

# 杭州某软土基坑工程开挖对地铁的影响研究

夏天, 岑维杰, 赵华

(杭州市勘测设计研究院有限公司, 浙江 杭州 310012)

**摘要:** 随着我国的城市化建设进程不断加快, 对于城市地下空间的开发规模也逐步增加, 涉及到的基坑工程也逐步向着更深更大的方向发展, 针对基坑支护设计的要求也越来越高。为了研究软土地区深基坑开挖施工对邻近或上盖地铁隧道的影响, 本文以杭州市滨江区某地铁上盖项目为例, 详细介绍了其基坑特点及基坑支护设计方案, 并采用了Plaxis有限元软件建立三维模型, 模拟基坑施工全过程, 最后结合基坑开挖引起的既有隧道的水平位移、竖向位移和水平径向收敛现场监测数据, 分析了基坑开挖过程中对邻近地铁隧道的影响, 并总结归纳了施工过程中造成地铁隧道变形报警的原因。研究分析表明, 本项目保护区范围地铁设施变形与模型计算结果相比存在差异, 基坑开挖应分层分段分块对称开挖, 附属设施两侧土方需平衡开挖。

**关键词:** 深大基坑; 软土基坑; 变形监测; 数值模拟; 隧道变形; 地铁上盖

中图分类号: TU473

文献标识码: A

文章编号: 2096-7195(2023)S1-0060-09

## Research on the influence of excavation of a soft soil foundation pit in Hangzhou on subway

XIA Tian, CEN Wei-jie, ZHAO Hua

(Hangzhou Geotechnical Engineering and Surveying Research Institute with Limited Liability, Hangzhou 310012, Zhejiang, China)

**Abstract:** With urbanization construction process is accelerating unceasingly, the development scale of urban underground space has gradually increased, and the foundation pit engineering involved has gradually developed in a deeper and larger direction, and the requirements for foundation pit support design are getting higher and higher. In order to study the influence of deep foundation pit excavation construction on adjacent or overlying subway tunnels in soft soil areas, this paper takes an overlying subway project in Binjiang District of Hangzhou City as an example, introduces its characteristics of foundation pit and its support design scheme in detail, and uses Plaxis finite element numerical software to establish a three-dimensional model to simulate the whole construction process of foundation pit. Finally, combined with the monitoring data of horizontal displacement, vertical displacement and horizontal radial convergence of existing tunnels caused by foundation pit excavation, this paper analyzes the influence of foundation pit excavation on adjacent subway tunnels, and summarizes the causes of subway tunnel deformation alarm during construction. The research and analysis show that the deformation of subway facilities in the protected area of this project is different from the model calculation results. The excavation of foundation pit should be stratified, segmented and symmetrical, and the soil excavation on both sides of the ancillary facilities should be balanced.

**Key words:** deep and large foundation pits; soft soil foundation pit; deformation monitoring; numerical simulation; tunnel deformation; above the subway

## 0 引言

随着我国的城市化建设进程不断加快, 大型的建筑物也越来越多, 基坑开挖深度和面积不断增加, 在复杂的城市环境中越来越多的深大基坑投入

建设, 也对控制基坑变形提出了更高的要求。在地铁周边开挖基坑势必会对地铁隧道产生不利影响, 由此引起的事故数量也逐渐增加, 造成了大量人员伤亡和财产损失。因此, 研究基坑开挖对既有地铁隧道的影响具有重大意义<sup>[1-2]</sup>。

本文以杭州市滨江区地铁上盖综合体项目为例,通过 Plaxis 3D 有限元数值模拟软件,并结合现场监测数据,研究分析了深基坑开挖对邻近地铁的变形影响以及施工中的重要风险点,对后续类似工程具有借鉴意义。

## 1 工程概况

### 1.1 项目概况

总体情况:项目位于杭州市滨江区,东邻风情大道(风情大道桩基于 2020 年施工,上部结构及匝道于 2021 年施工),南至滨康路,西邻西兴路,北至滨安路。滨安路下伏地铁 1 号线滨康路站—湘湖站区间隧道、滨康路站及附属结构;滨康路下伏地铁 5 号线江晖路—博奥路站区间隧道、滨康路站及附属结构,均已投入运营,地理位置详见图 1。

周边管线:北侧滨安路侧距基坑由近及远管线依次为 10kV 电力管、通信光纤管、交通信号管、DN300 铸铁雨水管和 DN400 雨水管;南侧滨康路侧距基坑由近及远管线依次为 10kV 电力管、通信管、DN200 燃气管、DN600 铸铁给水管;西侧西兴路侧距基坑由近及远管线依次为 10kV 电力管、通信管、DN200 燃气管、DN400 雨水管;项目二期场内分布 DN300 污水管、DN300 雨水管、DN100 给水管、通信管线、电力管及地铁设施冷却塔相关管线,详见图 2。

