



高桩码头结构修复加固

陈华林, 李志胜, 郑书禧

(中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007)

摘要: 结合招商港9#泊位的结构改造修复加固工程, 介绍高桩梁板式码头结构修复加固以及防腐设计的思路, 对结构中受到侵蚀并形成破坏的梁板结构以及钢桩和钢板桩提出修复方案, 为目前普遍存在的桩基码头修复提供参考。

关键词: 升级改造; 桩基; 修复; 加固; 防腐; 碳纤维; 混凝土涂层; 荷载试验

中图分类号: U 656.1⁺13

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2012)09-0194-06

Repair reinforcement and anti-corrosion design of high-pile wharf structure

CHEN Hua-lin, LI Zhi-sheng, ZHENG Shu-xi

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

Abstract: Based on the restoration and upgrading of berth No.9 of Merchants Port Company, this paper describes the repair reinforcement and anti-corrosion design ideas on high-pile wharf structure, and proposes the rehabilitation scheme for the eroded and damaged slab-beam structure, steel piles, as well as steel sheet piles, so as to provide reference for the repair of piled wharf.

Key words: upgrading; pile foundation; repair; reinforcement; anti-corrosion; carbon fiber; concrete coating; loading test

交通运输部于2006年下发了“关于加强港口码头靠泊能力核查管理工作的通知”, 其中规定了桩基码头超过15年寿命不予论证核准。2009年发布第4号通告中说明: 开展沿海港口码头改造工作, 鼓励各个港口企业单位对码头进行加固改造。从“桩基码头超过15年寿命不予论证核准”的规定, 以及我院所从事码头改造工作中以桩基结构居多的事实, 说明我国前期建设的大量桩基码头存在不少质量问题, 主要原因是前期设计对结构耐久性方面要求不严。桩基主要表现在钢桩无防腐涂层、牺牲阳极或者阴极保护电流等措施, 上部结构表现在钢筋保护层偏小, 混凝土强度等级及密实度不够、表面无防腐涂层等措施, 导致钢桩腐蚀穿孔, 混凝土构件受氯离子侵蚀后表面胀裂, 结构力学性能下降等。

本文主要对桩基码头的修复加固提出典型案

例, 结合深圳港招港港9#泊位改造工程具体情况

1 工程概况

9#泊位为7.5万吨级散货泊位, 位于招港二突堤南侧, 码头竣工日期为1992年, 设计通过能力170万t, 为高桩梁板式结构, 全长300 m, 主要接卸金属矿石和散粮货种, 年实际完成吞吐量500多万t。码头结构形式见图1。

码头前沿设计底高程为-15.10 m, 顶面高程为4.54 m; 桩基排架间距为6 m, 采用 ϕ 800 mm和 ϕ 600 mm钢管桩, 600 mm \times 600 mm预应力混凝土方桩以及钢板桩等桩基, 上部设置轨道梁和横梁及帽梁, 无纵梁; 两轨间采用连续叠合板, 后方采用简支板连接码头和挡土墙, 板总厚600 mm。

根据交通运输部通告以及建设方的要求, 对

收稿日期: 2012-05-11

作者简介: 陈华林(1978—), 男, 工程师, 主要从事港口工程设计及咨询工作。

重,共有7处腐蚀开裂。根据JTJ 302—2006《港口水工建筑物检测与评估技术规范》^[2]及检测结果,对码头钢结构腐蚀状态分级见表1。

表1 钢结构耐久性评估分级

等级	分级标准	现有钢结构分级	修复防腐方案
B	腐蚀尚不显著影响承载力,耐久性设计不满足设计使用年限要求	所有钢管桩,无开裂腐蚀的钢板桩	阴极保护
C	腐蚀已显著影响承载力,耐久性设计不满足设计使用年限要求	腐蚀开裂的钢板桩	修补加固及阴极保护

2.2 梁板破损情况及修复思路

梁结构部分,横梁部分有竖向裂缝发生;后边梁有水平裂缝发生,裂缝多发生在梁顶端,个别裂缝宽度较大;帽梁局部存在斜裂缝和多处混凝土脱落,个别混凝土脱落痕迹较新。面板结构部分,码头前方结构面板除局部有坑蚀现象外,大部分区域外观情况良好;后边梁与帽梁之间多块面板有混凝土剥落剥离现象,裸露钢筋锈蚀严重。

