



海港高桩码头结构维修技术应用*

魏明晖, 严 锋, 关战伟

(中交四航工程研究院有限公司, 广东 广州 510230)

摘要: 针对海港高桩码头结构维修技术优化决策问题, 通过调查高桩码头典型病害类型, 结合各种常用维修方法的适用特点, 考虑海洋环境下高桩码头维修技术的要求, 提出6种维修技术组合, 根据各组合所需时间、费用以及保用时间得到维修效率值, 以对维修方案进行决策。最后通过惠州某码头的维修案例, 分析采用不同技术组合的维修效果和经济学, 验证以维修效率进行维修方案决策的正确性。

关键词: 海港高桩码头; 维修技术; 决策; 效率

中图分类号: U 657.4

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)03-0167-05

Application of repair technology for coastal piled wharf

WEI Ming-hui, YAN Feng, GUAN Zhan-wei

(CCCC Fourth Harbor Engineering Institute Co., Ltd., Guangzhou 510230, China)

Abstract: Investigating typical diseases of the piled wharf and considering the requirement of repair technology under marine environment, 6 combinations of repair technology are proposed for the decision-making optimization of the repair technology for the coastal piled wharf. The efficiency values are obtained according to the construction time, cost and guaranteed time to help making decision of the maintenance scheme. Combining the case of one wharf in Huizhou, the maintenance effect and economics of different combinations of repair technology are analyzed to verify the correctness of the maintenance scheme which is made on the basis of efficiency values.

Keywords: coastal piled wharf; repair technology; decision-making; efficiency

我国海港码头从20世纪70—80年代开始大量建设, 但由于使用环境的影响或使用不当, 大多数钢筋混凝土结构的实际服役年限都远小于设计使用年限, 特别是在海洋环境下, 钢筋锈蚀更为突出, 处于浪溅区的构件往往使用不到20 a即发生锈胀裂缝、混凝土剥落, 严重影响建筑物的安全性^[1]。

随着材料科学和施工技术的发展, 除了常用的裂缝修补、外包混凝土修补、喷射砂浆修补等, 近年来出现了多种高效的修补技术, 如聚合物砂

浆修补、粘钢/碳纤维加固体、外预应力混凝土加固、硅烷浸渍/防腐、电化学脱盐、外加电流阴极保护等^[2-3]。根据使用环境、破损程度和目标使用年限, 采用最合适的维修手段或者多种维修手段的组合, 能有效提高混凝土结构修补的施工效率和维修效果^[4]。

1 海港高桩码头维修技术

1.1 海港高桩码头维修技术要求

由于海港高桩码头混凝土的病害大部分是由

收稿日期: 2015-09-21

*基金项目: 交通运输建设科技项目 (201332849A090)

作者简介: 魏明晖 (1983—), 男, 硕士, 工程师, 从事水运工程检测、维修加固等的研究。

环境引起的混凝土结构损伤,即耐久性破损,所以采用的维修技术除了顾及结构强度之外,更应重视结构耐久性,因此进行维修技术决策时应考虑以下几点:

1) 裂缝修补。

海水环境氯离子引起的钢筋锈蚀,其特点是钢筋首先出现局部腐蚀并形成锈蚀产物。坑蚀及锈蚀产物中含有大量氯化物,如果修补前没有除尽这些锈蚀产物,则其不仅影响修补混凝土与钢筋的粘结力,而且未除尽的锈蚀产物中的氯离子会在修补后继续腐蚀钢筋。因此进行裂缝修补时,除了确定为非锈胀裂缝或是贯穿裂缝,否则宜尽量采用开凿后对钢筋除锈、再压抹聚合物砂浆或环氧修补胶的方法修补。