地铁分布:地铁 1 号线沿滨安路敷设,地铁 5 号线沿滨康路敷设,地铁 1、5 号线滨康路站及附属设施位于本项目场地内。地铁 1 号线滨康路站将地块一

分为二,场地内分布地铁冷却塔、电缆井、排烟井、1 号线风亭(敞口式低风亭)及地铁疏散出入口等。

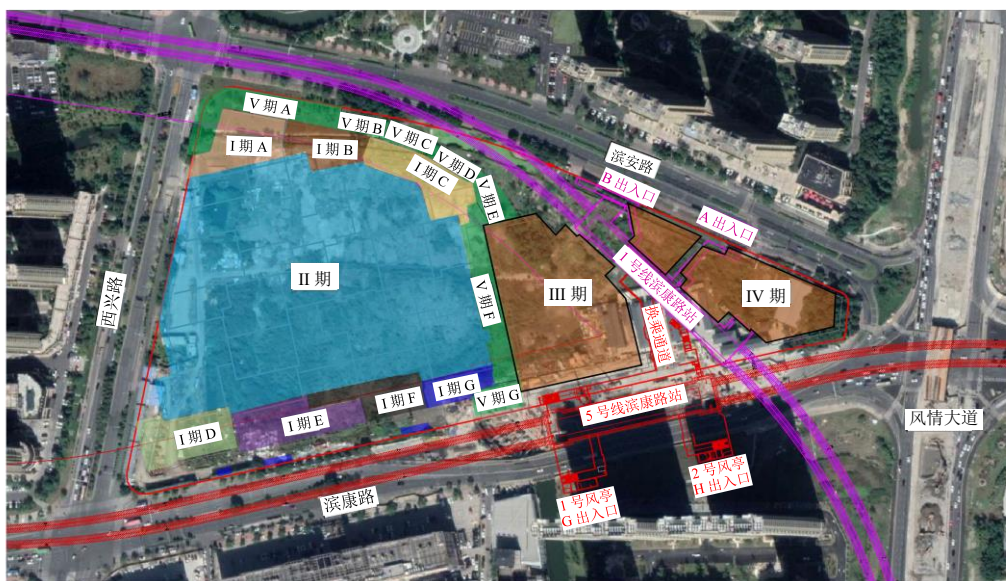
总体布局:本项目为地铁 TOD 上盖综合体项目,分为两期建设。一期为住宅、河道和幼儿园组成,近地铁侧为 1~2 层地下室,远地铁侧为 3 层地下室,河道挖深约 3.8 m,未进入地铁特别保护区。二期为商业和办公,地铁 1 号线滨康路站将其一分为二,站体东侧设 1~2 层地下室,站体西侧设 3 层地下室<sup>[3-6]</sup>。

### 1.2 工程地质条件

本场地地基土表层主要为杂填土和素填土,上部主要为近代河湖沉积的粉质黏土、粉土层、海相流塑状的淤泥质粉质黏土,中部为河湖相粉质黏土、粉细砂和圆砾,下部基岩为泥质粉砂岩、凝灰岩质砂岩,基坑开挖范围内影响土层自上而下为:①<sub>1</sub>杂填土、①<sub>2</sub>素填土、①<sub>2-1</sub>素填土、①<sub>3</sub>塘泥、②粉质黏土夹粉土、③<sub>1</sub>黏质粉土、③<sub>2</sub>淤泥、④<sub>1</sub>淤泥质黏土、④<sub>2</sub>砂质粉土夹粉质黏土、④<sub>3</sub>淤泥质粉质黏土、⑤黏质粉土夹粉砂薄层、⑥粉细砂、⑧<sub>1</sub>圆砾、⑧<sub>2</sub>夹粉质黏土夹粉砂、⑨粉质黏土夹粉砂、⑩<sub>1</sub>强风化凝灰质粉砂岩。主要土层物理力学性质指标如表 1 所示。

### 1.3 水文地质条件

场地地下水主要存在两层地下水,分别为赋存在浅部填土层和粉土层中的孔隙潜水与赋存在下部⑥粉细砂、⑧圆砾层的孔隙承压水和下部基岩裂隙水。



注: I/II 期为住宅部分, III/IV 期为项目二期, V 期为待建河道

图 1 本基坑地理位置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the geographical location of this foundation pit

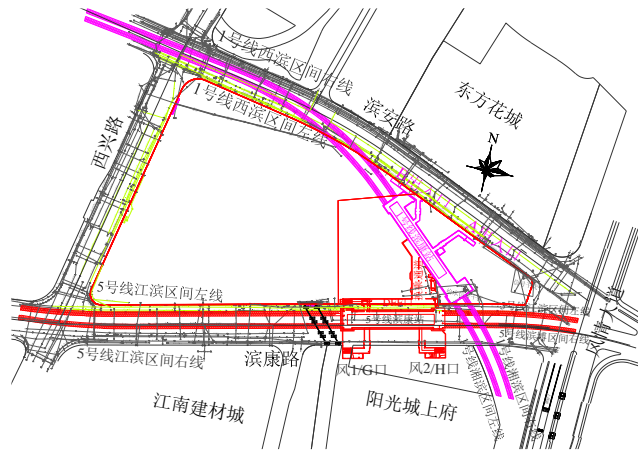


图2 本基坑周边环境示意图

Fig. 2 Schematic diagram of the surrounding environment of this foundation pit

表1 土层物理力学性质指标

Table 1 Physical and mechanical parameters of soils

层号	岩土名称	天然重度 $\gamma/(\text{kN}/\text{m}^3)$	水平渗透系数 $k_H/(\text{cm}/\text{s})$	垂直渗透系数 $k_V/(\text{cm}/\text{s})$	固结快剪试验	
					黏聚力 $c/\text{kPa}$	内摩擦角 $\varphi/(\text{°})$
① <sub>1</sub>	杂填土	(18.5)	—	—	(10.0)	(12.0)
① <sub>2</sub>	素填土	(18.0)	—	—	(12.0)	(10.0)
① <sub>3</sub>	塘泥	(17.0)	—	—	(8.0)	(5.0)
②	粉质黏土夹粉土	19.0	$6.22 \times 10^{-6}$	$1.21 \times 10^{-6}$	28.5	18.9
③ <sub>1</sub>	黏质粉土	18.5	$4.12 \times 10^{-4}$	$3.49 \times 10^{-4}$	9.2	25.2
③ <sub>2</sub>	淤泥	16.7	$2.71 \times 10^{-7}$	$1.33 \times 10^{-7}$	(10.0)	(4.0)
④ <sub>1</sub>	淤泥质黏土	16.7	$2.62 \times 10^{-7}$	$1.88 \times 10^{-7}$	11.8	6.7
④ <sub>2</sub>	砂质粉土夹粉质黏土	18.9	$(3.27 \times 10^{-5})$	$(3.64 \times 10^{-5})$	(5.0)	(26.0)
④ <sub>3</sub>	淤泥质粉质黏土	17.2	$3.22 \times 10^{-7}$	$1.74 \times 10^{-7}$	13.0	8.1

