

# 前板桩后低桩承台结构 在板桩码头改造中的应用

蒋国栋, 张颖, 罗天一

(中交四航局港湾工程设计院有限公司, 广东 广州 510290)

**摘要:** 结合实际工程介绍了前板桩后低桩承台结构的应用特点, 分析了在实际设计中的技术要点和注意事项。前板桩后低桩承台结构复杂, 原有规范不完全适用。结合实际工程, 考虑钢板桩变位不能完全复位、低桩承台卸荷等因素, 进行三维数值模拟, 得到了码头结构主要构件的内力, 从桩基与承台连接方式等方面分析这些因素对结构的影响, 从而为结构设计和优化提供了依据。

**关键词:** 前板桩后低桩承台; 码头改造; 板桩倾斜; 三维数值模拟; 卸荷; 桩基连接方式

中图分类号: U 656.1<sup>+</sup>12

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)07-0046-05

## Application of the front sheet-pile and offside-low pile platform structure in the reconstruction of sheet-pile wharf

JIANG Guo-dong, ZHANG Ying, LUO Tian-yi

(Engineering Design Institute Co., Ltd. of CCCC Fourth Harbor Engineering Co., Ltd., Guangzhou, 510290, China)

**Abstract:** Combining with practical engineering, the paper introduced the application characteristics of the front sheet-pile and offside-low pile platform, and analyzed the technical points and considerations in the actual design. The front sheet-pile and offside-low pile platform structure is complex, and the original specifications are not completely applicable. Combining with practical engineering, and considering the factors such as the unloading of low pile platform and that the deflection of steel sheet pile cannot be completely restored, it conducted the three-dimensional numerical simulation to get the internal force of the main components in the wharf structure, and analyzed the influence of these factors on the structure from the aspects such as the connection mode between pile foundation and bearing platform, which provides the basis for structural design and optimization.

**Keywords:** front sheet-pile and offside-low pile platform structure; wharf reconstruction; sheet-pile incline; three-dimensional numerical simulation; unloading; pile foundation connection mode

码头改造是在原有结构的基础上, 利用新增加的结构或构件, 形成一个可靠结构的方案。码头改造受到原有结构的束缚, 缺少新项目设计的灵活性。在码头改造前, 要对原结构进行全面检测, 根据检测结果判断原结构的可靠性。

前板桩后低桩承台结构在板桩码头改造中具

有较广的应用范围。前板桩后低桩承台结构的前排为板桩墙、钢板桩、连续灌注桩等, 后面为低桩承台或卸荷承台结构。若后方结构承台做到码头面则称为前板桩后高桩形式。

前板桩后低桩承台结构的桩基不仅承受上部荷载, 还要承受土压力等, 由于该结构受力相对

收稿日期: 2016-02-22

作者简介: 蒋国栋 (1982—) 男, 硕士, 工程师, 从事港口工程设计工作。

复杂, 因此无论在理论上还是实际设计中均存在尚未解决的问题。

本文依据前板桩后低桩承台结构在板桩码头改造中的实际案例设计, 考虑本项目的钢板桩变位不能完全复位、低桩承台卸荷等因素, 进行三维数值模拟, 从桩基与承台连接方式等方面分析这些因素对结构的影响, 从而为结构设计和优化提供了依据。

## 1 项目背景

码头断面见图1。原码头钢板桩采用KSP IV钢板桩, 钢拉杆为 $\phi 70$ 钢拉杆@1 600。现已经出现如下主要损坏: 钢板桩及导梁已经倾斜, 混凝土面层破损严重, 后方轨道处地面沉降较大, 码头胸墙在结构缝处错位较大, 前沿表面混凝土存在竖向裂缝、混凝土破损露筋等。钢拉杆锈蚀严重且钢拉杆已经拉断。码头帽梁主要存在的缺陷是结构缝之间前后错位。

