

新建隧道施工对邻近既有运营地铁隧道的变形影响

肖 抗¹, 侯庆超¹, 仁海涛¹, 李俊昊¹, 张 鹏²

(1. 中国建筑第七工程局有限公司, 河南 郑州 450000; 2. 河南工业大学 土木工程学院, 河南 郑州 450001)

摘要:随着城市轨道交通的快速发展,新建地铁隧道穿越或者邻近既有建筑结构的工况越来越普遍,如何将新建隧道对既有建筑的影响降低到最小程度,保证其结构安全、正常运营,已成为地铁修建过程中的一个重要研究内容。以郑州市某新建隧道明挖段和暗挖段施工为例,采用有限元软件 Midas GTS 建立数值计算模型,分析新建隧道施工对既有运营地铁隧道的变形影响规律,并与实际工程监测数据进行对比验证。研究结果表明:1)明挖段基坑开挖完成后,既有运营地铁隧道的最大竖向变形和水平变形分别为 0.57、1.21 mm;2)暗挖段施工完成后,既有运营地铁隧道的最大竖向变形和水平变形分别为 0.27、0.39 mm;3)实际监测数据略小于数值计算结果。本文结果可为类似工程提供一定的借鉴和参考。

关键词:新建隧道;既有运营隧道;变形影响;数值模拟

中图分类号:U231⁺.3

文献标识码:A

文章编号:1673-8993(2024)05-0037-05

doi:10.13402/j.gcjs.2024.05.061

Impact of construction of newly-built tunnel on deformation of adjacent existing operating subway tunnel

XIAO Kang¹, HOU Qingchao¹, REN Haitao¹, LI Junhao¹, ZHANG Peng²

(1. China Construction Seventh Engineering Bureau Co., Ltd., Zhengzhou 450000, Henan, China;

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

Abstract: With the rapid development of urban rail transit, it is becoming more and more common for new subway tunnels to pass through or close to existing building structures, and how to minimize the impact of new tunnels on existing buildings and ensure their structural safety and normal operation has become an important research content in the process of subway construction. The construction of a newly-built tunnel in Zhengzhou is taken as an example, the finite element software Midas GTS is used to establish a numerical calculation model, the deformation influence law of the newly-built tunnel construction on the existing operating subway tunnel is analyzed, and the actual engineering monitoring data is compared. The results show that: 1) After the excavation of the open-cut foundation pit is completed, the maximum vertical deformation and horizontal deformation of the existing subway tunnel are 0.57 mm and 1.21 mm, respectively; 2) After the completion of the underground excavation section, the maximum vertical deformation and horizontal deformation of the existing subway tunnel are 0.27 mm and 0.39 mm, respectively; 3) The actual monitoring data is slightly less than the numerical calculation results, so the results can provide some reference for similar projects.

Key words: newly-built tunnel; existing operating tunnels; deformation influence; numerical simulation

随着城市轨道交通的快速发展,轨道交通网 络的逐步加密,新建线路邻近既有运营地铁隧道

收稿日期: 2023-10-07

作者简介: 肖 抗(1983—),男,工程师,从事地铁隧道及地下空间工程方面的研究。

通信作者: 李俊昊(1993—),男,助理工程师,从事地铁隧道方面的研究。

的工况日渐增多。新建区间隧道施工会对周围土体造成一定的扰动,进而影响到既有地铁隧道的安全与运营。

目前,针对新建隧道工程施工对既有结构的影响研究比较丰富。王远六等^[1]以小净距既有暗挖站段新建盾构区间隧道工程为背景,采用有限元软件 Midas 模拟盾构小净距穿越单洞双线暗挖站施工过程,总结了盾构小净距穿越施工过程中既有暗挖站位移变化规律;易领兵等^[2]为研究盾构区间斜向超近距下穿施工对既有地铁站变形的影响,以临近既有地铁站暗挖段的新建地铁盾构区间工程为背景,采用有限元软件 Midas 对富水细砂地层盾构斜向超近距下穿既有地铁站施工过程进行数值计算分析,总结了盾构斜向超近距下穿施工对既有地铁站的变形影响;刘香等^[3]依托穿越工程实例,从扰动机理、沉降变形及数值计算等角度分析了盾构隧道穿越施工对 CFG 桩复合地基的沉降变形影响;高锐斌^[4]以佛山某地铁工程为背景,采用 Midas GTS NX 软件建立三维有限元模型,分析总结了盾构隧道开挖与上部地面结构同步施工的相互影响;刘斌等^[5]采用数值模拟的方法对地铁盾构施工侧穿既有构筑物(综合管沟)的施工过程进行三维模拟,分析了盾构掘进过程中上部地表沉降的变化分布规律以及综合管沟的位移变化规律。

