



罗泾集装箱码头改造修复加固设计关键技术

朱安邦¹, 郑科²

(1. 中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007; 2. 上海国际港务(集团)股份有限公司, 上海 200080)

摘要: 为提高运输效率、降低物流运输成本、增加运输安全性和货物质量保障等优势, 并合理使用有限的岸线资源, 近年来港口将原本以散装形式运输的大宗货物转变为以集装箱运输越来越普遍。为确保改造后码头结构安全和使用正常, 已建设码头通常需要先评估定级破损情况, 对原有结构构件修复加固才能进一步改扩建成集装箱码头。码头设计过程中需选取和比较工程常用的加固改造方案, 提出一套清晰、安全、实用的码头加固改造技术路径, 对老旧码头损伤类型与修复加固方案进行系统性匹配, 形成可推广的技术要求; 为施工提供清晰完备、安全适用和可实施性强的技术要求。上海港罗泾港区集装箱码头改造一期工程针对原有码头结构裂缝封闭、破损修复、结构构件加固、桩基修补等不同的破损情况, 制定了对应的修复方案; 为其他地区的高桩梁板码头修复改造提供技术参考和可复用的工程经验。

关键词: 港口; 码头; 高桩码头; 局部加固; 加固改造

中图分类号: U656.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2025)S1-0094-06

Key technologies for repair and reinforcement design of container terminal reconstruction in Luojing

ZHU Anbang¹, ZHENG Ke²

(1. CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China;

2. Shanghai International Port(Group) Co., Ltd., Shanghai 200080, China)

Abstract: To improve transportation efficiency, reduce logistics transportation costs, increase transportation safety and ensure cargo quality, and make rational use of limited shoreline resources, it has become more and more common for ports to convert bulk cargoes originally transported in bulk to container transportation in recent years. To ensure the safety and normal operation of the wharf structure after reconstruction, the existing wharf usually needs to first assess and grade the damage conditions, then repair and strengthen the original structural components before further reconstruction and expansion into a container terminal. In the process of wharf design, it is necessary to select and compare the reinforcement and reconstruction schemes commonly used in engineering, put forward a set of clear, safe and practical technical path for wharf reinforcement and reconstruction, systematically match the damage types of complex old wharf with the repair and reinforcement scheme, form the technical requirements that can be promoted and provide clear, complete, safe, applicable and highly implementable technical requirements for construction. According to the different damage conditions of the original wharf structure, such as crack closure, damage repair, structural component reinforcement, pile foundation repair and so on, phase I container terminal renovation project in Luojing port area of Shanghai Port has formulated the corresponding repair scheme. It provides technical reference cases and reusable engineering experience for the repair and reconstruction of high-pile beam and slab wharfs in other regions.

Keywords: port; dock; high-pile wharf; local reinforcement; reinforcement and reconstruction

收稿日期: 2025-05-15

作者简介: 朱安邦(1996—), 男, 工程师, 从事港口航道水工设计工作。

近年来, 港口行业从规模扩张向质量效益转型已成趋势。相较于传统散货运输, 集装箱化具有运输效率高、标准化程度高、物流运输成本低、运输安全性高等优势^[1]。为合理利用有限的岸线资源, 需要将部分面临产能过剩的散货码头改造成集装箱码头。散货码头长期承载煤炭、矿石等大宗散货的堆存与装卸作业, 原有码头结构存在面板裂缝、桩基腐蚀等问题, 散货粉尘长期堆积还会加速钢结构锈蚀。改造为集装箱码头, 承受的堆货荷载比散货更密集, 码头结构需提高承载能力。中型船舶集装箱船的吃水比散货船更深, 挖深港池也会进一步增加结构整体受力^[2]。对有损坏的和不能满足要求的水工结构构件, 需修补和改造。本文案例工程修复设计前调查了当地码头修复经验, 结合以往高桩码头改造经验, 制定了修复方案。同时, 整理该工程码头改造修复方案, 旨在为类似港口工程设施更新升级建设提供参考。

