

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2023.07.066

地铁与上盖超大大地下室共建基坑围护设计研究

丁宇能¹, 张扬²

(1.中国联合工程有限公司, 浙江 杭州 310052; 2.中天建设集团有限公司, 浙江 杭州 310000)

摘要:随着国内经济与文化的发展,轨道交通与区域商业、文化功能设施融合的需求愈加强烈,出现了许多地铁上盖大型建筑综合体。以杭州地铁4号线勾阳路站~金家渡站区间与余政储出【2019】35号地块共建项目为例,对地铁与上盖建筑地下室共建的围护设计方案进行探讨和研究,并从设计和施工的角度分析其中的关键性问题,可为将来类似工程提供参考。

关键词:超大大地下室;地铁;共建基坑;围护设计

中图分类号:TU9

文献标志码:B

文章编号:1009-7716(2023)07-0279-04

0 引言

近年来,国内轨道交通建设发展如火如荼。随着国内经济与文化的发展,为了推动周边地块发展,提高土地的经济、社会和环境效益,轨道交通与区域商业、文化功能设施融合的需求愈加强烈^[1],很多地铁上盖大型建筑综合体项目被列入规划,这也给上盖建筑地下室与地铁基坑的设计带来了一系列问题和考验。对于在已建地铁上方开挖地下室,问题的关键是控制由基坑坑底隆起而引起的地铁结构竖向位移^[2],以及地铁两侧不对称开挖、基坑桩基施工等造成的地铁结构水平位移。徐永刚等^[3]分析了宁波市矮潘地块项目施工期下方地铁隧道结构变形的实测数据,得出隧道上部基坑土体开挖导致隧道结构总体呈现先下沉、后上浮的趋势的结论。对于地铁与上盖建筑地下室同步建设,由于地铁基坑较地下室基坑更深,从而形成“坑中坑”的共建形式^[4],这给基坑分区设计、施工工筹组织、基坑变形控制等带来了诸多困难。薛子龙、张飞^[5]认为,内外坑间距的减小和内坑深度的增大引起整体基坑的变形增加,同时基坑稳定性降低。郑俊星、贾坚^[6]基于单一基坑抗隆起安全稳定性计算公式,推导了“坑中坑”的抗隆起安全系数的解析公式,并应用于上海自然博物馆基坑设计中。

目前全国范围内各大城市轨道交通建设与规划逐渐由老城区向周边新区延伸,地铁穿越规划地块并与其共建的情况也越来越多,相对于地铁与上盖

建筑分期建设,同步建设方案风险和技术难度更小,造价和工期上也更具经济性。本文以杭州地铁4号线勾阳路站—金家渡站区间(简称“勾金区间”)与余政储出【2019】35号地块(简称“星创地块”)共建项目为例,对地铁与星创地块地下室共建的围护设计方案进行探讨和研究,分析围护设计中遇到的关键性问题,从而为将来类似工程提供参考。

1 工程概况

星创地块项目位于杭州市余杭区勾庄,项目北侧为已建好运街,南侧为规划金昌路,西侧为已建莫干山路,东侧为规划勾阳路。项目包括住宅区、商业区及其配套附属设施,用地面积约131 483.0 m²,总建筑面积751 127.93 m²。其中,住宅区总用地面积70 619.10 m²,总建筑面积320 660.03 m²,地上建筑面积218 919.3 m²,地下建筑面积100 140.83 m²,主要为16栋24~26层住宅楼(建筑高度72~80 m)及其他附属配套。住宅区设二层地下室,局部设一层地下室,拟采用钻孔灌注桩基础。

杭州地铁4号线勾金区间明挖段(图1直线段)、勾庄车辆段出入线明挖段(图1弧线段)下穿本项目地块。其中,勾金区间明挖段呈东北~西南走向穿越本项目地块,长度约为585.954 m。东北方向小里程段与在建勾阳路明挖车站相接,西南方向大里程端设盾构井,为盾构始发。该区间明挖段为地下一层(局部两层)的箱型钢筋混凝土结构,地下一层为出入口通道及出入段线隧道,地下二层为正线左右线隧道。勾庄车辆段出入线段呈东西走向穿越本项目地块,长度约为423.976 m。东侧小里程端接勾金区间明挖段,

