

DOI: 10.3785/j.issn.2096-7195.2023.04.012

矿坑回填区域桩基施工工艺及 基坑支护结构变形研究

詹晓波¹, 纪元刚², 姚王晶^{3*}

(1. 浙江大地勘测设计有限公司, 浙江 杭州 310030; 2. 招商局蛇口工业区控股股份有限公司, 广东 深圳 518067;

3. 浙江工业大学 岩土工程研究所, 浙江 杭州 310023)

摘要: 为研究矿坑回填深、基岩起伏大的复杂岩层中桩基施工工艺, 明晰基坑施工过程中围护结构变形特性, 依托泰禾龙池基坑项目, 针对特殊地层情况, 进行了现场钻孔灌注桩施工工艺的研究, 并对基坑施工过程中的土体位移、地表沉降规律进行分析。研究表明: (1) 在矿坑回填深、基岩起伏大的地层中, 采用全回转全套筒施工工艺, 并根据现场地质情况采取相应的工艺改进措施, 能有效保证灌注桩的施工质量, 更好地确保基坑开挖的安全; (2) 边坡沉降、边坡水平位移、坑外土体沉降、桩体应力及坑外深层土体水平位移都随着时间的变化呈增大趋势, 但变化速率都远小于控制值; (3) 在复杂地层中开挖基坑, 采用灌注桩排桩加放坡的支护方式, 基坑变形的控制效果较好。

关键词: 基坑; 钻孔灌注桩; 施工技术; 地表沉降; 结构变形; 全回转; 基坑监测

中图分类号: TU476

文献标志码: A

文章编号: 2096-7195(2023)04-0354-07

Research on pile foundation construction technology and deformation of foundation pit supporting structure in mine backfill area

ZHAN Xiao-bo¹, JI Yuan-gang², YAO Wang-jing^{3*}

(1. Zhejiang Dadi Geological Survey and Design Co., Ltd., Hangzhou 310030, Zhejiang, China;

2. China Merchants Shekou Industrial Zone Holdings Co., Ltd., Shenzhen 518067, Guangdong, China;

3. Institute of Geotechnical Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, Zhejiang, China)

Abstract: In order to study the construction technology of pile foundation in complex rock formation with deep backfill and large bedrock surface fluctuation, and to clarify the deformation characteristics of the retaining structure during the construction of the foundation pit, based on the Taihelongchi foundation pit project, this paper studied the construction technology of bored piles, and analyzes the soil displacements and surface settlements during the construction of the foundation pit. The research results show that: (1) In the stratum with deep pit backfill and large undulation of bedrock surface, the full rotary and full-sleeve construction process was adopted, and corresponding process improvement measures were taken according to the on-site geological conditions, which can effectively ensure the construction quality of the cast-in-place pile and ensure the safety of the foundation pit excavation. (2) The slope settlement, the horizontal displacement of the slope, the soil settlement outside the pit, the pile stress and horizontal displacement of deep soil outside the pit all increase with the excavation, but deformation rates are far less than the control value. (3) The effect of the retaining method of cast-in-place piles to control the foundation pit deformation is quite good.

Key words: foundation pit; bored piles; construction method; ground settlement; structure deformation; full rotation; foundation pit monitoring

0 引言

在地下空间的开发过程中, 由于施工工艺不

当造成基坑坍塌及邻近建筑破坏的事故时有发生^[1-3]。基坑采用灌注桩排桩进行围护时, 在桩基成桩的过程中, 存在例如塌孔、混凝土流失等问题^[4-6]。

收稿日期: 2022-03-28

作者简介: 詹晓波 (1984—), 男, 浙江东阳人, 硕士, 高级工程师, 主要从事勘察设计工作。E-mail: 157538134@qq.com。

*通信作者: 姚王晶 (1992—), 男, 浙江余姚人, 博士研究生, 主要从事岩土工程方面研究。E-mail: 468914337@qq.com。

在矿坑回填深、基岩起伏大的复杂岩层中施工时,如何顺利成孔,值得深入研究。以及如何在复杂地层条件下,及时发现基坑开挖过程中的安全隐患,保证基坑较为安全和快速地施工,基坑围护结构及坑外土体变形的监测尤为重要^[7-11]。

