



高桩码头结构新型加固改造方案设计

杨荣君, 秦武, 沈斌, 李增光, 金颀臻

(中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 上海 200032)

摘要: 为提升码头靠泊能力, 对某集装箱码头进行加固改造设计。针对其前、后平台横梁位于同一轴线上的特点, 提出采用铰接传力杆连接前、后平台的新型改造方案。并采用Easydoing和Robot等计算软件, 对码头改造前后进行内力分析和传力杆计算。分析结果及传力杆现场实测结果表明, 新型改造方案能改善码头结构受力情况, 满足其超设计船型的靠泊要求, 并且连接前、后平台方案施工方便, 工期短, 对正常生产影响小, 造价低, 为码头加固改造设计提供了一种新的思路。

关键词: 高桩平台; 加固改造; 传力杆; 前后平台铰接连接

中图分类号: U 656.1⁺35

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)10-0122-06

New design scheme of reinforcement and reconstruction for pile-supported wharf

YANG Rong-jun, QIN Wu, SHEN Bin, LI Zeng-guang, JIN Jie-zhen

(CCCC Third Harbor Consultants Co., Ltd., Shanghai 200032, China)

Abstract: In order to improve the berthing capacity, we carry out the reinforcement and reconstruction design to a container terminal. Considering that the beams on both the front and the back of the pier lies on one axis, we propose a new solution in which the front and the back of the pier are hinged by the dowel bar. Software Easydoing, Robot, etc. are used for the internal force analysis of the pier structure before and after the reconstruction. It is concluded from the analysis and the results of the dowel-bar test site that the new solution of reinforcement and reconstruction can surely improve the stress distribution of the pier structure. The reinforced and reconstructed pile-supported pier can meet the berthing requirement for all vessel types. In addition, the front and the back of the pier being hinged together have the advantages as more construction convenience, shorter construction period, less effect on routine operation and lower cost. The solution proposed also provides a new thought for the design of the reinforcement and reconstruction.

Key words: pile-supported jetty; reinforcement and reconstruction; dowel bar; linking the front pier and back pier with the hinge joint

根据近10年来船舶大型化的发展趋势, 我国部分沿海码头泊位等级偏低的问题越来越突出, 而国内沿海优良深水岸线日趋减少, 提升泊位靠泊能力成为当前港口发展的重要课题, 因此, 以提高码头靠泊能力为目的的码头结构加固改造成为当前港口建设的重要组成部分。

高桩码头改造的内容和结构形式多种多样, 目前国内针对提升码头靠泊能力的结构加固改造

方案主要分为2种技术路线, 即结合式改造方案和分离式改造方案^[1-2]。

1) 结合式改造方案主要通过增加码头节点和桩基, 改造扩大码头原节点、横梁和轨道梁, 提高原结构的整体水平承载能力。该方案在江苏省镇江大港一期码头、宁波港镇海港区4[#]泊位等工程中已成功应用。

2) 分离式改造方案针对老码头结构单薄、

收稿日期: 2013-08-10

作者简介: 杨荣君(1975—), 男, 高级工程师, 从事港口水工建筑物设计工作。

拟靠船舶等级大的特点,采用新增大型船舶系、靠船设施,与老结构相脱离、单独受力的改造思路。本方案在张家港13[#]、14[#]泊位已成功应用。

以上2种技术路线都必须增加桩基,同时要拆除部分面板以方便桩基施工,因此施工难度大,造价高,对生产影响大。

本文以宁波港某5万吨级集装箱码头为研究对象,提出通过传力杆连接码头前、后平台,提高码头整体水平承载力的一种新型高桩码头结构加固改造方案。通过此技术改造,码头具备靠泊

10万吨级集装箱船的能力。本方案克服了以上2种技术方案的缺点,具有施工难度低、造价低、对生产几乎无影响的优势。

1 工程概况

1.1 结构条件

本工程为4个5万吨级集装箱泊位,于1992年10月竣工,泊位共900 m长,总宽40~47 m,其中前平台宽24.5 m,后平台宽15.5~22.5 m,有4座接岸引桥,码头面高程为7.00 m(吴淞零点为基准,下同),前沿水深-13.5 m(图1,2)。