上述研究成果多集中于新建隧道穿越施工对既有结构的影响,而关于新建隧道邻近既有运营隧道工程的研究较少。本文以郑州市某新建隧道明挖和暗挖盾构施工为工程背景,采用有限元软件 Midas GTS 分析新建隧道施工对既有运营地铁隧道的变形影响规律,以期为相似工程的安全设计提供一定的借鉴和参考。

1 工程概述

郑州市某新建隧道工程,新建隧道在进入车站前由两条单线圆形截面隧道合并为单洞类矩形截面隧道。新建隧道施工段分为明挖段和暗挖盾构段,其中明挖段长度为 108.8 m,基坑深度范围为 23~26 m,宽度范围为 11.8~18.7 m,侧墙厚度为 1 m,围护结构为 1m 厚地连墙,深度范围为 32.7~39.4 m,明挖段基坑与既有运营隧道的最

小水平间距为 5.75 m。暗挖类矩形盾构段长度为 83 m,采用外轮廓为 11.500 m×6.937 m 的类矩形断面,管片厚度为 0.45 m,中间为 0.35 m 厚后浇中隔墙,暗挖盾构段与既有运营隧道的最小净距约为 10.85 m。新建隧道与既有运营隧道的平面相对位置关系如图 1 所示。

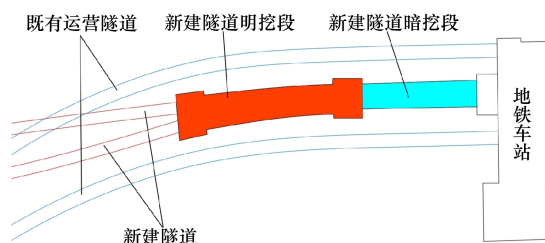


图 1 新建隧道与既有运营隧道平面位置关系

2 数值模型建立

2.1 基本假定

采用有限元软件 Midas GTS 建立数值模型进行计算,数值模拟计算中的基本假定如下。

(1) 计算初始应力场分布时,考虑既有运营隧道对初始应力场的影响。

(2) 数值计算中,假设岩土体为各向同性、连续均匀的理想弹塑性材料,采用摩尔-库伦屈服准则。

(3) 数值模拟时对计算土体的底面约束竖向 y 位移,侧面约束横向 x 位移,地表为自由面。

(4) 考虑计算机的计算能力、计算时间等因素,并结合工程实际特点,将明挖段基坑开挖施工和暗挖段类矩形隧道施工对既有运营隧道的变形影响简化为平面应变问题。

2.2 模型建立及分析步设置

2.2.1 明挖段

选取基坑与隧道最小间距处截面建立二维数值模型,分析明挖段基坑施工对既有运营隧道的变形影响。二维模型尺寸为 70 m×45 m(x 向× y 向),整体计算模型如图 2 所示。

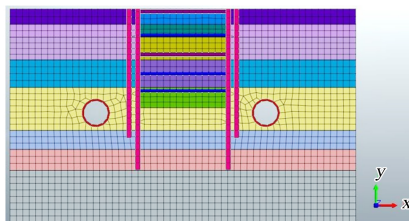


图 2 明挖段施工整体计算模型

结合项目实际情况,在数值模拟分析时,将明挖段施工过程分为 7 个施工步序:1)添加各种土层,边界约束,重力荷载,并做位移清零;2)地连墙施工;3)基坑第一步开挖且第一道混凝土支撑施工;4)基坑第二步开挖且第二道钢支撑施工;5)基坑第三步开挖且第三道混凝土支撑施工;6)基坑第四步开挖且第四道混凝土支撑施工;7)基坑第五步开挖且第五道混凝土支撑施工。