本文依托泰禾龙池基坑工程,针对现场复杂地质状况,进行了对应的围护结构施工工艺研究。并且针对现场基坑工程施工过程中的边坡土体水平位移和沉降、坑外土体地表沉降及桩身应力规律进行分析,为类似工程施工工艺选择及变形控制提供参考依据。

1 工程地质及概况

1.1 工程概况

泰禾龙池项目(05 地块)由高层住宅、商业楼、商业、设备房等配套及整体一层地下室、局部二层地下室组成。规划总用地面积 46 582 m²,总建筑面积 204 734.6 m²。

项目结构采用剪力墙结构体系,采用钻孔灌注桩基础,桩端持力层为⑨中风化花岗岩。基坑挖深如下:承台垫层底标高(挖深)-12.50 m(11.03 m),坑中坑承台垫层底标高(挖深)-6.60 m(5.90 m)。

1.2 周边环境条件

场地北侧为龙池大道及金山工业区,基坑下坎线到龙池大道最近 28.3 m,南侧为本项目 3 号楼,西侧为本项目 7 号楼,东侧锦绣路为施工期间的施工道路,基坑上坎线到锦绣路最近 3.8 m,红线范围内场地较为狭窄(图 1)。



图 1 周边环境平面图

Fig. 1 Plan of surrounding environment

1.3 工程地质条件

项目场地原始地貌属近海冲洪积阶地地貌单

元,场地东北角为已回填的采石矿区,矿区废弃回填深度达 30~60 m,局部最深可达 70 m,矿坑历史卫星照片如图 2 所示。



图 2 矿坑历史卫星照片图

Fig. 2 Historical satellite image of the mine pit

(1) 土层物理性质

项目的地层分布如图 3 和图 4 所示,各岩层的分布及其力学指标如表 1 所示。

(2) 水文地质条件

地下水类型及埋藏条件:①₃块石富水性较强,分布范围较大,水量丰富,为主要含水段;⑧₂碎块状强风化花岗岩及⑨中风化花岗岩含水性、透水性受构造裂隙的制约,具各向异性,从揭示情况看总体也属弱透水层,水量不大,但不排除局部张性裂隙发育、水量丰富的可能性。

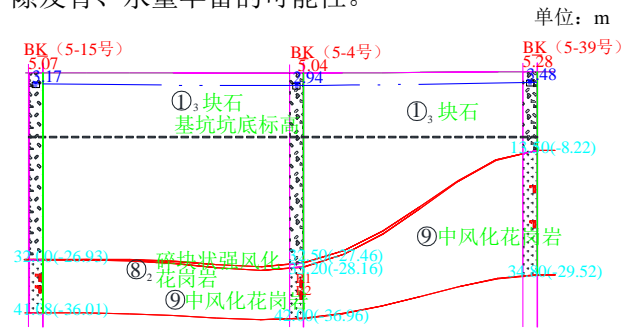


图 3 基坑北侧地质剖面图

Fig. 3 Geological section of the north side of foundation pit

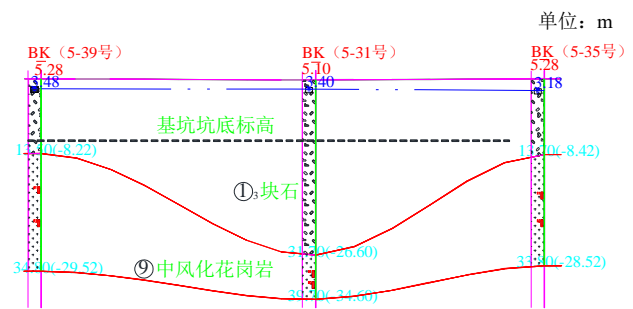


图 4 基坑东侧地质剖面图

Fig. 4 Geological section of the east side of the foundation Pit

表1 岩层物理力学性质指标

| Table 1 Physical and mechanical properties of rock layers | | | | |
|---|-----------|----------------|----------|----------|
| 序号 | 岩层名称 | 点荷载抗压强度标准值/MPa | 岩层分布厚度/m | 岩体基本质量等级 |
| ① ₃ | 块石 | — | 0.5~32.2 | — |
| ⑧ ₂ | 碎块状强风化花岗岩 | 16.1 | 0.5~15.7 | V |
| ⑨ | 中风化花岗岩 | 44.3 | 7.8~21.3 | III~IV |

