

高温多雨海岛地区涵洞防水施工技术研究

王锋

中交二公局东萌工程有限公司, 中国·陕西 西安 710000

摘要: 海岛地区具备高温高湿、降雨充沛、盐雾侵蚀显著的特殊气候特征, 该环境下公路涵洞极易出现防水层老化失效、结构渗漏、钢筋锈蚀、混凝土剥落等病害, 严重影响道路基础设施的运营安全与使用寿命, 常规内陆地区涵洞防水施工技术适配性极差。本文针对高温多雨海岛环境下涵洞防水施工现存技术短板, 通过多类防水材料性能量化对比、防水组合方案优化试验、施工全过程质量管控体系构建等研究手段, 系统探究适配海岛极端气候的涵洞防水施工关键技术。

关键词: 海岛地区; 高温多雨; 涵洞工程; 防水施工

Research on Waterproof Construction Technology for Culverts in High-Temperature and Humid Island Areas

Wang Feng

China Communications Second Engineering Bureau Dong Meng Engineering Co., Ltd., China Shaanxi Xi'an 710000

Abstract: Island areas have unique climatic characteristics such as high temperature, high humidity, abundant rainfall, and significant salt spray erosion. In this environment, highway culverts are prone to problems such as aging and failure of waterproof layers, structural leakage, steel reinforcement corrosion, and concrete peeling, which seriously affect the operational safety and service life of road infrastructure. The conventional waterproof construction techniques for inland culverts are highly unsuitable for this environment. This paper addresses the existing technical shortcomings in the waterproof construction of culverts in the high-temperature and rainy island environment. Through various research methods such as quantitative comparison of waterproof materials, optimization of waterproof combination schemes, and construction process quality control system establishment, it systematically explores the key technologies for waterproof construction of culverts adapted to the extreme climate of the island.

Keywords: Island area; High temperature and heavy rainfall; Culvert project; Waterproofing construction

0 引言

中国滨海海岛区域路网建设是支撑区域经济发展、保障民众通行的核心基础设施, 涵洞作为公路关键附属构筑物, 承担着排水泄洪、疏导水流的重要作用, 其防水耐久性能直接决定道路整体服役安全与使用年限。海岛特殊的海洋气候呈现高温高热、降雨集中、空气盐雾含量高的复合特征, 氯离子持续侵蚀会加速涵洞混凝土老化与防水层破损。目前国内常规涵洞防水工艺与材料体系多适配内陆温和环境, 无法应对海岛多因素耦合侵蚀工况, 长期服役后极易出现防水层脱落、结构节点渗漏等病害, 进而引发钢筋锈蚀、路基沉降等次生问题, 不仅降低工程质量, 还会大幅增加后期养护成本, 与绿色低碳施工理念相悖。为此, 本文依托省道 S376 曲政线新建工程 SG 标段实体项目, 针对海岛恶劣工况开展涵洞防水施工技术专项研究, 通过材料优选、工艺创新、全流程质量管控优化, 解决传

统技术适配性差、耐久性弱的问题, 补齐海岛涵洞防水施工技术短板, 为沿海同类工程建设提供可靠技术参考。

1 工程概况与环境病害分析

1.1 工程基本概况

本次研究依托海南省道 S376 曲政线新建工程 SG 标段, 项目地处高温多雨海岛区域, 全线共设计建设各类涵洞 97 道, 涵盖多种结构形式, 工程规模较大、工况具有典型海岛区域特征。其中主线新建盖板涵 64 道, 总长度 1544.17m; 新建圆管涵 10 道, 总长度 239.74m; 完全利用既有盖板涵 1 道; 线外新建盖板涵 2 道, 总长 28.95m; 线外及等外路新建圆管涵 20 道, 总长度 253m。项目涵洞数量多、分布广, 涵盖公路工程主流涵洞结构类型, 研究成果具备良好的通用性与推广性。

1.2 海岛特殊环境特征

研究区域为典型海岛海洋性气候, 环境工况复杂恶劣

劣,对涵洞防水结构破坏力极强。一是高温特征显著,全年平均气温高,夏季极端高温天气持续时间长,长期高温环境会加速防水材料分子老化,导致卷材收缩开裂、涂料粉化脱落,大幅降低防水层使用寿命;二是降雨充沛、空气高湿,年降雨量偏大且降雨集中,空气相对湿度长期处于高位,涵洞结构长期处于潮湿浸泡状态,水分易渗透至结构内部,诱发混凝土渗水、返潮病害;三是盐雾侵蚀严重,海岛大气中富含氯离子、钠离子等盐分微粒,盐雾会附着于涵洞结构及防水层表面,逐步渗透侵蚀防水材料,与混凝土基体,破坏材料粘结性能,导致防水层脱层失效,同时引发内部钢筋锈蚀。高温、高湿、盐雾三重因素耦合作用,是海岛涵洞防水病害频发的核心诱因。