收稿日期:2022-07-22

作者简介:丁宇能(1992—),男,硕士,工程师,从事轨道交通、地下工程相关工作。

西侧大里程端设盾构井,为盾构接收。项目平面位置如图1所示。

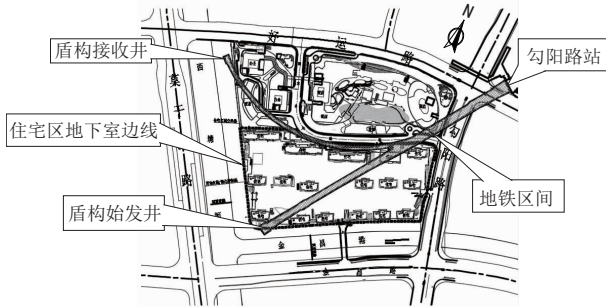


图1 项目位置平面图

星创地块地下室横跨地铁区间布置,其竖向关系如图2所示,区间结构顶板距离地下室底板最小距离仅为440 mm。

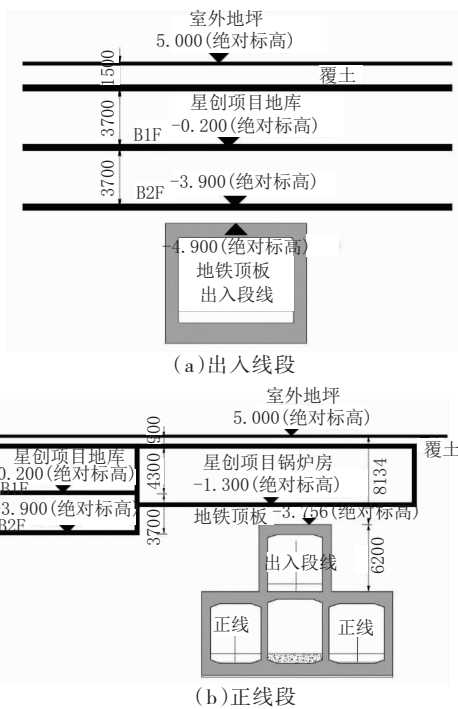


图2 星创地下室与地铁区间竖向关系图(单位:mm)

2 围护方案设计

前期地铁设计阶段,该地块并未出让,原设计方案考虑先行施工地铁并预留上盖施工条件,待地铁完成后再施工上盖建筑。后该地块出让,且地块方案涉及地下室与地铁区间结构重叠的情况,综合考虑工期和造价影响,采用地铁区间与地块地下室同步设计、同步施工的方案。由于地铁区间开挖深度大于地下室深度,且地铁工期节点提前于地块,因此在围护方案设计时,优先考虑地铁基坑的安全性和可行性。由于星创地块商业区基坑在住宅区施工完成后实施,此时地铁已完工,因此本文仅介绍星创地块住宅区基坑与地铁基坑同步设计方案。

2.1 地铁基坑方案

考虑地铁基坑为狭长形基坑,采用分坑设计。勾金区间明挖正线段基坑由西南向东北分为A、B、C、D 4个基坑,出入线段基坑由西北向东南分为F、E 2个基坑。正线段和出入线段基坑之间设置封堵墙。其中,A、B、C、E、F 4个基坑上方均为星创地块地下室,如图3所示。