梁板结构修复加固总体思路如下:

- 1) 根据腐蚀损坏程度分为不同的修复等级进行修补;
- 2) 对于结构的强度需要补强或者结构受力较大,接近结构极限能力的结构,均采用碳纤维法进行加强;
- 3) 在完成对混凝土结构的修补与碳纤维加强后,对结构下表面进行涂层防腐保护,混凝土涂层防腐保护设计年限为10 a。

混凝土构件破损修复等级如表2所示。

表2 混凝土构件破损修复等级

修复等级	损坏情况描述	修复方案
A	混凝土大面积剥落、露筋构件和顺筋锈蚀裂缝宽度大于1 mm的构件或裂缝宽度小于1 mm有锈迹裂缝的构件	砂浆修补法
B	裂缝宽度在0.3~1.0 mm的无锈迹裂缝或贯穿性裂缝	化学灌浆法
C	裂缝宽度在0.2~0.3 mm的裂缝	封闭法

3 修复及加强措施

3.1 桩基结构修复

3.1.1 B级修补与防腐

阴极保护是防止钢结构局部腐蚀最为有效的

方法, JTS 153-3-2007《海港工程钢结构防腐蚀技术规范》^[3]第3.0.5条规定“承受交变应力的水下区钢结构必须进行阴极保护。”因此,对于B级腐蚀还不严重的裸钢进行牺牲阳极保护。

牺牲阳极采用铝-锌-镉-锡-镁牺牲阳极,采用水下焊接,牺牲阳极性能指标:1)开路电位, $<-1.18\text{ V}$;2)工作电位, $<-1.05\text{ V}$;3)实际电容量, $>2\ 400\text{ A}\cdot\text{h}/\text{kg}$;4)电流效率, $>85\%$ 。

全部阳极焊接完成后进行验收,包括水下电视录像等,并在阳极焊接完成7 d后,用便携式海水Ag/AgCl参比电极对所有钢桩的保护电位进行全面的检测,测定钢管桩的上、中、下3个高程的保护电位。钢管桩和钢板桩的保护电位均需 $<-0.85\text{ V}$ (相对于银/氯化银海水电极)。

3.1.2 C级修补与防腐

C级腐蚀的钢板桩对开裂面积较大的桩进行修补,并对修补后的钢板桩按B级腐蚀等级进行牺牲阳极阴极保护。

开裂修补采用焊接与原钢材相同或相近的钢板处理,流程如下:

- 1) 清除裂缝周边80 mm以上的海生物和锈层等杂物露出洁净的金属面;
- 2) 将裂缝边缘加工出坡口以便焊接;
- 3) 用小直径低氢焊条分段分层逆向施焊,焊缝高度与钢板桩齐平。

验收时应逐一水下摄像记录,对于不合要求的焊缝应及时补焊。

3.2 混凝土损坏结构的修补

混凝土损坏修补所用到的材料见表3。

表3 修补材料

修复材料	性能指标要求
修补混凝土	比原来高一个等级的混凝土,粗骨料粒径 $\leq 20\text{ mm}$,外加聚丙烯纤维
JVS聚合物水泥砂浆	28 d抗压强度 $\geq 45\text{ MPa}$,抗折强度 $\geq 6.5\text{ MPa}$,抗拉强度 $\geq 3.5\text{ MPa}$,干缩值 $28\text{ d}\leq 500\ \mu\text{c}$
界面粘结材料	用于JVS聚合物水泥砂浆和混凝土表面,抗压强度 $\geq 50\text{ MPa}$,抗拉强度 $\geq 5\text{ MPa}$,与湿混凝土湿表面的正拉粘结强度 $\geq 2.5\text{ MPa}$ 且混凝土内聚破坏
封缝材料	K801胶,抗压强度 $\geq 50\text{ MPa}$,抗拉强度 $\geq 10\text{ MPa}$,与干混凝土湿表面的粘结力不小于原混凝土的抗拉强度
灌浆材料	同封缝材料

另外包括阻锈剂,阻锈剂须通过盐水浸渍试验、盐水浸烘试验和电化学综合试验,并通过试验表明对混凝土性能无影响。

3.2.1 A级修复

应及时进行维修,否则损坏程度进一步加重,严重影响混凝土结构的耐久性以及安全性,修补步骤如下:

