

短天窗点间隔临近既有隧道导洞微振爆破研究

文勇

(中铁十八局集团有限公司, 天津市 300222)

摘要:隧道在爆破施工时可能会对临近既有隧道产生爆破振动甚至结构开裂等不利影响,威胁既有铁路的安全运营。为克服新苔井山隧道爆破施工时面临的既有运营线天窗点间隔短、日循环进尺小等难题,提出一种短天窗点间隔临近既有隧道先行导洞微振爆破方案指导现场施工,同时通过采用数值模拟与现场监测相结合的方式,对不同进尺下既有苔井山隧道各点的振速及主应力分布情况进行分析。结果表明:在满足微差爆破振速限值 3 cm/s 的条件下,临新建隧道爆破施工的最大合理进尺为 1.6 m ;采用合理进尺进行爆破施工时,迎爆侧第一主应力在拱腰处最大,为 1.255 MPa ,未超过C25混凝土的极限抗拉强度标准值(1.78 MPa)。采用分天窗爆破方案可以有效控制爆破振动,加快施工进度,为类似工程提供借鉴。

关键词:临近既有隧道;短天窗点;微振爆破;振速;主应力;最大合理进尺

近距离爆破产生的爆破振动可能会引起既有隧道衬砌结构开裂,对其安全性产生很大的影响。在既有运营铁路隧道正常运行的条件下,新建隧道若要进行爆破开挖施工作业,一方面要确保既有运营线铁路隧道及行车安全;另一方面,新建隧道可利用的爆破施工天窗时间间隔短,而常规爆破作业方法无法同时保障上述两方面要求。因此,有必要提出短天窗点间隔临近既有隧道先行导洞微振爆破网络,即分天窗爆破方案,以解决现有爆破方案振动影响大、施工进度慢、施工成本高等问题。

闫军等通过温州绕城高速公路横山隧道开展现场振动测试,掌握了小净距隧道爆破对邻近隧道二衬结构的影响规律;仇文革等采用LS-DYNA显示动力分析,研究了引水隧洞钻爆法下穿施工对既有铁路隧道的的影响,认为单段起爆药量、监测点位置与爆源的距离对既有隧道的的影响大小具有直接的关系;朱正国等以南京地铁小净距隧道为例,通过对确保小净距先行隧道安全稳定的后行隧道爆破施工技术的,得到了先行隧道衬砌振速随施工过程进行的变化规律;为解决连拱隧道爆破施工对相邻断面二次衬砌造成的影响,周建春等通过开展爆破振动监测和基于衬砌结构安全的现场评估,提供了相应的施工工序优化技术指导现场施工。

尽管国内外学者在爆破荷载施加、爆破振动、爆破

应力传播规律、隧道衬砌结构爆破振动安全准则等方面取得了一系列成果,但是对于短天窗点间隔条件下的先行导洞微振爆破方案却未有研究。因此,该文利用有限元软件对采用此种爆破方案不同进尺下衬砌结构的振速及主应力进行分析,以此验证采用此方案的安全性及合理性。

1 工程概况

福州至平潭铁路新苔井山隧道左、右线均为单洞单线隧道,位于福厦线既有苔井山隧道两侧。左线隧道距既有运营铁路隧道 $16\sim 35\text{ m}$,其中最大埋深约 78.7 m ,全长 $2\,243\text{ m}$;右线隧道距既有运营铁路隧道 $8.3\sim 30\text{ m}$,其中最大埋深约 75.5 m ,全长 $2\,295\text{ m}$,且新建隧道与既有隧道间存在 $1\sim 4\text{ m}$ 的高差,新建隧道与既有隧道断面关系如图1所示。

2 临近隧道爆破施工数值模型

2.1 爆破施工方案的设计

为不影响既有线正常运营,爆破需在其天窗期进行,既有天窗期分为两个,且间隔时间较短。短天窗点间隔临近既有隧道先行导洞微振爆破炮孔布置如图2所示。其中,隧道工作面中部设有先行导洞炮孔,周

收稿日期:2019-11-17(修改稿)

基金项目:国家自然科学基金资助项目(编号:11662007);甘肃省建设科技攻关项目(编号:JK2018-33)

