



前板桩高桩梁板码头升级改造技术

徐明磊, 邹建强, 詹广才

(中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东 广州 510230)

摘要: 针对带前板桩高桩梁板码头的升级改造问题, 基于旧码头耐久性检测评估结果进行升级改造研究。采用对旧码头构件破损露筋、裂缝周围混凝土凿除并重新浇筑, 表面用碳纤维布加强, 对Ⅲ类桩基采用补打灌注桩并与原有结构连成整体等加固措施, 同时, 针对前板桩高桩梁板码头的结构特点, 结合升级改造后码头水深条件、靠系泊设施、使用荷载等各种因素, 采用在码头后方新建10 m宽高桩平台与原码头连接成整体受力的方案, 成功将原5 000吨级码头升级为30 000吨级, 对类似升级改造工程具有借鉴意义。

关键词: 前板桩; 高桩码头; 升级改造; 检测

中图分类号: U 656.1⁺13

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2021)04-0070-05

Upgrading technology of suspended jetty with front sheet pile

XU Ming-lei, ZOU Jian-qiang, ZHAN Guang-cai

(CCCC-FHDI Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510230, China)

Abstract: Based on the results of the durability test and evaluation of the old jetty, we study the upgrading of the suspended jetty with front sheet piled. Adopting the reinforcement measures such as removing and repairing the damaged concrete and cracks of the old jetty, strengthening the surface with carbon fiber fabric, and constructing cast-in-situ pile to replace class III pile foundation and connecting it with the old structure as a whole, and based on the characteristics of the piled jetty with front sheet pile, according to various factors such as the water depth, mooring facilities, service load, etc. after the upgrading and reconstruction, we upgrade the old 5,000 DWT jetty to 30,000 DWT by construction a new 10 m-wide rear platform to connect the old and new structures as a whole. The application of this technology may serve as a reference for similar upgrading projects.

Keywords: front sheet pile; suspended jetty; upgrading; testing

目前, 国内部分建造年代较早的老港区的码头靠泊能力已无法满足港口发展需求, 急需升级改造^[1], 提高能力以适应运输船舶的大型化趋势。而水域狭窄的港区往往采用前板桩高桩梁板码头结构。它结合了板桩和高桩梁板结构的优点, 具有占地小、投资少、抗冲刷性强、耐久性好等特点, 前板桩墙用于挡土和缩短护岸长度, 并节省水域面积。因此, 对前板桩高桩梁板码头结构升级改造进行研究十分必要。

本文以东莞某前板桩高桩梁板码头为例, 通

过对原结构的检测与评估, 对旧码头结构耐久性进行评价, 提出对旧码头构件破损露筋、裂缝周围混凝土凿除并重新浇筑, 表面用碳纤维布加强, 对于Ⅲ类桩基采用补打灌注桩并与原有结构连成整体受力的加固措施。同时, 因除护舷和系船柱更换为较大型号外, 门机和码头面使用荷载未增加, 采取在码头后方新建10 m宽高桩平台与原码头连接成整体受力的方案, 成功将原5 000吨级码头升级为30 000吨级, 对类似工程具有借鉴意义。

收稿日期: 2020-07-03

作者简介: 徐明磊(1982—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事港口航道工程设计工作。

1 原码头概况

原码头主要装卸货种为集装箱、件杂货及部分散货, 原设计为 5 000 吨级多用途泊位, 码头顶面高程为 3.0 m。码头结构为前板桩高桩梁板形式^[2], 码头前沿打设 1 排 400 mm×500 mm 混凝土板桩墙用于挡土, 横向排架间距 7 m, 码头分 3 个结构段, 其中 53 m 的结构段 2 个, 88 m 的结构段

1 个。每榀排架共设 5 根 500 mm×500 mm 预应力钢筋混凝土空心方桩, 靠近码头前沿的门机轨道梁下设 2 根直桩, 后方门机轨道梁下设 2 根斜桩, 排架中间为 1 根直桩。方桩上现浇桩帽, 前排板桩现浇帽梁连接为整体, 排架上部结构为纵、横梁结构, 梁上铺设面板。码头后方现浇混凝土挡土墙, 其后回填砂。原码头典型断面见图 1。

