

文章编号: 1674—8247(2019)02—0033—05

DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2019.02.008

玉磨铁路破碎板岩隧道开挖工法优选研究

王庆建

(中铁隧道集团四处有限公司, 南宁 530000)

摘要:为进一步提高破碎板岩隧道开挖时的安全性和稳定性,文章以玉磨铁路新平隧道为研究背景,利用有限差分软件对三台阶法、三台阶带仰拱一次开挖法、CD法和CRD法进行了比选分析。研究表明:(1)三台阶带仰拱一次开挖法控制结构竖向位移的效果较好,CRD法控制水平位移的效果较好,三台阶带仰拱一次开挖法次之;(2)三台阶带仰拱一次开挖法的最大主应力、最小主应力均最小,较传统三台阶法分别减小49.13%、12.23%,对应力的控制效果较好。综上可知,三台阶带仰拱一次开挖法对隧道开挖时的安全性和稳定性的控制效果较好,建议采用三台阶带仰拱一次开挖法进行施工。研究成果可为类似破碎板岩隧道的开挖施工提供参考。

关键词:隧道;工程;破碎板岩;开挖工法;施工;稳定性

中图分类号:U455.4 **文献标志码:**A

Study on Optimization of Excavation Method for Fractured Slate Tunnel of Yuxi-Mohan Railway

WANG Qingjian

(China Railway Tunnel Group, Nanning 530000, China)

Abstract: In order to further improve the safety and stability of fractured slate tunnel excavation, taking Xinping Tunnel of Yuxi-Mohan Railway as the research background, three-step method, one-time excavation method with three-step inverted arch, CD method and CRD method are optimized and analyzed by using finite difference software. The results show that one-time excavation method with three-step inverted arch has the better effect in controlling the vertical displacement of the structure. CRD method has the better effect on controlling horizontal displacement, followed by one-time excavation method with three-step inverted arch. The maximum principal stress, the minimum principal stress of the one-time excavation method with three-step inverted arch are all the minimum, and they are reduced by 49.13% and 12.23% respectively compared with the traditional three-step excavation method, the stress control effect is better. In conclusion, the method of one-time excavation method with three-step inverted arch has a good control effect on the safety and stability of tunnel excavation. It is suggested that the method of one-time excavation method with three-step inverted arch be used for construction. The research results can provide reference for the development of similar fractured slate tunnel excavation construction.

Key words: tunnel; engineering; fractured slate; excavation method; construction; stability

收稿日期:2019-01-12

作者简介:王庆建(1981-),男,工程师。

基金项目:国家自然科学基金(51408008);昆明铁路局科技项目重点课题(K17G43)

引文格式:王庆建. 玉磨铁路破碎板岩隧道开挖工法优选研究[J]. 高速铁路技术,2019,10(2):33-37.

WANG Qingjian. Study on Optimization of Excavation Method for Fractured Slate Tunnel of Yuxi - Mohan Railway [J]. High Speed Railway Technology, 2019, 10(2): 33 - 37.

随着我国铁路交通隧道的快速发展,在施工过程中由地质因素引起的稳定性及安全性问题逐步显现。例如:在玉磨铁路的修建过程中,不可避免的会穿越板岩地带,板岩作为软岩中较常见的一种岩体,由于其抗剪强度低,在施工中受爆破及机械震动而经常发生失稳或变形坍塌,严重影响施工安全、施工进度,进而导致施工成本变大^[1-3]。

目前,国内外关于破碎板岩隧道的研究主要有:破碎板岩隧道围岩的受力特性及变形特征^[4-7];复杂围岩隧道施工稳定性、破坏机理以及变形控制技术^[8-11]。以上研究主要对板岩隧道的变形破坏机理及部分施工控制技术进行了研究,而对于不同关键施工技术优化方面的研究较少。因此,为了提高破碎板岩地带隧道的施工安全性及稳定性,以玉磨铁路新平隧道为依托,对三台阶法、三台阶带仰拱一次开挖法、CD法和CRD法进行优选研究,优选出最佳的施工方案,为玉磨铁路破碎板岩隧道的施工技术提供指导,以期减少或杜绝破碎板岩隧道灾害的发生,保证隧道的正常施工及安全运营。研究成果可为破碎板岩隧道施工技术的发展提供借鉴。

