

邻近地铁基坑围护结构的设计及变形控制措施

韩梅¹, 俞涛¹, 徐山岱^{2,3}, 俞建霖^{*2,3}

(1. 浙江省交通规划设计研究院有限公司, 浙江 杭州 310006; 2. 浙江大学 滨海和城市岩土工程研究中心, 浙江 杭州 310058;
3. 浙江省城市地下空间开发工程技术研究中心, 浙江 杭州 310058;)

摘要: 本文介绍了某邻近在建地铁设施的基坑工程围护结构的设计及相关变形控制措施, 内容主要包括工程概况与环境条件、工程地质条件、围护方案选择、围护体系具体做法、针对重点部位的技术措施、围护结构计算分析、应急措施及过程监测等, 可供类似条件下的基坑工程借鉴参考。

关键词: 复杂环境; 基坑; 邻近地铁; 变形控制;

中图分类号: TU472

文献标识码: A

文章编号: 2096-7195(2019)01-0057-06

作者简介: 韩梅(1980-), 女, 贵州省福泉市人, 工程师, 硕士研究生, 主要从事建筑结构设计及地铁车站结构设计方面研究工作。Email: hanmeizj@qq.com。

Design and deformation control measures for enclosure structure of foundation pit adjacent to subway

HAN Mei¹, YU Tao¹, XU Shan-dai^{2,3}, YU Jian-lin^{*2,3}

(1. Zhejiang Provincial Institute of Communications Planning, Design & Research Co., Ltd, Hangzhou, Zhejiang 311122, China;

2. Research Center of Coastal and Urban Geotechnical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China; 3.

Engineering Research Center of Urban Underground Development, Hangzhou 310058, China)

Abstract: This paper introduces the design of the enclosure structure of a foundation pit adjacent to subway and related deformation control measures. The contents mainly include the engineering overview and environmental conditions, engineering geological conditions, selection of enclosure structure schemes, specific practices of the enclosure system, the technical measures of the key parts, the calculation and analysis of the envelope structure, the emergency measures and the process monitoring, etc. This paper can be used for reference to the foundation pit engineering under similar conditions.

Key words: complex environment; foundation pit; adjacent subway; deformation control;

0 引 言

随着我国城市建设及地铁建设的高速发展, 建筑基坑工程的平面规模和开挖深度都随之增大。且有越来越多的基坑需在已建或在建地铁设施周边进行施工。各地对地铁设施, 尤其是已经运营的地铁设施的保护均有严格管理规定。在这种条件下, 基坑围护设计不仅要保证基坑安全, 还要保证临近地铁设施的安全和正常使用, 并在设计与施工过程中做好与地铁运营和管理单位的沟通和协调。为了保证基坑周边地铁设施的施工或运营在基坑工程施工期间不受影响, 应在围护体系设计过程中合理选择围护型式和设计参数, 积极采取必要的加强措施, 严格控制围护结构的变形, 使基坑周边土体的位移对地铁设施的影响控制在

容许范围内。

1 工程概况与环境条件

该工程总用地面积 51523 m², 整个项目分为南、北两个地块。其中南地块为包含 4 幢 13~20 层的高层商业及 2~6 层附属商业, 设有二层连通的地下室; 北地块包含 1 幢 6 层的商业综合体和 1 幢 19 层的高层, 设有三层的连通地下室。

该工程场内自然地坪绝对标高为 3.500 m(以下标高除注明外均为相对标高), 但基坑周边部分道路、绿化等比场内高出约 0.7 m~1.9 m, 在设计中需考虑其超载的影响。

基金项目: 浙江省重点研发计划项目 (2019C03103);

收稿日期: 2019-07-16

*通讯作者 (E-mail: yujianlin72@126.com)

3 围护方案选择

综合场地地理位置、土质条件、基坑开挖深度和周围环境条件,该基坑具有如下特点:

(1) 基坑开挖深度较大: 基坑开挖深度达到 8.15~12.50 m;

(2) 基坑开挖面积大: 南地块基坑东西向最大长度约为 175 m, 南北向宽度约 142 m, 基坑周长约 742 m, 平面形状近似倒“L”型; 北地块基坑东西向最大长度约为 170 m, 南北向宽度约 142 m, 基坑周长约 650 m, 平面形状较规则;

(3) 地基土质情况较好: 基坑开挖深度范围内以粉质粘土和黏土为主;