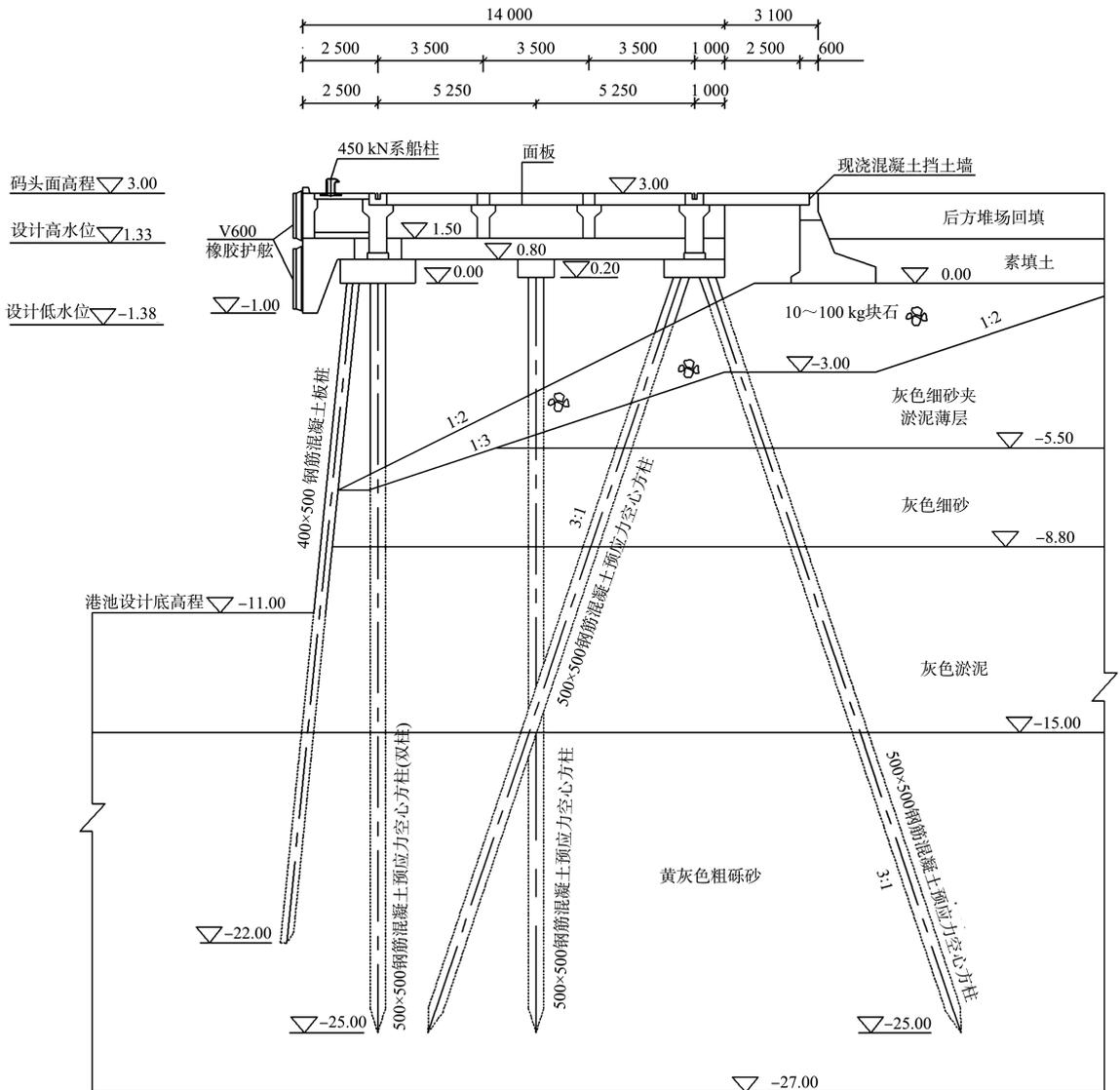


图 1 原码头典型断面 (高程: m; 尺寸: mm)