作者简介:文勇,男,大学本科,工程师。E-mail:30539286@qq.com

边设有扩挖炮孔、解压炮孔和周边炮孔,底部设有底部炮孔。爆破施工作业过程包括:在天窗期之前完成炮孔布设和钻孔作业,再分别利用两个天窗期,对待挖隧道进行填药布置和爆破。在运营隧道处于第 1 个天窗期(00:00~00:30)时,对隧道中部的先行导洞炮孔(A 部分)实施爆破;在运营隧道处于第 2 个天窗期(04:00~04:30)时,对隧道周边的扩挖炮孔、解压炮孔、周边炮孔和底部炮孔(B 部分)进行爆破。

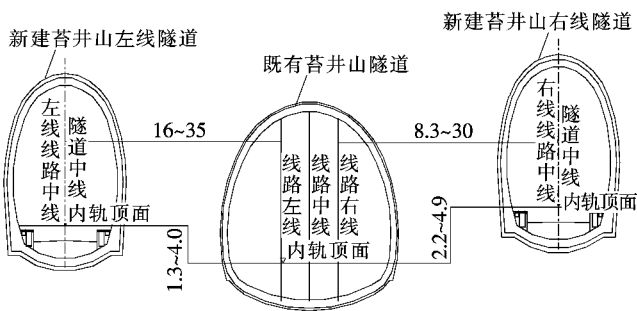


图 1 新建隧道与既有隧道断面关系图(单位:m)

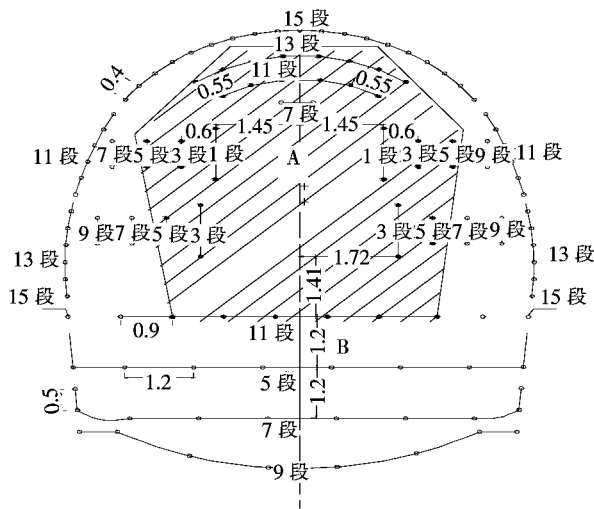


图 2 爆破炮孔布置图(单位:m)

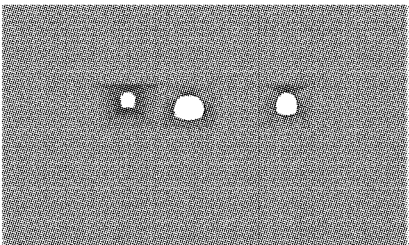
2.2 模型的建立

左线距离既有线最近处结构净距为 11.51 m,其相对应的右线与既有线净距为 29.955 m,故选取此断面来研究左线隧道爆破施工对既有隧道的不利影响。分析过程中为了弱化边界对数值模拟的影响,模型左右及上下边界分别取 3~5 倍隧道洞径。最终整个模型尺寸长度 138 m,高度 84 m,左线隧道内轨顶面高于既有隧道内轨顶面 1 m。为避免爆破地震波在边界处反射,在建立模型过程中对边界施加黏弹性边界条件。不同天窗起爆区模型如图 3 所示。

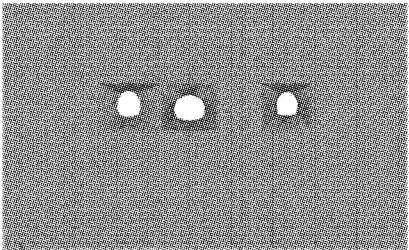
2.3 材料及参数的选取

模拟所选取的分析对象主要地层有 3 层,围岩等

级为Ⅲ级,隧道衬砌为 C25 整体式混凝土。围岩、衬砌的物理力学参数如表 1 所示。



(a) 第 1 个天窗起爆区(先行导洞区)整体模型



(b) 第 2 个天窗起爆区(扩挖区)整体模型

图 3 不同起爆区整体模型

表 1 围岩、衬砌的物理力学参数

材料	弹性模量/ GPa	泊松比	密度/ (kg·m ⁻³)	内摩擦角/ (°)	黏聚力/ kPa
人工填土层	1.2	0.342	1 912	18.8	35
卵石土	1.5	0.342	2 000	15.0	20
花岗岩	15.0	0.208	2 300	25.0	45
既有隧道衬砌	36.0	0.160	2 580		
新建隧道衬砌	36.0	0.160	2 580		

