



新型重力式码头改造技术

王广贤, 卢生军, 杨晓婷

(中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东 广州 510230)

摘要: 以广东虎门港某重力式码头升级改造为研究实例, 提出一种新型码头改造技术, 即通过在码头前沿基础设置一排桩加固基床, 以满足基床前沿浚深需要。采用边坡计算软件 GEO-SLOPE 和有限元计算软件 PLAXIS/2D 分别对码头的整体稳定、结构内力和变形进行计算, 确保码头结构安全。

关键词: 重力式码头; 升级改造; 浚深

中图分类号: U 656.1⁺11

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)02-0087-05

A new type of reformation technology for gravity terminal

WANG Guang-xian, LU Sheng-jun, YANG Xiao-ting

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

Abstract: Taking the promotion and reformation engineering of a gravity terminal in Humen, Guangdong province as the study case, new technology for terminal renovation, i. e. placing a row of piles along the quayside to strengthen the foundation and satisfy the dredging requirement of foundation frontier. The slope calculation software of GEO-SLOPE and finite element calculation software of PLAXIS/2D are adopted respectively to calculate the overall stability, structural internal force and deformation to guarantee the terminal's structural safety.

Keywords: gravity terminal; terminal renovation; dredging

广东虎门港某工程拟对原有的 3.5 万吨级重力式码头进行升级改造, 改造后码头为 7 万吨级, 码头顶面高程不变, 前沿水深要求从 -11.5 m 浚深到 -14.8 m。根据防洪部门要求, 防洪治导线即为现有码头的结构前沿线, 码头改造后结构前沿线不得外移。

原码头为钢筋混凝土空心方块结构, 方块底高程 -11.5 m, 坐落在 10 ~ 100 kg 块石基床上, 基床厚 2 ~ 2.5 m; 方块顶部设置有钢筋混凝土卸荷板及现浇钢筋混凝土胸墙, 胸墙顶高程 4.6 m。方块及胸墙后方回填中粗砂。门机轨道梁为钢筋混凝土矩形结构, 前轨道梁安放在胸墙上, 后轨道梁基础则采用 $\phi 500$ mm \times 500 mm 预应力空心方桩。

本工程靠泊船型提升幅度较大, 若只是外移靠船设施, 避开基床前肩对船底龙骨的影响, 码头前沿水深增加有限, 不能满足 7 万吨级船舶的吃水要求; 同时, 须严格控制码头前沿线位置, 因此不能通过新建高桩承台或者板桩结构等来加固原有码头; 另外, 在考虑改造方案时, 还需在满足结构安全和使用要求的前提下投资最省。经综合分析, 决定在码头前沿打设一排钢管桩来加固原有码头, 然后再将港池底高程浚深到设计高程。

1 改造方案

为满足港池浚深要求, 以码头前沿线往海侧 1.6 m 处为中心线, 连续布置 $\phi 1.2$ m 钢管桩。钢管

收稿日期: 2015-07-01

作者简介: 王广贤 (1982—), 男, 工程师, 从事港口工程设计。

桩中心距 1.3 m、壁厚 22 mm，桩顶高程 -11.5 m，桩底高程约 -28.0 m。为防止钢管桩接缝处漏砂及提高前趾底部基床承载力，考虑对钢管桩内侧的基床及地基土进行高压灌浆加固，灌浆高度从基床块石顶面至 -16.8 m 高程。为防止码头前沿港池土体冲刷及增加被动区土体强度，考虑在桩基前沿 8 m 范围内对港池底部表层 3 m 砂土进行高压旋喷加固。为了减小主动土压力，考虑将码头后方 18 m 范围内 1.5 m 高程以上的中粗砂换填成块石。为满足 7 万吨级船舶系泊需要，将原码头系船柱改造为 1 000 kN。为满足船舶撞击能量，

同时保证船舶靠泊时钢管桩与船体有足够的安全距离，靠船设备改造为 SUC2250 一鼓一板橡胶护舷。码头改造后的断面如图 1 所示。

钢管桩利用架设在原码头面上的打桩机沉至设计高程，之后冲孔、清孔并灌注水下不分散混凝土。码头前沿抛石基床加固采用灌注水泥浆，先用工程钻机钻灌浆孔，然后利用设置在码头面上的灌浆泵，通过一定的压力，经输送管、灌注管将水泥浆自下而上灌注至基床抛石间隙及桩后砂土层，将块石、砂与水泥浆胶结成整体。在沉桩完毕及钢管桩前旋喷处理完后再进行码头前沿加深。

