

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2017.02.019

车辆荷载对浅埋大断面隧道围岩的影响研究

罗红星^{1,2}, 但路昭^{1,2}, 秦雨樵³

(1. 云南省公路开发投资有限责任公司, 云南 昆明 650200;

2. 云南大永高速公路建设指挥部, 云南 大理 671000;

3. 中国科学院武汉岩土力学研究所 岩土力学与工程国家重点实验室, 湖北 武汉 430071)

摘 要: 依托在建的甸头隧道, 开展隧道开挖是否考虑初期支护下车辆荷载对围岩及大西二级公路的影响研究。结果表明: 隧道开挖引起隧道顶部及腰部发生沉降, 底部发生隆起, 初衬的施加可以有效抑制隧道周边围岩的变形, 且可减小车辆荷载对围岩位移的影响; 三台阶开挖时, 隧道中部开挖引起地表发生剧烈沉降, 初衬的施加可以减小地表的沉降, 减小车辆荷载对地表沉降的影响。因此, 无初支的情况下, 当公路有车辆通过时, 隧道整体变形较大, 路面可能由于差异沉降产生裂缝。

关键词: 车辆荷载; 浅埋隧道; 塑性区; 位移; 初期支护

中图分类号: TU443

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2017)02-0100-05

Influence of Vehicle Load on Large-section Tunnels in Shallow Rock Mass

LUO Hongxing^{1,2}, DAN Luzhao^{1,2}, Qin Yuqiao³

(1. Yunnan Highway Development & Investment Co., Ltd., Kunming, Yunnan 650200, China;

2. YunNan Dayong Highway Project Construction Headquarters, Dali, Yunnan 671000, China;

3. State Key Laboratory of Geomechanics and Geotechnical Engineering, Institute of Rock and Soil Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Wuhan, Hubei 430071, China)

Abstract: The ongoing project of Diantou tunnel was taken as an example in this research to analyze the influence of vehicle load on the surrounding rock and the road. The results show that: (1) Excavation leads to the subsidence of tunnel vault and waist as well as the uplift of the bottom part. The application of initial support can effectively restrain the deformation of surrounding rock of tunnel and reduce the displacement of surrounding rock caused by vehicle load; (2) The excavation of the middle of tunnel results severe surface settlement when using the three step excavation method. The application of primary support can reduce the surface settlement caused by vehicle loads and excavation. Therefore, the overall deformation of tunnel is larger under the traffic load without the primary support. Besides, the pavement cracks may emerge in this condition.

Keywords: vehicle loading, ; shallow tunnel; plastic zone; displacement; initial support

随着我国国民经济建设的发展和西部大开发战略的实施, 高速公路的建设正如火如荼。然而, 越来越多的高速公路需要穿过崇山峻岭, 隧道尤其是大断面隧道就不可避免^[1]。浅埋隧道是其与地表距离较浅, 上部覆盖层不足隧道洞跨2倍的隧道, 因此, 其围岩处于全风化或强风化状态。当浅埋隧道与上部公路立体交叉时, 由于交通荷载的作用, 由于围岩需要承受车辆所带来的震动荷载, 这对公路能否正常运营至关重要^[2-7]。对于浅埋隧道与上部公路立

体交叉情况下, 车辆荷载对隧道与公路的变形影响研究, 国内还很少见。

目前对于车辆荷载的等效研究如下: 陈志广^[8]通过对车辆荷载进行简化叠加, 对各种埋深情况下公路车辆荷载传递到隧道结构的压力进行了计算和分析, 研究了压力变化的规律; 皮映星^[7]根据相似理论通过缩小比例尺设计一个合理的浅埋隧道模型, 将交通荷载简化为一种恒载和一种正弦荷载的叠加进行分析; 张银屏等^[9]提出应用弹性半空间地基板

模型对汽车车辆荷载向下传播规律进行分析。

本文将以建设中的甸头隧道为依托,开展隧道在开挖完毕之后施加初衬和毛洞工况下,车辆荷载对隧道及其大西二级公路的变形影响。研究结果对于甸头隧道的后续施工具有重要的指导意义。

