

软土地区邻地铁深基坑并坑方案设计与实践

江 帆

[上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘 要: 以国家医学中心-上海国际医学科创中心、斜土路公交停车场功能提升工程基坑设计为例,该基坑邻近地铁7号线区间隧道。常规设计方案需将地铁侧基坑控制在每个基坑不超过1 000 m²的3个小坑,但分坑过多将增加施工工期。为加快建设进度,此项目创新性提出3个基坑同步开挖、分隔墙随挖随凿的思路,同时采用钢伺服系统,要求现场快速形成支撑体系,在保证基坑开挖对地铁7号线影响可控的前提下,节约了工期和造价。目前,地铁侧基坑已完成底板浇筑,邻地铁侧基坑从开挖至底板浇筑完成,其附加变形控制在10 mm以内,满足地铁保护标准,进一步验证了本项目采用并坑设计的合理性。

关键词: 深大基坑;邻地铁;并坑施工;数值分析;随挖随凿

中图分类号: U455

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2026)08-0360-05

Design and Practice of Deep Foundation Pit Merging Scheme Adjacent to Metro in Soft Soil Area

JIANG Fan

[Shanghai Municipal Engineering Design Institute (Group) Co., Ltd., Shanghai 200092, China]

Abstract: Taking the foundation pit design of the functional improvement project of the National Medical Center - Shanghai International Medical Science and Technology Innovation Center and Xietu Road Bus Parking Lot as examples, the pit is located near the tunnel section of Metro Line 7. The conventional design scheme requires that the foundation pits on the metro side be controlled within three small pits, each not exceeding 1000 m², but too many pits will increase the construction period. To accelerate the construction progress, the idea of simultaneous excavation of three foundation pits and diaphragm wall chiseled as dug is innovatively proposed for the project. At the same time, a steel servo system is used to ensure the rapid formation of the support system. Under the premise of ensuring that the impact of foundation pit excavation on Metro Line 7 is controllable, the construction period and cost are saved. At present, the pouring of the base plate of foundation pit on the metro side has been completed. The foundation pit adjacent to the metro side has been completed from excavation to the pouring of the base plate, and its additional deformation is controlled within 10 mm to meet the protection standards of metro, which further validates the rationality of the pit merging design adopted in this project.

Keywords: deep foundation pit; adjacent to metro; pit merging construction; numerical analysis; chiseling as digging

0 引 言

截至2025年12月,上海地铁在建线路共有15条,在建里程共416.6 km。根据规划,上海市城市轨道交通2030年线网总长度约1 642 km,其中地铁线1 055 km,市域线587 km。

随着上海市区城市建设不断发展,地铁与基坑不可避免地发生交集,50 m范围是地铁的保护线,如何控制邻地铁深基坑施工对运营地铁的影响是深基

坑设计关键。

软土地区基坑的隆起和围护结构水平位移随着基坑开挖将持续增长,直至底板浇筑完成后才能达到稳定^[1-4]。上海市区邻近地铁的深基坑工程,一般采用分坑施工方案^[5-9],通过限制分坑面积、严格控制开挖顺序、加快支撑体系施工,以此减小深基坑开挖对邻近地铁的影响^[10-15]。

1 项目概况

1.1 工程总体方案

国家医学中心-上海国际医学科创中心、斜土路公交停车场功能提升工程位于上海市徐汇区枫林路

收稿日期: 2026-03-16

作者简介: 江帆(1987—),男,硕士,高级工程师,从事地下工程的设计研究工作。

街道。拟建项目地上 26 层,地下 3 层,总建筑面积为 174 940 m²。地下室外轮廓线总长度约为 600 m,整体布局较为规则。3 层地下室,基坑开挖面积约 18 780 m²,基坑开挖深度约 15.75 ~ 17.45 m。

项目邻近轨道交通 7 号线肇嘉浜路站—东安路站区间,对应地铁结构为隧道。7 号线区间隧道顶覆土厚度约 17.4 ~ 18.8 m。地下室结构外边线与地铁区间隧道结构外边线最小净距约 21.8 m。基坑与地铁 7 号线相对平剖面位置关系见图 1、图 2。

