

沿海港口码头结构耐久性病害成因及加固措施研究

卢孔城

浙江港湾工程项目管理有限公司 浙江 温州 325000

摘要: 沿海港口码头长期处于高盐、高湿海洋环境,易产生混凝土开裂、钢筋锈蚀、基础冲刷等耐久性病害,严重威胁运营安全与服役寿命。本文结合码头结构类型及服役环境,系统分析病害成因,涵盖环境侵蚀、材料质量、设计施工及运营维护四大类。基于此,针对性提出混凝土、钢筋钢结构及基础附属结构的加固技术,遵循安全、适配、经济原则,为码头结构耐久性提升提供技术支撑,助力港口工程长效稳定运营。

关键词: 沿海港口码头; 结构耐久性; 病害成因; 加固措施

引言: 沿海港口是对外贸易与物流运输的核心枢纽,码头结构耐久性直接关系货物吞吐效率、人员安全及区域经济发展。我国每年因码头结构耐久性不足造成巨额损失,氯离子侵蚀、干湿循环等海洋环境因素加剧病害发展。当前部分码头存在设计考虑不足、维护不到位等问题,病害频发缩短服役年限,开展本研究对保障港口工程安全、推动水运事业高质量发展具有重要现实意义。

1 沿海港口码头结构概述及耐久性相关理论

1.1 沿海港口码头结构类型及特点

(1) 重力式码头结构特点及适用场景: 依靠自身重力维持稳定,结构坚固、抗浪性强,施工工艺成熟,适用于岩基或密实土基、水深较大且波浪作用强的沿海港口,多用于装卸重型货物。(2) 高桩码头结构特点及适用场景: 以桩体支撑上部结构,自重轻、对地基要求低,结构柔性好,适用于软土地基、水深较深的区域,适配中小型船舶停靠及多用途码头。(3) 板桩码头结构特点及适用场景: 由板桩、锚碇等组成,结构紧凑、占地少,施工便捷,适用于地基承载力一般、水深适中的中小型港口,多用于防波堤或简易码头。

1.2 结构耐久性的核心内涵及评价指标

(1) 结构耐久性的定义及核心要求: 指码头结构在服役环境中,长期保持设计功能、抵御环境侵蚀的能力,核心要求是保证结构安全、稳定且延长使用寿命。(2) 耐久性评价的关键指标: 包括强度(结构抵抗破坏的能力)、抗渗性(阻止海水渗透的性能)、抗腐蚀性(抵御海洋环境侵蚀的能力),以及抗冻性、抗冲刷性等辅助指标。(3) 沿海港口码头耐久性的特殊评价标准: 结合海洋环境特殊性,重点考核结构抗氯盐腐蚀、抗干湿循环老化的能力,同时兼顾波浪冲刷、海生物附着对结构耐久性的影响^[1]。

1.3 沿海港口码头结构的服役环境特征

(1) 海洋大气区的环境侵蚀特点: 受含盐水汽影响,

盐分易附着结构表面,长期风化导致混凝土碳化、钢筋锈蚀,侵蚀范围广且持续时间长。(2) 海水浸泡区的腐蚀环境特征: 长期处于海水浸泡中,氯盐易渗透结构内部,加速钢筋锈蚀,同时海水的化学作用会破坏混凝土强度,侵蚀作用更为直接。(3) 潮汐区的干湿循环作用特点: 交替处于浸泡与暴露状态,结构反复经历干湿、温湿度变化,易产生裂缝,加速海水渗透和腐蚀,是耐久性最薄弱的区域。

2 沿海港口码头结构耐久性常见病害及表现形式

2.1 混凝土结构耐久性病害

(1) 混凝土裂缝: 分为表面裂缝、贯穿裂缝和网状裂缝,表面裂缝多由温湿度变化引发,无明显危害;贯穿裂缝会破坏结构整体性,网状裂缝多因腐蚀或老化导致,易加速结构损坏。(2) 混凝土碳化、剥落及强度衰减: 海洋环境中,混凝土表面碳化后防护能力下降,长期侵蚀会导致表层剥落,内部强度逐步衰减,影响结构承载能力。(3) 混凝土碱骨料反应引发的损坏: 混凝土中碱与骨料发生化学反应,产生膨胀应力,导致结构出现裂缝、变形,严重时会造成混凝土酥松、破损。

2.2 钢筋及钢结构耐久性病害

(1) 钢筋锈蚀及截面面积减小: 海水氯离子渗透至内部,导致钢筋锈蚀,锈蚀产物体积膨胀,进一步加剧裂缝,同时钢筋截面缩小,承载能力降低。(2) 钢结构涂层失效及钢材锈蚀: 钢结构表面涂层受海洋大气、海水侵蚀脱落,钢材直接暴露,易发生锈蚀,导致结构厚度减薄、强度下降。(3) 钢筋与混凝土粘结力下降: 钢筋锈蚀、混凝土碳化会破坏二者界面结合,粘结力降低,影响结构协同受力,易引发局部破损^[2]。