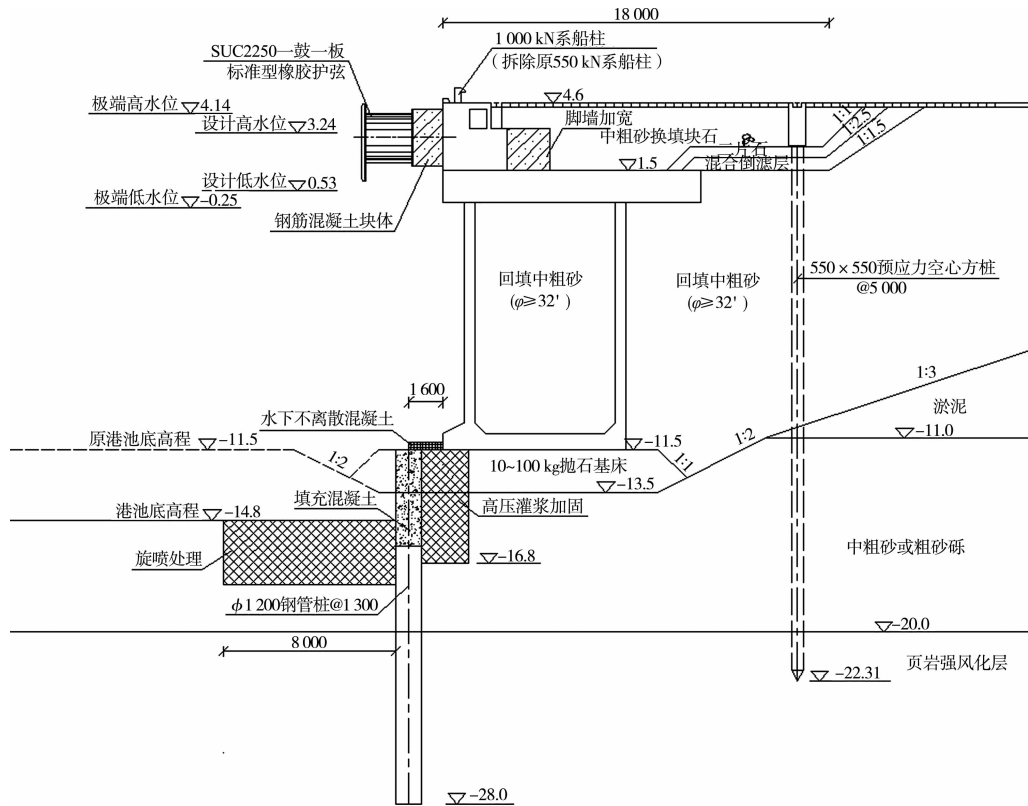


图 1 码头改造断面 (尺寸: mm; 高程: m)

2 码头断面计算

2.1 设计参数

1) 码头使用期荷载主要是门机荷载和均布荷载，本工程区域设计波浪小于 1 m，因此不考虑码头结构受波浪力作用。

2) 在计算结构的内力及变形时，钢材及混凝土

的参数见表 1，各土层采用的参数(标准值)见表 2。

表 1 材料参数

构件	密度 $\rho / (t \cdot m^{-3})$	弹性模量 E_s / MPa	泊松比 ν	强度等级
钢管桩	7.85	2.06×10^5	0.3	Q345
混凝土结构	2.50	2.80×10^4	0.2	C25

表 2 土层参数

土类	水上密度 $\rho/(t \cdot m^{-3})$	水下密度 $\rho'/(t \cdot m^{-3})$	内摩擦角 $\varphi/(^{\circ})$	粘聚力 c/kPa	泊松比 ν	弹性模量 E_i/MPa
回填中粗砂	1.80	0.95	32	0	0.29	25
10~100 kg 抛石基床	1.70	1.00	45	0	0.28	40
中粗砂或粗砾砂	1.80	0.95	32	0	0.30	30
页岩强风化层	1.87	0.96	26	25	0.30	80

2.2 码头抗倾抗滑^[1]

改造后码头基床顶面以上部分按常规的重力式码头结构进行抗倾抗滑验算, 验算结果见表 3。由于设计荷载及码头结构跟改造前保持一致, 且码头后方局部中粗砂被换填成块石, 因此改造后原空心方块的稳定性要优于改造前。