1 工程概况

1.1 原码头情况

原上海港罗泾作业区由罗泾一期煤炭码头及堆场、罗泾二期钢杂码头及堆场、矿石码头及堆场、扩建煤炭码头及堆场组成。该工程修复包括罗泾港区煤炭直取码头、直装码头、煤炭二期卸船码头、煤炭装船一期码头、煤炭装船二期码头以及引桥引堤等结构^[3]。

1.2 检测评估情况

以煤炭二期卸船码头为例, 煤炭二期卸船码头总长 270.1 m, 总宽 26.0 m, 采用高桩梁板和墩台两种结构形式。与一期卸船码头交接处为现浇墩台, 墩台长度为 11.1 m、宽度为 26.0 m; 其他位置上部结构由桩帽、横梁、轨道梁、纵梁和

预制面板组成。共有 280 块面板, 其中 3 块(1.0%)面板劣化等级评为 B, 其余面板劣化等级均评为 A; 117 根横梁劣化等级均评为 A。1 座(50%)墩台劣化等级评为 B, 1 根(0.7%)纵梁、1 根(1.4%)轨道梁、2 个(1.3%)桩帽、1 根(0.2%)方桩劣化等级评为 B, 其余结构劣化等级评为 A^[4]。码头现状裂缝见图 1。



图 1 码头现状裂缝

Fig. 1 Current situation of cracks in the dock

根据检测评估的结论及相关规范要求, 需对 B 级的混凝土结构进行及时采取修补措施。

2 加固改造技术方案

2.1 裂缝修补

裂缝修补工艺流程需根据裂缝宽度实施分类处理: 对于宽度 <0.2 mm 的微裂缝无需特殊修补; 当裂缝宽度为 $0.2 \sim 0.3$ mm 时, 需依次进行裂缝封闭、胶粘剂结合玻璃纤维布 3 层加固及防护涂层施工; 若裂缝宽度 >0.3 mm 或存在贯穿裂缝, 则应采用埋嘴灌浆技术配合胶粘剂与玻璃纤维布 3 层加固系统, 最后施作防护涂层。裂缝封闭施工需沿裂缝走向开凿深度 ≥ 30 mm、宽度 ≥ 20 mm 的 U 形凹槽, 彻底清除槽内松散物、油污及浮灰后, 精准称量并拌制封缝材料, 分次压入槽体使其略高于槽面, 经抹平修整后形成完整密封面。修补示意图见图 2、3。