3 爆破对既有隧道衬砌结构的振速影响分析

爆破药量是控制振动速度的重要条件,对于安全运营有着重要意义,且当实际爆破药量小于计算药量时,现场监测爆破振速均不超过控制值。所以为控制既有隧道衬砌的爆破振动速度,左线施工采用的是小进尺,因为施工进尺越大,爆破荷载就越大,爆破振速也就越大。故根据现场情况分别选取 1.4、1.5、1.6、1.7 m 共 4 种不同进尺进行分析,以找到同时满足施工进度要求及振动速度限制的最优合理进尺。分析结果主要考虑应力及振动速度两方面。

3.1 不同进尺爆破荷载计算

对于爆破荷载的计算,以往研究采用的计算方法

多适用于单孔或者集中装药的情况,而没有将整个爆破面的所有炮孔荷载考虑在内。为使计算结果更加符合现场实际情况,此次计算将整个爆破面考虑在内,并且将掏槽孔与非掏槽孔的荷载计算分开进行。在目前的研究中,关于爆破荷载的简化最主要有两种方式,分别为指数形荷载曲线和三角形波形加载。依据爆破荷

载简化理论,爆破荷载可以按照段位不同简化为相应的三角形荷载。第 1、2 个天窗起爆区爆破荷载可以按照炸药段位简化为 6 个三角形荷载,爆破荷载直接作用在隧道开挖轮廓线上。

