

地铁上盖结构施工对既有地铁明挖区间影响的实例分析

赵红领¹, 张文涛¹, 赖小勇², 罗卓茂³, 杨 晔⁴

(1. 杭州市地铁集团有限责任公司, 浙江 杭州 310018; 2. 杭州市勘测设计研究院有限公司, 浙江 杭州 310012;
3. 浙江省建科建筑设计院有限公司, 浙江 杭州 310012; 4. 浙江蓝城乐境建筑规划设计有限公司, 浙江 杭州 310009)

摘要: 以杭州地铁1号线九堡站一客运中心站明挖区间的正上方上盖物业开发项目为实例, 介绍了在已经建成的地铁明挖区间上新建人才专项租赁用房的分析过程。通过有限元软件数值分析手段, 对已建地下室结构改造及结构加固施工、主楼及裙房上部结构施工过程中对既有地铁明挖区间的安全影响进行了模拟。并对施工期间既有地下室结构抗浮进行了复核算, 保证既有地下室结构安全, 同时又能满足杭州地铁运营线路变形控制要求, 且不影响地铁正常运营。将分析模型与现场监测数据相结合, 总结了施工期间地铁明挖区间的变形规律, 为将来类似项目施工积累了丰富的理论与实践经验。希望能为今后遇到类似情况的项目, 以及邻近地区的基坑工程提供参考和借鉴。

关键词: 地铁; 上盖结构; 施工; 明挖区间; 有限元; 影响分析

中图分类号: TU753

文献标识码: A

文章编号: 2096-7195(2023)S1-0082-08

Example analysis of the impact of subway upper cover structure construction on existing subway open-cut sections

ZHAO Hong-ling¹, ZHANG Wen-tao¹, LAI Xiao-yong², LUO Zhuo-mao³, YANG Ye⁴

(1. Hangzhou Metro Group Co., Ltd., Hangzhou 310018, Zhejiang, China;

2. Hangzhou Geotechnical Engineering and Surveying Research Institute with Limited Liability, Hangzhou 310012, Zhejiang, China;

3. Zhejiang Jianke Architectural Design Institute Co., Ltd., Hangzhou 310012, Zhejiang, China;

4. Zhejiang Lancheng Lejing Architectural Planning and Design Co., Ltd., Hangzhou 310009, Zhejiang, China)

Abstract: Taking the property development project above the open-cut section from Jiubao Station to Passenger Transport Center Station of Hangzhou Metro Line 1 as an example, this paper introduces the analysis process of the new talent special rental housing on the already built open-cut section of the subway. By using finite element numerical analysis, the safety impact of the reconstruction and reinforcement construction of the existing basement structure, as well as the construction process of the upper structure of the main building and podium, on the open-cut section of the existing subway was simulated. The anti-floating of the existing basement structure during the construction period was rechecked to ensure the safety of the existing basement structure, while meeting the deformation control requirements of the Hangzhou Metro operation line, and not affecting the normal operation of the subway. By combining the analysis model with on-site monitoring data, the deformation patterns of the subway open excavation section during construction were summarized, accumulating rich theoretical and practical experience for similar project construction in the future. This paper can provide reference and inspiration for projects facing similar situations in the future, as well as foundation pit projects in neighboring areas.

Key words: subway; upper cover structure; construction; open-cut section; finite element analysis; impact analysis

0 引言

基于地铁建设而开发的项目被称为“地铁上盖

工程”, 然而上盖的施工会对正在运行的地铁车站的位移和沉降产生影响。因此, 有必要模拟上盖施工的全过程, 分析地铁车站和盾构隧道区间在施工

过程中的变化, 这为采取措施控制既有地铁车站变形提供了理论数据支持。

徐永刚等^[1]发现隧道上方基坑开挖施工会引起下伏隧道结构上浮, 最大上浮值出现在上部基坑土方开挖后。当隧道上部土体开挖时, 隧道结构横截面的变形呈现“竖鸭蛋”变形。黄滨^[2]介绍了一个地铁上部结构的设计实例, 根据工程地质勘察资料, 对地下洞室进行了理论分析和岩土工程三维数值模拟分析。结果表明, 该工程基坑开挖施工阶段和永久使用阶段均不危及地下隧道的结构安全, 也不影响地铁的正常运营。上海大中里项目地下室与地铁 13 号线南京西路站紧邻且同期建设, 两个基坑共用围护墙, 吴佳铭等^[3]将该项目作为研究对象, 系统地研究了地铁站与相邻地块开发时深基坑工程一体化施工的技术。王宏涛^[4]以地铁车站和盾构隧道区间的位移和沉降为分析目标, 利用有限元软件模拟分析了地铁上盖开发工程在开挖等施工过程中对地铁车站和隧道区间的安全影响。王巍^[5]通过建立地铁车站与地下空间一体化施工分析模型, 并结合现场监测数据, 探讨了一体化施工模式对基坑围护结构、地铁车站及端头井和相邻隧道的影响, 总结了相关变形规律。周翔^[6]结合上海某工程基坑的实际施工, 从施工阶段的风险分析、施工安全规划、地铁隧道区间偏差的纠正、围护系统缺陷的预处理等几个方面详细介绍了基坑施工安全风险的防控。郑建文^[7]介绍了在已建地铁车站上建造城市商业综合体的结构设计理念和分析过程。通过沉降计算和采取合理的结构加固措施, 确保整个施工过程不影响地铁运营, 建成后对地铁的影响控制在标准要求以内。所描述的结构设计方法为城市发展过程中越来越多的在既有地铁车站上新建建

