

遮帘桩工作性状影响因素分析

刘晓平¹, 卢 陈¹, 王崇宇², 向 黎¹

(1. 长沙理工大学, 湖南 长沙 410076; 2. 交通部天津水运工程科学研究院, 天津 300456)

摘要: 遮帘桩作为挡土桩在深水建港、深基坑开挖及护岸工程中应用越来越广泛. 为了研究开挖过程中遮帘桩的工作性状, 运用大型有限元软件建立三维有限元的遮帘桩结构模型, 模拟某板桩码头港池开挖. 分析港池开挖后遮帘桩的刚度、桩长、桩间距及遮帘桩与板桩墙距等对板桩墙结构的影响, 从而提出控制板桩墙结构变形、保持港池开挖后稳定的遮帘桩布置方法. 研究表明, 增加遮帘桩桩长和刚度能有效减小板桩墙的变形、陆侧主动土压力和弯矩, 而遮帘桩间距和墙桩距的变化对遮帘桩挡土效果的影响不明显.

关 键 词: 港口工程; 遮帘桩; 有限元; 板桩墙; 影响因素

中图分类号: U656.112:O241 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-640X(2010)01-0079-06

近年来, 随着土木工程技术的快速发展, 在深水建港、深基坑开挖及护岸等工程中, 支护结构前后土层高差越来越大, 导致支护结构因承受过大土压力而被破坏的问题日益突出^[1-8]. 遮帘桩作为一种挡土桩广泛应用于各类工程, 并已成功应用于深水建港工程中^[9-10]. 它布置于支挡结构后方, 通过承担一部分土压力起到加固前方支挡结构的作用, 与常规的加固结构相比, 不仅经济性好, 而且支护效果也更优. 目前, 国内外专家针对遮帘桩进行了一些研究^[1-2], 但对遮帘桩工作性状的影响因素没有系统分析, 还有许多有待深入研究的问题. 为了研究各种因素对遮帘桩工作性状的影响, 本文根据京唐港实际工程进行计算模拟, 分析了遮帘桩的刚度、桩长、桩间距及其与板桩墙排距等参数对板桩墙位移、陆侧主动土压力和弯矩的影响, 从而对遮帘桩的工作性状进行全面评价.

1 模 型 建 立

1.1 本构模型及材料参数

遮帘式板桩码头为钢筋混凝土结构, 前板桩墙高 27.0 m、厚 1.0 m, 遮帘桩长 30 m, 桩的横截面为 2.0 m (抗弯高度) × 1.0 m (宽)、桩间距为 2.75 m, 墙桩距 3.5 m. 整个地基分粉质黏土层、粉细砂①和粉细砂②三层, 总厚度为 50 m (见图 1). 有限元模型见图 2, 桩和土均采用六面体 8 节点单元. 垂直于 x 轴的, 则 x 方向约束, y, z 方向自由; 垂直于 z 轴的, 则 z 方向约束; 模型底面 y 方向约束, x, z 方向自由.

桩体采用线弹性模型, 土体采用弹塑性 DP 材料模型, 并采用 Drucker-Prager 屈服准则. 采用三维有限元-接触面单元相耦合的数值方法来模拟桩土体系, 利用面与面接触的 Targe170、Conta174 单元来模拟桩-土 3D 有限元模型的接触面. 该接触面单元较准确地考虑了以下 2 个因素: 一是桩土界面的最大摩阻力实际受桩土材料的 c, φ 控制, 且与侧向土压力大小有关; 二是桩土界面的摩阻力发挥与桩土间的相对位移有关^[11].

桩为 C25 的钢筋混凝土结构, $E = 2.8 \times 10^4$ MPa, 地基土层物理力学指标见表 1, 主要参考文献[1]中所提供的参数. 为了解有限元模型的正确性, 参照文献[1]建立有限元模型, 计算结果较理想, 表明所采用的计算模型和本构关系是合理的.

