

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2020.02.033

新建建筑物地基静力荷载对下伏隧道影响研究

谷鸿飞

(福建岩土工程勘察研究院有限公司,福建福州350108)

摘要:为研究建筑物与下伏隧道近接施工的结构相存性,依托某工程实践,基于MIDAS/GTS数值软件平台,考虑荷载释放系数,进行数值模拟分析新建建筑物的地基附加静力荷载对下伏隧道的结构安全性与围岩稳定性影响。模拟过程重点关注三个危险工况下隧道断面的位移与二衬内力。结果表明:新建建筑物的地基附加静力荷载不影响下伏隧道围岩稳定性,对其位移与二衬轴力影响甚微,不影响隧道正常使用。研究成果可为类似近接工程的施工与设计提供参考借鉴。

关键词:近接施工;地基静力荷载;内力计算;相存性

中图分类号:U45

文献标识码:A

文章编号:1672-1144(2020)02-0195-05

Influence of New Building Foundation Static Load on the Underlying Tunnel

GU Hongfei

(Fujian Geotechnical Engineering Investigation Institute Co., Ltd., Fuzhou, Fujian 350108, China)

Abstract: In order to analyze the structural survivability of adjacent construction, an engineering practice was taken as an example, by considering the load releasing coefficient, a numerical simulation model based on MIDAS/GTS was developed to analyze the effects of the new building foundation static load on the structural safety and surrounding rock stability of the underlying tunnel based, which mainly focus on the displacement and two-lining forces in three hazardous conditions. The results show that the stability of the surrounding rock in the underlying tunnel is not affected by the foundation static load, and there are little effects on its displacement and the secondary lining force. The results can provide reference for the construction and design of similar projects.

Keywords: adjacent construction; foundation static load; internal force calculation; interdependence exist

随着社会经济的高质量发展,市政交通建设也进入高速发展阶段,大量市政隧道建成使用。近接施工引起的结构稳定性问题也逐渐受到学者、技术人员的关注和重视^[1-4]。建筑物与其下伏隧道的相存性越来越成为城市地下工程的研究热点。申文明^[3]通过有限元软件研究厦门市轨道交通1号线区间盾构隧道开挖过程的扰动对地表建筑物的安全影响,并提出安全防护措施。Wu等^[5]基于PFC^{3D}数值平台研究武汉地铁7号线某区间隧道施工对邻近的位移、应力变化、孔隙度变化和周围环境的影响,并提出相应保护措施。Shahin等^[6]开展模型试验和数值模拟研究隧道开挖过程中对既有建筑物以及隧道周围土压力的影响。郭翔宇^[7]开展数值模拟研

究新建建筑物对邻近隧道造成的影响,认为新建建筑物对下方隧道结构安全性影响很小,满足规范中要求的安全条件。张顶立等^[8]结合三种方法:现场实测、数值模拟和理论分析方法,基于厦门机场路隧道工程实践,揭示出隧道施工对地表建筑物的变形影响规律、变形破坏模式,并提出建筑物变形控制标准以及建立建筑物开裂和沉降之间的关系。李君君等^[9]建立五山连拱隧道穿越地表农业银行工程实践的三维动力有限元数值模型,研究隧道开挖施工造成建筑物基础振动速度的分布规律。李围等^[10]建立三维数值模拟并开展室内相似模型试验方法,研究盾构掘进过程中,盾构推进力不同和未及时同步注浆支撑的工况下盾构隧道近接施工对大型结构

施工的影响。陈智慧^[11]基于 FLAC^{3D}平台建立洛阳周山隧道下穿民房工程的三维数值模型,对比分析了 CD 法和三台阶法的隧道开挖方法下穿施工造成的建筑物变形、隧道衬砌受力及隧道周边地层稳定性影响。习淑娟等^[12]建立小净距隧道下穿利海大厦办公楼工程的三维数值力学模型,研究近接施工工况下建筑物桩基变形规律、小净距隧道围岩稳定性和衬砌力学响应。

诸多学者^[13-15]研究隧道近接施工对既有建筑物的影响且研究工作富有成效。但据笔者所知,建筑物施工对既有隧道影响的研究和工程实例则较为少见。本文以实际工程依托,分析新建建筑物产生的附加地基静力荷载对既有下伏隧道的围岩稳定性、结构安全性的影响。

