



分离卸荷式板桩码头工作性状的静力分析

安杰晶¹, 王琴芬¹, 巫 飞^{1,2}, 汪 啸¹, 陈 达¹

(1. 河海大学, 江苏 南京 210098; 2. 中交第四航务勘察设计院有限公司, 广东 广州 510230)

摘要: 分离卸荷式板桩码头, 作为近年来一种新型码头结构形式, 在保持传统板桩码头优势的同时, 可适用于深水泊位。目前, 对其工作性状和工作机理的理论研究还不够成熟。为进一步了解其工作性状, 利用有限元软件 ABAQUS 对某分离卸荷式板桩码头进行有限元建模和静力分析, 分析卸荷承台及群桩设置的作用及工作性状, 为码头设计及优化提供相关依据。

关键词: 分离卸荷式板桩码头; ABAQUS; 静力分析

中图分类号: U 656.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2015)07-0092-06

Numerical analysis of working status of separate sheet-pile wharf with separated relieving platform

AN Jie-jing¹, WANG Qin-fen¹, WU Fei^{1,2}, WANG Xiao¹, CHEN Da¹

(1. Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. CCCC-FHDI Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510230, China)

Abstract: The sheet-pile wharf with separated relieving platform, a new form of wharf structure of recent years, is adaptable to the deepwater berth while maintaining the advantages of the conventional sheet-pile wharf. The theoretical study on its behaviors and working mechanism is still not enough. In order to further understand the traits of their work, we carry out the finite element modeling and static analysis of it using the finite element software ABAQUS, and analyze the function and working status of the relieving platform and group piles, to serve relevant basis for the design and optimization of wharves.

Keywords: sheet-pile wharf with separated relieving platform; ABAQUS; static analysis

分离卸荷式板桩码头在前墙的后方设有桩支撑的卸荷承台, 群桩基础来承担承台上方土重和码头面上的荷载。该承台不像高桩码头中的承台结构, 承台设置在码头顶面, 而是放置在土体中较低的位置, 以便发挥卸荷作用; 也不像重力式码头中的卸荷板结构, 直接嵌入码头结构本身, 下方无支撑物, 而是由各种形式不同的桩打入持力层支撑, 以达到对码头前墙卸荷的目的^[1-3]。

本文应用有限元软件 ABAQUS 对某分离卸荷式板桩码头进行有限元分析, 分析该新型结构中卸荷板和桩的设置对于前墙受力状态的影响, 探究该新型码头形式的工作性状。

1 工程概况

某港区 10 万吨级分离卸荷式板桩码头结构断面见图 1。

2 计算模型的确定和参数选取

在本次有限元数值计算中, 对结构体的模拟主要采用弹性力学模型, 参数选取见表 1。

表 1 模型参数选取

材料	模型建立	参数	单元选取
土	Mohr-Coulomb 弹塑性模型	工程实际	C3D8 单元
混凝土	线弹性模型	$\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$ $E = 28 \text{ GPa}$ $\nu = 0.2$	C3D8 单元
钢拉杆	线弹性模型	$\gamma = 78.5 \text{ kN/m}^3$ $E = 206 \text{ GPa}$ $\nu = 0.3$	T3D2 单元