2.3 码头整体稳定^[2-3]

通过边坡稳定计算软件 GEO-SLOPE 中的毕肖普法, 对码头断面的整体稳定进行了计算, 结果见图 2 及表 4。

表 3 码头抗倾抗滑验算结果

项目	滑动作用	抗滑作用	倾覆作用	抗倾作用
	设计值/ kN	设计值/ kN	设计值/ (kN·m)	设计值/ (kN·m)
持久状况	463	1 027	2 762	7 946
地震状况	736	1 387	4 277	10 438

表 4 码头整体稳定计算结果

项目	最小抗力分项系数	规范规定
持久状况	1.9	1.1~1.3
地震状况	1.7	1.0

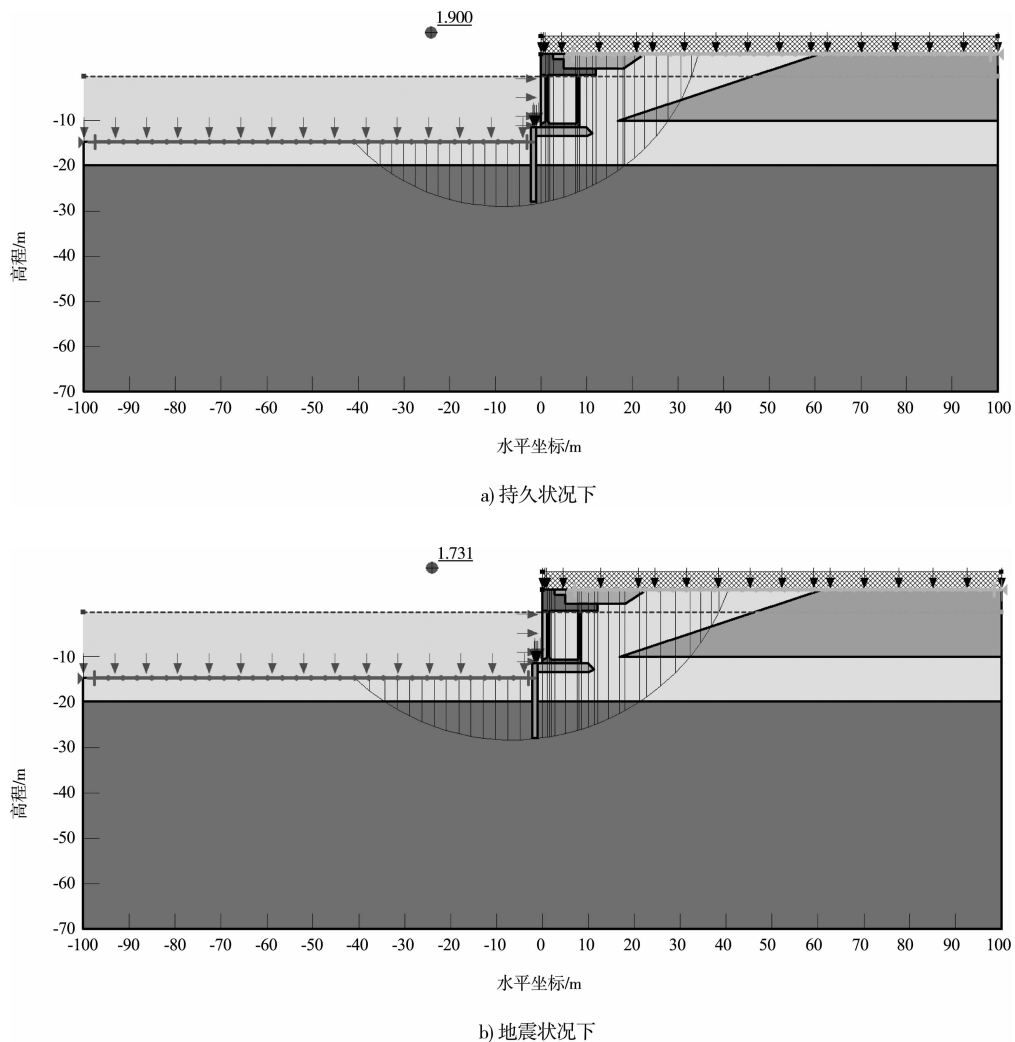


图 2 码头整体稳定性计算结果

根据以上计算结果可知，码头结构整体稳定性满足规范要求。

2.4 桩身内力及码头变形

前排加固钢管桩类似传统的无锚板桩结构，但由于上部重力式空心方块结构的存在，作用在钢管桩上的土压力大小及分布又与传统的无锚板桩有较大差别。目前规范^[4]给出的无锚板桩简化计算模式与方法对这种复合式结构很难适用，因此考虑采用有限元计算软件 PLAXIS/2D 来对桩身结构内力及码头整体变形进行验算。由于此软件能够将结构与土同时建模，且有许多可供选择的土体本构，因此能比较准确的模拟复杂的结构与土相互作用。

2.4.1 有限元模型

有限元计算模型如图 3 所示。前排钢管桩采用具有一定抗弯刚度和轴向刚度的板单元进行模拟，土体及原混凝土结构采用具有 15 节点的三角形单元来模拟，土体材料本构选用 Mohr-Coulomb 模型，原混凝土结构材料本构选用线弹性模型，前排钢管桩与土的相互作用通过界面单元来模拟。钢管桩外侧地基土的旋喷加固及内侧的高压灌浆加固只作为防止码头前沿冲刷及增强码头结构的安全储备使用，因此在本计算模型中并未考虑。

