

· 港口 ·



整体卸荷式板桩码头原型观测技术

吴 锋, 卓 杨, 刘 旭

(中交上海港湾工程设计研究院有限公司, 上海 200032)

摘要: 目前整体卸荷式板桩码头设计理论尚不成熟, 相关规范没有涉及具体计算方法, 对码头结构开展原型观测是掌握这种新型结构工作特性的一种有效方法。本文结合整体卸荷式板桩码头结构形式及主要施工工艺, 开展原型观测, 得到不同施工阶段前墙钢管板桩应力、土压力、深层土体位移等参数变化规律。结果表明, 由于桩间距较小, 板桩墙后土体受到桩基挤密作用明显, 前墙板桩弯矩和承台桩基均小于设计值, 沉降和码头前沿水平位移最大值均大于正常使用极限状态计算值。

关键词: 整体卸荷式; 板桩码头; 原型观测

中图分类号: U 656

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)01-0029-05

Prototype observation technology of sheet-pile wharf with rigid load-relieving component

WU Feng, ZHUO Yang, LIU Xu

(CCCC Shanghai Harbor Engineering Design & Research Institute Co., Ltd., Shanghai 200032, China)

Abstract: At present, the design theory of sheet-pile wharf with rigid load-relieving component is not mature, and the relevant specifications do not involve specific calculation methods. Prototype observation of wharf structure is an effective method to master the working characteristics of this new structure. In this paper, combined with the structural form and main construction technology of sheet-pile wharf with rigid load-relieving component, the prototype observation is carried out, and the variation laws of parameters such as stress, earth pressure and deep soil displacement of the steel pipe sheet pile in the front wall at different construction stages are obtained. The results show that due to the small pile spacing, the soil behind the sheet pile wall is obviously compacted by the pile foundation, the bending moment of the sheet pile in the front wall and the pile foundation of the bearing platform are less than the design value, and the maximum settlement and horizontal displacement of the wharf apron are greater than the calculated value in the serviceability limit state.

Keywords: rigid load-relieving component; sheet pile wharf; prototype observation

整体卸荷式板桩码头是由卸荷承台、前墙和后排承台桩组成的复合式结构, 通过在前墙后方设置卸荷承台群, 桩基础承担上部质量及荷载, 减少前墙压力^[1]。对于特殊复杂的地质条件, 或者不可采用大开挖、换填等施工手段时以及传统板桩结构不适用时, 采用卸荷式板桩结构可以较好地解决码头结构受力不稳定的问题^[2]。目前整体卸荷式板桩结构工程实例较少, 特别对于此类

结构的原型观测比较缺乏。通过对结构各项参数的原型观测及数据分析, 更详细地了解结构的工作性状和工作机理, 验证和修正计算方法, 优化结构设计^[3-7]。

本文中原型观测的板桩码头出运港池长 150 m, 宽 110 m, 由轨道基础、接岸结构及驳岸结构组成, 前排板桩采用钢管桩和钢板桩组合的板桩结构, 后方采用卸荷式桩基承台结构, 承