收稿日期: 2009-03-25

作者简介: 刘晓平 (1956-), 男, 江苏泰州人, 教授, 主要从事港口工程教学和研究工作. E-mail: lxp@163.com

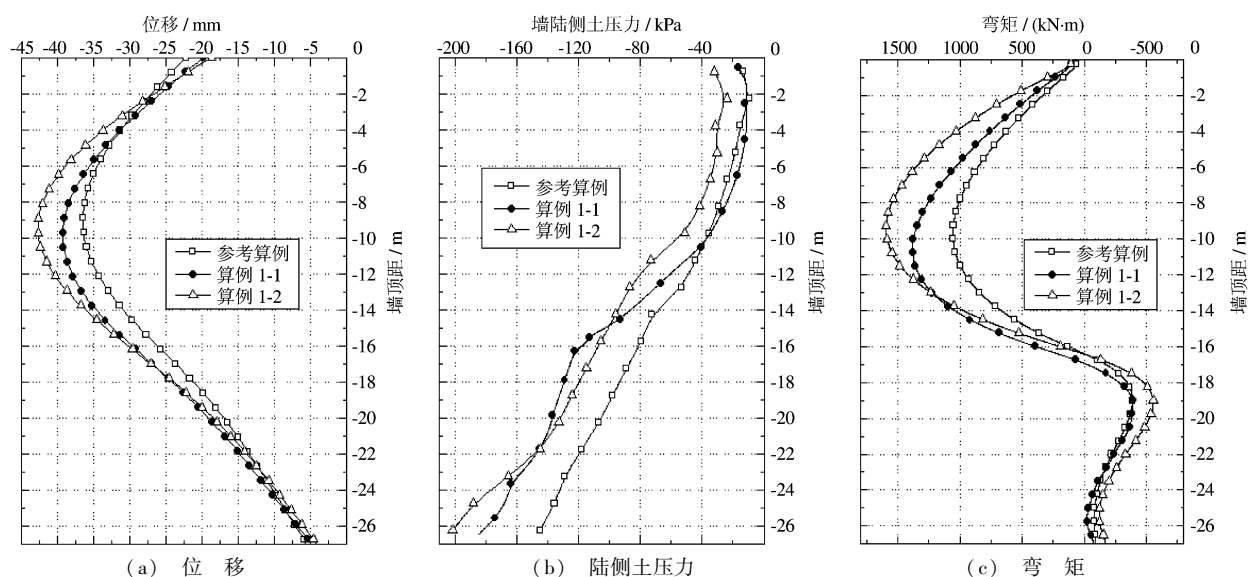


图3 遮帘桩长度的影响

Fig. 3 Influence of length of the covered pile

2.1 桩长影响

把参考算例的遮帘桩长从 30 m 减少到 15 m 作为算例 1-1, 去掉遮帘桩作为算例 1-2 进行计算, 计算结果与参考算例的比较见图 3. 可见, 随着遮帘桩长的减短, 板桩墙变形逐渐增大, 变形规律相似, 且增幅相近.

随着遮帘桩长的变化, 板桩墙陆侧主动土压力变化显著. 从 30 m 减小到 15 m 时, 板桩墙上部主动土压力略微减小, 下部土压力明显增大, 而从 15 m 减小到 0 时, 土压力只在板桩墙上部大约 15 m 范围内存在差别, 说明遮帘效果深度与遮帘桩长密切相关. 再比较有、无遮帘桩的情况, 发现有桩较无桩时土压力明显减小, 且随着深度的增加, 减幅急剧增大, 桩底最大土压力从 201.5 kPa 减小到 145.1 kPa. 说明遮帘桩对板桩墙起到了较好的遮帘效果, 极大地减弱板桩墙下部的主动土压力.

随着遮帘桩桩长的减短, 板桩墙的最大正弯矩明显增大, 算例 1-1 相比于参考算例, 最大正弯矩从 1 057.3 kN·m 增大到 1 381.1 kN·m, 增大近 31%, 而算例 1-2 比算例 1-1 的最大正弯矩只增加了 16%, 增幅明显减小. 可见, 当遮帘桩长较短时, 遮帘效果并不明显, 需增长到一定长度才能发挥其挡土的作用.

