

# 地铁车站洞桩法施工扩挖并行下穿既有建筑物的施工影响<sup>\*</sup>

郑龙超<sup>1</sup> 李明<sup>2</sup> 潘伍<sup>1</sup> 李静<sup>1</sup> 路军富<sup>2</sup>

(1. 中铁隧道局集团建设有限公司, 530007, 南宁; 2. 成都理工大学地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室, 610059, 成都)

**摘要** [目的] 受地面既有建(构)筑物影响,有的地铁车站两端盾构接收区车站主体围护桩无法施作,须采用洞桩法施工。对此需研究地铁车站洞桩法施工扩挖并行下穿既有建筑物的施工影响。[方法] 以成都地铁 18 号线新建倪家桥站下穿既有建筑物工程为研究对象,建立有限元模型,根据实际施工方案,对地面和既有建(构)筑物沉降特征进行分析,并采用现场监测数据进行验证。[结果及结论] 采用超前大管棚、临时立柱支撑体系、7 导洞分部开挖以及人工挖孔灌注桩等洞桩法施工技术,能够在有效控制地面和既有建筑物沉降的前提下,成功实现车站主体围护桩的施作;对地面沉降和既有建筑物沉降影响最大的施工步骤是导洞①、③、⑤、⑦的开挖;既有建筑物在导洞①、②处沉降明显,最大沉降值为 9.62 mm,是模拟结果沉降值的 1.5 倍,现场监测结果与模拟结果均满足安全控制要求。

**关键词** 地铁车站; 洞桩法; 下穿施工; 数值模拟

**中图分类号** TU433:U231.4

**DOI:**10.16037/j.1007-869x.2024.06.026

## PBA Construction Technology for Metro Station Expanding Excavation Undercrossing Parallel Existing Structure

ZHENG Longchao<sup>1</sup>, LI Ming<sup>2</sup>, PAN Wu<sup>1</sup>, LI Jing<sup>1</sup>, LU Junfu<sup>2</sup>

(1. China Railway Tunnel Bureau Group Construction Co., Ltd., Nanning 530007, Guangxi, China; 2. State Key Laboratory of Geohazard Prevention and Geoenvironment Protection, Chengdu University of Technology, 610059, Chengdu, China)

**Abstract** [Objective] Affected by the occupation of existing buildings (structures) on the ground, the main retaining piles in shield receiving areas at both ends of some metro stations cannot be built. Therefore, it is necessary to study the pile-beam-arch (PBA) construction technology for expanding excavation of metro station undercrossing the parallel existing buildings or structures. [Method] With the project of Ni-

jiaqiao Station on New Line 18 in Chengdu Metro undercrossing the existing structures as the research object, a finite element model is established to analyze the subsidence characteristics of the land and the existing structures according to the actual construction plan, and the results are verified by on-site monitoring data. [Result & Conclusion] PBA construction technologies including advanced large pipe shed, temporary column support system, staggering excavation of 7 guiding holes and manual excavation cast-in-place pile are used, successfully implementing the station main retaining pile construction under the premise of effectively controlling the subsidence of land and the existing buildings. The construction steps that have the greatest impact on the above-mentioned subsidence are the excavation of guiding holes 1, 3, 5, 7. The subsidence of existing structures is obvious at guiding holes 1 and 2 with the maximum value of 9.62 mm, 1.5 times the simulated value. Both the on-site monitoring results and the simulated results meet the safety control requirements.

