

doi:10.3969/j.issn.1672-4348.2019.04.004

新建隧道施工对既有煤矿巷道稳定性影响

林礼华

(福建省交通规划设计院有限公司,福建 福州 350004)

摘要: 针对翠屏山隧道与翠屏山煤矿巷道交叉段的特殊工况,分析新建隧道施工对围岩和煤矿巷道变形和应力的影响,通过有限元数值模拟验证现场施工工法的可靠性。研究表明:隧道开挖引起下方巷道拱顶最大沉降量为 4.6 mm,仰拱最大隆起量为 0.7 mm;新建隧道开挖产生卸荷作用,巷道顶部受到上部土体的约束而产生压应力,最大主压应力为 1.85 MPa;隧道开挖前后最大主应力变化比例值最大值为 42%,位于新建隧道与既有煤矿交叉处;近接隧道施工时,交叉段内地质条件较差时,采用双侧壁导坑法施工,隧道开挖引起的围岩变形量较小,施工方法较合理。

关键词: 交叉隧道;围岩应力;巷道变形;施工方法;Midas/GTS NX 软件

中图分类号: TU457

文献标志码: A

文章编号: 1672-4348(2019)04-0326-05

Effects of new tunnel construction on the stability of existing coal-mine roadways

LIN Lihua

(Fujian Communications Planning & Design Institute CO., LTD, Fuzhou 350004, China)

Abstract: According to the special working conditions of the crossing section of Cuipingshan Tunnel and Cuipingshan Coal-mine Roadway, the effects of new tunnel construction on the deformation and the stress of surrounding rocks and coal-mine roadways were analyzed. The reliability of on-site construction method was verified by finite element numerical simulation. Results show that the maximum settlement of the tunnel roof caused by tunnel excavation is 4.6mm, and the maximum uplift of the inverted arch is 0.7mm. The excavation of the new tunnel creates an unloading effect, and the top of the roadway is constrained by the upper soil to generate a compressive stress and the maximum principal compressive stress is 1.85 MPa. The maximum value of the maximum principal stress change before and after tunnel excavation is 42%, which is located at the intersection of the newly built tunnel and the existing coal-mine. In the construction of adjacent tunnels, when the geological conditions in the intersection are poor, the double-side heading method is adopted, and the deformation of the surrounding rock caused by tunnel excavation is small, which proves that the construction method is reasonable.

Keywords: intersecting tunnel; stress of surrounding rocks; roadway deformation; construction method; Midas/GTS NX software

随着城市经济的发展,物流服务对商品配送间隔、配送速度等提出越来越高的要求,高速公路、铁路的运输压力随之增加。新建高速公路在遇到山岭时,只能通过修建隧道穿越山体,而很多山体蕴含大量的矿产资源,矿产通过小洞径巷道

被挖掘,不可避免地会遇到近接施工问题。新建隧道上穿既有巷道时,会对巷道周围土体产生二次扰动,致使巷道产生结构变形。如何确保新建隧道和既有巷道在施工和运营期间的安全,保障项目顺利推进,成为工程面临的普遍问题。

许多学者针对上述问题开展了相关研究,贾宝新等^[1]应用 FLAC^{3D} 软件模拟在不同覆土厚度、交叉角度的情况下,新建隧道对既有隧道的影响规律;陈卫忠等^[2]根据现场施工条件并通过数值计算,提出了新建隧道和既有隧道交叉段的合理施工工法;刘镇等^[3]分别研究了在均一土层、上软下硬地层以及长距离硬岩等三种复合地层下,新建盾构隧道正交下穿施工对既有隧道沉降的影响;陈建刚^[4]研究了近接隧道工程中两隧道间距、交叉角度、新建隧道洞径对既有隧道的变形和受力的影响;李磊等^[5]对上海地铁新建 11 号线与既有 4 号线形成四线叠交的特殊工况进行研究,得出既有隧道的变形集中在新建隧道中心线左右 2.5 倍盾构外径范围内;孙永等^[6]对不同埋深的既有隧道下方的土压力进行分析,并给出了近距离下穿既有隧道的盾构施工参数;申文明等^[7]对近距离接近隧道中土体、盾构管片以及既有隧道的相互作用机理进行研究,分析上跨问题的卸荷机理;张强^[8]通过分析城市新建铁路隧道开挖