筑的推广和应用提供了案例和设计思路参考。陈启辉等^[8]采用三维有限元数值模拟结合现场监测数据分析的方法, 研究了基坑施工过程中围护桩的位移形态、大小和内力的变化情况。张扬^[9]以某上盖工程基坑工程为例, 利用 Midas GTS 软件对所制定方案的施工全过程进行了模拟。对计算结果进行了分析, 得出该基坑初步设计和施工方案是安全可靠的, 对基坑的设计和施工提出了合理的建议。雷亚峰等^[10]以深圳市桂庙路快速化改造工程与下卧深圳地铁 11 号线平面共线为案例, 在施工过程中对下方盾构区间隧道进行了长期的自动化监测, 并结合有限元模拟分析, 研究了下方地铁盾构隧道产生上浮的原因。提出了通过高压旋喷桩和三轴搅拌桩对地层进行加固, 调整地下结构施工顺序并采用分幅施工的方案提前施工竖井+抗浮板+抗拔桩等结构, 以控制地铁上浮变形。实践表明, 竖井、抗浮板、抗拔桩等措施对控制地铁的上浮非常有效, 可以保证地下隧道在基坑施工期间的安全运行。

上述引文中多数为国内关于深基坑开挖、上部结构施工等行为对地铁盾构隧道影响的研究, 少数为针对地铁车站的影响研究。可借鉴上述针对地铁车站或盾构隧道的研究手段及方法, 逐步完善地铁上盖结构施工对地铁车站、明挖区间等的影响研究。

1 项目概况

杭政储出【2019】64 号地块人才专项租赁用房工程位于九堡中心单元中北部, 东至九堡六号港绿化带, 南至九沙大道, 西至规划九安北路, 北至九堡五号港绿化带, 本项目地理位置如图 1 所示。

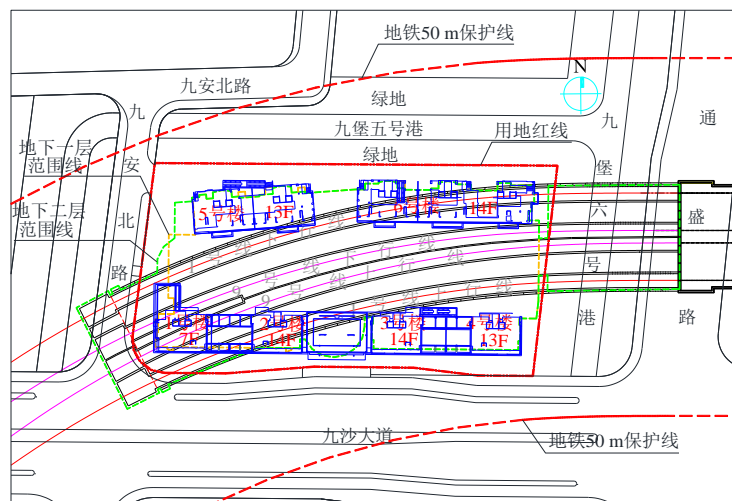


图 1 项目位置示意图

Fig. 1 Location of the project

本项目总用地面积 13 247.00 m²，总建筑面积 55 589.04 m²，其中地上建筑面积 33 117.36 m²，地下建筑面积 22 471.68 m²，主要建设内容包括住宅、配套用房（配套商业、社区服务用房、社区养老用房等）、地下停车库、设备用房、小区内道路及绿化工程等。上部建筑由 6 幢塔楼组成，结构层数：1 号楼地上 7 层；2 号、3 号、6 号楼地上 14 层；4 号、5 号楼地上 13 层。

本项目位于地铁 1 号线九堡站—客运中心站明挖区间的正上方，为地铁上盖物业，设整体两层地下室，地下三层为地铁明挖区间（长 240 m×宽 170 m）。地下一层深约 5 m，地下二层深约 10 m，地下三层深约 20 m。

2 工程地质条件

根据勘察资料，场地勘探深度以内可分为 9 个大层，细划为 19 个亚层。本项目主要地层为①填土；③砂质粉土、粉砂、淤泥质粉质黏土与砂质粉土互层；⑥淤泥质粉质黏土、粉砂夹砂质粉土；⑧淤泥质黏土、黏土、中砂；⑩粉质黏土；⑫砾砂；⑬粉质黏土；⑭中砂、圆砾；⑳全风化泥质粉砂岩。