(4) 基坑周围环境条件比较复杂: 北地块基坑临近在建地铁车站附属风亭、隧道、已建市政道路及其地下管线等, 南地块基坑临近已建浅基础建筑物和市政道路, 对围护结构的变形控制要求较高;

(5) 基坑施工工期要求高。根据整个项目的开发安排, 南地块计划在 6 个月内施工至±0.00, 北地块计划在 5 个月内完成第二道支撑梁施工。

该项目基坑面积大, 开挖深度也较深, 尤其是北地块基坑达到 12.50 m, 周边环境条件较为复杂, 本可以考虑采用“逆作法”进行施工。采用“逆作法”利用楼板作为支撑体系, 可节约临时支撑费用。但采用“逆作法”施工存在施工工艺复杂, 对施工现场管理和施工单位素质要求高, 作业队伍选择范围小等问题, 更关键的是出土速度慢, 地下室整体施工工期长, 无法满足业主对工期的要求。因此经比较分析该基坑未采用“逆作法”施工, 仍采用顺做法施工。

根据该基坑的开挖深度、环境条件和地质条件等, 可以考虑的围护结构方案包括: (1) 放坡开挖; (2) 复合土钉墙围护结构; (3) 内撑或拉锚式围护结构。

放坡开挖是最为经济的围护形式, 在条件许可的情况下应优先考虑选用。但由于该基坑开挖深度大, 场地条件紧张, 因此不具备采用全深度放坡开挖的条件。

土钉墙围护结构具有经济性好、施工方便、施工工期短等优点, 是除放坡开挖以外最经济的围护结构形式。但该基坑开挖深度大, 且基坑四周与用地红线距离较近, 土钉末端超出用地红线, 因此该基坑也不具备采用土钉墙围护的条件。

支锚式排桩墙围护结构虽然工程造价略高一些, 但其通过支撑或锚杆对围护结构提供支点, 具有围护结构受力合理、可靠性好、变形易控制、对周围环境影响小等优点, 同时占用的场地较小。其中内撑式围护结构的支撑刚度大, 对变形控制比较有利。

综合上述分析, 根据“安全、经济、方便施工”的原则, 因该项目基坑开挖深度大, 周边临近市政道路、市政管线和轨道交通设施, 故优先考虑内撑式围护结构。

根据该项目勘察报告, 基坑开挖深度范围内以粘性土为主, 土层渗透性较弱, 无需采取降水措施, 仅需采取排水措施。另外在地下 7~12 m 深度范围内分布有一层“粉土与粉质粘土互层”, 根据临近项目的工程经验, 该层土的整体透水性一般, 如在基坑开挖过程中遇局部透水性较强可采取自流深井或轻型井点等降水措施进行局部降水。同时对于周边环境较为敏感的区域, 坑外止水帷幕适当加深, 以打穿该层土, 切断基坑内外的水力联系, 避免渗漏或坑内局部降水对周边环境造成不利影响。

4 围护体系具体做法

根据上述分析, 基坑围护体系具体做法如下:

(1) 南地块

排桩墙采用 $\Phi 700\sim\Phi 900$ 钻孔灌注桩, 中心距分别为 900~1100 mm, 混凝土强度等级 C25。设置一道钢筋混凝土内支撑, 根据基坑平面形状采用角撑和对撑相结合的平面布置形式, 支撑平面布置结合主楼平面布置适当优化, 使各幢主楼位置的支撑体系相对独立, 减少彼此间的相互关联, 有助于业主合理安排开挖和拆除的顺序, 以尽快实现销售目标。南地块围护结构典型剖面详见图 2。

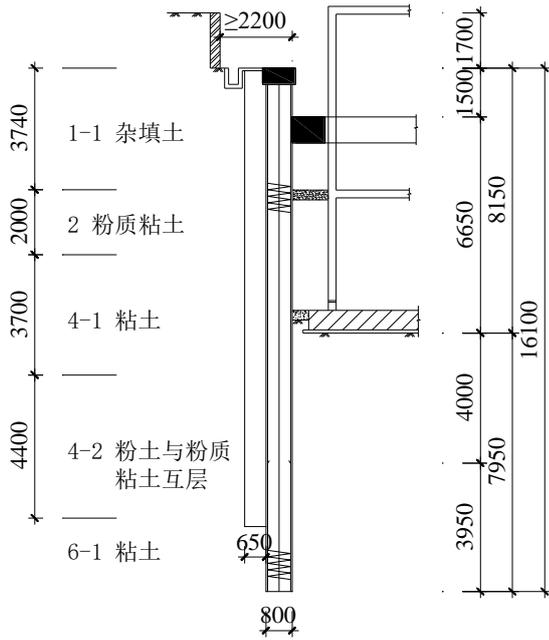


图2 南地块围护结构典型剖面图 (单位: mm)

