

沿海码头工程结构实体和原材料抗渗防腐质量监督管理

孙启健

日照市交通工程建设质量服务中心 山东 日照 276800

摘 要: 本文聚焦沿海码头工程海洋环境下的渗损失效与腐蚀机理, 围绕原材料、施工实体、运营运维全阶段, 梳理抗渗防腐质量监督管理要点。针对当前监管体系不完善、检测抽检不规范、隐患整改闭环不到位等突出问题, 结合行业规范与工程实际, 提出制度细化、全流程闭环监管、新技术赋能等优化对策, 为提升沿海码头工程耐久性、完善质量监督管理体系提供实操参考。

关键词: 沿海码头; 工程结构实体; 原材料抗渗防腐; 质量监督管理

引言: 沿海码头长期处于高盐、高湿、干湿交替的复杂海洋环境, 氯离子渗透、盐雾侵蚀、海水冲刷等多重因素, 极易引发混凝土开裂、钢筋锈蚀、结构渗漏等病害, 严重影响工程结构安全与服役寿命。抗渗防腐是码头工程质量管控的核心环节, 贯穿原材料进场、施工建设到后期运维全周期。为规范工程质量管理、破解耐久性管控难题, 本文系统分析失效机理与管控要点, 探究科学有效的质量监管优化路径。

1 沿海码头工程抗渗防腐失效机理与质量管控标准

1.1 海洋环境下工程腐蚀与渗损失效机理

(1) 氯离子渗透引发的钢筋锈蚀、混凝土胀裂破坏机理。氯离子经孔隙抵达钢筋表面, 达临界浓度后破坏钝化膜, 诱发点蚀。腐蚀产物(铁锈)体积膨胀产生内向张应力, 超混凝土抗拉强度时引发顺筋开裂与保护层剥落, 加速侵蚀介质侵入, 形成恶性循环。(2) 干湿交替、盐雾侵蚀导致的结构表层剥落、渗漏水病害机理。干湿循环使表层混凝土承受盐结晶压与湿胀干缩交替疲劳损伤; 盐雾中氯离子随湿气渗入, 干期浓缩结晶, 结晶膨胀压加剧微裂纹扩展, 逐步贯通渗漏通道并引发面层剥落。(3) 硫酸盐、海水冲刷耦合作用下的结构耐久性衰减规律。硫酸根离子与水化产物反应生成钙矾石、石膏等膨胀物, 致内部膨胀开裂; 海水冲刷同步磨蚀表层, 移除疏松产物并暴露新生面, 加速离子扩散与反应进程, 使强度与抗渗性能呈加速衰减趋势。

1.2 抗渗防腐质量管控核心规范与指标体系

(1) 核心规范标准。以《水运工程混凝土结构设计规范》《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范》《混凝土结构耐久性设计标准》及《水运工程质量检验标准》

为依据, 覆盖环境作用等级划分、材料限值、构造要求及验收评定, 形成全过程管控体系。(2) 原材料核心控制指标。混凝土抗渗等级按 P8~P12 控制, 水胶比 ≤ 0.40 , 氯离子扩散系数(RCM法)限值对应设计寿命。钢筋防腐采用环氧涂层或耐蚀钢筋, 控制涂层针孔、厚度及附着力。防腐涂层需满足耐盐雾、耐紫外老化及附着力等耐久参数^[1]。(3) 实体验收评定关键参数。以实体取芯抗渗等级、保护层厚度、氯离子侵入深度、钢筋电位及涂层完整性为主要评定指标, 辅以裂缝宽度与渗水高度检测, 综合判定实体质量是否满足设计使用年限要求。

