

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2019.02.015

开挖方式对山岭隧道稳定性影响研究

孙忠成

(中铁十九局集团第五工程有限公司, 辽宁大连 116100)

摘要: 以某小净距山岭隧道建设为例,采用有限元数值模拟手段分别建立了三台阶七步法、单侧壁导坑法、双侧壁导坑法三种施工方法的数值模型,并从位移、应力和塑性区方面进行了分析介绍,得到以下结论:采用三台阶七步法时拱底隆起量和拱顶沉降量最大,其次是单侧壁导坑法,最小的是双侧壁导坑法;采用双侧壁导坑法时拱顶位置处主应力最大,其次是单侧壁导坑法,最小的是三台阶七步法;采用三台阶七步法时隧道开挖以后围岩应力释放较大,围岩变得较为松散,且拱底围岩易出现应力集中,容易发生岩爆等危险;采用双侧壁导坑法施工时围岩塑性区最小,其次是单侧壁导坑法,最大的是采用三台阶七步法。最后,通过对比可知该工况下采用双侧壁导坑法时隧道的稳定性效果最好,采用三台阶七步法时效果最差。

关键词: 山岭隧道;开挖方式;稳定性;数值模拟

中图分类号: U45

文献标识码: A

文章编号: 1672—1144(2019)02—0083—04

Influence of Excavation Methods on the Stability of Mountain Tunnel

SUN Zhongcheng

(China Railway Nineteenth Bureau Group Fifth Engineering Co., Ltd., Dalian, Liaoning 116100, China)

Abstract: By taking the construction of a small clear distance mountain tunnel as an example, the numerical models of three - step seven - step method, single - side - wall guide method and double - side - wall guide method are established by means of finite element numerical simulation. The displacement, stress and plastic zone are analyzed and introduced, and the following conclusions are drawn: when the three - step seven - step method is adopted, the arch bottom heave and the settlement of the arch top are the largest, followed by the three - step seven - step method. The single - sided - wall method is the smallest one, and the double - sided - wall method is the smallest one. When the double - sided - wall method is adopted, the principal stress at the vault top is the largest, followed by the single - sided - wall method, and the smallest is the three - step seven - step method. When the three - step seven - step method is adopted, the stress release of surrounding rock is larger, the surrounding rock becomes loose, and the surrounding rock at the arch foot is prone to stress concentration and rock burst. The plastic zone of surrounding rock is the smallest when using the double - sided - wall method, followed by the single - sided - wall method, and the largest is the three - step and seven - step method. Finally, the comparison shows that the stability of the tunnel is the best when the double - sided tunnel method is used, and the worst is when the three - step seven - step method is used.

Keywords: mountain tunnel; excavation method; stability; numerical simulation

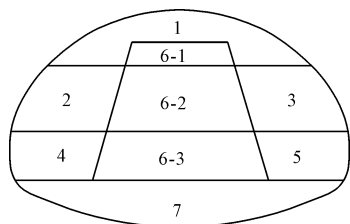
近年来,随着公路工程的不断推进,穿山隧道建设取得了巨大进展,山岭隧道建设过程存有较多的施工方式,不同施工方式间存在差别^[1-6]。对于特定工程,施工方式不同会引起不同的隧道变形,因此研究不同施工方式下隧道的稳定特性具有重要意义。近年来,国内学者进行了相关研究,例如,李青松^[7]、蒋树屏等^[8]和刁心宏等^[9]采用数值手段,并

以工程实例为背景,对几种常用的施工形式在不同的围岩条件和不同的埋深条件下进行模拟,得到了不同的施工开挖方案对隧道结构和围岩稳定性影响。邓稀等^[10]、霍润科等^[11]和杨小明等^[12]对不同掘进方式、不同隧道直径以及不同围岩状况下隧道的开挖稳定性进行了分析。韦秉旭等^[13]、李翠霞等^[14]利用数值手段对 CRD 法与上下台阶法在隧道