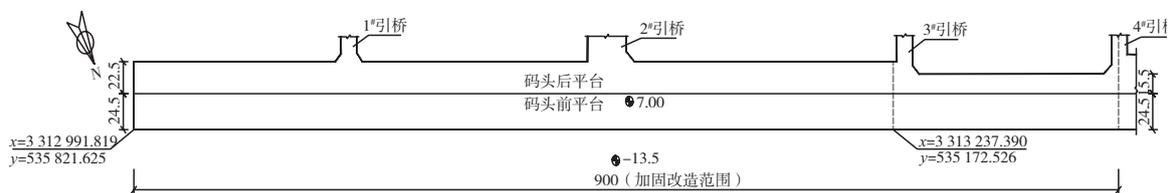


图1 原码头总平面

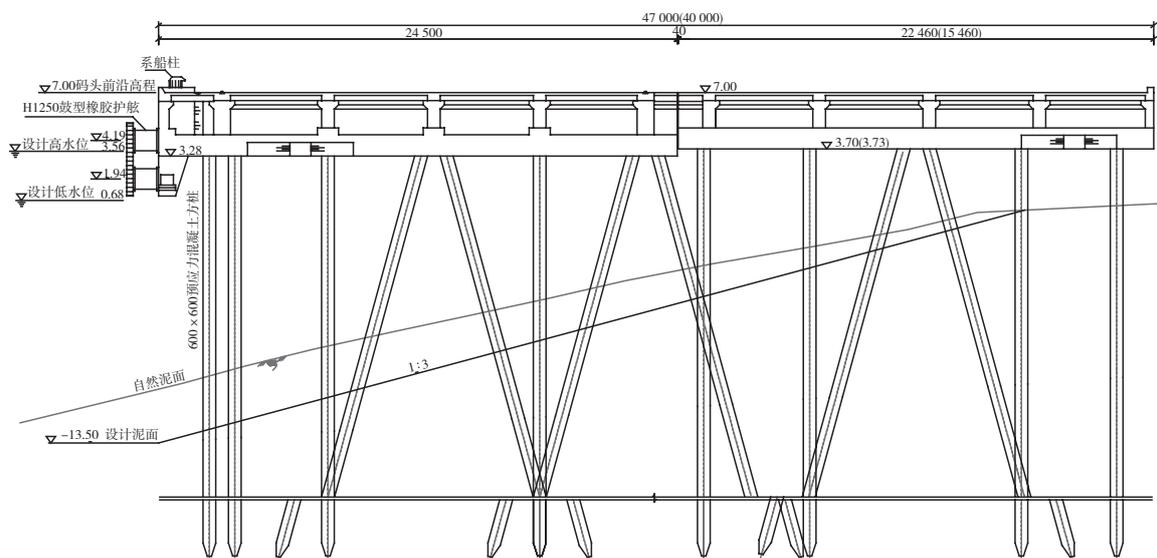


图2 原码头断面

码头为高桩梁板结构,前后平台横梁位于同一轴线,排架间距为6.5~7.5 m,上部结构为现浇横梁、预制轨道梁、纵梁以及预制加现浇迭合面板结构,基桩为600 mm×600 mm预应力混凝土方桩,前平台每榀排架布置7~9根桩(其中1~2对叉桩)。后平台每榀排架布置4~6根桩,每隔一榀排架至少有1对叉桩。系船柱为1 000 kN和1 500 kN,护舷为H1250鼓型橡胶护舷(两鼓一板)。

目前码头使用状况良好。检测评估报告表明,码头无明显位移沉降,构件混凝土强度高于原设计值,基桩均为Ⅰ类桩和Ⅱ类桩,主要构件的结构安全使用性、安全性、使用性评定等级均为A级,具备提升靠泊能力的基本条件。