浅层孔隙性潜水主要赋存于表层填土及③₂~③₇粉土、粉砂中。承压含水层主要分布在⑥₃粉砂夹砂质粉土、⑧₃中砂、⑫₃砾砂、⑭₁中砂、⑭₂圆砾中，基岩裂隙水赋存于强风化、中风化基岩中，水量一般不大。本项目典型地质剖面及与地铁竖向关系详见图 2。

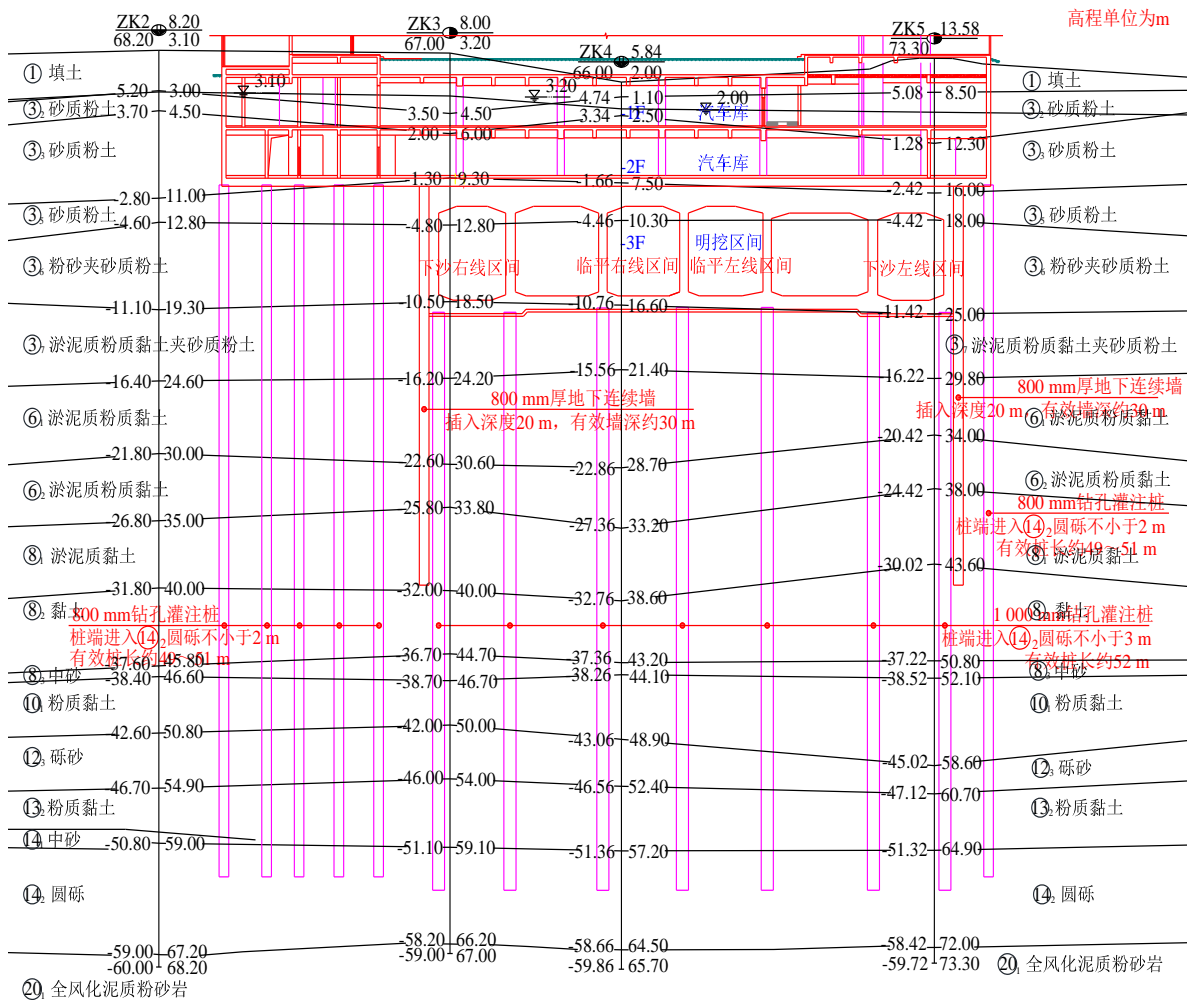


图 2 本项目与地铁竖向关系示意图

Fig. 2 Relative position of the project and the subway

3 地铁上盖结构工程

3.1 上盖结构概况

(1) 根据原主体结构设计图纸，本项目为地铁

上盖物业，为配合地铁施工，根据现有建筑方案先行提供地下室结构施工图。现有建筑方案由上部 6 幢塔楼及底部整体两层地下室组成，上部建筑结构层数：1 号楼地上 7 层；2 号、3 号、6 号楼地上 14 层；4 号、5 号楼地上 13 层。