场地地下水主要接受大气降水下渗补给及相邻海水的侧向补给，并总体由北向南方向渗流排泄。

1.4 基坑方案选择

本基坑工程的特点为：

(1) 本基坑工程开挖面积约为 1 644 m²，周长 约 173 m，平面形状不规则。

(2) 本工程设二层地下室，基坑地下室开挖深度 11.03 m，西侧、南侧与邻近大底盘地下室基坑高低差为 5.9 m。

(3) 基坑环境条件一般，红线范围内场地较为局促。场地北侧为龙池大道及金山工业区，基坑下坎线到龙池大道最近 28.3 m，南侧为本项目 3 号楼，西侧为本项目 7 号楼，东侧为拟建锦绣路，施工期间为施工道路，基坑上坎线到锦绣路最近 3.8 m。

(4) 开挖范围内地质条件较差。基坑开挖范围内为矿坑回填区，主要涉及到①₃ 块石和⑨中风化花岗岩。①₃ 块石层深度深、变化大，回填深度为 0.5~32.2 m，回填材料为中风化花岗岩块石，颗粒大、强度高、回填时间短、未完成固结、对基坑的安全和变形控制较为不利。回填区内地层透水性好，水量丰富，水位埋深 1.7~2.1 m，基坑开挖时应注意降排水。①₃ 块石以下的中风化花岗岩起伏大。

该工程环境条件较为一般、场地较为局促、地层结构起伏较大、矿坑回填区深厚、块石颗粒大。从经济、安全、可行的原则出发，结合地质条件、挖深条件和周边环境特点，本项目围护方案采用放坡+钻孔灌注桩的支护形式，与邻近地下室高低差处采用两级放坡的支护形式。