1.2 设计船型及荷载条件

原设计船型为5万吨级的集装箱船,码头结构加固改造后按满载靠泊10万吨级集装箱船设计,

设计船型主尺度见表1。

表1 设计船型主尺度

设计船型	船长/m	船宽/m	型深/m	满载吃水/m
10万吨级集装箱船	346.0	45.6	24.8	14.5

注: 控制吃水13.15m。

根据交通运输部相关文件要求, 加固改造项目工艺荷载保持不变, 本码头工艺荷载仍按原有设备计算; 船舶荷载计算如下: 船舶法向靠岸速度取0.11 m/s, 靠泊能量为626.4 kJ, 按照现有1250H鼓型橡胶护舷(二鼓一板, 标准型)设计吸能量665 kJ, 护舷设计反力1 392 kN, 可满足10万吨级集装箱船满载时在设计靠泊速度下的吸能要求。码头直接受力系船柱数目选用 $n=8^{[3]}$, 系缆力标准值为1 330 kN, 原有部分1 000 kN系船柱需改造为1 500 kN系船柱。船舶挤靠力和横浪作用下的撞击力对结构不起控制作用。

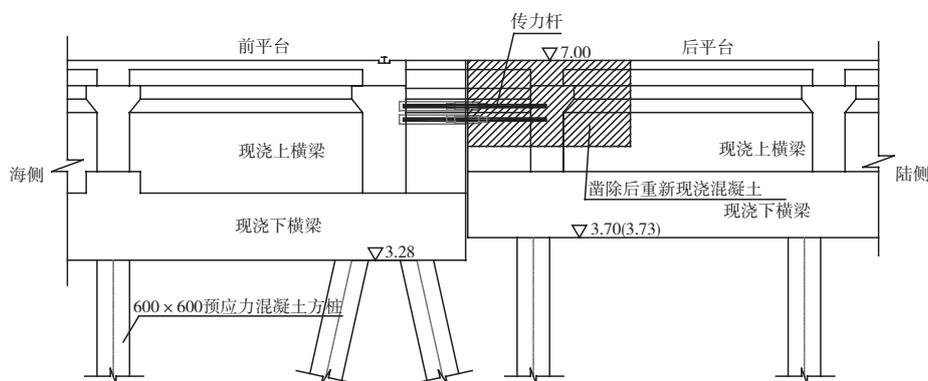


图3 传力杆连接前、后平台方案

2.2 方案计算

2.2.1 计算原则

1) 10万吨级集装箱船舶在限定条件下作业时, 码头上部工艺同原有设备参数计算, 系缆力增加为1 500 kN, 船舶荷载按第1.2节计算结果, 其它设计条件不变。

2) 码头结构简化为平面排架计算, 桩基采用假想嵌固点法, 其余假定同现行《高桩梁板设计与施工规范》^[4], 并采用Robot空间计算软件复核平面计算结果。

3) 对原码头前平台进行计算, 与前、后平台通过传力杆按照铰接连接在一起后的计算结果进

2 码头结构加固改造方案

2.1 方案设计

在码头上部工艺不改变的情况下, 水工结构改造的重点是增加码头承受水平荷载的能力。本码头拟通过传力杆连接前后平台, 充分发挥后平台的水平刚度提高码头整体水平承载力。

原码头分为前、后平台, 水平荷载仅由前平台承受, 后平台主要承受竖向荷载。由于前、后平台排架间距相同, 横梁中心位于同一轴线上, 且后平台布置有叉桩, 具有一定的水平刚度, 因此本方案将前、后平台横梁的交接处通过传力杆连接起来(图3), 使后平台能够承受一部分前平台传递的水平力, 充分发挥后平台的水平承载能力, 提高整个结构的承载能力; 同时在接缝处, 传力杆包裹一定厚度的防腐柔性材料, 允许前后平台有一定的上下、左右错动, 使传力杆只传递水平力, 不传递剪力及弯矩。

