

# 双排高强预应力砼管桩在基坑支护工程中的应用

李仁民<sup>1,2</sup>, 陈晓凤<sup>2</sup>, 童立元<sup>1,2</sup>, 王守超<sup>2</sup>, 刘松玉<sup>1</sup>, 方磊<sup>1</sup>

(1. 东南大学岩土工程研究所, 江苏 南京 210096; 2. 南京东大岩土工程技术有限公司, 江苏 南京 210096)

**摘要:** 预应力高强砼管桩(PHC管桩)常用于桩基工程中, 由于其具有施工快、造价低等特点, 近年来也逐渐用于基坑支护工程中。双排桩是一种空间桁架结构, 刚度大, 控制变形能力强, 可以不设内撑, 挖土方便, 常用桩型为钻孔灌注桩。双排高强预应力砼管桩是一种新型的基坑围护结构, 可以充分发挥高强预应力砼管桩和双排桩的优点。本文结合溧阳文化公园及数码广场基坑工程实例, 介绍了双排高强预应力砼管桩在基坑支护工程中的应用。

**关键词:** 双排桩; 预应力高强砼管桩(PHC管桩); 基坑支护

**中图分类号:** U443.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-4548(2012)S0-0585-05

**作者简介:** 李仁民(1976-), 男, 安徽滁州人, 博士、注册岩土工程师, 主要从事地下结构工程、地基基础和环境岩土工程等方面的教学和科研工作。E-mail: 77482623@qq.com。

## Application of double prestressed high-strength concrete pipe piles in excavation engineering

LI Ren-min<sup>1,2</sup>, CHEN Xiao-feng<sup>2</sup>, TONG Li-yuan<sup>1,2</sup>, WANG Shou-chao<sup>2</sup>, LIU Song-yu<sup>1</sup>, FANG Lei<sup>1</sup>

(1. Institute of Geotechnical Engineering of SEU, Nanjing 210096, China; 2. Geotechnical Engineering Co. Ltd of Southeast University, Nanjing 210096, China)

**Abstract:** The prestressed high-strength concrete pipe piles (PHC piles) are commonly used in the pile foundation engineering. In recent years, because of quick construction and low cost, the PHC piles gradually applied to the excavation engineering. The double-row piles are a space truss structure with large and satisfactory rigidity ability to control the deformation and no internal support is needed. It is convenient for excavation, and have commonly used piles are cast-in-place concrete piles. The double-row PHC piles are a new bracing structure and have the advantages of double piles and PHC piles. The application of the new supporting structure in excavation engineering is introduced combined with an excavation example of Liyang Cultural park and Digital Square.

**Key words:** double-row pile; prestressed high-strength pipe pile (PHC pile); excavation bracing

## 0 引言

随着经济的不断发展, 高层建筑和对应的基础埋深逐渐增加, 各种深基坑支护的先进设计与施工工艺也不断产生。基坑支护设计与施工应综合考虑工程地质与水文地质条件、基础类型、基坑开挖深度、降排水条件、周边环境、施工季节、支护结构使用期限等因素, 做到因地制宜、因时制宜、合理设计、精心施工、严格监控<sup>[1]</sup>。

PHC管桩具有可批量生产, 工程造价低, 施工速度快及桩身质量容易控制等特点, 在桩基工程中得到了大量应用, 但基坑支护中的应用还不多见<sup>[2]</sup>。根据已经报道的工程实例, PHC管桩应用于基坑支护常采用悬臂型式<sup>[3]</sup>、桩锚型式<sup>[4-6]</sup>及桩加内支撑型式<sup>[7]</sup>。

双排桩支护结构是基坑工程中常用的一种支护型

式, 它是由前、后两排平行的桩及桩顶的连梁组成框架式空间结构。双排桩支护结构不需要架设内支撑, 具有更大的施工空间, 挖土方便。与单排桩悬臂式支护结构相比, 它具有更大的侧向抗弯刚度, 从而能有效地限制侧向变形<sup>[8]</sup>。常用的双排桩桩型为钻孔灌注桩<sup>[9]</sup>。

