

高速铁路浅埋大跨度隧道下穿公路施工安全性分析

潘晓明

(深圳市地铁集团有限公司, 广东 深圳 518026)

摘要:成都至贵阳客运专线南厂沟浅埋大跨度隧道下穿公路,重载车辆繁多,对隧道施工安全及道路行车安全造成威胁。采用FLAC^{3D}软件分别对无行车条件下和行车荷载作用下施工过程进行了数值模拟,对比分析了两种工况下的受力及变形,结果表明,行车荷载对该隧道施工影响较小。下穿施工过程及监测数据分析表明,南厂沟隧道下穿公路数值模拟是合理的,为顺利施工提供了有益指导。

关键词:浅埋大跨度隧道;下穿公路;行车荷载;南厂沟隧道

中图分类号:U455.4 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2015)09-0072-04

**Analysis on Construction Safety of Shallow Large-span Tunnel Passing through the Road for High-speed Railway/
PAN Xiao-ming** (Shenzhen Metro Group Co., Ltd., Shenzhen Guangdong 518026, China)

Abstract: In the construction of Nanchanggou shallow large-span tunnel which passed through the road for the passenger dedicated line of Chengdu to Guiyang, various heavy vehicles posed threat to the tunnel construction and road traffic safety. FLAC^{3D} was used for numerical stimulation of construction progress under the conditions of no traffic and with traffic load respectively to analyze the stress and deformation under the different working conditions. The results showed that the traffic load had little effect on the tunnel construction. The analysis on the tunnel passing process and the monitoring data show that the numerical stimulation of under-passing Nanchanggou tunnel is reasonable, which provides useful guidance for construction.

Key words: shallow large-span tunnel; under-passing road; traffic load; Nanchanggou tunnel

0 引言

随着交通建设的快速发展,近年来涌现了大量的铁路隧道下穿公路的工程。矿山法隧道开挖施工不可避免地对地层造成扰动,引起地层沉降^[1-4],极有可能对公路结构造成破坏。同时,公路行车荷载对隧道施工也会造成一定的影响^[5-6]。因此,下穿隧道施工与公路行车相互影响,而浅埋大跨度隧道与重载行车的相互作用将更为明显。分析隧道下穿施工对公路的作用及公路行车荷载对隧道施工的影响,对保证隧道施工及路面行车安全均具有重要意义^[7]。

本文针对成都至贵阳客运专线南厂沟隧道下穿公路,采用数值方法分析了隧道下穿施工与公路行车之间的相互作用与影响,并与下穿施工期间的监测数据进行了对比。

1 工程概况

成都至贵阳客运专线南厂沟隧道起讫里程

DK101+805~DK104+980,全长3175 m,为双线隧道,隧道进口段938.857 m位于R=9000的右偏曲线上,出口段2236.143 m位于直线上。隧道开挖断面140 m²,下穿段埋深13 m,为浅埋大跨度隧道。

隧道位于四川省宜宾县古柏乡,属四川省与云南省交界处,山地密林,邻近岷江,降雨量丰富,无强风,年平均气温22℃。隧道地处川南红层丘陵,围岩为白垩系上统高坎坝组(K₂gk)厚层至巨厚层泥质砂岩,泥质砂岩为粉细粒结构,泥质及钙质胶结,厚层状构造,岩层产状平缓,产状约N70°E/6°SW,层理面为最发育的结构面,结合程度一般,多为泥质充填;另外主要发育有一组次生结构面,其倾角约75°,结构面呈闭合状,多为泥质或钙质充填,结合程度一般;由于层面产状近水平,强度较低,再加上岩层中夹有软弱层,开挖在支护不及时的情况下可能导致掌子面上部及拱顶围岩发生掉块或坍塌。掌子面岩体主要为中—强风化砂岩,砖红色,锤击声不清脆,无回弹,属较软岩。

收稿日期:2015-04-11

作者简介:潘晓明,男,汉族,1979年生,从事岩土及隧道结构方面的研究工作,广东省深圳市福田区福中一路1016号地铁大厦,pxm155138@163.com。

公路为当地乡村公路,宽度为 4.5 m,隧道下穿段起讫里程为 DK101+975.8~995.2,长度为 19.4 m,且该段属浅埋段,最小埋深 13.68 m。

2 隧道设计支护参数及施工方法

2.1 隧道设计支护参数

隧道结构采用复合式衬砌,开挖断面为 148.2 m²,初期支护由喷射混凝土、钢架、锚杆及钢筋网组成,并超前小导管等辅助支护措施,充分调动和发挥围岩的自承能力。设计为 V 级围岩, V_c 型复合式衬砌类型,全环支护,具体参数如表 1 所示。