桩长与桩间距根据地质情况和基坑空间关系来确定，具体设计如图 5~7 所示。

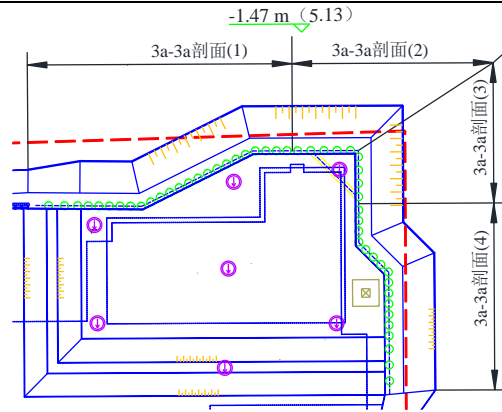


图5 基坑支护平面布置图
Fig. 5 Layout plan of foundation pit support

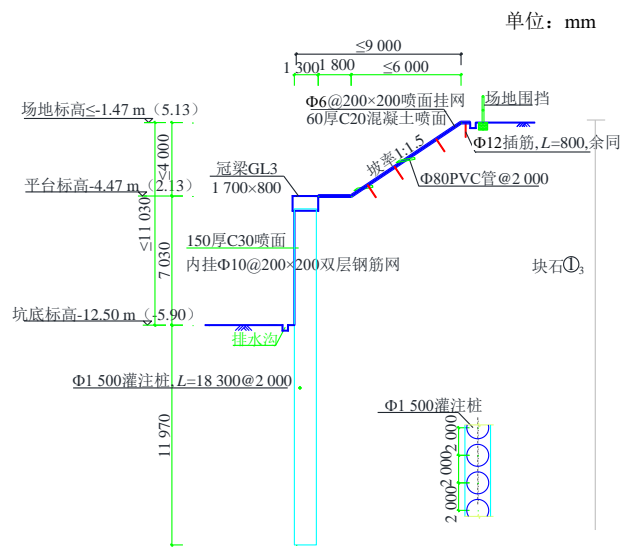


图6 基坑北侧典型基坑支护剖面图

Fig. 6 Typical retaining section on the north side of the foundation pit

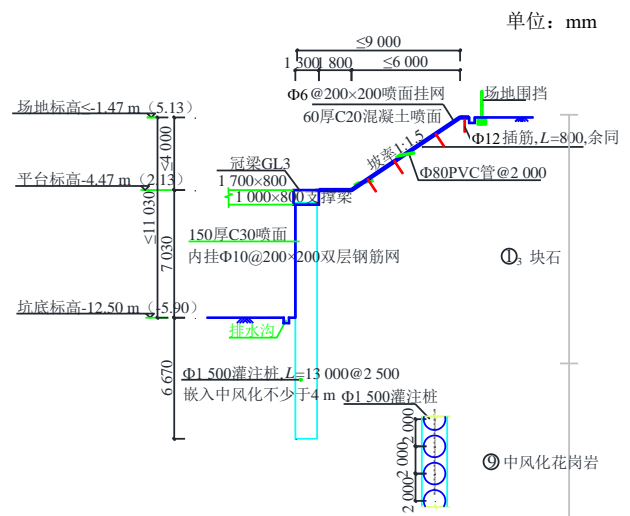


图7 基坑东侧典型基坑支护剖面图

Fig. 7 Typical retaining section on the east side of the foundation pit

3a-3a 剖面 (1) 支护形式为 $\Phi 1500 L=18300@$

2 000 mm 灌注桩:

3a-3a 剖面 (2) 支护形式为 $\Phi 1\ 500\ L=16\ 300@$

2 500 mm 灌注桩:

3a-3a 剖面 (3) 支护形式为 $\Phi 1\ 500\ L=13\ 000@$

2 500 mm 灌注桩:

3a-3a 剖面 (4) 支护形式为 $\Phi 1\ 500\ L=13\ 000@$

2 000 mm 灌注桩。

为确保基坑安全和顺利施工, 基坑内设置管井群进行降水。同时基坑内外采用明沟和集水井的方式进行降排水。

2 桩基施工关键技术

2.1 桩基施工方案选择

由于处于填石区 (填石直径大多在 0.5~3 m, 最大直径可达 5 m 以上), 原施工单位冲孔机成孔试桩, 成孔期间一直发生塌孔、漏浆、卡锤, 无法进尺, 一台成孔至 11 m, 耗时 21 d。后改为人工挖孔试桩, 混凝土护壁, 最深成孔至地面以下 2.5 m, 因地下水丰富 (地下水经过一周的强排, 水位几乎无变化), 降水无法解决且填石排列错综复杂, 无法浇筑混凝土护壁, 施工过程也存在较大安全隐患, 最终亦无法成孔。

经多方咨询、探讨, 从可行性、安全性、工期等维度综合考虑, 采用“全回转全套筒”工艺施工 (图 8 和图 9)。全回转钻进动力设备夹紧套管进行 360°回转钻进, 在压力力和扭矩的共同作用下将套管压入土层深部, 首节套管带合金刀头, 在钻进的同时切割硬质土层或障碍物。套管中的岩土可用冲抓斗或旋挖钻机取出。遇到大的漂石或者孤石可先用十字冲锤砸碎取出。套管钻至设计标高位置后, 即可进行后续成桩或回填作业, 全套筒护壁解决塌孔、漏浆的问题。