2.2.2 暗挖段

暗挖段类矩形盾构隧道施工二维计算模型如图 3 所示,模型尺寸为 110 m×80 m(*x* 向×*y* 向)。

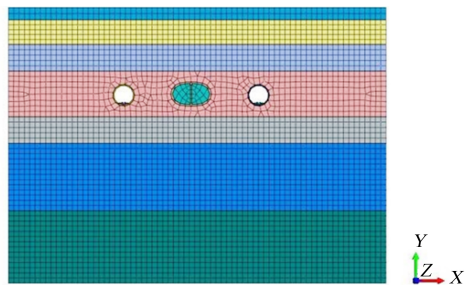


图 3 暗挖段施工整体计算模型

结合项目实际情况,在数值模拟分析时,将暗挖段施工过程分为 4 个施工步序:1)添加各种土层,边界约束,重力荷载,并做位移清零;2)类矩形盾构隧道开挖;3)类矩形盾构隧道管片施工;4)类矩形隧道后浇中隔墙施工。

2.3 模型计算参数选取

土体采用实体单元模拟,本构模型采用修正莫尔-库伦弹塑性模型。在深度为 70 m 的模型范围内,参考工程地勘钻孔资料和相关文献,选取模型土体材料参数如表 1 所示,其中实际模拟中的土体弹性模量取压缩模量的 3~5 倍。

新建隧道施工中,部件采用二维结构单元模拟。明挖段基坑开挖施工过程中,混凝土支撑和

钢支撑均采用梁单元模拟,地连墙采用实体单元进行模拟;暗挖盾构段施工时,盾构隧道管片采用板结构单元模拟,管片厚度为 350 mm。具体结构材料参数如表 2 所示。

表 1 土层材料参数

名称	天然重度/ (kN·m ⁻³)	压缩模 量/MPa	黏聚 力/kPa	内摩擦 角/(°)	泊松比
①黏质粉土	19.2	8.0	15	24.0	0.33
②粉质黏土	19.0	7.5	28	17.0	0.30
③粉砂	18.5	15.0	0	29.0	0.28
④黏质粉土	19.2	11.0	14	24.5	0.33
⑤粉质黏土	19.6	9.5	32	19.0	0.31
⑥黏质粉土	19.4	13.5	18	23.0	0.33
⑦粉质黏土	19.7	11.5	34	19.0	0.30

表 2 结构材料参数

材料名称	弹性模量/ 10 ⁴ MPa	容重/ (kN·m ⁻³)	泊松比
地连墙	3.15	26	0.2
混凝土支撑	3.00	26	0.2
钢支撑	21.00	78	0.3
区间隧道管片	3.45	25	0.2

3 计算结果分析

3.1 明挖段施工影响分析

既有运营隧道在明挖段基坑开挖施工完成后的变形云图如图 4 所示,明挖段基坑施工引起既有运营隧道变形最大值曲线如图 5 所示。由图 4、5 可知:明挖段新建隧道由于基坑开挖引起的地层及既有运营隧道的应力平衡状态发生破坏,引起既有运营隧道的变形,最大水平变形为 1.21 m,最大竖向变形为 0.57 mm。

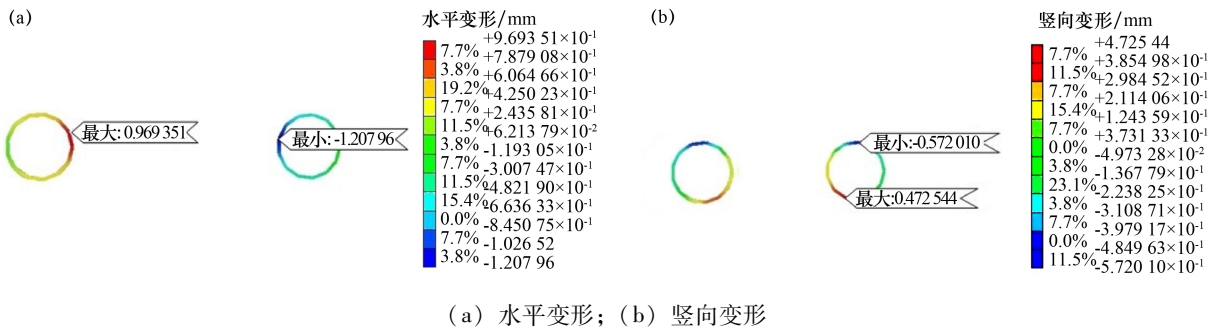
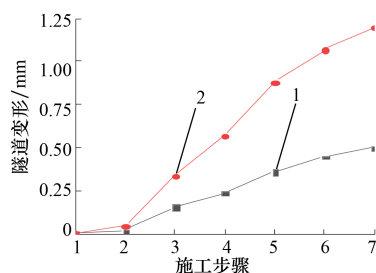