**Key words** metro station; PBA method; undercrossing construction; numerical simulation

近年来,随着城市轨道交通建设的快速发展,地铁车站盾构接收区车站主体结构围护桩施工不可避免地受地面既有建(构)筑物的占地影响导致无法施作。在不能拆除既有建筑物的情况下,只能选择暗挖下穿施工,但这会使周围地层应力重分布,导致地面沉降和既有建筑物沉降变形<sup>[1-4]</sup>。因此,在下穿施工中如何有效控制地面沉降和既有建筑物沉降尤为重要。

目前,部分学者对此开展了一系列研究。文献[5]依托某地铁站下穿建筑物群工程,提出采用超前小导管和超前预注浆加固地层等方法来控制地层沉降及建筑物变形。文献[6]依托某隧道下穿既

<sup>\*</sup> 中铁隧道局集团科技创新计划项目(隧研合 2019—35)

有建筑物工程,对比了不同施工方案下的地表沉降数值模拟结果,最后确定采用交叉中隔法施工。文献[7]依托某地铁站工程,开展了洞桩法暗挖施工对地面和管线沉降影响的研究,预测了不同工况下既有管线的沉降值。文献[8]以某地铁工程为例,通过数值模拟,分析了下穿施工对既有地铁车站结构沉降的影响,并提出了沉降控制方案。

综上所述,目前对下穿既有建(构)筑物施工的研究较多,但鲜有关于地铁车站长距离扩挖并行下穿既有建筑物的影响研究。因此,本文以成都地铁18号线倪家桥站盾构接收区车站主体结构扩挖下穿既有建筑物工程为例,介绍该工程成功控制地面沉降和既有建筑物沉降变形的施工方案,通过数值模拟研究了下穿施工过程中地面沉降和既有建筑物沉降变形规律,获得施工主要影响工序,并通过现场监测数据进行验证。研究成果可为类似下穿工程控制地面沉降等问题提供有益参考。

## 1 工程概况

### 1.1 车站扩挖与既有建(构)筑物位置关系

倪家桥站长639.9 m,宽21.3 m,为地下两层的新建岛式站台车站。在倪家桥站标准段范围内,基坑开挖深度约为16.90 m,围护桩桩长20.77 m,围护桩入土深度为4.00 m。受邻近医院既有围墙的空间限制,倪家桥站盾构接收区东侧扩挖段主体采用洞桩法下穿施工,围护桩采用人工挖孔桩的形式。扩挖断面宽33.95 m,高4.20 m,深3.65~7.20 m。扩挖段初始断面与既有围墙相距仅1.30 m,且扩挖段顶板距地面仅2.52 m,故此部分扩挖施工有引起地面沉降和既有围墙沉降变形的风险。倪家桥站扩挖段与既有围墙的位置关系如图1所示。

### 1.2 地质条件

根据现场钻孔资料,施工场地均为第四系地层覆盖。地层从上至下为:〈1-2〉杂填土层、〈2-3〉粉质黏土层、〈3-8-1〉稍密卵石土层、〈3-8-3〉密实卵石土层、〈5-2〉强风化泥岩层和〈5-3〉中风化泥岩层。扩挖暗挖段顶部位于〈1-2〉杂填土层、中部位于〈2-3〉粉质黏土层、底部位于〈3-8-1〉稍密卵石土层。地下水赋存于基岩裂隙中,含水量一般较小,但在岩层较破碎的情况下常形成局部富水带。

### 1.3 施工方案

扩挖段顶板距离地面仅2.52 m,故此部分扩挖

属于超浅埋暗挖,地面沉降控制难度较大。施工现场采用施作超前大管棚注浆加固岩层、临时立柱及立柱基础支撑导向梁、导洞分部开挖等施工措施,并采用洞桩法下穿施工。导洞断面形式如图2所示,洞桩法施工工序如图3所示。