卸荷对下方既有隧道的竖向变形影响,得到基于可靠性分析的开挖卸荷下既有隧道竖向变形控制值。

上述大多研究集中在新建城市盾构隧道对既有隧道结构、变形的影响,而对采用新奥法施工的山岭隧道上穿既有巷道时,巷道围岩应力、应变变化规律的研究较少。本文针对翠屏山隧道与翠屏山煤矿巷道交叉段的特殊工况,分析新建隧道施工对围岩和煤矿巷道变形和应力的影响,通过有限元数值模拟验证现场施工工法的可靠性。

1 工程概况

翠屏山隧道与已建翠屏山煤矿巷道交叉,交叉段位于皮带井上方,交叉角度 52°。交叉段翠屏山隧道右洞埋深约 35 m,左洞埋深约 25 m,左右洞净距约 21 m,由大里程方向往小里程方向施工。交叉段皮带井洞径 3.6 m,标高 398 m,如图 1 所示。

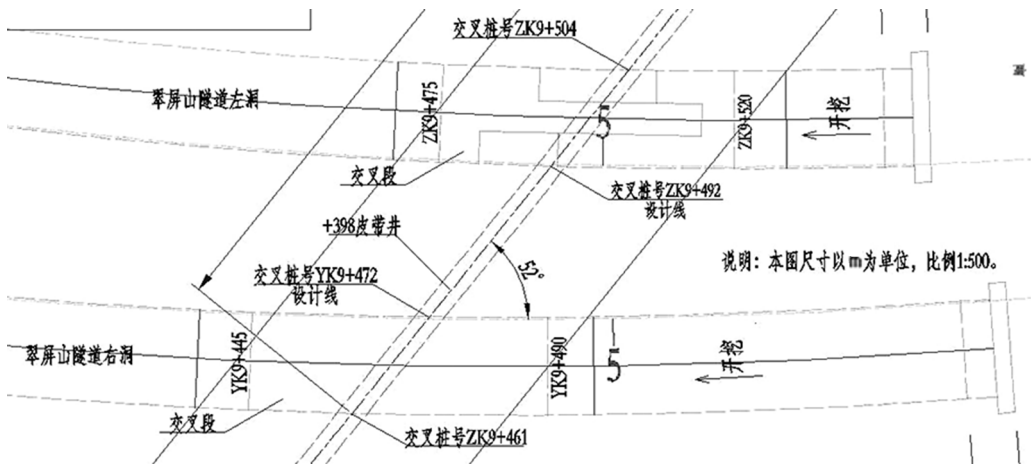


图 1 新建隧道与既有巷道交叉关系示意图

Fig.1 Schematic diagram of the intersection of a new tunnel and an existing roadway

根据翠屏山隧道地质勘探资料,新建隧道与煤矿巷道交叉位置穿越岩层为 V 级围岩,围岩为强风化~中风化粉砂质泥岩。裂隙极发育,岩体极破碎,呈散体~碎裂状结构,岩体基本质量指标修正值[BQ]<250;地下水主要为基岩风化层孔隙裂隙水,水量较小,自稳能力差,侧壁和拱部易发生大的坍塌,洞口仰坡不稳定,有偏压。翠屏山新建隧道交叉段采用复合式衬砌。

2 交叉段施工方法

2.1 开挖方法

翠屏山隧道与翠屏山煤矿巷道交叉段岩层为 V 级围岩,根据围岩特性以及施工机械配备情况,交叉段范围内采用双侧壁导坑法开挖,由于岩质较差采用机械开挖以减少围岩扰动。先对隧道两侧壁导坑进行开挖,及时施作初期支护及边墙衬

砌以形成闭合环,隧道拱部及下台阶和仰拱采用两台阶法进行开挖。

2.2 支护方式

(1)初期支护采用喷、锚、网、钢支撑支护:全环采用 C25 喷射混凝土(厚度 32 cm);拱墙(除中夹岩处)采用 $\Phi 25$ mm 中空注浆锚杆,长度 4.0 m,间距 0.8 m \times 0.8 m,梅花形布置;拱墙采用 A8 型钢筋焊接网,钢筋直径 $\Phi 8$ mm,间距 20 cm \times 20 cm;全环采用工 22b 型钢支撑,纵向间距 0.7 m。