不同进尺第 1、第 2 起爆区爆破荷载如图 4 所示。

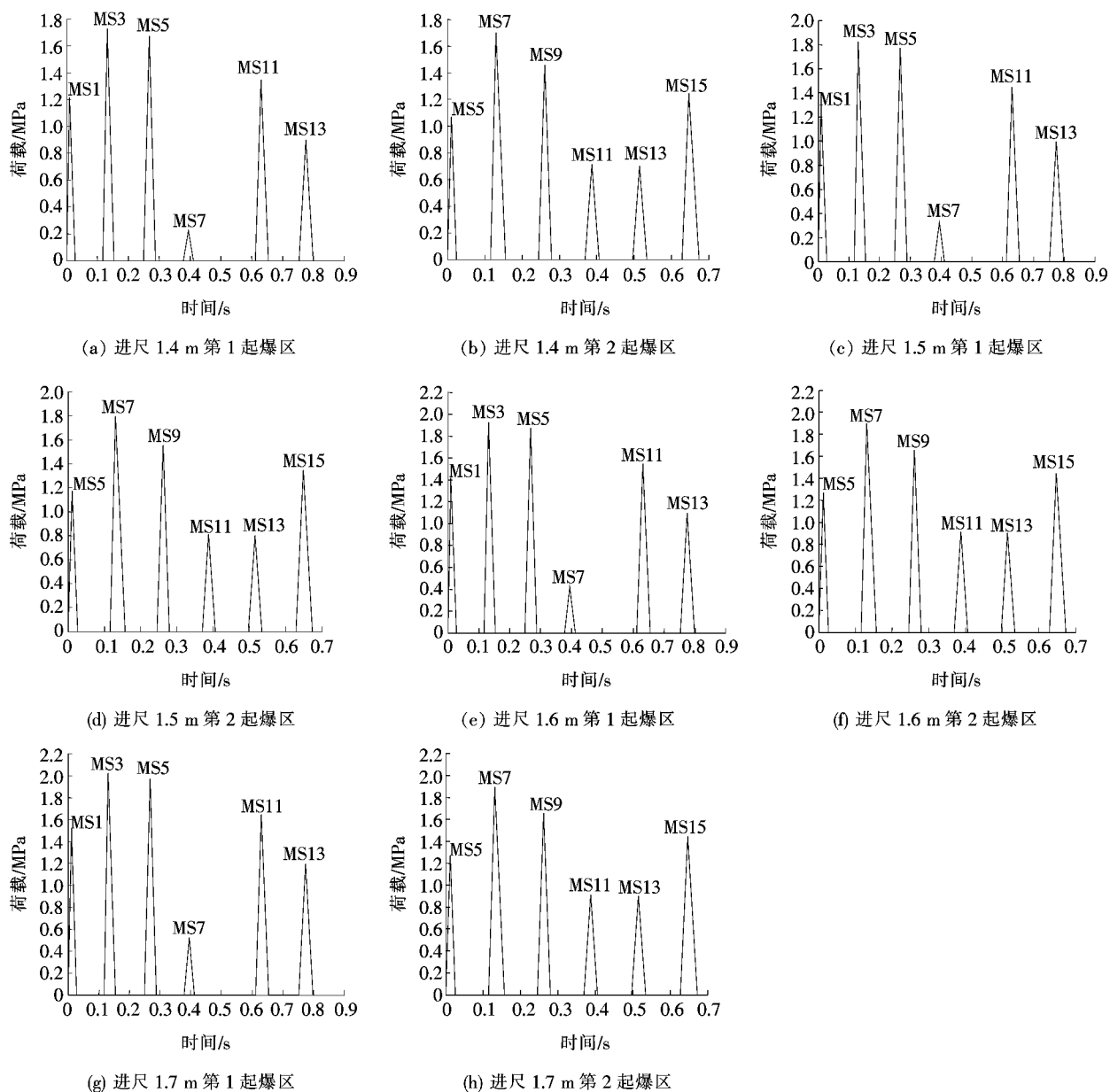


图 4 不同进尺爆破荷载时程曲线

3.2 监测点位置

根据上述不同进尺所对应的爆破荷载及相应模型,对不同工况进行分析,监测点位置如图 5 所示。

3.3 不同进尺下的各监测点振速

不同进尺下的各监测点振速如图 6 所示。

对比分析不同进尺第 1 起爆区及第 2 起爆区振动速度值,可以看出 4 种工况下第 1 起爆区各关键点水平方向及竖直方向的振速都要大于第 2 起爆区,说明第 1 起爆区爆破对既有隧道衬砌的影响更大;迎爆侧的振速峰值要明显大于背爆侧振速峰值,且迎爆侧最