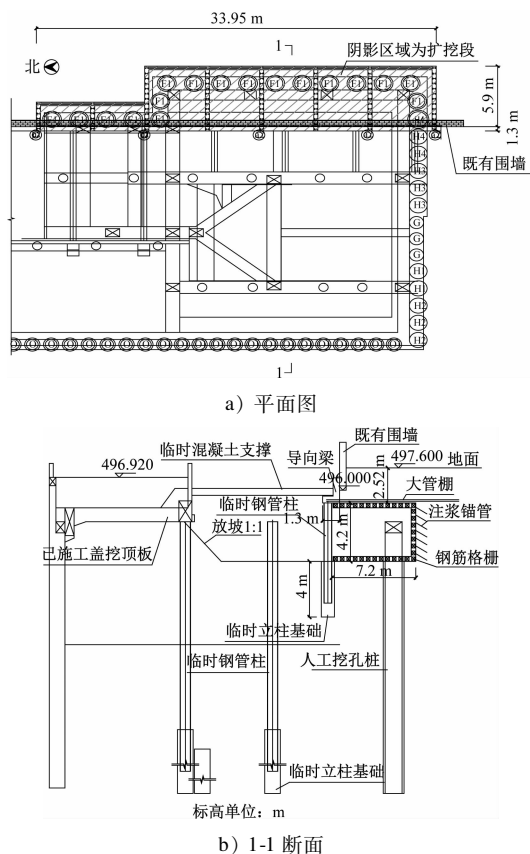


图1 车站扩挖段与既有围墙的位置关系

Fig. 1 Location relationship between the enlarged excavation section of the station and the existing enclosure wall



