

采用对拉螺栓与钢管扣件等加固途径,使模板在混凝土浇筑过程里不出现变形及位移状况,待安装工作结束后,对模板平整度、垂直度及尺寸做全面检查,把偏差限制在规范可接受的范围里^[3]。

4.2 钢筋工程质量控制

4.2.1 确保钢筋锚固与连接质量

按照设计及规范要求,切实管控梁、柱纵筋在节点内的锚固长度,施工时加强对钢筋下料及安装的检查环节,杜绝擅自截断或弯折钢筋,依照钢筋直径及受力情形,合理抉择钢筋连接途径,若钢筋直径超 22mm,优先采用机械连接为佳,直径较小的钢筋,采用绑扎搭接或焊接连接均可,严格按照操作规程开展机械连接接头施工,保证连接质量合格;焊接接头要让焊缝的长度、宽度及厚度符合规定,完成焊接后实施外观检查及力学性能检测。

4.2.2 规范箍筋配置与绑扎

严格依照设计图纸及规范要求布置节点核心区箍筋,让箍筋的数量、间距、规格满足既定标准,在开展钢筋绑扎活动期间,采用定位箍筋以及钢筋支架等手段,保证箍筋位置无误、绑扎紧实,针对钢筋密集聚集的区域,可借助开口箍筋或者分段绑扎的方式开展,利于施工作业开展,同时保障箍筋绑扎质量合格,强化对箍筋绑扎质量的查验,保证不出现漏绑、少绑情形。

4.3 混凝土工程质量控制

4.3.1 合理设计混凝土配合比

基于梁柱节点的受力特点及施工情形,交由有资质的试验室设计混凝土的配合比,优化混凝土相关配合比参数,掌控水灰比、砂率及粗骨料粒径大小,促进混凝土的和易性、强度及耐久性能提升,针对高强度等级的混凝土,可以适量掺入外加剂及掺合料,诸如减水剂、粉煤灰之类的,提高混凝土的性能水准,减小水化热的数值,就梁柱节点与梁板混凝土强度等级有差别的情况而言,做出专项的配合比设计方案,使节点区域混凝土强度达成设计设定^[4]。

4.3.2 规范混凝土浇筑与振捣

制订合乎科学逻辑的混凝土浇筑方案,就梁柱节点所在区域而言,不妨采用分层浇筑及对称浇筑之法,杜绝混凝土出现离析、空洞现象,要是梁柱节点跟梁板的混凝土强度等级不一样时,需先对节点核心区的高强度等级混凝土进行浇筑,再开展梁板低强度等级混凝土的浇筑工作,在两种混凝土相交接的地方采用钢丝网等分隔办法,防止低强度等级混凝土涌入节点区域,于混凝土振捣作业期间,选用恰当的振捣棒,插入深度应进入下层混凝土 50~100mm,振捣时间

以混凝土表面不再显著沉降、无气泡冒出、表面呈现泛浆为宜,杜绝过振与漏振现象。

4.4 施工管理质量控制

4.4.1 加强技术交底

技术人员应对施工操作人员进行周全的技术交底,交底包含了诸如梁柱节点施工工艺、质量标准、控制要点及安全注意事项等内容,采用书面交底、实地示范及视频教学等诸多方式,保障施工人员透彻理解与掌握施工要求,搭建技术交底签字确认体系,保障技术交底全面落实好^[5]。

4.4.2 强化质量监督与检查

完善施工现场质量监督相关体系,招录专职的质量检查人员,加强对梁柱节点施工全阶段的监控工作,在钢筋绑扎、模板安装还有混凝土浇筑等关键工序做完后,按照质量验收规范严格实施检查验收,工序未经检验合格或未验收,不得进入下一个施工步骤,就检查当中发觉的质量问题,快速下达整改文书,要求施工人员在限定日期整改好,而后实施复查操作,保证质量问题获得有效处理。

5 结论

框架剪力墙结构梁柱节点作为建筑结构关键所在,要让建筑工程安全可靠,其质量控制不可或缺,通过对影响梁柱节点质量的模板工程、钢筋工程、混凝土工程及施工管理等因素展开深入剖析,对应性地提出优化模板设计与安装工作、让钢筋锚固与连接符合规范、合理设计混凝土配合比且规范浇筑振捣过程以及加强施工技术交底和质量监督检查等质量控制手段,可有效增进梁柱节点的施工质量水平,维持框架剪力墙结构整体性能的正常水平。在实际的工程项目中,必须严格依照相关规范与标准,切实强化施工过程管理,时常归纳并革新质量管控手段,保障建筑工程框架剪力墙结构梁柱节点的品质,为建筑工程的安全利用奠定可靠基础。

参考文献

- [1] 杨伟.建筑工程中框架剪力墙结构工程施工技术分析[J].居业,2024(11):22-24.
- [2] 郑万军.框架剪力墙结构在建筑施工中的应用探讨[J].中国建筑装饰装修,2024(21):177-179.
- [3] 蓝伟铭.房屋建筑框架剪力墙结构主体工程施工技术探讨[J].城市建设理论研究(电子版),2023(24):118-120.
- [4] 高卫.框架剪力墙结构施工质量的控制[J].四川水泥,2022(03):174-175+178.
- [5] 樊小辉.房屋建筑框架剪力墙结构主体工程的施工技术探讨[J].住宅与房地产,2020(09):182.