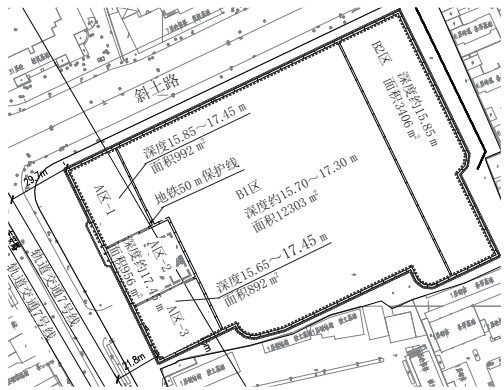


图 1 基坑与地铁相对位置关系平面图

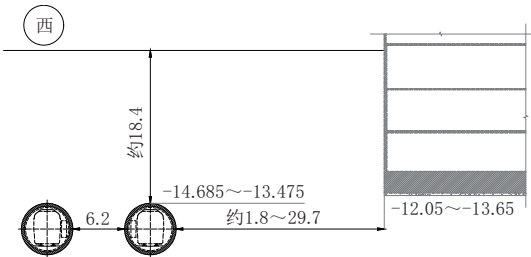


图 2 基坑与地铁相对位置关系剖面图(单位:m)

本基坑邻近轨道交通西侧、浅基础房屋东侧区域,基坑环境保护等级定为一,其余外侧区域基坑环境保护等级定为二级。

本基坑施工对地铁结构附加沉降及水平位移控制≤10 mm。

1.2 工程水文地质

场地位于上海市中心城区,属于滨海平原区,地面标高为+3.77 ~ +4.21 m。

勘察报告显示,场地主要包含黏性土、粉性土和砂土。基坑开挖的坑底主要为④层灰色淤泥质黏土,坑底下方为⑤层黏土。坑底下方 25 m 以上存在⑦₂₋₁层砂质粉土,是上海地区第一承压含水层,承压水位埋深一般为 3 ~ 12 m。经估算,对本工程深基坑开挖没有影响,不会造成坑底突涌现象;仅局部深坑不满足采用搅拌桩封底。

1.3 邻地铁设计方案

基坑面积约 18 780 m²,分 5 个区施工。近地铁

侧 A1 区基坑面积约 992 m²,基坑开挖深度为 15.85 ~ 17.45 m;A2 区基坑面积约 956 m²,基坑开挖深度约 17.45 m(塔楼局部深处 20.85 m);A3 区基坑面积约 892 m²,基坑开挖深度为 15.65 ~ 17.45 m。远离地铁侧 B1 区基坑面积约 12 303 m²,基坑开挖深度为 15.75 ~ 17.35 m;B2 区基坑面积约 3 637 m²,基坑开挖深度约 15.85 m。分坑平面布置见图 3。

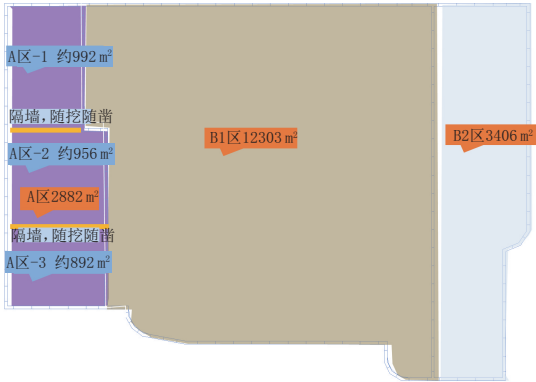


图 3 邻地铁侧基坑同步开挖分区平面图

近地铁侧围护结构采用 1 000 mm 厚的地下连续墙,地连墙两侧进行三轴搅拌桩槽壁加固,墙深 34.0 ~ 36.5 m;中隔墙采用 800 mm 厚的地下连续墙,地下连续墙深为 37 m。靠地铁的地墙采用工字钢接头。

