

地铁车站盾构接收区近接既有建筑物超宽扩挖施工技术^{*}

潘 伍

(中铁隧道局集团有限公司, 530007, 南宁)

摘 要 [目的]为解决地铁车站超大断面下穿扩挖施工引起的地面既有建筑物沉降控制困难的问题。[方法]依托成都地铁新建18号线倪家桥站盾构接收区下穿既有立交桥引桥工程,通过数值模拟分析方法,开展了地铁车站盾构接收区近接既有建筑物超宽扩挖施工技术研究,并采用现场监测数据进行了验证。[结果及结论]采用超前大管棚、12导洞分部扩挖法以及复合式衬砌等施工技术,能够在有效控制既有建筑物沉降的前提下,实现车站主体结构长距离扩挖,保证车站盾构接收区结构的吊装净空;对既有建筑物沉降变形造成主要影响的施工步骤是①、⑦导洞围护桩的破除,以及①、⑦导洞的开挖;既有建筑物在①、④导洞处沉降明显,最大沉降值为8.82 mm,是模拟结果沉降最大值的1.21倍;实测结果与模拟结果均满足安全控制要求。

关键词 地铁车站;盾构接收区;下穿建筑物;超宽扩挖施工技术

中图分类号 U231.3

DOI:10.16037/j.1007-869x.2024.08.026

Construction Technology for Ultra-wide Excavation near Existing Buildings in Metro Station Shield Tunneling Receiving Area

PAN Wu

(China Railway Tunnel Group Co., Ltd., 530007, Nanning, China)

Abstract [Objective] It is aimed to address the difficulty in settlement control of existing ground buildings during ultra-large section excavation beneath them in metro station construction. [Method] Based on the shield tunneling receiving area project of newly built Chengdu Metro Line 18 Nijiaqiao Station, which passes under an existing overpass approach bridge, numerical simulation analysis is conducted to study the construction technology of ultra-wide expansion excavation near existing buildings, and field monitoring data is used for verification. [Result & Conclusion] The use of advanced pipe-roofing, 12-pilot tunnel segmented expansion excavation, and

composite lining construction techniques can effectively control the settlement of existing buildings while enabling long-distance expansion of the main station structure and ensuring the hoisting clearance for shield machine reception. The primary construction steps affecting the settlement deformation of existing buildings are the removal of protective piles and the excavation of ① and ⑦ pilot tunnels. Significant settlement is observed at ① and ④ pilot tunnels, with the maximum settlement value reaching 8.82 mm, which is 1.21 times the maximum settlement value obtained from the simulation. Both the measured and simulated results meet the safety control requirements.

Key words metro station; shield receiving area; under-passing buildings; ultra-wide expansion excavation technology

0 引言

由于地铁车站多修建在城市繁华区域,受周边环境限制,在地铁车站盾构接收区车站主体结构施工过程中不可避免地会遇到因地表既有建筑物的占地影响,导致盾构接收区主体结构施工困难,需要进行二次超大断面下穿扩挖施工。超大断面下穿施工对周围地层扰动较大,地面既有建筑物沉降变形控制困难^[1-5]。因此,针对大断面下穿的施工方案及既有建筑物沉降控制措施的研究尤为重要。在此方面,国内许多学者已进行了一些研究。文献[6]以成都某地铁车站下穿既有建筑物工程为背景,通过数值模拟和现场监测,分析了超大断面下穿施工对既有车站结构变形特征的影响。文献[7]以成都地铁火车北站扩挖工程为例,介绍了在多层房屋基础下方对地铁车站站台层横向扩挖的关键技术,并从多方面对其进行了探讨。文献[8]以某地铁工程为例,采用数值模拟方法,开展了大断面暗挖对既有车站结构影响规律的研究。文

^{*} 中铁隧道局集团有限公司科技创新计划项目(遂研合2019-35)

献[9]以某地铁车站大断面下穿既有有线为工程背景,介绍了6导洞的洞桩+洞柱法结合的施工方案,并总结了下穿过程中的沉降控制关键技术。文献[10]以贵州省某隧道大断面下穿运营公路为例,提出洞内外综合加固方案,有效控制了既有建筑物的沉降变形。

