

下穿通道施工全过程对既有地铁隧道变形的影响

杜明芳, 张 燕, 陈家豪, 张 鹏
(河南工业大学 土木工程学院, 河南 郑州 450001)

摘要:为研究下穿通道施工全过程对邻近既有地铁隧道的变形影响,以郑州市金水路(西三环至东四环)项目东明路行人非机动车下穿通道工程为背景,采用有限元软件 Midas GTS 建立三维数值模型,分析顶管及基坑施工过程中对既有地铁隧道的变形影响;总结了新建下穿通道施工全过程对邻近既有地铁隧道的水平位移和沉降变化特征,并将模拟值与工程监测数据进行对比分析,验证数值模型的可靠性。结果表明:下穿通道工程施工全过程中诱发地铁1号线隧道的最大水平位移为 0.52 mm,最大竖向位移为 2.12 mm,既有地铁隧道的水平位移及竖向位移最大值均满足控制标准。本文研究成果可为类似工程的设计、施工和监测提供一定的参考和借鉴。

关键词:下穿通道; 既有隧道; 顶管法施工; 监测; 数值模拟

中图分类号:U455

文献标识码:A

文章编号:1673-8993(2024)04-0020-05

doi:10.13402/j.gcjs.2024.04.045

Impact of whole process of underpass construction on deformation of existing subway tunnels

DU Mingfang, ZHANG Yan, CHEN Jiahao, ZHANG Peng

(School of Civil Engineering, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, Henan, China)

Abstract: In order to research the deformation effect of the whole process of underpass construction on the adjacent existing subway tunnels, the Dongming Road pedestrian and non-motorized underpass project of Jinshui Road (West 3rd Ring Road to East 4th Ring Road) project in Zhengzhou City is taken as the background, and the finite element software Midas GTS is used to establish a three-dimensional numerical model, and analyze the influence of pipe jacking and foundation pit construction on the deformation of the existing subway tunnels, the horizontal displacement and settlement change characteristics of the adjacent existing subway tunnel during the construction process of the new underpass is summarized, and the values are compared and simulated with the engineering monitoring data to verify the reliability of the numerical model. The results show that the maximum horizontal displacement and vertical displacement of the tunnel of Metro Line 1 induced during the whole process of the construction of the underpass tunnel are 0.52 mm and 2.12 mm respectively, and the maximum horizontal displacement and the vertical displacement of the existing subway tunnels meet the control standards. The results can provide references for the design, construction and monitoring of similar engineering.

Key words: underpass; existing tunnel; pipe jacking construction; monitoring; numerical simulation

随着城镇化进程的快速推进,交通线路由单一线路变为复杂线网,新建线路邻近既有隧道的高危工况常有出现^[1]。地铁作为城市主要的轨道交通,其客流量大、人员较为密集。新建下穿通

道工程顶管上跨邻近既有地铁隧道时,会使周围土体出现不同程度的变形。当周围土体产生的变形过大时,会对相邻的既有结构产生一定的影响,进而影响既有地铁的安全与正常运营^[2-3]。因此,

收稿日期:2023-06-14

作者简介:杜明芳(1964—),女,教授,从事地下工程与复杂地基处理技术的研究工作。

通信作者:张 燕(1996—),女,硕士研究生,从事地铁隧道及地下空间工程方面的研究。

展开下穿通道施工全过程对邻近既有地铁隧道影响的研究是非常必要的。

国内外不少学者在新建工程施工对邻近既有隧道稳定性分析方面开展了大量研究,如: XU 等^[4]、AVGERINOS^[5]对深基于有限元模拟,从不同角度对基坑开挖引起邻近隧道变形进行研究。有限元模拟分析,研究了不同隧道相对开挖的相对位置、隧道直径、开挖尺寸和隧道保护措施对既有隧道的影响; AVGERINOS^[5]研究了新建基坑开挖引起的环向力、弯矩和衬砌变形的变化,进行了土压平衡机面压和既有隧道的纵向刚度两项参数对既有隧道的影响研究; 刘迪迪^[6]以苏州某基坑工程为例,对穿越地铁隧道的方式、措施及难点进行研究,并提出相应的措施; 刘波等^[7]基于数值模拟对施工可能引起的隧道及地表变形进行预测,并结合监测数据分析了隧道及地表变形规律,提出了顶管施工期间隧道及地表变形的 3 个不同发展阶段; 姜之阳等^[8]以北京某工程为依托,利用有限元软件分析了矩形顶管上跨施工对地铁隧道上浮的影响和不同的抗浮配重对隧道变形的影响; 石雷等^[9]以某上跨运营隧道工程监测数据为依据,对顶管机正面土压力值、管节压重、减摩泥浆压注量进行分析。然而,当前研究多集中于新建工程施工中某一过程对既有隧道的影响,而关于新建工程施工全过程对邻近既有地铁隧道的影响研究较少。