收稿日期: 2014-11-05

作者简介: 安杰晶 (1988—), 女, 硕士研究生, 从事分离卸荷式板桩码头工作性状研究。

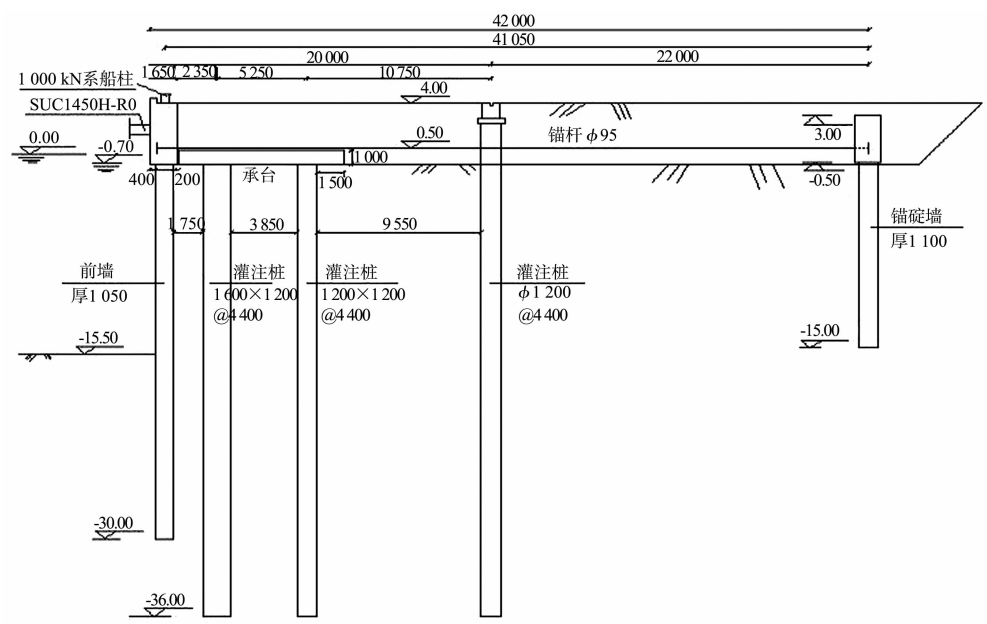


图 1 码头断面结构 (高程: m, 尺寸: mm)

模型施加码头前沿地面荷载 30 kPa, 通过 ABAQUS 数值模拟, 采用 6 组模拟方案进行对比和分析见表 2。

表 2 模拟方案

设计方案	模型 编号	卸荷 承台	卸荷承台与 桩基连接方式	胸墙与卸荷 承台间距/mm
方案 1(3 排桩)	M1-1	有	固接	无
	M1-2	有	固接	50
	M1-3	有	铰接	无
	M1-4	有	铰接	50
	M1-5	无	无	无
方案 2(2 排桩)	M2-1	有	固接	50

在本次有限元计算中, 前后横断面边界条件 $U_1=0$ (y 轴竖向、 z 轴纵向); 左右土体断面边界条件 $U_3=UR_1=UR_2=0$; 模型底部边界条件 $U_1=U_2=U_3=UR_1=UR_2=UR_3=0$ 。

结构上部荷载以设计荷载为准, 包括前沿 30 kPa 及后方堆场 80 kPa 均布荷载。考虑港池最低水位 -1.53 m 时剩余水压力作用, 采用最大水头 1.35 m 计, 剩余水压力为 13.5 kPa, -4.18 ~ -5.53 三角形荷载。

3 计算结果分析

读取计算结果时, 对处于接触面交线上的节

点, 因接触压力有 2 个值, 所以须认真辨别后选取输出; 对于弯矩, 则由于采用了实体单元 (无弯矩输出), 须使用 Force & Moment 进行调节。主要结果输出效果见图 2~4。

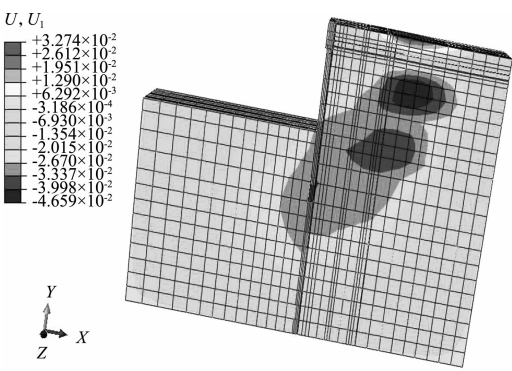


图 2 水平方向变形

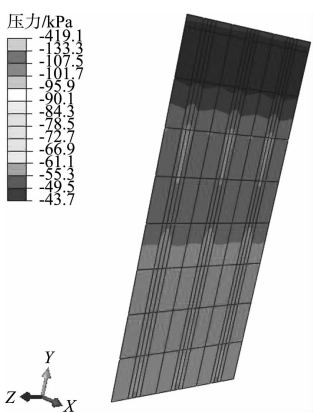


图 3 前墙面上土压力

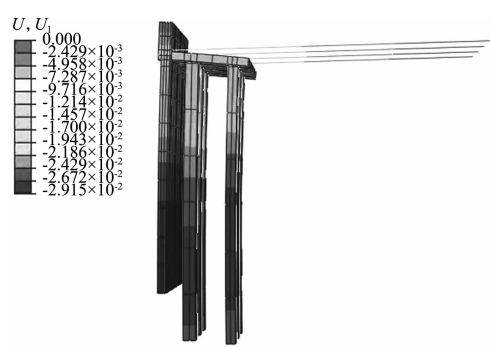


图 4 局部水平方向变形（放大 30 倍）

3.1 与整体卸荷式板桩码头进行对比分析

卸荷式板桩码头以卸荷承台与胸前间距划分，可分为整体式和分离式。截至目前，欧洲及日本等国广泛采用整体式，即胸墙与卸荷承台为一体，而我国则较多采用分离式。两者各有优劣。现对固接模型 M1-1 ~ M1-2、铰接模型 M1-3 ~ M1-4 结果进行分析（图 5 ~ 7）。