(2) 结构形式: 现浇钢筋混凝土框架结构、框架-剪力墙结构。

(3) 基础形式: 本项目部分主体底部为地铁通道, 基础直接做在地铁通道(明挖区间)顶板上; 通道(明挖区间)以外主体基础采用钻孔灌注桩基础, 持力层为⑭₂圆砾层, 与地铁通道(明挖区间)桩基相同, 采用桩底后压浆措施。桩径 $\Phi 800$, 底部进持力层至少为 2 m, 有效桩长约为 49~51 m, 桩身采用 C30 防水混凝土, 抗渗等级 S6, 采取桩端后压浆措施, 单桩竖向抗压承载力特征值取为 3 400 kN, 单桩竖向抗拔承载力特征值为 1 100 kN。

3.2 地下室结构改造概况

本项目按照标高自下往上的顺序依次涉及到以下地下室结构改造, 每一层都是按先柱墙改造后梁板改造的顺序施工。

施工顺序为:(1)地下室柱墙改造(标高-9.20~-0.050 m); (2)地下一层梁加固(标高-5.40 m); (3)标高-5.40 m 板加固(标高-5.40 m); (4)一层梁加固(标高-1.50 m); (5)一层板加固(标高-1.50 m); (6)人防墙开洞。

3.3 主楼结构改造概况

主要改造施工为 1~6 号楼(一层, 标高-1.50 m), 新增楼板, 板厚为 180~250 mm, 板面标高为 -0.100~-1.200 m, 楼面板配筋采用 $\Phi 10\sim 12@150$ 双向双层布置。

4 地铁明挖区间结构

4.1 主体结构概况

地铁明挖区间长约 240 m, 地下三层宽约 40 m, 埋深约 20 m; 区间结构为箱式框架结构, 结构受力体系由侧墙、隔墙、立柱、梁和顶板、中板、底板等构件组成。

4.2 围护结构概况

地铁明挖区间采用明挖顺作法施工, 围护结构采用土钉墙及地下连续墙结构, 其中主体部分墙厚 800 mm, 端头井墙厚 1 000 mm。

5 地下室改造期间结构抗浮验算

5.1 计算概况

(1) 计算内容

由于工程区地下水位较高, 既有地下室结构应考虑地下室改造施工期间的地下室抗浮要求。

(2) 计算说明

勘察报告中考虑场地年平均最高地下水位为地表下 0.5~1.0 m 左右, 建议本项目抗浮设防水位高程取 5.0~5.5 m。此处取 5.5 m, 即相对标高-1.4 m。

(3) 计算对象

选取 5 号楼作为计算对象, 计算在物业开发地下室改造施工期间既有地下室结构的抗浮稳定安全系数。

5.2 抗浮验算

(1) 建筑工程抗浮稳定性应符合下式规定:

$$G/N_{w,k} \geq K_w \quad (1)$$

式中: G 为建筑结构自重、附加物自重、抗浮结构及构件抗力设计值总和, kN; $N_{w,k}$ 为浮力设计值, kN; K_w 为抗浮稳定安全系数, 按表 1 确定。

表 1 施工期抗浮稳定安全系数

Table 1 Anti-floating stability safety factor during construction

抗浮工程设计等级	施工期抗浮稳定安全系数 K_w
甲级	1.05
乙级	1.00
丙级	0.95

根据本项目地质和水文地质条件的复杂程度、地基基础设计等级、使用功能要求及抗浮失效可能造成的对正常使用影响程度或危害程度等, 本项目涉及到的建筑抗浮工程设计等级划分为甲级, 属于抗浮失效危害严重的工程。

因此抗浮稳定安全系数 K_w 取 1.05。

(2) 抗浮力计算

既有工程抗浮力应按下列作用的组合取值: 地下结构底板在内的结构自重; 结构上部及其底板外挑结构上的填筑材料自重; 地下结构底板和上部结构上固定设备及永久堆积物的自重; 无外挑结构地下外墙与接触土体间的侧摩阻力或外墙挑出结构上的填筑材料自重; 与地下结构连接的结构或构件提供的抗拔力。

a) 原设计顶板覆土

原设计室外覆土顶板按设计要求做好面层后覆盖 600 mm 土;

原设计室内顶板清理板面后做 40 厚 C20 细石混凝土刚性面层, 随捣随抹, 内配 $\Phi 4@200$ 双向钢筋网片; 刚性面层以上再覆土 400 mm;