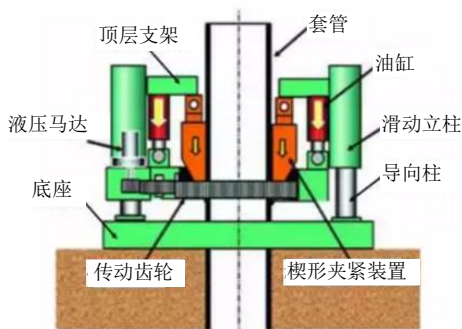


图 8 全回转全套筒施工设备

Fig. 8 Full rotary and full sleeve construction equipment

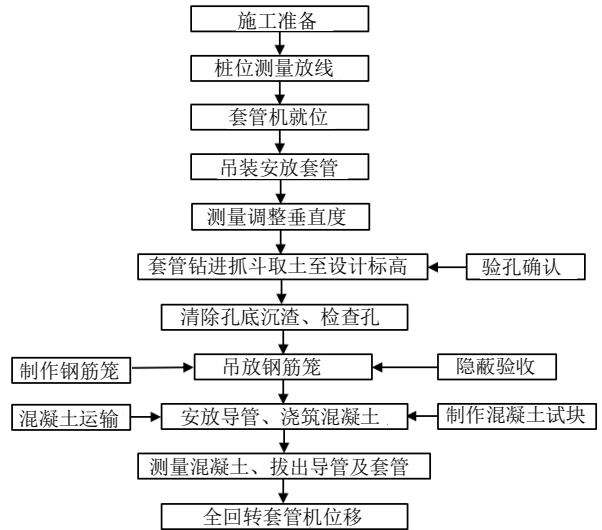


图 9 全回转全套筒施工工艺流程

Fig. 9 Construction process of full rotary and full sleeve

2.2 矿坑回填区域全回转全套筒施工关键技术

(1) 深厚矿坑回填区域和起伏基岩区域成孔关键技术

由于开挖区域处于花岗岩块石回填区, 回填块石粒径大、强度高, 切削、破碎困难, 材料设备损耗高、施工进度缓慢。回填区域下花岗岩层起伏大、强度高。

经过综合分析, 多种工具配合全回转全套筒钻机, 区分对待不同土层, 具体采用下列方法:

a) 按土层情况区分, 多种钻头配合高效成孔

块石回填区域, 全回转全套筒钻机套管钻头切削块石容易变形, 采用挖机翻运地表浅层填石, 减少钻机块石切削、破碎工程量, 同时旋挖机配合全回转全套筒钻机, 旋挖机在扭矩的持续作用下使钻头或挖斗以较快速度旋转, 以此切削块石, 在矿坑回填区域快速成孔。

b) 提升全回转钻机切削力

中风化花岗岩强度高, 通过提升全回转钻机切削力来提高成孔效率。制作现浇混凝土配重, 增加机台重量, 提升全回转钻机切削力; 提升套筒合金刀头强度, 试桩时逐渐增大刀头强度, 40 MPa 更换为 60 MPa、80 MPa、100 MPa 及 120 MPa, 最终 120 MPa 刀头强度满足本项目岩层切割要求。

(2) 桩孔垂直度校准关键技术

由于桩身为全套筒护壁, 又为切削钻头, 对桩孔垂直度要求较高。

为保证钻孔垂直度, 采用下列方法: a) 预留桩身孔位并硬化地坪, 增加地表土层承载力, 避免机

械设备施工过程中因陷机导致的桩身垂直度偏差。
 b) 利用机台自身水平仪初步校正机台垂直度; 套管安装在套管四周选取两个正交方向(X及Y两个轴线方向), 采用测锤不断校核套管垂直度; 同时在每一节套管对接前, 需要用直尺及线锤进行孔内垂直度检查, 检测合格后并做好记录方可进行下节套管对接。

(3) 套筒上拔过程中钢筋笼抗浮关键技术

桩身混凝土浇筑过程中, 套筒旋转上拔, 钢筋笼直径大, 被挂起上浮风险较大, 影响成桩质量。

经过与设计单位共同综合分析: a) 将桩身主筋原设计保护层厚度由 55 mm 调整为 150 mm, 则钢筋笼直径由 1 390 mm 缩小为 1 200 mm, 桩径为 1 500 mm 保持不变, 钢筋笼与套筒距离增大, 套筒上拔过程中钢筋笼被挂起上浮的风险相应降低。
 b) 安装水泥保护块 (如图 10 所示), 保证保护层厚度。



图 10 钢筋笼水泥保护块

Fig. 10 Cement protection block for reinforced cage

(4) 桩头超灌施工控制关键技术

由于采用“全回转全套筒”工艺进行施工, 钢套筒壁与套筒外壁上扩径条厚度合计达 50 mm, 扩孔量大, 最后一节套管拔离后, 桩顶混凝土面会下沉 1~2 m 不等, 若仅按照 0.5 m 超灌高度控制最后一次灌注量, 则套管拔离, 混凝土面下降后桩顶浮浆范围无法控制, 不能确保在凿除设计桩顶标高以上的泛浆后暴露出的桩顶混凝土强度能达到设计要求值, 进而影响成桩质量。

经过分析, 为保证成桩质量, 将超灌高度由原设计的 0.5 m 调整为 0.8~1.0 m。

3 现场实测结果分析

在基坑围护结构完成后, 采用 Trimble Dini 03 电子水准仪进行沉降监测, 采用 TS09 PLUS 1"R500

全站仪对水平位移进行监测。沉降累积量的控制值为 50 mm, 沉降速率的控制值为 5 mm/d。水平位移累积量的控制值为 50 mm, 水平位移速率的控制值为 5 mm/d。