1) 凿除混凝土保护层,深度为锈蚀钢筋周围20~30 mm混凝土,范围至钢筋未锈蚀处,钢筋除锈St2.0级。

2) 如钢筋锈蚀严重,钢筋截面损失超过原有钢筋截面积10%时,需补焊钢筋;补筋强度利用系数可取0.9。

3) 用高压淡水冲洗钢筋及混凝土表面并喷洒渗透型阻锈剂。

4) 对修补断面涂覆界面粘结材料,涂刷时应尽量不使粘接材料附在钢筋上;涂刷界面粘结材料后,2 h完成混凝土填充修补。

5) 当构件损坏处易于安装模板时宜采用立模浇筑混凝土法进行断面修补;其他采用聚合物砂浆进行断面修补。

6) 在修补后的混凝土表面涂覆养护剂,并至少养护7 d。

3.2.2 B级修复

对于0.3~1.0 mm的无锈迹裂缝或贯穿性非耐久性破损裂缝,采用化学灌浆法进行修补,修补方法如下:

1) 清除混凝土裂缝表面松散物和缝内异物。

2) 按200~500 mm间距设置灌浆嘴。裂缝的端部、裂缝交叉处及贯穿裂缝的两个侧面均应埋设灌浆嘴。埋设灌浆嘴可使用钻孔法沿缝的两侧斜向成孔,孔身应交叉穿过裂缝,并使灌浆嘴密封胶垫有足够的埋置深度,确保密封效果。

3) 对裂缝进行封缝处理后,进行压气检查灌浆嘴的连通和密封效果。

4) 按试验配比准确称量配置灌浆液,根据灌浆液的固化时间和灌浆速度随配随用,灌浆材料性能应符合表3的规定;按竖向缝自下而上、水平缝自一端向另一端的顺序进行压力灌浆,灌浆压力为0.2~0.8 MPa。

5) 待浆液固化后,拆除灌浆嘴,并对混凝土表面进行修整。

3.2.3 C级修复

对宽度为0.2~0.3 mm的非耐久性破损裂缝,采用封闭方法进行修补,修补方法如下:

1) 沿裂缝走向骑缝凿出深度不小于30 mm、宽度不小于20 mm的U型凹槽。

2) 清除槽内松散层、油污、浮灰及其它不牢固附着物。

3) 在槽内的混凝土表面刷涂界面粘结材料。

4) 刷涂界面粘结材料后,2 h完成聚合物砂浆对待修补面进行填充,然后在砂浆表面涂覆养护剂,并至少养护7 d。

3.3 混凝土结构的加强措施

混凝土结构的强度长期受到临界荷载作用,或者结构本身的强度不能满足荷载作用变化所要求的强度时,为保证结构中的裂缝不会继续扩大影响寿命和安全,须对结构进行加强处理。

3.3.1 结构加强项目

通过对原码头结构进行核算,其中横梁的抗剪强度配筋处于结构承载能力的极限状态;后方筒支板的抗弯能力处于极限状态,且正常使用极限状态时,板的裂缝过大。因此,提出了对这两种构件进行加强处理,增加结构的承载能力以及减少裂缝开展宽度。

3.3.2 结构加强方案

常用的结构强度加强法有3个:1)碳纤维加固法;2)增加钢板加固法;3)加大截面加固法。碳纤维加固法具有明显的优势而且已经成了成熟的加固方法,因此本工程采用碳纤维加固法,碳纤维的性能指标见表4。

表4 碳纤维的性能指标

a

抗拉强度标准值/MPa	受拉弹性模量/MPa	伸长率/%	仰贴纤维复合材料与混凝土正粘结强度/MPa
≥3 000	≥2.1 × 10 ⁵	≥1.5	≥2.5,且为混凝土内聚破坏