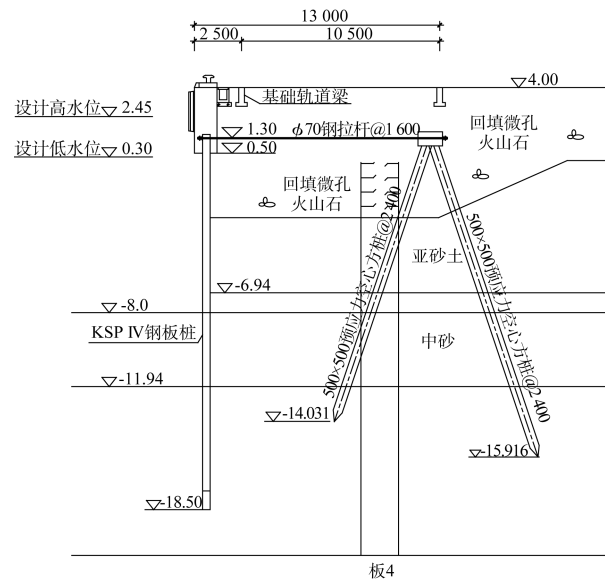


图1 维修前码头断面 (尺寸: mm; 高程: m)

破坏原因为钢拉杆腐蚀严重、钢拉杆失效, 另外原结构设计轨道梁坐落在钢拉杆上, 轨道梁对钢拉杆有一定的剪切作用。

改造条件:

1) 由检测可知钢板桩下部与海床结合部情况良好, 未发现淘空和漏沙现象, 码头钢板桩锁口连接完好, 故而钢板桩仍具有结构功能。

2) 设计船型。船舶吨级为5 000吨级杂货船, 总长 $L=124$  m, 型宽 $B=18.4$  m, 型深 $H=10.3$  m, 满载吃水 $T=7.4$  m。

3) 设计荷载。

均载: 堆货荷载为码头前沿15 m范围10 kPa、后方30 kPa, 门机作业时, 轨道两侧1.5 m范围内不许有其它荷载<sup>[1]</sup>。

门机荷载: M10-30门座式起重机轨距10.5 m、基距10.5 m, 每腿4轮, 最大轮压250 kN。门机及荷载位置见图2。

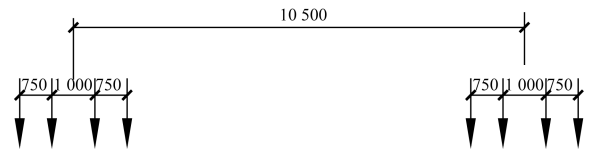


图2 门机及荷载位置 (单位: mm)

船舶荷载: 船舶系缆力350 kN; 船舶有效撞击能量为93.4 kJ, 选用DA-A400H $\times$ 2 500标准反力型橡胶护舷, 其吸收能量115 kJ, 反力为688 kN。

4) 土层参数见表1。

表1 桩基础主要设计参数

层序	岩土名称	预制桩		灌注桩	
		单位面积侧摩阻力标准值 $q_f$ /kPa	单位面积桩端阻力标准值 $q_{rk}$ /kPa	单位面积侧摩阻力标准值 $q_f$ /kPa	单位面积桩端阻力标准值 $q_{rk}$ /kPa
1	火山石	60			
2	亚砂土	50		45	
3	中砂	80		50	
4	粗砂	123	5 500	70	3 200

## 2 设计思路

改造思路: 由检测可知钢板桩仍具有结构功能, 因而本项目可利用原有钢板桩结构。考虑到轨道梁的影响及结构整体性的影响, 因而采用前板桩后低桩承台式方案。

本项目设计时需注意以下事项: 1) 钢板桩有一定的倾斜, 在设计时要考虑其影响; 2) 卸荷平台与钢板桩连接方式有两种, 铰接和固结, 设计时要考虑连接方式对结构的影响, 本项目采用铰接设计方式; 3) 改造中钢板桩导梁宽度不仅要考虑满足包裹钢板桩的构造要求, 而且要考虑使已倾斜的钢板桩在不能完全复位的情况下码头前沿

