

SMW 工法在超大深基坑工程中的应用

胡琦^{1,2}, 何品品¹, 方华建^{*2}, 李健平², 朱海娣², 黄天明^{2,3}

(1. 浙江工业大学建筑工程学院, 浙江 杭州 310014; 2. 浙江浙峰工程咨询有限公司, 浙江 杭州 310019;
3. 东通岩土科技股份有限公司, 浙江 杭州 310020)

摘要: SMW 工法亦称新型水泥土搅拌桩墙, 即在水泥土桩内插入 H 型钢等 (多数为 H 型钢, 亦有插入拉森式钢板桩、钢管等), 将承受荷载与防渗挡水结合起来, 使之成为同时具有受力与抗渗两种功能的围护墙。论文介绍了 SMW 工法替代传统钻孔灌注桩作为支护形式在杭州某项目基坑中的应用情况。阐述了 SMW 工法的施工原理和工艺, 并结合工程实践, 验证了 SMW 工法在深基坑工程应用上的实用性和可靠性。

关键词: SMW 工法; 支护结构; 钻孔灌注桩; 深基坑

中图分类号: TU47

文献标识码: A

文章编号: 2096-7195(2020)01-0048-05

作者简介: 胡琦 (1978-), 男, 江西南城人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事土力学、基坑工程等方面的研究与教学工作。E-mail: huqi@zju.edu.cn。

Application of SMW method in super-large deep foundation pit

HU Qi^{1,2}, HE Pin-pin¹, FANG Hua-jian^{*2}, LI Jian-ping², ZHU Hai-di², HUANG Tian-ming^{2,3}

(1. College of Civil Engineering and Architecture, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China;
2. Zhejiang Zhefeng Engineering Consulting Co., Ltd., Hangzhou 310019, China;
3. Dongtong Geotechnical Technology Limited Co., Ltd., Hangzhou 310020, China)

Abstract: The SMW method, also known as a new type of cement-soil mixing pile wall, that is, the H-beam is inserted into the cement-soil pile (mostly the H-beam, sometimes Larsen steel sheet pile or steel pipe), which combined load bearing with the anti-seepage and water-blocking, making it a retaining wall with both supporting and impervious properties. This paper therefore, introduces the application of SMW construction method instead of the traditional bored pile as a supporting form in the foundation pit of a project in Hangzhou. The construction principle and technology of SMW construction method are described, and the practicality and reliability of SMW construction method in deep foundation pit engineering are verified by combining engineering practice.

Key words: SMW construction method; support structure; bored pile; deep foundation pit

1 工程概况

1.1 工程简介

项目位于杭州市西湖区西湖科技园区内, 西园八路西侧, 西园三路北侧, 振华路南侧, 蓬驾桥港河东侧, 交通较为便利。项目总用地面积 81907 m², 规划 17 层公寓 3 幢, 11 层办公用房 1 幢, 3~4 层办公用房 11 幢, 2~3 层办公用房 4 幢及其他物业服务用房、管理用房等, 项目总建筑面积 254965 m², 其中地下建筑面积 84585 m², 地下室范围近全场分布, 地下二层, 底板标高约 -7.00 m (黄海高程), 开挖深度约 11.0 m。项目基坑长 293 m, 宽 160 m, 坑深 12 m, 总占地面积 50538 m²。

1.2 工程地质条件

根据区域地质资料, 拟建场地上部主要为冲海

积相粘质粉土、砂质粉土层, 中部为海陆相交互沉积的粘性土层及砂砾石层, 下伏基岩为白垩系泥质粉砂岩。

经室外鉴定、原位测试、室内土工定名分类、以及地质时代、成因类型及其工程特征等, 共划分为 10 个大层 (9 号层缺失) 和 16 个亚层。现自上而下分述如下: 第①₁层: 杂填土; 结构松散, 均匀性差, 层厚 1.30~9.20 m。第①₂层: 粉质黏土; 软可塑状, 层厚 0.20~3.40 m。第③层: 淤泥质黏土; 流塑状, 层厚 0.90~7.50 m。第④₁层: 粉质黏土; 硬可塑状, 层厚 0.50~5.60 m。第④₂层: 粉质黏土; 软塑状, 层厚 0.60~8.00 m。第⑤₁层淤泥质

收稿日期: 2019-12-19

*通讯作者: 方华建 (E-mail: akuang@live.cn)