(2)二次衬砌采用模筑钢筋混凝土结构:拱墙采用 C35 防水钢筋混凝土(厚度 55 cm,主筋 25 @ 10 cm,分布筋 16@ 20 cm),仰拱采用 C35 普通钢筋混凝土(厚度 55 cm,主筋 25@ 10 cm,分布筋 20@ 20 cm)。

2.3 注浆加固方案

交叉段的处理原则为“先开挖后加固”,注浆加固范围为隧道下半断面开挖轮廓线外 5 m;小导管采用 $\Phi 42$ mm \times 3 mm 热轧无缝钢管,长度 5 m,环向间距 1.0 m,纵向间距 1.0 m,梅花形布置。注浆材料采用普通水泥浆液,水灰比为 1 : 1。注浆压力(终压值)为 0.5 ~ 1.0 MPa。在注浆施工前,进行注浆试验,以调整注浆参数;在注浆施工中,及时做好施工记录,包括孔位、孔径、孔深、浆液配比、注浆压力、注浆量、跑浆、串浆等内容,并根据浆液扩散情况、注浆量、注浆压力等调整注浆参数^[9]。

3 三维有限元模拟

由于新建的翠屏山隧道与煤矿巷道较近,斜交角度为 52°,相交段受力施工力学形态较复杂,对翠屏山隧道上跨煤矿巷道段采用三维有限元分析新建隧道施工过程中围岩及煤矿巷道的位移及内力变化。

3.1 几何模型

以翠屏山隧道与煤矿巷道相交段为核心区域,纵向取 200 m,横向取 200 m,高度为原地表地形线,建立计算模型。岩土体采用理想弹塑性模型及摩尔-库伦破坏准则;支护结构采用弹性模型。对于新建隧道施工过程的动态模拟,用改变单元材料的方法实现。煤矿巷道和隧道开挖进尺均简化为全隧洞一次性开挖。

3.2 三维有限元网格划分

采用 3D 实体单元模拟岩体、板壳单元模拟

初期支护喷射混凝土。图 2、图 3 为剖分得到的三维有限元网格图^[10],共 50 970 个节点,242 752 个单元。



图 2 有限元网格图
Fig.2 Finite element mesh diagram

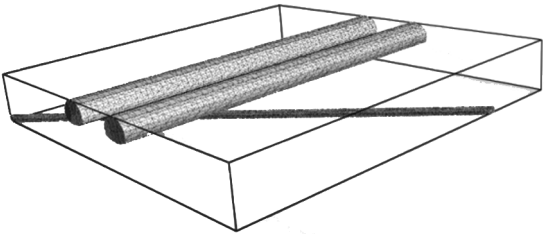


图 3 隧道交叉段有限元网格图
Fig.3 Finite element mesh diagram of tunnel intersection

3.3 地层和材料参数

隧道围岩力学参数参照《公路隧道设计规范》(JTG D70-2004)并结合翠屏山隧道地质勘察报告选取,围岩力学参数如表 1 所示,支护结构物理、力学参数如表 2 所示。

表 1 围岩力学参数指标
Tab.1 Index of the mechanic parameters of the surrounding rock

名称	$E/$ GPa	ν	$\gamma/$ ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	$C/$ kPa	$\Phi/$ ($^{\circ}$)
砂土状强风化 粉砂质泥岩	1	0.4	18	180	24
碎块状强风化 粉砂质泥岩	1.3	0.43	19	200	24

表 2 支护结构物理、力学参数

Tab.2 Physical and mechanical parameters of the support structure

名称	材料属性	E/ GPa	ν	厚度/ m	$\gamma/(\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$
主隧道初支	弹性	23	0.2	0.32	22
主隧道临时支护	弹性	23	0.2	0.24	22
巷道支护	弹性	23	0.2	0.25	22