1 工程概况

1.1 工程场址概况

该工程占地面积为 13 424.5 m²,总建筑面积为 54 035 m²。该场地地貌为剥蚀残山地貌,部分山体可见裸露基岩。地层条件依次为坡积粉质黏土,厚 0.4 m~3.5 m;花岗岩及其风化壳,厚 0.6 m~2.7 m。全风化岩石结构疏松,节理发育,中、细粒花岗岩风化物的颗粒较细,孔隙较小,结构较为密实。

1.2 既有下伏隧道概况

该隧道为分离式双向六车道隧道,长 1 570 m。隧道设计横断面为三心圆曲墙式断面,隧道净宽为 15.05 m。隧道场地地貌属丘陵地貌,地形呈现为起伏的波状,隧道选址线路从东至西穿越丘陵区,自然斜坡稳定,地质条件总体较优。在隧道施工过程中曾已下穿既有建筑物,未发生安全问题。

1.3 工程场址与既有下伏隧道位置关系

该工程场址综合楼学生公寓楼大部分位于既有下伏隧道顺出口方向右上方,大体沿隧道轴线方向延伸,具体位置关系见图 1。



图 1 工程场址与既有下伏隧道位置关系

根据相关设计资料以及图 1,将该工程场址与既有下伏隧道位置关系分为三种工况:

(1) 工况 1:该工程场址地表新建 27#综合楼与既有下伏隧道车行横洞和紧急停车带段,该段隧道围岩设计等级为 II 级,隧道最小埋深约 37 m,主洞衬砌形式为 Z7 型复合支护(如图 2 所示),车行横洞衬砌形式为 Z8 型复合支护(如图 3 所示)。

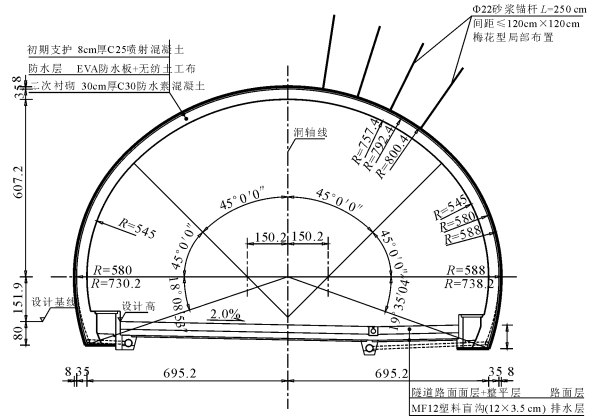


图 2 Z7 型复合支护构造(单位:cm)

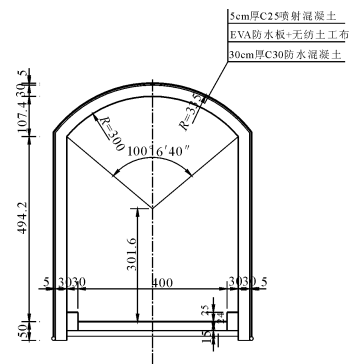


图 3 Z8 型复合支护构造(单位:cm)

(2) 工况 2:选取地表 31#行政楼与既有下伏隧道主洞段,该段隧道围岩设计等级为 II 级,埋深约 63 m,衬砌形式为 Z2 型复合支护(如图 4 所示)。

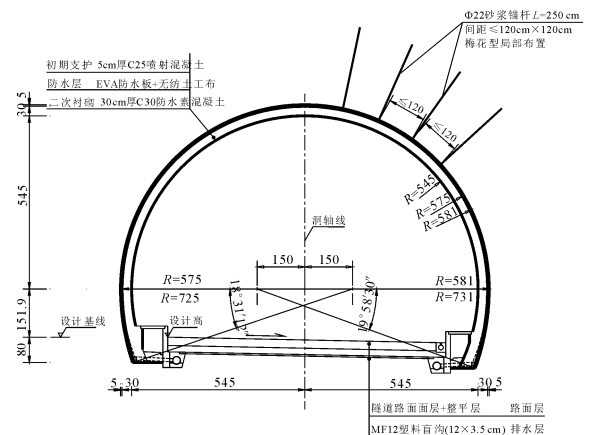


图 4 Z2 型复合支护构造(单位:cm)