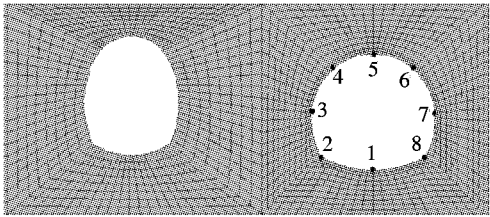


图 5 监测点位置

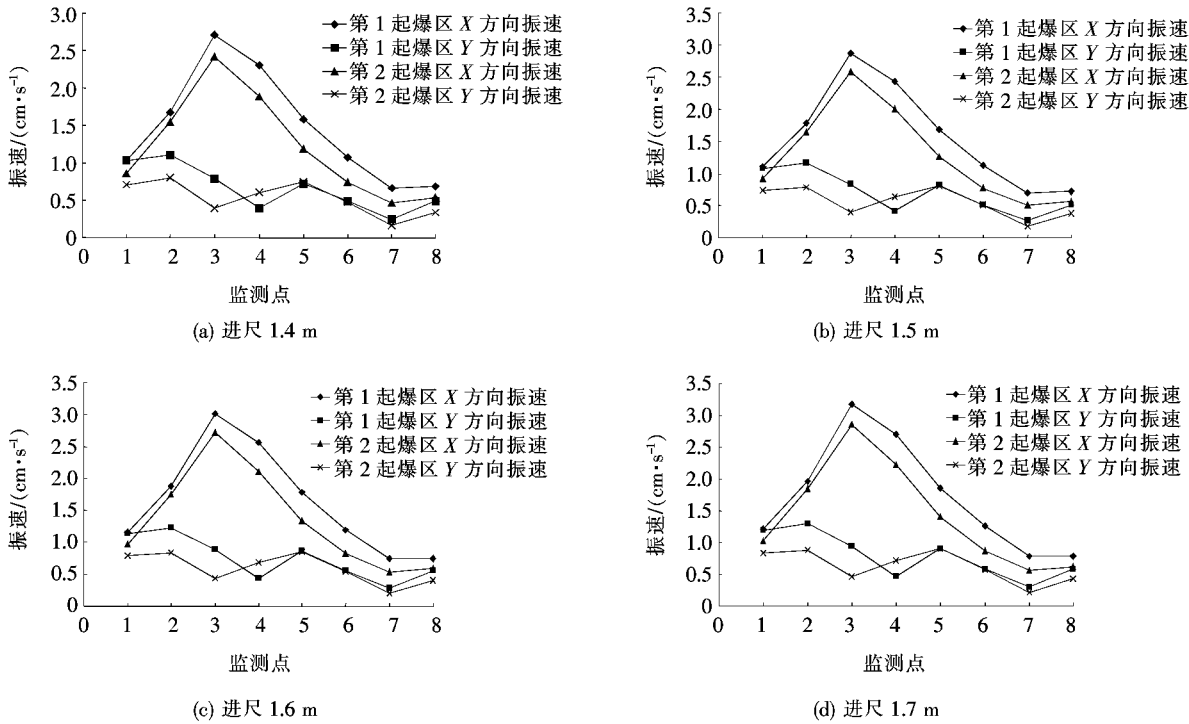


图 6 不同进尺下的各监测点振速图

速已达到 3.18 cm/s,超过该工程微差爆破最大振速限值 3 cm/s,故选取 1.6 m 作为合理进尺。

3.4 各监测点振速实测数据

X、Y 方向最大振速数值模拟值与现场最大振速实测数据对比结果见表 2。

表 2 数值模拟与现场监测最大振速对比

进尺/ m	X 方向/(cm·s ⁻¹)		Y 方向/(cm·s ⁻¹)	
	模拟值	实测值	模拟值	实测值
1.4	2.75	2.71	1.10	1.09
1.5	2.87	2.85	1.17	1.15
1.6	3.02	2.97	1.23	1.22
1.7	3.18	3.15	1.30	1.27

由表 2 可知:数值模拟结果与现场监测数据基本吻合,两者之间的相对误差较小,基本符合要求。

大振速从拱腰位置处向拱顶、拱脚逐渐减小,而背爆侧最大振速则从拱腰向拱顶、拱脚逐步增大。

随着开挖进尺逐渐增大,爆破荷载峰值相应增大,各监测点振速峰值也越来越大。进尺 1.4、1.5、1.6、1.7 m 所对应的最大振动速度分别为 2.75、2.87、3.02、3.18 cm/s。由于运营线衬砌产生破坏是振动速度超过允许值造成的,而进尺 1.7 m 时迎爆侧拱腰振

4 爆破对既有隧道衬砌结构的应力影响分析

4.1 不同进尺第一主应力分析

不同进尺各监测点第一主应力如图 7 所示。
由图 7 可知:进尺 1.4、1.5、1.6、1.7 m 所对应的最大主应力分别为 1.123、1.189、1.255、1.320 MPa。表明开挖进尺越大,衬砌结构的最大主应力越大,且最大主应力都出现在迎爆侧拱腰位置处,背爆侧拱腰位置次之。