基坑变形监测点布置如图 11 所示。对 5 月 12—17 日的监测数据进行了分析, 期间的施工工况为基坑开挖至坑底附近。

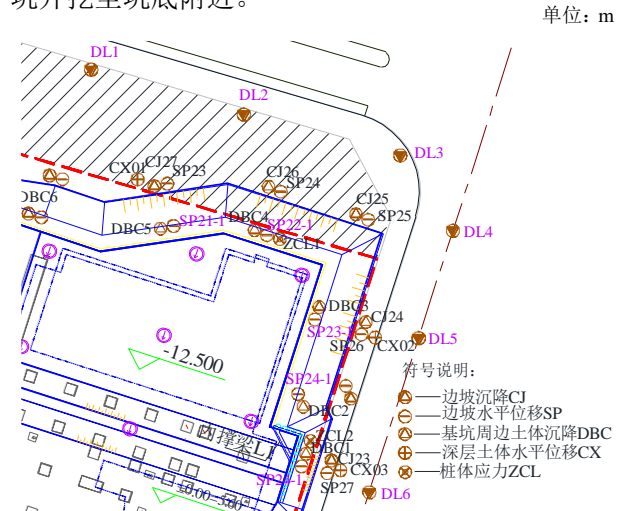


图 11 基坑测点布置图

Fig. 11 Layout of measuring points

3.1 边坡沉降结果分析

图 12 为基坑边坡沉降随时间变化图。边坡沉降随着时间的增加不断增大, 但沉降速率远小于控制值。除个别天数外, 沉降的变化成类似线性的趋势。沉降随时间变化的监测结果表明, 由于边坡放坡的设计坡度合理, 基坑开挖造成的边坡沉降较小, 符合沉降控制要求。

