指出其核心在于模板系统刚度控制与垂直度动态调节, 施工过程中需建立基础预埋精度保障体系、混凝土温控养护机制及多源监测反馈网络, 重点解决墩身裂缝控制、几何偏差修正及环境荷载响应难题。

关键词 高速公路; 桥梁施工; 高墩施工技术

中图分类号: U445.559

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.20.041

0 引言

随着高速公路路网向地形复杂的山区延伸, 桥梁高墩作为跨越深谷与沟壑的核心承重结构, 其施工质量直接影响路网通行安全与全寿命周期性能。地质条件多变性、高空作业风险性及混凝土体积效应对施工工艺提出了复合型要求, 传统技术体系在墩身线形控制、裂缝抑制及机械化协同等方面存在显著局限性。当前亟待构建融合精密测量、智能监测与绿色工艺的施工方法, 以应对抗震设防烈度 ≥ 8 度区域(如川滇地震带)需求与生态敏感区环保限制的双重压力。

1 高速公路桥梁施工技术需求

高速公路作为现代交通网络的核心载体, 其桥梁工程在跨越复杂地形、连接关键节点中承担着不可替代的作用。

随着我国高速公路建设向山区、深谷等复杂地貌延伸, 桥梁高墩施工技术面临更高的技术挑战。高墩施工需满足桥梁结构的高承载需求、复杂环境下的稳定性要求以及施工效率与安全性的平衡^[1]。从工程实践来看, 高墩施工需克服墩身高度大(墩身高度普遍为 40~80 m, 特殊地形下如深切峡谷, 可达 150 m 以上, 如贵州北盘江大桥墩高 162 m、四川腊八斤特大桥墩高 182.5 m)、施工周期长、资源消耗高、工序复杂等难题。高墩需具备足够的抗风、抗震及抗变形能力, 这对施工工艺的精度控制提出了严格要求。例如: 墩身垂直度偏差需满足 $\Delta \leq \min(H/3\ 000, 30\ \text{mm})$, 如 60 m 墩体允许偏差 20 mm, 100 m 墩体允许偏差 30 mm, 混凝土浇筑需实现分段连续作业以避免冷缝形成。

2 高墩施工技术的主要类别和运用要点

2.1 高墩施工技术的主要类别

在高速公路桥梁高墩施工中, 翻模、滑模与爬模技术因其工艺特点及适用场景的差异, 成为主流施工方法。翻模施工技术基于模板分层分段提升原理, 通过多节模板交替安装与拆卸实现墩身连续浇筑。其核心在于钢模板系统设计, 通常采用拉杆式钢模以增强模板刚度, 并通过塔吊或电动葫芦完成模板垂直运输。此项技术适用于截面规则、高度适中的墩体, 施工中需重点控制模板拼缝精度与混凝土振捣密实度, 避免错台与蜂窝缺陷。滑模施工技术则依托液压顶升系统实现模板连续滑升, 其优势在于施工连续性高、工期短, 尤其适用于等截面高墩^[2]。关键技术包括滑模平台的水平度控制、混凝土初凝时间匹配及千斤顶同步性调节, 需通过实时监测滑升速率确保墩身几何精度, 通常为 20~30 cm/h。爬模施工技术结合了翻模与滑模的优点, 利用锚固于墩身的导轨系统实现模板整体爬升, 适用于变截面或空心薄壁高墩。其工艺核心为埋件预埋精度与液压爬升系统的稳定性, 施工中需分阶段循环完成模板安装、混凝土浇筑及爬架提升, 并通过应力传感器监测墩身受力状态, 确保结构安全。三类技术均需依托高精度测量放样与高性能混凝土配比设计, 以应对高墩施工中的力学与材料挑战。

2.2 高墩施工技术的运用要点

高墩施工技术的有效实施需系统性统筹规划、精准控制与动态优化。第一, 施工前期需构建多维技术体系, 包括基于 BIM 技术的施工模拟、地质雷达探测及有限元力学分析, 以预判施工风险并优化方案。第二,