(3) 工况 3:选取新区 27#综合楼与既有下伏隧道主洞段,该段隧道围岩设计等级为Ⅲ级,最小埋深约 37 m,主洞衬砌形式为 Z3 型复合支护(如图 5 所示)。

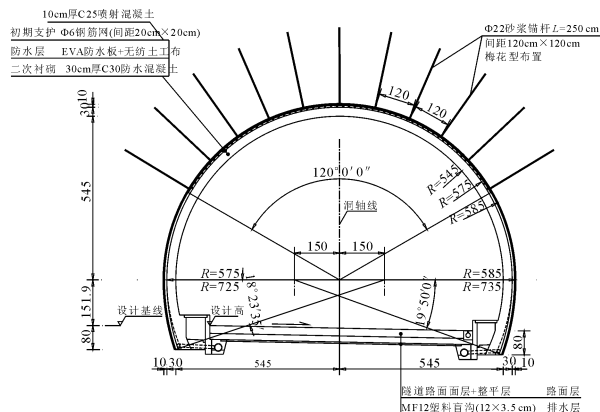


图 5 Z3 型复合支护构造(单位:cm)

2 数值模型建立

MIDAS/GTS 内含岩土及隧道专用程序,具有 12 种本构关系模型和用户自定义本构关系功能,还为用户提供了各种结构单元来模拟结构部分的作用。该软件的动力分析模块,具有简洁的界面、前后处理功能强大,采用时程分析法,能满足大部分岩土体的动态破坏模式,且计算结果相当安全。

根据静力分析原理和隧道相关设计资料,采用地层结构法进行静力分析,基于 MIDAS/GTS 有限元数值软件平台模拟隧道开挖、支护及地表施加建筑荷载的过程。在 MIDAS/GTS 平台上引入荷载释放系数来模拟隧道开挖过程中洞周初始应力在空间及时间上的作用效应。考虑到既有下伏隧道跨径较大,在规范^[16]规定的基础上,对Ⅱ级围岩主洞段,二次衬砌的开挖释放荷载分担比取为 10%,紧急停车带段取为 15%;Ⅲ级围岩主洞段,二次衬砌的开挖释放荷载分担比取为 15%。

2.1 车行横洞和紧急停车带地段数值模型

工况 1:基于 MIDAS/GTS 有限元软件建立三维有限元模型,如图 6 所示。模型共划分 6 305 节点,36 159 个单元,将隧道初期支护模拟为三角形板单元。在地表施加了面荷载以模拟地表建筑施工后的附加荷载,荷载强度为 120 kPa,施加面积为 2 571 m²。

2.2 Ⅱ级围岩主洞段数值模型

工况 2:基于二维平面应变原理建立有限元数值模型,围岩模拟为实体单元,初支与二衬采用二维

梁单元模拟,建立如图 7 所示的计算模型。地表施加均布荷载以模拟地表建筑施工后的地基附加静力荷载,荷载强度为 120 kPa。

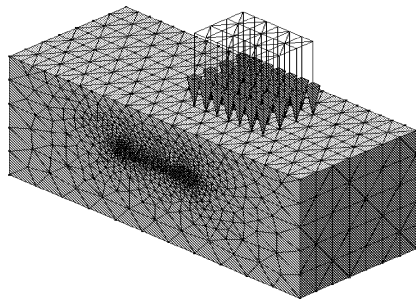


图 6 工况 1 三维有限元模型等轴测视

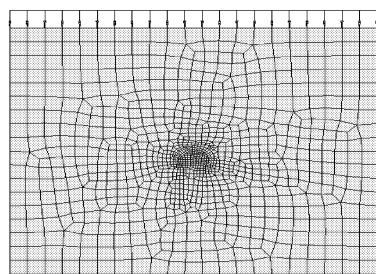


图 7 工况 2 有限元模型

2.3 Ⅲ级围岩主洞段数值模型

同样地,亦建立工况 3 下的二维平面应变有限元数值模型,以实体单元模拟围岩,以二维梁单元模拟初支及二衬,其计算模型如图 8 所示。同样在地表施加强度为 120 kPa 的均布荷载以模拟地表建筑施工后的地基附加静力荷载。

