



EPC 模式下高桩码头桩基优化

施晓迪¹, 郜卫东¹, 顾宽海¹, 叶上扬¹, 郭彬²

(1. 中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 上海 200032;
2. 中交三航局第三工程有限公司, 江苏 南京 210011)

摘要: 论述采用 EPC 模式进行码头建设的优势, 并结合苏州港某散货码头, 提出在 EPC 模式下, 通过增加桩帽布置纵向直桩、增加叉桩斜度减少斜桩数量, 灵活布置纵向叉桩角度及位置等方案, 对高桩码头桩基布置进行优化, 优化后的桩基方案降低了施工难度, 提高了打桩效率, 节省了工程投资。

关键词: EPC 模式; 高桩码头; 桩基优化; 纵向叉桩

中图分类号: U 656.1⁺13 **文献标志码:** B **文章编号:** 1002-4972(2015)11-0089-05

Pile foundation optimization of high-pile wharf in EPC mode

SHI Xiao-di¹, GAO Wei-dong¹, GU Kuan-hai¹, YE Shang-yang¹, GUO Bin²

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

2. The Third Engineering Co., Ltd. of CCCC Third Harbor Engineering Co., Ltd., Nanjing 210011, China)

Abstract: This paper discusses the advantages of the wharf construction in the EPC mode. Combining with a bulk cargo dock in Suzhou in EPC mode, this paper optimizes the pile arrangement of high-pile wharf by increasing the pile caps to set lengthways vertical piles, increasing pile slope to reduce the amount of raked piles, setting the angle and position of lengthways oblique piles flexibly, etc. The optimized layout of pile foundation not only makes the construction easier, but also improves the piling efficiency and saves the engineering investment.

Keywords: EPC mode; high-pile wharf; pile foundation optimization; lengthways oblique pile

以设计院为主导的 EPC 模式, 在控制工程质量、造价、进度和提高项目管理效率等方面均有较大的优势, 目前在国际工程承包市场上已普遍采用。与传统的水运工程建设模式相比, EPC 模式有明显的优点: 1) 能有效避免设计、采购、施工之间存在的相互制约和脱节问题, 使沟通协调更加顺畅, 资源分配更加合理; 2) 为提高利润, 设计工程师会更加注重方案的优化和创新; 3) 由于施工的提前介入, 设计可及时了解施工设备性能及施工方案等, 从而使得设计方案更加合理可行, 避免返工等现象的出现, 有效缩短建设工期等。

本文结合苏州港某散货码头工程总承包项目, 重点介绍高桩码头建设中的关键节点——桩基的设计优化, 以充分体现以设计院为主导的 EPC 模式的优势, 可为类似的工程建设提供借鉴和参考。

1 项目概况

1.1 工程概况

苏州港某散货码头工程 (图 1) 位于江苏省太仓市境内长江南岸钱泾口与原太海汽渡之间, 水路距吴淞口约 26 n mile。地理坐标为 121°11'E, 31°40'N。



图 1 工程一期和二期平面效果图

工程分 2 期实施，本工程为一期工程，年设计吞吐量为 2 100 万 t 散货。新建 5 万吨级码头 1 座（水工结构按 10 万吨级集装箱船设计），码头内外侧均靠船，外侧为 5 万吨级卸船泊位 1 个，内侧为 500 t 装船泊位 4 个，码头前沿线方位角为 123.7°~303.7°。

1.2 主要设计条件

1.2.1 设计荷载

码头工程前后沿均靠船，近期为散货泊位，远期为集装箱泊位。荷载复杂，主要如下^[1]：

- 1) 均载。
近期装卸散货时，20 kN/m²；远期装卸集装箱时，30 kN/m²。
- 2) 装卸设备荷载。
根据工程实际需要，装卸设备为非标产品。相关荷载参数如下：

①卸船机：轨距 20 m，基距为 14 m，共 4 腿，每腿 8 轮，轮距 1~1.5 m。工作状态最大轮压 650 kN，非工作状态最大轮压 720 kN，水平荷载为轮压的 10%。