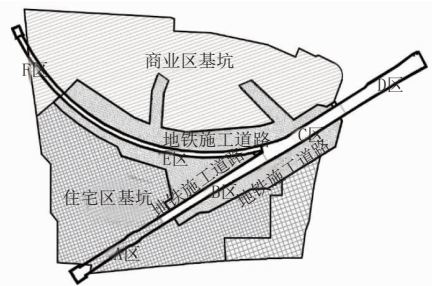


图3 星创地块住宅区地下室基坑与地铁基坑相对关系图

若地铁基坑围护桩桩顶设置在场坪地面标高附近,那么后期地铁上方星创地块地下室基坑开挖时,需要同步凿除其基坑底面以上地铁围护桩,这会对方刚建成的地铁结构造成扰动。同时,地铁结构下方土体短时间内经过开挖、覆土、再开挖的过程,即卸载-加载-再卸载过程,将导致地铁结构竖向变形难以控制。另外,从工程造价和工期角度考虑,此方案也并不合理。因此,地铁围护方案设计时,考虑先对B、C、E 3个区域进行大放坡开挖,开挖深度为7.5 m,围护桩桩顶位于大放坡坡底,坡底距离地铁结构边预留足够空间作为围护桩施工平台。星创住宅区地下二层地下室基坑深度约为9.3 m,后期地铁结构施工完成并移交场地后仅需继续开挖1.8 m即可到达预定坑底标高,可大大降低住宅地下室基坑开挖对刚建成地铁结构的影响。地铁与住宅地下室基坑相对关系如图4所示。

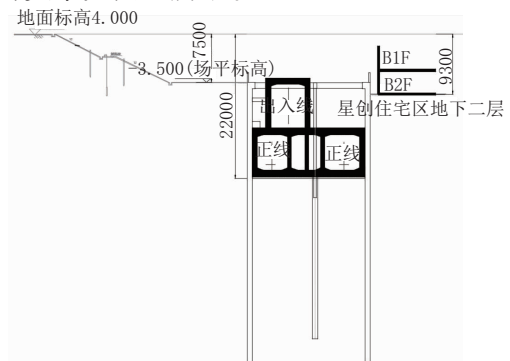


图4 住宅区地下二层与地铁(正线段)基坑剖面相对关系图(单位:mm)

需要说明的是,A区和F区分别为盾构始发区和接收区,由于盾构工筹计划,工期上不具备先放坡开挖再施工围护结构的条件,因此围护桩桩顶仍设

置在场坪地面附近,后期地下室基坑开挖时需同步凿除。

地铁正线段基坑宽约 11.80~20.90 m,基坑深 18.50~21.70 m,坑底位于⑦₁粉质黏土层中,围护结构采用 800 mm 厚地下连续墙,B、C 区支撑采用一道混凝土支撑+三道 φ609 钢支撑,如图 5 所示。出入线段基坑宽度约为 7.19 m,基坑深 14.70~17.30 m,坑底位于⑥₂层淤泥质粉质黏土和⑦₁粉质黏土层,围护结构采用 800 mm 厚地下连续墙,支撑采用一道混凝土支撑+一道 φ609 钢支撑,基坑剖面如图 6 所示。

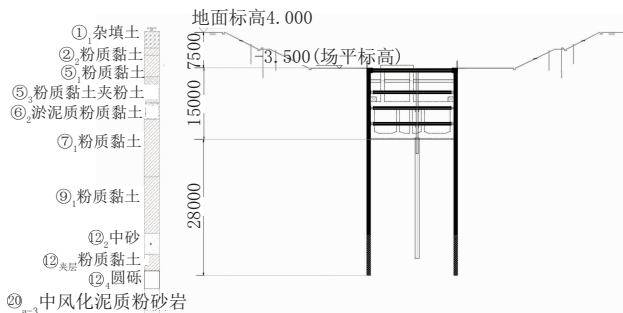


图 5 正线段基坑 B、C 区围护剖面图(单位:mm)

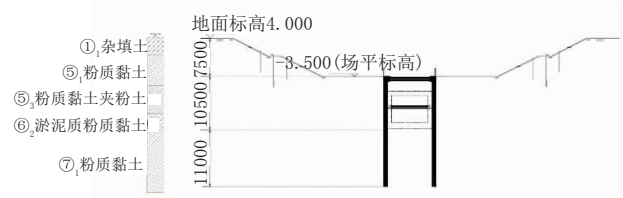


图 6 出入线段基坑 E 区围护剖面图(单位:mm)

2.2 星创地块住宅基坑方案

星创地块住宅基坑开挖面积 54 755 m²,基坑周长 1 202 m,地下一层开挖深度为 6.1 m,其余地下二层开挖深度为 9.3 m,与地铁明挖区间共建,地铁上方地下室连通。由于其平面尺寸较大,根据基坑开挖的“时空效应”^[6]原理,将其分为 3 个基坑并分三期实施:首先施工东南角的一期基坑,接着施工西侧二期基坑,最后施工西南角三期基坑。基坑分区如图 7 所示。