1 研究情况

1.1 玉磨铁路新平隧道概况

1.1.1 地质情况

本研究依托于玉磨铁路新平隧道(D1K 46 + 290 ~ D1K 60 + 780)。新平隧道穿越岩层主要为远古界前震旦系(Pt1)地层,这套地层岩性较复杂,岩层主要为前震旦系昆阳群绿汁江组 Pt1lz 白云岩夹灰岩,鹅头厂组 Pt1e 板岩夹灰岩、白云岩,大龙口组 Pt1d 灰岩、白云岩夹板岩,富良棚组 Pt1f 凝灰岩、板岩夹砂岩,黑山头组 Pt1hs 板岩夹砂岩。本段基于新平隧道 D1K 58 + 950 ~ D1K 59 + 000 段(V级围岩)展开有限差分数值模拟研究,掌子面板岩夹砂岩,如图 1 所示。



图 1 掌子面板岩夹砂岩

1.1.2 结构设计

此段隧道结构为复合式衬砌,马蹄形断面,跨度为 12.82 m,高度为 10.56 m。本研究初支主要采用挂网喷射 C25 混凝土支护,厚度为 25 cm,二衬采用 C25 模筑钢筋混凝土,厚度为 50 cm。

1.2 计算情况

1.2.1 计算模型

整个模型模拟地层的范围为横向两端取 3 ~ 5 倍洞径(14.72 m),约 60 m,总宽度为 120 m;模型高度取 3 ~ 5 倍洞高(14.72 m),约 60 m,隧道底部取 3 ~ 5 倍洞高(14.72 m),约 60 m,竖向总高度为 120 m。计算模型的边界条件为:四周施加水平约束,下边界施加垂直约束,地表为自由面。

1.2.2 计算参数

以实际勘察资料为依据,隧道计算参数,如表 1 所示。

表 1 计算模型参数

类别	厚度 /mm	重度 / (kN/m ³)	弹性模量 /GPa	泊松比	黏聚 /MPa	内摩擦角 / (°)
V 级围岩	-	20	1.3	0.35	0.10	25
加固圈	3 500	24	1.5	0.4	0.12	30
初期支护	250	23	20	0.2	-	-
仰拱	250	23	20	0.2	-	-