图 4 明挖段基坑施工引起既有运营隧道变形云图

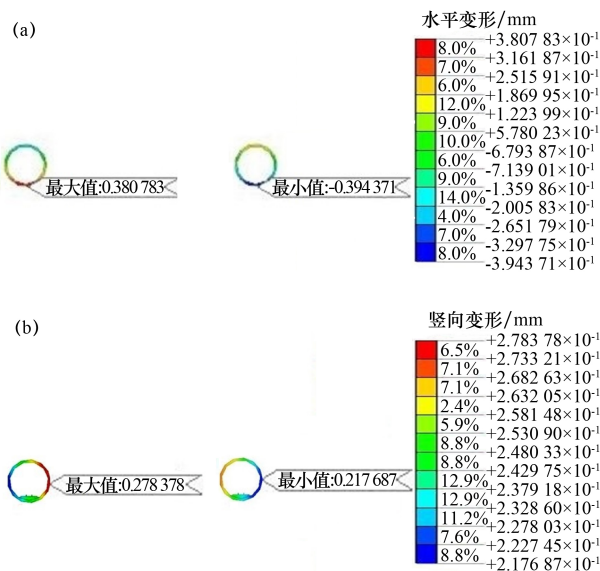


1—竖向变形；2—水平变形。

图 5 明挖段基坑施工引起既有运营隧道变形最大值曲线

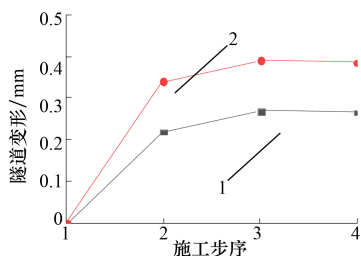
3.2 暗挖段施工影响分析

既有运营隧道在暗挖段类矩形盾构施工完成后既有运营隧道的变形云图如图 6 所示，暗挖段隧道施工引起既有运营隧道变形最大值曲线如图 7 所示。由图 6、7 可知：暗挖段新建隧道由于暗挖盾构隧道施工引起地层扰动，进而引起既有运营隧道的变形，最大水平变形为 0.39 mm，最大竖向变形(隆起)为 0.27 mm。



(a) 水平变形；(b) 竖向变形

图 6 暗挖段隧道施工引起既有运营隧道变形云图



1—竖向变形；2—水平变形。

图 7 暗挖段隧道施工引起既有运营隧道变形最大值曲线

4 控制标准及监测数据

4.1 施工控制标准

根据《郑州市轨道交通条例》^[6]和《城市轨道交通工程监测技术规范》(GB 50911—2013)^[7]有关规定，并参照国内其他城市轨道交通建设及运营经验，结合数值分析和工程实际特点，既有运营隧道结构的变形控制标准如表 3 所示。

表 3 变形控制标准 mm

监测对象	监测项目	最终累计值
既有运营区间隧道	隧道沉降	10
	隧道上浮	5
	隧道水平位移	5
	管片径向收敛	5
既有运营区间轨道	相邻两根钢轨横向高差	4
	10 m 弦长轨面高差	4
	相邻两根轨道轨距变化范围	+4 ~ -2

4.2 实际工程监测数据

通过收集实际工程监测数据并进行整理，既有运营隧道的变形最大值如表 4 所示。由表 4 可知：既有运营隧道在明挖段基坑施工阶段隧道的最大水平变形值为 1.08 mm，最大竖向变形值为 0.55 mm(隆起)；在暗挖段类矩形隧道施工过程中，既有运营隧道的最大水平变形值为 0.34 mm，最大竖向变形值为 0.24 mm(隆起)。通过对比数值计算结果和工程监测数据可知，既有运营隧道在明挖段和暗挖段隧道施工过程中变形监测数据略小于数值计算结果，模型准确性较好。

表 4 既有运营隧道变形最大值 mm

施工阶段	变形方向	变形值
明挖段	竖向	0.55
	水平	1.08
暗挖段	竖向	0.24
	水平	0.34

5 结 论

本文以郑州地区某新建隧道邻近既有隧道施工工程为例，基于有限元软件 Midas GTS 分别建立明挖段基坑开挖施工和暗挖段盾构隧道施工的二维数值计算模型，分析新建隧道施工对既有运营隧道的变形影响，得到以下结论。(下转第 46 页)