2) 喷射砂浆修补和立模现浇混凝土。

喷射砂浆施工速度快,但对工艺有较高要求;立模现浇混凝土施工较慢,但混凝土成型后孔隙小,质量更好。因此选择维修方法时应综合考虑工程对质量、进度的要求。

3) 粘贴碳纤维和钢板加固。

粘贴钢板加固的优点是温度伸缩率与混凝土相近,但钢板耐腐蚀性较碳纤维差,在海洋环境下容易锈蚀,因此对耐久性有较高要求的维修工程应尽量采用碳纤维进行加固。

4) 普通和特殊技术手段。

根据 JTS 311—2011《港口水工建筑物修补加固技术规范》^[5],一般海港码头修复修补后目标使用年限可达 10 a 左右,而当目标使用年限大于 15 a 时,需要根据具体情况采取电化学脱盐处理或者采取外加电流阴极保护。对比普通技术手段,电化学脱盐或外加电流阴极保护能更有效地延长混凝土结构寿命,在成本和施工时间允许的情况下采用,能获得很好的维修效果。

1.2 海港高桩码头维修技术组合

综合考虑海港码头的结构特点、破坏特征和维修技术要求,针对南方沿海码头的常规性修复,提出表 1 所示的几种维修技术组合。

表 1 维修技术组合优缺点及机理

维修技术组合	优缺点	机理
A + B	工作量少,施工简单,耐久性差,混凝土 2~3 a 重新开裂	不能阻止氯离子侵蚀
A + B + E	工作量较少,施工简单,耐久性一般,混凝土 2~3 a 重新开裂	涂层对海洋氯离子侵入混凝土有一定阻隔作用,但混凝土内部残留的氯离子依然会造成钢筋锈胀,从而导致混凝土开裂
A + B + D	工作量较大,施工较复杂,耐久性好,受材料老化影响,约 10 a 的保用时间	粘贴碳纤维布的环氧粘结剂对氯离子的侵入有一定阻隔作用,残留氯离子造成钢筋锈胀时,碳纤维布会产生与混凝土所受膨胀力反向的约束力,平衡钢筋锈胀引起的混凝土表面张力,从而抑制锈胀裂缝的进一步发展 ^[6]
A + C + E	工作量大,施工复杂,耐久性较好	增大了保护层厚度,因而增强抵抗钢筋锈蚀能力,但过大的保护层会导致结构裂缝增大,水分和气体进入裂缝锈蚀钢筋
A + B + D + E	工作量大,施工较复杂,耐久性好	在组合 3 基础上增加了表面涂层,能增加加固区域未贴碳纤维处的防腐效果,且涂层对延缓碳纤维老化有一定的作用
A + B + E + F	工作量大,施工复杂,施工周期长,每个构件脱盐需时 2~3 个月,耐久性好,可延长混凝土结构寿命 15 a 以上	能去除混凝土内氯离子,使腐蚀的钢筋恢复钝化膜,采用该技术设计使用寿命长,但对钢筋与混凝土界面粘结强度有影响,易造成混凝土开裂或握裹力下降 ^[7]

注: A: 裂缝修补; B: 聚合物砂浆修补; C: 增大截面修补; D: 粘贴碳纤维加固; E: 表面涂层防腐; F: 电化学脱盐。

1.3 高桩码头维修方法

好的维修方法, 应能满足对耐久性提高的要求, 同时实施成本尽量小, 为此引入维修效率这个概念, 以对高桩码头维修技术组合进行优选判别。

$$P = \alpha \cdot \frac{T}{c} \quad (1)$$

$$\alpha = 1 - \gamma \cdot \frac{T}{365} \quad (2)$$

式中: P 为维修技术组合效率值; T 为保用时间(a), 指在采用通常的维护材料和方法, 并在通常的施工技术水平, 维护技术实施后可以为构件提供保护的年限; C 为维修施工成本(万元); α 为考虑施工时间的影响系数; γ 为考虑施工时间影响的调整系数, 按对码头营运影响取 0 ~ 1, 影响大取高值; t 为施工时间 (d)。