黏土;流塑状,层厚 1.20~13.80 m。第⑤₂层:黏土;层厚 1.20~5.70 m。第⑥层:黏土;硬可塑状,层厚 3.40~13.20 m。第⑦₁层:黏土;软可塑状,中压缩性,层厚 0.50~10.00 m。第⑦₂层:粉质黏土;硬可塑状,层厚 0.50~9.50 m。第⑧₁层:粉砂;层厚 0.70~6.20 m。第⑧₂层:粉质黏土;硬可塑状,局部软可塑状,层厚 1.00~7.70 m。第⑨₃层:粉砂;层厚 0.50~6.90 m。第⑨₄层:砾砂;层厚 3.80~10.00 m。第⑩₁层:强风化泥质粉砂岩;层厚 1.20~2.00 m。第⑩₂层:中风化泥质粉砂岩;层厚 1.00~3.50 m。

2 工艺介绍

2.1 工艺原理

SMW 工法基坑支护工法是一种新型基坑支护技术,也称柱列式水泥搅拌土连续墙支护工法,又称加劲水泥土搅拌墙工法。SMW 工法是利用专用的多轴深层搅拌机就地钻进切削土体,同时注入水泥浆液,经反复搅拌充分混合后,再将 H 型钢或钢板桩等芯材插入搅拌桩墙中,形成既能挡土又能阻水的复合型地下连续墙体,是一种新型的深基坑支护结构^[1]。该技术引进我国后,广泛应用于基坑支护工程,适用于粘性土、粉土、砂土、砂砾土、直径 100 mm 以上卵石及单轴抗压强度 60 MPa 以下的岩层^[2]。同时,该技术施工时不会对邻近土体产生扰动或破坏,对邻近地面、房屋、道路及地下设施等产生的危害极少。该法与常规的围护形式相比不仅工期短,施工过程无污染,场地整洁干净,噪音小,而且可以节约大量社会资源,在软土地区基坑工程中得到大规模应用^[3]。

2.2 施工流程

测量放线→开挖沟槽→设置导向、定位型钢→三轴搅拌桩机就位→预搅下沉→提升喷浆搅拌→重复上下搅拌、提钻、转移→H 型钢选材与焊接→涂刷减摩剂→H 型钢插入→型钢拔出→型钢回收。

2.3 施工步骤

主要施工步骤如下:

(1) 测量放线。根据施工图、坐标基准点和平面布置图,将桩位控制线设置下来,在将临时控制标准建立起来的过程中准备好相关的技术资料。

(2) 沟槽开挖。根据放样水泥土搅拌桩的中心线开挖沟槽,根据围护结构宽度确定沟槽宽度并及时清除地下障碍物。通常宽度与深度分别控制在 1.2 m 和 0.8~1.2 m 之间,在施工中随挖随打,保证施工过程中涌土不外溢,挖出的余土和废浆液应

及时处理,以保证现场文明施工要求^[4]。

(3) 桩机就位。在完成拼接桩机之前,需要采用经纬仪进行校正,然后用线锤定点并辅助观测,统一指挥桩机就位,若场地条件不佳可采取铺设钢板或换填渣土。

(4) 喷浆和搅拌成桩。在施工过程中需要对水灰比进行严格控制,钻进的具体速度、供浆量需要严格根据施工图设计要求、现场实际情况、试桩检验结果综合考虑,最后确定合理的参数。在水泥浆配置好的情况下,停滞时间需要控制在两小时以内,采用两台注浆泵完成混合注浆的工作。

(5) 置放应力补强材(H 型钢)。在沟槽上设置 H 型钢定位卡,固定插入型钢的平面位置,在下沉 H 型钢前先涂刷减摩剂,保证 H 型钢底部中心对正桩位中心并沿定位卡徐徐垂直插入水泥土搅拌桩体内,型钢靠自重下沉过程中如遇助力,可采用振动锤辅助下沉。

(6) H 型钢回收。在地下主体结构完成并回填后,采取专用夹具及千斤顶以冠梁为反梁,起拔回收 H 型钢。采用隔二拔一的顺序进行拔出^[5]。

2.4 施工质量控制

(1) SMW 工法水泥土搅拌桩采用三轴搅拌设备,桩径为 850 mm,桩中心间距 600 mm,均按套接一孔法施工;采用 42.5 级普通硅酸盐水泥,水泥掺量 22%(其中坑内加固为 20%,空搅部分 10%),水灰比 1.5。

(2) 搅拌桩施工前应进行试桩,并选用先进的施工机械,确保施工参数满足设计要求;桩位定位偏差不超 20 mm,桩径偏差不应大于设计桩径的 4%,垂直度偏差不超过 0.5% L, L 为桩长,桩底标高偏差不超过 50 mm。