表 1 南厂沟隧道 V_c 型复合支护设计参数

支护段别	支护参数	
初期支护	中空注浆	直径/mm 22
	锚杆	长度/m 4.0
		间距/m 1.2(环)×1.0(纵)
超前支护	钢筋网/(cm×cm)	Ø8 mm, 间距 20×20
	钢架	I 20b 工字钢架, 间距 0.6 m
	C25 喷射混凝土/cm	拱、墙、仰拱, 厚度 28
临时支护	Ø42 mm 小导管	每环 38 根环向间距 40 cm
	钢架	I 18b 工字钢架, 间距 1.2 m
衬砌	C25 喷射混凝土/cm	厚度 20
	仰拱	C40 钢筋混凝土, 厚度 0.65 m
	仰拱填充	C20 混凝土
	二衬衬砌	C40 钢筋混凝土, 厚度 0.55 m

2.2 隧道施工方法

南厂沟隧道下穿施工便道区域采用超前小导管进行预支护,台阶法(设临时仰拱)开挖,分上下台阶开挖,开挖掘进两个工作面同时进行。开挖循环上台阶进尺控制在一榀钢架,下台阶进尺控制在两榀钢架,仰拱开挖控制在 3 m 内。

上部导坑、下导及仰拱采用控制爆破开挖,以保护围岩;各部之间的间距 3~10 m。各部开挖后及时封闭掌子面,喷、网、锚及钢架联合支护作业,施作临时仰拱。拱脚、下导墙角增设锁脚锚管,初期支护及时成环。各部实行平行作业。

台阶法设临时仰拱施工工序见图 1。

3 下穿施工三维数值模拟

3.1 计算模型

本文采用 FLAC^{3D} 软件进行下穿施工的三维数值分析^[8]。根据岩石力学原理,对于地下工程的结构分析围岩可选用 3 倍或以上洞径范围作为有限元分析的模型范围。本次计算,围岩选取范围以隧道

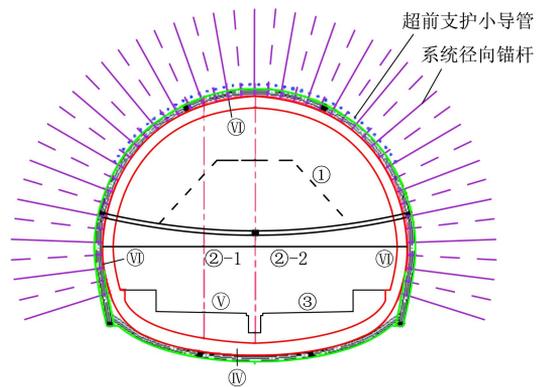


图 1 台阶法临时仰拱法施工工序

中线为基准,左侧、右侧延伸到 40 m;上部延伸到地表;下部延伸到隧道仰拱以下 30 m。隧道左右有水平约束,下部有垂直约束,前方和后方均有垂直其面的约束。计算中,用六面体实体单元及四面体实体单元模拟围岩,用壳单元模拟初期支护,用梁单元模拟临时仰拱。隧道计算模型中实体单元总数为 123614 个,总节点数为 131352 个(如图 2 所示)。

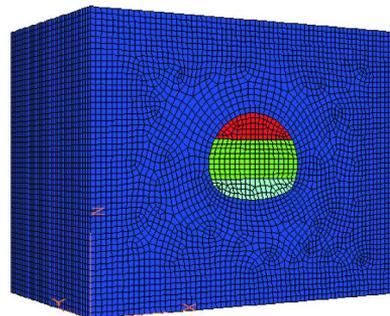


图 2 数值计算模型

3.2 参数及荷载取值

3.2.1 有限差分数值模拟计算参数

本次计算根据《铁路隧道设计规范》(TB 10003—2005)对围岩及不同标号混凝土的物理力学参数取值,对于初期支护及临时支护内的工字钢按等效刚度简化,隧道中墙内钢筋也按等效刚度进行简化。全部土层参数及等效后隧道支护物理力学参数详见表 2。

3.2.2 荷载计算方法

由于隧道下穿施工便道,因此应考虑上方重载货车荷载。根据《铁路隧道设计规范》(TB 10003—2005),计算施工便道混凝土路面永久荷载和汽车动荷载对隧道的竖向作用的荷载组合,假定汽车荷载在道路平面上的横向分布宽度为 2.5 m,可按下式进行计算:

表2 有限元分析材料参数

材料名称	弹模 E/GPa	泊松比 ν	粘聚力 c/MPa	内摩擦角/(°)	密度/ (kg·m ⁻³)	备注
土层一	0.006	0.41	0.006	6	1700	围岩
土层二	0.020	0.38	0.020	18	1900	围岩
土层三	0.040	0.34	0.015	25	2200	围岩
小导管加固围岩	20.00	0.20			2500	超前小导管
初支C25 砼	29.85	0.20			2500	初期支护
型钢	35.85	0.30			7850	临时仰拱

$$q = 10 + \frac{800}{2.5 \times 8} \times 1.35 = 64.2 \text{ kPa}$$

货车荷载以均布荷载的形式施加于地表面,方向垂直向下。

4 计算结果分析及施工建议

4.1 各施工步应力场

各分步开挖后,计算域内围岩应力分布情况如图3、图4所示。

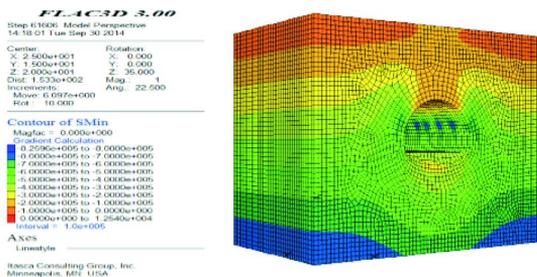


图3 隧道通过便道下方10 m后第三主应力

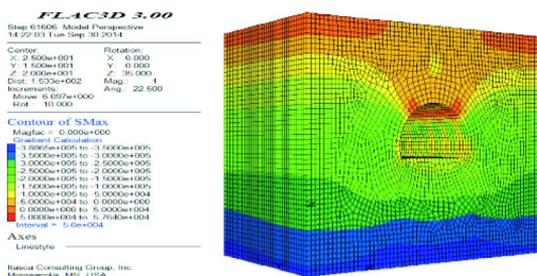


图4 隧道通过便道下方10 m后第一主应力

由以上各开挖步围岩第一、第三主应力分布情况可知,由于在隧道开挖之前进行了小导管注浆支护,小导管注浆支护对拱部围岩起到了很好的保护作用。在开挖过程中隧道周边围岩内没有出现大范围的应力集中现象。

4.2 各施工步位移场

隧道开挖引起的围岩位移能直观反映周围岩体变形情况,同时浅埋隧道施工必然会引起地表沉降。隧道通过施工便道下方10 m后,围岩位移场如图5

所示。

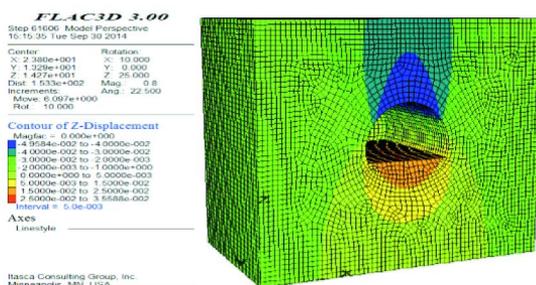


图5 隧道通过便道下方10 m后Z-disp云图

根据计算得到的竖向位移,最大拱顶沉降量为49.6 mm,最大地表沉降为17.6 mm。拱顶沉降量与地表沉降量均在设计控制值范围内。这说明初期支护及超前小导管起到了很好的超前预支护作用,有效地减缓了隧道开挖区地下下沉对地表的影响。

4.3 围岩塑性区分布

隧道掌子面通过施工便道下方10 m后围岩塑性区分布情况如图6所示。

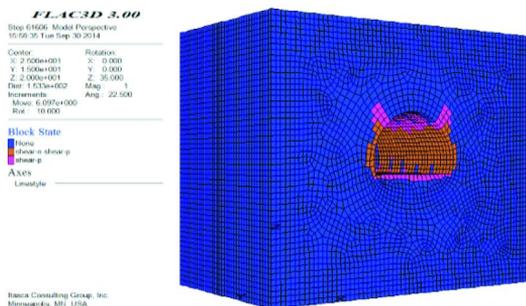


图6 隧道通过便道下方10 m后塑性区

从开挖后围岩塑性区可以看出,仅是在隧道轮廓周边出现了卸载作用引起的剪切破坏塑性区,但塑性区并未延伸发展甚至贯通,塑性区深度与体积较小,因此对施工安全影响不大。

4.4 地表下沉规律

根据设计工况及行车荷载计算得到的地表情况如图7所示,并与不施加行车荷载工况下的地表沉降进行对比。

从两种工况计算得到的地表沉降曲线可以看出,考虑行车荷载作用时,最大地表沉降为17.6 mm,不考虑行车荷载时,最大地表沉降为14.8 mm。因此行车荷载会对地表沉降造成一定影响,且隧道施工的地表沉降范围变大(图中沉降槽变宽),地表沉降量增加18.9%,但对施工安全的整体影响较小。