注：表中参数取自本项目岩土工程勘察报告，()内为经验值。

### (1) 孔隙潜水

孔隙潜水主要赋存于浅部填土和②粉质黏土夹粉土及③<sub>1</sub>黏质粉土中，其渗透性一般，分布广泛而连续。勘察期间实测水位埋深在 0.20~1.20 m（1985 国家高程为 4.52~6.22 m）。地下水位受大气降水及季节影响有一定变幅，年水位变化约 1.0~2.0 m。

### (2) 孔隙承压水

场区承压水含水介质主要为⑥粉细砂和⑧<sub>1</sub>圆砾，其中⑧<sub>1</sub>圆砾水量较丰富，渗透性较强，以上覆盖有厚层的淤泥质土，构成相对隔水的承压顶板。

## 2 基坑围护方案选型

### 2.1 基坑工程特点

根据场地地理位置、土质条件、基坑开挖深度及周边环境条件，本基坑围护工程具有以下几个特点：

(1) 从基坑挖深方面来看，本工程设 1~3 层

地下室，标高分别为 5.100 m（1 层地下室）、8.800 m（2 层地下室）、11.800 m（3 层地下室）。本基坑地下室大面积属于一级基坑，基坑设计使用年限为 24 个月。

(2) 从基坑平面形状来看，基坑平面形状较不规则。南北纵向长约 270 m，东西横向长约 300 m，整个基坑开挖面积约 59 000 m<sup>2</sup>，基坑周长约 1 780 m。

(3) 本工程周边环境相对比较复杂，东侧为已建西兴路（道路下方存在较多市政管线）；基坑北侧为已建 1 号线地铁隧道，南侧为已建 5 号线地铁隧道，需重点保护。

(4) 从用地条件来看，基坑四周距离用地红线有一定的空间，对基坑设计及施工较为有利。

(5) 从地质条件来看，本工程大面积坑底位于④<sub>1</sub>淤泥质黏土层中，该土层呈流塑，高压缩性，全场分布，物理力学性质较差，对基坑变形及整体稳定控制较为不利，需引起重视<sup>[7-9]</sup>。

(6) 基坑开挖范围内的土层渗透性相对较差，

坑外无需专门的降水措施。对于地表处的雨水、施工用水, 采用地面排水沟截流, 引至下水管道的方法解决。具体做法是, 在基坑周边地面处设置贯通的地面排水沟, 并沿排水沟隔 20 m 设置集水井。

(7) 从本工程主体结构采用的基础形式来看, 工程桩拟采用钻孔灌注桩, 非挤土桩。

(8) 本工程北侧靠近地铁 1 号线地铁隧道, 南侧靠近 5 号线地铁隧道, 根据《城市轨道交通结构安全保护技术规程》(DB 33/T 1139—2017) [10] 要

求南北两侧基坑需进行分坑处理。

### 2.2 基坑围护方案选择

根据工程规模、挖深、分坑、周边环境、地质情况, 按照“安全、经济、施工方便”的原则, 结合邻近类似工程经验, 本工程采用钻孔灌注桩排桩挡土结合 1~2 道钢筋混凝土支撑并结合被动区加固的支护方案, 采用三轴水泥搅拌桩做止水帷幕。

基坑具体围护选型如表 2 所述, 基坑平面布置以一期为例如图 3 所示。

表 2 基坑围护选型表

Table 2 Selection of foundation pit support

分区	面积/m <sup>2</sup>	周长/m	挖深/m	围护方案
I 期	A	2 656	233	5.1 地铁侧: Φ800@1 050 钻孔桩+一道混凝土支撑+被动区+三轴
	B	1 980	198	5.1 西侧: Φ600@900 钻孔桩+一道混凝土支撑+被动区+三轴
	C	2 705	275	5.1 I 期分隔: Φ600@950 钻孔桩+一道混凝土支撑+墩式被动区 II 期分隔: Φ800@1 050 钻孔桩+一道混凝土支撑+被动区墩式
	D	2 715	231	5.1 地铁侧: Φ800@1 050 钻孔桩+一道混凝土支撑+被动区+三轴
	E	2 970	277	5.1 I 期分隔: Φ600@950 钻孔桩+一道混凝土支撑+墩式被动区
	G	1 257	161	5.1 II 期分隔: Φ800@1 050 钻孔桩+一道混凝土支撑+被动区墩式
	F	2 193	256	8.9 地铁侧: Φ1 000@1 200 钻孔桩+两道混凝土支撑+抽条被动区+三轴止水
II 期	44 380	899	12.8	Φ800@1 050 钻孔桩+两道混凝土支撑+被动区墩式
V 期	A1	1 417	188	3.8 地铁侧: Φ700@950 钻孔桩+一道混凝土支撑+被动区裙边格栅
	A2	1 110	156	3.8 V 期 A/B 分隔桩: Φ600@950 钻孔桩+一道混凝土支撑
	B	530	103	3.8
	C	646	112	3.8 地铁侧: Φ700@950 钻孔桩+放坡+被动区裙边抽条
	D	622	112	3.8 V 期 B/C/D/E 分坑措施: 两幅三轴水泥土墙
	E	975	135	3.8
	F	3 087	347	3.8
G	807	118	4.65/6.05	V 期 F/G 分割桩: Φ800@1 100 钻孔桩+一道混凝土支撑+被动区