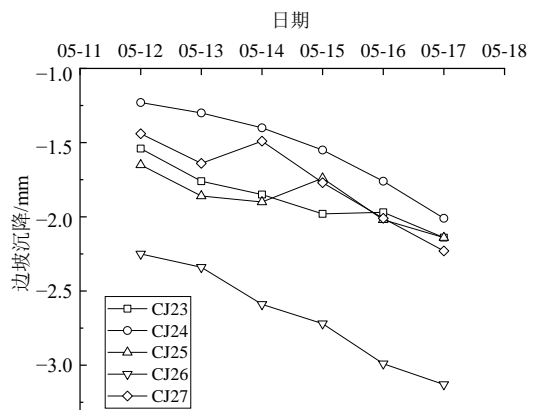


图 12 边坡沉降随时间变化图

Fig. 12 Variation of slope settlements with time

3.2 边坡水平位移结果分析

图 13 为基坑边坡水平位移随时间变化图。边坡水平位移随着时间的增加不断增大, 但水平位移速率远小于控制值。对比 SP23-SP27, 在边坡不同位置

处的水平位移累积变化值略有不同,这是由于离基坑边缘的距离不同造成的。由于放坡设计坡度合理,开挖造成的边坡水平位移较小,符合控制要求。

3.3 基坑周边土体沉降分析

图 14 为基坑周边土体沉降随时间变化图。从图中可以看出,基坑周边土体沉降随着时间的增加不断增大,但沉降速率远小于控制值。

监测结果表明,支护结构设计合理,支撑结构较为稳定,所以开挖造成的坑外土体沉降较小,符合基坑坑外土体变形控制要求。

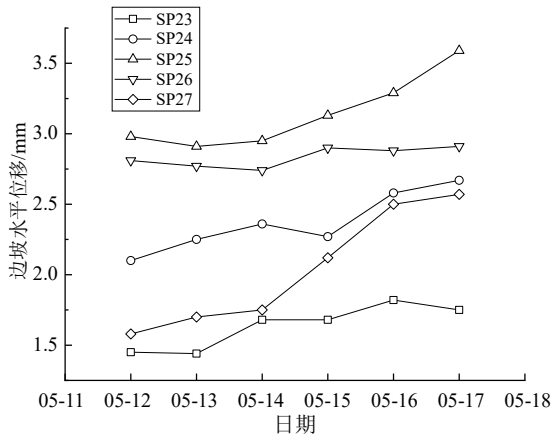


图 13 边坡水平位移随时间变化图

Fig. 13 Variation of slope horizontal displacements with time

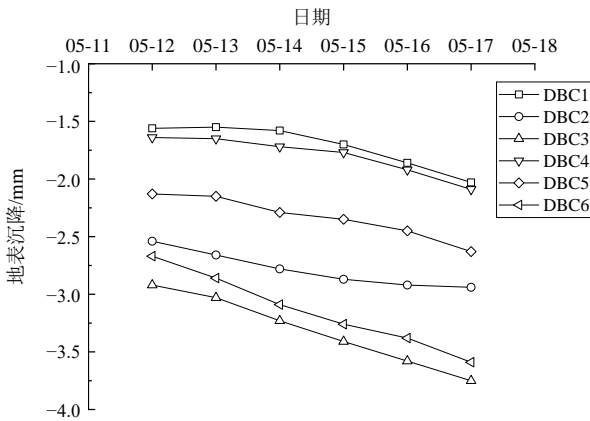


图 14 基坑周边土体沉降随时间变化图

Fig. 14 Variation of ground settlements around foundation pit with time

3.4 围护结构桩体应力分析

图 15 为基坑围护桩应力随时间变化图。从图中可以看出,基坑围护桩桩身应力随时间增加而不断增加,但其变化速率和累积值符合控制要求。

3.5 坑外土体深层水平位移分析

图 16 为基坑周边深层土体水平位移测点 CX2 深层土体水平位移随时间和深度变化图。从图中可以看出,基坑周边上部深层土体水平位移随着时间的

的增加不断增大。并且随着深度的增加,土体水平位移的累积值逐渐减小,当深度超过 15 m 以后,水平位移变化量接近 0 mm。

监测结果表明,支护结构设计合理,支撑结构较为稳定,所以开挖造成的坑外土体深层土体水平位移较小,均未达到深层土体水平位移警戒线。

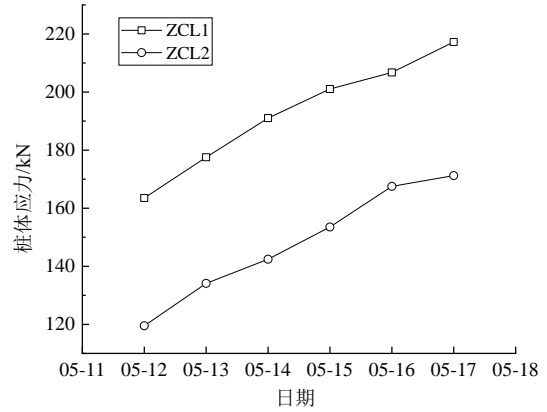


图 15 围护结构桩体应力随时间变化图

Fig. 15 Variation of stress of retaining pile with time

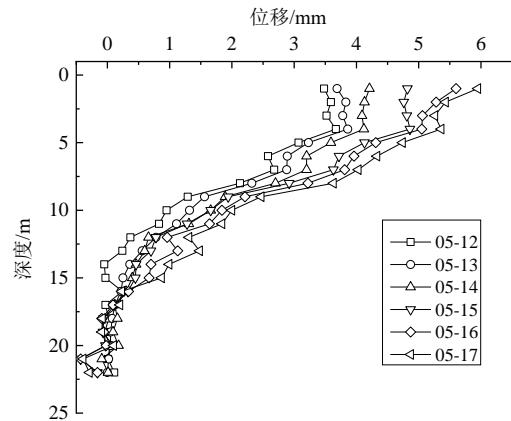


图 16 基坑周边深层土体水平位移随时间变化图

Fig. 16 Variation of horizontal displacements of deep soil around the foundation pit with time

3.6 围护结构及周边土体变形讨论

从基坑的边坡沉降、边坡水平位移、坑外土体沉降、桩体应力及坑外土体深层水平位移来看,五者的规律都是随着时间的变化呈增大趋势,但都远小于控制值。边坡沉降与坑外土体沉降的位移累计值都较为接近。边坡沉降与水平位移值的规律也较为对应。所以,从整体来看在复杂地层中开挖基坑,采用钻孔灌注桩排桩的支护方式,基坑变形的控制效果较好,保证了基坑的安全施工。