(1)一期基坑。东侧、南侧采用放坡开挖,一级坡坡率为 1:1.5,二级坡坡率为 1:1.25。西侧采用 φ800@1000 钻孔灌注桩结合一排 φ850@600 三轴水泥土搅拌桩止水帷幕,坑内设置两道混凝土支撑;地下一、二层高差处采用放坡土钉支护或复合土钉支护,土钉采用 6m 长 φ48×3.0 打入式注浆钢管,竖向设置三道。

(2)二期基坑。西侧采用上部放坡土钉支护+下部复合土钉支护。上部放坡坡率为 1:0.5,竖向设置

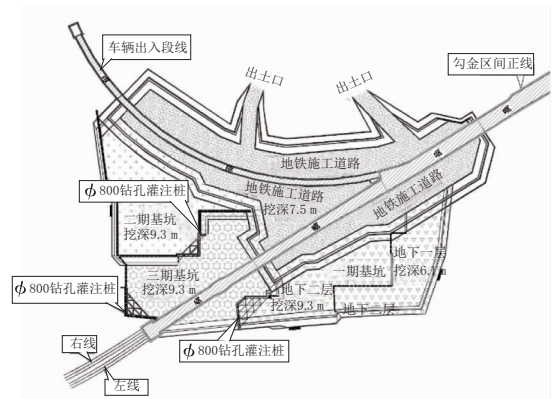


图 7 星创住宅地下室基坑分期开挖平面图

五道 φ48×3.0 打入式注浆钢管。下部设置两排 φ850@600 三轴水泥土搅拌桩,竖向设置三道 φ48×3.0 打入式注浆钢管。南侧采用放坡土钉支护。一级坡坡率为 1:0.6,竖向设置五道 φ48×3.0 打入式注浆钢管。二级坡坡率为 1:0.6,竖向设置三道 φ48×3.0 打入式注浆钢管;西南角采用 φ800@1000 钻孔灌注桩结合一排 φ850@600 三轴水泥土搅拌桩止水帷幕,坑内设置两道混凝土支撑。

(3)三期基坑。南侧采用放坡开挖,一级坡坡率为 1:1.5,二级坡坡率为 1:1.25。西侧采用上部放坡土钉支护+下部复合土钉支护。上部放坡坡率为 1:0.5,竖向设置五道 φ48×3.0 打入式注浆钢管。下部设置两排 φ850@600 三轴水泥土搅拌桩,竖向设置三道 φ48×3.0 打入式注浆钢管。西侧角部采用 φ800@1000 钻孔灌注桩结合一排 φ850@600 三轴水泥土搅拌桩止水帷幕,坑内设置两道混凝土支撑。

3 地铁与地块住宅区同步施工组织

根据盾构工筹计划,地块住宅区基坑施工前,地铁 A、F 区地铁结构已经施工完成并具备盾构始发和接收条件。因此,地铁 B、C、E、F 区施工必然与地块住宅区基坑施工同步进行。为降低两者同步施工带来的施工风险,并减小基坑施工对已建部分地铁结构的影响,同时保证两者工期,必须确定两者的相对施工计划关键节点。

(1)地铁 A、F 区主体结构施工完成后,地块住宅区基坑方可施工。

(2)地块住宅区基坑开挖前,地铁 A 区端头井盾构已始发且盾构已推进到距离地块基坑相对较远的安全区域。

(3)B、C、E 区先行放坡开挖至地面以下 7.5 m 处,后续的围护结构和主体结构施工可与地下室一

期基坑同步进行。

(4)地块住宅二期基坑开挖前,地铁A~F区主体结构须全部完成。

4 本项目关键性问题分析

本项目为地铁明挖区间隧道和上方超大地下室共建,其基坑工程涉及两家建设单位和多家设计、施工单位,工程难度高,风险较大,因此从设计和施工两方面分析其关键性问题。

4.1 围护设计方面

(1)本项目地下室基坑尺寸大,时空效应^[6]明显。若一次性大规模开挖,不仅基坑变形无法有效控制,对已经建成的地铁结构的变形也会有较大影响。因此,根据基坑深度和工筹计划合理分区分块尤为重要。

