

双向八车道小净距隧道施工 相互影响仿真分析

沈明燕*, 蔡子勇, 李勇, 王柏林

(湖南科技大学 土木工程学院, 湖南 湘潭 411201)

摘要:双向八车道隧道开挖断面大,扁平率低,结构受力复杂,洞间相互影响显著,且目前已有工程实例甚少,技术研究尚处于初步阶段,无论从设计还是施工,均未形成完整的配套技术.本文以泉州高山岩2#和3#主线隧道为工程依托,通过有限元软件对其施工过程左右洞相互影响进行模拟,并结合现场监控量测结果进行综合评价.研究表明:在不同的工况模拟下,隧道拱顶沉降、周边位移整体变化趋势基本一致;后行洞开挖使得先行洞拱顶沉降有所增长,但最终收敛值相差较小,且拱顶沉降相比周边位移要大;隧道左右洞施工相互影响最小的安全相邻掌子面纵向间距约为隧道开挖洞径的1.5倍.

关键词:双向八车道;小净距;隧道施工;相互影响;仿真分析

中图分类号:U455 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-9102(2018)02-0029-05

The Eight Lanes in Two-way Tunnel Construction Interaction Simulation Analysis

Shen Mingyan, Cai Ziyong, Li Yong, Wang Bailin

(School of Mechanics and Civil Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China)

Abstract: Eight lanes in two-way tunnel excavation of large section, flat ratio lowly and structure stress complicated, it influenced each other obviously between tunnels. In addition, the existing engineering examples about technology research was still in the preliminary stage, no matter from the angle of design and construction, it had not formed a complete supporting technology. Based on the study of Quanzhou high rock tunnel of 2# and 3# mainline tunnel, the interaction between the left and right holes of the construction process was simulated by the finite element software, and combined with the results of the field monitoring by comprehensive evaluation. Research shows that, under different working conditions, the overall change trend of tunnel vault settlement and surrounding displacement is basically consistent; after the excavation of the tunnel, the vault settlement of the first hole is increased, but the final convergence value is less. And the crown settlement is larger than the surrounding displacement; determined reasonable hole construction constraints around the longitudinal spacing is about 1.5B.

Keywords: The eight lanes in two-way tunnel; small spacing; tunnel construction interaction; interrelationship; simulation analysis

为了解决地形地质条件限制、交通拥堵、道路展线不灵活、可利用空间狭小、占用地面积大、高边坡等问题,双向八车道特大断面小净距隧道应运而生^[1].由于此类隧道开挖断面面积大、扁平率低、对围岩稳定

性控制要求高,中间岩柱厚度薄,左右洞施工相互影响显著^[2-6],在施工技术上也未达到成熟,只能参考单洞双车道或三车道隧道施工技术规范及相关工程成果进行效仿,特别是对于隧道最佳扁平率^[7],合理岩柱厚度、左右洞开挖错开合理间距^[8]等参数确定存在许多关键性问题需要解决,引起广大学者对此类研究产生浓厚兴趣。

本文通过有限元分析软件,对双向八车道小净距隧道开挖过程左右洞相互影响进行模拟,研究两隧道掌子面错开的不同纵向距离对围岩稳定性的影响,并结合现场监控量测结果对隧道施工过程中围岩稳定性做出科学评价,对隧道施工质量与安全评估有着重要的指导意义。

1 工程概况

高山岩隧道主线采用上下行分离式双向八车道布置,同时在东西两侧各设1条辅助隧道,形成4条并行的小净距隧道,具体概貌如图1所示,隧道整体横断面及单洞细部尺寸如图2所示。其中2#隧道全长258 m,3#隧道全长259 m,埋深平均地面与洞顶高差20 m左右,最大埋深约45.6 m,两洞净距约1倍洞宽,其中最小净距约12 m。主线隧道开挖毛洞最大净宽19.86 m,最大净高10.65 m,属于典型的浅埋特大断面小净距隧道。洞口少量围岩为强、中风化花岗岩,围岩级别以V,IV级为主;主体洞身围岩主要为微风化花岗岩,围岩级别以II级为主。