(3) 控制钻具下沉及提升速度:一般下沉速度不大于 0.8 m/min,提升速度不大于 1 m/min。钻进时注浆量一般为额定浆量的 70%~80%,在桩顶 2000 mm 区域应进行复搅。

(4) 施工时如因故停浆,应在恢复压浆前将三轴搅拌机提升或下沉 500 mm 后再注浆搅拌施工,以保证搅拌的连续性。因故搁置超过 2 h 以上的拌制浆液,应作为废浆处理,严禁再用。

(5) 搅拌桩施工应有连续性,不得出现 24 h 施工冷缝(施工组织设计预留除外),如因特殊原因出现施工冷缝,则需补强并在图纸及现场标明位置以便最后统一考虑加强方案,超过 48 h 须在接头旁加桩补强。

(6) 搅拌桩制作后应立即插入 H 型钢(Q235b),

型钢的插入宜在搅拌桩施工结束后 30 min 内进行。型钢插入定位平行于基坑方向偏差不超过 50 mm，垂直于基坑方向偏差不超过 10 mm，型钢底标高偏差不超过 30 mm，垂直度偏差不超过 1/200，型钢长度偏差不超过 10 mm，形心转角偏差不超过 3°。

(7) H 型钢穿过压顶梁（隔离材料采用不易压缩的硬质板材），并高出压顶梁顶面约 500 mm。

(8) H 型钢宜采用整材，当需采用分段焊接时，应采用坡口焊接。对接焊缝的坡口形成和要求应遵照《建筑钢结构焊接技术规程》的有关规定，焊缝质量等级不应低于二级，单根型钢中焊接接头不宜超过 2 个，焊接接头的位置应避免在型钢受力较大处，相邻型钢的接头竖向位置宜相互错开，错开距离不宜小于 1000 mm。

(9) 在搅拌桩施工过程中，必须对基坑周边沉降及位移进行监测，并根据监测资料，合理控制搅拌桩施工过程中搅拌头的压入阻力及注浆压力。

(10) 水泥搅拌桩养护期不得少于 28 d，无侧限抗压强度 $q_u > 1.0$ MPa 时方可开挖基坑。桩体龄期达到 28 d 后，应对搅拌桩进行桩体钻孔取芯测试其

强度。抽检数量不应少于总桩数的 2%，且不得少于 3 根。每根桩的取芯数量不宜少于 5 组，每组不宜少于 3 件试块。芯样应在全桩长范围内连续钻取的桩芯上选取，取样点应取沿桩长不同深度和不同土层处的 5 点，且在基坑坑底附近应设取样点。钻孔取芯完成后的空隙应注浆填充。

(11) H 型钢在地下结构完成后予以回收，故在成桩及浇筑圈梁混凝土时施工单位应考虑相应回收措施，如施工前在型钢表面涂抹型钢起拔减摩剂。拔除时建议采用跳拔的方式，在拔出 H 型钢的同时对 H 型钢留下的缝隙须及时填灌黄砂或注浆。