强化全过程精度管理,采用全站仪与倾角仪实时监测墩身垂直度与模板定位误差,结合GPS定位技术实现大跨度高墩的空间姿态控制。第三,动态化施工监测与反馈机制不可或缺,通过埋设光纤传感器或应变计对墩身温度场、应力应变进行实时采集,结合云计算平台实现数据驱动的工艺调整。第四,安全管理需贯穿全周期,包括高空作业平台的防风抗倾覆设计(如设置双层护栏与防坠网)、应急预案演练及智能预警系统部署,以降低坍塌、坠落等风险。第五,注重绿色施工与资源集约,通过预制拼装工艺减少现场湿作业,采用高性能减水剂降低混凝土用水量,并优化机械协同调度以减少碳排放。上述要点共同构成了高墩施工技术的系统性框架,旨在实现工程品质、效率与可持续性的协同提升。

3 高墩施工技术在公路桥梁施工中的应用

3.1 基础施工与预埋件安装阶段

高墩施工的基础阶段是整个工程的关键环节,其施工质量直接关系到上部结构的稳定性与安全性。根据工程实践,基础施工主要分为桩基施工、承台浇筑和预埋件安装三个关键步骤^[3]。在桩基施工环节,钻孔灌注桩因其适应性强成为主流选择。施工时需重点把控三个要点:一是精准定位,采用全站仪确保桩位偏差不超过1 cm;二是孔壁维护,通过泥浆护壁技术保持钻孔稳定;三是混凝土灌注质量控制,采用导管法连续浇筑,确保桩身完整性。特别在复杂地层施工时,需根据地质情况调整钻机参数和钻头类型。承台施工阶段的核心在于大体积混凝土的质量控制。采用“斜面分层、薄层覆盖”的浇筑工艺,每层厚度控制在50 cm以内,层间间隔不超过2 h。为控制温度裂缝,采取“双掺技术”(掺加粉煤灰和减水剂)配合冷却水管降温,将混凝土内外温差控制在25℃以内。钢筋绑扎采用标准化工艺,重点控制节点连接质量和保护层厚度。

预埋件安装是连接下部基础与上部墩身的关键环节。通过采用定型化定位架和三维坐标测量技术,确保爬模导轨、沉降观测点等预埋件的安装精度。其中,锚固螺栓的垂直度偏差需控制在1%以内,预埋支座安装后采用无收缩砂浆填充充实。在质量控制方面,建立“三检制度”:施工班组自检、技术员复检、监理终检。每道工序完成后,必须经测量复核合格后方可进入下道工序。通过这一系列措施,可确保基础施工的轴线偏差不超过3 mm,标高误差在2 mm以内,为高墩施工奠定坚实基础。

在新工艺应用方面,建议从以下几个方面进行优

化:(1)采用BIM技术进行施工模拟,提前发现可能存在的碰撞问题;(2)引入自动化监测系统,实时监控混凝土温度变化;(3)推广使用装配式定位架,提高预埋件安装效率;(4)应用智能养护系统,实现混凝土养护的自动化控制。

通过以上工艺优化和质量控制措施,既能保证施工质量,又能提高施工效率,为后续高墩施工创造有利条件。在实际工程中,还需根据具体情况进行适当调整,确保施工方案的可行性和经济性。

3.2 模板系统安装与垂直度调控阶段

在高墩施工的模板系统安装与垂直度控制阶段,合理选择施工工艺并确保墩身垂直度是保证工程质量的关键。目前工程实践中主要采用翻模、滑模和爬模三种施工工艺,各具特色且适用于不同工况。翻模施工采用标准化钢模板拼装,通过分层浇筑、逐层提升的方式完成墩身施工,具有模板可重复利用、成本较低的特点,但施工效率相对较慢,特别适合高度40 m以下的常规墩体施工,施工过程中需要重点做好模板拼缝的密封处理,防止漏浆影响混凝土外观质量。滑模施工通过液压系统实现模板连续滑升,施工速度较快,尤其适用于等截面高墩的快速施工,但对混凝土配合比要求严格,必须精确控制初凝时间,通常采用掺加缓凝剂的方法来调节混凝土性能。爬模工艺则结合了翻模和滑模的优点,通过导轨系统实现模板整体爬升,既保证了施工效率,又能适应变截面墩体的施工需求,因其机械化程度高、安全性好,已成为超高墩施工的首选方案。