②装船机：轨距 10.5 m，基距 8 m，每腿 6 轮，支腿压力 6×350 kN，轮距 0.9 m。水平荷载为轮压的 10%。

③流动机械荷载：Tr-60 集装箱拖挂车、70 t 汽车吊、总重 30 t 汽车、20 t 平板车。

④土建立柱荷载。

⑤水流：设计流速 2.2 m/s，流向与码头前沿线一致。

⑥设计水位：高程系统采用 85 国家高程基准面，各基面关系见图 2。

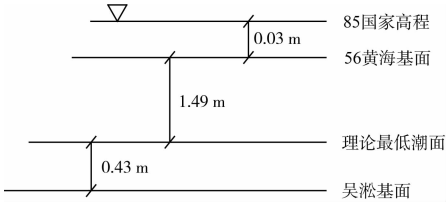


图 2 基面关系

- 设计高水位：2.62 m（高潮累积频率 10%）；
- 设计低水位：-0.75 m（低潮累积频率 90%）；
- 极端高水位：4.77 m（50 a 一遇高水位）；
- 极端低水位：-1.68 m（50 a 一遇低潮位）。

⑦波浪：码头前沿重现期 50 a 一遇 N 向设计波浪要素见表 1。

表 1 码头前沿重现期 50 a 一遇 N 向设计波浪要素

水位	$H_{1\%}/\text{m}$	$H_{4\%}/\text{m}$	$H_{5\%}/\text{m}$	$H_{13\%}/\text{m}$	T/s	L/m	$C/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$
极端高水位(4.77 m)	2.59	2.19	2.12	1.75	4.4	30.2	6.86
设计高水位(2.62 m)	2.54	2.15	2.08	1.72	4.4	30.1	6.85
设计低水位(-0.75 m)	2.46	2.09	2.02	1.68	4.4	29.9	6.79

1.2.2 地质条件

工程区域场地内土层主要为淤泥质黏性土、粉质黏土及粉细砂，软土层较厚，上层为高压缩性、物理力学指标差的软弱土层，下部存在分布较为广泛的Ⅶ₁ 灰色粉细砂层，埋藏深度稳定，故选择采用桩基础的高桩梁板式结构，并选Ⅶ₁ 层作为本工程的持力层。

2 原桩基方案

原方案码头长 310 m，宽 44.5 m，共分 4 个结构段，分段长度 77.5 m，采用高桩梁板结构，排架间距 8 m。每榀排架布置 12 根 $\phi 1\ 000\ \text{mm}$ PHC 桩，其中斜桩 8 根（斜度 10:1~5:1），不设置桩帽（图 3）。

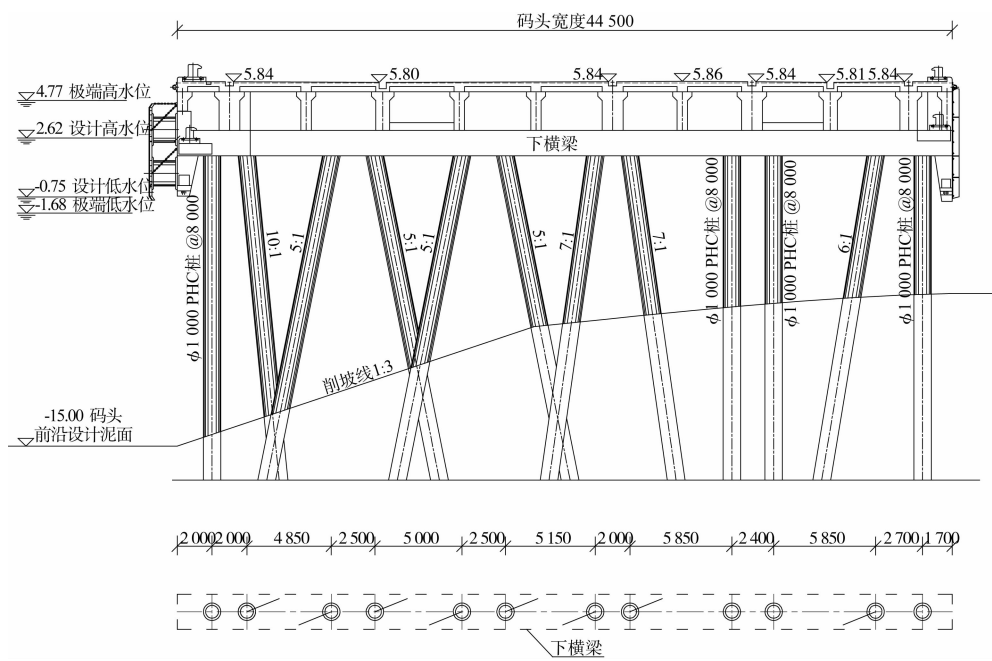


图 3 原码头桩基布置 (高程: m, 尺寸: mm)