1.3 抗渗防腐质量影响关键因素分析

(1) 原材料性能缺陷对整体抗渗防腐质量的基础性影响。水泥品种与矿物掺合料选择不当降低抗硫酸盐能力, 骨料含泥量或级配不良增大孔隙率, 减水剂相容性差影响工作性与密实度, 涂层材料耐候性不足早期失效, 均从源头削弱抗渗防腐基础。(2) 施工工艺不规范引发的结构抗渗防腐薄弱环节。振捣不密实导致蜂窝麻面, 保护层垫块设置不当致钢筋偏移, 养护温湿度或时间不足引发收缩裂纹, 涂层施工环境不符或厚度不均降低防护连续性, 施工缝处理粗糙形成渗透捷径。(3) 后期运维监管缺失导致的耐久性加速退化问题。缺乏定期检测与裂缝修补, 涂层老化破损未及时修复, 排水系统堵塞加剧积水浸蚀, 靠泊碰撞损伤未处理形成局部薄弱区, 致使结构过早出现耐久性劣化。

2 沿海码头工程原材料抗渗防腐质量监督管理要点

2.1 核心原材料进场质量监督管理

(1) 混凝土原材料监督管理。严控水泥品种及抗硫

酸盐等级,检验骨料碱活性、含泥量、坚固性及级配,验证外加剂减水率、收缩率及与水泥相容性,检测掺合料细度、烧失量、氯离子含量及活性指数。核验质保资料与型式检验报告,按批次见证取样送检,关键指标平行抽检,全部合格方准予进场。(2)钢材原材料监督管理。环氧涂层钢筋逐批检测涂层厚度、连续性、针孔数,耐蚀钢筋复验屈服强度与耐蚀指标,型钢核查镀锌层附着力与均匀性。所有防腐钢材须持有第三方型式检验证书,进场后由监理见证取样复验,合格后方可用于工程。(3)防腐辅助材料监督管理。涂层检测不挥发物含量、附着力及耐盐雾老化性能,密封材料检验粘结强度与耐海水稳定性,防渗卷材抽检抗渗压力及接缝剥离强度。核查有效期及储运记录,见证取样送有资质机构检测,不合格批次立即封存退场^[2]。

2.2 原材料存储与加工过程质量监管

(1)沿海高腐蚀环境下原材料分类存储防护监管要求。水泥及掺合料进密封筒仓并配除湿装置,骨料分区堆放于硬化场地、设防雨棚及排水系统,防腐钢筋垫高覆盖保持通风,涂层材料恒温恒湿存放。定期检查存储环境及台账,发现异常即时整改。(2)钢筋加工、混凝土拌合过程中抗渗防腐性能保障监管要点。钢筋加工监督除锈质量、涂层保护及弯折工艺,严防损伤防腐层。混凝土拌合严控水胶比和外加剂掺量,强制搅拌时间达标,检测坍落度及含气量,严禁现场随意加水,确保均匀密实。(3)原材料失效、变质问题的排查与处置监管流程。实施日常巡检,遇水泥结块、骨料含泥超标、钢筋锈蚀、涂层脱粘等问题,立即隔离标识,组织三方鉴定。确认为失效者签发退场通知,追溯同批次流向并全程记录处置过程,严防不合格材料用于施工。

2.3 原材料质量检测监督与问题溯源

(1)原材料抗渗防腐性能常规检测、见证取样监督流程。制定详细检测计划,明确取样频率与检测项目。每批进场材料由监理见证取样、封样送检,核心参数实行平行抽检,检测数据上传监管平台,实现全过程留痕追溯。(2)不合格原材料的判定标准、退场监管机制。严格依据规范判定,凡抗渗等级、氯离子扩散系数、涂层厚度、粘结强度等关键指标不达标者,一律判定不合格。监理签发退场指令,限时清运,留存影像与交接记录,严禁降级使用。(3)原材料质量问题溯源与责任监督管理办法。对不合格材料追溯采购、运输、验收、储存各环节,查明原因并划分责任主体,依规实施处罚。建立质量问题档案,定期分析通报,督促落实整改,形成闭环管理,从源头消除质量隐患。