图2 导洞断面形式

Fig. 2 Guiding holes section

工序1:施工人行道及辅道上围护桩、临时立柱,如图3 a)所示。

工序2:沿既有围墙间隔施工导向梁及大管棚,如图3 b)所示。

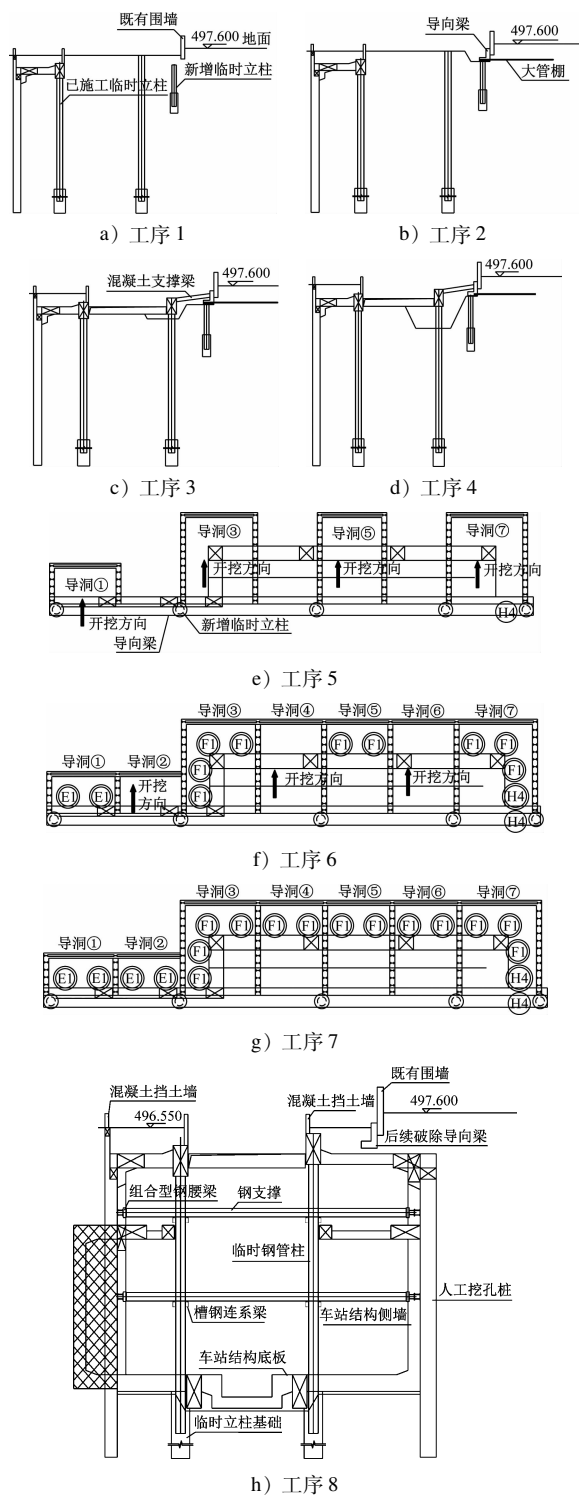
工序3:施工人行道及辅道上部分盖板,并架设混凝土支撑梁,如图3 c)所示。

工序4:开挖基坑至导洞底,如图3 d)所示。

工序5:开挖导洞①、③、⑤、⑦,并施作初期支护衬砌。每个洞室采用全断面法进行开挖,每循环进尺均控制在一榀钢架间距内(0.5 m),如图3 e)

所示。

工序6:在已施作导洞①、③、⑤、⑦内人工开挖围护桩,同时开挖导洞②、④、⑥,并施作初期支护衬砌,每个洞室采用全断面法进行开挖,每循环进



注:E1、F1、H4为围护桩组号;标高单位m。

图3 洞桩法施工工序

Fig. 3 Construction process of PBA method

尺均控制在一榀钢架间距内(0.5 m),如图3 f)所示。

工序7:在已施作导洞②、④、⑥内人工开挖围护桩,如图3 g)所示。

工序8:盖挖顺作法施工剩余结构,破除混凝土支撑梁,如图3 h)所示。

## 2 下穿既有建(构)筑物施工的模拟计算

### 2.1 建立有限元模型

根据理论分析和设计资料,建立有限元模型。考虑到隧道施工影响范围、降低边界效应、新建导洞扩挖断面尺寸、最长开挖长度大管棚长度(10.15 m),建立的有限元模型尺寸为70 m(X向)×15 m(Y向)×30 m(Z向)。该模型共划分232 088个网格,如图4所示。模型边界约束采用上部边界为自由面,底部为X、Y、Z三向约束,两侧边界均施加法向约束,自动添加重力。有限元模型中,既有围墙按施加荷载的形式来模拟,土体、导向梁、围护桩采用实体单元进行模拟,临时钢管柱、临时立柱基础、拱架、大管棚采用梁单元模拟,初期支护和中隔墙采用析取的板单元模拟,土体采用摩尔-库伦模型,其余结构均采用弹性模型。

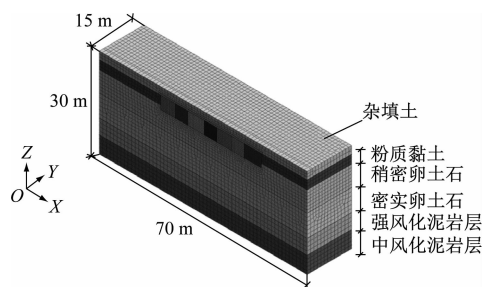


图4 倪家桥站扩挖部分的有限元模型示意图

Fig. 4 Finite element model of the enlarged excavation part of Nijiaqiao Station

### 2.2 选取参数

#### 2.2.1 计算单元及参数

根据现场地质勘探资料,有限元模型的地层力学参数如表1所示。

#### 2.2.2 荷载

采用有限元模型来模拟洞桩法施工,只考虑地面既有围墙荷载和土层自重。围墙下部为0.3 m高的普通黏土砖,密度为 $1\ 800\text{ kg/m}^3$ ;围墙上部为20~30 kg/m的钢制栏杆。既有围墙的折算荷载为 $5.49\text{ kN/m}^2$ ,既有围墙荷载施加如图5所示。

表1 模型的地层力学参数

Tab.1 The formation mechanical parameters of the model

地层	弹性模量/MPa	重度/(kN/m <sup>3</sup> )	内摩擦角/(°)	黏聚力/kPa	泊松比	厚度/m
杂填土	6.1	18.0	10	8	0.30	2.52
粉质黏土	15.1	19.5	16	20	0.43	2.88
稍密卵石土	30.0	21.0	35	5	0.30	6.80
密实卵石土	35.0	22.0	40	5	0.25	7.30
强风化泥岩	1 214.0	17.2	30	65	0.40	4.90
中风化泥岩	3 800.0	22.0	35	300	0.31	5.60