注:单向织物(布)高强度Ⅱ级。

粘结碳纤维复合材料的胶粘剂,采用专门配制的改性环氧树脂胶粘剂,由于加固部分处于表湿区,采用湿固化型胶粘剂。

3.3.3 横梁的加强措施

横梁主要加强结构的抗剪能力,同时对抗弯能力有一定的加强,加强措施如图4所示。

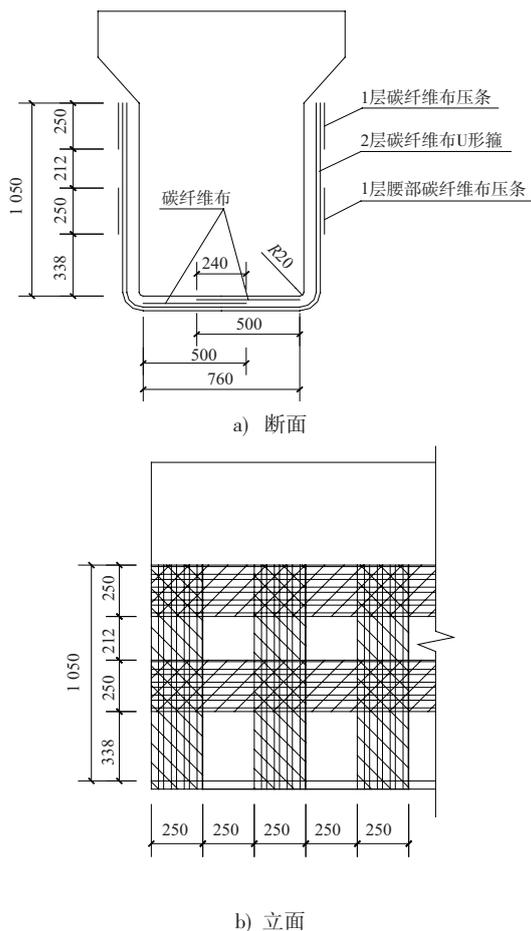


图4 横梁抗剪加强示意

采用进口单向经编碳纤维布,且带 30 g/m^2 的玻璃布贴面,单幅宽度为 500 mm 。经计算采用碳纤维加固后横梁抗弯能力比原设计提高 13.6% 。抗剪能力比原设计提高 27.34% ,改善效果明显。

3.3.4 筒支板加强措施

通过计算得筒支板受弯裂缝宽度在 0.2 mm 内时,钢筋断面积需增加 15% 以上。另外,腐蚀较严重的筒支板,钢筋的断面积损失率达 30% 以上,通过补焊钢筋恢复钢筋断面积后,仍需通过粘贴碳纤维布的方式增加断面抗拉能力 15% 以上。最终得出每沿米板宽粘贴碳纤维布截面宽度为 0.708 m 以上。加强方案见图5。

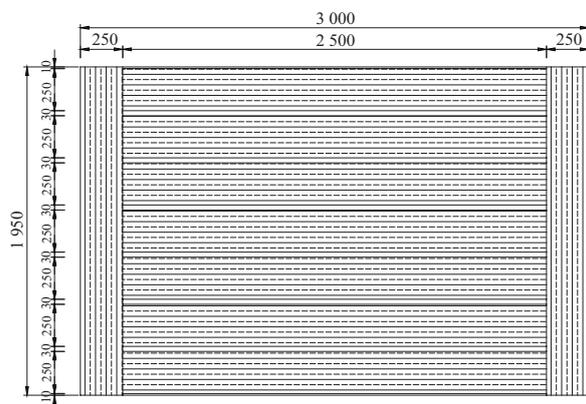


图5 筒支板碳纤维补强

在筒支板底部顺着板方向粘贴1层 250 mm 碳纤维布,另外在板的两端粘贴压条贴1层。

3.4 混凝土结构的外加防腐措施

完成混凝土结构的修补与加强后,为增加结构的耐久性,对结构的底部迎水面增加防腐涂层,涂层防腐年限设计为 10 a 。

1) 涂层实施的范围为浪溅区和潮差区,即表湿区。由于构件仍处于浪花飞溅、潮位涨落等湿度较高的范围,设计采用湿表面固化涂层。

2) 底层及中间层涂料选用湿固化长效重防腐涂料,底层封闭漆厚度 $\leq 50\text{ }\mu\text{m}$,中间漆厚度 $300\text{ }\mu\text{m}$,表层采用丙烯酸聚氨酯面漆 $90\text{ }\mu\text{m}$,总干膜厚度 $390\text{ }\mu\text{m}$;采用碳纤维布加固表面,仅需涂覆面漆。