顶板覆土重度按 18 kN/m^3 计算, 室外顶板覆土自重 $= 0.6 \times 18 = 10.8 \text{ kN/m}^2$, 室内顶板刚性面层以上覆土自重 $= 0.4 \times 18 = 7.2 \text{ kN/m}^2$ 。此处按最不利覆土厚度 400 mm 考虑, 顶板覆土自重取 7.2 kN/m^2 。

b) 既有地下室主体结构自重

顶板(标高-1.50 m)厚 200 mm;地下一层板(标高-5.40 m)厚 130 mm;底板(标高-9.20 m)厚 600 mm;混凝土重度 25 kN/m³;则结构自重 $= (0.2+0.13+0.6) \times 25 = 23.25 \text{ kN/m}^2$ 。

c) 地下室抗拔桩

本项目采用 $\Phi 800$ 钻孔灌注桩,有效桩长约 49~51 m,桩身采用 C30 防水混凝土,抗渗等级 S6,采取桩端后压浆措施,单桩竖向抗拔承载力特征值为 1 100 kN。

此处仅考虑桩自重(浮重度),5号楼总共约 70 根桩,底板面积约 680 m²,则平均桩自重(浮重度) $W = 70 \times 1/4 \times 3.14 \times 0.8^2 \times 49 \times (25 - 10) / 680 = 38 \text{ kN/m}^2$ 。

d) 地下室局部区域配重

根据原主体结构设计考虑的施工过渡期地下室抗浮措施:

根据过渡期内可能出现的较高地下水位,除严格按照以上要求在顶板覆土外,尚需要在地下室局部区域进行配重以抵抗整体上浮,其中 5 号楼地下一层堆放 2.0 m 砂土包,地下二层堆放 1.0 m 砂土包。砂土包重度按 18 kN/m³ 计算,则地下一层砂土包自重 $= 2.0 \times 18 = 36 \text{ kN/m}^2$,地下二层砂土包自重 $= 1.0 \times 18 = 18 \text{ kN/m}^2$ 。

e) 抗浮力总和

用于抗浮稳定性验算的总抗浮力应按表 2 中的组合系数计算确定。

表 2 建筑工程抗浮稳定安全系数

Table 2 Anti-floating stability safety factor of construction engineering

荷载类型	对抗浮稳定有利时	
	甲级及乙级	丙级
结构自重、结构和构件提供的抗拔力	1.00	1.05
结构内部固定设备、永久堆积物	0.95	1.00
结构上部填筑体、结构内部填筑体	0.90	0.95

则 $G = 7.2 \times 0.9 + 23.25 \times 1.0 + 38 \times 1.0 + 36 \times 0.9 + 18 \times 0.9 \approx 116.3 \text{ kN/m}^2$ 。

(3) 水浮力计算

5 号楼底板底标高为 -9.8 m,抗浮水位按相对标高 -1.4 m 考虑。水浮力 $F_w = \gamma_w \Delta h_w = 10 \times (9.8 - 1.4) = 84 \text{ kN/m}^2$ 。

(4) 物业开发地下室改造施工期间抗浮稳定安全系数 K_w 按照地下室顶板上覆土先行全部挖除的最不利工况计算,结果如下:

$$G/N_{w,k} = (116.3 - 7.2 \times 0.9) / 84 \approx 1.31 \geq K_w (=1.05),$$

抗浮稳定安全系数满足规范要求。

6 有限元数值模拟

6.1 二维 Plaxis 数值分析

由前文可知,上部建筑 6 幢塔楼结构层数分别为:1 号楼地上 7 层;2 号、3 号、6 号楼地上 14 层;4 号、5 号楼地上 13 层。

根据主楼的层数(高度)及其与地铁的相对位置关系,选取上部楼层数量最多(即上部荷载最大)、主楼范围在地铁顶板上的投影面积比例(即上部荷载传递到地铁顶板上的比例)最大的原则,经对比后选取 2 号楼采用 Plaxis 有限元软件进行其上部结构施工对地铁设施的影响分析。

(1) 计算模型尺寸宽 150 m,高 80 m。在几何模型底部及两侧竖向边界分别施加完全约束及滑动约束。

(2) 土体选用小应变土体硬化(HSS)模型,地铁明挖区间结构选用弹性模型,采用板单元模拟。

建立 2 号楼上部结构施工对地铁明挖区间影响的二维有限元分析模型,如图 3 所示。

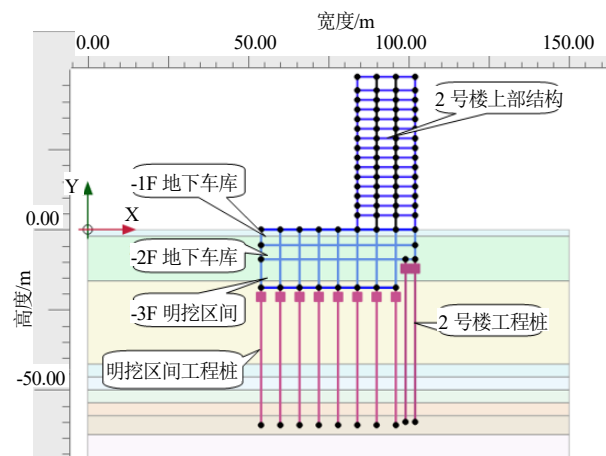


图 3 2 号楼上部结构施工对地铁设施影响模型图

Fig. 3 Model of the impact of the construction of the upper structure of building 2 on subway facilities