3 基坑支护方案

3.1 基坑具体支护方案

本工程基坑围护结构采用 SMW 工法桩加组合型钢支撑，局部结合钢筋混凝土支撑的围护方案，坑内一、二层地下室交界处采用钻孔灌注桩加撑处理，基坑围护平面图见图 1。

3.2 不同支护结构和止水帷幕方案比较

围护结构在达到支护效果的同时也应考虑其

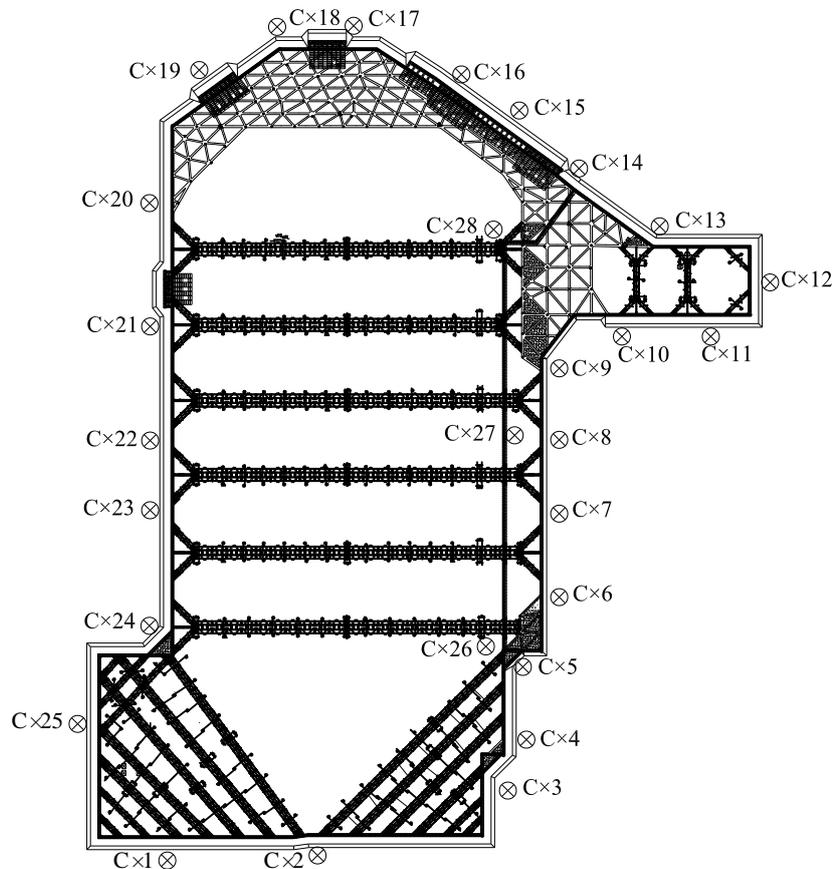


图 1 围护平面布置图

Figure 1 Schematic diagram of foundation pit layout

经济性。基坑开挖过程至施工阶段主要考虑的是坑外土体向坑内产生位移以及坑底土体隆起而使得坑外地面沉降。钻孔灌注桩适应性广, 适合在各种地层中施工, 桩长、桩径选择范围大, 刚度较大; 但施工工艺比较复杂, 隐蔽工程施工质量控制难度大, 会产生大量泥浆, 对环保要求高, 对现场周围道路通行要求较高, 同时应该配合三轴搅拌桩作为止水帷幕, 整个体系造价相对较高。SMW 工法桩施工效率高, 对周围地层影响较小, 产生的废土较小, 施工振动小、噪音低, 采用 H 型钢材料做芯材, 使其具备达到较大的抗弯、抗压能力, 使支护结构既能防渗止水又具挡土支护作用, H 型钢回收再利用、节约资源、有效降低工程造价; 缺点是设备高大占用场地多、H 型钢接长必须使用二氧化碳保护焊, 对焊接要求高, 焊接不好有断裂的风险, 给后期拆除留有隐患, 对电压要求高, 瞬间启动电压达到 400 kV, 安全风险大。

从两种支护形式的特点出发, 当周围环境简单, 基坑围护以强度控制为主, 可考虑较为经济的 SMW 工法; 当周围环境对基坑变形控制要求较高, 基坑围护设计应以变形控制为主, 可采用刚度较大的围护形式, 例如钻孔灌注桩。

本项目原设计方案为钻孔灌注桩加三轴搅拌桩, 该方案剖面图具体见图 2。项目周围建筑物较多, 对环保要求高时应尽量减小对周围建筑的影响, 钻孔灌注桩加三轴搅拌桩的围护形式对周围环境影响较大, 而 SMW 工法桩对周围环境影响小, 且满足该基坑围护结构设计的强度和变形要求。在

经济上, 钻孔灌注桩加三轴搅拌桩的围护形式工程造价高达 17831350 元, SMW 工法仅为 11525080 元, 由此可见原设计方案比 SMW 工法造价高出 54.7%。综合考量基坑的支护要求、对周围环境的影响以及工程造价等因素, 该项目基坑采用 SMW 工法的围护形式要优于钻孔灌注桩加三轴搅拌桩的围护形式, SMW 工法桩剖面图具体见图 3。

4 工程实施效果

4.1 SMW 工法连续墙成墙效果

SMW 工法连续墙施工过程顺利, 该 SMW 工法在本工程地层中功效显著。根据钻取搅拌桩施工后 28 d 龄期的水泥土样, 搅拌桩在桩长范围内无侧限抗压强度满足设计要求。基坑开挖后从暴露面观察, 型钢水泥土搅拌墙侧壁干燥, 无渗漏水现象, 墙面平整。型钢水泥土搅拌墙有着良好的止水性能, 基坑内疏干降水效果明显, 坑外承压水位观测井无明显水位下降现象。