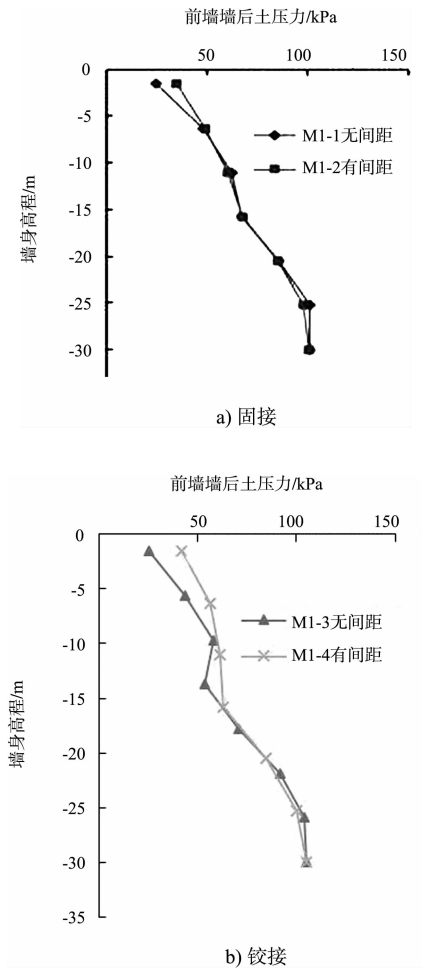


图 5 卸荷承台与桩基墙后土压力

由图 5 可知，无论卸荷承台与桩基采用固接还是铰接，前墙墙后土压力在有无间距时都呈现出相似的变化规律：在墙身中下部，前墙墙后土压力几乎相等；在墙身上部，无间距时则较有间距时略小，出现上述规律可以解释为：无论是固接模型还是铰接模型，均会因为间距的存在而传递上部荷载或传递该土体所受的挤压应力，造成前墙上部墙后土压力有所增大；而对于中下部，则会由于该部分土体受到挤压等因素的影响，减弱了该部分土体对上部所新增荷载的反映，因而中下部土压力变化不大。

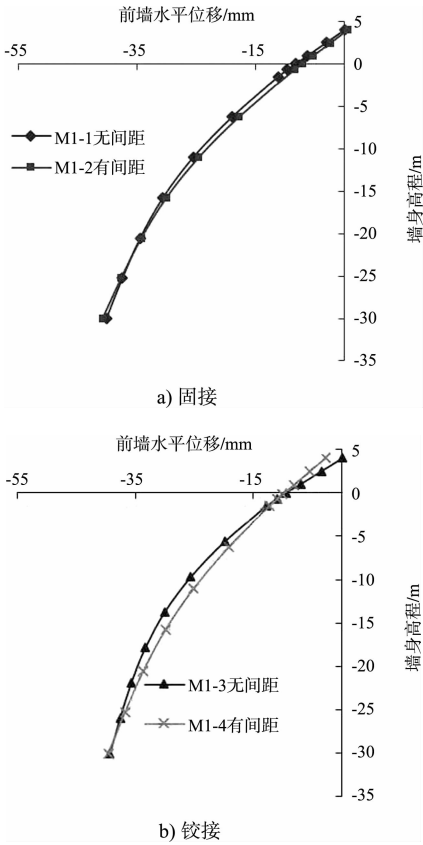


图 6 卸荷承台与桩基水平位移

由图 6 可知：不论卸荷承台与桩基采用固接还是铰接，前墙水平位移在有无间距时都呈现出相似的变化规律：无间距时，墙身中部水平位移较有间距时略大，但相差不多，出现上述规律可以解释为：有间距时，前墙上部墙后土压力虽有所增大，但间距会将后方承台对前墙的作用减弱，如同弹簧一般起到缓冲作用，相比于无间距的前墙，其上土压力虽小，但其变形包含后方承台，因而综合作用下有间距时较无间距时还小。