P 值越高, 表明达到相同维修效果的成本越低, 或者采用相同的成本可达到更好的维修效果, 因此在进行决策时应优先采用效率高的维修技术组合。

1.4 维修效率值的应用

以高桩码头纵梁维修为例, 说明维修技术组合效率值的应用。

假设某码头有 10 根梁体存在破损情况, 梁体尺寸为 5 000 mm × 400 mm × 500 mm(长 × 宽 × 高), 每根梁破损情况相同, 梁下部有 2 条 1.5 m 沿钢筋纵向的锈胀裂缝, 梁侧面 2 处 80 cm × 60 cm 的保护层混凝土破损。针对该码头的 6 种维修技术组合的相关参数如表 2 所示, 施工影响系数 λ 取 0.5, 得到的效率值如图 1 所示。

表 2 修复所需施工时间、费用和保用时间

组合	施工时间/d	施工费用/万元	保用年限/a
1	5	1.0	2
2	8	1.7	4
3	10	3.6	10
4	15	1.9	5
5	13	4.3	15
6	28	6.7	20

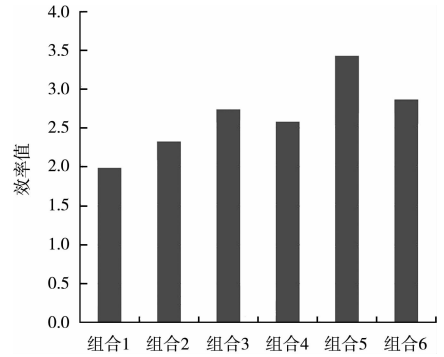


图 1 维修技术组合效率值

从图 1 可知, 组合 1 的效率值最低, 表明仅对破损部位进行修补, 尽管费用低, 但耐久性差, 大修周期短, 而在修补的基础上增加其他维修手段, 费用会增加, 但耐久性也随之提高, 大修的周期变长。组合 5 的效率值最高, 表明增加碳纤维的使用后, 在费用有所增加的情况下带来耐久性的更多提高, 碳纤维耐腐蚀性能好, 在其自身和胶体老化性能有保障的情况下, 能带来承载力和耐久性的极大提高。

2 某油气码头结构损伤及修复方案

2.1 码头概况

该油气码头建于 1992 年, 为高桩梁板结构, 设计靠泊能力为 3 万 t, 码头主要由引桥、人行桥和工作平台组成 (图 2)。

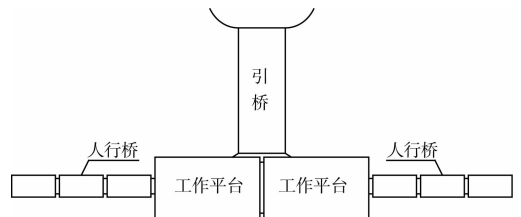


图 2 码头平面

2009 年进行的码头检测发现: 码头各部分都存在耐久性破损, 且多集中在梁底和两侧下部, 多为顺筋裂缝, 且多伴有锈迹。图 3 ~ 4 为部分构件的损伤情况。

2.2 维修方案

2009 年对该码头进行了维修加固施工。由于项目投资预算有限, 根据码头各结构段的受损情况, 采用了不同的维修方法(表 3)。图 5 ~ 7 为码头修复后外观状况。



图3 纵梁底部顺筋裂缝



图4 横梁侧面顺筋裂缝

表3 不同级别维修方案

维修部位	具体方法
引桥	裂缝修补 + 聚合物砂浆断面修补
人行桥	裂缝修补 + 聚合物砂浆断面修补 + 表面涂层防腐
工作平台	裂缝修补 + 聚合物砂浆断面修补 + 粘贴碳纤维加固 + 表面涂层防腐