2.2 刚度影响

把参考算例的遮帘桩尺寸从 2 m×1 m×30 m 减小到 1 m×1 m×30 m 作为算例 2-1, 将遮帘桩尺寸增大到 3 m×1 m×30 m 作为算例 2-2 进行计算, 以此考察遮帘桩刚度的影响, 计算结果见图 4. 从图 4 可见, 增大遮帘桩刚度对板桩墙顶和墙底的侧向变形影响不大, 但对墙中部的侧向位移影响显著, 以距墙顶 10 m 处侧向位移为例, 参考算例与算例 2-1 相比, 侧向位移由 40.1 mm 减小到 36.3 mm, 减小了 9.5%; 算例 2-2 与参考算例相比, 侧向位移由 36.3 mm 减小到 30.6 mm, 减小了 15.8%. 随着遮帘桩刚度增大, 板桩墙陆侧主动土压力缓慢减小. 比较弯矩可见, 随着遮帘桩刚度的增大, 由于墙顶约束作用和墙底与土的嵌固作用, 使得墙顶和墙底这两部分的弯矩相差不大. 最大正弯矩都出现在距桩顶约 10 m 处, 且随着刚度的增大呈明显减小趋势. 参考算例与算例 2-1 相比, 最大正弯矩从 1 330.2 kN·m 减小到 1 057.3 kN·m, 减小了 20.5%; 算例 2-2 与参考算例相比, 最大正弯矩从 1 057.3 kN·m 减小到 902.5 kN·m, 减小了 14.6%. 可见遮帘桩刚度的增大, 对板桩墙弯矩的减小发挥着重要作用.

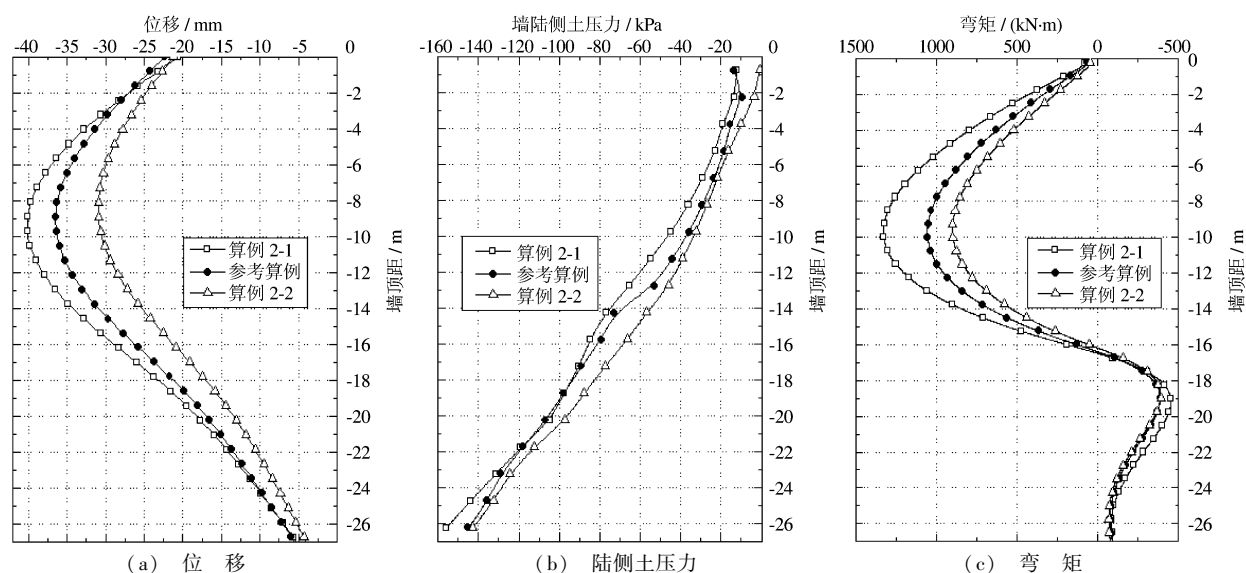


图 4 遮帘桩刚度的影响

Fig. 4 Influence of rigidity of the covered pile

2.3 桩间距影响

把参考算例中的遮帘桩间距由 2.75 m 减小到 2.00 m 作为算例 3-1,把桩间距增大到 3.50 m 作为算例 3-2 进行计算,计算结果与参考算例的比较见图 5.