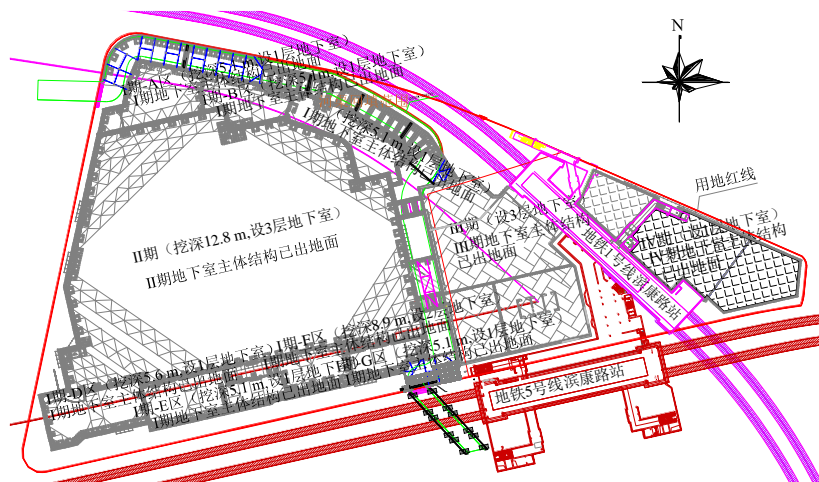


图 3 本基坑支护平面布置图  
Fig. 3 Layout plan of foundation pit support



### 3 有限元数值模拟

#### 3.1 模型建立

采用 Plaxis 3D 有限元数值模拟软件建立三维有限元模型。模型的 X 方向取 670 m, Y 方向取 500 m, Z 方向(厚度方向)取 90 m。为确保分析结果不受边界约束的影响,基坑距模型边界大于基坑挖深的 3 倍,整体模型如图 4 所示,新建设施和既有地铁设施的关系如图 5 所示。

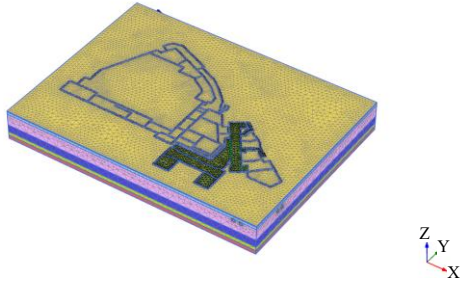


图 4 基坑三维模型图

Fig. 4 3D model of foundation pit

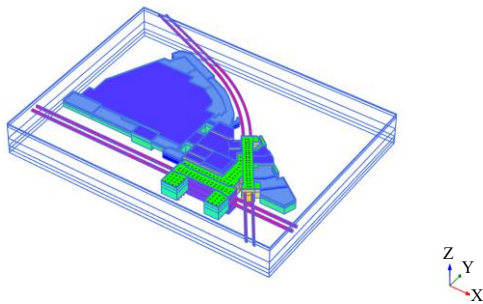


图 5 整体相对关系图

Fig. 5 Overall relative relationship diagram

#### 3.2 模型参数

本项目根据项目施工现状、地铁变形、基坑测斜和变形原因进行岩土体参数的反演,反演后的岩土体参数见表 3。岩土体单元采用小应变硬化土本构模型,结构单元采用弹性本构模型。桩基础采用桩单元,既有隧道衬砌、地下室的板和墙采用板单元,既有地下室柱子和支撑采用梁单元,汽车坡道考虑后期运营时荷载为 15 kPa。

模型底部的约束条件为水平、竖直方向都固定;模型两侧约束条件为水平方向固定,竖直方向自由;地表面自由。

#### 3.3 计算结果

根据 Plaxis 3D 数值模拟分析结果,通过三维数值分析,隧道侧工程桩施工对既有地铁设施的影响为最大水平变形 2.0 mm,最大竖向变形-1.9 mm,收敛变形为 2.0 mm,详见图 6~8。

计算获得的各工况下深层土体最大水平位移以及地表沉降如表 4~5 所示。

表 3 土体 HSS 模型参数

Table 3 Parameters of soil HSS model

层号	岩土名称	$E_{s0}/\text{MPa}$	$E_{ocd}/\text{MPa}$	$E_{ur}/\text{MPa}$
① <sub>1</sub>	杂填土	2.5	2.5	7.5
②	粉质黏土夹粉土	4.0	4.0	4.0
④ <sub>3</sub>	淤泥质粉质黏土	2.5	2.5	10.5
⑤	黏质粉土夹粉砂薄层	4.0	4.0	16.0
⑧ <sub>1</sub>	圆砾	25.0	25.0	75.0
⑩ <sub>1</sub>	强风化凝灰质粉砂岩	12.0	12.0	48.0

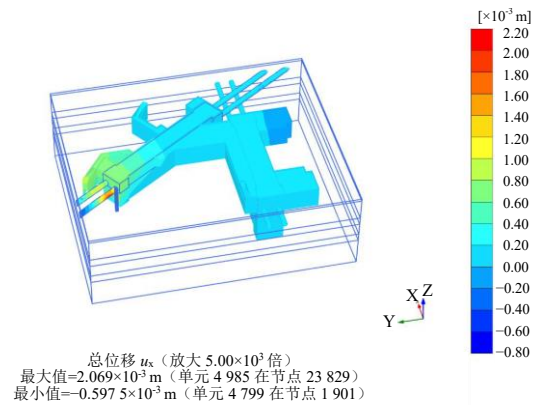


图 6 地铁设施水平变形图(X向)

Fig. 6 Horizontal deformation diagram of subway facilities (X-direction)