综合考虑以上优点, 本文作者提出一种新型的基坑支护结构——双排高强预应力砼管桩(专利号: 201020121882.4)<sup>[10]</sup>, 该支护结构综合了PHC管桩及双排桩的优点, 能有效控制基坑及周边环境变形, 加快基坑支护施工进度, 节约基坑支护工程造价。

本文结合工程实践, 介绍了双排高强预应力砼管桩在基坑支护中的应用, 可供类似工程参考。

1 工程概况

本工程为溧阳文化公园及数码广场 A-02 地块，图 1 为工程效果图，该建筑包括高层住宅、数码商场、1 层人防地下室及 1 层地下车库等建筑，场地内地形较平坦，仅局部为人工弃土而稍有起伏，最大高差约 2.50 m。



图 1 工程效果图

Fig. 1 Project renderings

图 2 为地下室及周边环境示意图，基坑面积 16067 m<sup>2</sup>，周长 559 m，挖深 6.2 m，基坑北侧约 6.5 m 外为文化局建筑物（2，3 层框架结构、独立柱基综合楼），西侧 8 m 外为体育路，南侧 8.7 m 外为龙亭路，北侧为本项目二期工程用地。

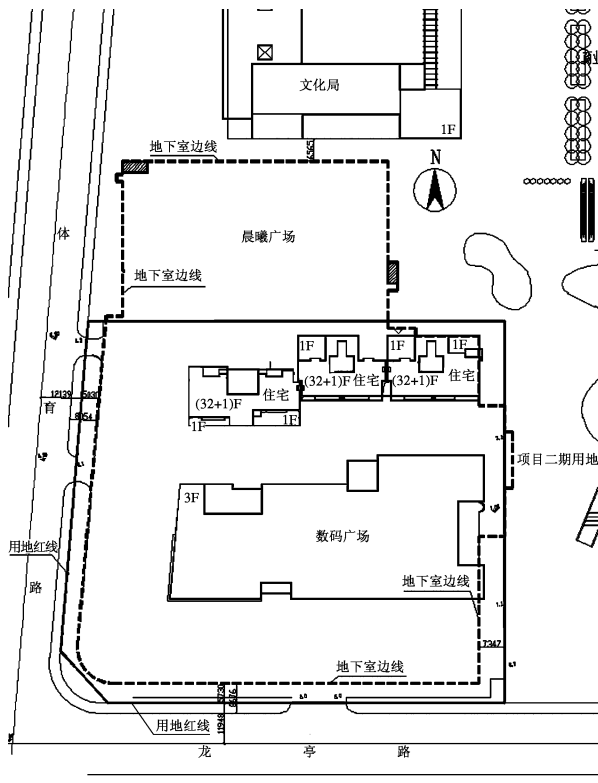


图 2 地下室及周边环境示意图

Fig. 2 The schematic of basements and surrounding environment

2 工程地质、水文地质概况

项目场地位于溧阳市中心，区域上属长江下游冲

积平原地貌单元。典型工程地质剖面见图 3，各层地基土特征详述如下：①<sub>1</sub> 层杂填土：灰—灰黄色，松散状；①<sub>2</sub> 层淤泥：深灰色，流塑状。②层黏土：褐黄间灰褐色，硬塑状，局部可塑状；③层粉土夹粉质黏土：灰黄色，湿，中密状；④层粉质黏土：灰褐间浅灰色，可夹软塑状；④<sub>A</sub> 层粉质黏土：灰褐间深灰色，软塑状为主；⑤层黏土：褐黄—棕黄色，硬塑状为主，少夹坚硬状；⑥层粉质黏土夹粉土：灰黄色，粉质黏土为可夹硬塑状，粉土呈湿、中密状；⑦层粉质黏土：褐黄间暗褐、土黄等色，层底夹暗褐色，可—硬塑状。

