



某码头靠船构件改造与加固

胡若邻, 魏明晖, 李治学, 萧澎伟

(中交四航工程研究院有限公司, 水工构造物耐久性技术交通行业重点实验室, 广东 广州 510230)

摘要:为解决珠海某拖轮码头因靠船构件尺寸偏差无法靠泊船舶的问题, 设计了在原混凝土靠船构件表面粘贴角钢的方案, 既可将原靠船构件向下延伸 1 m, 又对其悬臂端部进行加固补强。靠泊力复核和有限元验算表明: 改造后靠船构件满足船舶停靠要求, 改造施工和工程回访亦表明 3 a 来码头运营正常、钢结构主体完整。该靠船构件改造和加固案例可为类似工程提供借鉴与参考。

关键词: 靠船构件; 角钢; 改造; 加固

中图分类号: TU 377

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2015)03-0145-05

Renovation and strengthening of berthing members

HU Ruo-lin, WEI Min-hui, LI Zhi-xue, XIAO Peng-wei

(Key Laboratory of Harbor & Marine Structure Durability Technology, Ministry of Communications,

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

Abstract: In view that some ships can't berth due to the deviation of dimensions, we propose a scheme, i. e. sticking angle bars on the original concrete members to extend the original member 1 meter downwards and strengthen its cantilever end as well. Berthing force review and finite element calculation show that the berthing members can meet the requirement of berthing after the renovation. The construction and engineering review also indicates that three years' port operation is normal and the main steel structure is complete. This case of renovation and strengthening of berthing members may serve as reference for similar projects.

Keywords: berthing member; angle bar; renovation; strengthening

广东珠海某拖轮码头为梁板式高桩码头结构, 总长 125 m、宽 6 m, 码头分 2 个结构段, 长分别为 66、59 m。码头桩基础采用 $\phi 1\ 000$ mm 灌注桩, 桩尖进入中风化岩 5 m, 横向排架间距为 7.9 m, 每榀排架布置 2 根灌注型嵌岩桩; 上部结构采用现浇钢筋混凝土倒 T 型梁和现浇钢筋混凝土 Π 板, 其中横梁分两次浇筑, 其中下横梁宽 1.8 m、高 1.1 m, 上横梁宽 1.0 m、高 1 m, 纵梁宽 0.5 m、高 1.0 m, 板厚 0.25 m, 磨损层平均厚 50 mm。

靠船构件为预制钢筋混凝土构件; 码头前沿设计两座阶梯, 以方便人员上下船; 码头防撞设施采用 SA-300H $\times 2\ 000$ 标准反力型橡胶护舷; 码

头系缆设施采用 150 kN 系船柱, 系船柱间距为 15.8 m; 码头后沿及引桥两侧安设镀锌栏杆。

由于该码头建设过程出现重大偏差, 当水位较低时, 一些小型船舶难以在该拖轮码头停靠, 故需将靠船构件向下延长 1 m 以满足安全靠泊需要。本文以该靠船构件改造为例, 介绍了该类非常规工程项目设计及施工经验, 可为类似工程提供借鉴和参考。

1 改造方案设计

对此类特种工程, 现行港口工程相关技术规范 and 标准都没有可参考的做法^[1]。根据委托方提

收稿日期: 2014-12-18

作者简介: 胡若邻 (1980—), 男, 博士, 高级工程师, 从事结构检测和维修加固方面的工作。

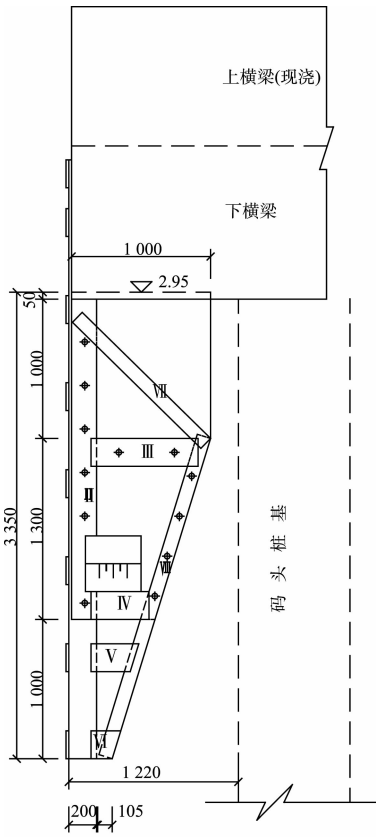
供的拖轮码头靠船构件现场实测资料和设计资料，对原靠船构件进行改造与加固初步考虑两种方案：即植筋 + 现浇混凝土方案和粘贴角钢加固方案。

