

浅谈关于现浇灌浆料在桥梁混凝土护栏耐久性修复中的应用研究

朱卫峰

河南平正高速公路发展有限公司 河南 驻马店 463400

摘要：桥梁混凝土防撞护栏作为关键的交通安全设施，其耐久性与安全性对桥梁结构的稳定运行具有决定性影响。随着使用年限的延长，桥梁护栏易出现裂缝、剥落、露筋锈胀等老化现象，严重影响其使用功能。本文针对现浇灌浆料修复在桥梁混凝土防撞护栏耐久性修复中的应用进行了深入探讨，通过实证研究分析了现浇灌浆料的材料特性、施工技术以及修复效果的评估方法。研究表明，现浇灌浆料修复技术具有施工便捷、经济高效、修复效果显著等优势，可为桥梁护栏的维护和修复提供科学依据。

关键词：桥梁护栏；耐久性修复；现浇灌浆料；材料特性

引言

在交通强国战略的推动下，我国公路桥梁建设取得了显著成就，截至2023年底，全国公路桥梁总数已超过108万座，总长度达9528.82万延米，其中，特大桥10239座，大桥17.77万座。这些数据反映了我国交通基础设施建设的持续发展与规模扩张。桥梁作为连接公路的咽喉，其重要性不言而喻。公路桥梁的高效、安全与可持续运行，不仅关乎公众出行的安全畅通，也直接影响着国家的经济流通。然而，随着公路里程和服役年限的双重持续快速增长，桥梁混凝土护栏在长期自然环境和交通荷载作用下，桥梁混凝土护栏普遍出现不同程度的病害，易产生裂缝、剥落、钢筋锈蚀等问题，导致护栏结构强度降低和防撞性能严重衰减^[1]。据统计，约35%的桥梁护栏存在裂缝、剥落等问题，严重影响其使用功能和安全性。这些问题不仅影响桥梁的美观，更会降低护栏的安全性能。因此，及时对受损的桥梁护栏进行有效的修复，是确保桥梁安全运行的重要措施。现浇灌浆料作为一种新型修复材料，凭借其优异的流动性和粘结性能，在桥梁护栏的耐久性修复中得到了广泛应用。

1 现浇灌浆料的材料特性

现浇灌浆料由42.5级普通硅酸盐水泥、级配石英砂、高效减水剂、膨胀剂和矿物掺合料等组成。其基本性能指标如表1所示：

1.1 优异的流动性：

现浇灌浆料在施工过程中展现出良好的流动性，灌浆料初始流动度可达320mm以上，30min流动度保持率大于95%，确保施工过程顺畅，能够充分填充裂缝和空隙，确保修复部位与原结构紧密结合^[2]。这种流动性是通过精

确的材料配比和先进的搅拌技术实现的，从而保证了灌浆料在施工过程中的均匀性和一致性。此外，灌浆料的流动性还与其颗粒级配和外加剂的种类密切相关，这些因素共同作用，确保了灌浆料在各种复杂裂缝中的渗透能力。

表1 现浇灌浆料基本性能指标

性能指标	技术要求	实测值
流动度/mm	≥ 300	320-350
抗压强度/MPa	1d ≥ 20	23.6
	3d ≥ 40	41.3
	28d ≥ 60	63.8
粘结强度/MPa	≥ 2.5	3.2
泌水率/%	≤ 1.0	0

现浇灌浆料具有以下特点：

1.2 较高的粘结强度：

现浇灌浆料与混凝土之间具有较高的粘结强度，能够有效传递荷载，提高修复部位的整体性能。这种高强度的粘结性能得益于灌浆料中所含有的特殊化学成分，这些成分在固化过程中与混凝土基材形成化学键合，从而增强了界面的粘结力。此外，灌浆料中还添加了微纤维，这些微纤维在灌浆料内部形成三维网络结构，进一步提升了材料的抗拉强度和韧性。

1.3 良好的体积稳定性：

膨胀率控制在0.02%-0.04%范围内，有效防止收缩裂缝的产生。

1.4 良好的耐久性：

现浇灌浆料具有良好的抗渗性和抗冻融性能，抗冻等级达到F200，抗渗等级大于P12，满足桥梁护栏长期使用

用要求,能够适应恶劣的自然环境,延长桥梁护栏的使用寿命。其耐久性不仅体现在对恶劣气候条件的抵抗能力上,还包括对化学物质侵蚀的抵抗力,以及在长期荷载作用下的稳定性^[3]。灌浆料的耐久性得益于其低水胶比和优化的矿物掺合料,这些成分共同作用,提高了灌浆料的密实度和抗渗能力,从而有效防止了水分和有害物质的侵入。