综上所述,目前对大断面下穿施工的研究较多,但对实际工程中的地铁车站盾构接收区大断面下穿扩挖研究较少。基于此,以成都地铁新建18号线倪家桥站盾构接收区车站主体结构下穿扩挖工程为例,针对超宽扩挖施工对既有建筑物沉降变形的影响问题,提出了采用超前大管棚、12导洞分部扩挖法以及复合式衬砌等施工技术控制既有建筑物沉降。本文研究可为类似工程提供一定参考。

1 工程概况

1.1 车站扩挖与既有建筑物位置关系

成都地铁新建18号线倪家桥站长639.973 m,宽21.300 m,为地下两层岛式站台车站。车站标准段范围内基坑开挖深度约为16.90 m,新建基坑围护桩桩长20.77 m,底板下入土深度4.00 m。由于车站大里程盾构接收区西侧受人南立交桥引桥影响,盾构接收区主体结构无法一次性施工完成;需先施工负一层侧墙,在该段结构封顶后,再在车站负二层向西扩挖,完成二次结构施工,以保证车站盾构接收区结构的吊装净空。西侧扩挖位于既有人南立交桥引桥下方,立交桥引桥位于扩挖上部地面距离初始开挖面1.05 m处。立交桥引桥与18号线车站盾构扩挖段平面部分重合,扩挖深度为3.55 m(含车站围护桩,围护桩厚1.00 m),扩挖进入桥下2.55 m,扩挖顶板距离地面7.28 m。位置关系如图1和图2所示。

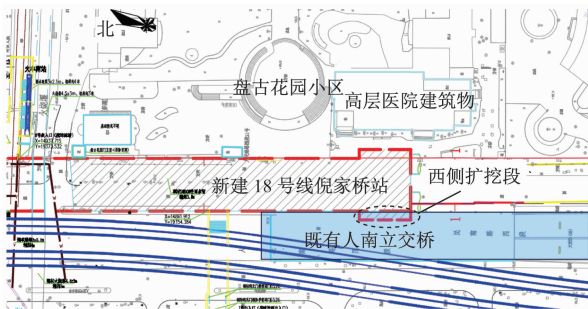


图1 新建车站盾构接收区西侧扩挖平面图

Fig. 1 Plan of west side expansion excavation for newly built station shield receiving area

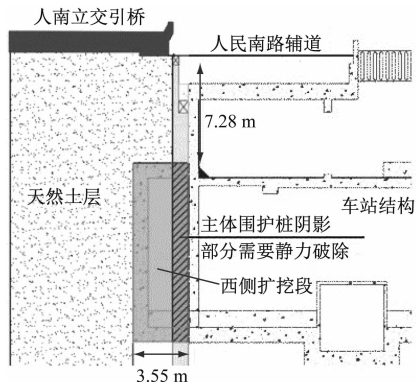


图2 扩挖段与周围环境位置关系

Fig. 2 Location relationship between expansion excavation section and surrounding environment

1.2 工程地质

扩挖段场地范围内车站上覆<1-2>杂填土层,其下为<2-3>粉质黏土层;西侧扩挖上半部分位于<3-8-1>稍密卵石土层,下半部分主要位于<3-8-3>密实卵石土层;扩挖底部局部位位于<5-2>强风化泥岩层。地下水赋存于基岩裂隙中,含水量较小,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

扩挖矩形断面尺寸为21.20 m(长)×12.25 m(宽),通过施作超前大管棚注浆加固岩层;采用12导洞(上部、中部和下部导洞截面尺寸分别为:4.39 m×5.30 m,4.00 m×5.30 m,3.86 m×5.30 m)分部扩挖法下穿施工,及时施作初期支护封闭成环形受力体系;施作二次衬砌结构完成受力体系转换。导洞断面形式如图3所示,具体施工工序如图4所示。

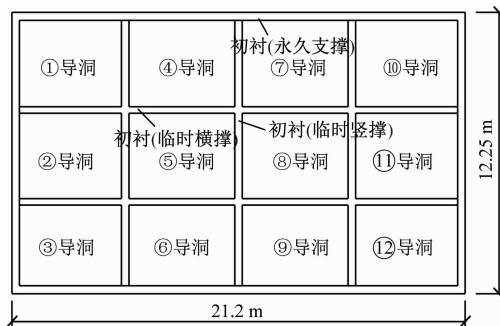


图3 导洞断面形式

Fig. 3 Section forms of pilot tunnels

工序1:在车站主体结构负二层施工完成后,施作大管棚。大管棚采用 $\phi 108$ mm、壁厚5.0 mm、长度7.0 m的无缝R780钢管,拱部双层设置,环向间距按0.3 m布置。在大管棚前端钻注浆孔,水泥浆

