

开敞式蝶形石油码头结构修复设计

肖颖, 徐鑫, 黄顺深

(中交广州水运工程设计研究院有限公司, 广东 广州 510300)

摘要: 随着社会的发展, 对石油能源的需求不断增加, 驱动化工码头不断向外海扩建, 由于所处工作环境的特殊性, 以及船舶向大型化发展, 导致码头结构受损破坏的现象也时有发生。本文主要以海南某石油码头修复工程为例, 对码头结构的受损检测、受力计算、修复设计以及施工工艺几个方面进行研究。依据检测结果与合理的设计规范, 针对桩基、墩台和联系桥等损坏构件进行力学计算, 结合安全、经济与环保的原则, 对桩基修复和构件裂缝修复提出合理的修复方案, 为同类工程提供参考。

关键词: 石油码头; 施工工艺; 桩基修复; 裂缝修复

中图分类号: U656.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2021) 11—0074—03

经济的高速发展和石油能源需求的日益增加, 驱动我国建设了大量的液体化工码头。随着现代船舶向大型化、深水化发展, 化工码头也从内陆作业区向开敞式外海扩建。一方面, 外海水深浪大环境较为恶劣, 伴随船舶进出港频率增加, 容易导致船舶停靠时失控撞到码头平台的事。另一方面, 部分港口年代久远, 水工结构设计和材料抗腐蚀性难以抵抗船舶撞击力, 导致码头结构受损破坏现象也时有发生。

基于受力合理、造价经济等因素, 液体化工码头常采用弹性好、透性好、波浪反射轻的蝶形平面高桩结构, 同时增加了码头构件损坏的风险也提升了码头修复的难度^[1-2]。张浩等^[3]对高桩码头水上水下结构加固、混凝土裂缝修复和钢筋锈蚀补强等方面的传统做法和研究现状做了总结及分析。戴海新^[4]研究指出结构裂缝的修补首先要确定裂缝成因再选择合适的修补材料和方法。杨帅^[5]等研究表明, 水下接桩和增设灌注桩均能满足桩基结构修复需求, 两者在施工难度和修复费用上存在明显差异。受制于原有结构和损坏机理等因素不同, 目前尚无统一的修复技术与方案。本文以海南省某石油码头受到船舶撞击后码头结构的修复工程为例进行阐述, 为类似开敞式蝶形桩基码头遭遇船舶撞击的修复提供参考。

1 工程概况

工程位于海南省澄迈县, 5000 t 级油轮泊位主要以柴油和燃料油为主。码头平面为左右对称的蝶形布置, 采用墩式结构, 中部设有 2 个 22 m × 8.5 m × 4 m 的工作平台, 两侧分为东西两个结构段, 东、西结构段各有 2

个 7 m × 7 m × 4.5 m 的系缆墩, 1 个 7 m × 7 m × 4.5 m 的靠船墩。工作平台与墩之间采用 7.5 m × 2 m × 0.5 m 预制安装混凝土实心板连接; 工作平台与工作平台之间采用现浇混凝土空心板连接, 墩与墩之间采用 27 m × 2 m 预应力 T 型梁连接; 工作平台采用 16 根预应力方桩作为基础, 靠船墩和系船墩采用 8 根预应力方桩作为基础, 上部均为钢筋混凝土现浇墩台, 引桥长度为 558 m, 宽为 6 m。码头平面布置见图 1。

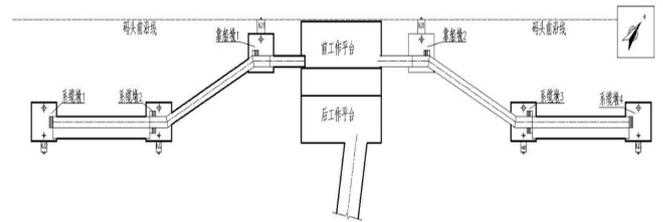


图 1 码头平面布置

2 构件损坏原因及检测结果

2.1 构件损坏成因与检测方案

2020 年 4 月 22 日, 因强对流天气影响, 码头泊位所停靠船舶侧面撞击东侧水工结构, 导致码头受到严重破坏, 其中东侧结构有明显撞击损坏特征, 主要包括前工作平台与靠船墩 2 连接板、靠船墩 2 墩台及下部基桩、靠船墩 2 与系缆墩 3 之间的 T 型梁等构件损毁掉入海中, 工作平台及西码头水工结构也存在构件损伤。

检测主要分为水上构件外观检查和水下基桩摸探检测。外观检查主要对码头撞击受损区域及影响区域的外观质量进行检查, 并混凝土构件的缺陷状况进行统计记录; 水下基桩检测主要对码头基桩进行全面检查, 并记录水下缺陷情况。