场地内及周边未发现明显地表水体，勘探深度内地下水按照埋藏条件可分为孔隙潜水、孔隙微承压水。

孔隙潜水赋存于①层土中，富水性差，与地表水联系紧密；孔隙微承压水赋存于③层粉性土中，富水性一般。①、③层中的地下水相互联通，可视作同一含水层（组），均为孔隙潜水。场区孔隙潜水主要接受大气降水渗透补给，以蒸发、迳流方式排泄；孔隙承压水以越流及迳流补给或排泄。

场区孔隙潜水水位埋藏较浅：钻孔初见水位埋深 0.40~1.00 m；①~③层中的孔隙潜水稳定水位埋深 0.11~1.26 m，相应标高 4.14~4.81 m。

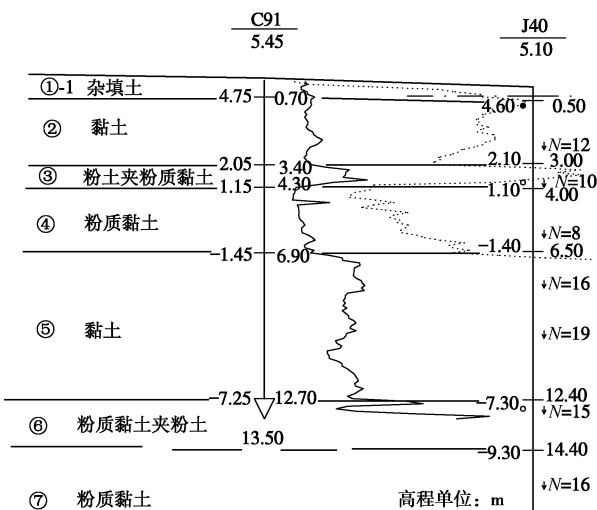


图 3 典型工程地质剖面图

Fig. 3 Typical engineering geological profile

表 1 基坑支护设计参数表

Table 1 Design parameters of the Pit Supporting

层号	名称	重度 $\gamma / (\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$	固结快剪 $c / \text{kPa}$	$\varphi / (^{\circ})$	渗透系数 $/ (\text{cm} \cdot \text{s}^{-1})$
① <sub>1</sub>	杂填土	19.1	18.7	11.8	$1.07 \times 10^{-3}$ $2.18 \times 10^{-3}$
① <sub>2</sub>	淤泥	16	6	5.5	
②	黏土	19.5	56.6	16.6	$7.64 \times 10^{-7}$ $7.14 \times 10^{-8}$
③	粉土夹粉质黏土	18.9	29.1	17.7	$1.40 \times 10^{-4}$ $1.94 \times 10^{-4}$
④	粉质黏土	19	37.8	14.6	$6.19 \times 10^{-6}$ $3.40 \times 10^{-6}$
⑤	黏土	19.8	70.3	17.5	

### 3 基坑支护方案选择

类似工程常用的支护结构型式有放坡、水泥搅拌桩重力式挡墙、单排悬臂桩、单排桩加内支撑、双排桩等。各种支护型式主要特点如下:

放坡: 施工方便、造价低, 缺点是场地要求高, 回填土方多, 本工程基坑东侧场地开阔, 可以采用。

水泥搅拌桩重力式挡墙: 挖土方便, 保水性能好, 但变形较难控制, 且工程造价高<sup>[1]</sup>, 经估算, 本工程需采用 6 排 12 米深的双轴深搅桩, 工程造价约为 8100 元/延米, 本工程②层黏土、⑤层黏土为硬塑状, 施工困难, 不推荐采用。

单排悬臂桩: 挖土方便, 但变形较难控制, 经计算本工程围护结构采用该种形式变形将达到 17 mm, 对周边环境保护不利, 且工程造价较高, 经估算, 本工程可以采用 700@900 钻孔灌注桩, 桩长 12 m, 桩顶设圈梁, 工程造价约为 7300 元/延米, 不推荐采用。