线仍顺直。

另外原叉桩帽梁与低桩承台的连接可不增加

植筋, 仅靠承台自重及上部荷载产生的摩擦力连接结构。

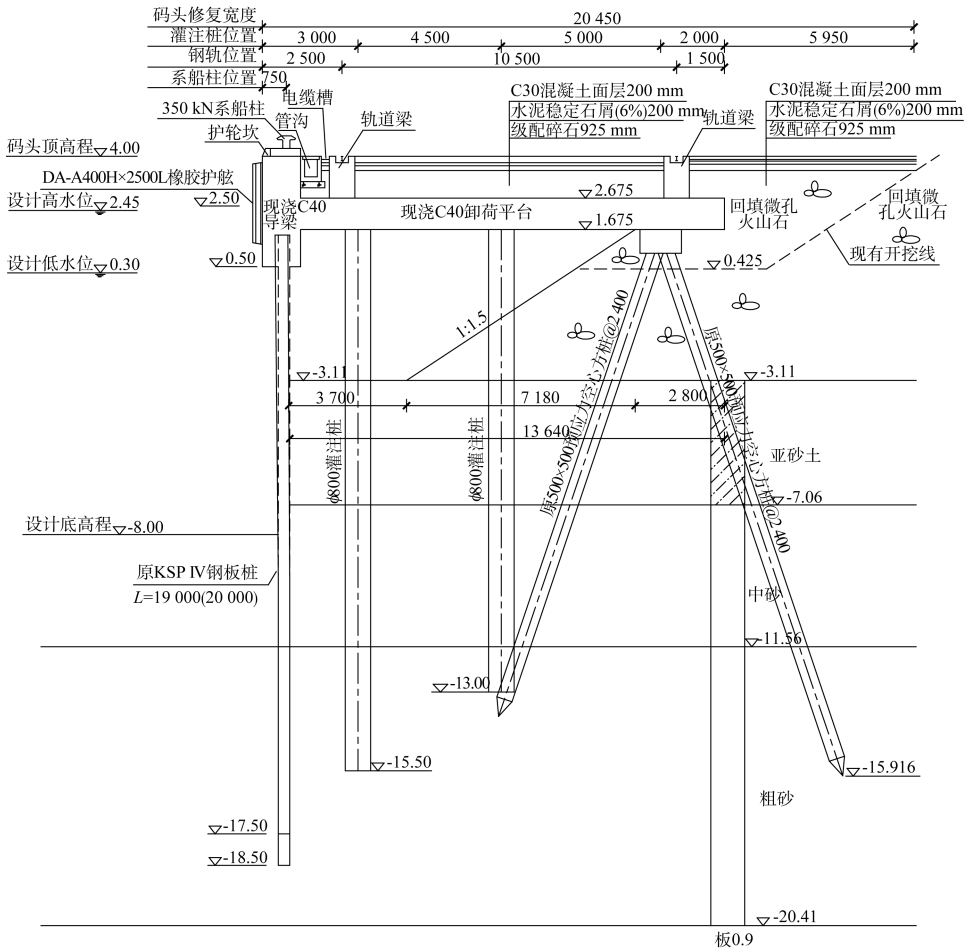


图3 维修断面 (尺寸: mm; 高程: m)