1 工程概况

1.1 工程简介

甸头隧道位于大理至宾川段高速公路一处正在修建的分离式隧道,总长约 1 400 m,其隧道净宽为 17.34 m,且左右幅隧道测中线距离为 28.21 m ~ 29.00 m,属于小净距大断面隧道。

该隧道一个重要特点在于与其上方的大西二级公路存在两处交叉段(见图 1)。在右幅隧道中,交叉处距地表 14 m,在左幅隧道中,交叉处距地表 10 m,属于近距离交叉工程。



图 1 甸头隧道空间位置情况

1.2 地质概况

为了准确认识隧道穿越二级公路附近的岩层状态,建立如图 2 所示的钻孔,进行地质情况的获取。

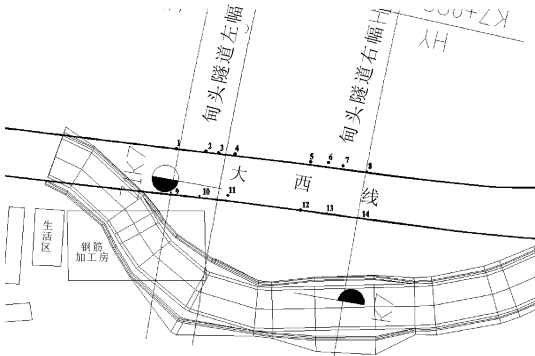


图 2 钻孔具体位置示意图

根据现场钻孔获取的岩芯,其土层描述如下:

历史填土:黄褐色、褐灰色,稍密,稍湿;地基承载力基本容许值 80 kPa;摩阻力标准值 30 kPa。

全—强风化玄武岩:岩体呈碎裂结构,极破碎,富水性较好。

强风化:灰褐色,隐晶细粒结构,块状构造;地基

承载力基本容许值 550 kPa;摩阻力标准值 200 kPa。

全风化:黄褐色、灰褐色,岩芯呈土状;地基承载力基本容许值 300 kPa;摩阻力标准值 80 kPa。

具体地层分界绘制如图 3 所示。

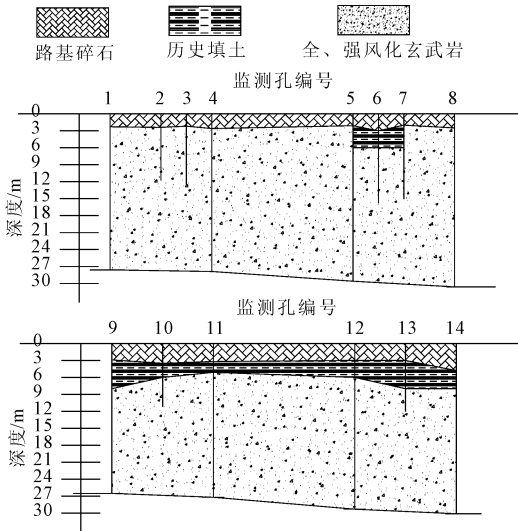


图 3 钻孔地质剖面图

因此,甸头隧道穿越段上覆岩层主要为人工填土、黏土层和强风化破碎玄武岩,覆盖层总厚度仅为 10 m ~ 14 m,岩(土)层十分软弱,加之该隧道为双向六车道,断面大,施工过程极易出现大变形、坍塌等灾害。

2 数值模型

2.1 计算方案

选取隧道与大西二级公路交叉位置建立平面有限元计算模型,模型横向范围左右各取 4 倍洞径,竖向范围向下取约 2 倍洞径。模型尺寸见图 4。

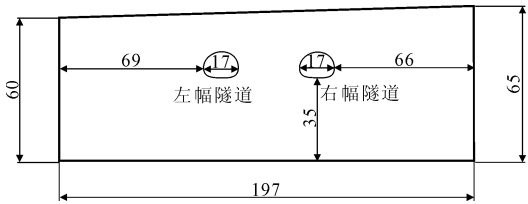


图 4 平面数值计算模型示意图(单位:m)