3.4 边界条件与施工过程模拟

(1)边界条件

位移边界条件:限制岩土体四周水平方向的位移,模型底部约束其在竖直方向的位移,上表为自由边界。

荷载边界条件:施加自重荷载,并进行初始地应平衡。

(2)施工过程模拟

对隧道开挖、初期支护和二次衬砌施作的全过程进行模拟,并考虑在施工期间开挖引起荷载分步释放^[11]。本项目翠屏山隧道与交叉段为 V 级围岩,因此,基于安全考虑,仅模拟初期支护,开挖释放荷载由围岩、初支承担。根据相关规范,通过设置荷载释放系数控制每个阶段荷载释放比例,开挖结束时 70% 荷载得到释放,剩余 30% 荷载在初期支护施作完成后得到释放。

4 主要计算结果分析

本文采用位移、应力以及应力变化比例值三个指标探究新建隧道对既有煤矿巷道的影响。计算得到的主要结果如下,其中数值力的单位为 kN,长度单位为 m,应力结果以拉应力为正。

4.1 围岩及煤矿巷道变形

图 4 为最后施工步得到的围岩竖向位移云图。从图 4 可以看出,由于隧道开挖引起新建隧道拱顶以上围岩沉降以及仰拱以下围岩隆起,拱顶最大沉降量约为 12.1 mm,仰拱最大隆起量约为 12.4 mm,说明隧道开挖后,应力重分布使得拱顶下沉,拱底由于失去上部岩体荷载,出现了小幅度抬升^[2]。煤矿巷道顶部最大沉降量约为 4.6 mm,仰拱最大隆起量约为 0.7 mm。上方隧道开

挖卸载后,下方巷道上浮,拱顶受压而沉降,仰拱隆起,巷道净空收敛。

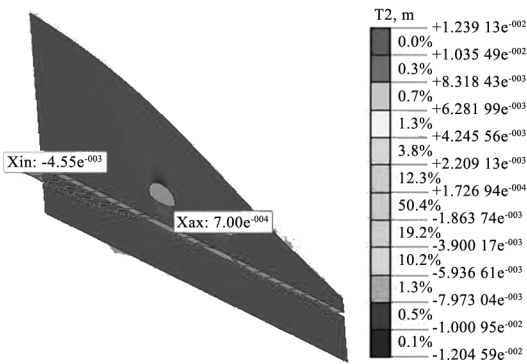


图 4 围岩竖向变形云图

Fig.4 Vertical deformation nephogram of the surrounding rock

4.2 围岩及煤矿巷道应力

图 5 所示为主隧道开挖后巷道顶部中线主应力值(每 10 m 取一点读值),从图 5 可以看出,煤矿巷道拱顶最大主压应力为 1.85 MPa,未出现拉应力,这是由于新建隧道开挖产生卸荷作用,巷道顶部受到上部土体约束而产生压应力^[12]。结合地勘报告,最大主压应力小于围岩的抗压强度,因此,隧道及煤矿巷道周边围岩整体上是稳定的,说明开挖方法是合理的。

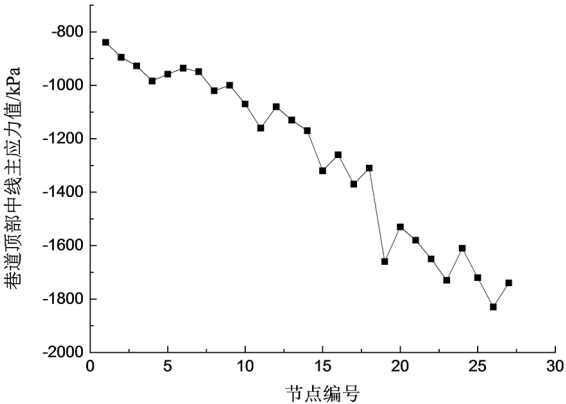


图 5 隧道开挖后巷道顶部中线主应力

Fig.5 Main line stress at the top of the roadway after tunnel excavation

4.3 开挖影响范围分析

主隧道开挖前后巷道顶部的最大主应力变化比例值(每 10 m 取一点读值)如图 6 所示,从图 6 可得出节点 10-13,15-18 范围的最大主应力变化比例值超出 10%,由此可得巷道受影响范围为