1.1 方案 1：植筋 + 现浇混凝土^[2]

与原靠船构件材料相同，拟采用在原靠船构件底部混凝土表面植筋、挂设模板现浇 1 m 长混凝土块体的方案。然而，预制的靠船构件已经安装到码头结构体中，现场植筋操作空间狭小，且受潮汐涨落限制，一天的作业时间不超过 2 h。此外，由于新老混凝土结合面处于竖向受拉状态，很容易产生开裂问题，再加上该处位于水位变动区或浪溅区，混凝土表面的缺陷可直接导致靠船构件的耐久性问题，因此，该方案设计不妥。同时，由于施工不便基本被否决。

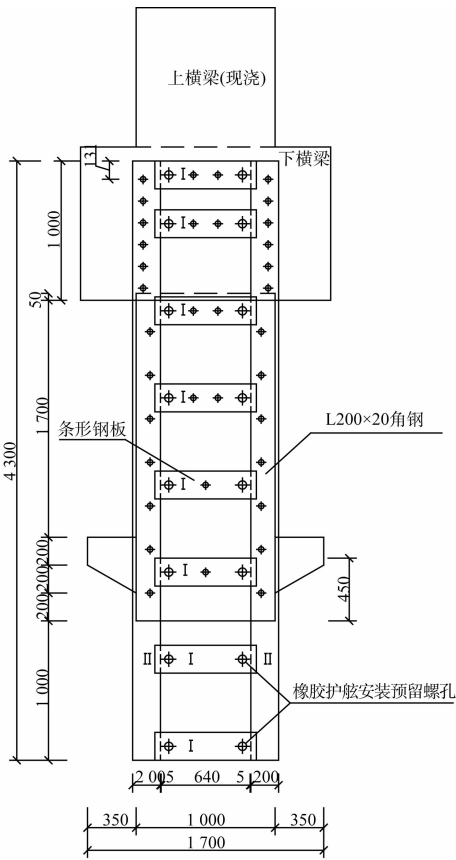
1.2 方案 2：粘贴角钢延长^[3]

根据项目特点和施工条件的实际情况，方案 2 采用粘贴钢板对原靠船构件进行延长及加固，主要包括粘贴角钢、钢板焊接及钢结构防腐等工序。改造方案见图 1。



b) 侧面图

图 1 靠船构件粘贴角钢改造及加固示意
(尺寸单位：mm，高程单位：m)



a) 立面图

- 1) 粘贴角钢前，拆除原橡胶护舷，打磨混凝土粘贴表面，原构件截面棱角处应打磨成圆角，且 $r \geq 7\text{ mm}$ 。
- 2) 在原靠船构件相应部位钻孔并清孔，以备锚栓锚固之用。钻孔时若遇钢筋不能达到有效锚固深度时，应在设计孔位附近重新钻孔，直至满足孔深要求。
- 3) 角钢粘贴前应预先在角钢设计位置钻孔，孔位应与靠船构件孔位对应，粘贴面应打磨平整。
- 4) 安装化学锚栓，待锚栓强度达到 70% 后，在原靠船构件四隅部位用等边角钢进行包裹粘贴。角钢在水面及横梁方向各延伸 1 m（图 1），其中码头海侧两隅采用 L200×20 型角钢，内侧两隅采用 L100×10 型角钢。

1.3 方案设计要点

对方案 1 及方案 2 进行比选后，确定采用方案 2。根据工程特点，在方案 2 基础上深化设计，

其中包含以下要点:

1) 角钢粘贴采用压力注胶与手工涂胶相结合的方式进行,注胶前应进行封边处理,角钢与混凝土之间胶缝厚度宜控制住3~5 mm。

2) 方案所用钢材均采用A3钢(Q235-B级),锚栓均为不锈钢锚栓。

3) 角钢粘贴完成后,在角钢之间焊接条形钢板作为箍板,形成角钢构架(图2)。条形钢板厚度均为10 mm。钢板焊接前应在设计位置预先钻孔,将箍板锚固,待化学锚栓强度达到70%后,再进行焊接锚固。

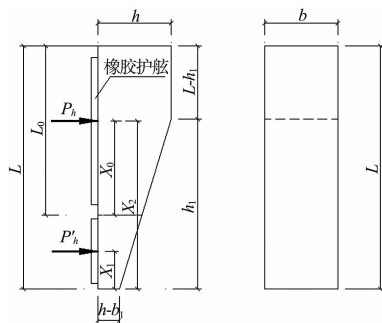


图2 改造后靠船构件最不利受力模式

4) 焊接拟采用手工电弧焊接方式,E43型焊条。条形钢板与角钢之间采用3面围焊方式进行连续焊接,搭接长度为40 mm。焊接均为直角焊缝,围角处应连续施焊,且焊角尺寸不小于7 mm。

5) 箍板上预留的M30螺孔均与橡胶护舷安装螺孔对应,其余均为M20螺孔。

6) 钢板焊接、粘贴完成后即进行防腐处理。按照JTS 153-3—2007《海港工程钢结构防腐蚀技术规范》,防腐按使用年限分为以下3个等级,即5~10 a、10~20 a及≥20 a,为了保证改造构件的耐久性,方案采用规范最高等级防腐要求进行设计,即按设计年限≥20 a进行防腐。

7) 由于靠船构件大部分处于浪溅区,本工程采用重防腐涂层进行防腐处理。其中,底漆采用SHJ-8200环氧重防腐涂料,中间漆采用配套的SHJ-8201环氧重防腐涂料,面漆采用SHJ-S15535丙烯酸聚氨酯面漆。根据工程特点,可在钢板焊接和粘贴前对角钢及钢板进行局部防腐,对于连接部位待焊接及粘贴完毕后再进行防腐涂装。底

漆涂刷1道,涂层厚度控制在50~100 μm;中间漆涂刷3道,每道厚度约为150 μm;面漆涂刷3道,每道厚度约为40 μm。

8) 局部已锈蚀部分需进行手工除锈,应达St3.0级标准。钢材表面应无可见油脂、污垢、氧化皮、锈和油漆涂层等。焊缝接口处应用机械方法磨平。除锈完毕的表面应在24 h内要涂装。涂料必须按配比准确调配,甲乙组分混合后,须用强力搅拌机搅拌均匀方可使用。一次调配量不宜超过使用许可时间(2 h内用完)。在实际应用过程中,最好采用无空气高压喷涂施工,也可采用手工辊涂或刷涂,复涂时间间隔最小12 h,最大20 d。施工时工件表面温度要高于露点温度3 ℃。

9) 钢板底漆涂装完毕并干燥后,接着进行中间漆涂装。SHJ-8201漆较为黏稠,采用手工刮涂,边刮涂边修整,避免流挂和漏涂,其他使用方法与底漆类似。最后进行面漆涂装。使用SHJ-S15535丙烯酸聚氨酯面漆前应将A、B组分按比例(质量比)混合均匀后即可施工,必要时用配套稀释剂(如丙酮)调节黏度,5 h用完。

10) 本次改造的范围为码头结构段所有KJ1~KJ3靠船构件,总共17个。其中,KJ1 9个、KJ2 6个,KJ3 2个,KJ2、KJ3改造方案类似KJ1方案,尺寸略有差别。

2 方案验算

2.1 船舶撞击力

考虑本码头拖轮最大排水量为1 000 t,由于码头掩护条件较好,取拖轮法向靠岸速率最大值为0.25 m/s。

船舶靠岸时的撞击力标准值根据船舶有效撞击能量和橡胶护舷性能曲线及靠船结构的刚度确定。船舶靠岸时的有效撞击能量为:

$$E_0 = \frac{\rho}{2} M v_n^2 \quad (1)$$

系泊船舶在横浪作用下,系泊船舶有效撞击能量为:

$$E_{w0} = \alpha C_m M g H (H/L) (L/B)^2 (d/D)^{2.5} \tanh\left(\frac{2\pi}{L} d\right) \quad (2)$$