1.1 地质条件

主要土层从上至下依次为素填土、灰色细砂夹淤泥薄层、灰色细砂、灰色淤泥、黄色粗砾砂、强风化砂岩等。主要土层参数见表 1。

表 1 主要土层参数

土层	湿密度/(t·m ⁻³)	内摩擦角/(°)	黏聚力/kPa
灰色细砂夹淤泥薄层	1.91	22.0	0
灰色细砂	1.95	22.2	0
灰色淤泥	1.60	15.0	10
黄灰色粗砾砂	1.85	36.0	0

1.2 上部使用荷载

1) 均布荷载。码头前沿 30 m 内均布荷载为 30 kPa, 码头前沿 30 m 以外(后方)均布荷载为 60 kPa。

2) 门机荷载。最大轮压 250 kN, 轮子间距 0.765 m, 行走轮总数 32 个; 轨距 10.5 m, 基距 10.5 m。

3) 流动运输机械。跨运车(最大轮压 120 kN)、集装箱拖挂车、叉车。

1.3 码头结构检测结果

码头结构检测内容: 1) 混凝土强度: 用回弹法检测码头结构构件的混凝土强度; 2) 外观: 检查受损位置及附近构件表面、构件衔接部位以及靠船缓冲设施, 明确受损情况; 3) 结构无损探伤: 对表面开裂或可疑位置采用超声波无损探伤, 明确破损程度; 4) 桩基: 采用低应变法检测桩基础完整性, 判断桩基础是否受损。

检测结果显示: 码头主体结构混凝土构件的耐久性状况较好, 混凝土构件的强度和钢筋保护层厚度均可满足要求, 码头主要结构构件的混凝土主筋位置的氯离子^[3]含量未达到致使钢筋锈蚀的临界值, 构件钢筋锈蚀半电池电位测试结果显示目前构件发生锈蚀的几率较小, 码头上部结构构件使用状况基本完好。但是码头结构混凝土构件已有一定程度的碳化, 附属设施护轮坎局部位置破损、个别护舷开裂及其固定螺栓和垫片缺失, 系船柱及其固定螺栓发生锈蚀。因此, 要对少数构件的破损和开裂处进行修补, 并对锈蚀螺栓采取防腐措施, 避免对结构的安全性和混凝土构件的耐久性产生严重不利影响。

码头使用情况良好, 未发生较大沉降和位移, 混凝土板桩下部与泥面结合部情况良好, 未发现淘空和漏沙现象。

1.4 码头结构受力

原高桩梁板码头结构主要承受系缆力、撞击力等水平荷载及码头面使用荷载, 门机荷载产生

的竖向力主要由前轨道梁下双桩基础承受, 前混凝土板桩主要起挡土作用, 前板桩受力及高桩结构桩基水平弹簧根据 JTS 167—2018 《码头结构设计规范》第 5、6 章确定设计参数, 原码头结构简化计算模型见图 2。

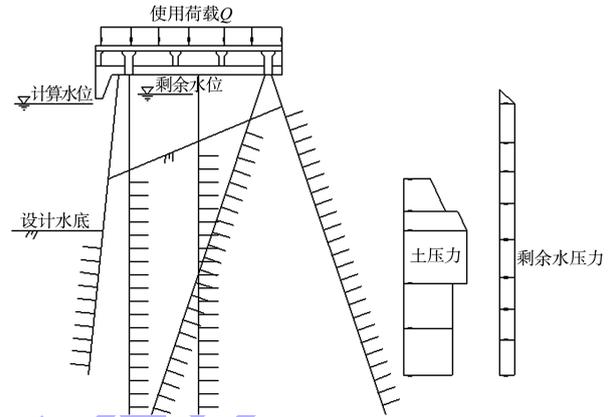


图2 码头结构受力计算简图

从工程结构断面图可知, 前板桩后方每个排架设有 5 根桩基, 且前轨道梁基础为双桩结构, 由于桩基遮帘作用而使得板桩墙上土压力有所减小, 在本工程计算模型中未考虑桩基遮帘作用。