A1、A2、A3 区基坑近地铁侧采用加固宽度 10 m 的三轴搅拌桩,从第二道支撑底至坑底以下 5 m 进行加固;B1 区基坑采用 6 m 宽三轴搅拌桩裙边及暗墩加固,加固范围为坑底以下 5 m;加固体水泥掺量不小于 20%。

近地铁侧的 A1、A2、A3 这 3 个分区基坑竖向设置一道混凝土+三道钢支撑,其中第一道为钢筋混凝土支撑,其他均为 φ800(t=20 mm)钢支撑,混凝土支撑的水平间距平均为 6 m、钢支撑水平间距平均为 3 m,钢支撑均采用自动轴力补偿系统。远离地铁侧基坑设置三道钢筋混凝土支撑,支撑平面采用“角撑+对撑”形式。

本工程的承压含水层主要为⑦₂₋₁层砂质粉土。经验算,承压水抗突涌满足稳定性要求。塔楼局部落低坑挖深 20.85 m(面积 190 m²,距离 7 号线区间隧道约 38 m),按最不利水头计算,⑦层承压水抗突涌稳定性不满足要求,落深区采用三轴搅拌桩(桩长 5 m)满堂封底加固处理。开挖过程中必要时按需降压。坑内降水采取真空深井系统。

1.4 并坑施工方案

按照上海地区正常邻地铁边基坑设计施工方案,本项目按 B1—A2、B2—A1、A3 施工顺序施工,其

中A1、A3坑需待A2坑地下室结构施工至±0.00后开挖,且已按此方案完成设计评审及施工招标。

由于上部塔楼结构位于A区,此范围基坑施工位于本项目工期的关键线路。疫情期间工期受影响,后为加快施工工期,经与监护办沟通,邻近地铁A1、A2、A3同步开挖,分隔墙在开挖期间随挖随凿。同步开挖方案充分利用分隔墙整体刚度,同时采取如下措施,确保施工安全。

(1)分隔墙需严格执行随挖随凿,且保证围护墙与分隔墙之间连接,确保地墙发挥强支撑作用,能有效约束围护墙坑底水平位移。

(2)A区基坑施工期间需合理安排混凝土角撑与钢支撑对撑施工时序,确保整体发挥作用。

(3)A区基坑钢支撑的开挖支撑时间严格控制在12 h以内,支撑架设完毕后及时施加预加力,通过快速形成支撑体系可有效控制围护结构水平位移。

(4)施工时应严格按照报监护办审批通过的施工方案执行,挖土需要排出分区、分块的详细施工方案,严格按计划挖土。开挖到底后12 h内及时浇筑300 mm厚垫层,并快速形成结构底板。

2 数值模型

采用有限元模拟本项目基坑开挖对地铁7号线位移的影响,该模型计算采用有限元分析方法,准确考虑各结构的空间位置和刚度大小,按实际施工工序进行建模计算。模型几何情况如图4、图5所示,考虑到深基坑的施工影响范围,模型长度为420 m,模型宽度为275 m,模型高度为75 m。计算模型中土层采用三维混合网格单元模拟,地铁7号线结构和基坑围护结构均采用板单元模拟,支撑、格构柱和支托等采用梁单元模拟。

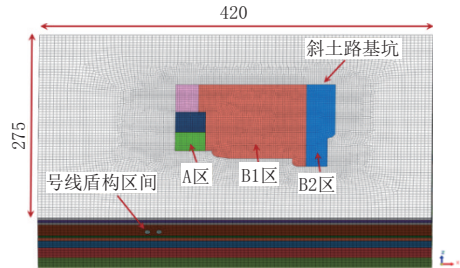


图4 整体计算模型(单位:m)

土体采用H—S本构模型,相关土层物理力学参数见表1。主要结构几何属性见表2。

所有边界条件均为位移边界条件。其中:地表为自由边界条件;模型前、后、左、右表面水平(X、Y)