本文以郑州市金水路(西三环至东四环)项目东明路行人非机动车下穿通道工程为背景,采用有限元软件 Midas GTS 模拟分析下穿通道施工全过程对既有地铁隧道的影响,总结大断面矩形顶管上跨施工及基坑施工对邻近既有地铁隧道的水平位移和沉降的变化特征,以期对相似工程的安全施工提供一定的借鉴和参考。

1 工程概述

1.1 下穿通道及出入口概况

郑州市金水路(西三环至东四环)项目东明路行人非机动车下穿通道工程位于金水路—东明路交叉口西侧,主通道沿南北向下穿金水路后在金水路人行道外侧设置一对出入口。下穿通道主通

道设计埋深为 6.95 m,结构埋深为 7 m,通道内布置 2.5 m 宽人行道与 5 m 宽非机动车道,通行净高均不小于 2.5 m,工程位置如图 1 所示。新建下穿通道工程一部分采用明挖法施工,一部分采用顶管法施工。

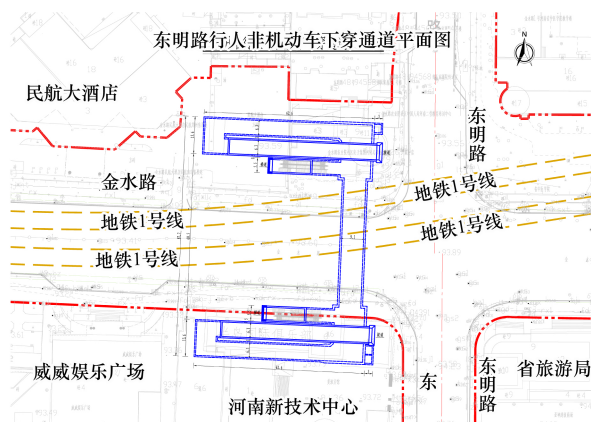


图 1 工程场地位置

1.2 地铁隧道概况

郑州市轨道交通地铁 1 号线已运营,其中紫荆山站—燕庄站区间线路左线全长为 1 875.588 m,右线全长为 1 878.401 m,紫荆山站—燕庄站区间线路最大坡度为 7.45‰,最小坡度为 2.0‰。盾构隧道结构外径为 6 m,内径为 5.4 m,管片厚度为 0.3 m,管片混凝土为 C50。地铁 1 号线紫荆山站—燕庄站区间与东明路下穿通道相交处附近,地铁隧道左线结构顶标高为 78.57 m,右线结构顶标高为 78.56 m,区间纵坡为 3.1‰,地铁上方覆土厚度为 13~14 m,地铁盾构隧道主要穿越地层为粉质黏土层和粉砂层。基坑纵剖面如图 2 所示。

1.3 下穿通道与地铁线路相互关系

东明路下穿金水路人非通道两端梯(坡)道、顶管工作井基坑临近地铁 1 号线,东明路下穿通道顶推段位于地铁 1 号线紫荆山站~燕庄站区间隧道上方,与地铁 1 号线成斜交上跨关系,斜交角度为 75°。在相交位置,地铁隧道上方覆土厚度为 14.73 m,地铁隧道与下穿通道间的最小结构净距约为 6.9 m。

1.4 施工保护措施

为增强地铁隧道周边土体的抗变形能力,对隧道周边采用 MJS 工法进行加固。MJS 规格为 D2 000 @ 1 800 mm,搭接宽度为 200 mm。采用门式加固方法,从地铁隧道保护区域加固至拱顶以上 2 m。始发井、接收井、基坑坑底均采用高压旋喷桩满堂