5 结 语

近年来,我国相继建设了一批规模宏大、结构复杂、技术难度高的建(构)筑物,如港珠澳大桥及深中通道沉管隧道等,这既推动了建筑防渗抗裂技术的不断创新,也涌现出一大批新型防渗抗裂材料与施工工艺,但重视建筑物结构本质防渗仍需放在首位。本文从防渗原理出发,对混凝土涵洞防渗抗裂技术进行系统分析,综合施策,从根本上有效提高涵洞防渗抗裂性能,延长涵洞使用寿命。在施工阶段,成本投入较多,但从建设项目全寿命周期的角度考虑,后期使用阶段维护维修成本将大大降低,优质耐久、安全舒适,符合国家倡导的“平安百年品质工程”建设理念。

参考文献:

- [1] 蔡天佑. 高速公路涵洞结构受力模式及实用减荷技术研究[D]. 长沙:中南大学,2010.
- [2] 温珍斐. 高填方及深软基涵洞结构受力与沉降分析[D]. 重庆:重庆交通大学,2015.
- [3] 邓玉华,王红星,陈伯进. 通江涵洞渗漏隐患的处理

技术综述[J]. 江苏水利,2014(7):26-27.

- [4] 李龙彬,姜立志. 水运工程质量通病防治的分级管理探究[J]. 工程质量,2020,38(10):57-60.
- [5] 李龙彬. 航道整治工程半圆体预制气囊成孔工艺研究[J]. 山东工业技术,2023(2):48-52.
- [6] 胡骏. 建筑工程渗漏水判断与维修[J]. 中国建筑防水,2014(10):7-14.
- [7] 山东水利建设集团有限公司. 一种长距离防渗型涵洞结构:202123231785.8[P/OL]. 2022-05-10[2023-04-12]. <https://pss-system.cponline.cnipa.gov.cn/documents/detail?prevPageTit=changgui>.
- [8] MARSTON A, ANDERSON A O. The theory of loads on pipes in ditches and tests of cement and clay drain tile and sewer pipes. Engineering, 2012, 4(4):202-209.
- [9] 曾国熙. 土坝下涵管竖向土压力的计算[J]. 浙江大学学报(工学版), 1960(1):79-98.
- [10] 顾安全. 上埋式管道及洞室垂直土压力的研究[J]. 岩石工程学报, 1981(1):3-15.
- [11] 刘全林,杨敏. 上埋式管道上竖向土压力计算的探讨[J]. 岩土力学, 2001(2):214-218.
- [12] 李龙彬. 国外大型桥梁支座修复施工技术[J]. 工程建设, 2023, 55(5):49-56.

(上接第 40 页)

(1)既有运营隧道在新建隧道施工完成时,其管片的水平和竖向变形均满足施工控制要求。

(2)由于基坑开挖和盾构开挖引起的既有隧道上方土体卸荷,最终导致既有运营隧道在施工完成时,其竖向变形以上浮为主。

(3)明挖段新建隧道由基坑开挖引起的既有运营隧道最大水平变形为 1.21 mm,最大竖向变形值为 0.57 mm(隆起);暗挖段盾构隧道施工引起的既有运营隧道最大水平变形为 0.39 mm,最大竖向变形值为 0.27 mm(隆起)。

参考文献:

- [1] 王远六,易领兵,杜明芳,等. 砂卵石富水区域盾构小净距穿越单洞双线暗挖站施工技术[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2023, 46(8):1109-1114.

- [2] 易领兵,陈庆怀,孟旭央,等. 富水细砂地层盾构斜向超近距下穿双洞双线暗挖站施工技术[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2023, 46(6):822-827;848.
- [3] 刘香,郭建圆,张立波,等. 盾构隧道穿越 CFG 桩复合地基变形机理研究[J]. 工程建设, 2019, 51(11):5-11.
- [4] 高锐斌. 地铁隧道盾构下穿施工地块的数值分析[J]. 工程建设, 2019, 51(2):7-11.
- [5] 刘斌,冯兴仁,蒋承轩,等. 盾构施工侧穿邻近既有构筑物的稳定性及施工控制[J]. 工程建设, 2018, 50(1):63-67.
- [6] 郑州市人大常委会办公厅. 郑州市轨道交通条例[EB/OL]. (2015-10-29)[2016-01-01]. <https://gfwj.zhengzhou.gov.cn/flfg/107.jhtml>.
- [7] 城市轨道交通工程监测技术规范:GB 50911—2013[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2014.