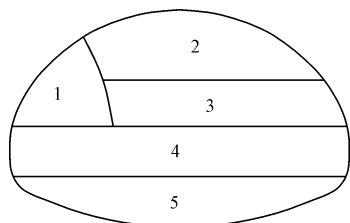
开挖中的效果进行了对比分析。为了分析隧道不同施工方式下围岩稳定特性,以某隧道建设为例,采用有限元数值模拟手段分别建立了三台阶七步法、单侧壁导坑法、双侧壁导坑法三种施工方法的数值模型,并从位移、应力和塑性区方面进行了分析介绍,以期对隧道工程施工和设计提供参考和借鉴。

1 工程概况

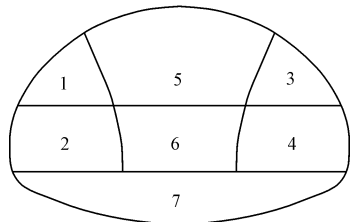
某山岭隧道为小净距隧道,设计为双向八车道。隧道左右线全长分别为 466 m 和 387 m,左右线起止里程分别为 ZK1 + 620—ZK2 + 086 和 YK1 + 680—YK2 + 007。对于隧道左右线,拟采用三台阶七步法、单侧壁导坑法、双侧壁导坑法等 3 种施工方法,如图 1 所示。为了对比分析三种方法的合理性,采用数值模拟手段进行对比分析。



(a) 三台阶七步法



(b) 单侧壁导坑法



(c) 双侧壁导坑法

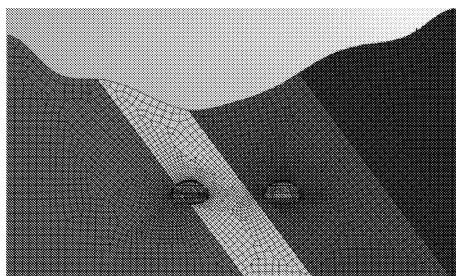
图 1 隧道开挖面示意图

2 数值建模

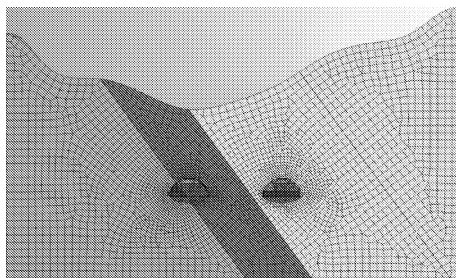
2.1 模型建立及参数赋值

如图 2 所示,为三种不同开挖方式下的隧道模型图,采用 MIDAS/GTS 建模进行分析。隧道模型建立要考虑其开挖影响范围,本工程隧道断面最长为 12.6 m,高度最高为 7.4 m,而一般地下工程的影响

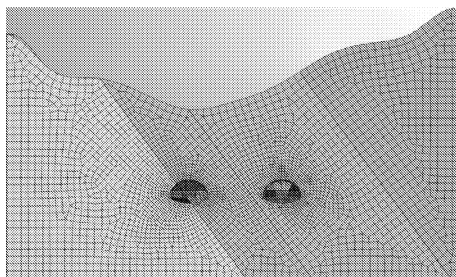
范围为 3 倍~5 倍洞室内径,建立模型时 x 轴(水平方向)取 180 m, y 轴(隧道轴线方向)取 20 m, z 轴(竖直方向)取 90 m,且隧道中心埋深约 19 m。本隧道模型采用锚杆、钢筋网和工字钢和喷射混凝土衬砌支护,钢筋网和工字钢支撑折合到衬砌上面。其中围岩采用实体模型,采用摩尔-库仑本构模型。衬砌和锚杆采用结构单元。表 1 和表 2 分别为岩体的物理力学指标和喷射混凝土和锚杆的力学参数,其中围岩从左到右共四类,依次为粉质黏土、黏土、白云岩和页岩,锚杆和衬砌支护如图 3 所示。