Research and application of road tunnel side wall anti-pollution and lighting technology based on nano-silicon anion coating

Yongke Wei^{1,3} Yun He² Dongyu Lan² Changming Liang² Weixing Mao⁴

1. Guangxi Traffic Design Group Co., Ltd., Nanning, Guangxi, 530000, China

2. Guangxi New Development Transportation Group Co., Ltd., Nanning, Guangxi, 530000, China

3. Department of Underground Engineering, School of Civil Engineering, Tongji University, Shanghai, 200092, China

4. Anhui Zhongyi New Material Technology Co., Ltd., Chuzhou, Anhui, 239000, China

Abstract

To enhance the quality and efficiency of highway tunnel construction, improve the visual environment inside tunnels, extend their service life, and reduce management and maintenance costs, this article analyzes the performance advantages of nano-silicon negative ion coatings. It integrates existing technical resources and draws on past successful experiences, with material characteristics as the foundation. By adopting technical adaptation, process innovation, quality monitoring, and daily maintenance, the article aims to establish a robust technical system, refine construction procedures, and promote the transformation and upgrading of the current highway tunnel side wall anti-pollution and lighting construction system.

Keywords

highway tunnel; side wall pollution resistance and lighting; nano-silicon anion coating; application path

基于纳米硅负离子涂料的公路隧道侧壁耐污亮化技术研究应用

韦勇克^{1,3} 贺云² 蓝东好² 梁昌明² 冒卫星⁴

1. 广西交通设计集团有限公司, 中国·广西 南宁 530000

2. 广西新发展交通集团有限公司, 中国·广西 南宁 530000

3. 同济大学土木工程学院地下建筑工程系, 中国·上海 200092

4. 安徽中益新材料科技股份有限公司, 中国·安徽 滁州 239000

摘 要

为提升公路隧道的建设质效, 改善隧道内视觉环境, 延长隧道使用寿命, 降低管理维护成本。文章从多个维度出发, 在分析纳米硅负离子涂料性能优势的基础上, 整合现有技术资源, 借鉴过往有益经验, 以材料特性分析为前提, 通过技术适配、工艺创新、质量监测、日常维护等路径, 健全技术体系, 完善施工流程, 推动现有公路隧道侧壁耐污亮化施工体系的转型升级。

关键词

公路隧道; 侧壁耐污亮化; 纳米硅负离子涂料; 应用路径

1 引言

隧道侧壁长期受车辆尾气、粉尘、油污等污染物侵蚀, 加之光照条件有限, 导致侧壁污损严重、视觉环境昏暗, 不

仅影响隧道美观, 更降低了驾驶员的视觉辨识度, 存在较大安全隐患^[1]。纳米硅负离子涂料凭借其独特的纳米材料特性和负离子释放功能, 在耐污、自洁、空气净化及光反射性能方面展现出显著优势, 为公路隧道侧壁耐污亮化提供新的解决方案。

2 纳米硅负离子涂料在公路隧道侧壁耐污亮化中的主要优势

2.1 服务寿命长

纳米硅负离子涂料采用纳米级硅基材料作为主要成膜

【基金项目】广西重点研发计划资助(项目编号: 桂科 AB22080002)。

【作者简介】韦勇克(1971-), 男, 壮族, 中国广西都安人, 硕士, 正高级工程师, 从事桥梁与隧道工程研究。

物质，纳米颗粒的粒径通常在 1~100 纳米之间，这种纳米级结构赋予涂层优异的致密性和机械性能。纳米硅颗粒能够紧密堆积，形成连续且均匀的涂膜，有效阻挡外界污染物、水分及腐蚀性气体的侵入，减缓涂层老化速度。同时，涂料中添加的负离子发生材料具有良好的化学稳定性，在隧道复杂环境中不易发生化学反应，可长期稳定发挥其功能特性。研究表明，在正常使用和维护条件下，纳米硅负离子涂料的使用寿命可达 10~15 年，相较于传统隧道涂层材料 5~8 年的服务年限，在很大程度上，延长了涂层更换周期，降低了隧道运营维护成本^[2]。