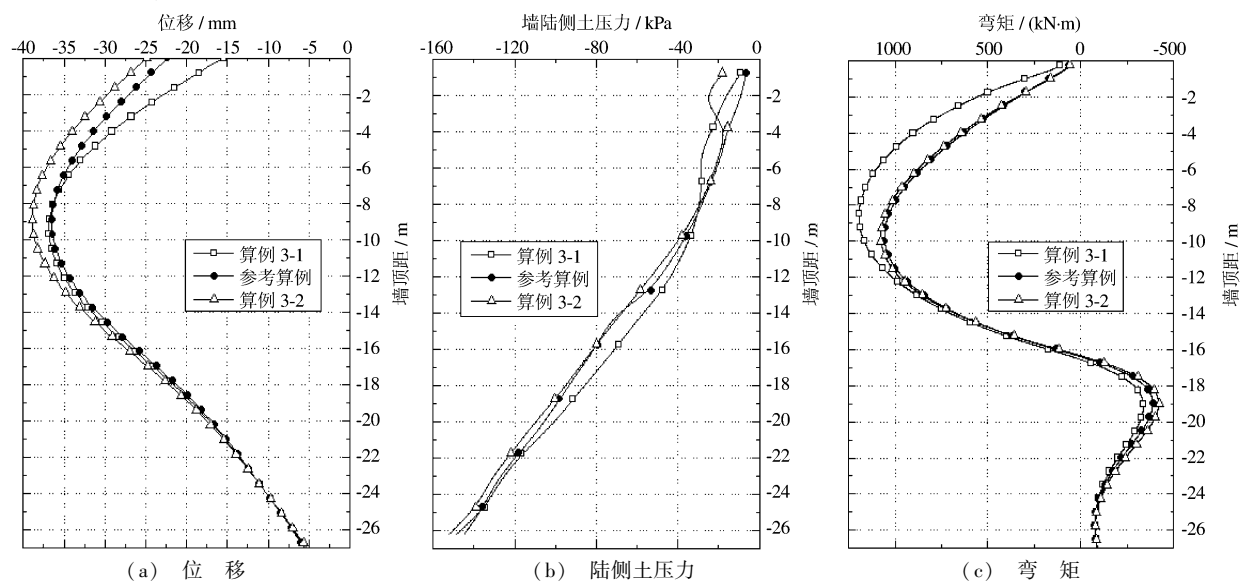


图 5 遮帘桩间距的影响

Fig. 5 Influence of spacing between the covered piles

从图 5 可见,随着遮帘桩间距的增大,陆侧主动土压力变化不明显.遮帘桩间距从 2.00 m 增大到 2.75 m 时,板桩墙的变形和弯矩基本不变,但是从 2.75 m 变化到 3.50 m 时却显著增大.由此可见,过多的增大遮帘桩间距,会导致板桩墙产生较大的变形和弯矩.

2.4 墙桩距的影响

把参考算例中墙桩距从 3.5 m 增大到 5.5 m 作为算例 4-1,增大到 7.5 m 作为算例 4-2,以此考察墙桩

距的影响,计算结果如图6所示.从图6可明显看出,随着墙桩距的增大,板桩墙的位移、主动土压力及弯矩逐渐增大,但增幅并不显著,这表明墙桩距对遮帘桩挡土作用的发挥影响不明显.