(a) 三台阶七步法



(b) 单侧壁导坑法



(c) 双侧壁导坑法

图 2 隧道数值模型图

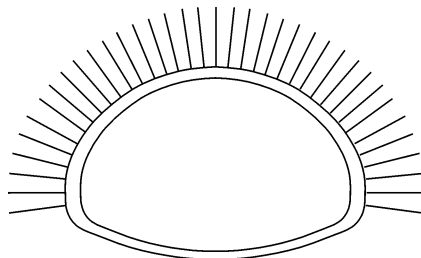


图 3 隧道锚杆支护图

表 1 岩体的物理力学指标

岩土层	密度 /(kg·m ⁻³)	体积模量 /GPa	剪切模量 /GPa	泊松比	内摩擦角 /(°)	黏聚力 /MPa
粉质黏土	1900	0.097	0.042	0.35	15	30
黏土	2650	5.560	1.850	0.32	25	60
白云岩	2590	46.700	28.000	0.25	30	200
页岩	1900	5.120	1.670	0.30	15	30

表 2 喷射混凝土和锚杆的力学参数

材料	密度 /(kg·m ⁻³)	弹性模量 /GPa	泊松比	厚度 /m
喷射混凝土	2400	25.10	0.21	0.25
锚杆	7900	200.00	0.26	—

2.2 网格划分、边界条件及开挖步

如图 2 所示,三者平面上网格单元数目依次为 3 624 个、3 532 个和 3 586 个,为了减小误差,在隧道周围网格较为密集,远离隧道时网格较为疏松。此外,为了有效减小模型大小带来的误差,除上边界外,模型其它边界均设法向约束。模型开始计算时,需要先进行初始平衡,并将初始位移和初始速度清零,然后进行分步开挖并设置监测点。单次循环掘进 2 m,共 10 次循环掘进完成,将每循环分为 8 个开挖步。

3 数值结果分析

3.1 位移分析

如图 4 所示,为左隧道拱顶拱底位移时程曲线。对于拱底来讲,由图 4(a)可知,采用三台阶七步法时拱底隆起量最大,其次是单侧壁导坑法,最小的是双侧壁导坑法,三者最大位移依次为 18.02 mm、11.13 mm 和 8.96 mm。对于拱顶来讲,由图 4(b)可知,采用三台阶七步法时拱顶沉降量最大,其次是单侧壁导坑法,最小的是双侧壁导坑法,三者最大位移依次为 -22.31 mm、-15.52 mm 和 -12.74 mm。

如图 5 所示,为右隧道拱顶拱底位移时程曲线。对于拱底来讲,由图 5(a)可知,采用三台阶七步法时拱底隆起量最大,其次是单侧壁导坑法,最小的是双侧壁导坑法,这与左隧道保持一致,三者最大位移依次为 12.75 mm、10.38 mm 和 8.71 mm。对于拱顶来讲,由图 5(b)可知,同样也是采用三台阶七步法时拱顶沉降量最大,采用是双侧壁导坑法拱顶沉降量最小,三者最大位移依次为 -16.62 mm、-12.16 mm 和 -9.58 mm。相对于左隧道来说,右隧道的变形较小,这与右隧道所处位置围岩较为坚硬有关。综上可知,仅从位移方面考虑时,采用双侧壁导坑法