单排桩加内支撑方案: 内支撑对控制变形有利, 比较安全, 但不利于土方开挖, 工程造价较高<sup>[1]</sup>, 且本工程基坑面积较大, 内支撑方案对撑设置困难, 工程造价高, 挖土不够方便, 不推荐采用。

双排桩: 形成整体桁架结构, 整体性能好, 对控制变形有利, 且挖土方便, 推荐采用。

经对比, 本工程不具备放坡条件区域选用双排桩支护型式, 常规双排桩采用钻孔灌注桩, 施工工期长, 钻孔桩施工约需 2 个月, 工程造价高, 采用  $\phi 700@1300$  双排钻孔灌注桩, 桩长 10 m, 桩顶设圈梁, 工程造价约为 9300 元/延米。本工程选用双排高强预应力砼管桩, 施工快, 管桩施工约需 10 d, 工程造价低, 采用  $\text{PHC } \phi 500 \times 120(\text{B 型})$  双排高强预应力砼管桩, 桩长 10 m, 桩间距 1.3 m, 排距 2.0 m, 桩顶设 W 型圈梁, 工程造价约为 4200 元/延米。双排桩桩间距较大, 能减少管桩的挤土效应, 故选用双排高强预应力砼管桩支护型式。

本工程最终采用方案为: 东侧场地开阔, 基坑支护采用二级放坡开挖, 坡比 1:0.6, 坡面挂网喷浆, 北侧、南侧、西侧不具备放坡条件, 基坑支护均选用  $\text{PHC } \phi 500 \times 120(\text{B 型})$  双排高强预应力砼管桩, 桩顶采用 W 型圈梁联接, 桩间土采用挂网喷浆固定, 基坑支护结构平面图详见图 4, 基坑支护结构剖面图详见图 5。

### 4 支护结构计算分析

本工程基坑支护结构设计计算采用《北京理正深基坑支护结构设计软件 F-SPW》6.0 版本, 并严格按

照《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120—99)以及《混凝土结构设计规范》(GB 50010-2002)中的有关基坑支护结构设计要求和标准进行。安全等级为二级, 重要性系数  $\gamma_0$  取 1.0。坑外迎土面的土压力取主动土压力, 开挖面深度以下的土压力按矩形分布取用; 坑内开挖面以下背土面的土压力取被动土压力。本工程所有土层按“水土合算”进行。