Figure 2 Typical section of the enclosure structure of south region

(2) 北地块

排桩墙采用 $\Phi 800 \sim \Phi 1200$ 钻孔灌注桩, 中心距分别为 1000~1400 mm, 混凝土强度等级 C25。设置二道钢筋混凝土内支撑, 平面采用四个角撑的平面布置形式, 该形式的支撑杆件受力合理, 同时在基坑中部形成较大的挖土空间, 大型机械可直接进入坑内挖土并设置挖土的临时通道, 可大大加快挖土和出土速度。同时四个角撑之间相互关联较小, 业主可根据开发进度要求, 合理安排土方开挖和支撑凿除的顺序, 以尽快实现销售目标。北地块围护结构典型剖面详见图 3。

(3) 与地铁连接通道

排桩墙采用 $\Phi 800$ 钻孔灌注桩, 中心距为 1000 mm, 混凝土强度等级 C25。设置一道钢筋混凝土内支撑。因连接通道局部层高较大, 为控制围护结构在底板施工后拆除支撑工况下的变形, 在底板施工后, 增设一道钢管支撑作为换撑措施。

(4) 止水帷幕

采用三轴水泥搅拌桩形成封闭的止水帷幕, 三轴水泥搅拌桩采用“套接一孔”施工工艺。

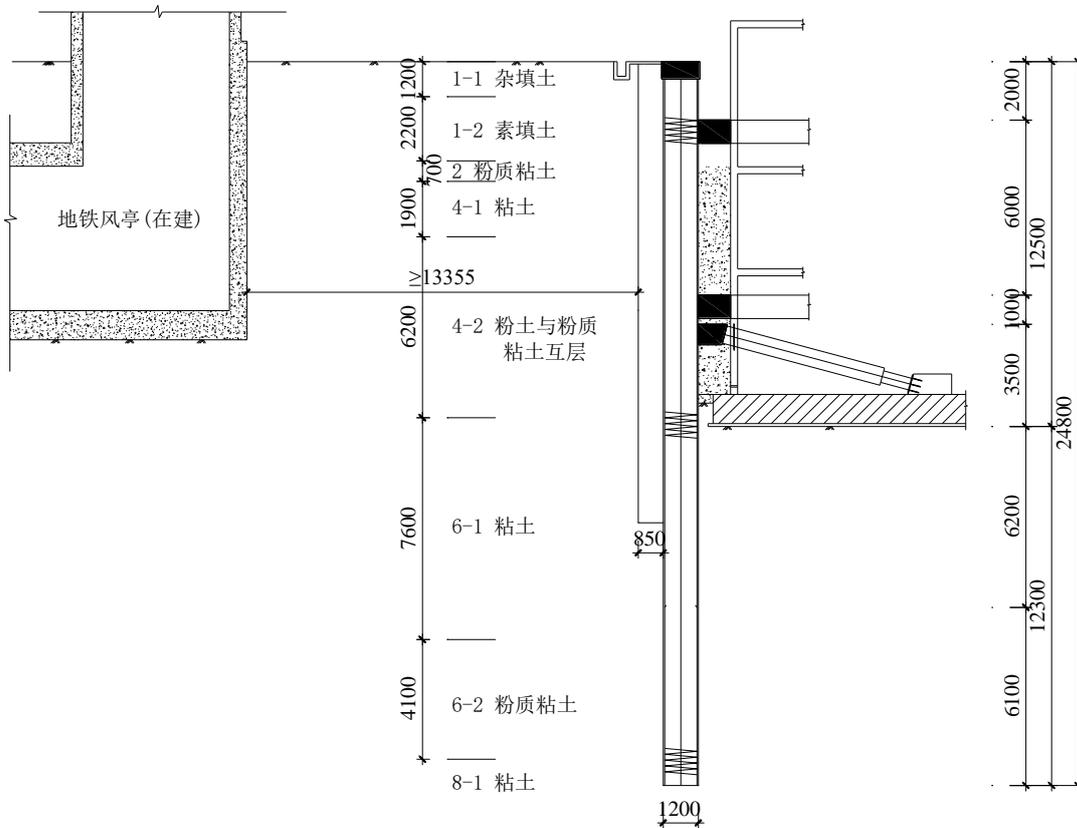


图3 北地块围护结构典型剖面图 (单位: mm)