4.2 合理进尺下的主应力分析

所选定的最优进尺 1.6 m 下既有隧道最大主应力空间分布图如图 8 所示。

爆破振动作用下隧道结构首先产生拉伸破坏,由图 8 可知:合理进尺下,既有隧道第一主应力最大值位

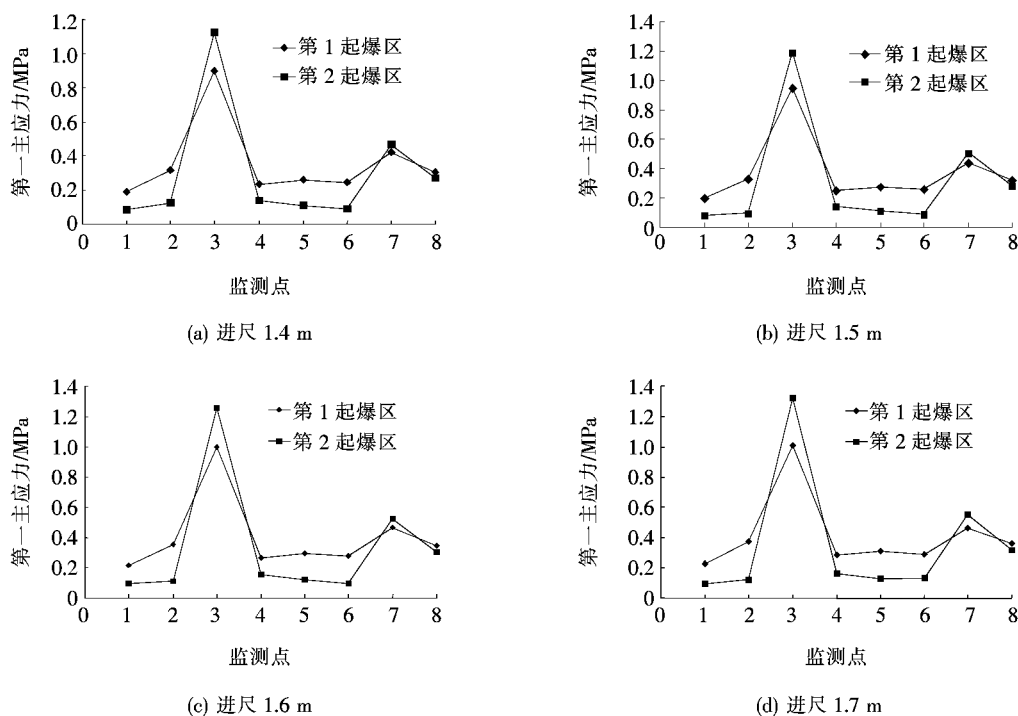


图 7 不同进尺各监测点第一主应力图

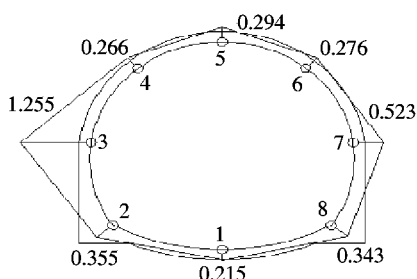


图 8 进尺 1.6 m 既有隧道第一主应力空间分布图(单位:MPa)

于迎爆侧拱腰处,为 1.255 MPa,且由拱腰位置向拱顶及隧道底部两侧逐渐减小,背爆侧规律大致相同。根据 TB 10003—2016《铁路隧道设计规范》,最大拉应力值未超过 C25 混凝土的极限抗拉强度标准值 1.78 MPa,说明合理进尺下的分天窗爆破方案是安全、合理、可靠的。

新建隧道爆破施工产生的爆破地震波通过与既有隧道间的围岩首先传播到既有隧道迎爆侧,爆破地震波因传播方向和距离不同,在既有隧道迎爆侧产生的爆破施工附加应力随距起爆点的距离增加而减小;既有隧道对新建隧道爆破施工产生的爆破地震波的传播具有一定的阻隔作用,从而消减了爆破地震对远离新建隧道的既有隧道背爆侧的影响。

5 结论

通过分析不同进尺下既有隧道各点的振速及主应力分布情况,得出以下结论:

(1) 新建隧道采用先行导洞微振爆破方案进行施工时,先行导洞区相较于扩挖起爆区对既有隧道衬砌的影响更大。

(2) 采用合理进尺 1.6 m 进行微振爆破施工时,临近隧道衬砌结构最大振速仅为 3.02 cm/s,处于微振爆破振速限制的合理范围内;迎爆侧拱腰处第一主应力最大值为 1.255 MPa,未超过 C25 混凝土的极限抗拉强度标准值 1.78 MPa,故采用优化后的先行导洞微振爆破方案是安全可靠的。

(3) 采用 1.6 m 合理进尺下的先行导洞微振爆破不仅可降低爆破对既有运营隧道产生的振动影响,确保既有铁路行车安全,还可充分利用短天窗期进行施工作业,为以后类似工程提供借鉴。

参考文献:

- [1] 冯仲仁,文曦.新建隧道爆破震动对既有隧道影响的数值分析[J].爆破,2008(4).
- [2] 闫军,杜峰,李仲来.邻近隧道二衬结构在爆破振动作用下的动态响应测试研究[J].中外公路,2017(1).