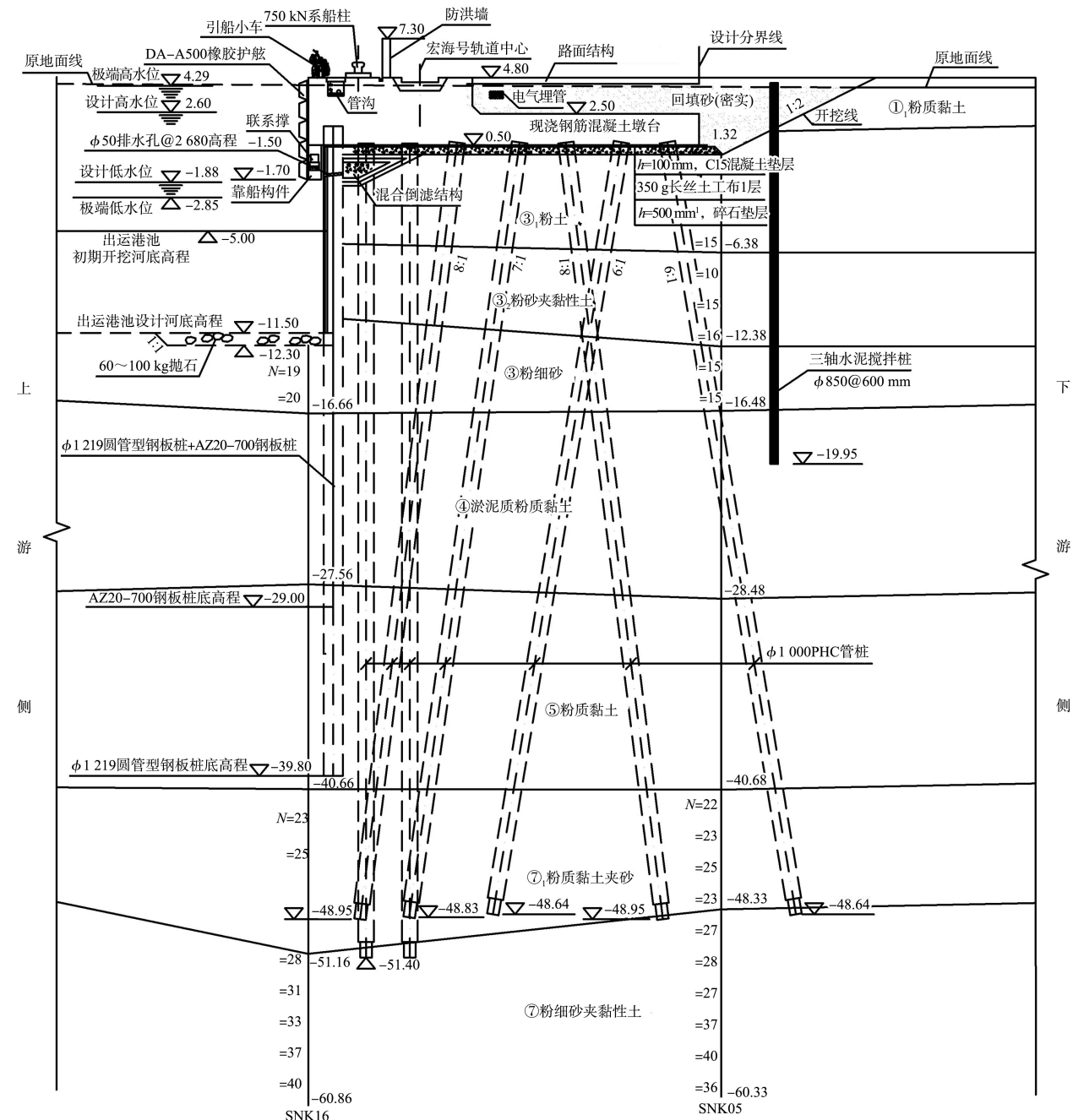
收稿日期: 2022-05-09

作者简介: 吴锋(1978—), 男, 博士, 教授级高工, 从事港湾工程设计工作。

台采用三轴水泥搅拌桩并设置防渗帷幕。主要工作原理是前墙钢管板桩抵抗后方主动土压力，卸荷承台及PHC(预应力高强混凝土)桩将码头面荷载向下传递，减小前墙土压力，卸荷承台与前墙刚性连接，利用卸荷承台PHC桩抵抗土压力。针对码头结构特点和施工典型工况，开展前墙钢管板桩应力、土压力、深层土体位移等原型观测技术研究，得出不同施工阶段板桩应力和变形等参数变化规律，为类似工程结构设计提供数据参考。