计算得出土体总位移如图 4 所示,从图中可知,土体总位移在 2 号楼对应范围的浅层部位最大,并呈现出两个特点:

(1) 沿模型宽度方向,2 号楼对应范围内的土体总位移大,纯地下车库对应范围内的土体总位移小。

(2) 沿模型高度方向,土体总位移量从地面自上而下逐渐减小。2 号楼对应范围地表往下 25 m 左右深度处土体总位移减小了约一半,工程桩底所在深度处土体总位移接近 0。

地铁明挖区间结构总位移如图 5 所示, 最大位移量如表 3 所示。由图 5 可知, 地铁明挖区间结构以竖向位移为主, 2 号楼对应范围位移最大。水平位移总体较小。

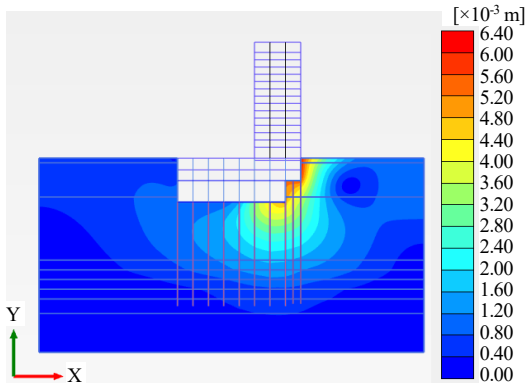


图 4 土体总位移云图

Fig. 4 Cloud map of total displacement of soil

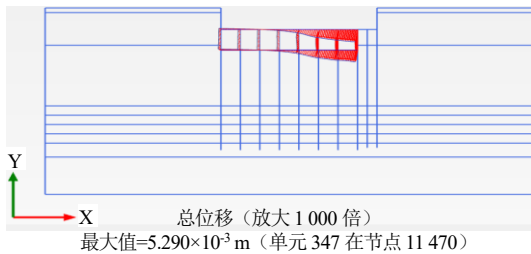


图 5 地铁明挖区间结构总位移图

Fig. 5 Total displacement diagram of subway open-cut section structure

表 3 主要工况下地铁明挖区间结构最大位移

Table 3 Maximum displacement of subway open-cut section structure under main working conditions mm

主要工况	地铁明挖区间结构最大位移	
	水平位移	竖向位移
本项目上部结构 施工完成	0.84	-5.25

6.2 三维 Midas 数值分析

物业开发主楼及地下室结构(包括楼板、外墙等)、地铁明挖区间结构(包括顶板、底板、侧墙等)、盾构衬砌选用弹性模型, 采用板单元模拟。地下室柱采用梁单元模拟。物业开发地下室及主楼工程桩、地铁明挖区间工程桩采用植入式梁单元模拟。考虑常水位标高位于地面以下 1.5 m。柱墙改造产生的结构自重增加折算成集中力, 原设计顶板覆土、施工期地下室抗浮配重折算成均布区域参与计算。考虑本项目已建地下结构改造及后续上部结构等施工对地铁设施的影响, 建立 Midas GTS NX 三维有限元模型如图 6 所示, 模型长 300 m, 宽 250 m, 高 80 m。

计算得出土体总位移如图 7 所示, 地铁明挖区间结构竖向位移如图 8 所示。地铁明挖结构主要以向下沉降变形为主, 主楼尤其是 2 号楼及 6 号楼对应范围内沉降量最大。