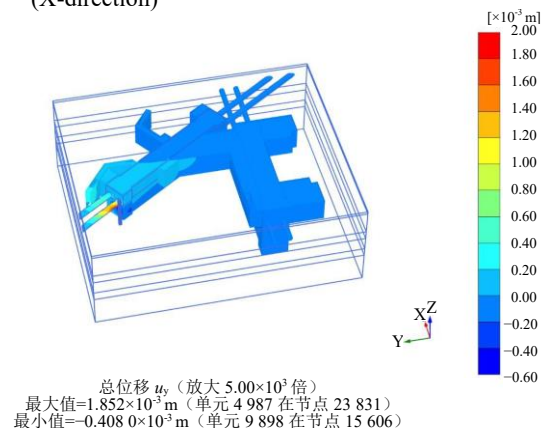


图 7 地铁设施水平变形图(Y向)

Fig. 7 Horizontal deformation diagram of subway facilities (Y-direction)

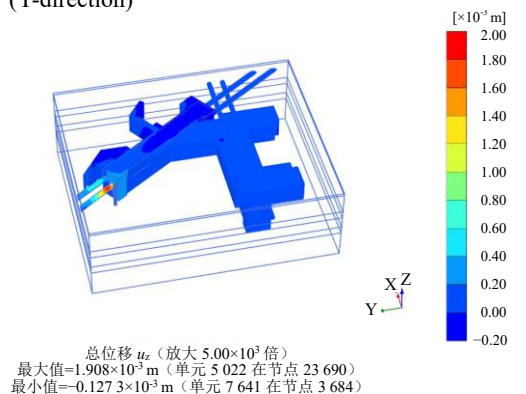


图 8 地铁设施竖向变形图(Z向)

Fig. 8 Vertical deformation diagram of subway facilities (Z-direction)

表 4 明挖法地铁设施的计算变形最大值统计表

Table 4 Statistical table of maximum calculated deformation of open-cut subway facilities

mm

地铁设施工况	车站主体			1号线附属结构			1号、5号线换乘通道		
							5号线附属结构		
	水平	竖向	差异	水平	竖向	差异	水平	竖向	差异
V期ABCD施工完成	+0.1	-0.1	+0.1	+0.2	-0.1	+0.5	+0.2	+0.1	+0.5
III期A和III期C1挖至坑底	+1.8	-1.7	+1.5	+4.3	-2.5	+2.5	+3.5	-1.2	+1.5
III期B3、III期C2和III期D2挖至坑底	+3.5	-1.7	+1.6	+4.7	-2.8	+3.0	+6.0	-1.2	+2.0
III期B1、III期C3和III期D1期挖至坑底	+4.0	-1.7	+1.7	+4.8	-2.8	+3.0	+9.0	-1.7	+2.5
III期B2挖至坑底	+4.5	-2.0	+2.0	+5.5	-3.0	+3.5	+9.2	-2.1	+3.0
项目施工完成	+4.7	-2.0	+2.0	+5.8	-3.0	+3.5	+9.5	-2.1	+3.0

注: 竖向变形“-”为沉降, 收敛变形“+”为扩径。

表 5 盾构法地铁设施的计算变形最大值统计表

Table 5 Statistical table of maximum calculated deformation of shield method subway facilities

mm

地铁设施工况	1号线西滨区间			1号线湘滨区间			5号线江滨区间			5号线滨博区间		
	水平	竖向	收敛	水平	竖向	收敛	水平	竖向	收敛	水平	竖向	收敛
V期ABCD施工完成	+1.2	-0.3	+1.1	+0.1	-0.1	+0.1	+0.1	-0.1	+0.1	+0.1	-0.1	+0.1
III期A和III期C1挖至坑底	+3.6	-0.9	+3.4	+1.4	-0.4	+1.2	+1.2	-0.3	+1.1	+1.8	-0.4	+2.0
III期B3、III期C2和III期D2挖至坑底	+4.1	-0.9	+3.8	+2.4	-0.6	+2.2	+2.8	-0.5	+3.0	+2.2	-0.5	+2.2
III期B1、III期C3和III期D1期挖至坑底	+5.0	-1.3	+5.5	+2.4	-0.7	+3.0	+5.1	-1.0	+5.3	+2.6	-0.5	+2.7
III期B2挖至坑底	+5.7	-1.2	+6.0	+2.6	-0.7	+3.5	+5.5	-1.0	+6.0	+3.2	-0.6	+3.1
项目施工完成	+5.8	-1.3	+6.5	+2.8	-0.8	+3.7	+5.7	-1.0	+6.5	+3.2	-0.6	+3.1

注: 竖向变形“-”为沉降, 收敛变形“+”为扩径。

### 4 现场实测数据分析

监测数据显示, 基坑施工期间周边环境实际监测值大于监测报警值。根据地铁监测数据的空间分布, 本项目保护范围内的地铁设施超报警区域主要分为 3 处, 集中于地铁 1 号线下行线和地铁 5 号线下行线区间盾构隧道段, 因此选取地铁 1 号线和 5 号线下行线竖向、水平和收敛变形情况的时程变化情况<sup>[11]</sup>。

#### 4.1 竖向变形

本项目报警区域 1 主要对应 I 期 C 区和 II 期东

北角区域, 结合现场施工进度, 该区域的竖向变形从 2021 年 3 月即出现了小沉降槽, 该现象对应了现场场地平整和三轴搅拌桩施工工况。从 2021 年 9 月—2021 年 11 月竖向变形再次发展, 对应一期 II 期基坑开挖, 随后变形逐渐稳定, 见图 9。

本项目报警区域 2 主要对应 I 期 F 区和 II 期东南区域。结合现场施工进度, 2021 年 6 月—11 月, 该区域的竖向变形为 6~8 mm, 对应一期 II 期基坑开挖。随后竖向变形持续发展, 直到 2022 年 3 月稳定, 此时一期的 I 期和 II 期地下室已出现土 0, 见图 10。