行对比, 验证前后平台连接之后的效果, 同时验证后平台承受前平台传递的水平力后是否满足承载力要求。

2.2.2 主要结构计算结果

1) 前、后平台水平刚度以及整体水平刚度。

分别给前、后平台和前后平台铰接连接之后的整体结构施加单位力, 计算出各自位移值, 得到各自的水平刚度分别如下。

前平台水平刚度: $K_1=96\ 154\ \text{kN/m}$;

后平台水平刚度: $K_2=49\ 213\ \text{kN/m}$;

整体水平刚度: $K=143\ 678\ \text{kN/m}$ 。

整体水平刚度值基本为前、后平台水平刚度

值之和, 整体水平刚度比前平台单独受力的水平刚度提高了49.4%。

2) 原码头前平台结构计算结果(设计值)。

①桩力。

原码头桩力见表2。

表2 原码头桩力(压桩)

桩号	原码头桩力/kN
桩1	2 984
桩2	2 616
桩3	1 994
桩4	2 388
桩5	2 619
桩6	2 307
桩7	2 741
桩8	3 809
MAX	3 809

注: 桩基承载力4 410 kN, 最大拉应力6.98 MPa。

②横梁内力及配筋。

原码头横梁内力及配筋见表3。

表3 原码头横梁内力及配筋

项目	横梁内力/(kN·m)	配筋	裂缝宽度/mm	斜截面抗剪承载力/(kN·m)
最大正弯矩	3 705	9 ϕ 28	0.183	
最大负弯矩	6 669	14 ϕ 28	0.160	
最大剪力	2 348	4 ϕ 12@300		3 240

注: 位移 7.2 mm。

③轨道梁内力及配筋。

原码头轨道梁内力及配筋见表4。

表4 原码头轨道梁内力及配筋

项目	轨道梁内力/(kN·m)	配筋	裂缝宽度/mm	斜截面抗剪承载力/(kN·m)
最大正弯矩	3 192	16 ϕ 25	0.14	
最大负弯矩	2 290	14 ϕ 22	0.15	
最大剪力	2 401	4 ϕ 12@350+ 2 ϕ 22(弯起筋)		2 507

3) 前、后平台连接后, 前平台的计算结果(设计值)。

①桩力。

前、后平台连接后, 前平台桩力见表5。

②横梁内力及配筋。

前、后平台连接后, 前平台横梁内力见表6。

表5 前、后平台连接后, 前平台桩力(压桩)

桩号	桩力/kN
N1	2 986
N2	2 617
N3	1 994
N4	2 147
N5	2 342
N6	2 313
N7	2 478
N8	3 443
MAX	3 443

注: 桩基承载力4 410 kN, 最大拉应力5.98 MPa。

表6 前、后平台连接后, 前平台横梁内力

项目	内力/(kN·m)
最大正弯矩	3 709
最大负弯矩	6 485
最大剪力	2 346

注: 位移 4.82 mm。

4) 前、后平台连接后, 后平台的计算结果(设计值)。

①桩力。

前、后平台连接后, 后平台桩力见表7。

表7 前、后平台连接后, 后平台桩力(压桩)

桩号	桩力/kN
N1	3 333
N2	2 390
N3	2 861
N4	2 787
N5	3 155
MAX	3 333

注: 桩基承载力4 410 kN, 最大拉应力3.13 MPa。

②横梁内力及配筋。

前、后平台连接后, 后平台横梁内力及配筋见表8。

表8 前、后平台连接后, 后平台横梁内力及配筋

项目	横梁内力/(kN·m)	配筋	裂缝宽度/mm	斜截面抗剪承载力/(kN·m)
最大正弯矩	4 418	15 ϕ 25	0.174	
最大负弯矩	4 571	12 ϕ 25	0.180	
最大剪力	2 099	4 ϕ 12@300		2 584

注: 位移 4.82 mm。

5) 计算结果分析。

从计算结果可以得出以下结论:

①前、后平台连接后, 整体水平刚度比前平台提高了49.4%, 位移值减小;