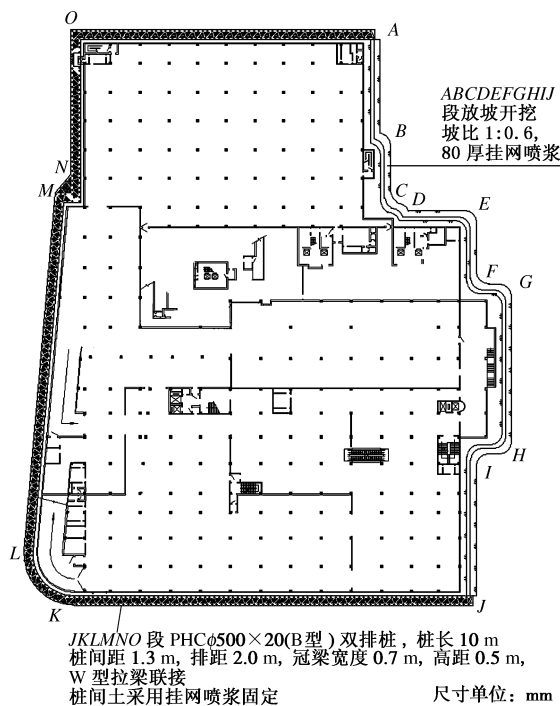


图 4 基坑支护结构平面图

Fig. 4 Plan view of the pit supporting Structure

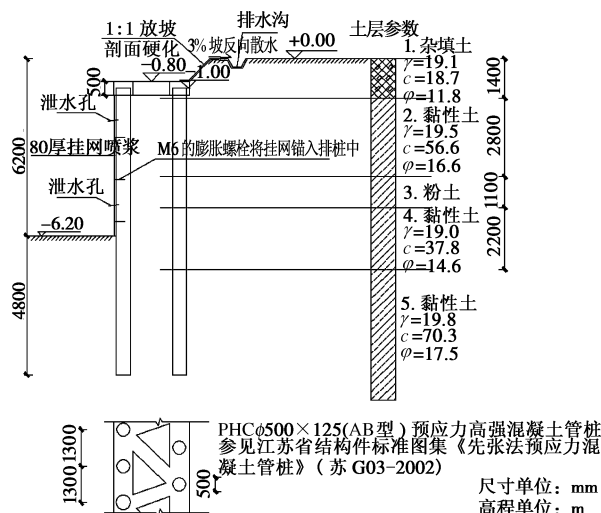


图 5 基坑支护结构剖面图

Fig. 5 Sectional view of the pit supporting structure

计算时,  $\text{PHC } \phi 500 \times 120(\text{B 型})$  管桩 (砼为 C80,  $E=3.8 \text{ N/mm}^2$ ,  $I=2.844 \times 10^4 \text{ mm}^4$ ) 按等刚度原则等效为同直径 C55 砼灌注桩 ( $E=3.55 \text{ N/mm}^2$ ,  $I=3.068 \times 10^4$

mm<sup>4</sup>)。

基坑周边地面超载按均布荷载 20 kPa 考虑, 靠近文化局段增加集中荷载 10 kPa (作用宽度 50 m, 作用深度 0 m, 距坑边距 3.9 m)。

内力和变形计算结果详见图 6。

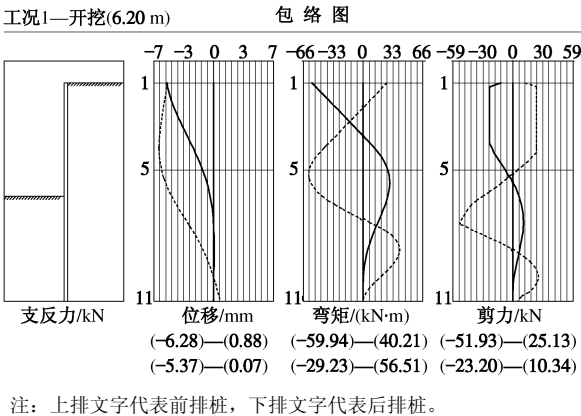


图 6 北侧内力包络图

Fig. 6 The force envelope of the north side

支护桩弯矩设计值最大为 74.93 kN·m, 剪力设计值最大为 64.92 kN。根据钢筋混凝土预应力管桩标准图集, 预应力高强管桩 PHC  $\phi 500 \times 120$  (B 型) (设计弯矩: 235.1 kN·m, 设计剪力: 471.5 kN) 能满足抗弯和抗剪要求。整体稳定安全系数为 3.253, 抗隆起安全系数为 5.666 (普朗德尔公式)、6.627 (太沙基公式), 抗倾覆安全系数为 1.486。