2.2 构件检测结果

东码头：前工作平台与靠船墩 2 连接板、靠船墩 2 墩台及下部基桩、靠船墩 2 与系缆墩 3 之间的 T 型梁等构件损毁掉入海床底部；靠船墩 2 上附属设施如系船柱、消防炮、炮塔整体坠入海中；上部管线（消防管线、油管）等折断损坏；面层混凝土有破损、护栏破坏。

西码头：前工作平台与靠船墩 1 西侧结合处有长 1050 mm 宽 50 mm 裂缝；靠船墩 1 与系缆墩 2 连接 T 梁结合部位 10 mm~40 mm 宽度不等的裂缝，侧翼缘有 170~200 mm 间隙且有不同程度的偏移。

工作平台：工作平台前沿靠船构件橡胶护舷开裂破损，固定螺丝松动；靠船构件出现横向开裂；护栏破坏。

码头受损现场见图 2。



图 2 码头连接桥受损现场图

2.3 基桩检测结果

靠船墩 2 下部 8 根基桩完全损毁，另 10 根桩头处有胀裂、纵向裂缝、剥落松动等缺陷，1 根基桩存在轻微缺陷，其余基桩与上部结构结合情况良好。码头基桩布置见图 3。

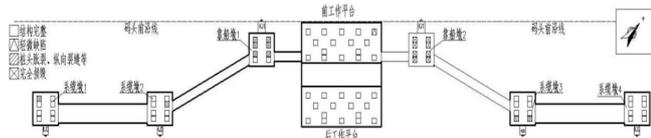


图 3 码头基桩布置图

3 修复设计方案

3.1 设计原则

依据检测结果，因工作平台、西码头损坏程度较小，同时考虑到经济等因素，对其进行修复补强；对于东码头靠船墩、联系桥，因其损坏程度较大，且严重影响到港口质量等级和安全可靠性，依据相关规范重新设计结构。设计时考虑由于结构的变化而引起的附属设施的变化，但不对原结构的平面布置、范围、建筑标准和规模指标等作出实质性的改变。

3.2 码头结构修复方案

3.2.1 靠船墩结构

根据相关技术规范并保障修复的主体结构配套功能设施完整，方便后期使用和管理。首先对码头结构进行了调整，平面方案基本与原码头平面布置保持一致，采用蝶形布置。在原有码头基础上，沿码头前沿线向东侧移动 3.5 m，新建靠船墩 2 个，尺寸为 7×9.5 m，高 4.5 m，墩台岸侧设置牛腿结构。靠船墩 2 下部共设置 8 根直径为 800 mm 桩壁厚为 16 mm 的钢管桩，靠船墩 2 上部结构为现浇混凝土结构，桩基伸入墩台不少于 800 mm，并设置桩芯混凝土强度为 C40。

3.2.2 联系桥结构

工作平台与靠船墩之间的联系桥部分修复，为了让码头能早日投入运营节约成本，将原本预应力 T 梁结构更换为便于制作安装，无需大型预制场地，且透水性好，重量轻，结构新颖，生产工艺先进的钢引桥结构。新建靠船墩 2 与前工作平台之间用 13 m×2 m 钢引桥连接，通过计算分析模型进行规范检验，应力比最大值为 0.29；新建靠船墩 2 与原系缆墩 2 采用 23 m×2 m 钢引桥连接，通过计算分析模型进行检验，应力比最大值为 0.33；检验结果表明两座钢引桥结构均能满足承载力计算要求。钢引桥均通过预埋螺栓与支座墩联结。码头结构设计方案见图 4。

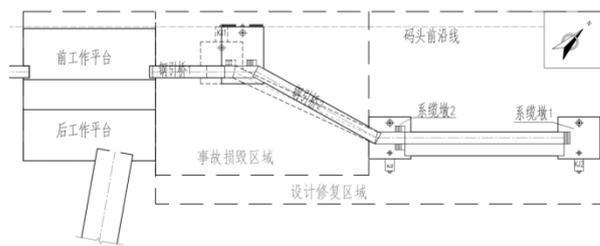


图 4 设计方案结构布置图

3.3 桩基修复方案

桩基作为高桩码头的基础结构，桩基的破损会对码头结构的安全造成影响，因此对有裂缝桩基采用裂缝封闭修补法进行修复：先清理桩基表面附着的海洋生物，根据裂缝的走向在裂缝的两侧用水下风动金刚石锯开两道切割线；并在两切割线内用气凿凿开宽 2 cm 深 3 cm 的 U 型凹槽；岸上配置好环氧修补胶，然后由潜水员带至修补部位，将修补胶一次或分次压入凹槽内使其略高出槽面，再抹平整，在已填充修补胶的裂缝表面放置一层橡胶垫，使用胶带绑紧与桩身上，当裂缝修补完