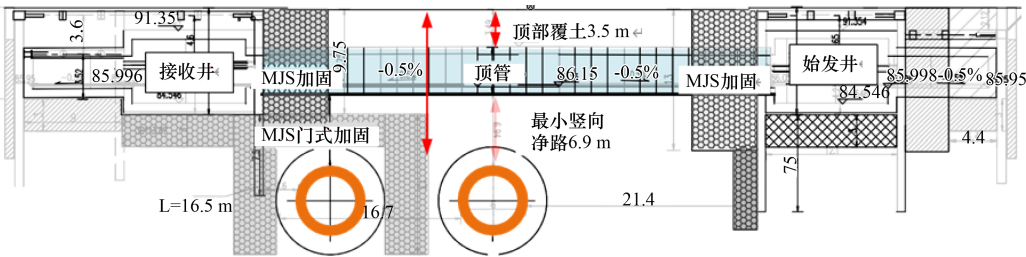


图 2 基坑纵剖面

加固，加固深度为坑底以下 3 m。始发井、接收井进出洞口采用 MJS 加固，加固宽度为 6 m，加固深度为坑底以下 4 m。始发井后靠墙采用三轴水泥土搅拌桩加固，加固宽度为 4 m，加固深度为坑底以下 4 m。

2 模型建立及计算参数选取

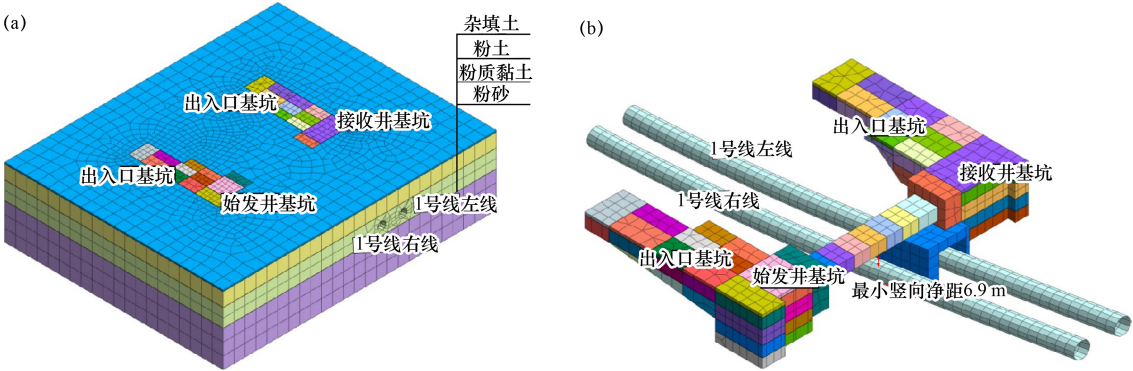
2.1 模型建立

采用有限元软件 Midas GTS 建立三维地层 - 结构模型。模型尺寸为 165 m × 160 m × 60 m，模

型 X 方向为顺地铁方向，Y 方向为顺顶管方向，Z 方向为竖直方向。模型采用位移边界条件，顶面为自由面，无约束；底面每个方向均约束；4 个侧面均只约束法向，其余方向自由无约束，有限元数值计算分析模型如图 3 所示。

2.2 计算参数选取

模型中土体以实体单元模拟，本构模型采用修正莫尔 - 库伦弹塑性模型，土体材料参数如表 1 所示。模型中盾构、顶管管片、支护桩以板单元模拟，结构参数如表 2 所示。



(a) 整体；(b) 位置关系

图 3 有限元模型

表 1 土层材料参数

地层	厚度/m	黏聚力/kPa	内摩擦角/(°)	弹性模量/MPa	泊松比
杂填土	18.1	11.3	17.6	6	0.41
粉土	18.4	11.7	21.0	10	0.38
粉质黏土	18.7	16.0	25.0	20	0.33
粉砂	19.7	23.0	—	35	0.32

表 2 结构材料参数

结构名称	弹性模量/GPa	天然密度/(g·cm ⁻³)	泊松比
钢支撑	206.0	25	0.15
支撑	30.0	25	0.2
围护柱	32.0	25	0.2
区间隧道管片	35.5	25	0.2

由于工程施工步骤较为复杂,选取其中具有代表性的工况:1) 工况 1:基坑围护结构施工;2) 工况 2:开挖工作井基坑;3) 工况 3:矩形顶管通道施工;4) 工况 4:开挖出入口基坑。