图5 引桥裂缝修补



图6 人行桥纵梁防腐



图7 工作平台纵梁碳纤维加固和防腐

2.3 维修效果

2014年对该码头再次进行检测,采用3种维修级别的结构段呈现完全不同的外观状况。各部位的状况如表4和图8~10所示。



图8 引桥裂缝



图9 人行桥裂缝



图10 工作平台外观良好

表4 2014年码头检测情况

维修部位	检测情况
引桥	损伤最严重,梁底出现大量顺筋裂缝,曾修补过的部位再次锈胀开裂
人行桥	有损伤,少量顺筋裂缝和锈斑锈迹
工作平台	外观状况良好,碳纤维布和防腐涂层完好无明显混凝土脱落、露筋、裂缝等现象

该油气码头2009年进行维修施工,当时的施工费共约110万元,施工工期120d。如当时对人行桥和引桥均进行防腐和碳纤维加固,则仅需增加投资73万元,施工工期延长15d。如2014年按修补+防腐+碳纤维加固的方案,对引桥和人行桥进行维修,考虑施工单价为2009年的1.2倍,则施工费用需127万元,施工工期70d。

综上,假设2009年业主能增加投资,对人行桥和引桥均进行防腐和碳纤维加固,则2014年码头各结构外观状况都将良好,无需维修,即延长了码头大修周期。从长远角度考虑,则节约投资53万元,且因施工而影响生产的时间也可缩短55d。

3 结语

1) 海港高桩码头的病害大部分是由环境引起的混凝土结构损伤,如结构顺筋裂缝、混凝土剥落等,因此进行码头维修除了顾及结构强度之外,更应重视结构耐久性。

2) 文中提出以维修效率作为维修决策的依据,维修效率是由修复所需时间、费用以及保用时间的综合指标。效率越高,表明达到相同维修效果的成本越低,或者采用相同的成本得到更好

的维修效果,因此在进行决策时应优先采用效率高的维修技术组合。

3) “裂缝修补+聚合物砂浆断面修补”组合的效率值最低,表明仅对破损部位进行修补,尽管费用低,但耐久性差,大修周期短,而在修补的基础上增加其他维修手段,费用会增加,但耐久性也随之提高,大修的周期变长。“裂缝修补+聚合物砂浆断面修补+粘贴碳纤维加固+表面涂层防腐”组合的效率值最高,表明增加碳纤维的使用后,在费用有所增加的情况下带来耐久性的更多提高,碳纤维耐腐蚀性能好,在其自身和胶体老化性能有保障的情况下,能带来承载力和耐久性的极大提高。

参考文献:

- [1] 杨帆. 水工码头结构病害机理及其对策研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2009.
- [2] 郑永来, 杨扬. 高桩码头加固方法分析[J]. 结构工程师, 2007(2): 86-90.
- [3] 郭玉斌. 高桩码头结构的病害分析及施工的质量控制[J]. 中国水运, 2010(11): 149-150.
- [4] 岑文杰, 熊建波, 黄君哲. 海工钢筋混凝土构造物维修技术[J]. 水运工程, 2012(11): 203-207.
- [5] JTS 311—2011 港口水工建筑物修补加固技术规范[S].
- [6] 王友元, 苏林王, 李国豹. 碳纤维加固对海工钢筋混凝土结构锈胀的约束作用研究[J]. 水运工程, 2009(10): 47-51.
- [7] 应志峰, 陈国森, 黄银水. 高桩梁板式码头的修复设计[J]. 水运工程, 2009(9): 50-54.

(本文编辑 郭雪珍)

(上接第166页)

2 结语

1) 结合设计施工经验, 研究分析重力式码头胸墙裂缝、工后沉降和位移、面层不均匀沉降造成积水等质量通病的形成机理以及可能造成的危害。

2) 针对重力式码头的质量通病, 提出解决措施, 且上述措施均得到了较好的实际运用。

参考文献:

- [1] 何振旺. 高强度大体积混凝土的裂缝分析[J]. 云南建筑, 2011(2): 26-27.
- [2] JTJ 290—1998 重力式码头设计与施工规范[S].
- [3] 项蓓敏, 黄松涛. 大型沉箱在福州江阴港区二期工程的应用[J]. 水运工程, 2007(10): 43-46.

(本文编辑 郭雪珍)