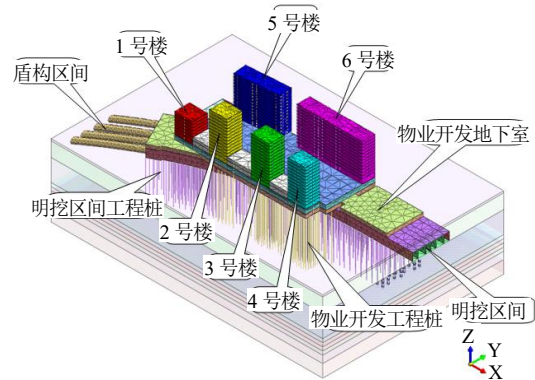


图 6 三维 Midas 数值计算模型

Fig. 6 Three-dimensional Midas numerical calculation model

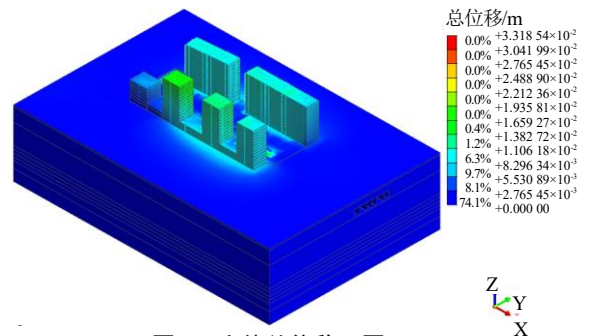


图 7 土体总位移云图

Fig. 7 Cloud map of total displacement of soil

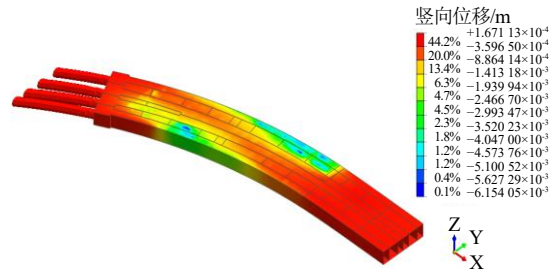


图 8 地铁结构竖向位移云图

Fig. 8 Vertical displacement cloud map of subway structure

主要工况下地铁明挖区间底板(道床)结构最大位移量如表 4 所示。将表 3 中二维数值分析结果与表 4 中三维数值分析结果进行对比, 如表 5 所示。

表 4 主要工况下地铁明挖区间底板(道床)结构最大位移

Table 4 Maximum displacement of the bottom plate (roadbed) structure in the subway open-cut section under main working conditions mm

主要工况	地铁明挖区间底板(道床)结构最大位移		
	水平位移	竖向位移	诱导缝沉降
主楼梁板加固	0.41	-0.41	0.10
地下室加固	0.05	-0.19	0.15
施工主楼上部结构	0.71	-3.92	0.20

表5 地铁明挖区间结构最大位移二维、三维计算结果对比表
Table 5 Comparison of 2D and 3D calculation results for the maximum displacement of subway open-cut section structures mm

对比项目	最大水平位移	最大竖向位移
二维计算结果	0.84	-5.25
三维计算结果	0.71	-3.92

由表5可知,二维、三维计算得到的地铁明挖区间结构水平位移及竖向位移的数值接近,趋势一致。二维模型中因无法体现明挖结构的整体性,其计算出来的变形要略大于三维模型。

7 地铁变形监测

7.1 监测点布置

明挖段按照1断面10m布设1个监测点,盾构段按照1断面12m布设1个监测点,采用沉降钉。尽量利用现有长期运营监测点,明挖段与盾构段交接处增设1个测点,结构缝两侧各布设1个测点。

7.2 监测报警值

项目施工期间地铁结构变形控制标准见表6,控制值为 ± 5.0 mm,预警值及报警值分别取控制值

的60%及80%。

表6 地铁结构变形控制标准

Table 6 Deformation control standards for subway structure

序号	项目	预警值/mm	报警值/mm	控制值/mm
1	水平位移	± 3.0	± 4.0	± 5.0
2	竖向位移	± 3.0	± 4.0	± 5.0

7.3 地铁变形数据

本项目主楼施工期间地铁结构最大累计变形量见表7,累计最大道床沉降量为-3.3 mm,未达到 ± 4.0 mm的报警值。

典型断面道床沉降时程曲线如图9所示,可见项目前期进行的主楼梁板加固及地下室加固施工对下部的地铁明挖结构影响总体较小,总体维持在1 mm左右;主楼上部结构开始施工后,变形开始加快,半年时间内变形量增加了约2.5 mm左右。

表7 主楼施工期间地铁结构最大累计变形量

Table 7 Maximum cumulative deformation of the subway structure mm

监测项目	累计最大值	报警值	备注
道床沉降	-3.3	± 4.0	未报警

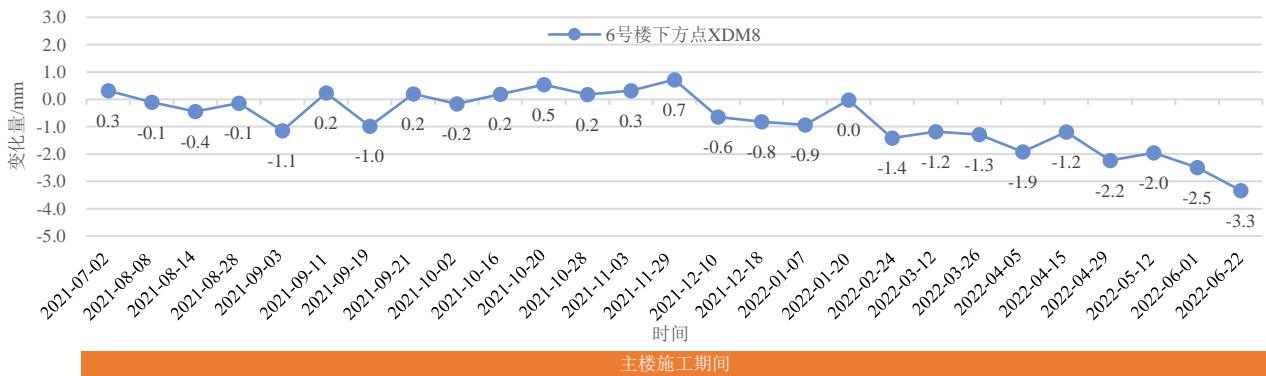


图9 典型断面道床沉降时程曲线图

Fig. 9 Roadbed settlement curve of typical cross-section

8 结论

(1) 本文通过有限元软件数值分析手段,对已建地下室结构改造及结构加固施工、主楼及裙房上部结构施工过程对既有地铁明挖区间的安全影响进行了模拟。并将理论计算结果与实测数据进行比较,可以看出这两个值比较接近,变化趋势基本一致。