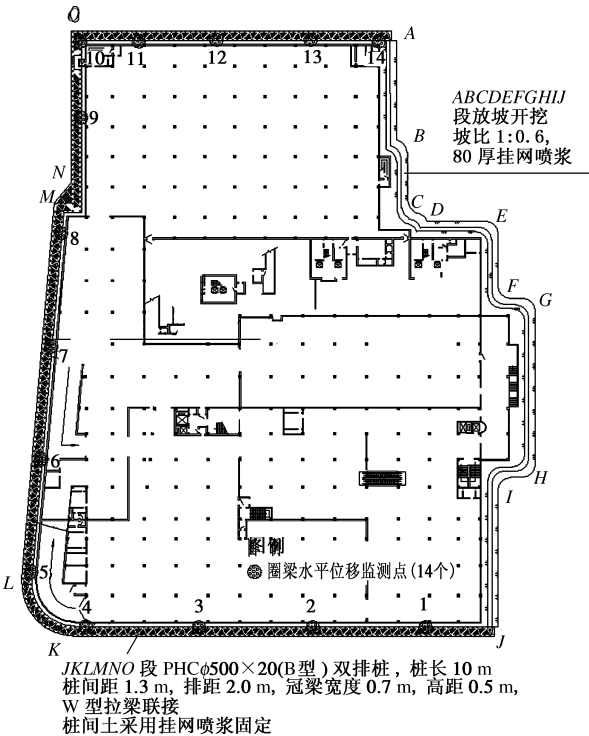


图 7 基坑监测布点图

Fig. 7 Monitoring sites of the pit

5 工程实施效果

管桩施工采用静压法, 工期 10 d, 整个基坑工程从管桩开始施工至土方开挖完成历时约 2 个月。

经专业单位对本工程基坑变形的监测结果表明双排桩桩顶沉降最大 1.85 mm, 桩顶水平位移最大 6 mm, 满足基坑支护设计的要求, 图 8 为桩顶沉降时程曲线图, 图 9 为桩顶水平位移时程曲线图。

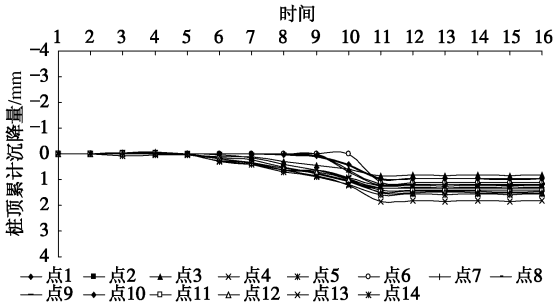


图 8 桩顶沉降时程曲线图

Fig. 8 The time history curves of pile top settlement

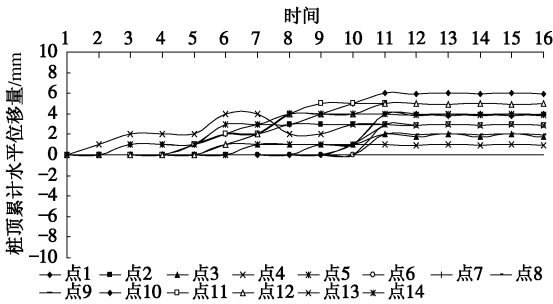


图 9 桩顶水平位移时程曲线图

Fig. 9 The time history curves of pile top horizontal displacement

桩顶 W 型拉梁实施效果详见图 10, 图 11 为基坑开挖效果图。



图 10 桩顶 W 型拉梁

Fig. 10 W-type pull beam of pile top

经过一期的工程实践, 本工程二期 (基坑面积 18382 m<sup>2</sup>, 周长 784.8 m, 挖深 5.8~6.3 m) 仍然选用了此种支护方式, 目前已经开挖到坑底, 垫层施工完

成, 正在施工底板。



图 11 基坑开挖图

Fig. 11 The effect diagram of pit excavation

## 6 结 论

(1) 双排桩管桩桩间距和排距均较大, 容易施工, 可以有效解决管桩施工的挤土效应。

(2) 双排高强预应力砼管桩综合了双排桩及预应力高强管桩的优点, 能有效地提高施工效率、缩短工期、降低工程造价, 且整体性能好, 对控制基坑及周围环境变形极为有利。