左洞中线外侧 20 m(节点 10)到右洞中线外侧 10 m(节点 18)之间。巷道与新建隧道呈一定角度斜交,左洞中心线与巷道净间距小于右洞,左洞开挖对巷道顶部围岩应力影响较大;巷道应力变化比例值在交叉处达到最大且左右对称。

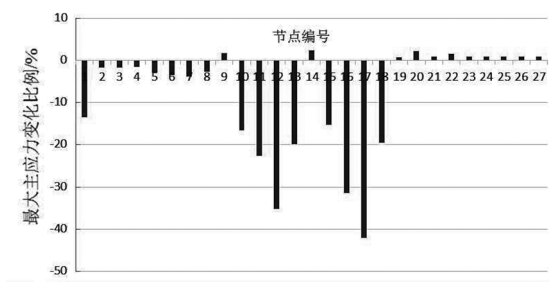


图 6 开挖前后的最大主应力变化比例值
Fig.6 Maximum principal stress change ratio before and after excavation

5 结论

对翠屏山隧道上跨既有煤矿巷道段进行数值模拟分析,并结合现场施工方法,研究了新建隧道对既有巷道变形和应力的影响,得出以下结论:

1)隧道开挖引起下方巷道拱顶最大沉降量为 4.6 mm,仰拱最大隆起量为 0.7 mm。上方隧道开挖卸载后,下方巷道上浮,拱顶受压而沉降,仰拱隆起,巷道净空收敛。

2)巷道最大主压应力为 1.85 MPa。新建隧道开挖产生卸荷作用,巷道顶部受到上部土体的约束而产生压应力。翠屏山隧道开挖完成后,翠屏山隧道支护结构和煤矿巷道周边围岩均未出现拉应力,全部为压应力,压应力最大值未超过支护结构的承载能力,结构较安全。

3)隧道开挖前后左洞下方巷道拱顶最大主应力变化比例值最大达到 42%,该段范围应加强监控并进行注浆加固。新建隧道引起的既有巷道围岩应力变化比例值随其间距的减少而增大,在交叉处达到最大且左右对称。

4)近接隧道施工时,对于该类地质条件下的交叉段内采用双侧壁导坑法,隧道开挖引起的围岩变形量较小,施工方法较合理。

参考文献:

[1] 贾宝新,贾志波,陈扬. 基于间距折减法浅埋小净距交叉隧道安全性分析[J]. 地下空间与工程学报, 2018, 14(2): 507-513.

[2] 陈卫忠,郑东,于建新,等. 交叉隧道施工对已有隧道稳定性影响研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2015, 34(S1): 3097-3105.

[3] 刘镇,房明,周翠英,等. 交叉隧道施工中新建隧道周围复合地层与间距对既有隧道的沉降影响研究[J]. 工程地质学报, 2010, 18(5): 736-741.

[4] 陈建刚. 上下交叉隧道近接施工对既有隧道的影响研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2017.

[5] 李磊,张孟喜,吴惠明,等. 近距离多线叠交盾构施工对既有隧道变形的影响研究[J]. 岩土工程学报, 2014, 36(6): 1036-1043.

[6] 孙玉永,周顺华,向科,等. 近距离下穿既有隧道的盾构施工参数研究[J]. 中国铁道科学, 2010, 31(1): 54-58.

[7] 申文明,赖世华,刘新科,等. 新建地铁隧道上跨既有地铁隧道的影响分析[J]. 路基工程, 2018, 12(4): 217-221.

[8] 张强. 开挖卸荷下既有地铁隧道的竖向变形及其控制研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2012.

[9] 臧万军,王钊. 象山隧道拓宽改造工程方案研究[J]. 福建工程学院学报, 2016, 14(6): 526-531.

[10] 王丽珊. 公路隧道施工对下方输水隧洞影响分析[J]. 福建交通科技, 2017(4): 150-152, 155.

[11] 赵勇博,吴波,王鸣涛. 盾构隧道下穿铁路群引起路基沉降的数值研究[J]. 福建工程学院学报, 2016, 14(4): 339-343, 355.

[12] 张鹏辉,吴波,杨思. 盾构隧道下穿引起铁路轨道沉降变形数值研究[J]. 福建工程学院学报, 2016, 14(4): 332-338.

(责任编辑:方素华)