根据现场钻孔资料获取的地层信息,将隧道周边岩土体分为 3 种材料,从上而下依次为:碎石土、全风化玄武岩和强风化玄武岩。目前左幅隧道已开挖一段距离的上台阶,根据隧道顶部监测位移及现场开挖出路岩层情况,反分析玄武岩的参数,最终计算参数见表 1。建立的二维数值模型如图 5 所示。数值分析中模型侧边界和底边界法向约束,上表面自由。划分单元采用四边形平面应变单元,共计单元 14 611 个,节点 6 605 个。

表 1 工程区岩土材料材料参数

岩土名称	状态	天然密度 ρ /($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	黏聚力 c /kPa	内摩擦角 φ /(°)	弹性模量 /GPa	泊松比
人工填土	稍密	1.85	15	11	0.005	0.35
黏土	硬塑	1.90	35	17	0.010	0.35
玄武岩	全风化	1.85	100	22	0.050	0.30
玄武岩	强风化	2.20	100	28	0.400	0.30
管棚		2.60	1500	30	10.000	0.28
初衬		2.60	2000	40	20.000	0.20
二衬		2.60	2500	45	30.000	0.20

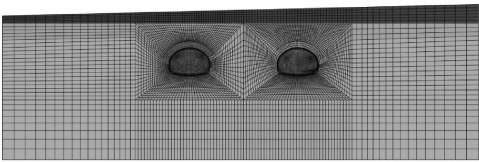


图 5 有限元模型图

2.2 车辆荷载的考虑

根据《公路桥涵设计通用规范》^[10] (JTGD60 – 2004),在计算涵洞等局部加载的情况下采用车辆荷载。对于车辆荷载,公路Ⅰ级和公路Ⅱ级汽车荷载采用相同的车辆荷载标准值,标准车辆重力标准值为 55 t,尺寸为 15 m×2.5 m^[11]。假定车辆超载时总荷重为 120 t,荷载传至碎石土层时已扩散均匀,则作用于地表的均布荷载为。

2.3 计算工况

现考虑三台阶法进行施工,并进行 2 种方案的

施工:

方案 1:有超前支护,有初衬。本次计算中考虑开挖的时候岩体应力释放率为 50%,施加初衬时释放 50%。

方案 2:有超前支护,无初衬。后续计算仅考虑开挖左洞,因为右洞的开挖对左洞的影响很小。

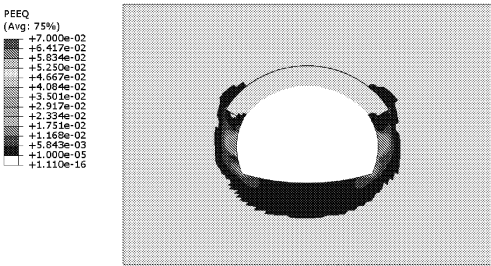
方案 1 的计算步骤:①地应力平衡;②管棚支护;③开挖上台阶;④施作上半断面初期支护;⑤开挖中台阶;⑥施作中断面初期支护;⑦开挖下台阶;⑧施作下半断面初期支护;⑨施加车辆荷载。

方案 2 的计算步骤:①地应力平衡;②管棚支护;③开挖上台阶;④开挖中台阶;⑤开挖下台阶;⑥施加车辆荷载。

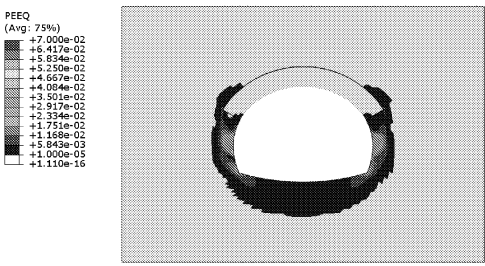
3 结果分析

3.1 隧道围岩塑性区分布

图 6 展示了两种方案下隧道开挖结束和时间车辆荷载下围岩塑性区的分布和扩展情况。可以看出:(1)隧道的顶部由于进行了超前支护,强化了围岩参数,因此塑性区主要集中在隧道的中部及下部;(2)方案 1 的情况下,车辆荷载的施加未引起围岩塑性区的扩展,方案 2 的情况下,施加车辆荷载后,围岩的塑性区在隧道顶部沿着超前支护边界扩展;(3)方案 1 的等效塑性应变最大值(0.07)是方案 2 (0.2)的 35%,这说明初支可以有效抑制塑性应变的大小和范围。