1.3 传统施工技术现存病害问题

结合项目现场勘察及区域同类工程调研,传统涵洞防水施工技术在海岛环境中存在诸多短板。其一,防水材料选型适配性差,传统沥青防水、普通橡胶止水材料耐温性、抗盐雾性能不足,高温环境下易软化流淌,低温脆裂,盐雾侵蚀后快速失效;其二,防水施工针对性不足,未区分涵洞不同渗漏薄弱节点特征,采用统一施工工艺,沉降缝、拉杆孔等细节部位处理粗糙,存在大量施工隐患;其三,施工质量管控粗放,缺乏精细化工序管控,原材料进场检测、施工过程监督、成品验收环节管控缺失,施工质量参差不齐;其四,无长效运维保障机制,防水层施工完成后无专项监测手段,病害发现滞后,小隐患逐步发展为大规模渗漏病害,增加维修成本^[1]。

2 海岛环境防水材料性能试验与量化分析

2.1 试验材料选取

为筛选适配海岛高温多雨盐雾环境的优质防水材料,本研究选取当前工程领域应用广泛的新型高分子防水材料开展对比试验,具体包括热塑性聚烯烃(TPO)防水卷材、聚氨酯防水涂料、三段式止水拉杆、喷涂速凝橡胶沥青涂料、非硫化高分子密封胶带、橡胶止水带六大类材料。所有试验材料均选用工程常用规格,确保试验结果贴合现场施工实际,具备工程应用价值。

2.2 试验方案设计

本次试验模拟海岛核心恶劣工况,设置高温老化、高湿浸泡、盐雾侵蚀三组复合试验环境,对各类防水材料的拉伸强度、断裂伸长率、不透水性、粘结强度、耐腐蚀性等核心性能指标进行检测。试验严格遵循土木工程防水材料检测相关规范,每组材料设置3组平行试样,试验结果取平均值,保障数据准确性。通过对比各类材料试验前后

的性能衰减幅度,量化评价其耐候性与防水可靠性,最终完成材料性能分级排序^[2]。

高温老化试验设置温度60℃,持续老化72h,检测材料外观变化与力学性能衰减情况;高湿浸泡试验将试样置于相对湿度95%、温度40℃的恒温恒湿环境中浸泡168h,测试材料防水密闭性与粘结稳定性;盐雾侵蚀试验采用中性盐雾试验方式,持续喷雾120h,检测材料抗氯离子侵蚀能力与表面破损情况。

2.3 试验结果与量化分析

通过多组复合工况试验,对各类防水材料性能进行量化打分(满分100分,包含耐温性、耐湿性、抗盐雾性、防水性、施工适配性五项指标,各指标权重均等),最终得出材料性能排序:喷涂速凝橡胶沥青涂料(92.6分)>热塑性聚烯烃防水卷材(90.8分)>非硫化高分子密封胶带(88.2分)>聚氨酯防水涂料(85.7分)>橡胶止水带(82.3分)>三段式止水拉杆(79.5分)。

试验结果表明,喷涂速凝橡胶沥青涂料与热塑性聚烯烃卷材综合性能最优,高温环境下无软化开裂现象,高湿盐雾工况下性能衰减率低于8%,防水密闭性优异,且与混凝土基体粘结强度高,适配涵洞大面积墙身外侧防水施工;非硫化高分子密封胶带柔韧性强、贴合度高,适配缝隙类细微渗漏节点密封处理;聚氨酯防水涂料施工便捷,适合局部修补防水;传统止水拉杆、普通橡胶止水带耐盐雾、耐老化性能偏弱,仅可作为辅助防水构件,不可作为主防水材料使用。本次量化分析结果为后续差异化防水方案组合设计提供了核心数据支撑^[3]。

3 涵洞防水施工方案优化与工艺创新

3.1 渗漏薄弱节点划分

结合涵洞结构特征与现场病害调研结果,海岛地区涵洞渗漏高发位置集中在四大核心部位,各节点渗漏成因存在明显差异,需针对性设计差异化防水方案。一是涵洞沉降缝,受温度变形、地基不均匀沉降影响,缝隙易开合错位,传统密封材料老化后极易渗水;二是墙身拉杆孔,施工预留孔洞封堵不密实,孔隙率大,盐雾水汽易渗透贯通;三是涵洞盖板缝隙,盖板拼接缝隙多,长期雨水冲刷、温度变化导致密封层脱落,形成渗漏通道;四是涵洞墙身外侧,大面积墙体长期暴露在高温高湿盐雾环境中,整体防水层老化失效易引发大面积渗水^[4]。