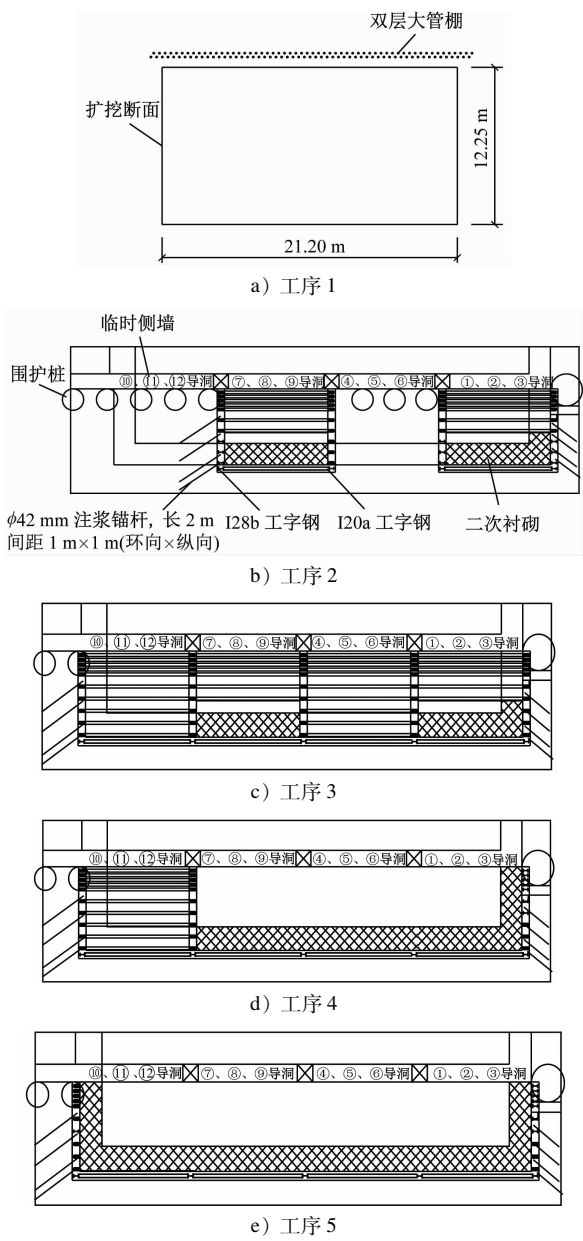


图 4 超宽扩挖施工工序

Fig. 4 Construction procedures of ultra-wide expansion excavation

水灰比为 0.6 ~ 1.0, 注浆压力为 0.5 ~ 2.0 MPa, 如图 4 a) 所示。

工序 2: 开挖①、②、③/⑦、⑧、⑨导洞并施作初期支护和土体注浆加固。待初期支护完成后, 局部破除侧墙位置临时横撑, 施作洞内二次衬砌, 如图 4 b) 所示。

工序 3: 开挖④、⑤、⑥/⑩、⑪、⑫导洞并施作初期支护和土体注浆加固, 如图 4 c) 所示。

工序 4: 待①、②、③、⑦、⑧、⑨导洞内二次衬砌达到设计强度的 80% 后, 拆除①—⑨导洞内的临时

横撑和竖撑, 施作①—⑨导洞内剩余二次衬砌结构, 如图 4 d) 所示。

工序 5: 拆除⑩、⑪、⑫导洞内临时横撑和竖撑, 施作洞内二次衬砌, 如图 4 e) 所示。

2 近接下穿扩挖施工模拟计算

2.1 模型的建立

已知扩挖断面长 21.20 m、宽 12.25 m, 开挖长度为 3.55 m, 大管棚长度为 7.0 m。考虑到隧道开挖的主要影响范围为隧道洞径的 3 ~ 5 倍, 以及人南立交桥引桥宽度 (22 m), 故模型范围取 100 m (长) × 24 m (宽) × 60 m (高), 模型共划分 109 469 个网格。既有人南立交桥引桥以施加荷载的形式模拟, 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。计算模型中土体、围护桩和二次衬砌采用实体单元进行模拟, 大管棚采用梁单元模拟, 初期支护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。有限元模型如图 5 所示。