1.2.3 施工方案

本段研究根据实际工程情况,拟采用三台阶法、三台阶带仰拱一次开挖法、CD法和CRD法进行优选分析,施工方法示意图,如图 2 所示。

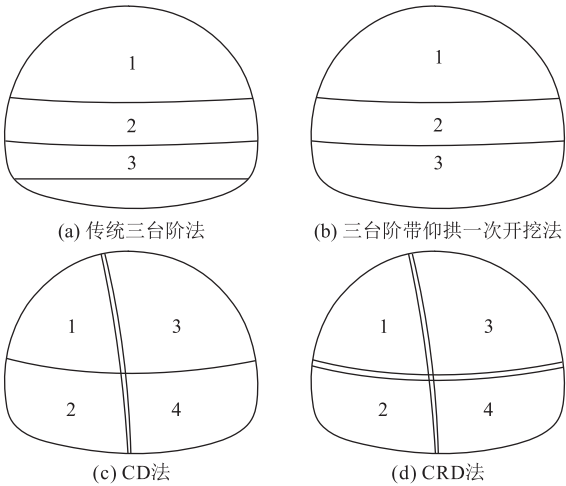


图 2 施工方法示意图

1.2.4 测点布置

为了解施工过程中围岩动态信息,据以判断围岩的稳定状态及施工的合理性,在本研究中,将选取拱顶、拱肩、边墙、拱脚以及仰拱等 8 个控制点,采集坑道

周边位移及初期支护结构内部的受力,并计算出拱肩收敛、边墙收敛及拱脚收敛值。测试点布置示意图,如图 3 所示。

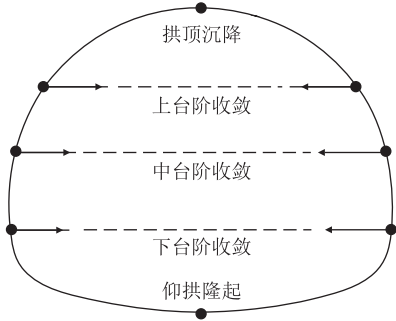


图 3 测点布置示意图

2 计算结果分析

2.1 位移分析

2.1.1 竖向位移

计算得到的传统三台阶法、三台阶带仰拱一次开挖法、CD 法和 CRD 法的竖向位移云图,如图 4 所示,仰拱隆起值及最大拱顶沉降值,如表 2 所示。

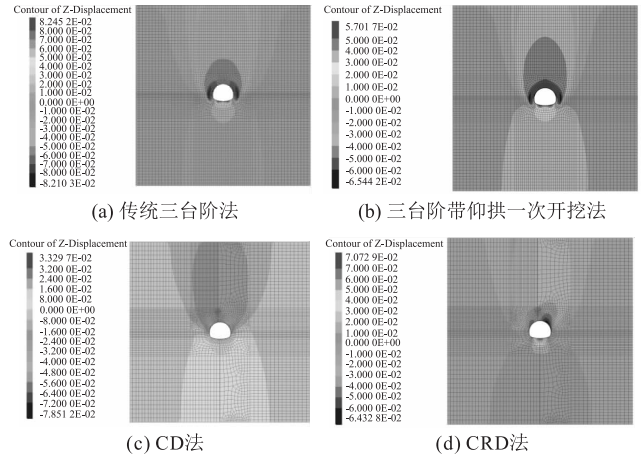


图 4 竖向位移云图

表 2 仰拱隆起值、最大拱顶沉降值及控制效果

施工方案	仰拱隆起值/mm	控制效果/%	最大拱顶沉降值/mm	控制效果/%
传统三台阶法	82.45	—	82.10	—
三台阶带仰拱一次开挖法	57.02	30.84	65.44	20.29
CD 法	33.30	59.61	75.81	4.37
CRD 法	70.73	14.21	64.33	21.64

由图 4 及表 2 可知,传统三台阶法、三台阶带仰拱一次开挖法、CD 法和 CRD 法的拱顶沉降最大值分别为 82.10 mm、65.44 mm、75.81 mm 和 64.33 mm,相对于传统三台阶法的拱顶沉降控制分别为 20.29%、

4.37%、21.64%;传统三台阶法、三台阶带仰拱一次开挖法、CD 法和 CRD 法的仰拱隆起最大值分别为 82.45 mm、57.02 mm、33.3 mm 和 70.73 mm,且三台阶带仰拱一次开挖法、CD 法和 CRD 法相对传统三台阶法的仰拱隆起控制分别为 30.84%、59.61%、14.21%。由竖向位移可知,三台阶带仰拱一次开挖法和 CRD 法在拱顶沉降控制方面差别不大,且效果显著,三台阶带仰拱一次开挖法和 CD 法在控制仰拱隆起方面效果明显,综上可知,三台阶带仰拱一次开挖法在控制结构竖向位移方面效果较好。