3.2 多组防水组合方案设计

基于防水材料量化试验结果,针对四大渗漏薄弱节点,选取高性能材料搭配组合,设计三套差异化防水施工

方案,从防水效果、施工工期、工程造价、工艺难度、耐久性五个维度进行综合评价,筛选最优方案。

方案一:常规组合方案。墙身外侧采用聚氨酯防水涂料,沉降缝、盖板缝隙采用普通橡胶止水带密封,拉杆孔采用常规砂浆封堵+防水涂料涂刷。该方案材料成本低、施工简单,但耐候性差,海岛环境下使用寿命短,易出现二次渗漏。

方案二:中性能组合方案。墙身外侧采用热塑性聚烯烃防水卷材全覆盖施工,沉降缝与盖板缝隙采用非硫化高分子密封胶带封堵,拉杆孔采用三段式止水拉杆+局部聚氨酯涂料涂刷。该方案防水性能较好,耐久性有所提升,但缝隙密封精细化不足,长期盐雾侵蚀仍存在渗漏风险。

方案三:优化组合方案。墙身主体采用“热塑性聚烯烃防水卷材+喷涂速凝橡胶沥青涂料双层防水”体系,提升大面积墙体抗老化、抗盐雾能力;沉降缝、盖板拼接缝隙采用非硫化高分子密封胶带嵌缝密封,外侧增设局部卷材加固;墙身拉杆孔采用三段式止水拉杆预埋封堵,孔洞周边精细化涂刷喷涂速凝橡胶沥青涂料,杜绝细微孔隙渗漏。

3.3 方案效果检测与最优方案确定

对三组方案施工完成的试验段涵洞开展闭水试验与加速老化试验,闭水试验持续 48h,观察结构无渗水、湿渍为合格;加速老化试验模拟海岛 3 年自然环境侵蚀工况,检测防水层破损、渗漏情况。同时结合工期、成本、工艺难度、后期运维成本构建综合评价模型,量化评分结果显示:方案三综合评分 94.2 分,远高于方案一(76.5 分)、方案二(85.3 分),为适配高温多雨海岛环境的最优防水施工方案^[9]。

该优化方案通过双层主防水体系+节点精细化密封的组合模式,彻底解决了海岛环境下涵洞防水耐久性不足、节点渗漏的核心问题,且施工工艺成熟、工期可控,全生命周期成本最低,具备极高的工程推广价值。

4 施工全过程质量管控体系构建

4.1 施工质量痛点梳理

结合海岛涵洞防水施工特点,梳理出三大核心质量痛点:一是原材料质量管控不严,部分防水材料耐候性不达标,进场未开展专项检测直接使用;二是关键工序施工精细化不足,缝隙封堵、卷材搭接、涂料涂刷厚度不均匀,存在隐蔽质量隐患;三是验收管控单一,仅关注施工完成

后表观质量,缺乏防水性能专项检测,无法提前预判后期渗漏风险。

4.2 全流程质量溯源管控体系

针对上述质量痛点,构建“原材料进场管控+施工工序管控+成品验收检测+后期运维监测”的全生命周期质量溯源体系。原材料环节,建立专项进场检测制度,所有防水材料必须开展耐温、耐盐雾、防水性能抽样检测,不合格材料严禁进场,留存检测台账实现溯源;施工过程中,明确防水施工关键工序操作标准,规范卷材搭接宽度、涂料涂刷厚度、缝隙封堵工艺,安排专职技术人员全程旁站监督,每道工序验收合格后方可进入下一工序;成品验收阶段,将闭水试验、老化性能抽检作为强制验收指标,杜绝表观合格但性能不达标的工程交付;运维阶段,建立涵洞防水病害定期监测机制,及时处理微小隐患,延长防水体系使用寿命。

5 结语

本次研究虽形成了成熟的施工技术体系,但仍有进一步优化空间。后续可结合长期现场监测数据,持续追踪防水层长期老化衰减规律,进一步优化材料配比与施工工艺;同时可依托更多海岛、沿海工程开展技术推广验证,完善技术标准与施工规范,形成成套的海岛涵洞防水施工技术指南。此外,可结合智能化监测技术,搭建涵洞防水病害实时监测系统,实现防水工程施工、运维全周期智能化管控,进一步推动海岛交通建设工程防水技术的智能化、标准化升级。

参考文献:

- [1] 公路涵洞施工技术规范(JTG/T 3650-2020)[S]. 北京:人民交通出版社,2020.
- [2] 王健,李军.沿海高温高湿地区公路涵洞防水防腐施工技术研究[J].公路交通科技,2022,39(08):89-94.
- [3] 张磊.海洋盐雾环境下土木工程防水材料耐候性试验研究[J].施工技术,2023,52(12):78-82.
- [4] 交通运输部.公路工程质量检验评定标准(JTG F80/1-2017)[S].北京:人民交通出版社,2017.
- [5] 陈浩.公路涵洞渗漏病害成因及精细化防水施工工艺优化[J].工程技术研究,2022,7(15):112-114.

作者简介:王锋(1992.09-),男,汉族,陕西省礼泉县,本科,工程师,从事的研究方向:公路工程施工。