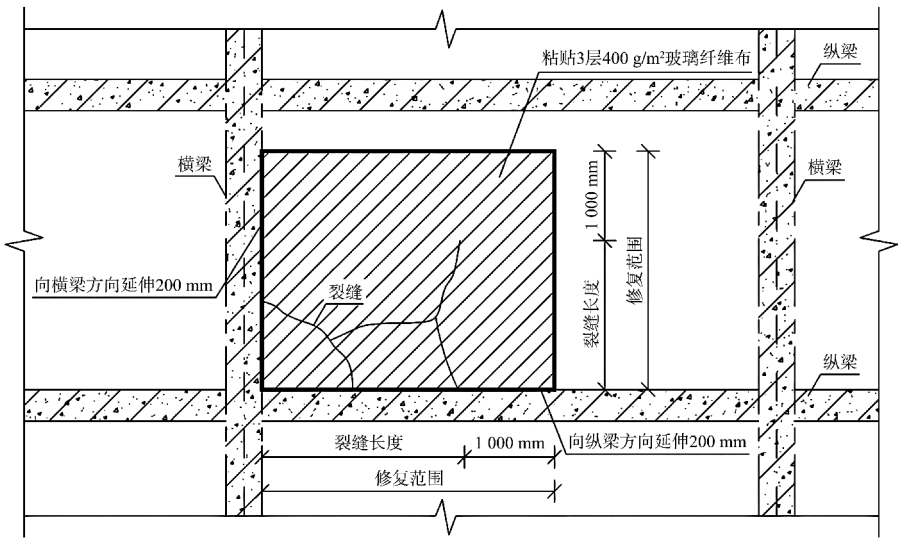


图 2 板裂缝修补示意图
Fig. 2 Diagram of repairing cracks in the board

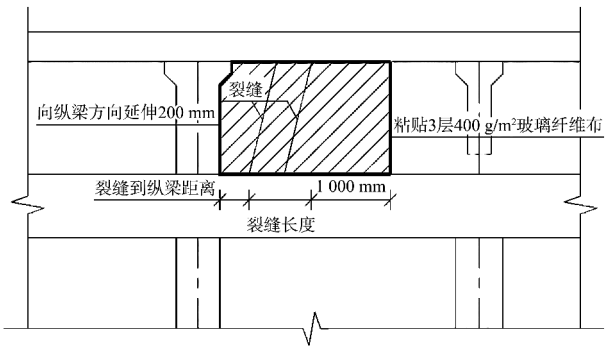


图 3 梁裂缝修补示意图
Fig. 3 Diagram of beam crack repair

2.2 混凝土破损修复

混凝土破损修复按程度分类处理，未露筋及小面积露筋采用环氧砂浆修复，大面积缺损需增设 6 mm 钢筋网片，间距 100 mm 后修复。聚合物水泥砂浆修补需凿除松散混凝土至坚硬层，20 MPa 高压水清洁表面，精确配置界面剂与砂浆分层刮抹并养护。

2.3 外粘型钢加固

对于需提高结构承载力的构件，在码头下方采用外粘型钢加固。外粘型钢加固前需卸载活荷载并修复结构表面，采用倒锥形胶粘锚栓全螺纹螺杆固定。施工时按图纸定位打磨，型钢表面除锈后卡紧焊接，注胶厚度 3~5 mm，灌浆压力

0.2~0.4 MPa，完成后按规范进行热镀锌防腐处理(锌层 $\geq 610\text{ g/m}^2$)。型钢选用 Q235 级钢材，锚栓采用 304 不锈钢，焊接材料匹配母材强度，胶粘剂符合改性环氧树脂标准。

2.4 桩基修复

桩基修复采用复合纤维套筒工艺：潜水员高压水清洗桩基后预制套筒，锁扣注入环氧封口胶，定位后每 150 mm 用不锈钢螺丝紧固，底部 25 mm 处压缩密封条封堵。采用高位漏斗重力灌浆，分 2 次灌注确保密实。施工全过程需参照 GB 50367—2013《混凝土结构加固设计规范》^[5]、JTS/T 311—2023《港口水工建筑物修补加固技术规范》^[6]等标准执行。桩基现状见图 4。



图 4 桩基破损情况
Fig. 4 Pile foundation damage situation

3 关键施工工艺

3.1 裂缝灌浆

裂缝灌浆前, 需清除混凝土裂缝表面松散物和缝内异物。灌浆喷嘴布置在裂缝末端、交叉节点、贯穿裂缝两侧等关键部位, 间距 300~1 000 mm。需用斜孔钻孔工艺预埋灌浆喷嘴, 沿缝交叉成孔深入裂缝, 形成有效交叉贯通。完成裂缝封堵处理后, 须通过气压测试验证灌浆通道的贯通性和封闭效果。灌浆材料需严格按试验确定的比例称量配制, 并根据材料特性和注浆进度现配现用。施工注浆作业时, 垂直裂缝遵循从下至上渐进注浆原则, 水平裂缝采用单向连续注浆方式, 灌浆压力为 0.2~0.8 MPa。注浆材料完全固化后, 应及时移除灌浆装置并对混凝土基面进行精细化打磨平整处理。注浆完成后, 依次粘贴 3 层玻璃纤维布。需交替粘贴, 垂直裂缝方向粘贴 2 层、平行裂缝方向粘贴 1 层。粘贴完成后外表面喷涂防护涂层。喷涂防护涂层指标见表 1。