为确保施工质量,需要建立完善的垂直度监控体系,施工前采用全站仪进行精准放样,确保模板初始定位准确;施工过程中采用全站仪+GNSS组合监测:(1)常规检测:每浇筑4 m进行一次三维坐标测量;(2)实时监测:GNSS系统动态跟踪位移,精度±3 mm;(3)风险段(如墩高>80 m)监测:增加倾角仪监测,频率1次/h;(4)发现偏差时立即启动纠偏程序,通过调整支撑系统或液压千斤顶进行及时修正。在质量控制方面,模板安装前要进行全面检查,确保表面平整无变形,拼缝处采用专用密封胶条防止漏浆,混凝土浇筑时要均匀布料避免单侧压力过大导致模板偏移,拆模后要及时检查混凝土表面质量。

随着技术的进步,新工艺不断涌现,包括推广使用重量更轻、拼装效率更高的铝合金模板,应用智能监测系统实时监控模板变形和垂直度变化,开发自爬升模板系统减少人工操作提高安全性,以及采用BIM技术进行施工模拟优化模板配置方案等创新举措。通

过综合运用这些技术措施,可将高墩施工的垂直度偏差控制在规范允许范围内,同时确保混凝土外观质量达标。在实际工程应用中,需要根据墩体高度、截面形式和具体施工条件等因素,选择最适合的模板施工工艺,在确保施工质量的前提下,实现施工效率的最优化。

3.3 混凝土浇筑与养护控制阶段

在高墩混凝土施工中,确保浇筑质量和养护效果是保证结构耐久性的关键环节。针对高墩混凝土的特殊要求,施工中主要采用分层连续浇筑工艺,通过控制每层浇筑厚度在合理范围内,并严格把握层间间隔时间,可以有效避免冷缝产生^[4]。在振捣作业时,要注意均匀布点,既要保证混凝土密实度,又要防止过振导致材料离析。对于大体积混凝土,温度控制尤为重要,通常采用预埋冷却水管配合外部保温的双重措施,将内外温差控制在规范允许范围内,这样可以显著减少温度裂缝的产生。养护阶段采用自动化喷淋系统保持混凝土表面湿润,在冬季施工时还需增设保温措施确保养护温度。

为提高混凝土抗裂性能,可在拌合时掺入适量聚丙烯纤维,这种材料能有效抑制塑性收缩裂缝的发展。施工缝处理是另一个需要重点关注的环节,采用机械凿毛确保接缝面粗糙度达标,并配合专用界面剂增强新旧混凝土的粘结强度。拆模后要及时进行表面检查,对发现的裂缝采用注浆等方法进行修复。随着技术进步,一些新工艺正在推广应用,如基于物联网的智能养护系统可以实时监测混凝土温湿度变化,自动调节养护参数;纳米材料添加剂能显著改善混凝土的微观结构,提高抗渗性和耐久性;新型养护剂的应用简化了养护工序,提高了施工效率。在实际工程中,需要根据结构特点和环境条件,选择最适合的施工方案,既要保证工程质量,又要兼顾经济性和可操作性。通过优化配合比设计、改进施工工艺、加强过程控制等措施,可以确保高墩混凝土的施工质量满足设计要求和使用寿命。

3.4 墩身监测与质量验收阶段

在高墩施工的质量控制过程中,监测与验收环节发挥着至关重要的作用。为确保墩身施工质量,需要建立全过程的质量监控体系,通过实时数据采集和分析,及时发现并解决施工中出现的問題^[5]。在几何形态监测方面,采用高精度全站仪对墩身各关键部位进行定期测量,重点监测墩身的垂直度和轴线偏位情况。通过设置合理的监测频率和点位布置,可以全面掌握墩体的变形趋势,当发现偏差超出允许范围时,立即

采取相应措施进行调整。应力监测是另一个重要环节,通过在墩身关键位置埋设传感器,实时监测混凝土内部的应力变化,这些数据经过专业分析后,可以评估结构的安全状态。环境因素对施工质量的影响也不容忽视,特别是风速变化可能对高空作业安全构成威胁,因此需要安装专业的风速监测设备,根据风速大小分级采取不同的安全措施。在质量验收阶段,采用科学的检测方法对混凝土强度和耐久性进行评定,回弹法结合钻芯取样的方式可以准确评估混凝土的实际强度,而电磁感应技术则能有效检测钢筋保护层厚度是否符合设计要求。随着技术进步,一些新的监测手段正在推广应用,如基于物联网的远程监控系统可以实现施工过程的实时可视化,无人机巡检技术能够快速获取墩身整体形态数据,三维激光扫描技术则可以建立高精度的数字模型用于质量分析。这些新技术不仅提高了监测效率,也大大增强了质量控制的可靠性。在实际工程应用中,需要根据项目特点和施工条件,选择合适的监测方案,既要保证数据的准确性,又要考虑经济性和可操作性。通过建立完善的监测体系和严格的验收标准,可以确保高墩施工质量满足设计要求和使用寿命,为桥梁结构的安全性和耐久性提供有力保障。