### 3 分析计算

#### 3.1 结构模型

本工程采用有限元软件 ANSYS 进行三维数值计算。计算模型见图4。

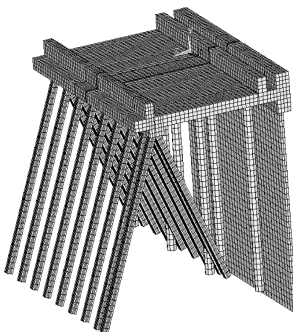


图4 结构有限元模型

本结构承台、导梁、轨道梁等采用 SOLID65 单元, SOLID65 单元是专为混凝土、岩石等抗压

能力远大于抗拉能力的非均匀材料开发的单元。原有的锚碇叉桩、钢板桩及新增的灌注桩采用 BEAM88 单元, BEAM188 单元是一个 2 节点的三维线性梁。BEAM188 单元在每个节点上有 6 或 7 个自由度。此元素能很好地应用于线性(分析)及大偏转、大应力的非线性(分析)<sup>[2]</sup>。结构中土对桩基的约束通过 COMBIN14 单元模拟, COMBIN14 单元具有一维、二维或三维应用中的轴向或扭转的性能, COMBIN14 单元属性输入通过数组参数实现<sup>[3]</sup>。

结构有限元建模及计算时依据 JTS 167-3—2009 《板桩码头设计与施工规范》<sup>[4]</sup>、《板桩和地下墙码头的设计理论和方法》<sup>[5]</sup>的相关章节。

钢板桩后方桩基间距较小, 由于桩基遮帘作用而使得板桩墙上土压力减小, 在本工程计算模型中, 未考虑桩基遮帘作用<sup>[6]</sup>。

### 3.2 计算结果

在前板桩后低桩承台结构设计时, 需要考虑以下因素: 1) 钢板桩倾斜影响; 2) 桩基与承台连接方式。故本项目围绕以上方面进行分析, 主要的计算结果见表 2。

表 2 结构计算结果

钢板桩 倾斜与否	桩基与承台 连接方式	钢板桩轴力/ (kN/m)	钢板桩弯矩/ (kN·m)	灌注桩弯矩/ (kN·m)
板桩 垂直	铰接	265.0	61.82	98.59
垂直	固结	249.9	54.52	127.20
板桩 倾斜	铰接	379.0	56.72	101.46
倾斜	固结	363.0	54.39	130.07

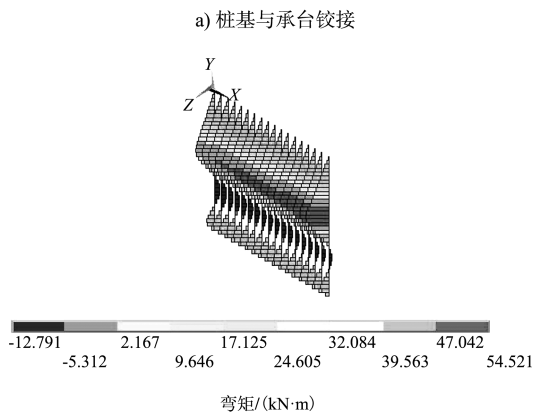
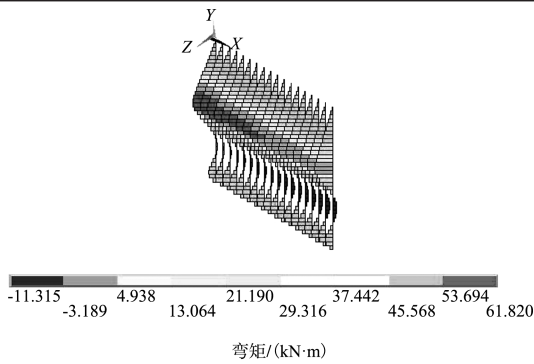