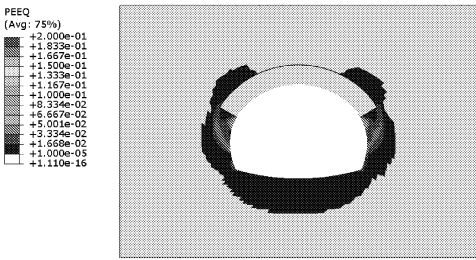


隧道开挖

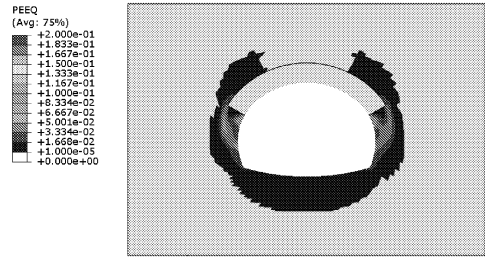


车辆荷载

(a) 方案1



隧道开挖



车辆荷载

(b) 方案2

图 6 隧道周边围岩塑性区分布

3.2 隧道位移变化

为了评价不同施工方案对围岩位移的影响,选取隧道的顶部、腰部和底部中点作为模拟过程中的监测点,如图 7 所示。位移变化过程如图 8 所示,图中横坐标反应的计算步数和 3.3 叙述的计算步骤一致。

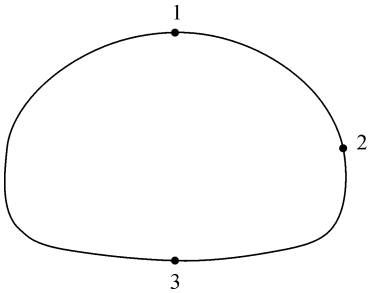


图 7 数值分析关键点示意图

从图 8 中可以看出,(1) 随着开挖过程的进行,隧道的顶部和腰部均出现沉降,底部出现隆起;(2) 车辆荷载的施加,使得隧道顶部和腰部位移继续增加,隧道底部位移出现减小的趋势;(3) 在方案 1 的情况下,隧道开挖引起隧道顶部沉降 1.3 cm,车辆荷载引起隧道顶部沉降 0.3 cm;在方案 2 的情况下,隧道开挖引起隧道顶部沉降 2.2 cm,车辆荷载引起隧道顶部沉降 1.0 cm。因此,初衬的施加可以有效抑制隧道周边围岩的变形,且可减小车辆荷载对围岩位移的影响。