2.1.2 水平位移

计算得到的传统三台阶法、三台阶带仰拱一次开挖法、CD 法和 CRD 法的水平位移云图,如图 5 所示,收敛值及最大水平位移值,如表 3 所示。

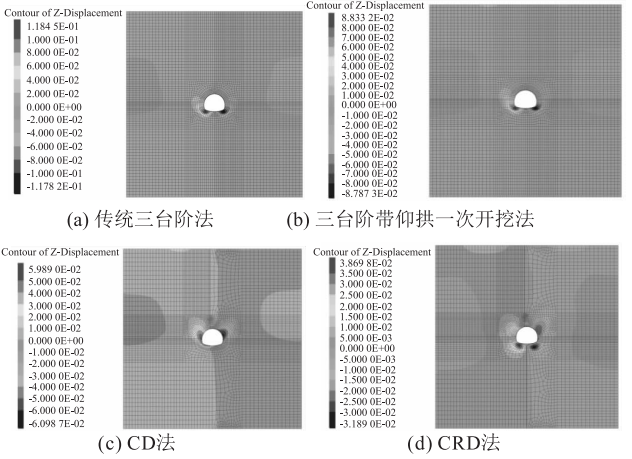


图 5 水平位移云图

由图 5 及表 3 可知,传统三台阶法、三台阶带仰拱一次开挖法、CD 法与 CRD 法的最大水平位移分别为 118.45 mm、88.33 mm、60.99 mm、38.70 mm;三台阶带仰拱一次开挖法、CD 法与 CRD 法相对于传统三台阶法的控制效果分别 25.43%、48.51%、67.33%。从控制水平位移最大值效果看,3 种施工方案均优于传统全断面开挖法,且 CRD 法效果相对更好。传统三台阶法、三台阶带仰拱一次开挖法、CD 法与 CRD 法的最大收敛值均在下台阶,最大值分别为 203.97 mm、166.70 mm、120.86 mm、76.89 mm,三台阶带仰拱一次开挖法、CD 法和 CRD 法相对于传统三台阶法的最大收敛控制效果分别为 32.72%、40.74% 和 62.30%。由此可见,三台阶带仰拱一次开挖法对于控制收敛效果均优于传统三台阶法;CD 法与 CRD 法在控制上台阶收敛上较差,但 CRD 法上、中、下台阶收敛值普遍较小。综上,从控制隧道结构水平位移看,CRD 法的控制效果较好。

表 3 收敛值、最大水平位移值及控制效果

收敛位置	传统三台阶开挖法/mm	三台阶带仰拱一次开挖法/mm	控制效果/%	CD 法/mm	控制效果/%	CRD 法/mm	控制效果/%
上台阶收敛	36.67	24.67	32.72	61.35	-67.30	49.77	-35.72
中台阶收敛	130.77	98.45	24.71	95.75	26.78	49.76	61.95
下台阶收敛	203.97	166.70	18.27	120.86	40.74	76.89	62.30
最大水平位移	118.45	88.33	25.43	60.99	48.51	38.70	67.33

2.2 应力分析

2.2.1 最大主应力

计算得到的传统三台阶法、三台阶带仰拱一次开挖法、CD 法和 CRD 法的最大主应力云图,如图 6 所示。

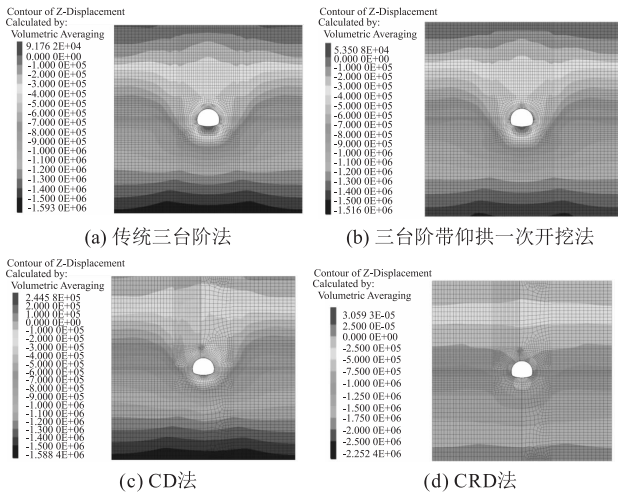


图 6 最大主应力云图

由图 6 可知,传统三台阶法、三台阶带仰拱一次开挖法、CD 法、CRD 法的最大主应力分别为 0.092 MPa、0.054 MPa、0.245 MPa、0.306 MPa,三台阶带仰拱一次开挖法相对于传统三台阶法减小了 49.13%,CD 法与 CRD 法出现最大主应力增大的现象。综上可知,在控制结构最大主应力方面,三台阶带仰拱一次开挖法的效果较好。

2.2.2 最小主应力

计算得到的传统三台阶法、三台阶带仰拱一次开挖法、CD 法和 CRD 法的最小主应力云图,如图 7 所示。

由图 7 可知,传统三台阶法、三台阶带仰拱一次开挖法、CD 法与 CRD 法的最小主应力极值分别为 -13.90 MPa、-12.20 MPa、-12.72 MPa、14.64 MPa,