图 5 钢板垂直时钢板桩弯矩

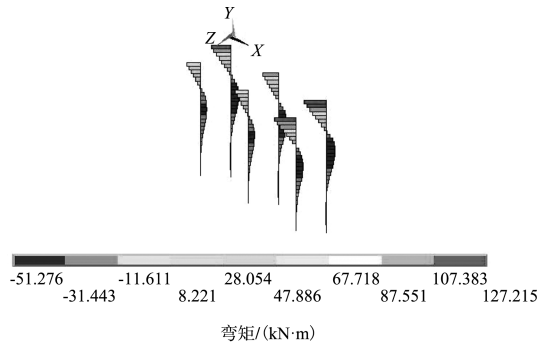
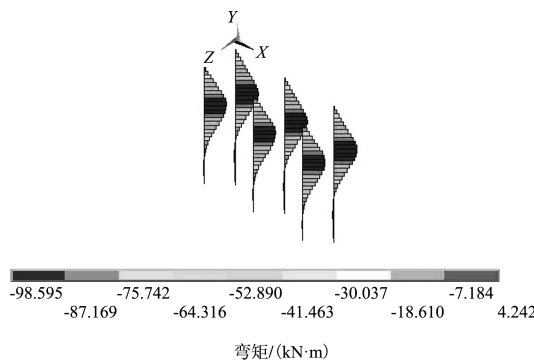


图 6 钢板垂直时灌注桩弯矩

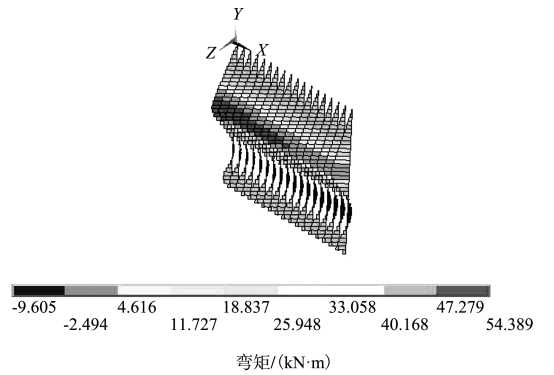
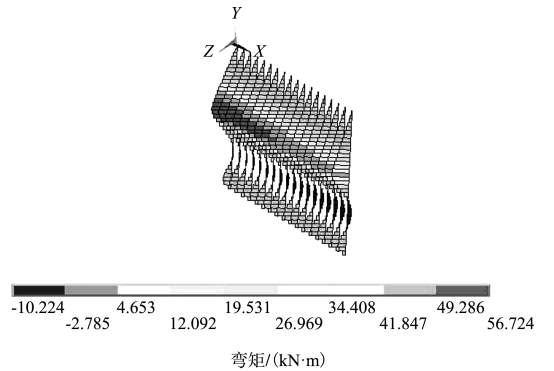
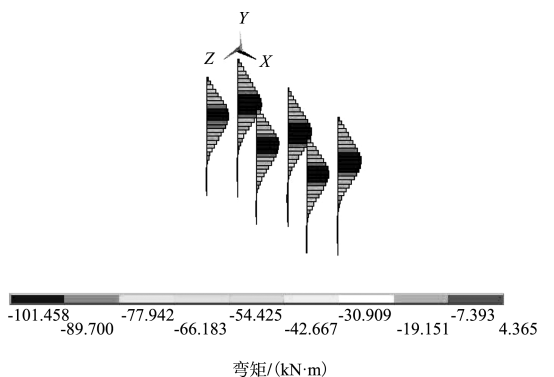


图 7 钢板倾斜时钢板桩弯矩



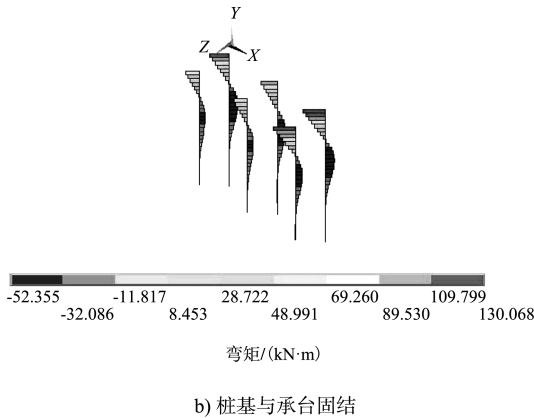


图8 钢板倾斜时灌注桩弯矩

### 3.3 结果分析及项目优化措施

1) 当考虑钢板桩倾斜时, 钢板桩的弯矩变化不大, 轴力却增加明显, 这对钢板桩的稳定性会有一定影响。主要是因为钢板桩倾斜时, 钢板桩变为压弯构件, 由 JTS 152—2012《水运工程钢结构设计规范》可知, 本构件可按平面内压弯构件弯矩作用的稳定性进行计算<sup>[7]</sup>:

$$\frac{N}{\varphi_x A_n} \pm \frac{\beta_{mx} M_x}{\gamma_x \left( 1 - 0.8 \cdot \frac{N}{N'_{Ex}} \right)} \leq f \quad (1)$$

$$N'_{Ex} = \pi^2 EA / (1.1 \lambda_x^2) \quad (2)$$

式中各符号含义详见规范相关章节, 本钢板桩的稳定系数为 0.824, 因倾斜引起的正应力增加值为 4.7 N/mm<sup>2</sup>。

钢板桩倾斜时, 其轴力增大主要有以下几点:

①作用在钢板桩上的侧向土压力会分解为两个方向, 一是钢板桩轴向方向, 二是钢板桩法向方向; 这样会造成钢板桩本身承受的垂直荷载加大及钢板桩本身的整体稳定性降低。②钢板桩倾斜时, 会对结构的受力有一定影响, 码头上部垂直荷载在桩基上的分配有一定影响。故在板桩码头改造中, 如果原钢板桩复位变形不可完全恢复时, 设计时务必注意倾斜影响。

2) 当考虑桩基与承台固结时, 桩基弯矩大于铰接时的桩基弯矩。当桩基与承台固结连接时, 桩顶弯矩为其最大值, 桩周混凝土可能会出现开裂, 对结构耐久性及安全性有一定影响。当

桩基与承台铰接连接时, 桩身弯矩最大值出现在桩中部, 且结构水平位移大于按固结计算的结果。综合考虑, 本项目桩基设计时采用铰接连接方式。

3) 本项目钢板桩后方部分块石不再回填, 减少了侧向土压力, 加上低桩承台的卸荷作用明显, 从而减少结构的水平荷载。

4) 低桩承台的卸荷作用为主要卸荷因素, 另外低桩承台下的灌注桩对地基土层的遮帘作用也可降低前墙侧向土压力; 板桩墙后的桩基排与排之间宜错开布置, 不仅可增加桩的遮帘作用, 也可充分利用土的弹簧功能。

5) 根据 JTS 167-1—2010《高桩码头设计与施工规范》<sup>[8]</sup>和 JTS 167-4—2012《港口工程桩基规范》桩土相互作用可按 *m* 法计算, 有经验时也可按假想嵌固深度法计算<sup>[9]</sup>。在设计中一般采用假想嵌固深度法, 而采用此方法时, 桩在泥面以下的内力和变形则需按照 JTS 167-4—2012《港口工程桩基规范》推荐的方法进行计算。而设计时应避免忽略此部分计算, 否则采用假想嵌固深度法计算的结果则存在问题。

## 4 结论

1) 在板桩码头改造项目中, 若板桩存在一定的倾斜, 则设计时尽量修复钢板桩的倾斜; 若无法完全修正, 则设计时要考虑倾斜对结构的影响。

2) 钢板桩后方部分块石不再回填, 减少了侧向土压力, 减少了原钢板桩结构的荷载。本项目的前板桩后低桩承台结构具有较好的应用空间。

3) 钢板桩后的桩基, 排与排之间错开布置可减少前板桩的侧向土压力。

4) 改造项目设计时有很多限制条件, 要对原结构进行检测, 确定原结构的可靠性。改造项目在利用原有可靠的结构的基础上, 尽量恢复原结构, 新增结构宜承受较多的荷载, 充分发挥其作用, 通过最小投入做到结构优化。