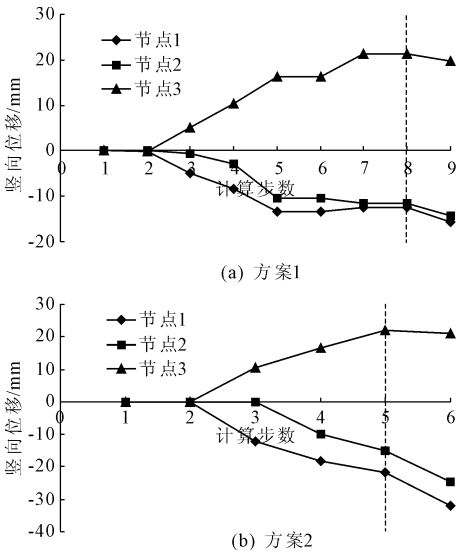


图 8 隧道顶部位移变化

3.3 地表位移变化

为了反映不同施工方案对路面沉降的影响,将开挖的岩体编号如图 9 所示。绘制不同施工方案下的路面沉降情况,如图 10 所示。

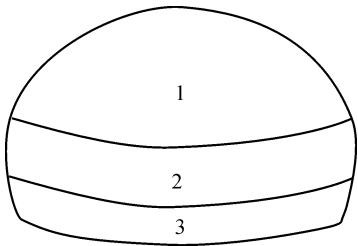


图 9 开挖岩体编号示意图

从图 10 中可以看出:(1) 三台阶法施工时,中部台阶的施工引起地表发生剧烈沉降;(2) 在方案 1 的情况下,隧道开挖引起地表最大沉降 1 cm,车辆荷载引起 0.9 cm;在方案 2 的情况下,隧道开挖引起地表最大沉降 1.7 cm,车辆荷载引起 1.5 cm。这说明初衬的施加可以减小地表的沉降,减小车辆荷载对地表沉降的影响。

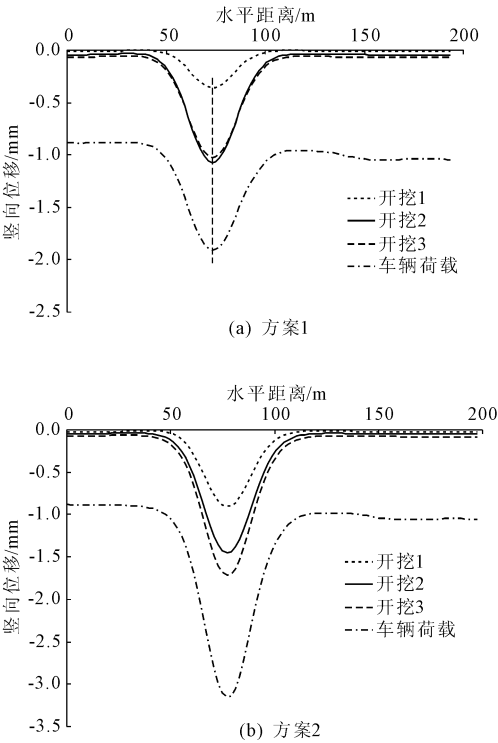


图 10 地表位移变化

3.4 方案 2 下的车辆荷载的影响分析

根据上述分析,在考虑无初期支护的情况下(有超前管棚支护),隧道开挖之后,隧道顶部最大位移为 2.2 cm,地表沉降最大值为 1.7 cm;施加车辆荷载引起隧道顶部位移增加 1.0 cm,地表沉降最大增加 1.5 cm。为了观察荷载的影响,采用分步加载的方式,观察其对地表及隧道顶部的影响,如图 11 和图 12 所示。

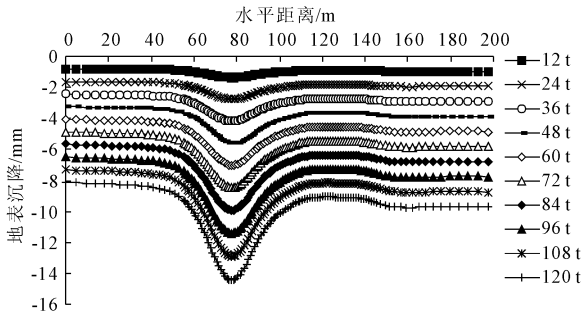


图 11 车辆荷载与地表沉降的关系

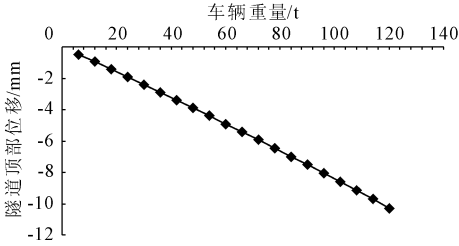


图 12 车辆荷载与隧道顶部位移关系

从图 12 中可以看出,车辆荷载引起地表和隧道顶部位移呈现线性增加的方式,未出现急剧增大的情况。且加载至 120 t 时隧道顶部位移增加 1 cm,小于隧道开挖引起的位移(2.2 cm);地表沉降和隧道开挖引起的数值基本一致。因此说明,在有超前支护无完整初期支护的情况下,当公路有车辆通过时,隧道整体变形较大,路面可能由于差异沉降产生裂缝。建议开挖之后需要及时跟上初期支护,尽量减小车辆对隧道位移的影响,以保证隧道的正常施工。