Figure 3 Typical section of the enclosure structure of north region

5 针对重点部位的技术措施

北地块基坑东侧局部邻近地铁车站及其附属设施,敏感性强,对变形控制要求较高,是该基坑工程保护的重点对象。因此对该区域围护结构采取了以下加强措施:

(1) 增大围护桩直径,以提高围护桩刚度,减小围护结构变形;

(2) 增加围护桩插入深度,桩底进入硬塑状的粘土层,以提高基坑稳定性,尤其是抗隆起稳定安全系数,以减小周边地表沉降量,控制对临近建筑物的影响;

(3) 增加支撑刚度。设置二道内支撑,可有效控制围护结构变形;同时在支撑拆除阶段增设型钢支撑进行换撑。

(4) 加强止水帷幕,减小桩间土流失的可能性;

(5) 土方开挖应按照“先撑后挖”和“分层、分块、对称、平衡、限时”的原则进行,在先期开挖区块的垫层浇筑完毕后再开挖临近区块,以充分发挥基坑的时空效应。具体应结合后浇带位置采用分块、分层进行开挖;挖土施工应做到“五边”即:边挖、边凿、边铺、边浇、边砌,坑底无垫层时间不应超过 24 小时,确保基坑土体不长期暴露,并尽早施工地下室底板,缩短基坑全面暴露时间。

(6) 实行信息化施工。在围护桩施工、基坑开挖及地下室施工期间对地铁车站和隧道实行连续监测,根据监测数据动态调整打桩速度、土方开挖速度等施工参数,必要时调整设计方案。

6 围护结构计算分析

在邻近地铁设施剖面的内撑式排桩墙围护结构设计计算中,结合基坑开挖步骤,考虑下述三种工况:

工况一:土方开挖至第一道支撑底,施工第一道支撑;

工况二:在第一道支撑达到 80% 设计强度后,土方开挖至第二道支撑底,施工第二道支撑;

工况三:在第二道支撑达到 80% 设计强度后,土方开挖至基坑底,施工地下室承台、底板,并设置底板传力带;

工况四:在地下室底板及传力带混凝土达到 80% 设计强度后,拆除第二道支撑,施工地下室外墙、地下二层楼板及其传力带、地下一层楼板及其传力带;