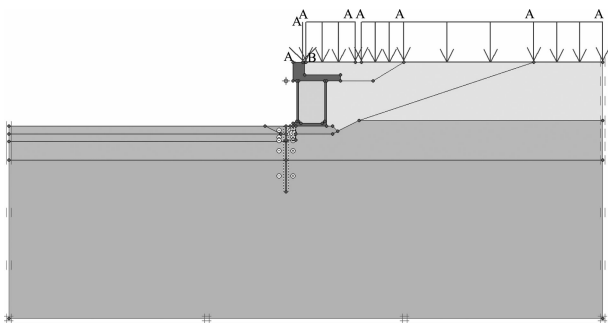


图 3 PLAXIS/2D 计算模型

2.4.2 桩身内力计算

根据计算，得到承载能力极限状态各工况组合下码头结构各部内力标准值最大值，结果见图 4~6。

由于桩与桩之间留有间隙，因此桩上每延米等效的内力值 = 软件计算的每延米内力值 × 单根桩的代表宽度/桩径。钢管桩桩身强度验算应满足公式(1)的要求^[4]。

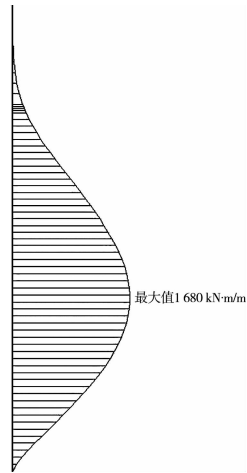


图 4 直径 1 200 mm 钢管桩弯矩

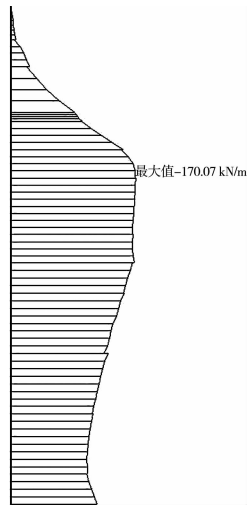


图 5 直径 1 200 mm 钢管桩轴力

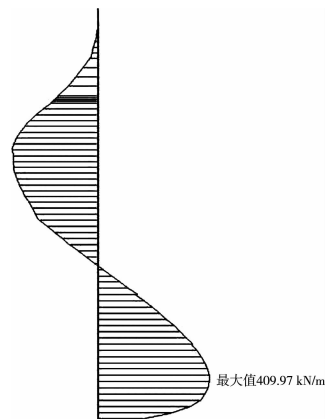


图 6 直径 1 200 mm 钢管桩剪力

$$\frac{\gamma_{GQ}}{1\ 000} \left(\frac{N}{A} + \frac{M_{\max}}{W_z} \right) \leq f_t \tag{1}$$

式中： γ_{GQ} 为综合分项系数，取 1.35； N 为作用标

准值产生的每米轴向力(kN); M_{\max} 为作用标准值产生的每米桩墙最大弯矩(kN·m); A 为桩的截面面积(m^2/m); W_z 为桩的弹性抵抗矩(m^3/m);