表 1 表面涂层性能指标

Tab. 1 Performance indicators of surface coating

种类	位置	配套涂料名称	涂层干膜最小平均厚度/ μm	
			表湿区	表干区
1	底层	环氧树脂封闭漆	无厚度要求	无厚度要求
	中间层	环氧树脂漆	300	250
	面层	I 丙烯酸树脂漆或氯化橡胶漆	200	200
		II 聚氨酯磁漆	90	90
		III 乙烯树脂漆	200	200
	底层	丙烯酸树脂封闭漆	15	15
2	面层	丙烯酸树脂漆或氯化橡胶漆	500	450
	底层	环氧树脂封闭漆	无厚度要求	无厚度要求
3	面层	环氧树脂或聚氨酯煤焦油沥青漆	500	500

3.2 聚合物水泥砂浆修补

聚合物水泥砂浆修补前需先凿除破损部位已松动的混凝土, 一直凿除到未松动部位。用压力不小于 20 MPa 的高压淡水射流清除混凝土表面松散颗粒, 冲洗后基面达到饱和面干状态。按采购的胶接材料产品说明书要求的配比精确配制界面

剂, 调配混凝土界面粘结材料。聚合物水泥砂浆施工严格按配比完成称量调配, 在界面粘结材料初凝阶段完成施工作业。采用分层批刮工艺将砂浆均匀敷设于混凝土基面, 确保与界面粘结层有效结合, 直至修复结构缺损部位或达到设计保护层标准。施工过程中需控制批刮厚度, 最终通过精细收面处理形成平整表面。按照聚合物水泥砂浆的配比, 进行相应天数的养护。

3.3 外粘型钢加固

施工前应按设计图纸在混凝土粘钢位置测放打磨控制线, 待打磨工作完成后应补加粘钢位置线及锚栓钻孔点位线。对外粘型钢加固混凝土梁施工需首先对原混凝土梁体实施精细打磨, 消除表面不平整, 并将截面棱角加工成半径 14 mm 的圆弧倒角。基面处理达标后, 涂刷改性环氧树脂界面处理剂。锚栓成孔施工后需执行孔径、孔深专项检测。清洁度达标后, 安装时采用专用卡具实施多点位渐进式紧固, 确保型钢骨架与混凝土表面完全密贴。依据设计节点大样实施箍板与角钢的连续满焊作业, 焊接完成后使用改性环氧树脂胶粘剂对型钢接缝实施封闭处理, 同步设置排气孔道。注胶工序应严格在型钢焊接工序验收合格后开展, 注胶过程中需实时监控胶体流动状态及排气孔出胶情况。外粘型钢的胶缝厚度宜控制在 3~5 mm, 局部允许存在长度不大于 300 mm、厚度不大于 8 mm 的胶缝, 但不得出现在角钢端部 600 mm 范围内。灌浆嘴优先布设在低位区段, 布设间距宜控制在 2~3 m。

完成粘贴后须进行气密性检测, 确保系统密封性能达标。注浆阶段采用改性环氧树脂灌浆料, 灌浆时应以 0.2~0.4 MPa 的压力将改性环氧树脂浆从灌浆嘴压入, 当孔出现连续溢液停止升压, 并以环氧胶泥堵孔, 再以较低压力维持 10 min 以上。外粘型钢加固后, 采用热镀锌处理, 焊接后对焊缝周围以及其余热浸镀锌层破坏的区域热喷锌, 锌涂层质量要求达到 610 g/m²。具体要求见表 2, 修复断面见图 5。

表 2 粘贴钢及外粘型钢用胶粘剂性能和检验方法

Tab. 2 Performance and testing methods of adhesives for bonding steel and externally bonded steel sections