该方案存在的主要缺点如下:

- 1) 码头排架间距偏小, 分段长度偏短, 导致桩数偏多, 工程投资偏大;
- 2) 每排架的斜桩数量偏多, 增加打桩费用且降低打桩效率;
- 3) 每排架下各桩桩力设计值差异达 25% 以上, 未充分发挥每根 PHC 桩的作用;
- 4) 未充分考虑施工设备性能及施工工艺, 增加了打桩难度及施工费用。

3 桩基优化

在 EPC 模式下, 作为总承包单位在设计方案的选择上必须考虑成本控制的问题。针对高桩码头, 桩基方案是否最优最经济是解决此问题的关键。因此, 本设计考虑对原桩基方案进行优化。

3.1 码头排架桩基优化

3.1.1 优化对策

业主对工程的使用功能要求变更导致工艺方案调整, 岸侧装卸设备轨距由 9 m 增加为 10.5 m, 故码头宽度由原 44.5 m 增至 46 m, 同时要求工程投资不变。为达到调整优化目的, 采用以下对策。

- 1) 优化排架间距和分段长度。

考虑到工程费用和码头分段长度及排架间距

有紧密关系, 为节约投资, 设计首先考虑增大排架间距和分段长度^[2]。在综合考虑自然条件、荷载条件的基础上, 对不同排架间距进行计算分析比较, 最终确定排架间距为 9.8 m; 对工程地区温度差、桩的自由长度和刚度、平面及上部结构特征等因素综合分析后, 分段长度调整为 103.3 m, 分段由 4 个减至 3 个, 通过三维模型计算论证, 满足要求。

- 2) 优化桩基布置。

在码头宽度、排架间距及分段长度均增加的情况下, 若仍采用原方案码头桩基布置形式, 每榀排架桩数不变, 则无法满足单桩极限承载力^[3]的要求。设计考虑采取以下措施, 以满足桩力要求:

①常规设计中为降低打桩船操作难度, PHC 桩的设计斜度常采用 5:1, 本工程通过对工程区域地质进行分析, 并与施工单位沟通, 了解本工程打桩船有能力施打斜度 4:1 的 PHC 桩, 故增大叉桩斜度为 4:1, 并将斜桩数量由 8 根减少至 4 根, 提高打桩整体效率, 降低施工费用。