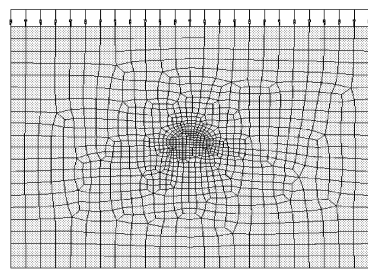


图 8 工况 3 有限元模型

2.4 模型参数选取

根据隧道相关设计资料及规范^[16]推荐的围岩基本物理力学参数,选定计算参数如表 1 所示。

2.5 模型边界条件设置

以上三种工况的模型中,将地表边界条件均设置为自由边界,而在其余各边界面添加法向位移约束。

表 1 计算材料力学参数

材料类型	弹性模量 E/GPa	泊松比 μ	内摩擦角 $\varphi/(\circ)$	黏聚力 c/kPa	重度 $\gamma/(kN \cdot m^{-3})$
Ⅱ级围岩	20.0	0.25	55	1800	26
Ⅲ级围岩	7.0	0.23	40	1000	24
初支 C20	21.0	0.20	—	—	24
初支 C25	23.0	0.20	—	—	24
二衬 C25	29.5	0.20	—	—	24

3 计算结果分析

在 MIDAS/GTS 数值软件平台模拟隧道开挖、支护及地表施加建筑荷载的过程,并得到竖向位移、二衬内力等指标以分析新建建筑物的地基附加静力荷载对既有下伏隧道的影 响。

3.1 车行横洞和紧急停车带地段

工况 1 下地表施加地基附加静力荷载前后的竖向位移、二衬内力等指标的数值分析结果如图 9—图 13 所示。

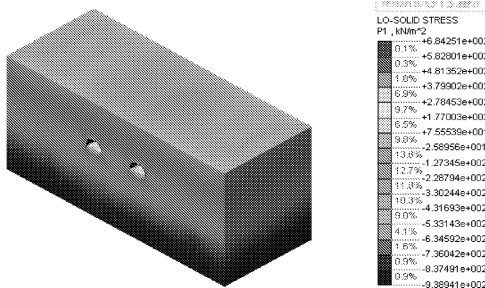


图 9 加荷后围岩第一主应力云图

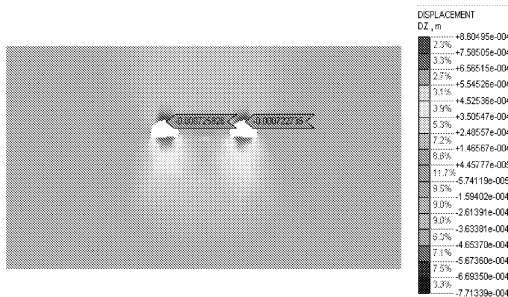


图 10 工况 1 地表加载前竖向位移云图

由图 9—图 13 结果分析可知,地表施加荷载后,围岩应力分布仍然处于弹性状态分布,其最大主拉应力值仅为 0.68 MPa,洞周围岩处于稳定状态。左右洞拱顶下沉增加极小,因附加荷载主要位于右洞上方,因此右洞位移增量略大于左洞;二衬最大主拉应力最小主压应力分别为 0.14 MPa、0.91 MPa,二者均远小于混凝土的抗拉、抗压强度。故新建建