2 施工技术

现浇灌浆料修复桥梁混凝土护栏的施工技术主要包括以下几个步骤:表面处理→裂缝处理→钢筋除锈→模板安装→灌浆施工→固化养护→质量检测。

2.1 表面处理

表面清除使用高压射流冲洗,冲洗压力需保持300mbar以上,彻底清除护栏表面的松散混凝土、碳化层、灰尘和油污,确保修复部位干净、干燥。这一过程需要使用高压水枪、电镐、砂轮机等工具,不能对混凝土完好的保护层和钢筋结构造成损伤,不应因冲洗产生新的裂缝、剥落等破坏现象,同时确保彻底清除所有可能影响粘结的浮浆、疏松混凝土、油污、杂质等,确保基面干净,无粘附物、浮尘、污物^[4]。此外,表面处理还包括对裂缝两侧进行粗糙化处理,宜打出方向垂直于构件轴线、纹深为3mm-4mm、间距约50mm的横向纹路,以增加灌浆料与原混凝土的机械咬合能力。

2.2 裂缝处理

对较宽裂缝进行开槽处理,确保灌浆料能够充分填充裂缝。开槽的深度和宽度应根据裂缝的宽度和深度进行适当调整,以确保灌浆料能够与裂缝两侧的混凝土形成良好的机械咬合。开槽后,应使用高压空气吹扫槽内,以清除松散颗粒和灰尘。

2.3 除锈阻锈

对露筋锈胀钢筋首先进行物理打磨除锈,然后用铁锤敲打钢筋确保锈块及浮锈全部脱落

2.4 模板固定

可使用钢模板或者组合式模板进行定位固定,模板要锚固牢固,各分段模板要前后搭接严丝合缝,在模板内部均匀放置混凝土垫块保证浇注厚度及充分流动性,模板周围缝隙用发泡剂填塞密实防止浇注跑浆导致局部浆液离析影响固化结构外观及强度。

2.5 灌浆施工

将现浇灌浆料按照规定的比例混合,搅拌均匀后,使用灌浆泵将灌浆料注入裂缝或空隙中。在灌浆过程中,应采用分段、分层的灌浆方法,以确保灌浆料能够充分填充并排出空气。此外,灌浆过程中应持续监控灌

浆压力和灌浆量,以确保灌浆料均匀分布并达到预期的填充效果。

2.6 固化养护

灌浆完成后,对修复部位进行适当的养护,以确保灌浆料的强度和耐久性。养护工作包括保持修复部位的湿润状态,保湿养生应不低于7天,每隔3-4小时洒水一次,夏季或多风天气可适当增加洒水频次,并用土工毛毡布覆盖,保证初凝期充分的水化反应效果,也可避免过早的干燥和温度变化对灌浆料性能的影响^[5]。养护期间,应避免对修复部位施加任何形式的荷载,以确保灌浆料在固化过程中的稳定性。

3 关键技术要点

3.1 表面处理

采用300mbar以上高压水射流清洗,确保彻底剔除护栏表面松散混凝土,其粗糙度、清洁度、完整性、平整度、棱角处理等界面处理质量可参考达到Sa2.5级标准。

3.2 裂缝处理

对宽度大于0.15mm的裂缝进行V型开槽处理,槽深为裂缝深度的1.5倍。

3.3 钢筋处理

采用机械除锈法,除锈等级达到St3级,并涂刷阻锈剂。

3.4 灌浆施工

采用压力灌浆法,灌浆压力控制在0.2-0.4MPa,确保灌浆密实。

4 修复效果评估

建立包括外观质量、力学性能、耐久性能三个一级指标和九个二级指标的评估体系,修复效果的评估主要包括以下几个方面:

4.1 外观检查

采用目测法和裂缝观测仪检测,观察修复部位的外观是否平整光滑、无裂缝,与原结构是否协调。外观检查不仅关注修复部位的视觉效果,还应评估其对整体结构美观的影响。此外,外观检查还包括对修复部位的色彩和质感进行评估,以确保修复部位与周围环境的和谐统一。

4.2 力学性能测试

通过拉拔试验、回弹法检测等方法,测试修复部位与原结构之间的粘结强度。粘结强度的测试结果能够直接反映修复部位与原结构的结合程度和长期性能。此外,粘结强度测试还包括对修复部位进行剪切试验,以评估其在横向荷载作用下的性能表现。

4.3 耐久性测试

采用氯离子渗透试验、碳化试验等方法,通过抗渗、抗冻融等试验,评估修复部位的耐久性能。耐久性测试能够模拟实际使用环境,预测修复部位在长期使用中的性能表现。此外,耐久性测试还包括对修复部位进行化学侵蚀试验,以评估其在酸、碱等化学物质作用下的稳定性。