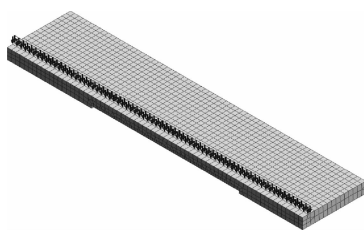


图5 既有围墙荷载施加示意图

Fig.5 Schematic diagram of the existing wall loading

### 2.2.3 选取关键施工步骤

有限元模型计算选取的关键施工步骤及其施工内容见表2。

表2 关键施工步骤及其施工内容

Tab.2 Key construction steps and construction contents

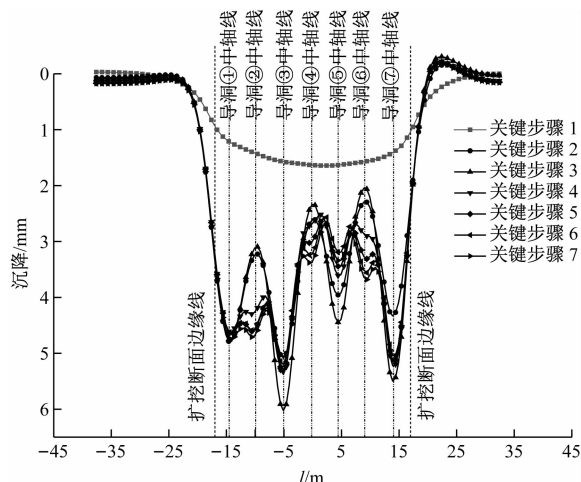
关键施工步骤	施工内容
步骤1	大管棚施工
步骤2	导洞①开挖
步骤3	导洞③、⑤、⑦开挖
步骤4	导洞①、③、⑤、⑦围护桩施作
步骤5	导洞②开挖
步骤6	导洞④、⑥开挖
步骤7	导洞②、④、⑥围护桩施作

## 3 地面和既有建(构)筑物沉降特征分析

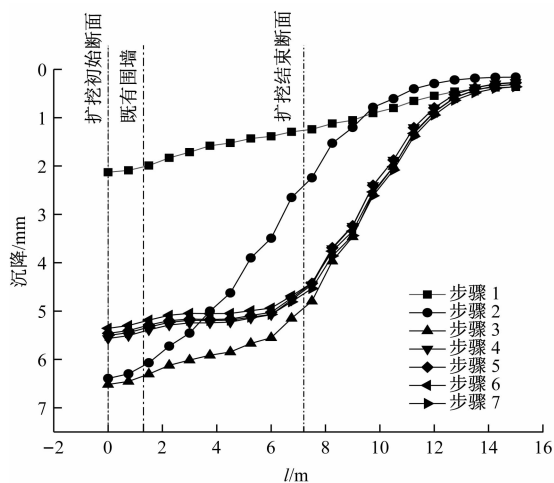
### 3.1 地面沉降数值模拟分析

为更好分析关键施工步骤对地面沉降的影响,选取距扩挖初始断面距离  $l=3.6$  m 处沿开挖面宽度方向断面(以下简称“A断面”)和导洞③中轴线沿开挖长度方向断面(以下简称“B断面”)为典型断面,通过有限元模型计算典型断面的地面沉降值,并分别绘制地面沉降曲线如图6所示。