图1 隧道洞口全景

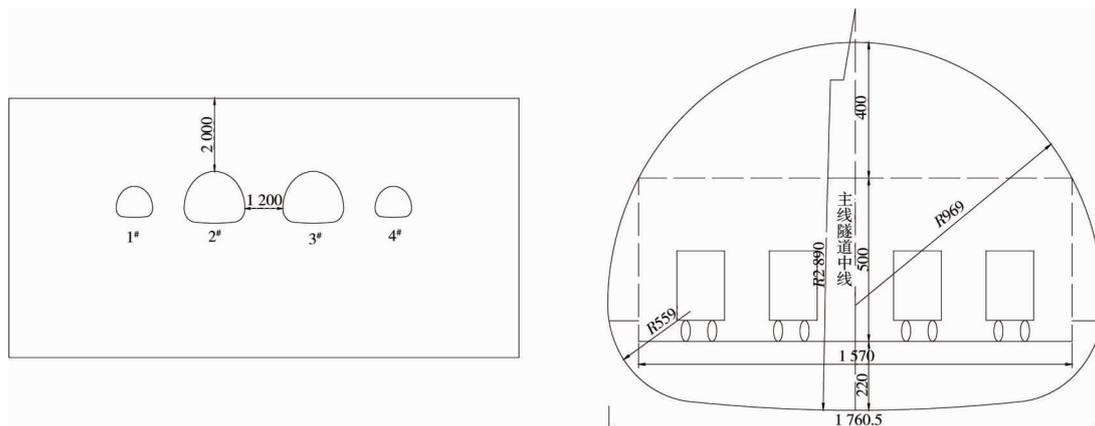


图2 隧道整体横断面及单洞细部尺寸(cm)

2 参数选取及模型建立

2.1 参数选取

根据福建泉州高山岩隧道地勘资料^[9],模型计算参数综合选取见表1。

表1 围岩及衬砌材料物理力学参数

名称	$\gamma/(\text{kN}/\text{m}^3)$	E/GPa	μ	c/MPa	$\psi/(\text{°})$	d/m
IV级围岩	25.0	6.0	0.3	0.5	40	/
喷射混凝土	22.0	23.0	0.2	/	/	0.1

2.2 模型建立

选取隧道进口段IV级围岩进行模拟分析,利用有限元软件建立空间三维模型,其中土体采用实体单元模拟,相互作用采用绑定约束,网格类型采用八节点线性六面体单元,应用生死单元命令模拟隧道的开挖过程,隧道断面及净距大小均按工程实际施工断面选取,即隧道开挖毛洞最大净宽为19.86 m,最小净距

约 12 m,模型计算范围在 X 方向左右均取 $3B$ 洞径, Y 方向向下取 $3B$ 洞径,向上取至实际地表,不考虑地表微弱起伏,即假定地表面水平,埋深取为 20 m,隧道在纵向取 30 m 作为研究长度,隧道每次掘进长度为 3.75 m,模型的边界条件除上部为自由边界外,两侧侧面与底面均为法向约束,认为初始地应力为自重应力场.具体计算的有限元模型见图 3.

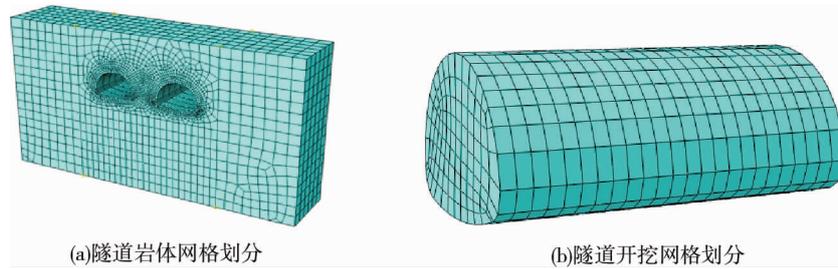


图3 有限元模型

3 不同模拟工况

为突出研究目的,对施工方法及支护衬砌不再进行过多分析讨论,重点分析两相邻隧道掌子面的不同纵向间距对隧道围岩的稳定性影响.