筑物地基附加静力荷载对既有下伏隧道Ⅱ级围岩车行横洞和紧急停车带段的影响甚微,不影响该段正常使用。

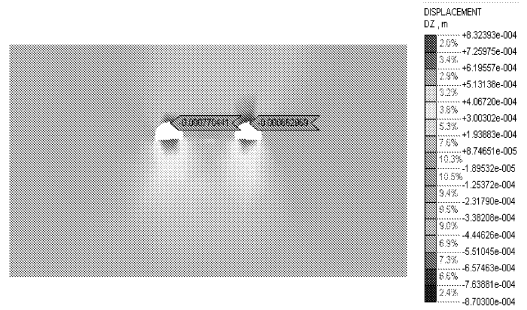


图 11 工况 1 地表加载后竖向位移云图

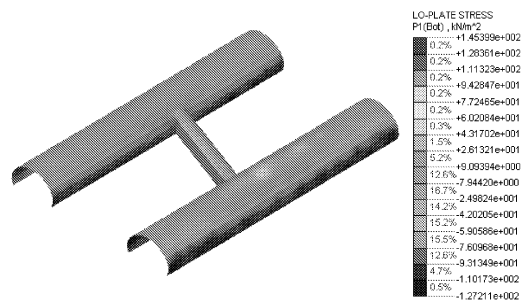


图 12 工况 1 二衬最大主应力云图

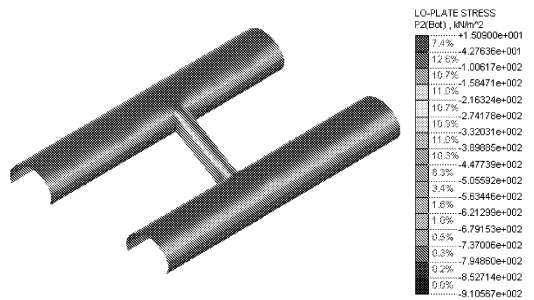


图 13 工况 1 二衬最小主应力云图

3.2 Ⅱ级围岩主洞段

工况 2 下地表施加地基附加静力荷载前后的竖向位移几乎不变,故不作分析。其二衬内力数值分析结果如图 14—图 16 所示。

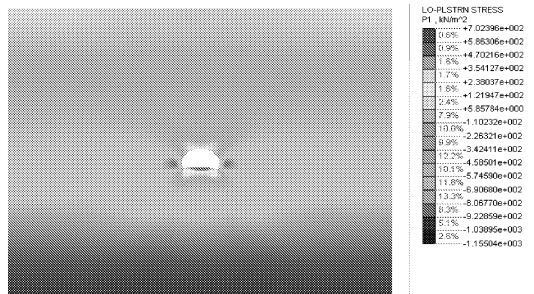


图 14 工况 2 围岩第一主应力云图

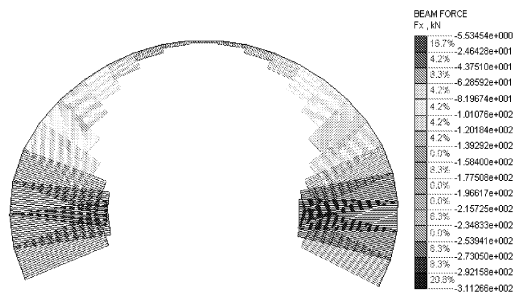


图 15 工况 2 二衬轴力云图

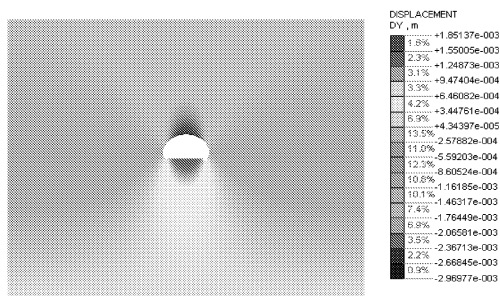


图 19 工况 3 地表加载后竖向位移云图

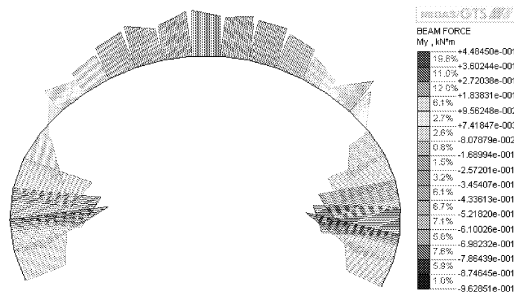


图 16 工况 2 二衬弯矩云图

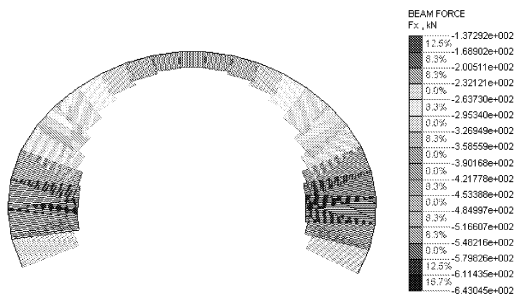


图 20 工况 3 二衬轴力云图

围岩在地表加载后仍处于弹性状态,最大拉应力值仅为 0.7 MPa,洞周围岩处于稳定状态。基于 MIDAS/GTS 软件的梁单元设计模块验算二衬轴力和弯矩,所有单元安全系数均大于 2.4。故对于 II 级围岩主洞段,新建建筑物地基附加静力荷载不影响隧道正常运营。