由图6 a)分析无既有围墙影响时的地面沉降规律。当导向梁以及大管棚注浆施作完成(步骤1



a) A断面



b) B断面

图6 典型断面处的地面沉降曲线

Fig.6 Land subsidence curves at typical section

完成)时,受其重力作用的影响,地面发生沉降变形;沉降曲线呈U形,扩挖断面中部沉降最大,沉降值为1.64 mm,距离扩挖断面中部越远则沉降越小。结合施工步骤来看:在步骤2—步骤3中,导洞①开挖深度小于导洞③、⑤、⑦的开挖深度。步骤2完成时,地面沉降最大值为5.02 mm,发生在导洞③中部,且地面沉降呈波浪形;导洞①、③、⑤、⑦处上部的地面沉降大于未开挖导洞②、④、⑥上部的地面沉降。步骤3施工过程中,导洞③、⑤、⑦处地面沉降持续增大,且最大值为5.91 mm,发生在导洞③中部,而开挖完成的导洞①处地面沉降在此阶段几乎无变化;在步骤5—步骤6中,随着开挖深度的增加,导洞②、④、⑥处地面沉降逐渐加大,由于在步骤5开始时已完成中隔墙施作,故步骤5的地面沉降小于步骤3的地面沉降;导洞全部开挖完成时  $l=$



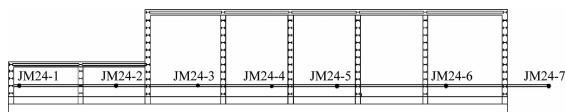
3.6 m 处的地面沉降最大值为 5.28 mm,处于③导洞中部。由有限元模拟计算结果,扩挖施工的横向影响范围约为 55 m,是开挖宽度的 1.62 倍,是开挖高度的 13.10 倍。

由图 6 b) 分析受既有围墙影响时的地面沉降规律。由于既有围墙对地层施加了荷载,故围墙周边地面沉降比导洞中部的地面沉降更大。结合施工步骤来看:在步骤 2、步骤 3 完成时的地面沉降最大,之后,随着开挖②、④、⑥导洞(步骤 5 及步骤 6),土体卸荷,临时立柱发生向上隆起,开挖面处地面沉降开始产生回落;但当地面距离开挖面超过 8 m 时,导洞③的沉降变形几乎不受导洞②、④、⑥开挖卸荷的影响。由有限元模拟计算结果,扩挖施工沿导洞开挖方向的影响范围约为 15 m,是开挖宽度的 2.08 倍。

### 3.2 既有建(构)筑物沉降

#### 3.2.1 既有围墙沉降的实际监测

既有围墙位于  $l=1.3$  m 处,与导向梁零距离并行。导洞开挖对围墙变形会造成一定的影响。实际施工时,沿地面线在既有围墙墙体上采用钻孔埋入的方式布设沉降监测点,如图 7 所示。根据 GB 50911—2013《城市轨道交通工程监测技术规范》,既有围墙的沉降控制值为 10~30 mm。本工程实际测得的既有围墙沉降为 9.62 mm,小于控制值,满足规范要求。



注:JM24-1 等为监测点编号。

图 7 既有围墙沉降监测点布置示意图

Fig. 7 Monitoring point layout of the existing wall subsidence

#### 3.2.2 有限元模型的模拟计算

为分析导洞开挖对围墙的影响,根据模拟计算结果,绘制既有围墙沉降随施工工序的变化曲线,如图 8 所示。

由图 8 可知:当导向梁和大管棚注浆施作完成(步骤 1 完成)时,在其所受重力的作用下,围墙发生沉降;既有围墙沉降最大值为 2.12 mm,发生在扩挖断面中部,且距扩挖断面中部越远,则既有围墙的沉降就越小;当步骤 2 完成时,既有围墙沉降最大值为 6.60 mm,发生在导洞①附近;在步骤 3 施工过程中,随着导洞③、⑤、⑦开挖深度的增大,导洞③、

⑤、⑦处的既有围墙沉降值逐渐加大,而导洞①处既有围墙沉降几乎无变化。在步骤 5 及步骤 6 施工过程中,由于中隔墙已施作完成,受开挖卸荷的影响,中部临时立柱隆起量大于边缘临时立柱隆起量,所以中间导洞处的既有围墙沉降开始回落,沉降值逐渐变小;在步骤 7 施工时,围护桩自重使地面继续产生沉降,当导洞施工完成时,既有围墙最大沉降为 6.42 mm,位于导洞①上方。