4 建 议

(1) 严格按照设计方案施工,切实落实管棚施作和注浆质量,保证初支施工质量,同时加强施工期观测,及时预警。

(2) 建议短进尺、多轮次爆破开挖(建议一次进尺 0.6 m,最大不超过 1.2 m),减少单次爆破炸药用量,开挖之后需要及时跟上初期支护,待初衬达到设计强度后再开始下一轮次的爆破开挖。

(3) 若下穿施工过程中隧道变形突增或累积变形过大,则建议隧道暂缓施工,对隧道变形过大区段进行补强支护,待隧道变形稳定且不再增加后再考虑继续施工。

5 结 论

本文依托在建的甸头隧道,开展隧道开挖后有无初期支护时,公路有车辆通过时对隧道围岩的影响,结果如下:

(1) 超前支护强化了隧道顶部的围岩强度参数,开挖使得围岩塑性区主要集中在隧道腰部及底部。有初衬的情况,车辆荷载未引起塑性区变化。无初衬的情况,车辆荷载使得塑性区在隧道顶部沿着超前支护边界少量扩展。

(2) 当隧道开挖时考虑超前支护和初支时,在隧道开挖完毕之后,隧道顶部沉降 1.3 cm,地表最大沉降 1 cm;施加车辆荷载(考虑 120 t)后,隧道顶部位移增加 0.3 cm,地表最大沉降增加 0.9 cm。因此,采用当前支护设计方案,隧道施工不会导致隧道的垮塌,但会引起隧道的沉降变形增加,因此,施工时应保证初支的施工质量,并加强隧道施工期观测,及时预警。

(3) 当隧道开挖时考虑超前支护但无初支时,在隧道开挖完毕之后,隧道顶部沉降 2.2 cm,地表最大沉降 1.7 cm;施加车辆荷载(考虑 120 t)后,隧道顶部位移增加 1 cm,地表最大沉降增加 1.5 cm,车辆荷载从 0 逐渐增加至 120 t 中,位移变化是线性的,未出现突变。综合判断该种工况下,当公路有车辆通过时,隧道整体变形较大,路面可能由于差异沉降产生裂缝,隧道初支有开裂、失效风险。

参考文献:

- [1] 王 辉,陈卫忠,陈培帅,等.浅埋大跨小净距隧道断面形态及合理间距的优化研究[J].岩土力学,2011,32(S2):641-646.
- [2] 皮映星.交通荷载下浅埋隧道围岩和衬砌工作性能研究[D].株洲:湖南工业大学,2011.
- [3] 邵珠山,范艳国,王新宇.行车荷载对浅埋黄土隧道稳定性的影响研究[J].应用力学学报,2016,33(2):299-306.
- [4] 刘 玲,余小利.非对称地表荷载对浅埋大断面隧道影响分析[J].重庆建筑,2012,11(5):15-20.
- [5] 陈汝先,刘天亮.地表面交通荷载对浅埋隧道施工影响的研究[J].河南科技:上半月,2010(12):10-11.
- [6] 黎 冰,高玉峰,魏代现,等.车辆荷载的影响深度及其影响因素的研究[J].岩土力学,2005,26(S1):310-313.
- [7] 皮映星.交通荷载下浅埋公路隧道衬砌的数值分析[J].科学咨询,2013(48):77-78.
- [8] 陈志广.铁路隧道下穿公路受力分析研究[J].铁道勘察,2013(3):40-44.
- [9] 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):1-3.
- [10] 中华人民共和国交通运输部.公路桥涵设计通用规范:JTGD60-2015[S].北京:人民交通出版社,2004.
- [11] 姚玲森.桥梁工程[M].北京:人民交通出版社,2008.