2 升级改造方案

2.1 总体设计思路

1) 已有码头结构修补、升级改造。

根据检测报告和靠泊能力复核的结果, 对码头橡胶护舷和系船柱进行统一更换, 橡胶护舷型号更换为 CY1000H×2500L, 系船柱型号更换为 750 kN, 并将港池底高程疏浚至 -13.2 m; 对于码头部分结构段出现的混凝土破坏露筋之处, 修补时外露钢筋应除锈并喷涂防锈剂, 裂缝周围混凝土应凿除并重新浇筑, 表面用碳纤维布加强; 对于其中部分桩基, 考虑采用补打灌注桩并与原有结构连成整体受力的加固方式; 对于桩与桩帽连接处部分存在开裂、错位、桩头斜向开裂的情况, 采取加大桩帽与桩基连成一个整体受力的加固方式, 见图 3。

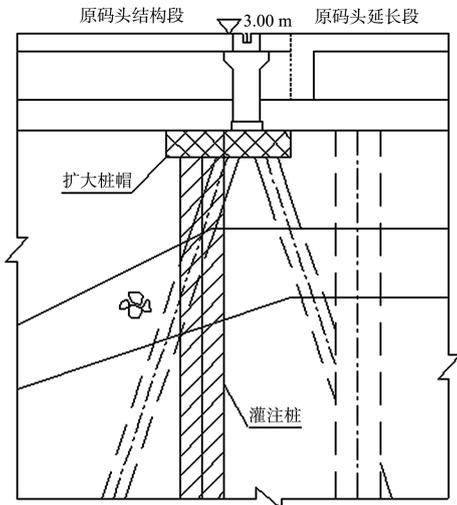


图 3 补打灌注桩及扩大桩帽

2) 新建后方高桩平台并与原码头结构连接成整体受力。

结合原码头结构检测评估结果, 考虑到除护舷和系船柱更换为较大型号、港池疏浚至-13.2 m 外, 门机和码头面使用荷载未增加, 采取在码头后方增加新建 10 m 宽高桩平台与原码头连接成整体受力的方案, 以增强横向排架刚度, 达到抵抗更大水平力的目的。上部结构桩横梁、纵梁、面板均为现浇结构, 排架间距为 7 m, 每榀排架由 2 根直桩组成, 桩基采用 $\phi 1\ 000$ mm 的灌注桩, 升级改造后典型断面见图 4。