②前、后平台连接后, 前平台桩力小于连接前的值, 且满足承载力要求;

③前、后平台连接后, 前平台横梁内力小于连接前的值或与连接前的值相当, 且满足承载力和裂缝开展宽度的要求;

④前、后平台连接后, 后平台桩力满足承载力要求;

⑤前、后平台连接后, 后平台横梁内力满足承载力和裂缝开展宽度的要求;

⑥轨道梁内力不受前、后平台连接的影响, 其内力满足承载能力和裂缝开展宽度的要求。

总之, 前、后平台连接后, 结构总体受力有较大改善, 且满足加固改造船型靠泊要求。

6) 采用Robot空间计算软件复核平面计算结果。

原码头结构排架的桩基布置并不对称, 设置系船柱和护舷的排架的桩基多于其它排架, 为验证平面计算结果, 采用Robot空间计算软件对码头结构进行三维建模, 并进行有限元分析复核平面计算结果。

①原码头前平台结构三维模型如图4所示, 计算结果见表9。

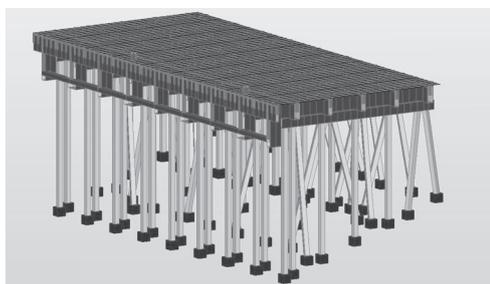


图4 原码头结构三维模型

表9 原码头结构Robot软件计算结果

最大桩力/kN	最大拉桩应力/MPa	横梁最大正弯矩/(kN·m)	横梁最大负弯矩/(kN·m)	横梁最大剪力/kN	位移/cm
3 416	-6.53	1 651	-2 074	2 879	1.11

②前、后平台连接后三维模型如图5所示, 计算结果见表10。

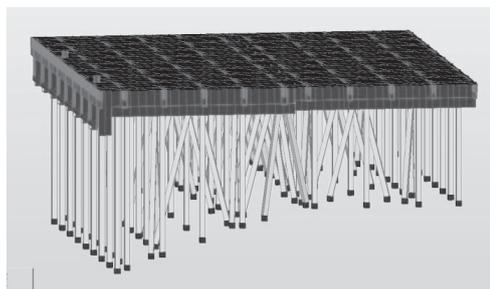


图5 连接前后平台方案三维模型

表10 前、后平台连接后, 前、后平台Robot软件计算结果

平台	最大桩力/kN	最大拉桩应力/MPa	横梁最大正弯矩/(kN·m)	横梁最大负弯矩/(kN·m)	横梁最大剪力/kN	位移/cm
前平台	2 957	-4.20	1 438	-2 329	2 505	0.74
后平台	3 689	-0.11	1 949	-3 850	2 340	0.74

从采用Robot空间计算软件复核的计算结果可以看出: 空间计算结论与平面计算类似, 前、后平台连接之后, 前平台横梁内力减小; 桩力及拉桩应力明显减小; 后平台桩力较大, 但仍在承载力允许值范围内; 位移值减小。结构整体受力有较大改善。

2.3 传力杆设计

1) 传力杆受力计算。

根据前文计算出的后平台水平刚度为 $K_2=49\ 213\text{ kN/m}$ 。把这个水平刚度作为水平约束施加到前平台上, 按照平面排架计算出前平台最大位

移为4.82 mm (此时前平台施加了后平台的水平约束, 相当于与后平台整体受力), 这个位移同时也是后平台的最大水平位移, 后平台刚度乘以这个位移值就是后平台所承受的水平力, 该力过传力杆传递过来, 也即传力杆的受力, 其值为: $49\ 213\text{ kN/m} \times 0.004\ 82\text{ m} = 237\text{ kN}$ 。