性能项目	性能要求	检验标准
抗拉强度	≥30 MPa	
受拉弹性模量	≥3.5×10 ³ MPa	
伸长率	≥1.3%	GB/T 2567—2021《树脂浇铸体性能试验方法》 ^[7]
抗弯强度	≥45 MPa,且不得呈脆性破坏	
抗压强度	≥65 MPa	
黏 结 能 力	钢-钢拉伸抗剪强度标准值	≥15 MPa GB/T 7124—2008《胶粘剂拉伸剪切强度的测定(刚性材料对刚性材料)》 ^[8]
	钢-钢不均匀扯离强度	≥16 kN·m ⁻¹ GJB 94—1986《胶粘剂—不均匀扯离强度试验方法(金属与金属)》 ^[9]
	钢-钢粘结抗拉强度	≥33 MPa GB/T 6329—1996《胶粘剂对接接头拉伸强度的测定》 ^[10]
	与干、湿表面混凝土的正拉黏结强度	≥2.5 MPa,且为混凝土内聚破坏 JTS/T 311—2023《港口水工建筑物修补加固技术规范》附录 A
	不挥发物固体含量	≥99% GB/T 2793—1995《胶粘剂不挥发物含量的测定》 ^[11]

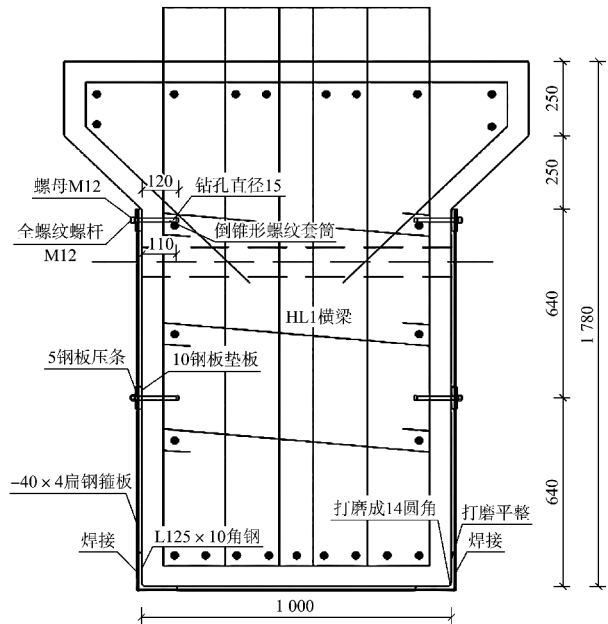


图 5 加固断面示意 (单位: mm)

Fig. 5 Schematic diagram of reinforced section (unit: mm)

3.4 纤维套筒桩基修复

安装套筒前采用高压射流清洗桩基表面进行深度清洁,确保基面达到清洁度标准。复合纤维套筒运到现场后核查套筒规格尺寸、锁扣完整性及材料质保文件,执行进场验收,验收合格后在套筒锁扣槽内预注水下环氧结构胶形成初始密封。采用双缆定位对桩基进行校准,准备水下环氧灌浆料、水下环氧封口胶和水下环氧封顶胶灌浆料。采用高位漏斗重力灌浆法灌注 150 mm 高后暂停,待灌浆料固化封底后再进行二次灌注^[12]。

4 结论

- 1) 罗泾改造一期工程的改造修复加固设计在施工中指导作用清晰、明确且可实施性强。
- 2) 埋嘴灌浆技术配合胶粘剂与玻璃纤维布可以处理不同程度的裂缝,使结构恢复到正常使用要求。
- 3) 聚合物水泥砂浆的修补可以通过人工刮涂完成,操作简单,效果远比普通砂浆牢固。
- 4) 桩基纤维套简单桩修复时间短,容易实施。
- 5) 外粘型钢加固修复可以适应码头梁板间狭窄场地,需要的施工空间较小。
- 6) 基于实际施工效果与建成后运行情况,可以判断该方案可靠地完成了码头的结构加固和改造任务。可为其他地区的码头修复改造提供参考,并为今后类似工程建设提供参考。

参考文献:

[1] 一种防吊监控方法、工程机械、计算设备: CN202311758902. 7[P]. 2024-04-12.
An anti-lifting monitoring method, engineering machinery and computing equipment: CN202311758902. 7[P]. 2024-04-12.

[2] 史宏达,李冬冬,于通顺. 基于旧码头改造的钢管板桩结构静力分析[J]. 水运工程, 2019(2): 34-40, 88.
SHI H D, LI D D, YU T S. Static analysis of steel tubular-sheet pile structure based on old wharf renovation [J].