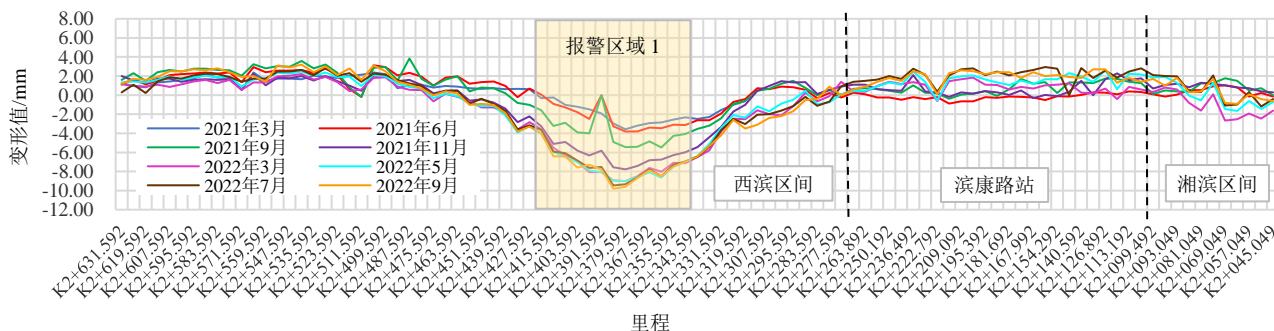


图 9 保护范围内地铁 1 号线下行线竖向变形时程图

Fig. 9 Time course of vertical deformation of the downbound of Metro Line 1 within the protection area

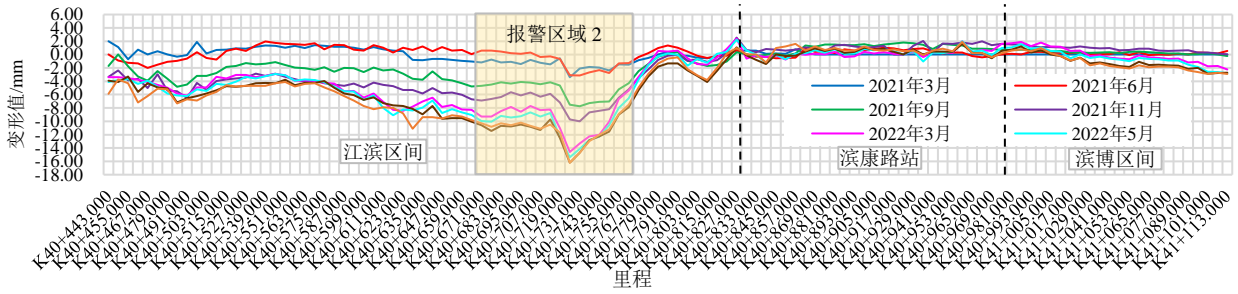


图 10 保护范围内地铁 5 号线下行线竖向变形时程图

Fig. 10 Time course of vertical deformation of the downbound of Metro Line 5 within the protection area

### 4.2 水平变形

本项目报警区域 1 主要对应 I 期 C 区和 II 期东北角区域，结合现场施工进度，该区域的水平变形从 2021 年 3 月即出现了小沉降槽，该现象对应了现场场地平整和三轴搅拌桩施工工况，随后逐渐向坑内发展对应 I 期 D 区基坑开挖，从 2021 年 9 月—2021 年 11 月水平变形快速发展对应 II 期基坑开挖，随后变形逐渐稳定，见图 11~12。

本项目报警区域 2 主要对应 I 期 F 区和 II 期东南区域，结合现场施工进度，该区域的水平变形从 2021 年 6 月—11 月变化量 6~7 mm 对应一期 II 期基坑开挖，从 2021 年 11 月—2022 年 7 月变化量 3~4 mm 对应现场的结构施工。

### 4.3 收敛变形

本项目报警区域 1 主要对应 I 期 C 区和 II 期东北角区域，结合现场施工进度，该区域的收敛变形从 2021 年 3 月即出现了较大发展随后变形较为稳定。

本项目报警区域 2 主要对应 I 期 F 区和 II 期东

南区域，结合现场施工进度，该区域的收敛变形从 2021 年 6 月—11 月变化量 6~8 mm 对应一期 II 期基坑开挖，随后收敛变形逐渐稳定。

本项目报警区域 3 主要对应 IV 期 B2 区，目前现场仅施工三轴、围护桩和工程桩，该区域收敛变形从 2021 年 9 月—2022 年 3 月，变形约为 3.5 mm，现场三轴施工时间为 2021 年 9 月—2021 年 11 月。该区域的典型断面收敛变形趋势和竖向变形趋势基本相同，见图 13~14。

### 4.4 项目报警原因分析

根据本项目施工进度、监测数据和现场巡查，本项目 3 个报警区域的变形原因分析如下：

#### (1) 报警区域 1

该区域的竖向变形报警在 I 期 C 区和 II 期东北角。报警原因为原池塘回填未按设计安全评价要求控制在 20 kPa 内，三轴搅拌桩施工的弃土在盾构上方堆载。

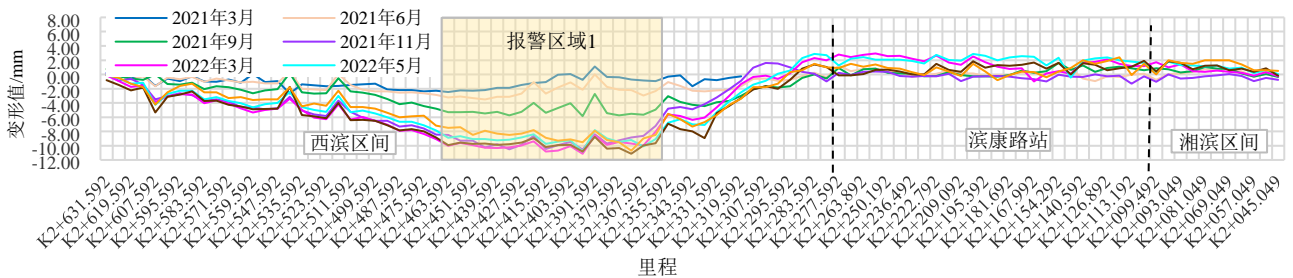


图 11 保护范围内地铁 1 号线下行线水平变形时程图

Fig. 11 Time course of horizontal deformation of the downbound of Metro Line 1 within the protection area