2.3 基础及附属结构耐久性病害

(1) 桩基冲刷、腐蚀及承载力下降: 水流冲刷导致桩基外露、磨损,海水腐蚀加剧桩基损坏,进而降低桩

基承载力,影响码头整体稳定性。(2)护岸、挡浪墙结构损坏:受波浪冲击、海水侵蚀,护岸、挡浪墙出现裂缝、剥落、沉降,失去防护作用,威胁码头安全。(3)附属设施老化损坏:轨道、连接件等附属设施长期受海洋环境影响,出现锈蚀、磨损、松动,影响码头正常运营。

2.4 典型病害的危害及影响

(1)影响码头结构承载能力:病害导致结构强度、稳定性下降,无法满足设计荷载要求,易引发结构损坏甚至坍塌。(2)影响码头运营安全及使用寿命:病害持续发展会增加安全隐患,缩短码头服役年限,增加维修成本。(3)影响经济及社会效益:码头运营受限或停运,影响货物运输效率,增加经济损失,同时削弱港口的枢纽保障作用。

3 沿海港口码头结构耐久性病害成因分析

3.1 环境因素成因

(1)氯离子侵蚀:海洋环境下码头结构病害的主要环境诱因,海洋大气含盐水汽、海水飞溅及长期浸泡,使氯离子附着渗透至混凝土内部,破坏钢筋钝化膜引发锈蚀,加速混凝土开裂剥落,贯穿码头各服役区域。(2)温湿度变化及干湿循环:沿海温湿度波动大,潮汐区结构反复经历海水浸泡与大气暴露,使混凝土产生热胀冷缩应力,引发表面及网状裂缝,为氯离子和水分渗透提供通道,加剧耐久性病害。(3)海风磨蚀及极端天气:海风携带盐粒、沙粒磨蚀结构表面,破坏混凝土防护;台风等极端天气的强波浪、强水流冲击,加剧桩基冲刷、护岸破损,引发结构裂缝或构件损坏。

3.2 材料因素成因

(1)混凝土材料质量不达标:混凝土配合比设计未充分考虑海洋腐蚀环境,水灰比过大、胶凝材料用量不足,会导致混凝土密实度不够,孔隙率偏高,氯离子和水分易渗透,同时降低混凝土强度和抗渗、抗腐蚀性能,易出现碳化、剥落等病害。(2)钢筋及钢结构材料防腐性能不足:选用的钢筋未做充分防腐处理,或钢结构防腐涂层质量不佳,在海洋环境中易被侵蚀,导致钢筋锈蚀、钢结构锈蚀,进而引发结构承载能力下降、构件破损等问题。(3)加固及修补材料与原有结构兼容性差:后期加固、修补时,选用的材料与原有混凝土、钢结构的材质、收缩性能不匹配,易产生界面裂缝,无法形成有效防护体系,反而加剧原有结构的损坏^[1]。

3.3 设计与施工因素成因

(1)耐久性设计考虑不足:设计阶段未充分结合沿海海洋环境特点,缺乏针对性的防腐、抗冲刷防护措施;对码头运营荷载预估偏差,导致结构长期处于超负荷状

态,加速病害产生。(2)施工工艺不规范:混凝土浇筑过程中振捣不密实,养护不及时、不到位,导致混凝土强度不足、表面出现裂缝;桩基、钢结构等构件安装偏差过大,使结构受力不均,长期运行易引发局部破损。(3)施工质量管控不严:施工过程中未严格检验进场材料质量,不合格材料投入使用;工序验收流于形式,未及时发现并整改施工缺陷,为后期耐久性病害埋下隐患。

3.4 运营与维护因素成因

(1)日常运营荷载超出设计限值:码头运营过程中,频繁超载装卸货物、船舶停靠时冲击力过大,超出结构设计荷载限值,长期反复作用导致结构疲劳,加速裂缝、构件损坏等病害发展。(2)定期检测与维护不到位,病害未及时处理:未建立完善的定期检测机制,对早期轻微病害(如表面裂缝、轻微锈蚀)发现不及时;发现病害后未及时采取有效处理措施,导致病害持续发展、扩大,影响结构耐久性。(3)维护方法不当,加剧结构损坏:维护过程中采用的修补、加固方法不合理,如修补材料选用不当、施工工艺不规范,或过度维修对原有结构造成二次损伤,进一步加剧结构耐久性下降。