5 实证分析

5.1 护栏现场病害调研情况

平正高速2024年桥梁病害专项处治工程项目实施过程中,经会同设计单位、施工单位现场充分勘察,护栏表面经高压射流冲洗后,发现李大湖大桥下行及小清河大桥下行内侧混凝土护栏混凝土破损、风化、露筋锈蚀异常严重,但护栏背部及整体结构强度又相对较好,保护层剥落厚度约为3-7cm,勿须拆除重做,只要对高压射流冲刷后缺失部分修补仍然可正常使用。本论文以平正高速李大湖大桥和小清河大桥为例,该桥建成于2007年,护栏出现严重病害,采用现浇A50灌浆料进行修复。

5.2 修复方案比选优化情况

根据桥梁护栏局部修复原施工图设计,为防止桥梁护栏因高压射流冲洗局部坍塌及钢筋腐断,施工合同预留C30混凝土和 $\Phi 12$ 钢筋清工程量用于护栏局部拆除修复。根据《公路桥梁加固设计规范》(JTG/T J22-2008)、《公路桥涵养护规范》(JTG 5120-2021)、《公路交通安全设施设计规范》(JTG D81-2017)及《公路交通安全设施设计细则》(JTG-T D81-2017)要求,桥梁结构加固用混凝土的强度等级应比原结构构件提高一级,且拆除重做需满足新规范要求增加护栏高度,增加桥梁荷载涉及结构动载验算。为避免拆除重做及增加桥梁荷载,在利用原有护栏部分结构的前提下,对修复方案比选优化,经拆除恢复、砂浆修补、现浇灌浆料修复三种方案优缺点进行比选,对施工易组织性、材料可靠性、经济合理性、环保低碳性、质量稳定性、养生便捷性等综合考虑,采用现浇A50灌浆料修复方案,具有其造价低、整体性及耐久性相对好、工期短、养生方便、黏结性强等优点,养生结束其强度可达到C50标准要求。

5.3 交通组织优化情况

原设计对李大湖大桥上下行左侧护栏进行拆除恢复,计划工期30天,拆除过程不仅存在扰动边梁风险,而且在混凝土现浇后初凝期由于防撞强度不足被车辆撞击后有冲向对面车道的安全隐患,同时现浇振捣不当使模板鼓胀导致护栏断面变形导致桥梁荷载增加结构安全

风险,养生期占道时间长对行车干扰较大。施工方案优化后,不仅利用了原护栏主体结构,将安全风险降到了最低程度,而且大幅缩短了工期,可提前11天完成护栏耐久性修复。

5.4 养护处治费用节约情况

方案优化后由李大湖大桥护栏拆除恢复变更为对李大湖桥下行和小清河大桥左侧护栏全面修复,处治面积304平方优化为363平方,在处治费用不增加的情况下同比多处治59平方,且方案优化后护栏防撞性能显著增强,且有效节约了养护处治费用,相比工程处治费用降低1.9万元。

5.5 修复效果

现浇A50灌浆料修复后护栏稳定性、耐久性明显增强,且固化养生后护栏防撞性能显著增强,修复效果如下:

力学性能:1d抗压强度23.6MPa、3d抗压强度41.3MPa、28d抗压强度63.8MPa,较原结构提高112%,与原护栏结构强度C30相比提升显著。

耐久性能:经送样检测泌水率0%,氯离子扩散系数降低至 $1.2 \times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$,抗碳化性能提高3倍。

经济效益:较传统修复方法节约成本约24%,工期缩短37%。

结束语

现浇灌浆料在桥梁混凝土护栏耐久性修复中具有显著的应用效果,可显著提升桥梁护栏的耐久性和安全性。通过合理的材料选择和施工技术,能够有效提高修复部位的性能,延长桥梁护栏的使用寿命。未来应进一步研究现浇灌浆料的优化配方和施工技术,以提高修复效果和经济效益。建议一是进一步优化灌浆料配合比,开发适用于不同环境条件的专用配方;二是建议加强施工过程质量控制,建立标准化施工工艺;三是建议开展长期性能监测,建立修复效果评价数据库。

参考文献

- [1]王明远,李建华.桥梁混凝土护栏耐久性修复技术研究进展[J].公路交通科技,2022,39(5):78-85.
- [2]张立新,陈志强.现浇灌浆料在桥梁加固中的应用研究[J].混凝土,2021,43(8):145-149.
- [3]刘伟东,赵明华.桥梁混凝土结构耐久性评估方法研究[J].土木工程学报,2023,56(2):89-96.
- [4]郭东红.高速公路混凝土护栏修复材料耐久性试验研究[J].山西交通科技,2024,(01):59-62.
- [5]曹淋淋.铁路桥梁混凝土护栏耐久性评估与优化[D].兰州交通大学,2015.