3 计算结果分析

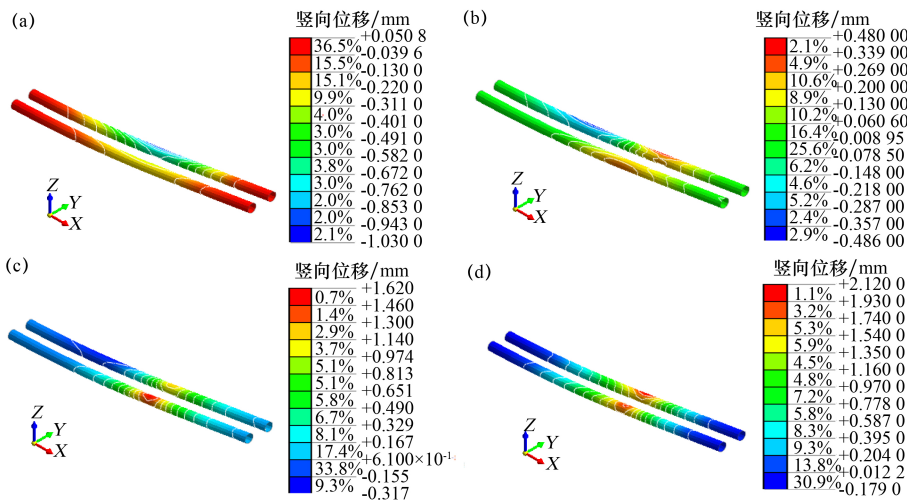
3.1 竖向位移分析

各工况施工诱发紧邻地铁 1 号线既有结构的竖向位移云图如图 4 所示。由图 4 可知:预测最大竖向位移为 2.21 mm,基坑围护结构过程中地铁隧道最大竖向位移为 -1.03 mm;工作井基坑开挖过程中地铁隧道最大竖向位移为 -0.43 mm;顶管顶进过程中地铁隧道最大竖向位移为 1.62 mm;出入口基坑开挖过程中地铁隧道最大竖向位移为

2.21 mm。

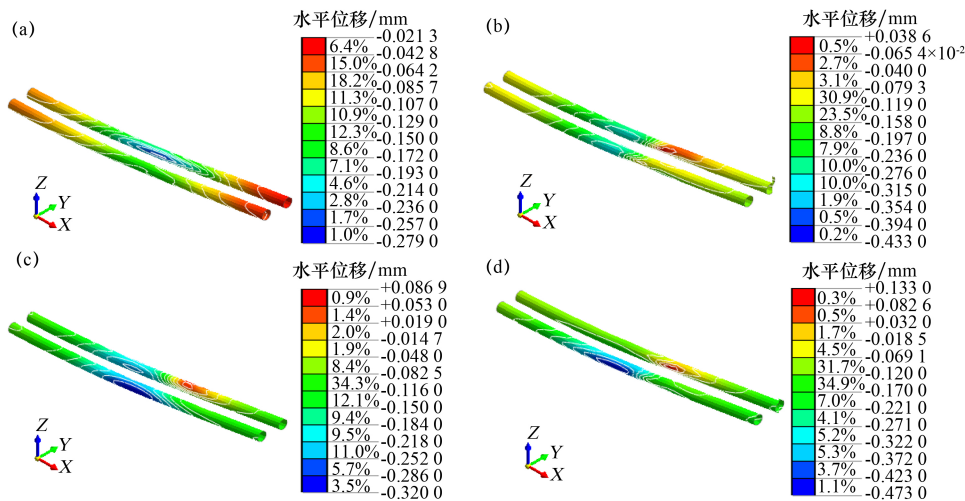
3.2 水平位移分析

各工况施工诱发紧邻地铁 1 号线既有结构的水平(Y方向)位移云图如图 5 所示。由图 5 可知:预测最大水平 Y 向位移为 0.52 mm,基坑围护结构施工过程中地铁隧道最大水平 Y 向位移为 0.28 mm;工作井基坑开挖过程中地铁隧道最大水平 Y 向位移为 0.32 mm;顶管顶进过程中地铁隧道最大水平 Y 向位移为 0.52 mm;出入口基坑开挖过程中地铁隧道最大水平 Y 向位移为 0.47 mm。综上,东明路行非机动车下穿通道工程施工对地铁隧道结构位移影响较小,顶管施工后隧道结构位移在允许范围内,既有隧道结构受力安全。