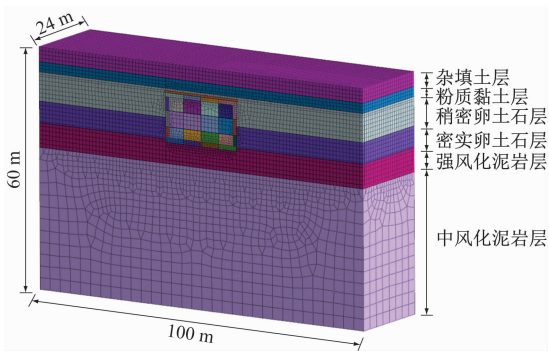


图 5 计算模型示意图

Fig. 5 Diagram of numerical simulation model

2.2 参数选取

2.2.1 计算单元及参数

计算模型中围岩的物理力学参数见表 1。

表 1 模型围岩力学参数

Tab. 1 Model surrounding rock mechanical parameters						
名称	弹性模量/MPa	重度/(kN/m ³)	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	3.7
粉质黏土	15.1	19.5	16	20	0.43	2.5
稍密卵石土	30.0	21.0	35	5	0.30	7.2
密实卵石土	35.0	22.0	40	5	0.25	5.3
强风化泥岩	1 214.0	17.2	30	65	0.40	6.3
中风化泥岩	3 800.0	22.0	35	300	0.31	35.0

2.2.2 地面荷载

地面荷载主要有行车荷载(20 kN/m^2)和既有人南立交桥引桥荷载。既有立交桥引桥主要为钢筋混凝土结构,钢筋混凝土重度为 25 kN/m^3 。经测量与计算最终得出人南立交桥引桥均布荷载为 31.25 kN/m^2 。既有立交桥引桥荷载布置如图6所示。

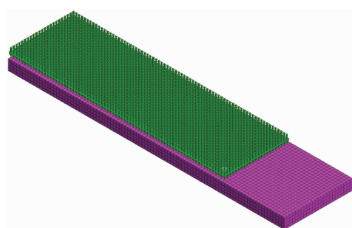


图6 既有立交桥引桥荷载施加形式

Fig. 6 Load application form of existing overpass approach bridge

2.3 主要施工步骤

选取的关键施工步骤及其施工内容如表2所示。

表2 关键施工步骤及其施工内容

Tab. 2 Key construction steps and their construction contents

关键施工步骤序号	施工内容
1	①、⑦导洞围护桩破除完成
2	①、⑦导洞开挖完成
3	②、⑧导洞围护桩破除完成
4	②、⑧导洞开挖完成
5	③、⑨导洞围护桩破除完成
6	③、⑨导洞开挖完成
7	施作①、②、③和⑦、⑧、⑨导洞内二次衬砌
8	④、⑩导洞围护桩破除完成
9	④、⑩导洞开挖完成
10	⑤、⑪导洞围护桩破除完成
11	⑤、⑪导洞开挖完成
12	⑥、⑫导洞围护桩破除完成
13	⑥、⑫导洞开挖完成
14	拆除①—⑨导洞内的临时横撑和竖撑
15	施作①—⑨导洞剩余二次衬砌
16	拆除⑩—⑫导洞内的临时横撑和竖撑
17	施作⑩—⑫导洞内二次衬砌

3 既有建筑物沉降变形分析

3.1 既有建筑物沉降变形监测方案

既有人南立交桥引桥位于扩挖上部地面距离

初始扩挖面 1.05 m 处,现场监测点位沿着既有人南立交桥引桥东西两侧边线布置,监测点布置如图7所示。根据GB 50911—2013《城市轨道交通工程监测技术规范》,本项目结构沉降控制值为 20.00 mm 。本工程项目的既有建筑物最大沉降为 8.82 mm ,小于控制值,满足安全控制标准。