3 沿海码头工程结构实体抗渗防腐质量监督管理

3.1 施工阶段结构实体抗渗防腐质量过程监管

(1)混凝土浇筑、养护环节抗渗性能成型质量监督管理。监督浇筑前模板湿润与保护层定位,逐车检测坍落度及含气量,严禁现场加水;管控分层厚度($\leq 500\text{mm}$)与振捣间距,防止漏振过振;浇筑后及时覆盖保湿养护不少于14天,大体积混凝土监控内外温差不大于 25°C ,确保实体抗渗等级达标。(2)钢结构防腐涂装、节点防渗处理施工质量监督要点。核查涂装前喷砂除锈等级($\text{Sa}2.5$ 级)及表面粗糙度,监督环境温度 $5\sim 38^{\circ}\text{C}$ 、湿度 $\leq 85\%$ 条件下施工,逐道检测湿膜与干膜厚度,确保总厚度满足设计;对焊缝、螺栓及构件搭接节点,重点检查密封胶连续嵌填及止水垫片压紧度,杜绝渗漏通道^[3]。(3)码头桩基、面层、护舷等关键部位实体抗渗防腐施工监管。桩基部位监督钢筋保护层厚度及水下混凝土灌注密实度;面层控制标高及坡度,监督分缝止水带埋设位置准确;护舷预埋件检查镀层完好性及周边密封处理,实行全过程旁站与重点部位平行检查相结合,确保关键节点质量受控。

3.2 实体工程抗渗防腐质量检测与验收监管

(1)结构实体抗渗性能现场检测、无损检测监督流程。制定专项检测方案,采用钻芯取样进行抗渗试验,辅以超声回弹综合法、脉冲回波等无损手段普查内部空洞及裂缝,检测点覆盖水位变动区及典型构件,过程由监理见证,结果实时上传监管平台。(2)实体防腐层厚度、附着力、耐久性检测验收监管标准。涂层厚度按90-10规则判定(90%测点 $\geq$ 设计值,其余 $\geq$ 设计值90%),附着力以拉开法检测 $\geq 5\text{MPa}$ 为合格;环氧钢筋涂层逐件检查针孔及厚度偏差。全部指标对照设计及规范严格判定,不合格处加倍扩检,合格后方可验收。(3)隐蔽工程抗渗防腐质量专项验收监督管理流程。对钢筋防腐层、止水带、预埋件、涂层基层及界面处理等隐蔽项目,实行施工班组自检、质检员复检、监理工程师终检并签字确认的三级检验制,验收合格并留存高清影像及隐蔽记录后方可覆盖,坚决杜绝未经验收擅自隐蔽。

3.3 运营阶段结构实体抗渗防腐运维监管

(1)码头服役期抗渗防腐病害常态化排查监督机制。督促运营单位建立年度常态化排查制度,重点巡查水位变动区、接缝及预埋件周边,记录裂缝宽度、混凝土剥落、钢筋锈胀及涂层粉化等病害,建立动态台账,发现严重劣化立即启动专项检测评估。(2)结构

渗漏、腐蚀病害维修加固质量监管要点。针对渗漏点查明来源及通道,选用高渗透环氧或聚氨酯注浆材料封堵;对锈蚀区剔除疏松混凝土至坚实基层,涂刷阻锈剂后采用高性能修补砂浆恢复截面,新老界面须粘结良好。维修过程全程监督,完工后组织专项检测验证修复效果^[4]。(3)长期服役环境下结构耐久性动态监测与监管优化。推动运营单位布设氯离子浓度梯度、钢筋自然电位、保护层厚度及裂缝宽度等长期监测点,按年度采集数据评估劣化速率。监管机构依据监测分析成果动态调整监管等级与检查频次,督促预防性维护措施落实,实现全寿命周期耐久性闭环管控。