时隧道的变形控制效果最好,这与其施工顺序和施作方式有关。

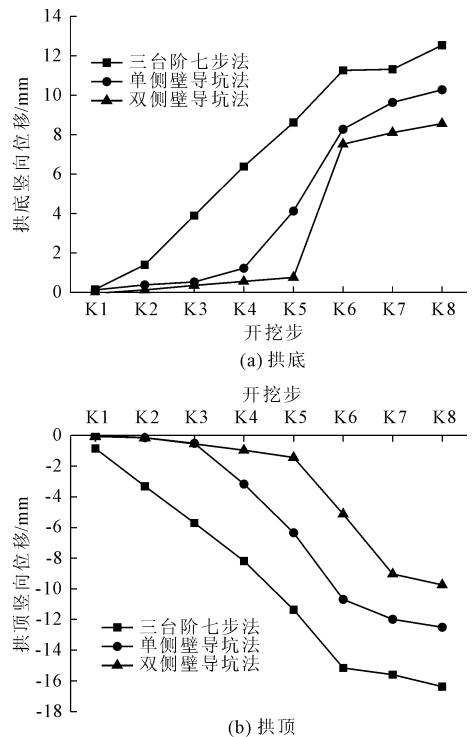


图 4 左隧道拱顶拱底位移

3.2 应力分析

如图 6 所示,为左隧道拱顶拱底最大主应力时程曲线。对于拱顶来讲,由图 6(a)可知,采用双侧壁导坑法时拱顶最大主应力最大,其次是单侧壁导坑法,最小的是三台阶七步法,三者最终的最大主应力分别稳定在 -0.65 MPa、-0.57 MPa 和 -0.18 MPa。拱顶围岩应力越小,说明隧道开挖以后围岩应力释放较大,围岩变得较为松散。对于拱底来讲,由图 6(b)可知,采用三台阶七步法时拱底最大主应力最大,其次是单侧壁导坑法,最小的是双侧壁导坑法,三者最大主应力分别稳定在 -5.28 MPa、-3.86 MPa 和 -3.52 MPa,拱底围岩受到挤压作用,当应力越大时,说明该处围岩出现应力集中,容易出现岩爆等危险。综上可知,仅从最大主应力方面考虑时,采用双侧壁导坑法时隧道的稳定性效果最好,采用三

台阶七步法时最差。

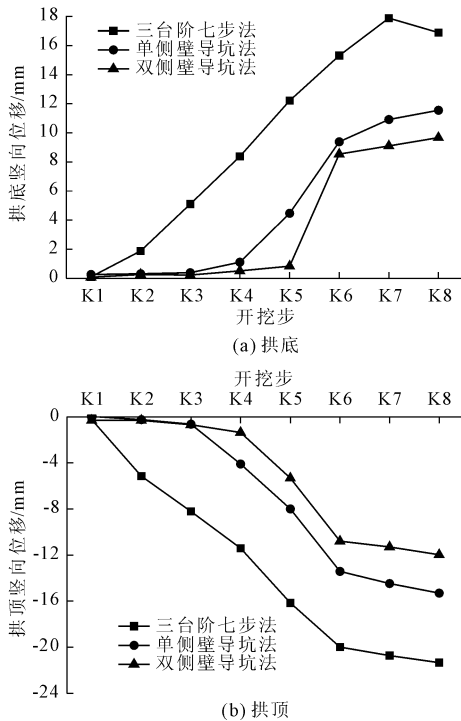


图 5 右隧道拱顶拱底位移

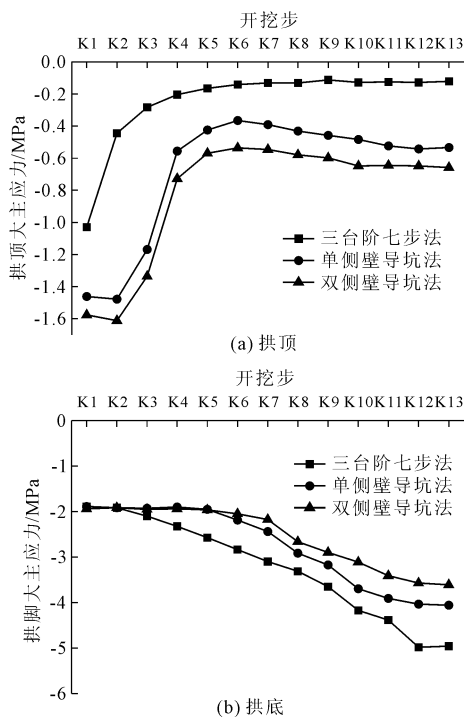


图 6 左隧道拱顶拱底最大主应力

3.3 塑性区分析

围岩塑性区是判断隧道安全与否的一重要因素,通过塑性区可以得到围岩受力和变形状态,进而判断隧道安全状态。如图 7 所示,为三种不同开挖方式下围岩稳定时的塑性区云图。对比三者可知,