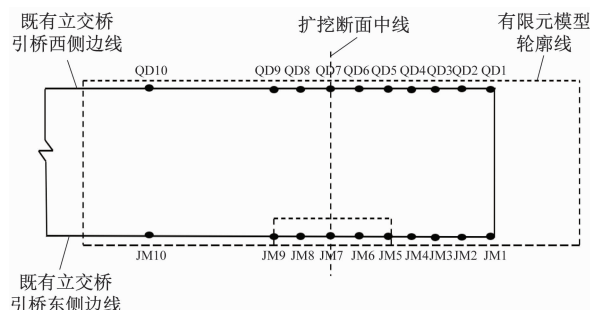


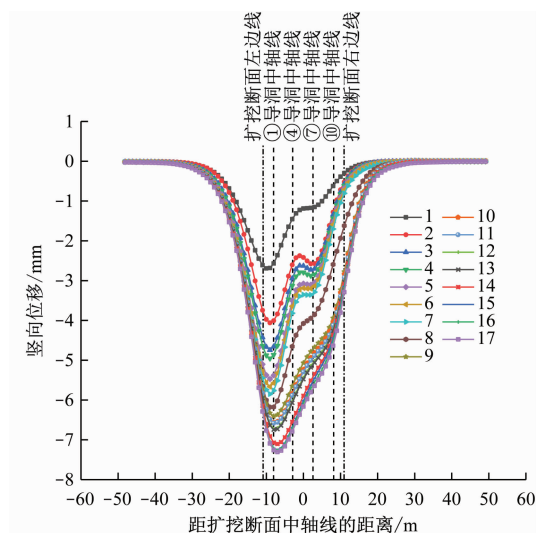
图7 既有立交桥引桥监测点位布置图

Fig. 7 Layout diagram of existing overpass approach bridge monitoring points

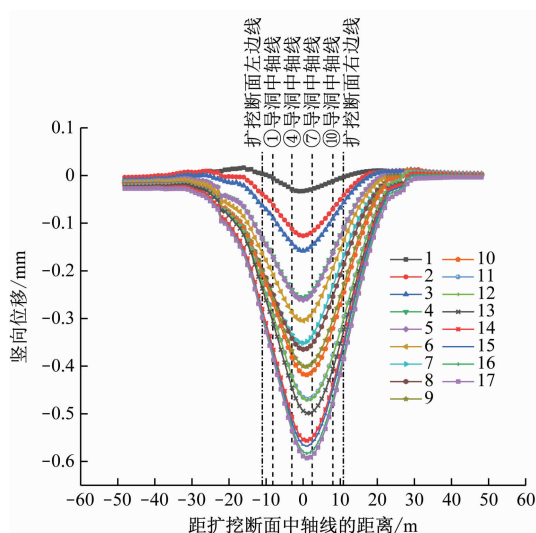
3.2 既有建筑物沉降数值模拟分析

既有立交桥引桥以荷载的形式布置于地面,为获得施工影响范围,沿扩挖断面中线和立交桥引桥东西两侧边线取地面各节点的关键施工步骤位移值,绘制关键施工步骤下建筑物沉降曲线如图8所示。立交桥引桥两侧最大累积位移占总位移的百分比如图9所示。

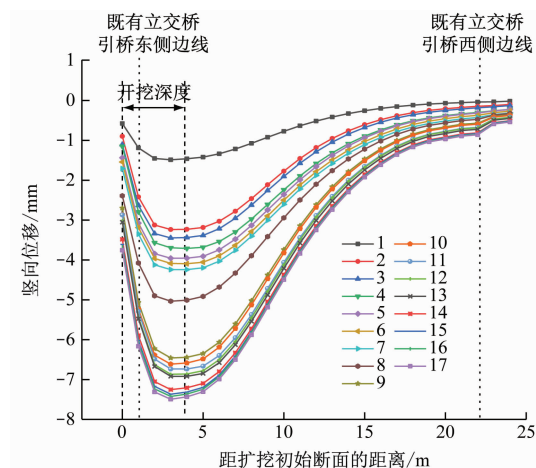
由图8 a)可知,既有立交桥引桥东侧在①导洞处沉降最大,最大沉降值为 7.31 mm 。由于①、②、③和⑦、⑧、⑨导洞率先开挖,导致前6个关键施工步骤的沉降位移曲线呈现出“双凹槽”状,沉降峰值位于①导洞和⑦导洞的中轴线上。此外,由于超出车站主体结构范围的立交桥引桥下方没有施作围护桩,使得扩挖段左侧沉降大于右侧的,具体表现为①、②、③导洞的沉降峰值明显大于⑦、⑧、⑨导洞的。由图8 b)可知,既有立交桥引桥西侧沉降曲线呈V型。由于立交桥引桥西侧与扩挖区域距离较远,使得引桥西侧受到扩挖施工的影响较小,引桥西侧的最大沉降值为 0.6 mm ,位于扩挖断面中线处。结合东西两侧边线沉降情况来看,扩挖施工横向影响范围约为 70 m ,是开挖宽度的 3.3 倍,是扩挖高度的 5.7 倍。由图8 c)可知,受开挖位置影响,既有立交桥引桥东侧沉降明显大于西侧的,沉降曲线峰值位于距离初始开挖断面 2.5 m 处,曲线沿着该断面向两端平缓上升。



a) 沿既有立交桥引桥东侧边线



b) 沿既有立交桥引桥西侧边线



c) 沿开挖断面中线

图8 关键施工工序下沿监测断面位移曲线

Fig. 8 Displacement curve along monitoring section through key construction procedures