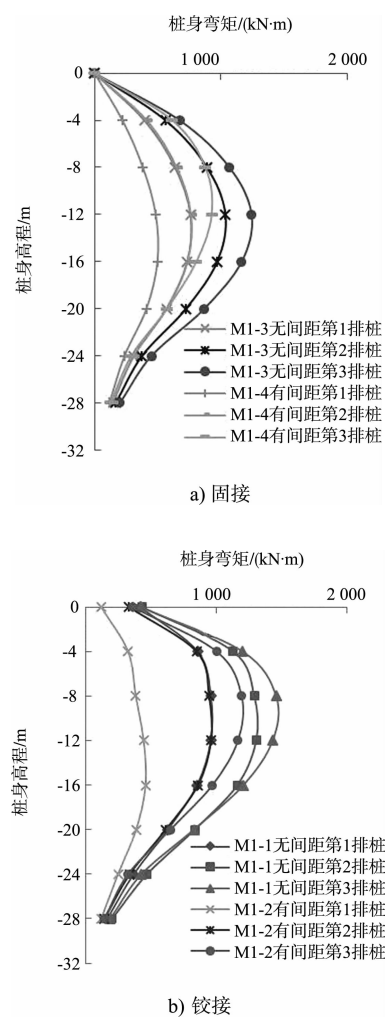


图 7 卸荷承台与桩基桩身弯矩

由图 7 可知, 无论卸荷承台与桩基采用固接还是铰接, 采用分离式下桩身弯矩较整体式下桩身弯矩都有较大的减小, 出现上述规律可以解释为: 如若无前墙影响, 各组模型在同样受力条件下其桩基将产生相同的弯矩, 考虑前墙影响, 则采用整体式时还需受整体结构前移影响, 从而产生更大的弯矩。

3.2 卸荷承台对码头结构的影响分析

3.2.1 卸荷平台对前墙墙后土压力的影响

图 8 为方案 1 下 5 种模拟方案前墙墙后土压力分布。由图 8 对比可知, 卸荷承台的设置使土压力分布产生显著的变化, 墙身中上部及墙后土压力均有较大的减小, 但墙身下部及靠近墙底处墙后土压力有所增加。

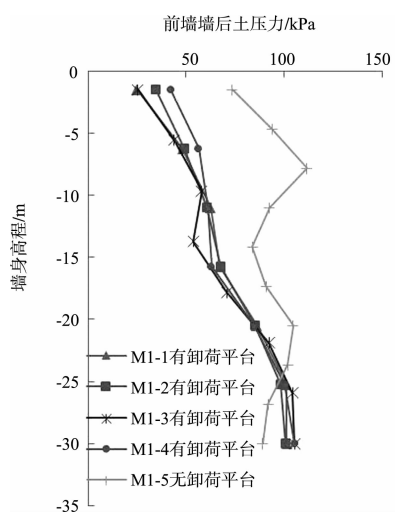


图 8 前墙墙后土压力分布

分析原因可知, 不设置卸荷承台时, 中部两层粘土发生的较大水平位移致使后方相应区域的土体受到挤压, 而导致土压力大幅度增大, 而卸荷承台的设置对其后方土体起到一定的遮挡作用, 对墙后土压力分布产生影响, 使土压力分布形式更趋向于平缓, 同时, 亦导致最大位移位置下移, 致使土压力较无卸荷承台时有了增长的现象。

3.2.2 卸荷平台对前墙弯矩的影响

图 9 为方案 1 下 5 种模拟方案各模型前墙弯矩分布图, 总体呈现前墙弯矩中部较大, 两端较小的基本分布规律。经对比发现, 卸荷承台的设置使前墙最大单宽弯矩产生较大的减小, 有前沿地面荷载模型下前墙最大单宽弯矩减小幅度超过 70%。

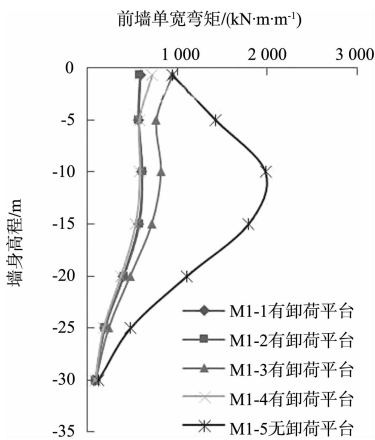


图 9 前墙墙后单宽弯矩分布

分析原因可知, 板桩码头结构由于上部受到较强的约束作用, 下部相对自由, 呈现出中间大

两端小的基本分布归路，同时卸荷承台的遮挡作用另前墙的受力状况得到良好的改善，前墙弯矩产生较大程度的减小，改善了前墙的受力变形特性。

3.3 桩对码头结构的影响分析

3.3.1 桩长的影响

采用模型 M2-1，分别对 24、28、32、35.3、38 m 等 5 种桩长进行数值模拟和数据分析。

图 10 为各桩长下前墙墙后土压力图，观察可知，桩长的增加在一定程度上可以改善前墙的墙后土压力，并且随着桩长的增大，前墙中上部墙后土压力几乎保持不变，下部有较大的减小；当桩长小于前墙高度时，前墙下部土压力有明显的增加再减小的趋势。