采用双侧壁导坑法施工时围岩塑性区最小,其次是单侧壁导坑法,最大的是采用三台阶七步法时。此外,还可以看到,采用三台阶七步法时隧道左线和右线的塑性等值线发生联通并密闭成环,且在两侧拱底处最大,而采用单、双侧壁导坑法时这种现象不明显,说明采用三台阶七步法时围岩最为不稳。

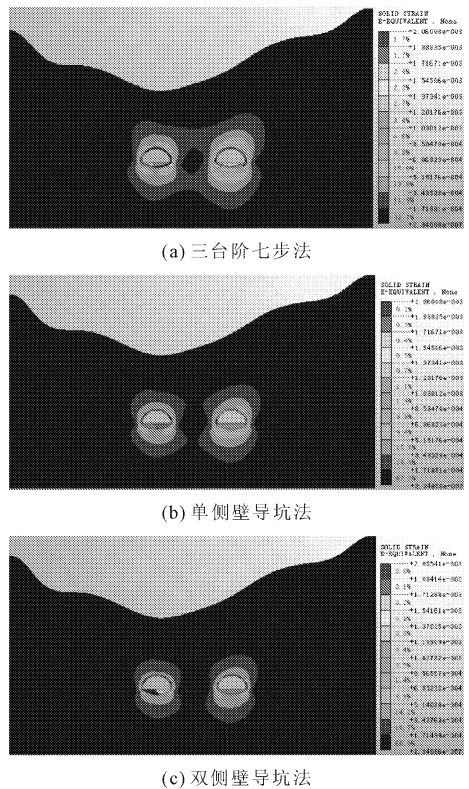


图 7 隧道塑性区云图

4 结论

以某小净距隧道建设为例,采用有限元数值模拟手段分别建立了三台阶七步法、单侧壁导坑法、双侧壁导坑法三种施工方法的数值模型,并从位移、应力和塑性区方面进行了分析介绍,对于该案例,得到以下结论:

(1) 两侧隧道采用三台阶七步法时拱底隆起量和拱顶沉降量最大,其次是单侧壁导坑法,最小的是双侧壁导坑法,相对于左隧道来说,右隧道的变形较小,这与右隧道所处位置围岩较为坚硬有关。

(2) 采用双侧壁导坑法时拱顶最大主应力最大,其次是单侧壁导坑法,最小的是三台阶七步法;而拱底最大主应力大小顺序相反,说明采用三台阶七步法时隧道开挖以后围岩应力释放较大,围岩变得较为松散,且拱底围岩易出现应力集中,容易发生岩爆等危险。

(下转第 129 页)

震响应周期在设计流量水深、加大流量水深两种工况相对于空槽工况平均增加较多,但均远远小于采取措施前的水平,说明采取铅芯隔震橡胶支座效果明显,可以增加结构耗能能力,有利于降低渡槽地震应力反应。

参考文献:

- [1] 张艳红,胡晓.大型渡槽隔震研究[J].水利学报,2005,36(11):1307-1313.
- [2] 顾培英,王岚岚,邓昌,等.我国渡槽结构典型破坏特征研究综述[J].水利水电科技进展,2017,37(5):1-8.
- [3] 刘晓平,王俊.南水北调双泊河渡槽隔震支座设计应用研究[J].河南水利与南水北调,2013(21):49-50.
- [4] 何俊荣,尤岭,李世平,等.高烈度区梁式渡槽隔震设计研究[J].水利规划与设计,2019(5):10-16.
- [5] 龚健.摩擦摆隔震支座力学模型的探讨[J].工程建设与设计,2016(8):38-40,44.
- [6] 刘晓平,王俊.南水北调双泊河渡槽隔震支座设计应用研究[J].南水北调与水利科技,2013,11(21):49-50.
- [7] 杨芳,李志国.南水北调中线工程泚河渡槽支座选择与抗震研究[J].南水北调与水利科技,2010,8(3):25-28.
- [8] 王春明.云南省坝塘工程倒虹吸跨河大桥抗震及减震

分析[D].成都:四川大学,2004:12-13.