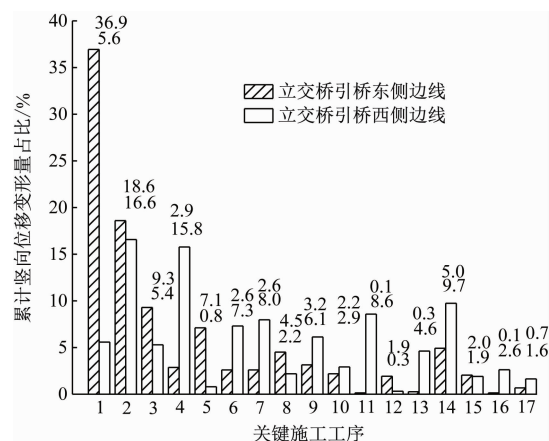


图9 既有立交桥引桥累计变形量占比

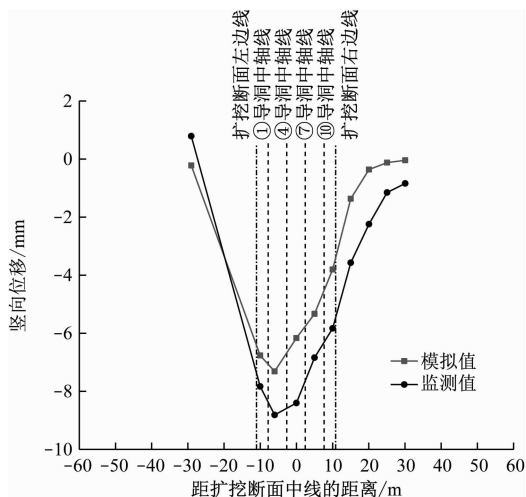
Fig. 9 Proportion of existing overpass approach bridge cumulative deformation

由图9可知,主要影响既有立交桥引桥东侧边线沉降变形的施工工序是①、⑦导洞围护桩的破除,累计沉降值占比达到36.9%。其次,由于①、⑦导洞位于开挖断面上半部且处于砂卵石地层,围岩松散,使得开挖①、⑦导洞的累计沉降值占比达到18.6%。主要影响既有立交引桥西侧边线沉降的施工工序是①、⑦导洞的开挖,最大累计沉降值占比为16.6%。以上现象表明围护桩的破除及土体开挖打破了周围地层的平衡状态,造成应力转移和变形的传递,这是造成沉降的主要因素。此外,由于①、②、③和⑦、⑧、⑨导洞开挖完成后其支护体系抑制了周边地层的变形,使得后续导洞的开挖及拆除临时竖撑和横撑等工序对建筑物沉降影响较小。

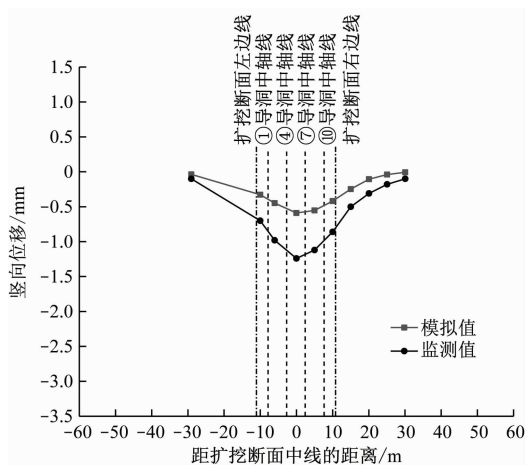
3.3 既有建筑物沉降实测结果与模拟结果对比分析

施工完成时的既有立交桥引桥实测结果与模拟结果对比如图10所示。

由图10可知:全部施工步骤完成时,既有立交桥引桥实测结果与模拟结果变化趋势一致,但现场监测结果竖向位移更大;立交桥引桥东侧边线在①、④导洞处沉降明显,沉降最大值出现在①导洞上方,最大沉降值为8.82 mm,是模拟结果沉降最大值的1.21倍;立交桥引桥西侧边线沉降最大值出现在开挖断面中线处,最大沉降值为1.24 mm,是模拟结果沉降最大值的2.07倍;现场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是: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。



a) 既有立交桥引桥东侧边线



b) 既有立交桥引桥西侧边线

图 10 施工完成时既有立交桥引桥位移实测结果与模拟结果对比

Fig. 10 Comparison between measured and simulation results of existing overpass approach bridge displacement upon construction completion