3.3 III 级围岩主洞段

同工况 1,工况 3 下的竖向位移、二衬内力等指标的数值分析结果如图 17—图 21 所示。

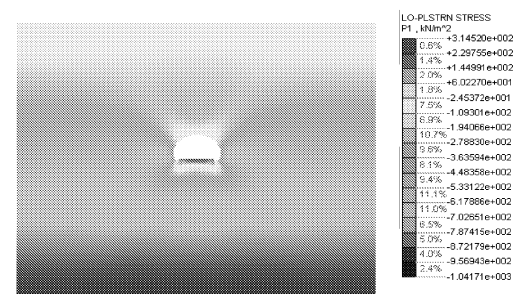


图 17 工况 3 围岩第一主应力云图

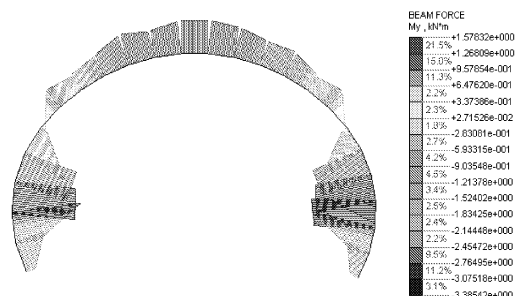


图 21 工况 3 二衬弯矩云图

从图 17—图 21 可知,地表加载后的围岩应力分布依然处于弹性分布状态,其最大主拉应力值仅为 0.31 MPa,洞周围岩处于稳定状态;拱顶下沉由 2 mm 增加至 3 mm;验算二衬的轴力和弯矩,其安全系数均大于 2.4。故新建建筑物地基附加静力荷载不影响 III 级围岩主洞段隧道正常运营。

4 结 论

本文采用 MIDAS/GTS 软件模拟研究新建建筑物地基附加静力荷载对既有下伏隧道的围岩稳定性、结构安全性的影响,得到如下结论:

- (1) 在数值分析中假设隧道围岩为连续的均质体,且围岩、初支和二衬紧密相连,但既有下伏隧道受新建建筑物影响段的围岩条件较好,故此假设对计算结果影响不大。

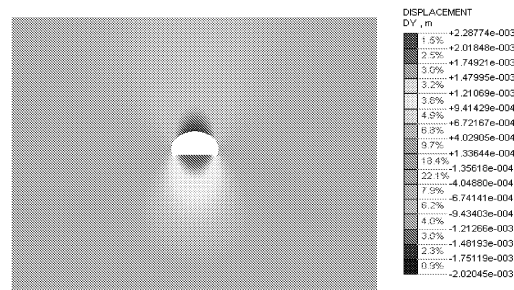


图 18 工况 3 地表加载前竖向位移云图

- [6] Hemmingway P, Long M. Energy piles: site investigation and analysis [J]. *Geotechnical Engineering*, 2013, 166 (6): 561-575.
- [7] Murphy K D, McCartney J S, Henry K H. Evaluation of thermo-mechanical and thermal behavior of full-scale energy foundations [J]. *Acta Geotechnica*, 2015, 10(2): 179-195.
- [8] Gao J, Zhang X, Liu J, et al. Numerical and experimental assessment of thermal performance of vertical energy piles: An application [J]. *Applied Energy*, 2008, 85 (10): 901-910.
- [9] Jung K, Chun B, Park S, et al. Test construction of cast-in-place concrete energy pile in dredged and reclaimed ground [J]. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, ASCE, 2015, 29(1): 1-11.
- [10] 刘汉龙,王成龙,孔纲强,等. U型、W型和螺旋型埋管形式能量桩热力学特性对比模型试验[J]. *岩土力学*, 2016, 37(S1): 441-447.
- [11] 黄旭,孔纲强,刘汉龙,等. 循环温度场作用下 PCC 能量桩热力学特性模型试验[J]. *岩土力学*, 2015, 36 (3): 667-673.
- [12] 张建伟,刘汉龙,丁选明. 粘性土中 PCC 桩水平极限承载力的简化计算方法[J]. *水利与建筑工程学报*, 2010, 8(4): 33-36.
- [13] 洪伟,杨凯,钱建,等. 能量桩传热性能影响因素的数值模拟与分析[J]. *水利与建筑工程学报*, 2017, 15(6): 101-105.
- [14] Gashti E H N, Uotinen V, Kujala K. Numerical modelling of thermal regimes in steel energy pile foundations: A case study [J]. *Energy and Buildings*, 2014, 69: 165-174.
- [15] Batini N, Rotta Loria A F, Conti P, et al. Energy and geotechnical behaviour of energy piles for different design solutions [J]. *Applied Thermal Engineering*, 2015, 86: 199-213.
- [16] 桂树强,程晓辉,张志鹏. 地源热泵桩基与钻孔埋管换热器性能比较[J]. *土木建筑与环境工程*, 2013, 35 (3): 151-156.