1 原型观测方案设计

板桩码头岸壁结构顶高程4.80 m，港池设计水深8.6 m，设计泥面高程-11.45 m，一期泥面开挖高程-5 m。板桩墙位于桩基平台前沿，采用 $\phi 1\,219\text{ mm}\delta 18\text{ mm}$ 圆管型钢板桩+AZ20-700 mm钢板桩组合墙结构。承台桩基采用 $\phi 1\,000$ PHC桩，每个断面设2根直桩，5根斜桩，横向间距为3~4 m不等，纵向间距3~6 m不等。在承台后方4.8 m处设置防渗帷幕，其结构采用三轴水泥搅拌桩 $\phi 850@600\text{ mm}$ 。结构断面见图1。



分析整体卸荷式板桩码头结构在不同施工阶段和运营期的变形、内力及土压力分布变化规律, 确定主要观测内容见表 1。其中前墙板桩应力、土压力、钢管桩应力、PHC 桩桩顶应力、承台钢筋应力、孔隙水压力及水位值为自动无线测试, 深

层土体位移及承台位移沉降为人工观测。典型工况主要包括承台浇筑到顶高程、港池开挖至-1 m 高程、港池开挖至-5 m 高程、港池开闸进水、港池进水后码头施工与运营阶段等。

表 1 原型观测内容

| 测试内容 | 推算分析内容 | 测点布置 |
|-----------|------------------|------------------------------|
| 前墙钢管板桩应变值 | 弯矩、挠度、受到土抗力 | 每桩 18 个测试断面, 共计 72 个传感器 |
| 土压力值 | 前墙及 1、2 排承台桩间土压力 | 2 个测点, 每个测点 9 个断面, 共 18 个传感器 |
| 深层土体位移值 | 码头前沿至陆域土体变形 | 共 10 根测斜管, 测断面间隔 0.5 m |
| PHC 桩顶应变值 | PHC 桩顶轴力 | 5 根 PHC 桩, 每个断面 4 个传感器 |
| 承台钢筋应变值 | 承台钢筋应力 | 上中下 3 层共 32 个钢筋计 |
| 承台水平垂直位移值 | 承台沉降及水平位移 | 承台表面共 8 个测点 |
| 孔隙水压力值 | 不同深度孔隙水压力 | 不同土层布置 9 个测点 |
| 水位值 | 港池内外水位 | 港池外水位、前墙后和靠近陆域侧各 1 个 |

2 数据分析

钢管桩在各工况下弯矩见图 2, 前墙钢管板桩测试数据稳定, 两根桩趋势基本一致, 数据离散性较小, 上部有一个正弯矩峰值, 反弯点位于-23~-21 m, 下部形成一个负弯矩峰值。前墙钢管板桩