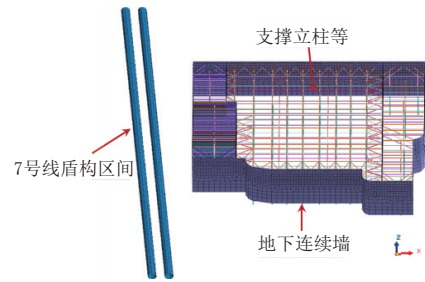


图5 构件计算模型

表1 土层物理力学参数表

层号	土层名称	黏聚力 c_{eq} /kPa	内摩擦角 $\phi_{eq}/(^{\circ})$	割线刚度 E_{50ref} /MPa	切线刚度 E_{0edref} /MPa	卸载模量 E_{urref} /MPa
①	杂填土	10	10	4.3	4.3	12.9
②	粉质黏土	27	18	4.8	4.8	14.4
③	淤泥质粉质黏土	12	17	3.16	3.16	9.48
④	淤泥质黏土	13	11	2.35	2.35	7.05
⑤ ₁₋₁	黏土	17	12	2.96	2.96	8.88
⑤ ₁₋₂	粉质黏土	16	19	4.07	4.07	12.21
⑤ ₃	粉质黏土	22	19	4.63	4.63	13.89
⑦ ₂₋₁	砂质粉土	4	31.5	10.43	10.43	31.29
⑦ ₂₋₂	粉砂	2	34.5	13.35	13.35	40.05
⑨	粉砂	2	35	13.15	13.15	39.45

表2 主要结构几何属性表

结构名称	材料	截面属性	单元类型
7号线隧道管片	钢筋混凝土	0.24 m (考虑刚度折减)	平面板
地连墙	钢筋混凝土	1.0 m	平面板
分隔墙	钢筋混凝土	0.8 m	平面板
混凝土支撑	钢筋混凝土	0.8 m×0.8 m/1.0 m×0.9 m	梁
钢支撑	钢结构	800 mm×20 mm	梁

位移限制为零,其他方向自由;模型底部边界的竖向(Z)位移限制为零。初始地应力的计算主要考虑土体自重,由有限元程序直接求得初始应力场。本模型未考虑坑内降水影响。

有限元模拟施工顺序如下:

(1)首先设置土层初始地应力状态,进行地铁7号线盾构隧道的开挖和结构施工,在位移清零后,进行斜土路基坑的施工。

(2)首先开挖施工B区,地连墙与槽壁加固施工(含A区)—坑内加固施工(含A区)—分层开挖—支撑架设—垫层与底板浇筑—地下室结构施工。

(3)待B区回筑至±0.00后,开始开挖A区:分层开挖+对应高度分隔墙凿除—支撑架设与预加力施加—垫层与底板浇筑。

经有限元计算,基坑开挖对地铁7号线位移影响

结果见图6、图7。

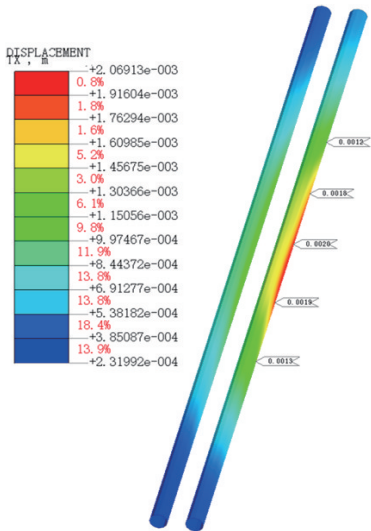


图6 邻地铁侧基坑同步开挖引起地铁7号线水平位移

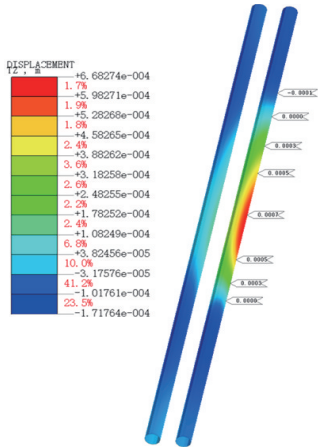


图7 邻地铁侧基坑同步开挖引起地铁7号线竖向位移

A区基坑开挖及底板施工完成后,地铁7号线隧道最大水平位移为 $2.07\text{ mm}\leq 10\text{ mm}$ 控制;最大竖向位移为 $0.67\text{ mm}\leq 10\text{ mm}$ 控制,方向向上,管片隆起。两者均满足控制要求。