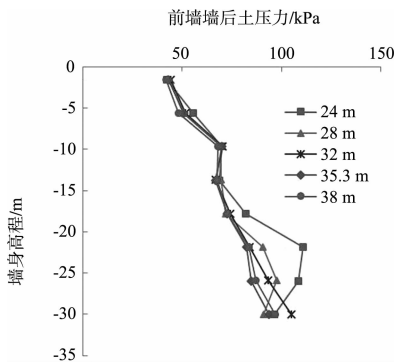


图 10 前墙墙后土压力

桩的存在对于前墙起到一定的遮挡作用，使墙后土压力值有所减小。在一定范围内，随着桩长的增长，遮挡作用随之增强，然而，当桩长过长时，桩增长部分距离前墙距离达到一足够远定值时，基本上起不到遮挡作用，对前墙土压力的影响作用很小，土压力的变化不明显。此外，当桩长小于前墙高度时，前墙下部土体将受墙底嵌固（变小）及前排桩桩底前移挤压（增大）综合作用，因而土压力会产生先增大再减小的变化规律。

图 11 为各桩长对应模型下前墙水平位移图，由图 11 可知，在一定范围内，桩长的增加可以显著减小前墙的水平位移。桩长由 24 m 增长至 38 m 时，前墙最大水平位移由 40 mm 减小至 32 mm。

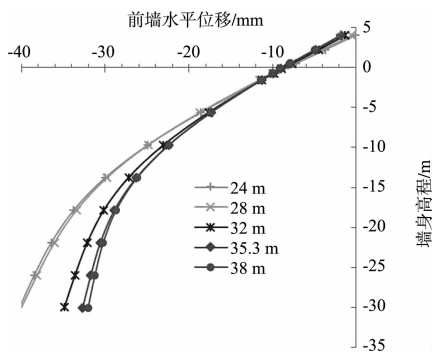


图 11 前墙水平位移

图 12 为方案 2 各模型前墙弯矩分布图，由图 12 可知，桩长增加前墙弯矩有小幅的减小，最大弯矩及水平位移点有所下移。前墙弯矩随着桩长的增加有小幅减小，桩长每增加 3 ~ 4 m，最大单宽弯矩减小 6 ~ 11 kN·m/m，并保持在 600 ~ 700 kN·m/m 之间；当桩长增长到一定程度时，各数据变化不大。

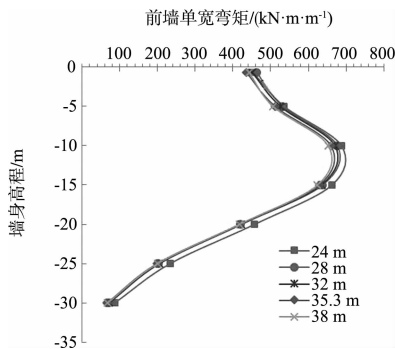


图 12 前墙弯矩分布

综上所述，在一定范围内桩长的增加可以使前墙的受力特性产生较大幅度的改善作用，前墙墙后土压力、前后排桩桩身弯矩及水平位移等受力特性随着桩长的增加都有所改善，最大弯矩及水平位移点有所下移。对比 35.5 m 与 38 m 两组解，各特征量变化程度十分微小，因而，当桩长增长到一定程度时，各数据变化不大。