向港池侧挠度在开挖至-5 m 工况时最大, 进水后变形逐渐减小, 其后随着承台土体变形发展, 墙后土压力逐渐减小, 弯矩整体呈减小的趋势, 反弯点逐步上升。

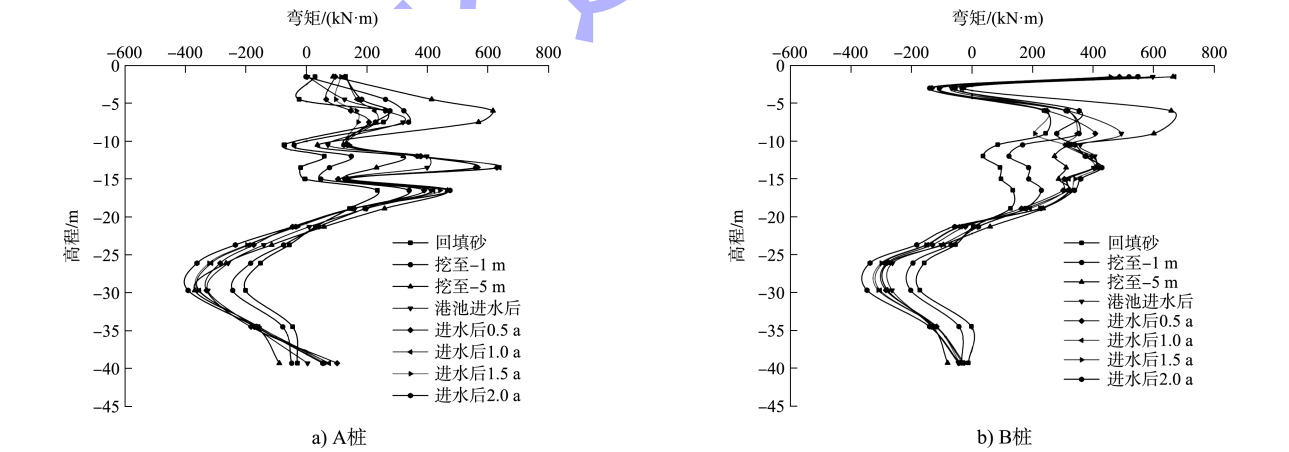


图 2 钢管桩各工况弯矩

土压力分布见图 3, 土压力测试数据稳定, T_1 、 T_2 测点变化趋势一致, 数据离散性小, 初始土压力数值较大, 特别在-17~-10 m 间的断面测试数据在各工况下有突增, 断面对应土层为③₂粉砂夹粉土层及③粉砂层; 在沉桩施工阶段, 由于打入桩对土体的挤密效应, 各层土压力均有不同

程度的提高, 土压力整体呈增加的趋势, 在开挖-5 m 工况时土压力变化较大, 随着前墙向港池侧位移土压力逐渐减小, 上部土压力明显减小, 深层土体变化微小。后排卸荷承台桩基较密, 土体的遮帘效果明显, 桩间土打桩达到紧密状态也未发生相对位移。

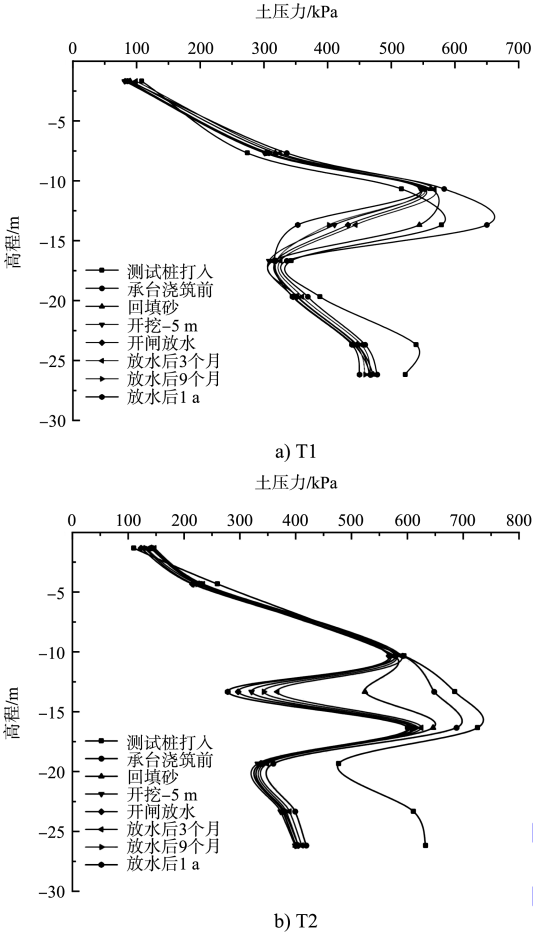
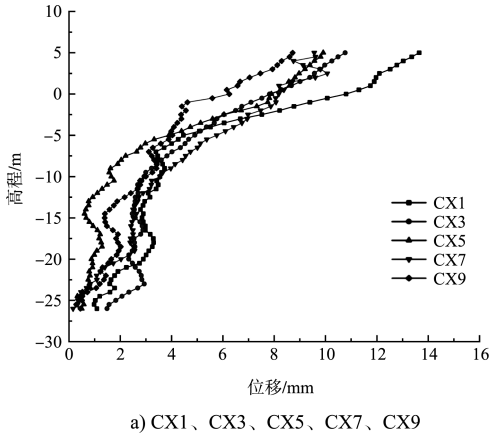