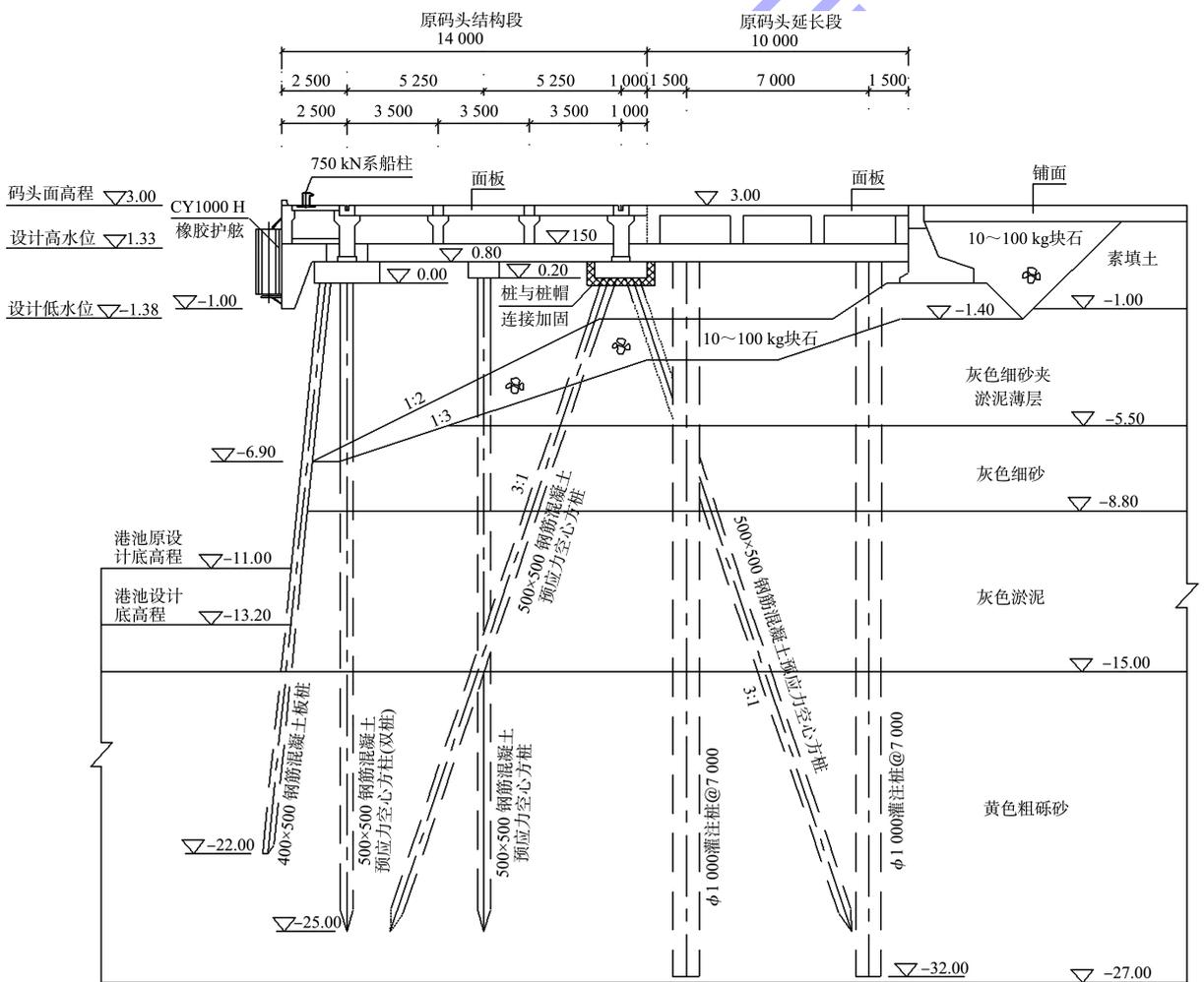


图 4 升级改造后码头典型断面 (高程: m; 尺寸: mm)

2.2 改造后码头结构受力

原码头结构增加后承台与原结构连成整体后, 其受力模式基本不变, 增加后承台从而增强横向

排架刚度, 以达到增大水平力抵抗能力的目的, 其计算模型见图 5。

码头检测未发现前板桩明显漏土现象。为避

免港池冲刷或超挖、淤泥因板桩墙变形或破损造成外泄等对码头结构的安全性影响, 结构计算时考虑港池冲刷深度 0.5 m。

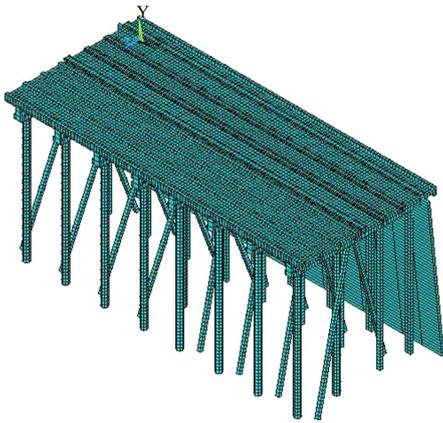


图 5 结构有限元模型

2.3 结构验算及结果

2.3.1 码头结构计算结果

码头结构主要计算持久状况下承载能力极限状态和正常使用极限状态下的桩力^[4]、横梁、轨道梁、纵梁、面板、板桩的弯矩、剪力, 并验算桩基的承载能力与板桩踢脚稳定性^[5]。码头排架按 JTS 167—2018 《码头结构设计规范》第 5、6 章中相应的结构形式简化, 采用专业的通用有限元软件和港口工程专业软件进行计算分析, 码头结构计算结果见表 2~6。