4.2 监测结果

为确保支护结构、基坑本身和主体结构的整体稳定, 基坑开挖施工时同步进行环境监测和施工监测工作, 随时掌握基坑周围土体的位移变化等情况, 进行信息化施工。通过监测, 实时掌握基坑的动态变化, 避免因施工或其他不利因素对基坑造成不利影响, 确定基坑是否稳定、安全, 是否会对周围建筑及环境造成不利影响。基坑施工期间, 基坑周围设有 C×1-C×28 共 28 个监测点, 监测点布置具体见图 1。

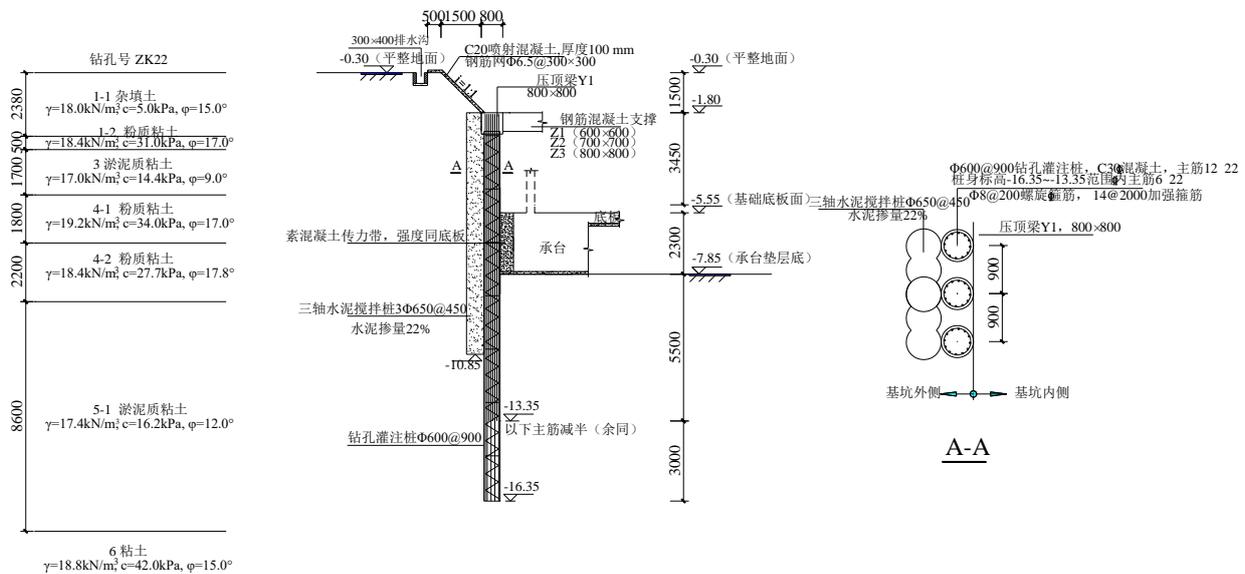


图 2 钻孔桩剖面图 (单位: mm)
Figure 2 Sectional view of drilled pile

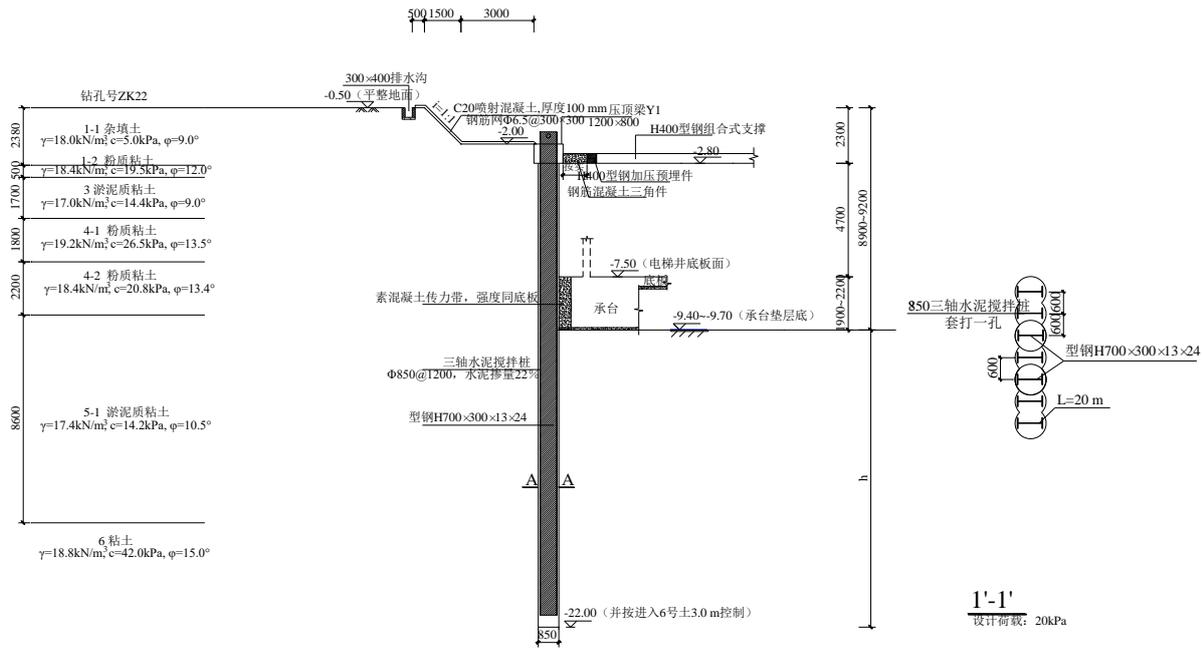


图3 SMW工法桩剖面图(单位: mm)

Figure 3 Sectional view of SMW pile

对基坑土体水平位移典型监测数据进行分析, 具体可见图4。由该土体水平位移图可得基坑从开挖至基础底板施工结束, 基坑土体最大水平位移在20~35 mm之间, 均发生在土体深度4~9 m之间。按照设计要求基坑土体水平位移预警值为连续三天超过3 mm/d, 累计位移值超过50 mm。从每一天的监测数据分析, 各个监测点土体水平位移变化率均在预警值以下, 最终累计位移从曲线图中可得也小于预警50 mm。同时也可根据监测数据得到每个测点最大水平位移深度, 计算该深度最大水平位移变化速率。该基坑属超大跨度深基坑, 不同区域土体, 周围环境差异较大, 对应土体水平位移也差距明显。基坑本身及周边环境各项监测数据均在合理、可控范围。