计算得 $E_0 = 25 \text{ kJ}$, $E_{w0} = 12.25 \text{ kJ}$ 。可见, 船舶撞击力大于船舶在波浪作用下的挤靠力。两种情况不能同时发生, 故取两者中较大者, 则有效撞击能量为 E_0 。

考虑有效撞击能量全部由橡胶护舷吸收, 则根据海宁橡胶厂提供的产品性能曲线, 得 2 m 橡胶护舷所产生的法向船舶撞击反力 P_h 为 629 kN (考虑 10% 的性能公差), 1 m 橡胶护舷所产生的法向船舶撞击反力为 314 kN (考虑 10% 的性能公差)。

按悬臂构件对靠船构件进行计算, 则最不利情况下的受力见图 2。

采用本改造方案, 即在原靠船构件基础上向下延长 1 m, 悬臂长度由 $l_0 = 2.3 \text{ m}$ 延长到 $l = 3.3 \text{ m}$, 对最危险部位——悬臂根部进行验算。

忽略靠船构件、钢结构自重以及护舷的摩擦力, 则撞击力产生的弯矩标准值为: $M_1 = P_h(l_0 - x_0) + 314(l_0 + 0.5) = 1\,573 \text{ kN} \cdot \text{m}$ 。

考虑作用分项系数, 取验算承载能力极限状态持久荷载组合为: $M_s = \gamma M_1 = 2\,360 \text{ kN} \cdot \text{m}$ 。

2.2 承载能力极限状态验算

根据《混凝土结构加固设计规范》10.2.3 条, 外粘钢板加固受弯构件即相当于增加了受拉钢筋截面积。此时, 取受拉钢板截面积 A_{sp} 及抗拉强度设计值 f_{sp} 分别为 80 cm^2 和 235 MPa (强度利用系数 ψ_{sp} 为 1), 代入相关公式:

$$A_s = \frac{\xi h_0 b f_c - \psi_{sp} A_{sp} f_{sp}}{f_y} \quad (3)$$

可得靠船构件正向海测在持久状况下正截面受拉钢筋最小截面积为 $2.326 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ 。即相当于 6 根 $\phi 25$ 钢筋, 而原靠船构件根部正海侧配筋为 9 根, 显然, 钢板加固后正截面承载力满足要求。

2.3 靠船构件悬臂根部正截面裂缝宽度验算

根据《港口工程混凝土结构设计规范》5.6.2 条验算加固后靠船构件悬臂根部正截面裂缝宽度。钢板加固后最大裂缝宽度为

$$W_{\max} = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \frac{\sigma_{sl}}{E_s} \left(\frac{c+d}{0.30 + 1.4 \rho_{te}} \right) \quad (4)$$

得到最大裂缝宽度为 $0.172 \text{ mm} < 0.2 \text{ mm}$, 裂缝宽度满足规范要求。

2.4 锚栓抗拔力验算

靠船构件改造后, 角钢与混凝土间的锚栓连接在船舶撞击力作用下将受外力矩作用而存在向外拔出的趋势。根据《混凝土结构加固设计规范》M.1 条规定, 锚板中受力最大锚栓的拉力设计值为:

$$N_h = M_{\max} y'_1 / \sum (y'_i)^2 \quad (5)$$

计算得 $N_h = 203.7 \text{ kN}$ 。计算中分 5 排锚栓考虑, 正面每个箍板位置的锚栓为一排, 每排锚栓至底部受压混凝土距离分别为 3.01、2.22、1.6、0.98、0.35 m。

按照改造方案, 考虑最顶部总共布置 10 个锚栓, 则每个锚栓最大拉力为 20.4 kN ($203.7 \text{ kN} / 10$), 小于 55 kN ($175 \text{ kN} \times 202 \pi / 4$), 锚栓钢材承载力满足要求。需要提出的是, 计算中忽略了侧面箍板及角钢中分布的锚栓抗拉承载力, 结构有较大的安全富裕。