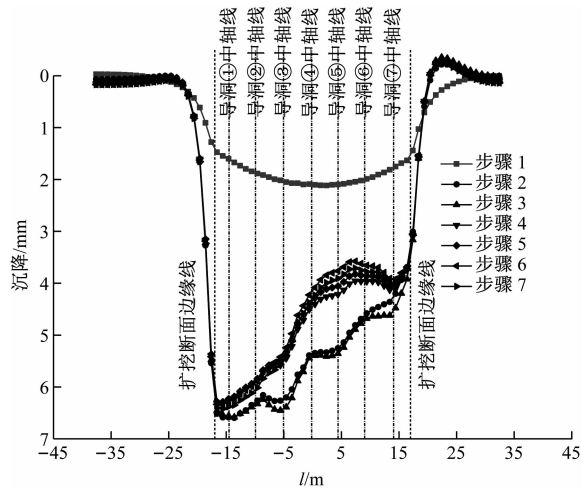


图 8 既有围墙开挖面宽度方向地面沉降曲线

Fig. 8 Land subsidence curves in the width direction on existing wall excavation side

#### 3.2.3 既有围墙沉降现场监测结果与模拟结果对比分析

施工完成时,既有围墙现场监测结果与模拟结果对比如图 9 所示。

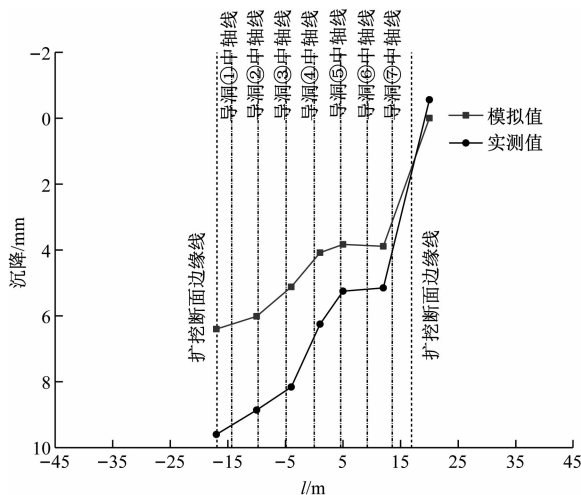


图 9 施工完成时既有围墙监测结果与计算结果对比图

Fig. 9 Comparison between measured results and calculated results of the existing wall when construction is completed

由图9可知:全部施工步骤完成时,既有围墙发生沉降变形,沉降曲线从左到右呈上升趋势。既有围墙现场监测结果与模拟结果变化趋势相似,但监测结果竖向位移更大。围墙在①、②导洞处沉降明显,沉降最大值出现在左侧扩挖断面边缘线处,最大沉降为9.62 mm,是模拟结果沉降最大值的1.5倍,监测结果与模拟结果均满足安全控制要求。产生这些现象的主要原因为:施工步骤衔接速度慢,现场施工过程中支护不及时以及实际参数与模拟参数取值存在偏差。

## 4 结论

1) 地铁车站扩挖并行下穿既有建(构)筑物施工采用超前大管棚、临时立柱支撑体系、7导洞分部开挖以及人工挖孔灌注桩等洞桩法施工技术,能够在有效控制地面和既有建(构)筑物沉降的前提下,实现车站主体围护桩的施作。