图 3 各工况下测点土压力分布

开挖-5 m 工况时两组测点 CX1~CX10 土体对比曲线见图 4, 深层土体位移测点靠近前排钢管板桩, 测试土体位移相对较大, 测斜以承台浇筑工况为初始零点, 深层土体位移随工况开展整体不断增大。

承台水平位移的数据受工况变化影响较大, 各测点的沉降与水平位移见图 5, 开挖至-1 m 和-5 m 高程的两次测量中, 承台水平位移较大, 之后逐渐减小, 越靠前排架测点水平位移越大。



a) CX1、CX3、CX5、CX7、CX9

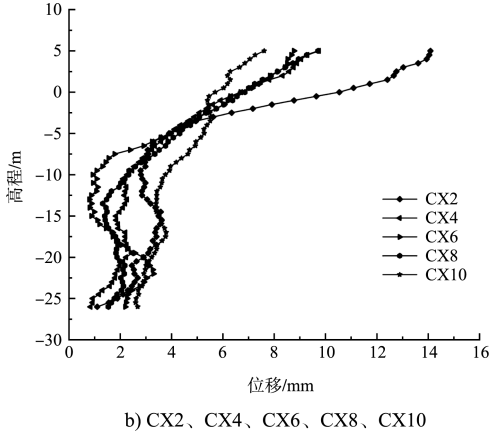
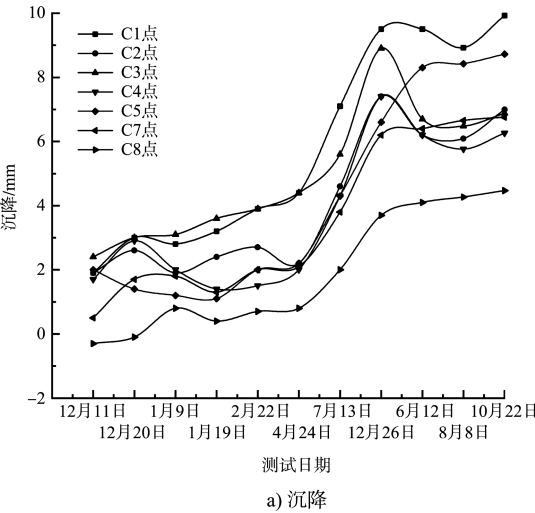
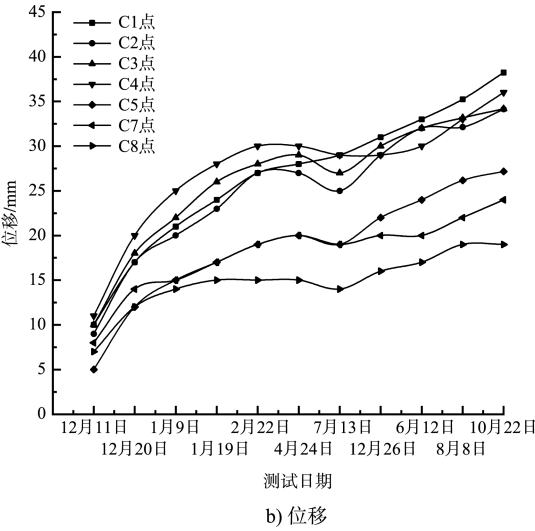


图 4 开挖-5 m 工况 CX1~CX10 深层土体位移对比



a) 沉降



b) 位移

图 5 承台各测点的沉降与水平位移

长期观测中主要观测项目时程变化见表 2, 钢管板桩正弯矩值整体减小, 负弯矩峰值有所增加, 反弯点有上移趋势, 土体位移尤其是上部土体位移持续向港池侧开展, 承台靠近前墙侧沉降量与靠近陆域侧沉降量有 3~5 mm 的差异, 前墙侧沉