(3) 桩间挂网喷浆可以有效防止桩间流土。

### 参考文献:

- [1] 甘斯洁. 多种支护结构在同一基坑中的应用[J]. 城市建设, 2009(20): 83 - 85. (GAN Si-jie. The application of variety supporting structure in the same pit[J]. 2009(20): 83 - 85. (in Chinese))
- [2] 黄广龙, 李 勇, 宰金珉, 等. 预应力混凝土管桩在深基坑支护工程中的应用研究[J]. 建筑施工, 2005, 27(4): 12 - 14. (HUANG Guang-long, Li Yong, ZAI Jin-min, et al. Study on prestressed concrete pipe pile applied to retaining and protecting of deep foundation excavation engineering[J]. Building Construction, 2005, 27(4): 12 - 14. (in Chinese))
- [3] 樊向阳, 奥 娟. PHC 管桩在基坑围护结构中的应用[J]. 地基基础工程, 2008, 12(3): 46 - 48. (FAN Xiang-yang, AO Juan. The application of PHC pile in the foundation pit structure[J]. Geotechnical Engineering World, 2008, 12(3): 46 - 48. (in Chinese))
- [4] 张 仕, 李欢秋, 王爱勋. 提高 PHC 管桩在深基坑支护中应用的技术途径[J]. 地下空间与工程学报, 2011(7): 1643 - 1647. (ZHANG Shi, LI Huan-qiu, WANG Ai-xun. Technical approaches to improvement of application of PHC pile in deep foundation pit[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2011(7): 1643 - 1647. (in Chinese))
- [5] 姚小波, 丁 雷. PHC 管桩在某大型基坑工程中的应用[J]. 福建建材, 2010(1): 37 - 38. (YAO Xiao-bo, DING Lei. The application of PHC pile in a large excavation engineering[J]. Fujian Building Materials, 2010(1): 37 - 38. (in Chinese))
- [6] 李绥林, 刘合伍, 陈昌文. PHC 管桩在某基坑支护工程中的设计与施工[J]. 施工技术, 2010, 39: 47 - 49. (LI Sui-lin, LIU He-wu, CHEN Chang-wen. The design and construction of PHC pipe pile technique in one deep foundation pit supporting engineering[J]. Construction Technology, 2010, 39: 47 - 49. (in Chinese))
- [7] 刘 洋, 卫龙武, 郭 彤. PHC 管桩劲性水泥土墙的受力特性分析[J]. 江苏建筑, 2008(3): 21 - 23, 59. (LIU Yang, WEI Long-wu, GUO Tong. Analysis of mechanical behavior of phc tube pile soil mixing wall[J]. Jiangsu building, 2008(3): 21 - 23, 59. (in Chinese))
- [8] 何亚飞, 杨 敏. 双排桩支护结构的计算模型对比分析[J]. 低温建筑技术, 2009(9): 109 - 111. (HE Ya-fei, YANG Min. Comparative analysis of double pile retaining structure calculation model[J]. Low Temperature Architecture Technology, 2009(9): 109 - 111. (in Chinese))
- [9] 郑 刚, 李 欣, 刘 畅, 等. 考虑桩土相互作用的双排桩分析[J]. 建筑结构学报, 2004, 25(1): 99 - 106. (ZHENG Gang, LI Xin, LIU Chang, et al. Analysis of double-row piles in consideration of the pile-soil interaction[J]. Journal of Building Structures, 2004, 25(1): 99 - 106. (in Chinese))
- [10] 李仁民, 刘松玉, 方 磊. 一种双排桩基坑支护结构[P]. 中国: 201020121882.4, 2010.10.06. (LI Ren-min, LIU Song-yu, FANG Lei. A double pile foundation pit supporting structure[P]. China: 201020121882.4, 2010.10.06. (in Chinese))
- [11] 张幸祥, 林完仙, 陈曙光, 等. 利用旧预应力管桩进行基坑支护的应用实践[J]. 建筑施工, 2005, 27(12): 15 - 16, 38. (ZHANG Xing-xiang, LIN Wan-xian, CHEN Shu-guang, et al. Practical application of used prestressed pipepile to foundation pit support[J]. Building Construction, 2005, 27(12): 15 - 16, 38. (in Chinese))

(本文责编 孙振远)