4 结语

对于地铁车站盾构接收区大断面下穿扩挖施工对既有立交桥引桥沉降的研究,得出的主要结论如下:

1) 下穿扩挖施工采用超前大管棚、12 导洞分部扩挖法以及复合式衬砌等施工技术,能够在有效控制既有立交桥引桥沉降的前提下,实现车站主体结构长距离扩挖,保证车站盾构接收区结构的吊装净空。

2) 扩挖施工使得土体发生变形,受开挖位置影响地面上既有立交桥引桥产生不均匀沉降,具体表现为东侧沉降明显大于西侧沉降。

3) 扩挖施工横向影响范围约为 70 m,是开挖宽度的 3.3 倍,是扩挖高度的 5.7 倍。对既有立交桥引桥沉降造成主要影响的施工步骤是①、⑦导洞围护桩的破除,以及①、⑦导洞的开挖。

4) 既有立交桥引桥东侧边线在①、④导洞处沉降明显,沉降最大值出现在①导洞上方,最大沉降值为 8.82 mm,是模拟结果沉降最大值的 1.21 倍。实测结果与模拟结果均满足安全控制要求。

参考文献

- [1] 苏斌, 苏艺, 陶连金. 大断面平顶直墙车站密贴下穿既有车站关键技术[M]. 北京: 清华大学出版社, 2015.
SU Bin, SU Yi, TAO Lianjin. Key technology of large cross-section flat-roofed and straight-wall station tightly sticking under the existing station[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2015.
- [2] 刘佩斯, 赵东平, 涂怀宇. 浅埋偏压大断面暗挖地铁车站工法优化研究[J]. 现代隧道技术, 2022, 59(增刊1): 783.
LIU Peisi, ZHAO Dongping, TU Huaiyu. Study on optimization of construction method of shallow buried and unsymmetrical pressure large section underground excavation subway station[J]. Modern Tunnelling Technology, 2022, 59(S1): 783.
- [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] 李欣, 郑帅恒, 顾刚. 下穿建筑群大断面浅埋隧道双侧壁导坑开挖工法的研究与应用[J]. 现代隧道技术, 2021, 58(增刊1): 224.
LI Xin, ZHENG Shuaiheng, GU Gang. Research and application of double-side pilot tunnel excavation method for large-section shallow-buried tunnel under buildings[J]. Modern Tunnelling Technology, 2021, 58(S1): 224.
- [5] 陈林杰, 梁波, 王国喜. 浅埋暗挖超大断面地铁车站隧道开挖方法研究[J]. 地下空间与工程学报, 2013, 9(4): 928.
CHEN Linjie, LIANG Bo, WANG Guoxi. Study of excavation method for shallow-buried subway station tunnels with super-large section[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2013, 9(4): 928.
- [6] 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 under-passing existing station at zero distance[J]. Urban Mass Transit, 2023, 26(1): 49.

(下转第 160 页)

5 结论

1) 经现场施工验证,威灵站主体结构施工中由于采用了“两端向中间合拢施工方法”,缩短了膨胀土基坑开挖后的曝露时间,成功避免了侧墙等主体结构开裂,在确保施工安全的同时保障了工期。

2) 拆除第二道钢支撑和第一道混凝土支撑会使车站主体结构中的顶板、中板、负二层侧墙中上部以及负一层侧墙拉应力明显增大,为施工主要影响工序,现场施工需控制拆撑时机和拆撑长度。

3) 车站主体结构中受力最不利位置为负一层侧墙距离中板 7.23 m 处、底板模拟监测点 C 处、中板模拟监测点 E 处、顶板模拟监测点 Y 处,最大拉应力为 0.587 MPa,未超过主体结构所用 C35 混凝土的轴心抗拉强度设计值 1.570 MPa,处于安全状态。现场施工需在以上受力最不利位置处加强配筋,提高混凝土强度等级,预防结构开裂。