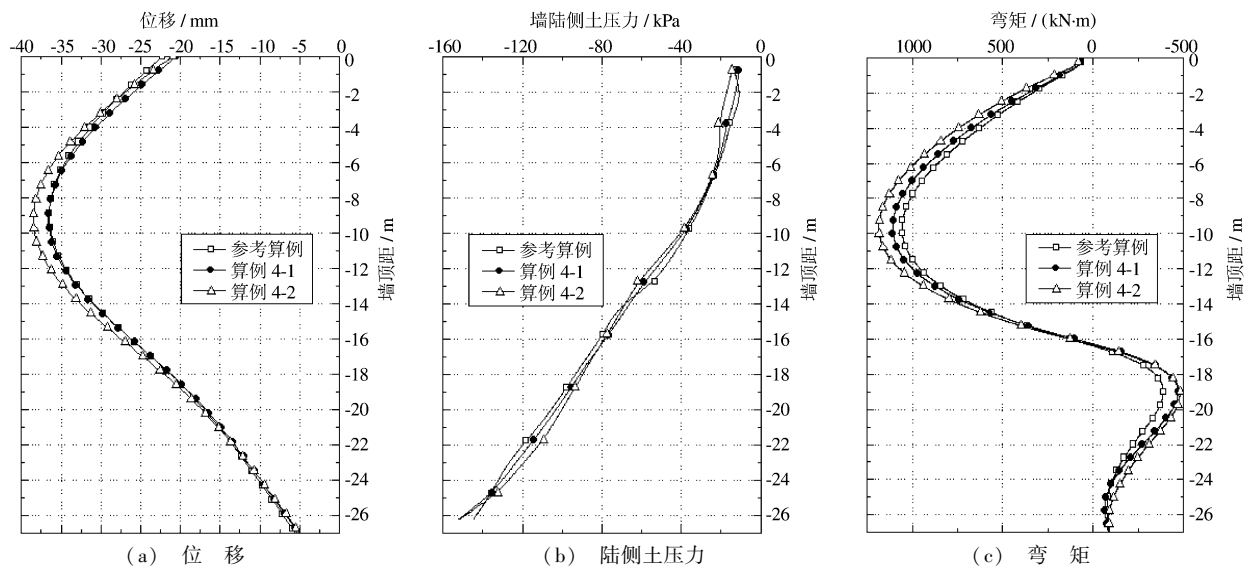


图6 墙桩距的影响

Fig. 6 Influence of spacing between the covered piles and the sheet pile wall

3 结 语

根据遮帘桩结构的受力特点,应用有限元软件,建立了合理的计算模型,对相关参数的影响分析表明:

(1)增大遮帘桩长,能有效减小板桩墙的变形、陆侧主动土压力和弯矩.从无桩变化到30 m桩长时,墙底处最大土压力从201.5 kPa减小到145.1 kPa,遮帘桩对板桩墙起到了较好的遮帘效果,特别是对减弱板桩墙下部的主动土压力起到了很好的作用;而从15 m桩长的计算结果可见,遮帘桩对板桩墙的挡土作用深度正好与遮帘桩长相当,桩长较短时不能起到遮帘的效果,因此选择遮帘桩桩长要慎重;

(2)遮帘桩刚度对板桩墙的受力影响较大,增大遮帘桩刚度能明显减小板桩墙侧向变形,有效减弱墙的陆侧主动土压力,并极大地减小墙的最大弯矩;

(3)减小遮帘桩间距能减小板桩墙侧向变形、墙陆侧主动土压力和墙身弯矩,但效果不明显;

(4)墙桩距的变化对遮帘桩挡土效果的影响不大.

综上所述,在进行遮帘桩布置时,应重点考虑桩长的选择,只有桩长达到一定深度后,才能充分发挥其遮帘作用.此外,在综合考虑经济因素情况下,适当增大遮帘桩刚度也可有效提高其挡土效果,而桩间距和墙桩距对遮帘桩的挡土效果并不明显,可根据设计和施工需要适当增大.

参 考 文 献:

- [1] 刘永绣,吴荔丹,徐光明,等.遮帘式板桩码头工作机制[J].水利水运工程学报,2006(2):8-12. (LIU Yong-xiu, WU Li-dan, XU Guang-ming, et al. Working mechanism of sheet pile wharf with barrier piles[J]. Hydro-Science and Engineering, 2006(2): 8-12. (in Chinese))
- [2] 李景林,王剑平,蔡正银,等.遮帘式方案改选板桩码头离心模型试验研究[J].岩土工程学报,2006,28(8):978-982. (LI Jing-lin, WANG Jian-pin, CAI Zheng-ying, et al. Centrifuge modelling test on covered sheet-piled structure of wharf [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2006, 28(8): 978-982. (in Chinese))
- [3] 徐中华,王建华,王卫东.上海地区深基坑工程中地下连续墙的变形性状[J].土木工程学报,2008,41(8):81-86.