②每榀排架横梁下均增设 3 个桩帽以调整横梁局部刚度, 在桩帽下沿码头纵向布置 3 对直桩, 确保桩力均匀。优化后的码头断面见图 4。

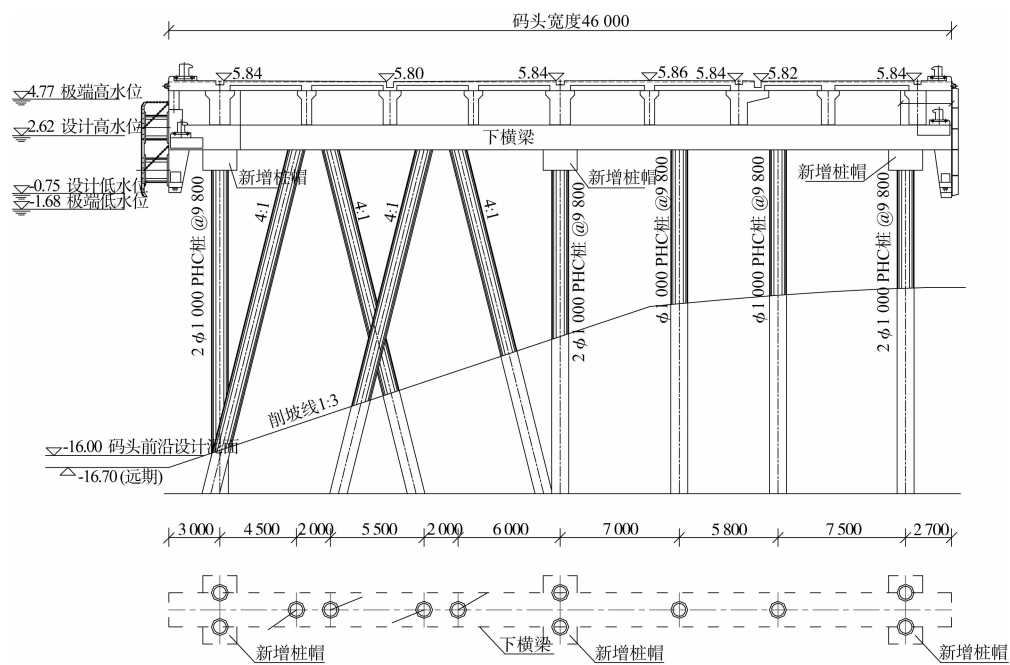
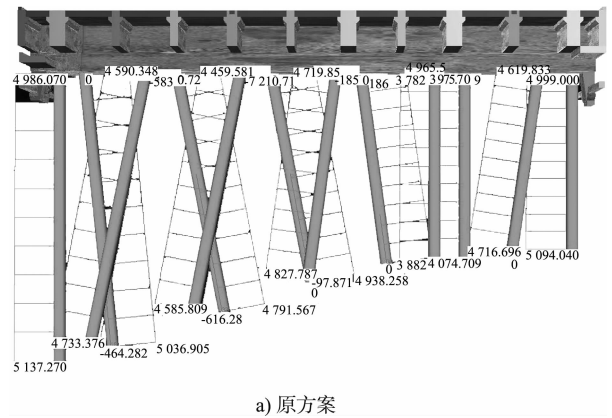


图 4 优化后码头桩基布置 (高程: m, 尺寸: mm)

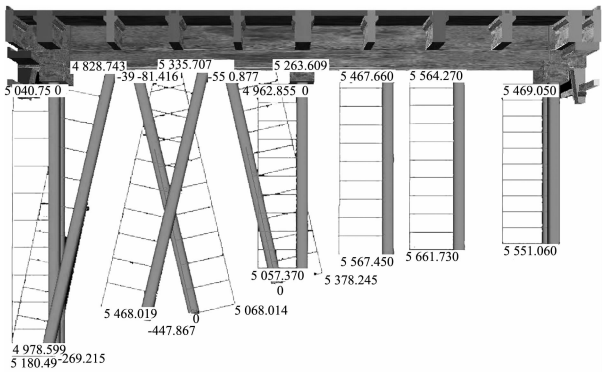
3.1.2 优化前后桩基内力计算结果对比及优化

码头排架按平面刚架进行计算, 计算程序运用易工《高桩板梁式码头设计程序 GZBL2.0》, 该程序根据水运工程行业相关规范编制, 效应值计算按照有限元法进行。计算结果均满足规范要求^[3]。优化前后码头排架桩力计算结果见图 5。

- 对码头排架桩基优化后的结果如下:
- 1) 码头排架数由 40 榀减少为 33 榀, 共减少 84 根 PHC 桩, 减少 PHC 桩制作费约 314 万, 沉桩费约 180 万, 共计约 494 万, 大大降低了工程投资;
 - 2) 在保证每榀排架桩数不变的情况下, 斜桩数量由原先每榀 8 根减为 4 根, 提高了打桩效率, 降低了打桩费用, 确保了工期;



a) 原方案



b) 优化后方案

图 5 桩力结果 (单位: kN)

3) 排架中桩力分布更均匀, 桩力差异由 25% 减少至 12%。由此可见, 采用增加桩帽在桩帽下布置直桩的形式, 使排架各桩基受力更均匀, 有利于充分发挥每根 PHC 桩的作用。