3.3.2 桩间距影响

桩间距影响土体土拱效应的发挥^[2]，因而会对前墙的受力变形特性产生影响，模拟分析 3.8、4.4、5.0、5.6 m 共 4 种桩间距下前墙受力特性。

由图 13 可知，桩间距由 3.8 m 增长至 5.6 m，前墙弯矩随着间距的增加有所增大，整体分布趋势基本一致，前墙中上部变化相对明显。间距每增加

0.6 m (桩宽的一半), 最大单宽弯矩增加 15 ~ 27 kN·m/m, 并保持在 600 ~ 700 kN·m/m 之间。

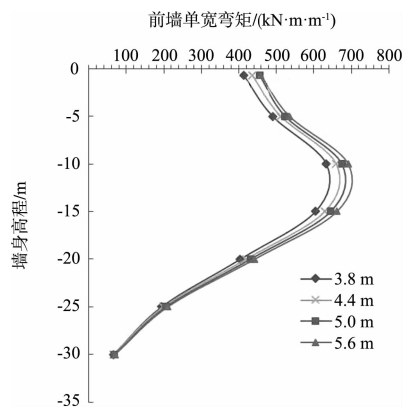


图 13 各模拟方案前墙弯矩分布

由图 14 可知, 桩间距由 3.8 m 增长至 5.6 m, 前墙水平位移随着间距的增加有所增大, 间距每增加 0.6 m, 水平位移整体增加 1 mm 左右, 各曲线变化趋势大致相同。

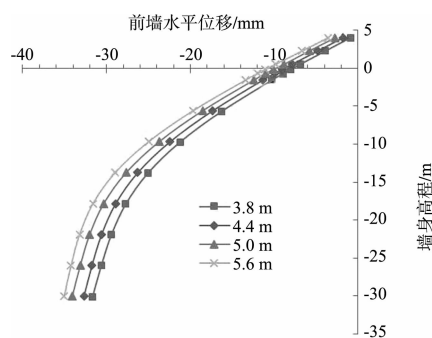


图 14 各模拟方案前墙水平位移

由图 15 可知, 桩间距由 3.8 m 增长至 5.6 m, 前墙桩间墙后土压力整体有减弱趋势, 前墙桩间土压力则随着间距的增加有所增大, 且主要发生在桩身中部, 各组模型均能观察到明显的土拱效应;

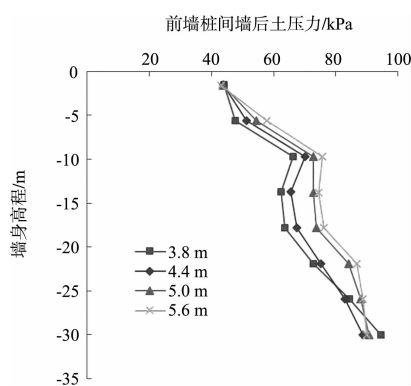


图 15 各模拟方案前墙墙后土压力

分析可知: 由于存在土拱效应, 随着桩间距的增大该效应逐渐减弱, 前墙桩间土压力有所增大, 前墙桩前土压力有所减小, 但前者变化较后者更为显著, 数值也较后者更大, 故弯矩和水平位移也随之有所增大。但由于前墙发生了更大的水平位移, 对其约束, 尤其是中上部的约束大大减弱, 从而上部发生较大水平位移, 综合作用下其弯矩不减反增。

4 结语

分离卸荷式板桩码头是我国自主设计的一种全新的板桩码头结构型式, 它的提出把我国港口工程的建设发展, 板桩码头的大型化、深水化提升到一个新的高度。本文主要利用有限元软件 ABAQUS 对其工作机理及特性进行研究, 得出以下结论:

- 1) 在实际工程中, 对承台与前墙间距的把握需慎重进行, 在满足码头整体布置的情况下, 可尽量减小间距。
- 2) 卸荷承台的设置使前墙最大单宽弯矩产生较大的减小, 有前沿地面荷载模型下前墙最大单宽弯矩减小幅度超过 70%。
- 3) 适当增加桩长, 适当减小桩间距对改善前墙受力变形特性仍是有益的, 但该做法在实际工程中会增加建设成本, 需认真衡量后使用。

分离卸荷式板桩码头型式的提出和使用对于板桩码头走向深水化和大型化有重要的意义, 应进一步通过大型的物理模型试验和数学模型试验研究该型式受力特性, 便于推广和使用^[4]。

参考文献:

[1] 刘永绣. 板桩码头结构的发展和应用[J]. 港口工程, 2010(12): 10-17.

[2] 韩理安. 港口水工建筑物[M]. 北京: 人民交通出版社, 2008.

[3] 刘永绣. 板桩码头向深水化发展的方案构思和实践——遮帘式板桩码头新结构的开发[J]. 港工技术, 2005(12): 12-15.

[4] 刘永绣. 板桩码头向大型化、深水化方向的发展[C]//中国交通建设集团有限公司. 中国交通建设集团有限公司第一届科技大会论文集. 北京: 中国交通建设集团有限公司, 2010: 8-16.

(本文编辑 郭雪珍)