参考文献

- [1] 吉力此且,李江峰,李红学,等.成都地铁 17 号线东延伸段膨胀土胀缩变形力学特性[J].城市轨道交通研究,2023,26(5):49.
JILI Ciqie, LI Jiangfeng, LI Hongxue, et al. Swell-shrink deformation mechanical property of expansive soil in Chengdu Metro Line 17 east extension section[J]. Urban Mass Transit, 2023, 26(5): 49.
- [2] 周学.膨胀土地层基坑支护稳定性研究[D].北京:交通大学,2018.
ZHOU Xue. Study on stability of foundation pit support in expan-

sive soil layer[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2018.

- [3] 杨圣春,许有俊,孙海枫.膨胀土地层地铁车站基坑围护结构稳定性探讨[J].铁道建筑,2015,55(11):55.
YANG Shengchun, XU Youjun, SUN Haifeng. Discussion on stability of foundation pit enclosure structure of subway station in expansive soil layer[J]. Railway Engineering, 2015, 55(11): 55.
- [4] 刘璐.合肥膨胀土地层明挖地铁车站两阶段施工关键技术研究[D].成都:西南交通大学,2015.
LIU Lu. Key construction technology of two-stage on the open-cut subway station in Hefei expansive soil layer[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2015.
- [5] 徐仁中,袁顺德.膨胀土地层地铁车站基坑围护结构受力与变形分析[J].铁道建筑,2016,56(2):84.
XU Renzhong, YUAN Shunde. Analysis of stress and deformation in enclosure structure of metro foundation pit in expansive soil stratum[J]. Railway Engineering, 2016, 56(2): 84.
- [6] 游建学.膨胀性地层超大规模深基坑稳定性研究[D].石家庄:石家庄铁道大学,2020.
YOU Jianxue. Study on stability of super-large deep foundation pit in swelling stratum[D]. Shijiazhuang: Shijiazhuang Tiedao University, 2020.
- [7] 夏祥保.弱膨胀土地层超深基坑施工技术[J].铁道建筑技术,2017(7):106.
XIA Xiangbao. Construction technique of super-large deep foundation pit in weak expansive soil layer[J]. Railway Construction Technology, 2017(7): 106.

· 收稿日期:2024-02-06 修回日期:2024-03-13 出版日期:2024-08-10
Received:2024-02-06 Revised:2024-03-13 Published:2024-08-10
· 作者:程敏杰,高级工程师,749832396@qq.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

(上接第 154 页)

- [7] 王佳庆,李俊,周欢,等.建筑物下地铁车站横向扩挖关键技术[J].中国高新科技,2020(8):76.
WANG Jiaqing, LI Jun, ZHOU Huan, et al. Lateral enlarging excavation method for subway station construction under buildings[J]. China High and New Technology, 2020(8): 76.
- [8] 郭宏博,李少友.新建地铁车站大断面密贴暗挖下穿既有地铁车站施工方案[J].施工技术,2018,47(增刊1):576.
GUO Hongbo, LI Shaoyou. Construction scheme of new subway station with large cross-section close-fitting and underground excavation under existing subway station[J]. Construction Technology, 2018, 47(S1): 576.
- [9] 李利,王永红,柏林.大断面暗挖平顶直墙结构密贴下穿既有有线沉降控制关键技术[J].北京交通大学学报,2016,40(2):114.
LI Li, WANG Yonghong, BAI Lin. Key techniques of settlement control for large section mined tunnel with horizontal proof and

straight wall closely crossing underneath the existing tunnel[J]. Journal of Beijing Jiaotong University, 2016, 40(2): 114.

- [10] 杨辉,裴俊豪,朱吉斌,等.大断面浅埋隧道下穿公路进洞施工技术应用研究[J].隧道建设(中英文),2022,42(增刊2):440.
YANG Hui, PEI Junhao, ZHU Jibin, et al. Study on the application of construction technology of large-section shallow-buried tunnel under highway[J]. Tunnel Construction, 2022, 42(S2): 440.

· 收稿日期:2023-09-15 修回日期:2023-11-14 出版日期:2024-08-10
Received:2023-09-15 Revised:2023-11-14 Published:2024-08-10
· 作者:潘伍,高级工程师,451057810@qq.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