5 结 语

SMW工法桩相比较于其他施工方法, 有着构造简单、止水性能好、工期短、造价低、环境污染小、对周边地基影响小等优点, 在沿海城市深基坑工程施工中广泛应用^[6]。本文详细介绍了SMW工法的特点, 施工工艺, 并结合具体项目分析了该工艺施工控制难点。SMW工法在该超大深基坑项目中的成功应用, 验证了其经济性和可靠性, 表明在同类型的超大深基坑项目中有较高的推广和应用价值。

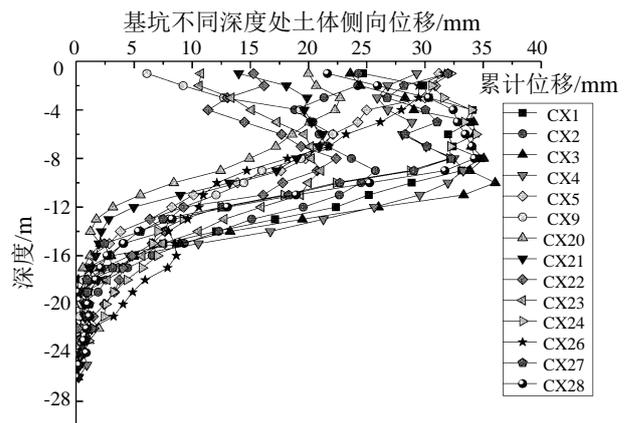


图4 基坑不同深度处土体侧向位移曲线
Figure 4 Lateral displacement of foundation pit

参考文献:

- [1] 陈建峰. 谈 SMW 工法基坑支护施工[J]. 工程与建设, 2018, 32(3): 419-423.
- [2] 朱美军. 浅析 SMW 工法桩在某工程的应用[J]. 山西建筑, 2018, 44(29): 83-85.
- [3] 颜媛媛, 王涛. SMW 工法桩在软土地区深基坑工程中的应用与研究[J]. 岩土工程技术, 2018, 32(2): 100-103.
- [4] 张文星, 王俊杰. SMW 工法桩在软土地基的施工应用和质量控制[J]. 居业, 2018, 129(10): 116+119.
- [5] 王文国. SMW 工法在深基坑支护工程中的应用[J]. 四川水泥, 2018(1): 351.
- [6] 刘建. SMW 工法桩在深基坑中的应用[J]. 山西建筑, 2018, 44(20): 72-74.