4 结束语

高墩施工技术的系统性应用表明,通过精准预埋定位、模板协同调控与混凝土性能优化,可有效提升墩身结构完整性。多参数监测网络与动态反馈机制的实施,实现了施工偏差的实时修正与风险预控。标准化作业流程与信息化管理平台的结合,将高墩垂直度误差压缩至毫米级,墩身表面裂缝宽度控制在 ≤ 0.15 mm,关键受力区 ≤ 0.1 mm,裂缝深度不超过保护层厚度 $1/3$,为山区高速公路桥梁建设提供了可参考的技术路径,对推动桥梁工程向精细化、智能化方向发展具有显著的实践价值。

参考文献:

- [1] 张宏宣.高速公路桥梁施工中的高墩施工技术要点分析[J].交通科技与管理,2024,05(14):95-97.
- [2] 李守巨.超高墩液压爬模施工关键技术[J].桥梁建设,2022,52(03):88-94.
- [3] 王建国.山区桥梁高墩施工监控技术研究[J].施工技术,2021,50(18):45-49.
- [4] 交通运输部.公路桥梁抗震设计规范:JTG/T B02-01-2008[S].北京:人民交通出版社,2008.
- [5] 刘树生.高墩施工技术要点及其在高速公路桥梁施工中的应用[J].建筑技术开发,2024,51(06):119-121.

水利工程用砂材料特性检测与混凝土强度关系研究

杨林翰, 王 胜

(四川南充水利电力建筑勘察设计研究院, 四川 南充 637000)

摘 要 为探究水利工程用人工砂材料特性与混凝土强度的内在联系, 本研究对人工砂的颗粒级配、石粉含量、坚固性等特性指标进行精准检测, 并针对不同配合比的混凝土开展立方体抗压、轴心抗压及抗折强度测试。研究发现, 人工砂材料特性显著影响混凝土强度, 其中颗粒级配和石粉含量与混凝土强度关联紧密。通过构建回归模型量化二者关系, 并从微观结构和物理化学层面剖析影响机制, 以期为水利工程中人工砂的合理选用及混凝土配合比优化提供科学依据。

关键词 水利工程; 人工砂; 特性检测; 混凝土强度; 配合比

中图分类号: TV543; TV41

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.20.042

0 引言

在水利工程建设中, 其所处环境复杂恶劣, 混凝土结构需具备高强、耐久等性能以抵御水流冲刷、水位波动和冻融循环等作用。人工砂作为混凝土的关键组成部分, 其颗粒级配、石粉含量、泥块含量及坚固性等特性, 对混凝土的工作性能、力学性能和耐久性有着直接且重要的影响^[1]。然而, 目前关于水利工程用人工砂材料特性与混凝土强度之间的具体关系尚不明确。深入开展此项研究, 精准掌握二者关联, 对保障水利工程质量、推动水利建设发展意义重大。

1 人工砂材料特性检测指标与方法

1.1 颗粒级配

颗粒级配反映人工砂中不同粒径颗粒的分布状况, 是衡量人工砂性能的关键指标。人工砂颗粒级配同样可分为粗、中、细等类型, 不同类型人工砂的粒径范围有所差异。检测人工砂颗粒级配常用筛分析法。具体操作时, 先称取一定质量的干人工砂样, 将其依次通过按孔径从大到小排列的标准筛网, 每次筛分后称量筛上颗粒质量, 直至完成所有筛分步骤。最后计算各粒径区间的累积通过率, 并以百分比形式记录, 据此绘制累积筛余曲线或累积通过曲线, 以此直观呈现人工砂的颗粒级配情况。