(2) 既有地下室改造施工期间,如有涉及到开挖等卸载施工行为,应进行地下室结构抗浮验算。

文中物业开发地下室改造施工期间抗浮稳定安全系数 K_w 按照地下室顶板上覆土先行全部挖除的最不利工况计算,约等于1.31,大于抗浮工程设计等级为甲级对应的施工期抗浮稳定安全系数1.05,满足规范要求。

(3) 施工期间若既有地下室结构抗浮不满足规范要求(抗浮工程设计等级甲级、乙级、丙级分别对应抗浮稳定安全系数1.05、1.00、0.95),则存在地下室结构整体或局部出现上浮位移、隆起变形,进而产生对已运营地铁设施的不利影响,应及

时采取压重等措施控制结构上浮。

(4)通过分析地铁结构变形数据情况可知,在项目施工期间地铁结构变形主要发生在主楼施工期间(占比约 95%),地铁变形主要表现为道床沉降,变形数据较小,总体沉降趋势可控。

参考文献

- [1] 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.
XU Yong-gang, DI Hong-gui, LIU Huan, et al. Field measurement analysis of metro tunnel deformation caused by overhead property foundation pit excavation[J]. Urban Mass Transit, 2022, 25(3): 81-85.
- [2] 黄滨. 地铁上盖建筑的设计实例与地铁保护分析[J]. 福建建筑, 2022(7): 65-71.
HUANG Bin. Design example and protection analysis of subway superstructure[J]. Fujian Architecture & Construction, 2022(7): 65-71.
- [3] 吴佳铭, 赵堂君. 城市轨交上盖项目建筑保护的理论与实践[J]. 工程技术研究, 2018(1): 29-31.
WU Jia-ming, ZHAO Tang-jun. Research and practice on building protection of urban rail transit overlay projects[J]. Engineering and Technological Research, 2018(1): 29-31.
- [4] 王宏涛. 地铁上盖建设对地铁车站的影响分析[J]. 国防交通工程与技术, 2016, 14(增刊1): 53-54, 79.
WANG Hong-tao. Analysis of the impact of subway construction on subway stations[J]. Traffic Engineering and Technology for National Defence, 2016, 14(S1): 53-54, 79.
- [5] 王巍. 地铁车站与周边地下空间一体化施工的数值模拟分析[J]. 建筑施工, 2012, 34(12): 1181-1183.
WANG Wei. Numerical simulation analysis of integral construction between subway station and its surrounding underground space[J]. Building Construction, 2012, 34(12): 1181-1183.
- [6] 周翔. 运营地铁线上盖项目基坑施工过程中的风险应对措施[J]. 建筑施工, 2020, 42(5): 704-706, 716.
ZHOU Xiang. Risk countermeasures during foundation pit construction of subway cover project[J]. Building Construction, 2020, 42(5): 704-706, 716.
- [7] 郑建文. 既有地铁上盖项目的结构设计[J]. 建筑施工, 2022, 44(5): 927-930.
ZHENG Jian-wen. Structural design of existing metro superstructure project[J]. Building Construction, 2022, 44(5): 927-930.
- [8] 陈启辉, 刘颜磊, 韩健勇, 等. 既有暗挖车站上盖增层基坑施工力学响应[J]. 山东建筑大学学报, 2021, 36(4): 1-8.
CHEN Qi-hui, LIU Yan-lei, HAN Jian-yong, et al. Construction mechanics response of the excavated foundation pit above the excavated station[J]. Journal of Shandong Jianzhu University, 2021, 36(4): 1-8.
- [9] 张扬. 上盖项目基坑工程对临近地铁车站的影响性分析[J]. 山西建筑, 2015, 41(3): 46-48.
ZHANG Yang. Analysis on influence of excavation engineering of the top head project to adjacent subway station[J]. Shanxi Architecture, 2015, 41(3): 46-48.
- [10] 雷亚峰, 何修义. 明挖隧道施工期间下方共线地铁盾构区间上浮控制技术——以深圳市桂庙路快速化改造工程为例[J]. 隧道建设(中英文), 2019, 39(11): 1888-1897.
LEI Ya-feng, HE Xiu-yi. Floating control technology of lower collinear metro shield section during cut-and-cover tunnel construction: a case study of rapid rehabilitation project on Guimiao road in Shenzhen[J]. Tunnel Construction, 2019, 39(11): 1888-1897.