3 有限元计算

采用大型通用有限元软件 ANSYS 进行计算, 通过三维实体有限元模型对改造方案进行计算和分析。采用 solid 45 单元模拟角钢和钢板, solid 65 单元模拟原靠船构件, 所建模型、单元划分及边界条件见图 3。

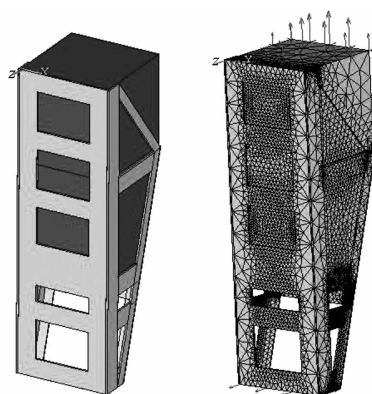


图 3 靠船构件改造三维有限元模型

按照角钢端部作用法向船舶撞击力 420 kN , 由此计算的结构变形及应力见图 4、5。

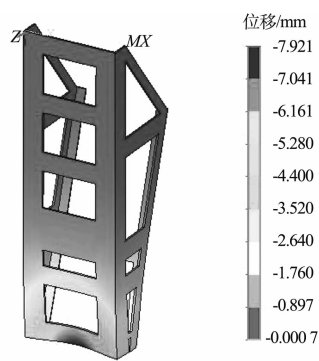


图 4 粘贴钢板部分位移云图

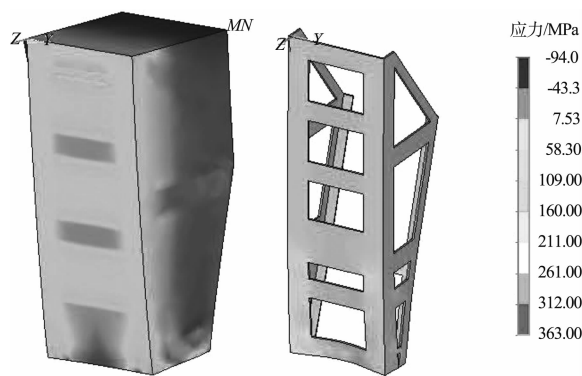


图 5 原靠船构件及粘贴钢板部分最大主应力云图

可见,角钢端部的最大位移约为 8 mm;而原靠船构件及钢板部分的最大主应力均在强度范围以内,其中,悬臂钢板根部截面最大拉应力约为 110 MPa,小于材料的容许拉应力 205 MPa。此外,原靠船构件底缘混凝土局部及钢板与角钢连接部位因应力集中而存在较大挤压应力,可通过构造工艺缓解该应力集中问题。

4 改造施工

改造设计和验算结果表明,通过在靠船构件粘贴角钢方案可解决加长 1 m 的结构使用和受力要求。改造及加固施工主要包括角钢及钢板预制、钢结构焊接、钢板粘贴安装、钢结构防腐等关键工序。

待角钢预制并安装完成后对钢结构局部再做一遍防腐,验收合格后重新安装橡胶护舷,即可交工验收。改造前后的靠船构件见图 6。



a) 加固改造前



b) 加固改造后

图 6 靠船构件

5 结语

设计验算和施工实践表明,通过在混凝土结构表面粘贴角钢的方案解决了珠海某拖轮码头靠船构件向下延伸 1 m 的改造要求。改造后靠船构件由于船舶撞击力的力臂增大对码头横梁等结构会产生不利影响,为此将角钢向上延伸粘贴 1 m 进行加固,以解决原靠船构件及横梁悬臂端部安全储备不足的问题。该工程后期跟踪回访表明,3 a来码头运营正常、钢结构主体完整。可见,对此类非常规改造工程,角钢粘贴法是一种有竞争优势的备选方案。

参考文献:

[1] JTS 311—2011 港口水工建筑物修补加固技术规范[S].
[2] JTS 153-3—2007 海港工程钢结构防腐蚀技术规程[S].
[3] CECS 25-90 1991 混凝土结构加固技术规范[S].

(本文编辑 武亚庆)