(2)地块一期和二期基坑距离地铁较远,围护形式选择放坡结合复合土钉墙,有利于加快施工进度,减少基坑的暴露时间,能够有效地减少大基坑施工期间围护结构的侧向水平变形。

(3)地块三期基坑横跨地铁A区,且基坑施工时A区地铁结构已建成,按照杭州地铁保护线50m范围要求,二期和三期、一期和三期基坑交界处以及三期基坑西南角围护均采取加强措施,采用 $\phi 800@1000$ 钻孔灌注桩结合一排 $\phi 850@600$ 三轴水泥土搅拌桩止水帷幕,并设置两道混凝土支撑,提升围护结构刚度,从而有效限制基坑变形。

(4)地铁正上方地下室依靠自重无法满足抗浮要求,且无设置抗拔桩或抗浮锚杆条件,考虑用锚筋将地墙与地下室底板连接进行抗浮,因此抗浮设计时需综合考虑地铁和地下室的浮力。

4.2 施工措施方面

(1)地铁基坑横穿地块基坑,已建地铁12~26m范围内地下室基坑采用同步对称开挖的工序措施,可避免隧道两侧土方不对称开挖形成的偏载对地铁结构的影响。

(2)围护结构应先施工三轴水泥搅拌桩,再施工钻孔灌注桩。水泥搅拌桩应采用动力强劲的机械设备和经验丰富的施工班组,确保施工质量。同时,钻孔灌注桩应采用跳打方式施工。跳打的间隔应根据监测结果实施调整,以减少施工对已建地铁结构的

影响。

(3)已建地铁结构5m范围内禁止桩基施工,若有少量桩基无法规避,需采用全钢套筒施工方案。

(4)应结合地下室后浇带分布,编制详细的底板、楼板拆换撑施工方案。实际支撑破除及凿除多余地铁地连墙时,应采用静力切割技术,避免产生振动荷载。

5 结语

本文介绍了杭州地铁4号线勾金区间与其上盖地块地下室共建的基坑工程实例,并从设计和施工角度分析了项目的关键性问题,得出以下基本思想,可供将来类似工程参考。

(1)地铁与其上盖地下室共建时,由于地铁基坑较地下室更深,围护设计方案应优先考虑地铁基坑的可行性和安全性。在此基础上再进行地下室基坑设计。

(2)地铁基坑一般为狭长形,而地下室基坑平面尺寸较大,若有条件可考虑先大放坡开挖再实施地铁基坑围护结构,不仅避免后期围护桩凿除带来的风险,也能降低基坑造价,节约工期。

(3)在合理分区分块基础上,地铁基坑和地下室基坑可同步实施,但需做好施工组织,降低交叉施工导致的基坑风险。

(4)由于工期较长,必然面临部分区域地铁结构已建设完成,但其余区域基坑仍在施工的情况。因此,需结合实际情况采取一定措施减小剩余部分基坑施工对已建地铁结构的影响。

参考文献:

- [1] 郑俊星,贾坚.地下空间开发与地铁共建中坑中坑的安全稳定性分析[J].上海交通大学学报,2012,46(1):36-41.
- [2] 刘发前,肖元亭,康晓雯,等.超大跨度地道与下穿地铁共建的围护设计研究[J].地下空间与工程学报,2014,10(4):908-912.
- [3] 徐永刚,狄宏规,刘欢,等.上盖物业基坑开挖引起下方地铁隧道变形实测分析[J].城市轨道交通研究,2022,25(3):81-85.
- [4] 沈良帅,贺少辉.复杂环境条件下跨下穿同一既有地铁隧道的变形控制分析及施工方案优化[J].岩石力学与工程学报,2008(S1):2893-2900.
- [5] 薛子龙,张飞.复杂深基坑坑中坑稳定性分析与快捷支护技术[J].建筑技术开发,2021,48(22):153-155.
- [6] 刘燕,刘国彬,孙晓玲,等.考虑时空效应的软土地区深基坑变形分析[J].岩土工程学报,2006(S1):1433-1436.