2) 车站扩挖横向影响范围约为55 m,沿导洞开挖方向影响范围约为15 m。对地面和既有建(构)筑物沉降影响最大的施工步骤是①、③、⑤、⑦导洞的开挖。

3) 因扩挖段顶板距离地面2.52 m,属于超浅埋暗挖,受开挖卸荷影响导洞底部隆起引起临时立柱发生隆起变形,进而导致临时立柱上侧地面沉降产生回落。

4) 既有围墙在①、②导洞处沉降明显,沉降最大值出现在左侧扩挖断面边缘线处,最大沉降为9.62 mm,是模拟结果沉降值的1.5倍。监测结果与模拟结果均满足安全控制要求。

## 参考文献

- [1] 郑龙超,王明胜,路军富,等.新建地铁车站超大断面密接下穿既有车站影响分析[J].城市轨道交通研究,2023,26(1):49.  
ZHENG Longchao, WANG Mingsheng, LU Junfu, et al. Influence analysis of newly-built metro station with super-large section underpassing existing station at zero distance[J]. Urban Mass Transit, 2023, 26(1): 49.
- [2] 杨子璇,姚爱军,张东,等.隧道密贴下穿既有地铁车站沉降控制研究[J].地下空间与工程学报,2020,16(增刊1):442.  
YANG Zixuan, YAO Aijun, ZHANG Dong, et al. Study on settlement control of tunnel under the existing subway station[J]. Chi-

- nese Journal of Underground Space and Engineering, 2020, 16(S1): 442.
- [3] 张小伟,张丽,韩亚飞,等.大断面平顶地铁暗挖车站下穿既有建筑方案研究及变形控制:以北京地铁8号线三期前门站工程为例[J].隧道建设(中英文),2021,41(6):979.  
ZHANG Xiaowei, ZHANG Li, HAN Yafei, et al. Scheme and deformation control of a large cross-section flat-roofed station spanning beneath existing buildings: a case study of phase III Qianmen station project of Beijing Metro Line 8[J]. Tunnel Construction, 2021, 41(6): 979.
- [4] 张振营,孙玮泽.地铁车站洞桩法暗挖施工对地表沉降及邻近构筑物变形的影响[J].城市轨道交通研究,2019,22(11):14.  
ZHANG Zhenying, SUN Weize. Surface settlement and deformation law of existing structure influenced by metro station constructed with PBA method[J]. Urban Mass Transit, 2019, 22(11): 14.
- [5] 李永宽,张顶立,房倩,等.浅埋暗挖隧道下穿地表建筑物安全控制技术研究[J].土木工程学报,2015,48(增刊1):266.  
LI Yongkuan, ZHANG Dingli, FANG Qian, et al. Study on safety control technology of shallow-buried and underground-excavated tunnel under ground buildings[J]. China Civil Engineering Journal, 2015, 48(S1): 266.
- [6] 谢勇涛.浅埋大跨隧道平行下穿既有地下商业街施工技术研究[J].隧道建设,2015,35(3):238.  
XIE Yongtao. Study on construction technologies for shallow-covered large-span tunnel running underneath along existing underground commercial street[J]. Tunnel Construction, 2015, 35(3): 238.
- [7] 王秀英,雷可,王滕,等.洞桩法车站下穿既有管线工程的沉降预测[J].土木工程学报,2021,54(增刊1):65.  
WANG Xiuying, LEI Ke, WANG Teng, et al. Settlement prediction of tunnel pile method station under existing pipeline project[J]. China Civil Engineering Journal, 2021, 54(S1): 65.
- [8] 张旭,张成平,韩凯航,等.隧道下穿既有地铁车站施工结构沉降控制案例研究[J].岩土工程学报,2017,39(4):759.  
ZHANG Xu, ZHANG Chengping, HAN Kaihang, et al. Case study of control technology of structural settlements due to tunneling beneath a subway station[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2017, 39(4): 759.

· 收稿日期:2023-09-15 修回日期:2023-11-13 出版日期:2024-06-10  
Received:2023-09-15 Revised:2023-11-13 Published:2024-06-10  
· 第一作者:郑龙超,高级工程师,1843906513@qq.com  
通信作者:李明,硕士研究生,13540468936@163.com  
· ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议  
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license