(a) 工况 1; (b) 工况 2; (c) 工况 3; (d) 工况 4

图 4 各工况区间隧道竖向位移云图



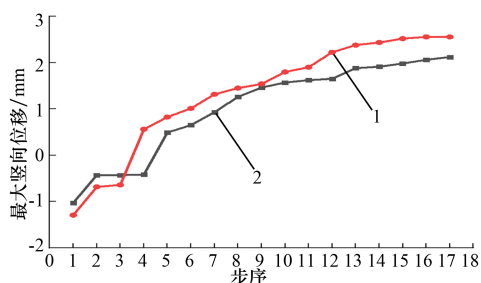
(a) 工况 1; (b) 工况 2; (c) 工况 3; (d) 工况 4

图 5 各工况区间隧道水平(Y方向)位移云图

4 监测数据分析及控制指标

4.1 监测数据分析

为检测下穿通道工程施工全过程对地表及既有地铁隧道的影响,选取各施工步序中的最大竖向(Y 方向)位移监测点进行分析,监测值与模拟值对比如图 6 所示。由图 6 可知:监测断面最大降值为 2.6 mm,数值计算结果中,该区域最大沉降值为 2.1 mm。监测数值与模拟数值结果趋势基本一致,说明模型准确性较好。



1—模拟值; 2—监测值。

图 6 监测值与模拟值对比

4.2 控制指标

根据《城市轨道交通结构安全保护技术规范》(CJJ/T 202—2013)^[10]要求,结合数值分析和工程实际特点,综合变形预测结果和运营安全的要求,确定下穿通道施工期间既有 1 号线隧道的变形控制标准如表 3 所示。

表 3 变形控制标准

		mm
隧道不同位移	预警值	控制值
水平	<4	<6
竖向	<4	<6

5 结 论

本文以郑州市金水路(西三环至东四环)项目东明路行人非机动车下穿通道工程为背景,利用有限元软件 Midas GTS 模拟顶管及基坑施工过程对既有地铁隧道的变形影响,并与实测数据进行对比,得到结论如下。

(1) 数值模拟计算结果显示,下穿通道工程施工全过程中诱发地铁 1 号线隧道的最大水平位移为 0.52 mm,最大竖向位移为 2.12 mm,既有地铁隧道的水平位移及竖向位移最大值均满足控

制标准。

(2) 结合地铁现状调查结果,施工过程中出现最大位移的位置集中在顶管通道与地铁 1 号线相交位置的隧道断面。

(3) 数值计算结果和监测数据基本一致,对岩土工程问题而言,如果数值建模的边界条件和参数取值接近实际情况,数值模拟是解决岩土工程问题有效方法。

(4) 周边环境复杂的情况下,对周边建筑物、地铁等的位移及变形进行监测是必要的,监测结果能够验证数值模拟结果是否合理,且可以动态保证周围建筑物的安全。

参考文献:

- [1] 张青,王洪超,赵耀,等.新建隧道近距离小角度斜下穿既有隧道稳定性分析:以青岛地铁 8 号线隧道工程为例[J].隧道建设(中英文),2021,41(S2):199-208.
- [2] 杜明芳,朱东东,易领兵,等.大粒径卵石地层中盾构下穿既有铁路的影响分析[J].合肥工业大学学报(自然科学版),2020,43(5):660-666;720.
- [3] 刘波,范雪辉,王园园,等.基坑开挖对临近既有地铁隧道的影响研究进展[J].岩土工程学报,2021,43(S2):253-258.
- [4] HUANG X, SCHWEIGER H, HUANG H. Influence of deep excavations on nearby existing tunnels[J]. American Society of Civil Engineers(ASCE), 2013(2):170-180.
- [5] AVGERINOS V, POTTS D M, STANDING J R. Numerical investigation of the effects of tunnelling on existing tunnels[J]. Thomas Telford Ltd, (9):808-822.
- [6] 刘迪迪.明挖基坑上跨既有运营地铁隧道施工关键技术与实践[J].工程建设,2020,52(7):68-73;78.
- [7] 刘波,章定文,刘松玉,等.大断面顶管通道近接穿越下覆既有地铁隧道数值模拟与现场试验[J].岩石力学与工程学报,2017,36(11):2850-2860.
- [8] 姜之阳,张彬,刘硕,等.大断面矩形顶管上跨施工对既有地铁隧道变形影响研究[J].工程地质学报,2022,30(5):1703-1712.
- [9] 石雷,吴宇,殷茜东.矩形顶管上穿运营隧道的施工参数控制分析[J].工程建设,2020,52(7):50-53.
- [10] 城市轨道交通结构安全保护技术规范:CJJ/T 202—2013[S].北京:中国建筑工业出版社,2013.