1.2 石粉含量

石粉含量指人工砂中粒径小于 0.16 mm 的颗粒质量占总质量的百分比, 是影响混凝土性能的重要因素。适量石粉可改善混凝土拌合物的工作性能, 如增加浆

体体积、提高流动性等; 但石粉含量过高, 会导致混凝土需水量增加, 进而降低混凝土的强度和耐久性。一般来说, 水利工程用人工砂石粉含量需控制在合理范围内, 具体数值因工程要求而异。

检测人工砂中石粉含量通常采用水洗法。该方法用于测定人工砂中石粉含量及微粒含量, 操作相对简单, 检测结果较为准确可靠。

1.3 泥块含量

泥块含量是指人工砂中原粒径大于 1.18 mm, 经水浸洗、手捏后小于 0.60 mm 的颗粒质量占人工砂总质量的百分比。检测泥块含量时, 先将人工砂样品筛除大于 1.18 mm 的颗粒, 然后称取一定质量的砂样, 将其放入水中浸泡 24 小时, 使泥块充分软化。浸泡后, 用手捏碎泥块, 再通过 0.60 mm 的筛网进行水洗筛分, 将筛上剩余的砂样烘干至恒重并称重。根据前后两次称量的质量差, 计算出泥块含量。精确测定泥块含量对于评估人工砂质量、保障混凝土性能至关重要, 在水利工程中, 严格控制泥块含量是确保工程质量的关键环节之一, 能有效避免因泥块含量超标导致的混凝土结构性能下降问题。

1.4 有害物质含量

人工砂中可能含有云母、轻物质、有机杂质、硫酸盐等有害物质。这些物质会不同程度地损害混凝土性能, 如轻物质影响砂的密度和强度, 有机杂质干扰水泥水化反应, 硫酸盐会引发混凝土的腐蚀和膨胀开裂。

针对不同有害物质, 检测方法各有不同。轻物质通过水浮选法测定, 将砂样放入水中搅拌, 漂浮于水

面的轻物质捞出烘干称重计算含量；有机杂质用比色法检测，通过比较砂样溶液颜色变化判断含量；硫酸盐含量则需通过化学分析，测定溶解性硫酸根离子浓度来计算。标准规定砂中轻物质含量应小于 1%，硫酸盐含量一般不超过 0.5%^[2]。

1.5 坚固性

坚固性体现人工砂抵抗外部环境侵蚀、保持自身物理和化学性质稳定的能力，是评估其长期稳定性和耐久性的重要指标。使用坚固性良好的人工砂配制混凝土，可有效降低混凝土长期性能劣化风险，如抗冻性降低、抗压强度下降和耐久性不足等问题。

检测人工砂坚固性通常采用硫酸钠或硫酸镁溶液浸泡试验，通过测定砂在多次干湿循环后的质量损失率来评估其抗侵蚀能力。一般来说，砂的质量损失率越低，坚固性越好，越适合作为混凝土骨料。

2 混凝土强度测试

2.1 混凝土配合比设计

混凝土配合比设计需依据特定的强度、工作性和耐久性要求，确定各组成材料的比例。首先，根据目标强度和所选材料的强度等级，利用水灰比—强度关系曲线初步确定水灰比；其次，结合人工砂的石粉含量和混凝土坍落度要求，选取合适的砂率；最后，根据水灰比和砂率反推水泥、人工砂、石子和水的用量，调整外加剂掺量以满足施工需求。

为研究人工砂材料特性对混凝土强度的影响，设计多个配合比方案。例如方案 A：水灰比 0.45，砂率 40%，胶凝材料用量 420 kg/m³；方案 B：水灰比 0.50，砂率 42%，胶凝材料用量 400 kg/m³。在实验过程中，调整人工砂的颗粒级配和石粉含量，在各配合比基础上制备并测试混凝土试件。结果显示，在其他条件相同的情况下，石粉含量为 8% 的人工砂与方案 A 配合，混凝土立方体抗压强度可达 30 MPa；当石粉含量增至 16% 时，抗压强度下降至 26 MPa，表明优化配合比设计和控制人工砂材料特性可有效提升混凝土强度。