2.2 可清洁性高

纳米硅负离子涂料有着较强的自洁性能，涂层表面呈

现纳米级粗糙度，形成类似荷叶表面的“微-纳米”双重结构，这种双重结构使得水滴与涂层表面的接触角大于 150°，滚动角小于 10°，从而使得纳米硅负离子涂料具备超疏水特性。当污染物附着在涂层表面时，水滴在滚动过程中可将污染物带走，实现自清洁效果。同时，纳米硅负离子涂料在释放负离子的过程中，能够与空气中的氧分子结合，形成具有强氧化性的羟基自由基（·OH）^[3]。羟基自由基对有机污染物有较强的分解能力，生成二氧化碳和水。纳米硅负离子涂料的材料特性，使得其与瓷砖等传统隧道侧壁施工方案相比，在清洗时间、耗水量、清洗方式、间隔时间以及清洗人数等方面，表现出明显的优势，如表 1 所示：

表 1 隧道侧壁不同施工方案清洁效果

施工方案	综合功效	清洗时间	耗水量	清洗方式	清洗液体	清洗时间间隔	人数
瓷砖	油污、灰尘等 污染物极易吸附在隧道侧壁	约 8 天	约 12 车	水车冲洗 + 人工 刷洗	清水 + 化学清洁剂	3 个月	6 人
纳米硅负离子涂料	油污、灰尘等 污染物难以吸附在隧道侧壁	约 3 天	约 9 车	水车冲洗	清水	4 个月	3 人

2.3 耐受性较好

隧道内部环境复杂，与其他公路结构相比，具有温湿度变化大、车辆振动频繁、强光照与弱光照交替等特点。纳米硅负离子涂料具有良好的环境耐受性，其热膨胀系数与隧道侧壁混凝土基材相近，能够适应隧道内较大幅度的温湿度变化，避免因热胀冷缩产生涂层开裂、剥落等现象的发生，提升隧道侧壁总体结构的稳定性。纳米硅负离子涂料的柔韧性和抗冲击性能能够有效抵御车辆振动带来的影响，保持涂层结构完整。同时，纳米硅负离子涂料具备优异的耐候性，在紫外线照射下不易发生黄变、粉化等现象，确保涂层长期保持良好的亮化效果和装饰性能。

3 纳米硅负离子涂料在公路隧道侧壁耐污亮化中的应用路径

3.1 做好材料特性分析

在开展纳米硅负离子涂料施工前，工作人员要从材料科学角度出发，着眼公路隧道侧壁耐污亮化的定位，对材料特性进行全面、深入地分析，综合材料特性与施工定位，制定实用、可行的技术方案。具体来看，施工企业组织人员系统性研究涂料的化学成分和微观结构，掌握纳米硅颗粒的粒径分布、负离子发生材料的种类及含量等关键参数，评估其对涂层性能的影响。通过扫描电子显微镜（SEM）、X 射线衍射仪（XRD）等先进分析手段，观察涂层的微观形貌和晶体结构，揭示材料性能与结构之间的内在联系。在此基础上，施工企业要联合专业团队，利用技术设备，定向测试涂料性能指标，掌握附着力、硬度、耐磨性、耐水性、耐碱性参数，确保纳米硅负离子涂料满足公路隧道侧壁涂层的使用要求。开展模拟隧道环境的加速老化试验，研究涂料在温湿度循

环、光照辐射、污染物侵蚀等多因素耦合作用下的性能变化规律，为纳米硅负离子涂料的选型和应用提供科学依据。

3.2 做好施工技术适配

公路隧道侧壁结构特殊、环境复杂，为确保耐污亮化效果，施工企业要着眼纳米硅负离子涂料特点，对施工技术开展选型，确保技术方案的整体适配性。具体来看，施工企业针对隧道侧壁的平整度、粗糙度等表面特征，选择合适的基层处理方法，确保涂层与基材之间具有良好的附着力^[4]。对于不平整的侧壁，可采用水泥砂浆找平、打磨等工艺进行处理；对于表面过于光滑的基材，需进行拉毛处理，增加表面粗糙度。施工企业综合涂料的特性和施工环境，选择适宜的施工方法，做好喷涂、刷涂、辊涂等方案的横向对比，结合过往经验，喷涂方案的施工效率高、涂层均匀性好，适用于大面积施工；刷涂和辊涂等方案更适合于边角、复杂结构部位的涂装。为保证纳米硅负离子涂料的喷涂效果，施工企业要引入控制思维，确立合理举措，精准控制施工环境参数，使得温度、湿度、风速等要素满足涂料施工要求，降低环境因素对正常施工活动的扰动。通常情况下，公路隧道侧壁纳米硅负离子涂料涂覆环节，施工温度应控制在 5 -35℃，相对湿度应低于 85%，保证纳米硅负离子涂料能够正常干燥和固化，避免因环境因素导致涂层出现流挂、起泡、开裂等质量问题。

3.3 做好施工工艺创新

为提高公路隧道侧壁纳米硅负离子涂料的施工质量与施工效率，施工企业应当在施工技术适配工作的基础上，做好施工技术的定向创新，搭建完备的耐污亮化施工体系。具体来看，施工企业引入智能化喷涂设备，借助机器人技术和自动化控制系统，实现喷涂过程的精准控制。通过设置喷涂