工况五:在地下室一层板及传力带混凝土达到 80% 设计强度后,拆除第一道支撑,施工地下室外墙及地下室顶板。

各工况下典型剖面围护结构内力与变形包络图见图 4。

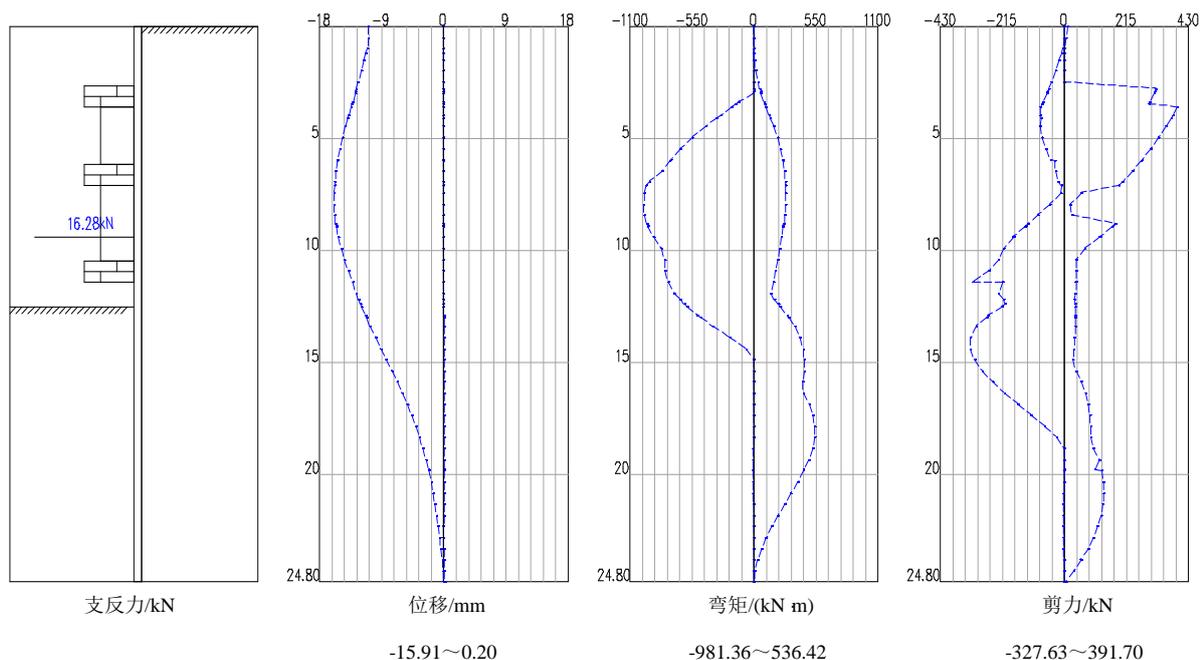


图4 围护结构内力与变形包络图

Figure 4 Internal force and deformation envelope diagram of enclosure structure

7 应急措施

除常规应急措施外,如基坑开挖过程中,地铁车站及隧道位移较大可采取以下措施:

(1)增加基坑内被动区加固措施,以减小围护结构的变形,从而控制基坑开挖对周围环境的影响;

(2)在围护结构与地铁隧道之间增设隔离桩,以减小基坑开挖引起的位移场对地铁隧道的影响;

(3)进一步增加支撑系统的刚度,增设支撑板带或扩大支撑板带的范围;

(4)充分利用基坑的“时空效应”,采用中心岛法先施工中心区域底板,周边土体分块抽条开挖,并立即施工 250 mm 厚配筋垫层以减小围护结构变形;同时尽快分区完成地下室基础施工。

8 过程监测

该基坑围护工程开挖深度和面积较大,临近在建地铁车站,根据开发进度安排,将与地铁出入口等施工工期交叉。因此进行严密的基坑开挖监测非常重要。通过监测及时了解围护结构体系的受力状况,对设计参数进行反分析,以调整施工参数,指导下一步施工,如遇异情则可及时采取措施。

该基坑监测内容如下:

(1)基坑开挖过程中周边深层土体的水平位移监测:临近地铁出入口处预警值为 20 mm,基坑东侧为 30 mm,其余三侧为 40 mm,位移发展速率不得连续三天超过 3 mm/天。

(2)地下水位监测,警戒值为地下水位稳定后,日变化幅度超过 500 mm 或累计变化超过 1000 mm。

(3)钢筋混凝土支撑内力监测:预警值第一道支撑为 8000 kN,第二道支撑为 10000 kN。

(4)基坑周边建筑物、道路及地下管线沉降观测。

(5)地铁车站、2号风亭的竖向及水平向位移观测。

(6)其余地铁相关监测内容。地铁相关监测项目的预警值根据当地相关管理规定执行。

9 结 论

该工程已顺利完成地下室结构施工。根据基坑监测成果,在整个基坑施工过程中,各项目监测值均在正常范围内,临近地铁出入口区域最大水平位移为 16.52 mm,基坑东侧其余区域最大水平位移为 24.13 mm,基坑南、西、北三侧最大水平位移为 37.54 mm。基坑施工未对周边建筑、市政道路等造成明显影响,基坑东侧地铁设施的施工和开通运营均未受到影响。

由此表明对于环境条件复杂,特别是邻近地铁设施的深基坑项目,优先采用有利于变形控制的内撑式围护结构是合理的。与此同时,在邻近地铁区域积极采取诸如加大围护桩直径和插入比、增加支撑刚度、增加换撑措施等加强措施也是必要且有效的。通过设计、施工、监测等各方密切配合,采取合理措施,落实工程质量和过程管控,可以有效控制基坑开挖对邻近地铁设施的影响,确保其安全建设和运营。

参考文献:

- [1] 龚晓南. 深基坑工程设计施工手册[M]. 中国建筑工业出版社, 1998.
- [2] 刘国彬, 等. 基坑工程手册(第二版)[M]. 中国建筑工业出版社, 2009.
- [3] 黄强. 建筑基坑支护技术规程使用手册[M]. 中国建筑工业出版社, 1999.
- [4] JGJ120-2012 建筑基坑支护技术规程[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.