4 沿海港口码头结构耐久性加固措施及应用

4.1 加固原则及前期准备工作

(1)加固设计的核心原则:加固设计需以保障码头结构安全为首要前提,确保加固后结构承载能力、耐久性满足使用要求,杜绝安全隐患;采用成熟先进、适配海洋环境的加固技术,提高加固效果和使用寿命;兼顾经济性,在保证加固质量的基础上,合理控制加固成本,避免过度投入,实现技术与经济的平衡。(2)结构检测与评估:前期需对码头结构进行全面现状检测,精准排查混凝土裂缝、钢筋锈蚀、桩基损坏等各类病害,明确病害位置、范围和严重程度;对病害进行分级划分,区分轻微、中度、重度病害,为针对性加固提供依据;通过专业验算,评估结构当前承载力,判断是否满足设计及运营要求,确定加固重点和加固方案。(3)加固材料的选择标准及要求:选用的加固材料需适配沿海海洋环境,具备优良的抗氯盐腐蚀、抗干湿循环、抗老化性能;材料质量需符合国家相关标准,与原有结构兼容性好,避免因材料不匹配引发二次损坏;同时兼顾施工便捷性,便于现场操作,确保加固施工高效推进。

4.2 混凝土结构针对性加固措施

(1)裂缝修补技术:针对不同类型裂缝采用对应技术,对贯穿裂缝、深层裂缝采用压力灌浆技术,将专用灌浆材料注入裂缝内部,填充缝隙、粘结结构,恢复结构整体性;对表面裂缝、网状裂缝采用表面封闭法,涂

抹封闭材料,阻止水分、氯离子渗透,防止裂缝进一步扩大。(2)混凝土表面防护加固:采用硅烷浸渍技术,在混凝土表面形成致密防护层,有效阻隔氯离子、水分侵入,延缓混凝土碳化和钢筋锈蚀;或涂刷专用防腐涂层,增强混凝土表面抗腐蚀能力,适用于海洋大气区、潮汐区等腐蚀严重区域,延长混凝土结构使用寿命。(3)混凝土结构增强加固:对强度衰减、承载能力不足的混凝土构件,采用外包钢板加固,通过粘结剂将钢板与混凝土结合,提升构件强度和刚度;对破损严重的构件,采用增大截面法,增加混凝土截面尺寸并配置附加钢筋,增强结构承载能力,适配重载运营需求^[4]。

4.3 钢筋及钢结构针对性加固措施

(1)钢筋锈蚀治理及防护:对锈蚀钢筋进行彻底除锈处理,清除锈蚀层后涂抹阻锈剂,形成防护层,阻止钢筋再次锈蚀;对腐蚀严重区域,采用阴极保护技术,通过电化学作用抑制钢筋锈蚀,适用于海水浸泡区、潮汐区等腐蚀剧烈部位,从根本上提升钢筋防腐能力。(2)钢结构防腐加固:对涂层失效、钢材锈蚀的钢结构,彻底清除锈蚀层和旧涂层,重新涂刷防腐涂层进行翻新,恢复防腐性能;对重要钢结构构件,采用热镀锌处理,在钢材表面形成镀锌层,增强抗腐蚀能力,适应海洋环境长期侵蚀。(3)钢筋与混凝土粘结力恢复措施:对粘结力下降的部位,清除混凝土表层破损部分,采用专用界面剂处理,重新浇筑混凝土或植入附加钢筋,增强钢筋与混凝土的界面结合力,确保二者协同受力,避免因粘结失效引发结构破损。

4.4 基础及附属结构加固措施

(1)桩基加固技术:对冲刷、腐蚀导致承载力下降的桩基,采用压浆加固技术,向桩基周围及内部注入浆液,填充空隙、加固地基,提升桩基承载力;对破损严

重的桩基,采用外包混凝土加固,增加桩基截面,增强抗腐蚀、抗冲刷能力,保障码头基础稳定。(2)护岸及挡浪墙加固:对出现裂缝、剥落、沉降的护岸、挡浪墙,增设抗浪护面材料,增强抗波浪冲击能力;采用注浆加固技术,填充内部空隙,加固结构整体性,防止病害进一步发展,恢复其防护功能^[5]。(3)附属设施老化修复及加固:对锈蚀、磨损、松动的轨道、连接件等附属设施,进行除锈、翻新或更换处理,采用防腐材料进行防护;对老化严重的附属构件,进行针对性加固,确保其与主体结构协同工作,保障码头正常运营。

结束语

本文围绕沿海港口码头结构耐久性病害展开研究,明确了不同类型码头的病害表现,剖析了环境、材料、设计施工及运营维护层面的核心成因,提出了针对性强、适配海洋环境的加固措施。研究表明,科学的检测评估、合理的加固方案及规范的运营维护,是提升码头耐久性的关键。后续可结合实际工程案例优化加固技术,完善耐久性设计标准,为沿海港口码头结构长效安全运营提供更全面的理论与实践支撑。

参考文献

- [1]操隆兴.港口码头混凝土结构施工质量问题与控制要点分析[J].四川水泥,2025,(11):154-156.
- [2]温美能.港口码头中桩基—重力式复合结构的应用[J].珠江水运,2025,(12):132-134.
- [3]林轩达.港口高桩码头结构性能退化研究[J].珠江水运,2024,(23):72-74.
- [4]尹超裕.港口码头工程结构设计的策略研究[J].水上安全,2024,(14):175-177.
- [5]赵洪琦.沙特港口项目高桩码头结构设计的标准应用[J].中国水运,2021,21(18):95-96.