本文拟定了以下 4 种不同的模拟工况,具体参考见表 2 所示.

表2 隧道开挖工况模拟

不同工况模拟	两掌子面错开距离	开挖方式
工况一	0	左(2#)右(3#)洞同时开挖
工况二	$0.5B$	左洞掘进 10 m 后再同时开挖
工况三	$1.0B$	左洞掘进 20 m 后再同时开挖
工况四	$1.5B$	左洞开挖完成后,再右洞开挖

注: B 是指隧道开挖洞径

4 数值模拟结果分析

4.1 拱顶沉降

拱顶沉降作为隧道稳定性判据的一个关键参数^[10],其变化过程反映了掌子面间距对隧道稳定性的影响.本文基于有限元软件的可操作性及依托工程的实际施工状况,定量模拟分析工况一与工况四 2 种情形来定性分析两掌子面纵向间距的影响,图 4 为不同工况下的拱顶沉降随分析步的变化曲线.

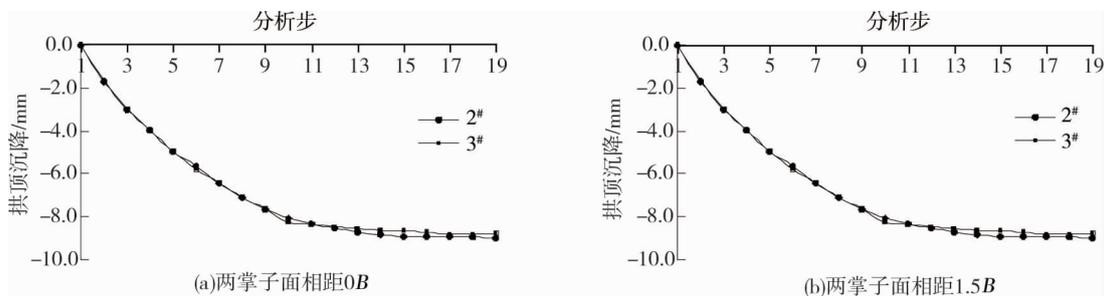


图4 不同工况下拱顶沉降变化曲线

从图 4 可以看出:

- 1) 不同工况下拱顶沉降变化趋势基本一致,且最终收敛位移相差较小.
- 2) 对比不同工况拱顶沉降位移变化曲线,发现隧道开挖前期沉降增长明显,速率变化较大,随着隧道

开挖掘进,拱顶沉降速率逐渐减少,最终达到基本稳定。

3)对比工况一和工况四,发现工况一略优于工况四,后行洞开挖使得先行洞拱顶沉降继续增长,随着掌子面远离其影响迅速减弱,左右洞开挖完成后,左洞拱顶沉降增加了约2%,表明在两掌子面相距1.5B范围内,后行洞开挖对先行洞拱顶位移有一定影响,但影响不明显。

4.2 周边位移

中间岩柱厚度是左右洞施工围岩稳定性控制的重要因素,当后行洞开挖,削减了拱脚及侧墙部位岩柱厚度,对岩柱稳定性产生影响,导致岩柱抗剪强度降低,严重时可能产生剪切破坏^[11-12]。图5为不同工况下周边位移随分析步的变化曲线。