表 2 码头平台面板计算结果

效应组合	持久组合	
	跨中弯矩/ (kN·m·m ⁻¹)	支座弯矩/ (kN·m·m ⁻¹)
承载能力极限状态	77.3	-102.9

表 3 码头纵、横梁内力计算结果

梁	效应组合	弯矩/(kN·m)		最大剪力/kN
		最大	最小	
纵梁	承载能力极限状态	875.60	-826.55	777.00
	正常使用极限状态	458.30	-456.20	-
横梁	承载能力极限状态	1 919.30	-900.30	1 525.60
	正常使用极限状态	1 095.30	-385.80	-

表 4 400 mm×500 mm 混凝土板桩计算结果

效应组合	最大板桩 弯矩/(kN·m)	计算配筋/ mm ²	实际配筋/ mm ²	结论
承载能力极限状态	290.2	4 417.9	As=5 890.0	满足
正常使用极限状态	207.3	-	裂缝 0.2 mm	满足

表 5 400 mm×500 mm 钢筋混凝土板桩墙的踢脚稳定计算结果

荷载组合	转动弯矩设计值/ (kN·m·m ⁻¹)	稳定力矩设计值/ (kN·m·m ⁻¹)	结论
	剩余水压力+自重	-10 176.64	
剩余水压力+自重+地面荷载	-12 565.54	46 600.05	满足

表 6 灌注桩基计算结果

效应组合	最大轴力/ kN	最大弯矩/ (kN·m)	单桩垂直极限 承载力设计值/kN	结论
承载能力极限状态	2 798.3	510.5	3 075.8	满足

2.3.2 码头整体位移对比

改造前、后码头使用期最大位移见图 6。

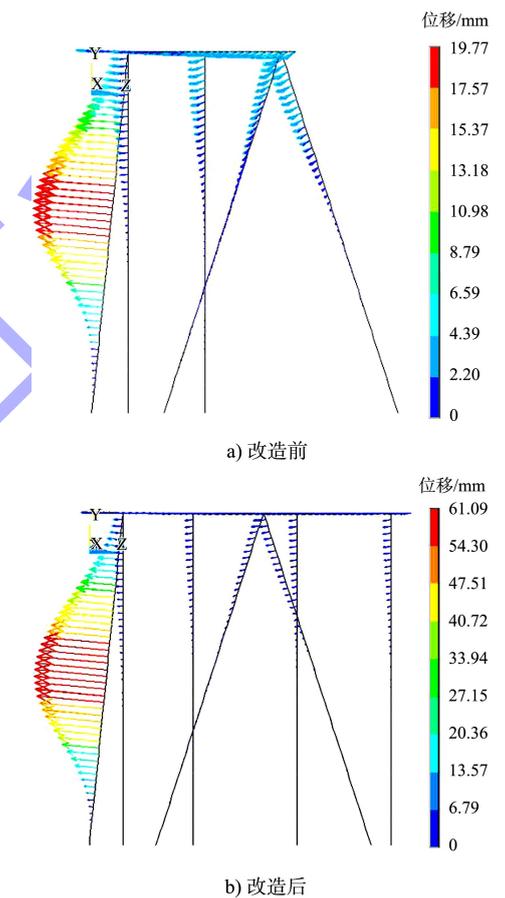


图 6 改造前、后码头使用期最大位移

计算结果显示, 改造前、后码头使用期最大位移分别约为 20 和 61 mm, 且均发生在前板桩。由于改造升级后码头系缆力增大, 且港池底高程由 -11 m 浚深至 -13.2 m(计算时再额外考虑冲刷深度 0.5 m), 前板桩墙后土压力显著增大, 导致码头整体位移增大, 而通过增加后承台并与原结构连成整体以提高码头抵抗位移能力, 计算结果表明码头整体位移满足规范要求。综上所述, 经计算升级改造后的码头结构均满足规范要求。(下转第 96 页)