降量更大。进水后土压力明显受水位变化影响，日均变化规律与水位及孔隙水压力变化相对应，长期工况下土压力值比较稳定，变化较小。PHC 桩轴力长期呈现增加的趋势，各桩均为压桩，分

析认为承台及上部荷载作用于承台下土体与 PHC 形成的复合基础之上，随着承台下土体发生固结沉降，承台及上部荷载作用逐渐由 PHC 桩承担，使 PHC 桩轴力逐渐增大。

表 2 主要测试项目时程变化

| 测试工况 | 钢管板桩弯矩 | 钢管板桩挠曲变形 | 土压力 | 测斜 | PHC 桩轴力 | 承台沉降位移 |
|--------|-------------------|----------|-----|----------------------|---------|--------|
| 承台浇筑 | ↑ | — | ↓ | 向港池侧 ↑ | ↑ | ↑ |
| 开挖-1 m | ↑ | — | ↓ | 向港池侧 ↑ | ↑ | ↑ |
| 开挖-5 m | ↑ | 向港池侧 ↑ | ↓ | 向港池侧 ↑ | ↑ | ↑ |
| 开闸放水 | ↓ | 向港池侧 ↓ | ↑ | 上部向港池侧 ↑ 下部向港池侧 ↓ | ↑ | ↑ |
| 长期观测 | 正弯矩值 ↓ 负弯矩峰值 ↑ | 向港池侧 ↓ | ↓ | 向港池侧 ↑ | ↑ | ↑ |

注：“↑”表示增加，“↓”表示减小。

3 结论

1)本次原型观测结合整体卸荷式板桩码头结构形式及主要施工工艺，确定仪器埋设方案及保护方法。根据项目监测周期及施工过程中典型工况，明确监测频次及监测内容，获取测试数据，对于类似工程具有一定的参考意义。

2)由于打入 PHC 桩的挤密效应，土压力测试值整体较大，与按板桩规范理论计算主动土压力值相比偏大 20%~30%。本工程在承台下方打入 PHC 桩之后，桩间距较小，板桩墙后主体受到桩基挤密作用。

3)开挖不同深度时，前墙钢板桩各断面弯矩值受边界条件改变及墙后主动土压力作用增长较大，放水后弯矩值明显减小，随着承台土体变形发展，墙后土压力逐渐减小，弯矩整体减小，反弯点逐步上升。

参考文献：

[1] 蔡正银.板桩结构土压力理论的创新发展[J].岩土工程学报,2020,42(2):201-220.

[2] 刘永绣.板桩和地下墙码头的设计理论和方法[M].北京:人民交通出版社,2006.

[3] 刘进生,刘永绣.卸荷式板桩码头结构在汉堡港的应用[J].港工技术,2005,42(4):20-21,32.

[4] 中交第一航务工程勘察设计院有限公司,中交第三航务工程勘察设计院有限公司,中交第四航务工程局有限公司.码头结构设计规范:JTS 167—2018[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2018.

[5] 李斌.遮帘式板桩码头结构土压力算法及承载特性研究[D].天津:天津大学,2010.

[6] 张博杰,林先炜,王婷婷.卸荷式地连墙板桩码头三维数值模拟研究[J].港工技术,2019,56(3):49-53.

[7] 徐光明,刘阳,任国峰,等.20万吨级卸荷式板桩码头离心模型试验研究[J].岩土工程学报,2018,40(1):46-53.

(本文编辑 赵娟)

—————

著作权授权声明

本刊已许可《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司、北京万方数据股份有限公司、重庆维普资讯有限公司、北京世纪超星信息技术发展有限责任公司以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文。本刊支付的稿酬已包含上述公司著作权使用费，所有署名作者向本刊提交文章发表之行为视为同意上述声明。