F_t 为钢材的强度设计值(N/mm^2)。根据以上规定, 得到各钢管桩桩身强度的验算结果见表5, 可见钢管桩桩身强度满足设计要求。

表5 钢管桩桩身强度验算结果

综合分项系数 γ_{GE}	作用标准值产生的轴向力/($\text{kN}\cdot\text{m}^{-1}$)	作用标准值产生的最大弯矩/($\text{kN}\cdot\text{m}\cdot\text{m}^{-1}$)	钢板桩截面面积 $A/(\text{m}^2\cdot\text{m}^{-1})$	钢板桩的弹性抵抗矩 $W_z/(\text{m}^3\cdot\text{m}^{-1})$	钢材强度设计值 F_t/MPa	计算应力 σ/MPa	判断, $\sigma \leq F_t$
1.35	184.17	1 820	0.87	0.02	295	104.63	是

2.4.3 结构变形计算

正常使用极限状态持久状况下, 通过 PLAXIS/2D 软件计算得到的码头结构水平向变形结果见图7。

经计算, 结构最大的水平位移出现在胸墙顶部, 为0.17 m; 门机后轨道处水平位移约为0.1 m; 方块前趾处最大水平位移为0.1 m。从结构复核结

果来看, 发生的位移不影响结构安全; 从施工控制考虑, 前沿开挖时分层缓慢开挖, 控制开挖速度并加强码头观测确保安全; 在使用影响方面, 主要是对原门机轨距产生影响, 使得原轨距增大大约0.07 m, 可通过调整钢轨的方式解决, 以满足使用要求。

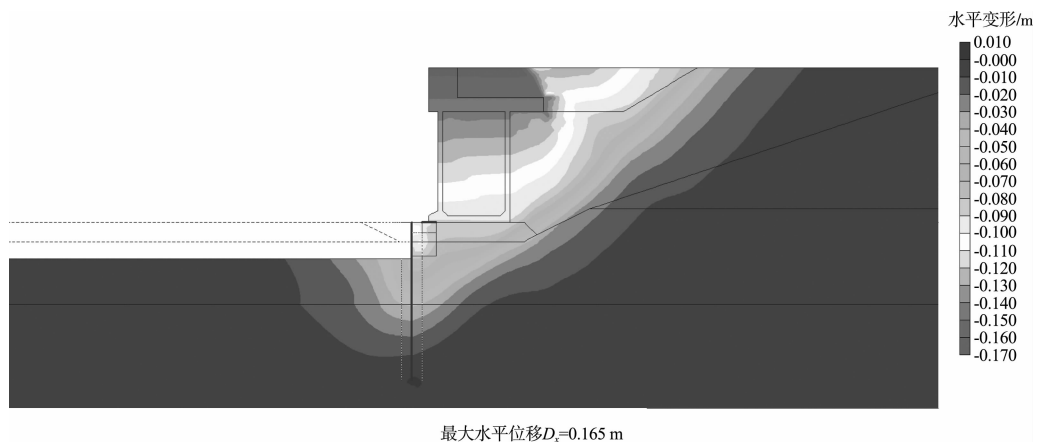


图7 码头结构水平变形

3 结语

1) 通过在原重力式码头前沿打设一排桩作为挡土结构, 然后再将港池底高程浚深到设计高程, 可以达到既不改变码头前沿线位置又能大幅提升码头设计水深的目的。

2) 改造后的码头结构, 其原重力式结构仍可按常规重力式码头进行设计验算, 而其底部的钢管桩挡墙, 形式上可以看作无锚板桩, 但所受土压力与传统无锚板桩差别较大, 宜通过有限元软件设计验算。

3) 在码头结构验算时, 可将钢管桩内外侧的地基及基床加固当作安全储备而不予考虑, 从而降低码头改造的风险。

4) 此改造方案的关键在于改造施工过程中码头结构的稳定及对施工质量的控制, 因此需加强施工期的监测与施工质量检验。

5) 类似本工程的设计案例极少, 本改造技术为重力式码头浚深改造提供一个很好的参考。

参考文献:

- [1] JTS 167-2—2009 重力式码头设计与施工规范[S].
- [2] JTS 147-1—2010 港口工程地基规范[S].
- [3] JTS 146—2012 水运工程抗震设计规范[S].
- [4] JTS 167-3—2009 板桩码头设计与施工规范[S].