- (XIU Zhong-hua, WANG Jian-hua, WANG Wei-dong. Deformation behavior of diaphragm walls in deep excavations in Shanghai[J]. China Civil Engineering Journal, 2008, 41(8): 81–86. (in Chinese))
- [4] 申永江, 吕 庆, 尚岳全. 桩排距对双排抗滑桩内力的影响[J]. 岩土工程学报, 2008, 30(7): 1033–1037. (SHEN Yong-jiang, LV Qing, SHANG Yue-quan. Effect of pile row distance on internal stress of double-row anti-slide piles[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2008, 30(7): 1033–1037. (in Chinese))
- [5] 黄茂松, 李 早, 杨超. 隧道开挖条件下被动群桩遮拦效应分析[J]. 土木工程学报, 2007, 40(6): 69–74. (HUANG Mao-song, LI Zao, YANG Chao. Analysis of the shielding effect of a pile group adjacent to tunneling[J]. China Civil Engineering Journal, 2007, 40(6): 69–74. (in Chinese))
- [6] 陆培毅, 杨 靖, 韩丽君. 双排桩尺寸效应的有限元分析[J]. 天津大学学报, 2006, 39(8): 963–967. (LU Pei-yi, YANG Jing, HAN Li-jun. Finite element analysis of double-row piles in consideration of dimensional effect[J]. Journal of Tianjin University, 2006, 39(8): 963–967. (in Chinese))
- [7] 崔宏环, 张立群, 赵国景. 深基坑开挖中双排桩支护的三维有限元模拟[J]. 岩土力学, 2006, 27(4): 662–666. (CUI Hong-huan, ZHANG Li-qun, ZHAO Guo-jing. Numerical simulation of deep foundation pit excavation with double-row piles[J]. Rock and Soil Mechanics, 2006, 27(4): 662–666. (in Chinese))
- [8] 王 军, 王 磊, 肖昭然. 双排桩支护排距的有限元分析与研究[J]. 地下空间与工程学报, 2005, 1(6): 1096–1099. (WANG Jun, WANG Lei, XIAO Zhao-ran. Analysis of the interval between double-row piles by finite element method[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2005, 1(6): 1096–1099. (in Chinese))
- [9] 刘永绣, 吴荔丹, 李元音. 一种新型码头结构型式——半遮帘式深水板桩码头结构的推出[J]. 港工技术, 2002(3): 15–18. (LIU Yong-xiu, WU Li-dan, LI Yuan-yin. A new type of wharf structure the structure of semi-covered type of deep water sheet pile wharf[J]. Port Engineering Technology, 2002(3): 15–18. (in Chinese))
- [10] 吕 宁, 蔡正银, 徐光明, 等. 遮帘式板桩码头结构设计方案的优化与验证[J]. 港工技术, 2005(2): 22–24. (LV Ning, CAI Zheng-yin, XU Guang-ming, et al. Optimization for the design of a new type of covered sheet pile wharf[J]. Port Engineering Technology, 2005(2): 22–24. (in Chinese))
- [11] 董必昌, 王靖涛. 复合地基数字仿真中接触单元参数研究[J]. 华中理工大学学报, 2004, 2(6): 40–43. (DONG Bi-chang, WANG Jing-tao. Parametric study of the contact elements in digital simulation of composite foundations[J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology, 2004, 2(6): 40–43. (in Chinese))

Analysis of soil-retraining mechanism and influencing factors of covered pile

LIU Xiao-ping¹, LU Chen¹, WANG Cong-yu², XIANG Li¹

(1. Changsha University of Science and Technology, Changsha 410076, China; 2. Tianjin Research Institute for Water Transport Engineering, Tianjin 300456, China)

Abstract: Covered pile has been widely used as a kind of retaining pile in some projects, such as like deep-water port projects, excavating projects for foundation ditches, and retaining wall projects. The FEM software ANSYS is employed for the analysis of the 3D finite covered pile model in the paper, and the excavating process of a sheet pile wharf is simulated. The factors such as rigidity, length, space of covered piles, and space between the covered pile and sheet-piled wall are detailed in the paper, which influence the sheet pile model before and after the excavating works. The paper also puts forward the covered piles' rational layout to control the distortion of the sheet-pile wall after the excavating works. The results show that the distortion, active earth pressure and movement will be reduced effectively when the covered piles are longer and have greater rigidity. But the space between covered piles and the space between the covered pile and the sheet-piled wall have little effect.

Key words: port project; covered pile; finite element; sheet pile wall; influencing factor