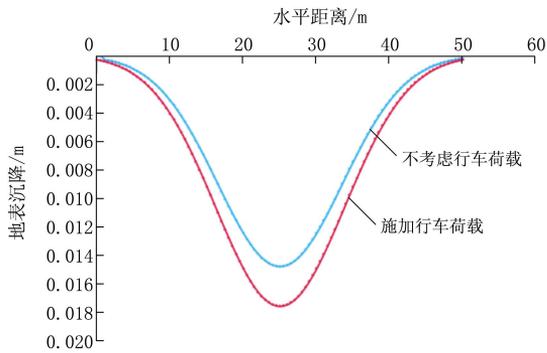


图 7 两种工况下地表横断面沉降曲线

综合上述分析,可以认为,该隧道下穿施工引起的地表沉降在安全范围内,行车荷载对隧道施工影响较小,可以正常施工。

5 下穿施工变形监测分析

下穿施工过程中,对地表沉降、拱顶下沉及净空收敛进行了监测。该段共设 5 组监控断面,选取地表沉降及拱顶下沉数据最大值的 DK101+985 断面为例。断面 DK101+985 拱顶下沉量稳定在 30 mm 左右,地表沉降量稳定在 10 mm 左右(参见图 8)。监测结果明显小于数值模拟结果,这是由于数值模拟考虑了开挖初期应力释放造成的围岩变形,而监测数据由于测点埋设的滞后性(初喷完成后)导致了沉降量变小。

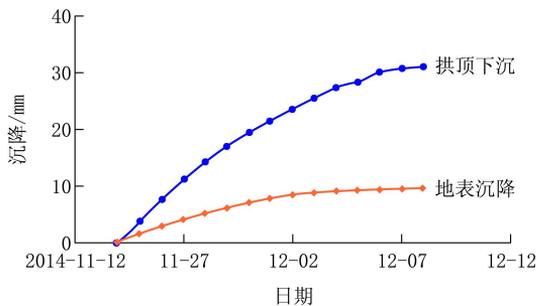


图 8 DK101+985 断面拱顶下沉与地表沉降

施工过程中拱顶沉降与地表沉降均在合理范围

内,隧道初支未出现明显变形,地表道路也未出现开裂现象。

6 结论

(1)数值模拟结果表明,考虑行车荷载时最大地表沉降为 17.6 mm,不考虑行车荷载时最大地表沉降为 14.8 mm。车辆通行条件下,隧道开挖引起的地表沉降变形会增大,沉降槽宽度也略有变宽,即行车荷载对隧道施工引起的地表变形存在一定影响,施工期间应加强对地表沉降的监测。

(2)从整体变形及应力分析结果来看,在行车荷载作用下,隧道施工过程中围岩周边仅有小范围土层出现塑性,地表沉降量增加较小,隧道施工产生的拱顶沉降和地表沉降均在安全范围内,行车荷载对隧道施工影响较小,可以正常施工。

(3)下穿施工过程中的拱顶下沉及地表沉降的监测值均在数值分析控制范围内,验证了数值分析的正确性。

参考文献:

- [1] 朱正国,黄松,朱永全. 铁路隧道下穿公路引起的路面沉降规律和控制基准研究[J]. 岩土力学,2012,(2):558-563.
- [2] 姚海波. 大断面隧道浅埋暗挖法下穿既有地铁构筑物施工技术[D]. 北京:北京交通大学,2005.
- [3] 袁竹. 矿山法隧道下穿铁路沉降影响分区研究[D]. 四川成都:西南交通大学,2010.
- [4] 李新志,李术才,李树忱. 浅埋大跨度隧道施工过程地表沉降变形特征研究[J]. 岩石力学与工程学报,2011,(S1):3348-3353.
- [5] 雷位冰. 温福铁路垱头岭隧道下穿公路隧道施工技术[J]. 地下空间与工程学报,2007,(4):758-764.
- [6] 张银屏,顾超瑜. 地面车辆荷载对浅埋隧道影响的分析方法[J]. 中国市政工程,2008,(S1):76-77.
- [7] 吴东鹏,杨新安,吴冲. 浅埋软弱隧道下穿重载道路变形规律与控制研究[J]. 华东交通大学学报,2014,(3):23-28.
- [8] 何亦舟. 隧道下穿高速公路段管棚预支护技术及其效应研究[D]. 安徽淮南:安徽理工大学,2014.