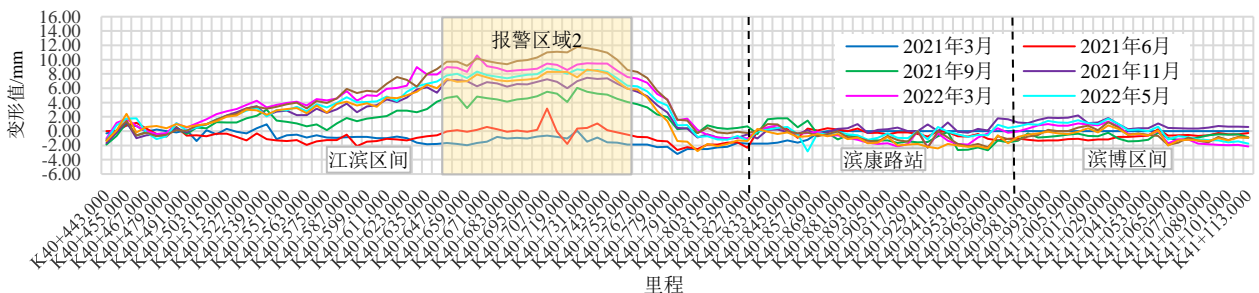


图 12 保护范围内地铁 5 号线下行线水平变形时程图

Fig. 12 Time course of horizontal deformation of the downbound of Metro Line 5 within the protection area



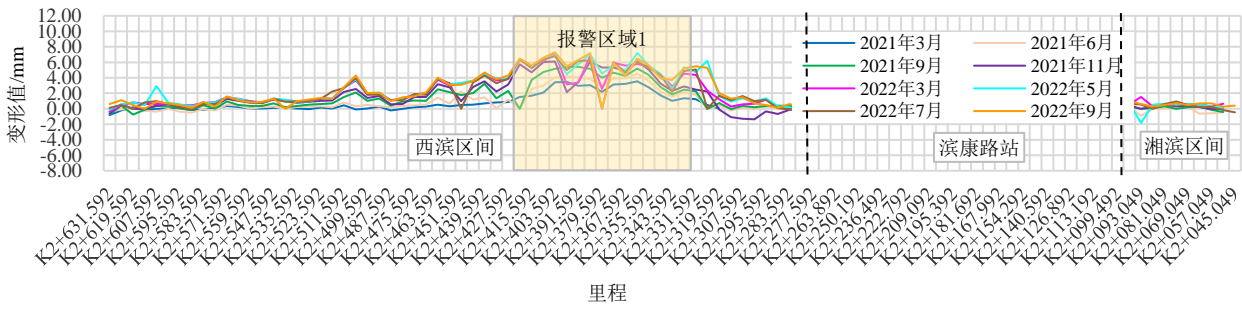


图 13 保护范围内地铁 1 号线下行线收敛变形时程图

Fig. 13 Time course of convergence deformation of the downbound of Metro Line 1 within the protection area

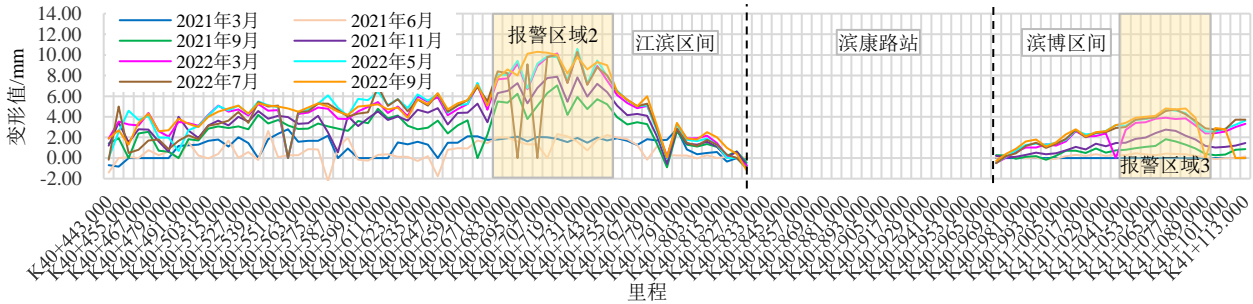


图 14 保护范围内地铁 5 号线下行线收敛变形时程图

Fig. 14 Time course of convergence deformation of the downbound of Metro Line 5 within the protection area

水平变形报警在 I 期 C 区,底板浇筑时间过长,未按轨道交通保护等级 A 要求(挖土完成至底板浇筑完成历时 21 d),其次 II 期基坑面积大且深,混凝土撑浇筑不及时。

该区域的收敛变形报警主要受到竖向变形和水平变形增大关联变形,尤其是在上部超载明显的前提下变形增大显著。

(2) 报警区域 2

该区域的竖向变形报警在 I 期 F 区和 II 期东南区域,是两层地下室,施工时间长,挖土和出土期间机械设备邻地铁侧未按要求控制荷载在 20 kPa 内,另 II 期挖土期间土方车在该区域排队且荷载较大。