3.2 纵向叉桩布置优化

本工程码头受到波流力、装卸设备、护舷摩擦力等纵向力的作用, 故桩基布置上设置纵向叉桩, 以增强码头抵抗纵向力的能力。

码头排架优化后方案的纵向叉桩布置见图 6。

3.2.1 该纵向叉桩布置方案存在的问题

按一般打桩船编排打桩顺序, 纵向叉桩按常规布置在已有斜桩的纵轴线上, 形成三桩结构(图 6)。

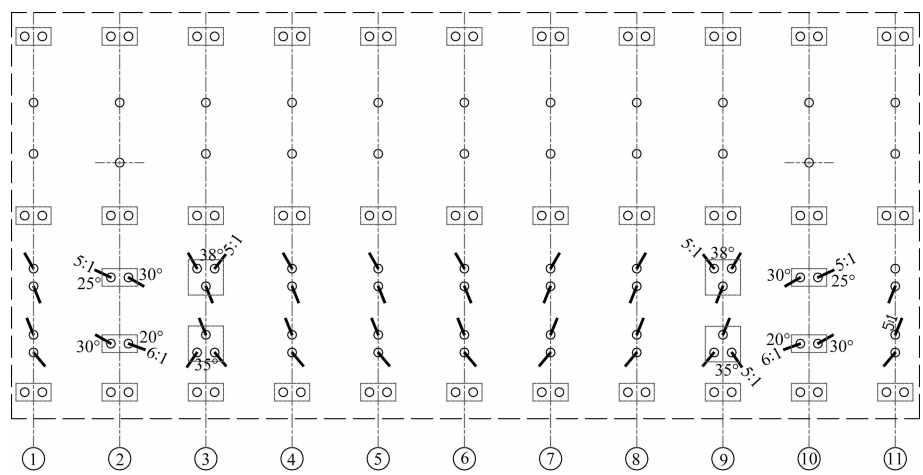


图 6 码头排架优化后的第一段纵向叉桩布置

由于施工单位拥有的打桩船船型较小, 龙口伸距仅为 2.8 m, 因此对桩基布置的适应性较差。

打桩船主要参数见表 2。若按照图 6 布置纵向叉桩, 很多区域无法沉桩。

表 2 打桩船主要参数

船体尺度/m						吃水/m		全船总功率/ kW
总长		型长		型宽	型深	满载(平均)	空载	
46.60		43.80		22.00	3.60	2.00	1.05	616.7
最高点离水面/m	吊龙口伸距/m	吊锤点距水面/m	吊桩点距水面/m	倒架后最高点距水面/m	仰俯角/(°)	吊钩能力/(t×数量)	最大植桩长度/m	主要用锤
70.60	2.8 m	68.50	58.50	23.00	作业±18	80×2,50×1	56+水深	
D100、D128								

3.2.2 优化对策

常规可采取以下方案解决该问题: 1) 施工单位重新调配打桩船以适应原桩位图的打桩需要; 2) 设计调整纵向叉桩布置, 以满足现有打桩船的要求。

由于调配打桩船会增加船舶调遣费用并影响工期, 因此设计调整纵向叉桩布置角度及位置, 取消集中布置的形式, 纵向叉桩后移并替换原直桩, 使该船型顺利沉桩 (图 7)。

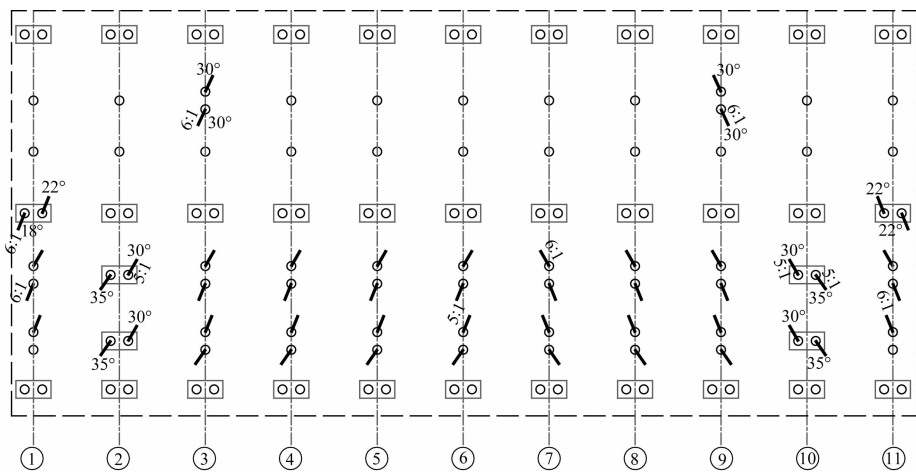


图 7 优化纵向叉桩布置后码头第一段桩位