- Port & waterway engineering, 2019(2): 34-40, 88.
- [3] 中交水运规划设计院有限公司. 上海港罗泾港区集装箱码头改造一期工程施工图设计[R]. 北京: 中交水运规划设计院有限公司, 2022.
- CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd. Construction drawing design of container terminal reconstruction phase I project in Luojing port area, Shanghai Port [R]. Beijing: CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., 2022.
- [4] 上海港湾工程质量检测有限公司. 检测评估报告[R]. 上海: 上海港湾工程质量检测有限公司, 2022.
- Shanghai Harbor Engineering Quality Inspection Co., Ltd. Inspection and evaluation report [R]. Shanghai: Shanghai Harbor Engineering Quality Inspection Co., Ltd., 2022.
- [5] 混凝土结构加固设计规范: GB 50367—2013[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013.
- Code for design of strengthening concrete structure: GB 50367-2013 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2013.
- [6] 港口水工建筑物修补加固技术规范: JTS/T 311—2023[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2023.
- Technical code for repair and strengthening of harbor and marine structures: JTS/T 311-2023 [S]. Beijing: China Communications Press Co., Ltd., 2023.
- [7] 树脂浇铸体性能试验方法: GB/T 2567—2021[S]. 北京: 中国标准出版社, 2021.
- Test methods for properties of resin casting body: GB/T 2567-2021[S]. Beijing: Standards Press of China, 2021.
- [8] 胶粘剂拉伸剪切强度的测定(刚性材料对刚性材料): GB/T 7124—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- Adhesives - Determination of tensile lap-shear strength of rigid-to-rigid bonded assemblies: GB/T 7124-2008 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2008.
- [9] 胶粘剂-不均匀扯离强度试验方法(金属与金属): GJB 94—1986[S]. 北京: 国防科学技术工业委员会, 1986.
- Adhesives-Test method for uneven tear strength of adhesive bonds (metal to metal): GJB 94-1986 [S]. Beijing: Commission of Science, Technology and Industry for National Defense, 1986.
- [10] 胶粘剂对接接头拉伸强度的测定: GB/T 6329—1996[S]. 北京: 中国标准出版社, 1996.
- Adhesives-Determination of tensile strength of butt joints: GB/T 6329-1996[S]. Beijing: Standards Press of China, 1996.
- [11] 胶粘剂不挥发物含量的测定: GB/T 2793—1995[S]. 北京: 中国标准出版社, 1995.
- Test method for nonvolatile content of adhesives: GB/T 2793-1995[S]. Beijing: Standards Press of China, 1995.
- [12] 水下玻璃纤维复合材料套筒系统用材料: T/CSTM 00339—2021[S]. 北京: 中关村材料试验技术联盟, 2021.
- Materials for underwater glass fiber composite sleeve system: T/CSTM 00339-2021[S]. Beijing: Chinese Society for Testing & Materials, Zhongguancun, 2021.

(本文编辑 赵娟)

(上接第 93 页)

- [7] 水运工程结构耐久性设计标准: JTS 153—2015[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2015.
- Standard for durability design of port and waterway engineering structure: JTS 153-2015 [S]. Beijing: China Communications Press Co., Ltd., 2015.
- [8] 戎伟全, 周娜. 高桩码头结构加固改造技术[J]. 水运工程, 2015(9): 104-107.
- RONG W Q, ZHOU N. Key technology in reinforcement and reconstruction of high-piled wharf [J]. Port & waterway engineering, 2015(9): 104-107.
- [9] 苏祥芳. 码头加固改造方法解析[J]. 中国水运, 2019(8): 91-92.
- SU X F. Analysis of wharf reinforcement and renovation methods[J]. China water transport, 2019(8): 91-92.
- [10] 码头结构设计规范: JTS 167—2018[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2018.
- Design code for wharf structures: JTS 167-2018 [S]. Beijing: China Communications Press Co., Ltd., 2018.

(本文编辑 王璁)