该区域的水平变形报警在 I 期 F 区和 II 期东南区域,底板浇筑时间过长未按轨道交通保护等级 A 要求(挖土完成至底板浇筑完成历时 15 d 及 19 d),其次 II 期基坑开挖面积大且深,对应 I 期 F 区域未进行留土分区块施工。

该区域的收敛变形报警主要受到竖向变形和水平变形增大关联变形。

(3) 报警区域 3

该区域报警为 IV 期 B2 区。三轴施工时间过长,对区间盾构隧道的水平变形造成一定影响。该区域位于市政道路交叉口且存在长期运营沉降槽,隧道易受扰动且扰动后存在变形会持续。该区域的收敛变形报警主要受到竖向变形增大关联变形。

## 5 结 论

针对本深大基坑案例,结合数值模拟和基坑施工监测数据,总结如下:

(1) 本项目保护区范围地铁设施变形与模型计算结果相比存在差异。其中一期盾构隧道变形是因一期 I 期桩基和土方开挖影响未达到稳定时又受到了一期 II 期基坑开挖的影响,因此在此施工期间区间盾构隧道的变形较不稳定且变形较大。二期对应保护范围内变形主要是受土体加固、地墙施工和桩基施工的影响,同时部分受到市政交通的影响产生变形。

(2) 前期数值计算结果在一定程度上与实测结果较为一致,满足设计要求,说明所建立数值模型合理可靠,工程中借助数值软件方法进行辅助设计具有一定的价值。

(3) 基坑开挖应分层分段分块对称开挖,附属设施两侧土方需平衡开挖。

(4) 本项目基坑面积较大,深度较深,且涉及保护对象较多,本工程的变形报警原因可以为后续邻近区域或类似工程提供参考。

## 参考文献

[1] 张杰. 复杂环境条件下深大基坑支护技术研究[D]. 杭



- 州: 浙江大学, 2012.
- ZHANG Jie. Research on support technology of deep and large foundation pit under complex environmental conditions[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2012.
- [2] 沈华骏, 蒋正, 祝斌. 软土地区某地铁车站深基坑变形分析[J]. 城市勘测, 2022(5): 184-189.
- SHEN Hua-jun, JIANG Zheng, ZHU Bin. Deformation analysis of deep foundation pit of a subway station in soft soil[J]. Urban Geotechnical Investigation & Surveying, 2022(5): 184-189.
- [3] 雷崇. 杭州地区坑底软弱土对基坑变形的影响研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2016.
- LEI Chong. Effect of Hangzhou soft-clay on deformation of foundation pit[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2016.
- [4] 胡琦, 许四法, 陈仁朋, 等. 深基坑开挖土体扰动及其对邻近地铁隧道的影响分析[C]//第一届全国软土工程学术会议暨上海市岩土力学与工程 2013 年学术年会. 上海, 2013.
- HU Qi, XU Si-fa, CHEN Ren-peng, et al. Influence of soil disturbance on metro tunnel in soft clay due to excavation of deep foundation pit[C]//The First National Academic Conference on Soft Soil Engineering and the 2013 Annual Academic Conference on Geotechnical Mechanics and Engineering in Shanghai. Shanghai, 2013.
- [5] 许斌. 杭州软土地区地铁车站深基坑开挖引起的变形效应分析研究[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2016.
- XU Bin. Analysis on effect of deep foundation pit excavation of metro station in soft soil areas of Hangzhou[D]. Hangzhou: Zhejiang University of Technology, 2016.
- [6] 袁静, 刘兴旺, 陈卫林. 杭州粉砂土地基深基坑施工对邻近地铁隧道、车站的影响研究[J]. 岩土工程学报, 2012, 34(增刊 1): 398-403.
- YUAN Jing, LIU Xing-wang, CHEN Wei-lin. Effect of construction of deep excavation in Hangzhou silty sand on adjacent metro tunnels and stations[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2012, 34(S1): 398-403.
- [7] 汪小兵, 贾坚. 深基坑开挖对既有地铁隧道的影响分析及控制措施[J]. 城市轨道交通研究, 2009, 12(5): 52-57.
- WANG Xiao-bing, JIA Jian. The influence of deep foundation pit excavation on nearby metro tunnel[J]. Urban Mass Transit, 2009, 12(5): 52-57.
- [8] 李伟强, 孙宏伟. 邻近深基坑开挖对既有地铁的影响计算分析[J]. 岩土工程学报, 2012, 34(增刊): 419-422.
- LI Wei-qiang, SUN Hong-wei. Influence of deep excavation on existing subways[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2012, 34(S): 419-422.
- [9] 左殿军, 史林, 李铭铭, 等. 深基坑开挖对邻近地铁隧道影响数值计算分析[J]. 岩土工程学报, 2014, 36(增刊 2): 391-395.
- ZUO Dian-jun, SHI Lin, LI Ming-ming, et al. Numerical analysis of influence of deep excavations on adjacent subway tunnels[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2014, 36(S2): 391-395.
- [10] 浙江省住房和城乡建设厅. 城市轨道交通结构安全保护技术规程: DB 33/T 1139—2017[S]. 北京: 中国建材工业出版社, 2017.
- Department of Housing and Urban-Rural Development of Zhejiang Province. Technical Code for Protection of Urban Rail Transit Structures: DB 33/T 1139—2017[S]. Beijing: China Building Materials Industry Press, 2017.
- [11] 刘方梅. 深基坑开挖对临近地铁隧道的影响[D]. 杭州: 浙江大学, 2015.
- LIU Fang-mei. Influence on adjacent tunnel in processes of deep foundation[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2015.