3 实测数据分析

2025年8月1日—10月30日,A区开始第二层土方开挖至底板全部浇筑;

- 2025年8月1日,第二层土方开挖;
- 2025年8月22日,第三层土方开挖;
- 2025年9月2日,第四层土方开挖;
- 2025年9月18日,第五层土方开挖;
- 2025年10月30日,底板全部浇筑。

基坑整体开挖及A坑坑底照片见图8、图9。

施工期间地铁7号线实测变形曲线见图10至图13。具体变形特征分析如下。

(1)下行隧道在各项监测数据中均明显大于



图8 基坑开挖整体照片



图9 A坑开挖至坑底照片

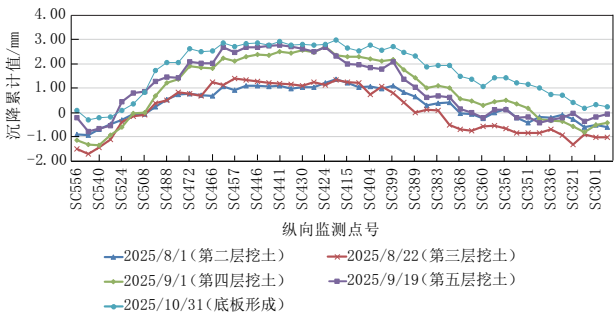


图10 地铁7号线上行线沉降累计变化曲线图

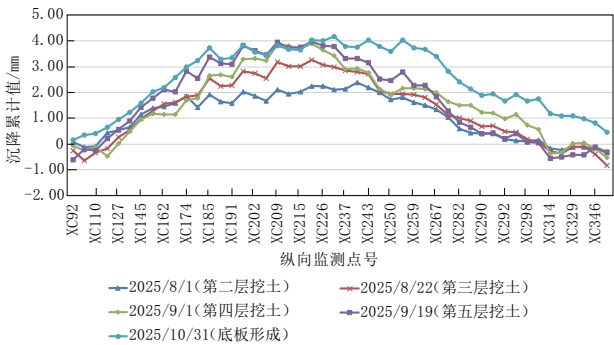


图11 地铁7号线下行线沉降累计变化曲线图

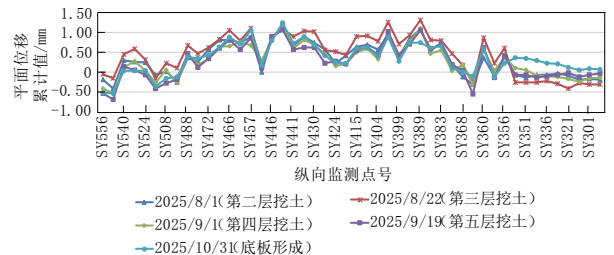


图12 地铁7号线上行线平面位移累计变化曲线图

上行隧道,符合本次基坑施工项目与隧道之间的位置关系。

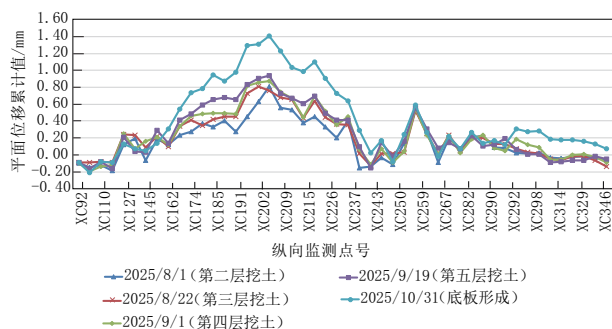


图13 地铁7号线下行线平面位移累计变化曲线图

(2)从隧道沉降来看,上行隧道在第二、第三层挖土期间无明显变化,第四层挖土至底板形成期间有小幅上抬趋势,累计最大变形量为上抬2.98 mm;下行隧道在每层挖土期间均有不同量的上抬,变形量也相对大于上行隧道,累计最大变形量为上抬4.18 mm。