Singh—Mitchell 蠕变模型在炭质岩隧道围岩 变形分析中的应用

刘卓华¹, 黄小桂², 骆俊晖²

(1. 广西交通投资集团有限公司, 广西南宁 530029; 2. 广西交通设计集团有限公司)

摘要:炭质岩是一种易崩解、软化、膨胀以及环境敏感的特殊性岩土,属于软弱岩,同时炭质岩隧道围岩的开挖变形、长期稳定性问题是炭质岩隧道建设所面临的共性问题。据此,对广西西北部山区某高速公路炭质岩隧道围岩位移、温度、渗压等指标进行监控量测,基于获得数据采用 Singh—Mitchell 模型研究围岩的蠕变机制,随后预测隧道通车前的围岩变形。结果表明:不考虑温度和渗压的条件下, Singh—Mitchell 蠕变模型能有效计算分析及预测隧道围岩变形发展规律,可为炭质岩隧道建设以及采取防治加固措施提供参考与借鉴。

关键词:炭质岩; 隧道; 围岩; 蠕变; Singh—Mitchell 模型

炭质岩大多呈黑色, 蕴含成分复杂, 属于黏土岩。除黏土矿物外, 还含许多碎屑矿物和自生矿物, 具有页状或薄片状层理, 其代表岩石有炭质泥岩、炭质页岩和炭质灰岩等, 具有易风化、低强度参数指标、遇水软化、膨胀性、环境敏感性、崩解性等工程特性, 属软弱岩, 易产生显著的塑性变形及蠕变, 在炭质岩隧道施工及运营中可能引起隧道衬砌的开裂变形。

广西山岭众多, 炭质岩分布广泛, 公路工程建设规划的隧道难免要穿越炭质岩地层, 而炭质岩岩体的变形往往具有累积性扩展和时间效应两大特征, 给施工建设造成极大的困难。广西已建成及在建高速公路分布着大量炭质岩, 炭质岩分布区隧道围岩的开挖变形、运营期稳定问题是广西区公路建设面临的最主要工程环境地质问题。为保证软弱破碎围岩隧道岩土工程施工安

全及长期稳定性, 需对炭质岩隧道围岩进行变形分析。

1 工程概况

广西西北部山区某高速公路炭质岩隧道, 为分离式长隧道, 该隧道区属中低山峰林地貌, 地形起伏较大。隧道范围内中线高程为 642.5~769.6 m, 最大高差约为 127.1 m。隧道进洞口端自然斜坡坡度为 30°~45°, 局部见强风化岩层出露。出洞口一侧斜坡相对较缓, 坡度为 20°~30°, 斜坡表面为第四系地层覆盖, 未见基岩出露, 稳定性较好。沿线不良特殊岩土危害最大的主要为软弱围岩——炭质岩, 其软化系数为 0.25~0.55, 饱和抗压强度为 0.13~1.3 MPa, 长期在地下水溶蚀作用下易产生溶孔或溶沟。

- [3] 仇文革, 凌昊, 龚伦, 等. 引水隧洞下穿既有铁路隧道爆破施工振动影响及对策[J]. 中国铁道科学, 2009(6).
- [4] 朱正国, 孙明路, 朱永全, 等. 超小净距隧道爆破振动现场监测及动力响应分析研究[J]. 岩土力学, 2012(12).
- [5] 周建春, 魏琴, 王家辉, 等. 采石场爆破对邻近公路隧道施工质量的影响监测与模拟分析[J]. 中外公路, 2017(2).
- [6] 许海亮, 张继春, 杨红, 等. 钻孔爆破振动速度计算公式及其简化的探讨[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2007(7).
- [7] 刘达, 卢文波, 陈明, 等. 隧洞钻爆开挖爆破振动主频衰减公式研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2018(9).

- [8] 邵珠山, 李萍萍, 王新宇. 小净距隧道爆破振动危害的主动控制研究[J]. 应用力学学报, 2014(2).
- [9] 夏才初, 刘志方, 单光炎, 等. 基于爆破振速衰减与控制值的爆破药量计算方法[J]. 现代隧道技术, 2018(4).
- [10] 胡亚辉. 隧道开挖爆破荷载的加载方法研究及应用[D]. 北京交通大学硕士学位论文, 2011.
- [11] 李秀地, 蒋树屏, 刘元雪, 等. 大断面小净距隧道原位扩建爆破振动控制[J]. 爆破, 2014(3).
- [12] 蒋楠, 周传波, 罗钢, 等. 铁路隧道混凝土衬砌爆破振动安全判据[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2012(7).

收稿日期: 2020-04-03(修改稿)

作者简介: 刘卓华, 男, 硕士. E-mail: 778036266@qq.com