2) 传力杆结构。

拟采用HRB400 ϕ 40传力杆, 传力杆结构如图6所示。传力杆埋设在前、后平台的横梁内, 接缝处采用防腐蚀材料包覆, 防腐蚀材料外再包覆柔性材料, 包覆厚度不小于2 cm, 以保证前、后平

台可以上下、左右错动, 使之形成铰接连接, 只传递水平力, 不传递弯矩和剪力。

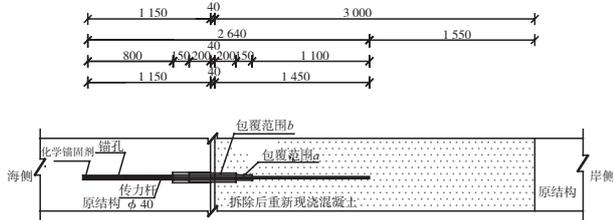


图6 传力杆示意图

3) 传力杆数量计算。

混凝土对传力杆的握裹力^[5]:

$$F = \frac{\pi d q_{Rk} l_a}{\gamma_d} = 93.23 \text{ kN}$$

由此可得传力杆数量: $237/93.23=2.54$ 根。为确保工程安全可靠, 每榀排架实取4根 HRB400 ϕ 40 传力杆。

4) 传力杆现场拉拔试验。

根据本工程现场拉拔试验结果, 单根传力杆抗拉荷载为388~398 kN, 远大于理论计算握裹力98.23 kN, 这也与理论计算时, 为工程安全起见, 取用的混凝土抗拉强度标准值较小(1.67 MPa)有关。从实验结果可以看出, 传力杆传递水平力效果有充分保证。

4 结论

1) 高桩码头加固改造时, 针对具有前、后平

台, 且前、后平台横梁在同一轴线, 后平台具有一定水平刚度的高桩码头, 可以考虑采用传力杆将前、后平台连接, 提高码头整体刚度, 从而提高码头水平承载力。这种方案较业已成熟的其他增加桩基或增加系、靠船墩台加固改造方案, 具有施工面小、不影响码头正常作业、原结构拆除量小、工期短、投资低的优点, 为高桩码头加固改造设计提供了一种新思路。

2) 本工程采用传力杆连接前、后平台, 传力杆需植入前、后平台横梁端部, 仍需开凿一部分横梁混凝土。可以考虑采用其他方式连接前后平台, 以尽量避免开凿混凝土, 如在前、后横梁端部沿码头纵向开洞, 采用大直径钢棒穿入洞内, 然后分别在横梁两侧采用可调节长度的大直径拉杆连接2根钢棒的两端, 钢棒及拉杆应做好防腐措施, 连接点需保证较小间隙。

参考文献:

- [1] 李增光, 吴辉. 长江下游桩基码头结构改造问题研究[J]. 水运工程, 2011(1): 181-186.
- [2] 华晓敏, 周晓春, 李增光. 镇江港大港区2#~5#泊位码头结构加固改造工程设计[J]. 水运工程, 2011(10): 71-75.
- [3] JTS 144-1—2010 港口工程荷载规范[S].
- [4] JTS 167-1—2010 高桩码头设计与施工规范[S].
- [5] JTS 167-4—2012 港口工程桩基规范[S].

(本文编辑 郭雪珍)

· 消 息 ·

首个水上LNG加注站南京投运

江苏省南京市八卦洲宝塔水道南岸水域, LNG(液化天然气)加注趸船“海港星01”号是全国首个建成并投入运营的水上LNG加注站, 标志着我国LNG动力船舶发展进入一个崭新阶段。南京市八卦洲水上LNG加注站是交通运输部的绿色交通示范工程。去年, 江苏海事局承担了部海事局和国家能源局的船舶“油改气”水上加注站课题研究, 率先启动了水上LNG加注站的突破性建设。

根据统一规划, 长江、京杭运河和其他内河水域将布点建设一批水上加注站。部海事局下半年将发布相关安全技术规范, 交通运输部不久也将出台加快推进水运行业应用LNG燃料的指导意见。

摘编自《中国交通报》