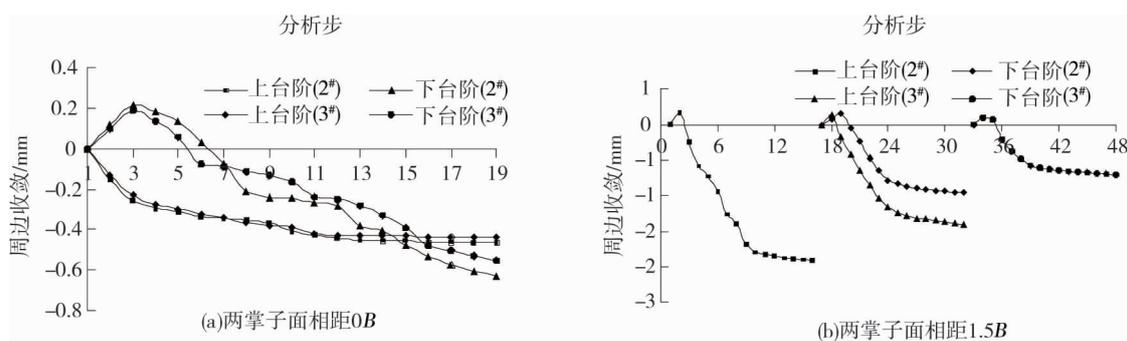


图5 不同工况下周边位移变化曲线

从图5可以看出:

1)不同工况下,中间岩柱周边位移整体变化趋势基本一致。

2)先行洞开挖,在初期阶段,拱脚处中岩柱存在外鼓现象,随着掌子面远离,将产生回缩;在后行洞开挖过程中,由于中岩柱厚度削减,中岩柱水平位移出现向右侧挤压趋势,随着掌子面远离,外鼓开始缓和,直到最终收敛,且上台阶相比下台阶收敛值要大。

3)相邻掌子面的纵向间距对中岩柱位移影响显著。从中岩柱水平位移来看,工况一中岩柱位移较小,对岩柱稳定性有利,工况四中岩柱位移较大,对岩柱稳定性不利,表明隧道相邻掌子面纵向间距在1.5B范围内,随着相邻掌子面纵向间距的减小,中岩柱位移及稳定性越好。

5 监控量测结果分析

对于隧道新奥法施工,监控量测是判断围岩稳定性的重要手段,是验证和变更设计参数、施工方案、加固措施及预测险情最有效的方法,对实际工程具有非常重要的意义。考虑到工程的质量安全性,实际施工开挖是保证左右洞错开一定安全距离,为了与有限元结果进行对比,取左右洞掌子面纵向间距1.5B(即30 m),通过实施全程动态监控,得到围岩位移变化曲线,见图6和图7。

5.1 拱顶沉降

从图6可以看出:

1)左右洞拱顶沉降总体变化趋势基本一致,且最终收敛位移相差较小。

2)从左右洞拱顶沉降位移变化曲线发现隧道开挖前期沉降增长明显,速率变化较大,随着隧道开挖掘进,拱顶沉降速率逐渐减少,最终达到基本稳定。

3)后行洞开挖使得先行洞拱顶沉降继续增长,存在“跳跃”现象,但随着掌子面远离其

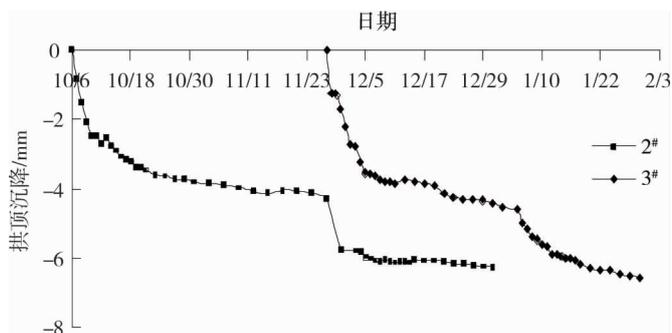


图6 两掌子面相距1.5B时拱顶沉降变化曲线

影响逐渐减弱,且很快趋向稳定,表明后行洞开挖对先行洞拱顶位移有一定影响,但影响不明显。

5.2 周边收敛

从图7可以看出:

1)左右洞中间岩柱收敛位移整体变化趋势基本一致。

2)在初期阶段,发现隧道开挖收敛增长明显,速率变化较大,随着隧道开挖掘进,收敛速率逐渐减小,最终均达到稳定,且上台阶相比下台阶收敛值要大。

3)左右洞开挖过程,上台阶收敛值差异不大,下台阶收敛值差异明显,表明隧道开挖拱脚收敛位移占有突出地位。

6 结论

1)不同工况下拱顶沉降及周边收敛整体变化趋势基本一致,且最终收敛值相差较小。

2)拱顶沉降相比周边收敛位移值要大的多,对于特大断面隧道施工,拱顶沉降是围岩变形稳定性的关键判据,在施工过程中应引起高度重视。

3)先行洞在开挖初期阶段,拱脚处中岩柱存在外鼓现象,随着掌子面远离,产生回缩,在后行洞开挖过程中,由于中岩柱厚度的削减,中岩柱水平位移出现向右侧挤压趋势,随着掌子面远离,外鼓开始缓和,直到最终收敛。

4)后行洞开挖使得先行洞围岩位移继续增长,但随着掌子面的远离其影响开始减弱,当掌子面错开间距达到 $1.5B$ 时,对先行洞拱顶沉降的影响甚小,表明隧道施工左右洞两掌子面相互影响的最小安全间距约 $1.5B$ 。

5)根据现场监控结果,发现不同工况下的围岩位移整体变化较小,均处在可控范围内,表明实际工程地质条件良好,施工方案合理,爆破控制较到位,对隧道施工具有指导意义。

参考文献:

- [1] 吴文琦.基于爆破开挖影响的高速公路小净距隧道合理净距研究[D].西安:长安大学,2010.
- [2] 马军秋.平行三孔大断面小净距隧道施工技术与其力学特性研究[D].长沙:中南大学,2010
- [3] Ghaboussi J, Ranken R E. Interaction between two parallel tunnels[J].International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, 1977, 1(1):75-103.
- [4] Adachi T, Kimura M, Osada H. Interaction between multi-tunnels under construction[C]//In Proceedings of the 11th Southeast Asian Geotechnical Conference, Singapore, May1993,1993:51-60.
- [5] 蒋坤.节理岩体中特大断面小净距隧道围岩稳定性研究[D].上海:同济大学,2010.
- [6] 宴莉.并行隧道施工相互影响分析及应用研究[D].长沙:中南大学,2008.
- [7] 郭文明.公路超大断面隧道扁平率及施工方法优选研究[D].西安:长安大学,2012.
- [8] Wu C S, Li J X, Chen X, et al. Blasting in twin tunnels with small spacing and its vibration control[J].Tunneling and Underground Space Technology,2004,19:518-523.
- [9] 陈国庆.泉州市水电工程勘察院试验报告[R].福建:福建省泉州市水电工程勘察院,2013.
- [10] 吴梦军,黄伦梅.四车道公路隧道动态施工力学研究[J].岩石力学与工程学报,2006,25(s1):3057-3062.
- [11] 龚建伍.大断面小净距隧道围岩稳定性数值分析[J].岩土力学学报,2010,31(s2):412-417.
- [12] 宴启祥.软岩小净距隧道施工力学效应研究[J].地下空间与工程学报,2005,1(5):693-697.

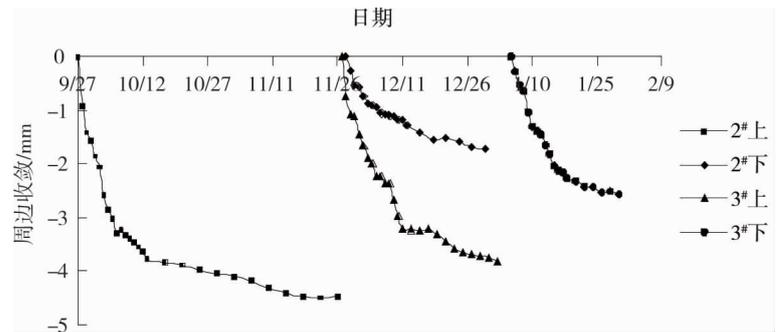


图7 两掌子面相距 $1.5B$ 时周边收敛变化曲线