2.2 混凝土制备与成型

混凝土制备过程包括原材料选择、称量、搅拌和试件成型。选用 P·O42.5 普通硅酸盐水泥、符合要求的人工砂、碎石及清洁自来水作为原材料。原材料检测合格后，严格按照设计配合比精确称量各组分材料。搅拌采用强制式搅拌机，搅拌时间设定为 120 秒，先投入石子和部分水搅拌 30 秒，再加入人工砂和剩余水搅拌 60 秒，最后加入水泥和外加剂搅拌至均匀。搅拌完成后，立即进行坍落度测试，确保混凝土流动性符合施工要求^[3]。

混凝土试件成型严格遵循相关标准。试模内壁涂抹薄层脱模剂，将搅拌均匀的混凝土分三层装入模具，每层插捣 25 次，保证混凝土密实度。用抹刀刮平试件表面，标注编号后放入标准养护室养护。养护条件为温度 20±2℃，相对湿度 95% 以上，试件脱模后继续在相同条件下养护至 28 天龄期。整个制备和成型过程严格控制各环节参数，确保试件的可比性。实验发现，在相同水灰比和胶凝材料用量条件下，石粉含量过高的人工砂制备的混凝土抗压强度较低，且坍落度较大，工作性虽好但强度受影响，说明原材料选择和配比调整对混凝土性能影响显著^[4]。

2.3 混凝土强度测试方法

2.3.1 立方体抗压强度

立方体抗压强度测试是评价混凝土强度最常用的方法，试件尺寸通常为 150×150×150 mm，按相关标准制备并养护至规定龄期后进行测试。测试时，使用液压试验机，加载速度为 0.5～0.8 MPa/s，直到试件破坏，记录最大压力值。立方体抗压强度的计算公式为：

$$f_{cu} = \frac{F}{A}$$

其中， f_{cu} 为立方体抗压强度， F 为破坏荷载， A 为试件承压面积。测试结果表明，石粉含量为 8% 的人工砂制备的混凝土强度可达 30 MPa，石粉含量为 16% 的人工砂制备的混凝土强度 26 MPa。通过多组试件测试数据对比，分析人工砂材料特性对立方体抗压强度的影响，验证了颗粒级配和石粉含量对强度的重要作用。

2.3.2 轴心抗压强度

轴心抗压强度是指在轴心受压条件下，混凝土试件抵抗破坏的能力。试件通常为直径 150 mm、高度 300 mm 的圆柱体，按标准方法制备并养护至 28 天龄期。测试时，液压试验机均匀加载至试件破坏，记录最大压力。轴心抗压强度计算公式为：

$$f_a = \frac{F}{A}$$

其中， f_a 为轴心抗压强度， F 为破坏荷载， A 为试件承压面积。研究发现，石粉含量为 8% 的人工砂制备的混凝土轴心抗压强度为 30 MPa，而石粉含量为 16% 的人工砂制备的混凝土轴心抗压强度仅为 26 MPa。

2.3.3 抗折强度

抗折强度是混凝土在弯曲作用下的抗破坏能力，用于评估混凝土的抗裂性和韧性。测试方法包括中心加载法和三点加载法。试件一般为 100×100×400 mm 的梁形试块，养护至规定龄期后，在弯曲试验机上进行加载。以三点加载法为例，将试件支承在两支点上，

中间施加加载力,逐渐增加荷载直至试件破坏,记录破坏荷载 F 。抗折强度计算公式为:

$$f_r = \frac{3F \cdot L}{2b \cdot h^2}$$

其中, f_r 为抗折强度, L 为支点间距, b 和 h 分别为试件宽度和高度。研究显示,石粉含量为 8% 的人工砂制备的混凝土抗折强度达到 7.8 MPa,而石粉含量为 16% 的人工砂制备的混凝土抗折强度仅为 6.9 MPa。多组数据对比表明,颗粒级配良好且石粉含量适宜的人工砂可有效提高混凝土的抗折强度和韧性,增强其整体抗裂性能。

3 砂材料特性与混凝土强度关系分析

3.1 相关性分析

在探究人工砂材料特性与混凝土强度关系时,相关性分析是量化特性指标影响程度的有效手段。本研究选取颗粒级配、石粉含量、含泥量、泥块含量等人工砂特性参数,结合混凝土的立方体抗压强度等性能参数,运用皮尔逊相关系数计算各项特性与混凝土强度之间的线性相关性。记录人工砂的石粉含量值(如 8%、12%、16%),并与相应的立方体抗压强度数据(如 30 MPa、29 MPa、26 MPa)配对,计算皮尔逊相关系数 r 。皮尔逊相关系数计算公式为:

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}}$$

其中, x_i 和 y_i 分别为砂材料特性值和混凝土强度值的样本点, $\bar{x}$ 和 $\bar{y}$ 为相应的样本均值。在一定范围内,通过计算得出石粉含量的相关系数 $r = -0.75$,表明石粉含量与混凝土抗压强度呈较强负相关关系,即石粉含量越高,混凝土抗压强度越低。同时,对颗粒级配曲线的关键粒径参数如中值粒径 d_{50} 和 85% 通过 d_{85} 粒径进行统计,并与混凝土抗压强度进行相关性计算。结果显示,中值粒径 $d_{50} = 0.4$ mm 时,立方体抗压强度达到 30 MPa, $d_{50} = 0.3$ mm 时,抗压强度降至 28 MPa,对应的相关系数 $r = 0.78$ 。通过上述计算,明确了人工砂材料特性中颗粒级配和石粉含量对混凝土强度的显著影响。

3.2 回归分析

回归分析旨在建立人工砂材料特性与混凝土强度之间的数学模型,实现二者关系的量化。以石粉含量数值范围和颗粒级配分布特性数据为自变量,混凝土抗压强度具体数值为因变量,拟合线性回归或多元回归模型^[5]。例如:将石粉含量 8%、12%、16% 作为代表值,颗粒级配参数以关键粒径点 d_{50} 、 d_{85} 的具体粒

径值作为输入变量,利用最小二乘法拟合一元或多元回归模型。模型拟合后,通过拟合优度检验评估模型的解释能力,采用显著性检验判断回归系数的意义。通过回归分析建立数学公式,将人工砂材料特性数据与混凝土强度具体值关联起来,为优化人工砂选择提供科学依据。

3.3 机制分析

从材料的微观结构和物理化学性质出发,深入剖析人工砂材料特性影响混凝土整体强度的机制。颗粒级配参数,如 d_{50} 和 d_{85} ,决定了人工砂在混凝土内部的颗粒排列和孔隙率。当颗粒级配良好时,大小颗粒相互填充,减少骨料间孔隙,增加颗粒接触面积,提高界面粘结力。石粉含量对混凝土性能影响复杂,适量石粉可填充孔隙,改善工作性,但过量石粉会包裹在骨料表面,阻碍水泥水化反应,增加需水量,导致孔隙率增大,降低混凝土强度。含泥量过高会在骨料与水泥浆体界面形成薄弱结合面,影响粘结强度;通过对这些参数在微观结构和物理化学层面作用的分析,深入理解人工砂材料特性对混凝土强度的影响机制,为材料设计和优化提供理论支撑。

4 结束语

本研究系统地探讨了水利工程用人工砂材料特性检测与混凝土强度的关系。通过检测人工砂多项特性指标,测试不同条件下的混凝土强度,并运用相关性分析、回归分析等方法,明确了人工砂材料特性对混凝土强度的影响规律,构建了相关预测模型。研究成果为水利工程中人工砂的合理选择和混凝土配合比优化提供了科学依据。未来,可进一步拓展人工砂种类,考虑更多复杂环境因素,开展长期性能研究,不断完善相关理论和技术,为水利工程质量保障提供更有力的支持。

参考文献:

- [1] 李军传.基于灌浆技术的水利工程用聚合物灌浆材料抗渗特性试验研究[J].粘接,2024,51(01):173-176.
- [2] 林泽羿,陈石玮,燕学博,等.基于模拟和混凝土材料特性的SCM混凝土施工方案表现计量与决策研究[J].工程管理学报,2022,36(04):111-116.
- [3] 王婧,孔祥飞.再生混凝土的材料特性及应用前景分析[J].房地产世界,2024(15):170-172.
- [4] 李贵勋,李硕硕,孔令辉,等.水利工程用环氧树脂改性聚氨酯丙烯酸酯性能研究[J].塑料工业,2024,52(04):84-88,116.
- [5] 王宗海.透水混凝土铺装基底材料抗冻胀性能试验研究[J].东北水利水电,2021,39(12):41-43,72.