4 沿海码头工程质量管理现存问题与优化对策

4.1 当前抗渗防腐质量监督管理现存主要问题

(1)监管体系不完善,针对性管控细则缺失。现行规范对沿海码头抗渗防腐缺乏专项监管细则,监督内容笼统,缺少针对不同环境作用等级的差异化管控要求,导致基层监督执行标准不统一、判定尺度模糊。(2)原材料与实体检测监管流程不规范,抽检覆盖率不足。见证取样程序执行不严,部分项目存在检测滞后、漏检少检现象;实体结构现场检测频次偏低,水位变动区等关键部位抽检覆盖率不足,检测数据真实性追溯困难。(3)施工过程监管力度薄弱,隐患整改闭环不到位。过程监管偏重资料核查,对振捣、养护、涂装等关键工艺现场旁站缺失;发现问题多以口头通知替代书面整改,复查销号不及时,同类隐患反复出现,未形成有效闭合。

4.2 抗渗防腐质量管理体系优化措施

(1)完善专项监管制度,细化沿海码头抗渗防腐管控标准。制定沿海码头抗渗防腐质量监督专项细则,明确各环境作用等级下原材料控制限值、施工关键参数及验收判定标准,统一基层监督执法尺度,填补专项监管空白。(2)构建原材料-施工-验收-运维全流程闭环监管模式。建立从原材料进场、加工拌合、实体施工、检测验收到运营维护的全链条监管台账,各环节数据互通互证,实现质量责任可追溯、管控环节无缝隙衔接。(3)强化监管人员专业能力,规范检测监管作业流程。定期开展抗渗防腐专题培训与能力考核,编制现场监督检测作业指导书,统一取样、检测、判定操作流程,提升监

管队伍专业化水平,确保监督行为规范有效^[5]。

4.3 新技术赋能质量监督管理的应用策略

(1)无损检测、智能监测技术在实体质量监管中的应用。推广应用超声层析成像、冲击回波等无损检测技术普查内部缺陷,布设分布式光纤、无线应变传感器实时监测结构应变与裂缝发展,实现从抽检定性向连续定量监测转变。(2)信息化监管平台实现质量数据溯源与动态管控。构建质量监督信息化平台,集成原材料检验、实体检测、隐蔽验收等数据,实现检测报告云端存证、不合格结果自动预警,支持多维度统计分析,为差异化监管提供决策依据。(3)新型抗渗防腐材料施工质量精准监管要点。针对高性能抗渗混凝土、水性渗透结晶涂料等新型材料,重点监管配合比验证、施工温湿度条件、养护周期及涂层界面处理等关键要素,确保新材料性能得以充分发挥。

结束语

沿海码头工程抗渗防腐质量管控是保障结构长期稳定服役的关键,其质量优劣关乎工程安全、使用年限与运维成本。本文全面梳理了工程失效机理、全流程监管要点,剖析现存监管短板并提出针对性优化策略。通过完善专项监管制度、落实全链条闭环管控、引入智能监测新技术,可有效提升抗渗防腐管控水平,助力实现码头工程全寿命周期质量安全可控,推动港口工程质量标准化、精细化发展。

参考文献

- [1] 王胜年,黄君涛.沿海码头混凝土结构原材料防腐性能管控与耐久性提升技术[J].水运工程,2023,21(08):186-192.
- [2] 张宝兰,李建峰.滨海码头工程混凝土抗渗防腐质量缺陷及监督整改机制[J].水道港口,2024,45(03):395-401.
- [3] 蒋金洋,孙晓燕,许文祥.海洋环境下海工混凝土损伤演化与抗渗防腐性能调控方法[J].东南大学学报,2025,55(04):942-954.
- [4] 郭丹,沈才华,吕世明.氯离子侵蚀下海工纤维混凝土抗渗防腐性能试验研究[J].水运工程,2022,8(02):30-36.
- [5] 林楚荣.沿海码头工程原材料抗腐性能检测与质量监督管理策略[J].工程质量,2025,33(07):88-92.