- [9] 顾培英,邓昌.克孜河南岸干渠跨克孜河渡槽工程动静力计算分析[R].南京:南京水利科学研究所,2016:1-6.
- [10] 蒋兵.新疆某干渠预应力渡槽有限元仿真静力分析[J].广西水利水电,2017(6):50-53.
- [11] 顾培英,曹庆明,邓净.桥梁顺桥向抗震减震措施研究[J].公路,2003(6):29-33.
- [12] 李爱群,刘胜强,吴宜峰.大跨连续梁桥板式橡胶支座隔震影响因素分析[J].北京建筑大学学报,2018,34(1):13-19.
- [13] 刘志华,韩之江,王磊.铅芯橡胶支座PC连续梁桥隔震性能试验研究[J].桥梁建设,2016,46(5):18-23.
- [14] 安振伟,胡远琳,康斌. HDR隔震支座梁桥横向碰撞参数的研究[J].华北水利水电大学学报(自然科学版),2017,38(1):68-74.
- [15] 中华人民共和国交通运输部.公路工程抗震规范:JTG B02—2013[S].北京:人民交通出版社,2013:17-22.
- [16] 张伯艳,邓迎,李德玉.渡槽抗震计算中几个关键问题的简化处理方法[J].南水北调与水利科技,2005,3(2):46-48.
- [17] 中华人民共和国国家能源局.水电工程水工建筑物抗震设计规范:NB 35047—2015[S].北京:中国电力出版社,2015:52-54.

(上接第86页)

(3) 采用双侧壁导坑法施工时围岩塑性区最小,其次是单侧壁导坑法,最大的是采用三台阶七步法。即从位移、应力和塑性区方面可知,采用双侧壁导坑法时隧道的稳定性效果最好,采用三台阶七步法时最差。研究结果可为小净距山岭隧道的施工方案制定提供参考。

参考文献:

- [1] 徐东强,李彦奇,燕鹏.隧道不同开挖方式初期支护极限位移值[J].工业建筑,2018,48(2):110-115.
- [2] 关永平.隧道不同开挖方式初期支护极限位移值[J].水利与建筑工程学报,2017,15(6):227-232.
- [3] 郑毅,张子新.浅埋暗挖隧道开挖方式对地层扰动优化分析[J].地下空间与工程学报,2014,10(6):1372-1379.
- [4] 王清标,蒋金泉,路林海,等.不同开挖方式对近距离交叠隧道影响模拟研究[J].岩石力学与工程学报,2013,32(10):2079-2087.
- [5] 吴迪.隧道施工参数对地表沉降的影响研究[J].水利与建筑工程学报,2018,16(2):131-134.
- [6] 郝小红,郭佳.考虑超大断面顶管施工过程的地层变形数值分析[J].华北水利水电大学学报(自然科学

版),2017,38(6):66-71,81.

- [7] 李青松.新奥法的不同施工方法下山岭隧道围岩稳定性研究[D].北京:北京交通大学,2014.
- [8] 蒋树屏,李建军,谢锋.隧道洞口不同开挖方法的稳定性比较分析[J].隧道建设,2007,27(S2):16-20.
- [9] 刁心宏,朱陈,于洋.不同开挖方案下隧道围岩稳定性及变性特征分析[J].华东交通大学学报,2017,34(1):21-27.
- [10] 邓稀,周亭秀.山岭隧道主洞与联络道交叉段稳定性分析[J].四川建材,2017,43(4):70-72.
- [11] 霍润科,李茂达,李静,等.偏压软弱围岩隧道不同施工方案的数值模拟及比较分析[J].工业建筑,2015,45(2):95-100.
- [12] 杨小明,张鸿,张理平,等.断层特征与掘进方法对隧道围岩稳定性影响分析[J].南昌工程学院学报,2015,34(6):5-9.
- [13] 韦秉旭,唐辉湘,陈尤.CRD法与上下台阶法在隧道开挖中的效果对比及数值分析[J].中外公路,2011,31(4):192-196.
- [14] 李翠霞,张晓琳,张海波.暗挖隧道开挖支护施工的数值模拟研究[J].西部探矿工程,2006,18(6):307-309.