(3)从隧道水平位移来看,上、下行隧道基本都呈波动变化,累计变化相对稳定,变化量下行隧道略大于上行隧道;上行隧道变形量为1.24 mm,下行隧道变形量为1.41 mm。

(4)隧道变形最大位置基本对应于A2坑,这主要是由于A2坑塔楼开挖深度较两侧大。但中间较两侧变形增幅较小,表示分隔墙有效约束了地墙位移,未出现明显长边效应,进一步验证了本项目分隔墙随挖随凿的并坑方案的科学合理性。

4 结 语

(1)为节约工期,近地铁侧采用三坑同步开挖、分隔墙随挖随凿设计方案。理论计算得地铁7号线隧道最大水平位移为2.07 mm,最大竖向位移为0.67 mm。实际施工隧道最大水平位移1.41 mm,竖向位移4.18 mm。实际水平位移与计算相近,竖向位移上抬较理论计算偏大,但均满足地铁保护要求。

(2)基坑开挖对周边地铁7号线影响较大。本工程单次开挖面积约3 000 m²,设置了两道随挖随凿分隔墙,相当于两道强支撑,且在坑底以下可起到约束地墙作用,控制长边中间地墙水平位移。

(3)基坑钢支撑的开挖支撑时间严格控制在12 h以内,支撑架设完毕后及时施加预加力,通过快速形成支撑体系可有效控制围护结构水平位移。

(4)上海地区地铁50 m保护范围内,深基坑一般控制单次开挖面积不超过1 000 m²,以此能控制住基坑开挖引起地铁变形不超过10 mm,但按此方式施工将导致项目施工时间过长。本项目通过采取一系列措施的并坑施工方案,同样达到了控制地铁变形不超过10 mm的目的,为后续类似项目提供了宝贵的借鉴经验。

参考文献:

- [1] 刘建航,侯学渊.基坑工程手册[M].北京:中国建筑工业出版社,1997.
- [2] 朱健,侯海芳,范焱焱,等.软土地区紧邻地铁的深大基坑土方开挖技术[J].建筑施工,2018,40(5):656-661.
- [3] 任贵生.紧邻地铁基坑支护设计的优化方法[J].城市地质,2017,12(2):113-117.
- [4] 韩畅.邻近地铁隧道深基坑工程设计施工的研究[J].城市勘测,2016(4):172-176.
- [5] 蔡剑韬.软土地区邻近地铁深大基坑开挖的设计实践[J].岩土工程技术,2015,29(4):163-168;181.
- [6] 吕晶,杨立伟,丘建金,等.地铁周边深大基坑支护工程实例与分析[J].深圳土木与建筑,2014(3):42-45.
- [7] 郭晓航.软土地区邻近地铁隧道深大基坑的设计与施工[J].建筑施工,2023,45(5):829-831.
- [8] 申明亮.邻近超大软土深基坑的敏感建筑保护研究[J].建筑施工,2022,44(9):2037-2039.
- [9] 陈永学,郭雷.考虑时空效应的软土深基坑设计与施工[J].山西建筑,2008,34(1):109-110.
- [10] 刘拴铎,王永康.地铁隧道附近软土深基坑设计与施工关键技术分析[J].绿色环保建材,2020(4):89-90.
- [11] 于海涛.基坑开挖对临近地铁隧道影响分析及控制[J].科技资讯,2024(3):92-94.
- [12] 尚玉厚.深大基坑施工对邻近地铁隧道影响分析及处理措施[J].科技风,2016(19):172-173.
- [13] 曹琛,马晋.基坑施工对既有地铁隧道的变形控制研究[J].建筑施工,2019,41(12):2117-2119.
- [14] 黄中磊,吴玥.地道近距离穿越地铁隧道的设计研究[J].黑龙江交通科技,2020(2):142-144.
- [15] 何忠明,王盘盘,王利军,等.深基坑施工对临近地铁隧道变形影响及参数敏感性分析[J].长安大学学报(自然科学版),2022,42(4):63-72.