毕 24 小时后, 可拆出橡胶垫。

对于破损的桩基结构若采用加桩方案, 首先需要将对码头现有的上部结构进行拆除, 且新增桩基费用较高, 不仅增加了码头的施工成本, 还会对码头的运营产生影响; 考虑使用现浇混凝土包覆法修复: 先清理桩基周围的海洋生物, 利用水下设备对桩基表面进行清洗、凿毛, 凿除松散混凝土; 新增受力钢筋、锚筋, 逐条焊接或绑扎钢筋笼。锚筋与箍筋在缺陷中心一定范围处适当加密, 加密间距为 200mm; 在桩基缺陷中心以下 3m 处安装钢抱箍作为模板底部支撑, 然后在缺陷中心上下 3m 的范围内安装模板, 最后安装导管并浇筑水下混凝土。

通过该方法修复桩基结构, 可使桩基恢复到原有尺寸或局部加大截面尺寸, 从而保证桩基的耐久性。桩基修复加固方案如图 5。

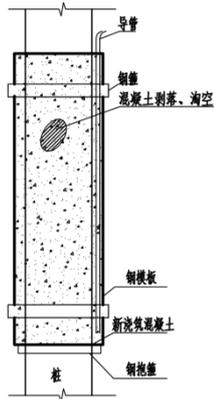


图 5 桩基修复加固方案

3.4 混凝土构件裂缝修复

对混凝土构件表面出现的无锈迹裂缝, 根据《港口水工建筑物修补加固技术规范》相关规定及设计要求。

(1) 对于宽度大于 0.3 mm 的无锈迹裂缝或贯穿性无锈迹裂缝这类非耐久性破损裂缝, 采用化学灌浆法进行维修: 首先清除混凝土裂缝表面松散物和缝内异物, 再按 200 ~ 500mm 间距使用钻孔法或粘贴法沿缝的两侧斜向成孔设置灌浆嘴, 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; 裂缝进行密封处理后再通过压气检查连通和密封效果; 再使用 0.2~0.8 MPa 的压力进行灌浆, 其中灌浆液的配置应根据固化时间及灌浆速度随配随用; 待浆液固化后, 拆除灌浆嘴并进而对混凝土表面进行修整。

(2) 当非耐久性破损裂缝宽度为 0.2 mm ~ 0.3 mm 时, 采用封闭修补法进行维修: 采用机械或人工方法, 沿裂缝走向骑缝凿深度不小于 30mm 和宽度不小于

20 mm 的 U 型凹槽; 清除槽内松散层、油污、浮灰及其他不附着物; 准确称量、拌制封缝材料, 一次或分次压入 U 型槽内使其略高出槽面, 并抹平修整。

项目在对各混凝土构件缺陷修补后, 需粘贴碳纤维布、U 型箍和压条, 弥补所需的承载力。同时, 对码头结构各构件局部混凝土表层破损深度不超过钢筋保护层的混凝土构件选用聚合物水泥砂浆进行修补; 对混凝土表面出现砂斑、砂线、蜂窝以及麻面表层裂缝缺陷的构件采用防腐涂料, 聚合物水泥砂浆、环氧水泥砂浆等修复。

3.5 附属设计修复

针对护舷修复, 拟采用更换脱落缺失的护舷的方法对其进行修复; 工作平台及东侧部分损坏缺失的栏杆, 需修复。栏杆采用 304 不锈钢材料, 与码头现有栏杆保持一致, 并为之平顺连接。

4 结语

随着社会经济发展需要和海岸资源限制, 我国化工码头也将由建设为主转变为管养为主, 也意味着越来越多的化工码头结构需要加固维修。码头结构的加固维修不仅要考虑工作环境的特殊性, 还要考虑维修后的耐久性。本文结合工程实例从桩基修复和构件裂缝修复介绍了切实可行的加固维修方案, 加固维修后的石油码头, 效果良好, 采用的修补技术经济、环保、有效, 为码头长期安全运营提供保障。

参考文献:

- [1] 宋伟华, 叶剑, 费达, 等. 蝶形布置油码头平面设计要点 [J]. 水运工程, 2021(03): 70-73+82.
- [2] 郑洁, 杨帆. 高桩码头修复加固设计案例研究 [J]. 中国水运 (下半月), 2020, 20(10): 99-100.
- [3] 张浩, 黄长虹. 高桩码头加固修复现状分析 [J]. 珠江水运, 2018(19): 97-99.
- [4] 戴海新. 上海徐汇滨江老码头结构修复、加固设计 [J]. 水运工程, 2013(02): 86-90.
- [5] 杨帅, 郑龙. 某高桩码头船撞区域加固修复方案对比分析 [J]. 港工技术, 2020(S1 vo 57): 63-66.