4 结 论

本文依托泰禾龙池基坑工程,针对现场复杂地

质状况,进行了对应的围护结构施工工艺研究,并且针对现场基坑工程施工过程中的边坡土体水平位移和沉降、坑外土体地表沉降及桩身应力规律进行分析,得到以下结论:

(1)在矿坑回填深、基岩起伏大的地层,采用全回转全套筒施工工艺,并根据现场地质情况,采取相应的工艺改进措施,能有效保证灌注桩的施工质量。

(2)边坡沉降、边坡水平位移、坑外土体沉降、桩体应力及坑外深层土体水平位移都随时间的变化呈增大趋势,但都远小于控制值。

(3)整体来看在复杂地层中开挖基坑,采用设计方推荐的支护方式,基坑变形的控制效果较好。

参考文献

- [1] 徐芫蕾,左武展,樊有芳.粉砂场地某深基坑渗透破坏案例分析[J].浙江建筑,2020,37(3):34-37.
XU Yuan-lei, ZUO Wu-zhan, FAN You-fang. Case analysis of permeability damage of deep[J]. Zhejiang Construction, 2020, 37(3): 34-37.
- [2] 王立忠,刘亚竞,龙凡,等.软土地铁深基坑倒塌分析[J].岩土工程学报,2020,42(9):1603-1611.
WANG Li-zhong, LIU Ya-jing, LONG Fan, et al. Collapse of deep excavations for metro lines in soft clay[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2020, 42(9): 1603-1611.
- [3] 牛丰,王昱,周诚.基于STAMP模型的地铁施工安全事故致因分析[J].土木工程与管理学报,2016,33(1):73-78.
NIU Feng, WANG Yu, ZHOU Cheng. Analysis of safety accidents caused by subway construction based on STAMP model[J]. Journal of Civil Engineering and Management, 2016, 33(1): 73-78.
- [4] 章钊,魏大平.某工程钻孔灌注桩塌孔问题处理[J].江苏建筑,2021(6):98-100.
ZHANG Zhao, WEI Da-ping. Treatment of borehole collapse of cast-in-situ pile in a project[J]. Jiangsu Construction, 2021(6): 98-100.
- [5] 张重喜,王军舰.水中钻孔灌注桩施工质量通病及其防治措施[J].城市道桥与防洪,2021(10):162-164,20.
ZHANG Chong-xi, WANG Jun-jian. Common quality defects of bored pile construction in water and its prevention measures[J]. Urban Roads Bridges & Flood Control, 2021(10): 162-164, 20.
- [6] 林志寅.浅谈钻孔灌注桩的质量检测及问题处理[J].福建建材,2022(1):71-73.
LIN Zhi-yin. Discussion on quality inspection and problem treatment of bored pile[J]. Fujian Building Materials, 2022(1): 71-73.
- [7] 曹斌.深浅复合基坑关键施工技术[J].中国住宅设施,2022(3):151-153.
CAO Bin. Key construction techniques of deep and shallow compound foundation pit[J]. China Housing Facilities, 2022(3): 151-153.
- [8] 陈伟.地下综合管廊基坑变形监测方法研究[J].中国住宅设施,2022(3):10-12.
CHEN Wei. Research on deformation monitoring method of underground comprehensive tunnel foundation pit[J]. China Housing Facilities, 2022(3): 10-12.
- [9] 郭雷刚,李晓敏,孟凡侠,等.基坑结构健康监测系统的设计与研究[J].山西建筑,2022,48(7):77-78,132.
GUO Lei-gang, LI Xiao-min, MENG Fan-xia, et al. Design and research of foundation pit structural health monitoring system[J]. Shanxi Architecture, 2022, 48(7): 77-78, 132.
- [10] 蒋宏鸣,刘春林.深基坑双排桩支护的设计与变形监测研究[J].岩土工程技术,2022,36(2):87-92.
JIANG Hong-ming, LIU Chun-lin. Study on the design and deformation monitoring of double-piles retaining structure[J]. Geotechnical Engineering Technique, 2022, 36(2): 87-92.
- [11] 尚世强.复杂环境下地铁深基坑施工动态监测及应用[J].中华建设,2022(4):149-150.
SHANG Shi-qiang. Dynamic monitoring and application of subway deep foundation pit construction under complex environment[J]. China Construction, 2022(4): 149-150.