(上接第 199 页)

(2) 新建建筑物对既有下伏隧道将产生附加静力荷载。数值模拟结果表明:地表加载后,围岩仍处于弹性状态,其最大主拉应力值很小,洞周围岩处于稳定状态,新建建筑物对既有下伏隧道影响甚微,可忽略不计。

(3) 本文三种工况下,新建建筑物的地基附加静力荷载对Ⅲ级围岩主洞段工况的影响较其他两种工况大,故在类似工程研究中,建议将低等级隧道段围岩视为最危险断面,重点考虑低等级围岩段的应力、位移变化,以保证良好的结构相存性和施工安全性。

参考文献:

- [1] 巴放. 地铁车站基坑和区间隧道近接施工对地面建筑物影响分析 [J]. *水利与建筑工程学报*, 2017, 15 (5): 218-223.
- [2] 王晓锋. 超大直径盾构下穿地下管线的变形及其安全控制研究 [J]. *水利与建筑工程学报*, 2014, 12(1): 169-173.
- [3] 申文明. 地铁隧道下穿既有建筑物锚杆基础影响分析 [J]. *路基工程*, 2013, 169(4): 120-124, 129.
- [4] 覃卫民,赵荣生,王浩,等. 浅埋大跨隧道下穿建筑物的安全影响研究 [J]. *岩土力学与工程学报*, 2010, 29(S2): 3762-3768.
- [5] Wu L, Zhang X D, Zhang Z H, et al. 3D Discrete Element Method Modelling of Tunnel Construction Impact on an Adjacent Tunnel [J]. *KSCSE Journal of Civil Engineering*, 2020, 24(5): 657-669.
- [6] Shahin H M, Nakai T, Ishii K, et al. Investigation of influence of tunneling on existing building and tunnel: model tests and numerical simulations [J]. *Acta Geotechnica*, 2016, 11(3): 679-692.
- [7] 郭翔宇. 新建建筑物对下穿浅埋隧道影响研究分析 [J]. *公路*, 2016, 61(10): 261-263.
- [8] 张顶立,李鹏飞,侯艳娟,等. 城市隧道开挖对地表建筑群的影响分析及其对策 [J]. *岩土工程学报*, 2010, 32(2): 296-302.
- [9] 李君君,石文广,吕学科,等. 连拱隧道下穿既有建筑物爆破方案优化动力研究 [J]. *公路工程*, 2015, 40 (6): 165-169, 177.
- [10] 李围,何川. 盾构隧道近接下穿地下大型结构施工影响研究 [J]. *岩土工程学报*, 2006, 28(10): 1277-1282.
- [11] 陈智慧. 大跨隧道下穿建筑物施工方案对比分析及施工技术 [J]. *石家庄铁道大学学报(自然科学版)*, 2015, 28(2): 50-56.
- [12] 习淑娟,黄琳. 小净距隧道下穿既有建筑物稳定性研究 [J]. *铁道标准设计*, 2015, 59(6): 117-122.
- [13] 董继涛,程盼盼,陈国中,等. 软弱围岩隧道近距离下穿房屋施工控制技术 [J]. *铁道建筑技术*, 2017(2): 72-76.
- [14] 黄宝龙. 隧道下穿既有建筑物群沉降影响范围及影响程度分析方法浅析 [J]. *土工基础*, 2015, 29(1): 97-101.
- [15] 张团结,汪远平. 盾构下穿城市房屋施工风险与对策研究 [J]. *现代隧道技术*, 2015, 52(3): 211-215, 220.
- [16] 公路隧道设计细则: JTG/T D70—2010 [S]. 北京: 人民交通出版社, 2010.