施工前需在表湿区选不少于 10 m^2 面积区域进行试验。

值得注意的是,由于聚氨酯的固化时间较长,在水位变动区内的混凝土表面,往往潮差时间不能满足聚氨酯面漆的固化时间,可用环氧面漆代替。

4 结构加固检测试验

为检测修复加固的成果,对加固的结构进行荷载试验以检验修复加固的成果,加固的构件包括横梁和后筒支板,由于筒支板构件为一个独立构件,试验操作容易,因此,选取后方筒支板作为试验检测对象,并委托华中科技大学力学实验中心实施了本实验^[4]。

4.1 试验方法

1) 选取2块筒支板,包括受腐蚀破坏严重

的MB-53#面板,以及基本无腐蚀破坏的MB-55#面板;并埋设应变片于板结构的主筋上。对于53#面板,在板底取3个测试断面,即板1/4L,1/2L,3/4L断面,在每个断面上分别布置3个应力测点;对于55#面板,只在1/2L断面上布置2个应力测点。

2)在面板加固前和加固后分别测试加荷产生的钢筋应力。

3)荷载的类型分3种工况:

①静荷载,均载30 kPa,通过采用地磅砝码、沙袋分别以50%,70%,120%分级加载的方式,并在加到最大荷载要求时稳定30 min才进行读数;

②汽车活动荷载,采用满载60 t汽车,以空车、1/2载重、满载3种方式后轴单轮通过进行读数;

③冲击荷载,采用8 t抓斗自由落体方式对板进行冲击读数,落高采用40 cm,100 cm,150 cm。

4.2 试验结论

1)各种工况下测点的应力都不高,基本在10 MPa以下,分析原因主要是,测试面板上有一层28 cm厚的现浇板把几块简支板连接在一起,各种荷载均通过现浇板分散后传递给测试板。最大应力出现在加固前53#板车载工况下满载时的4#点,其值为12.6 MPa。

2)对比2块板加固前后的应力值,在各种荷载值及工况下都有所减小。其中加固前在汽车荷

载下53#板和55#板的最大应力之比为1.72,加固后2个板的应力基本相同,53#板结果还略低,可见加固效果很好。

5 结语

本工程是一个典型的高桩梁板承台式码头结构,各种桩基及梁板构件在本结构基本都存在。另外由于我国在前期的建港过程中对结构的耐久性设计方面经验不足,导致码头结构普遍存在腐蚀破损的通病,本工程对结构进行修复和改造的设计,并通过实验来验证修复改造方案的效果。

修复改造工程于2011年12月底进行了交工验收,并通过了参建各方的验收,结果是合格。即通过修复改造后,泊位满足15万吨级散货船减载靠泊(吃水不大于14.0 m)的要求。

参考文献:

- [1] 广州港湾工程质量检测有限公司.招商港务(深圳)有限公司9#泊位码头结构检测报告[R].广州:广州港湾工程质量检测有限公司,2009.
- [2] JTJ 302—2006 港口水工建筑物检测与评估技术规范[S].
- [3] JTS 153-3—2007 海港工程钢结构防腐蚀技术规范[S].
- [4] 招商港务(深圳)有限公司.9#泊位加固改造工程应力检测报告[R].武汉:华中科技大学力学实验室,2011.
- [5] JTJ 275—2000 海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范[S].
- [6] JTS 311—2011 港口水工建筑物修补加固技术规范[S].

(本文编辑 郭雪珍)

· 消 息 ·

中国交建中标港珠澳大桥合同额超280亿元

中国交通建设股份有限公司旗下航局和二公局组成的联合体成功中标港珠澳大桥主体工程桥梁工程土建工程施工。合同段长度为8.67 km,中标价约为人民币24亿元。

港珠澳大桥工程包括3项内容:一是海中桥、岛、隧主体工程;二是香港、珠海和澳门三地口岸;三是香港、珠海、澳门三地连接线。海中桥、岛、隧主体工程(粤港分界线至珠海和澳门口岸段)由粤港澳三地共同建设;海中桥隧工程香港段(起自香港石散石湾,止于粤港分界线)、三地口岸和连接线由三地各自建设。

其中,岛隧工程技术含量、建设难度在世界交通基础领域前所未有。因此,岛隧工程由中国交建牵头组成的联合体以设计施工总承包模式建设,工程合同额131亿元。

目前,人工岛已经基本完成,工程建设进入到最为关键的海底沉管隧道建设阶段。

据不完全统计,中国交建承担港珠澳大桥工程合同总额超过280亿元。而且中国交建承建了港珠澳大桥此前所有分项。