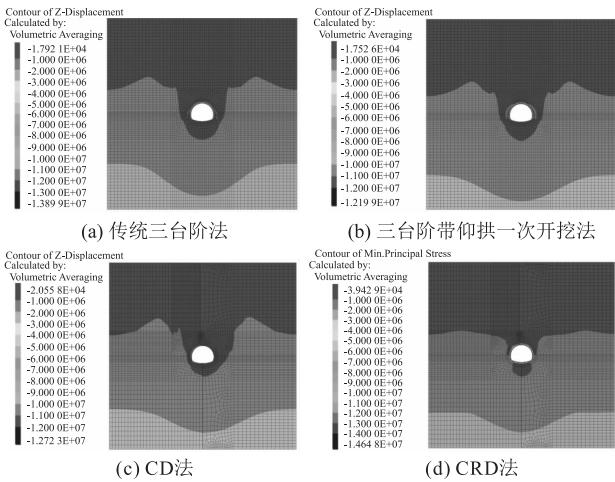


图 7 最小主应力云图

三台阶带仰拱一次开挖法与 CD 法相对于传统三台阶法减小了 12.23%、8.49%。综上可知,在控制结构最小主应力方面,三台阶带仰拱一次开挖法的效果较好。

3 结论

(1)由拱顶沉降控制效果可知,CRD 法的拱顶位移值最小,其次为三台阶带仰拱一次开挖法,且控制效果差别较小,控制效果分别为 21.64%、20.29%。在仰拱隆起控制方面,CD 法的仰拱隆起值最小,其次为三台阶带仰拱一次开挖法,且控制效果差别较小,控制效果分别为 21.64%、20.29%。综上,三台阶带仰拱一次开挖法在控制结构竖向位移方面效果较好。

(2)由水平位移可知,三台阶带仰拱一次开挖法控制水平最大位移值的效果最好,CRD 法的控制效果次之,控制效果为分别为 88.33%、67.33%;CRD 法较其它工法对上台阶收敛的效果较差,但对中、下台阶收敛控制效果最好,分别为 61.95%、62.30%。综上,CRD 法控制结构水平位移的效果较好。

(3)由主应力可知,三台阶带仰拱一次开挖法的最大主应力、最小主应力均为最小,较传统三台阶法分别减小 49.13%、12.23%,即三台阶带仰拱一次开挖法对应力的控制效果最好。

(4)综合位移、应力及施工经济性考虑,建议采用三台阶带仰拱一次开挖法作为施工方案。

参考文献:

[1] 涂瀚. 水平层状围岩隧道稳定性及破坏机理研究[J]. 铁道工程学报, 2018, 35(9): 75-79.
TU Han. Research on the Stability and Failure Mechanism of Horizontal Layered Surrounding Rock Tunnel[J]. Journal of Railway

- Engineering Society, 2018, 35(9): 75-79.
- [2] 左清军, 吴友银, 闫天玺. 特大断面板岩隧道施工期围岩变形时空效应分析[J]. 防灾减灾工程学报, 2018, 38(2): 233-243.
ZUO Qingjun, WU Youyin, YAN Tianxi. Analysis of Time-space Effect for Surrounding Rock Deformation in Super-large Cross Section Slate Tunnel during Construction Period[J]. Journal of Disaster Prevention and Mitigation Engineering, 2018, 38(2): 233-243.
- [3] 王维富. 炭质板岩地层隧道施工要点及大变形防治措施[J]. 隧道建设, 2010, 30(6): 697-700.
WANG Weifu. Key Points and Large Deformation Control in Construction of Tunnel in Carbonaceous Slate[J]. Tunnel Construction, 2010, 30(6): 697-700.
- [4] 杜耀辉. 炭质板岩大变形隧道结构受力特性及变形控制技术研究[D]. 长安大学, 2017.
DU Yaohui. Research on Mechanical Behavior and Deformation Control Technology of Carbonaceous Slab Tunnel with Large Deformation[D]. Chang'an University, 2017.
- [5] 杨生伟. 板岩地层客运专线大断面隧道施工安全控制关键技术研究[D]. 石家庄铁道大学, 2016.
YANG Shengwei. Study on the Key Technology about Large Section Tunnel Construction Safety Control of the Slate Formation of Passenger Dedicated Line[D]. Shijiazhuang Railway University, 2016.
- [6] 王锦华. 炭质板岩隧道大变形及施工工法研究[D]. 北京交通大学, 2014.
WANG Jinhua. Study of the Large Deformation and the Construction Methods for Carbonaceous Slate Tunnel[D]. Beijing Jiaotong University, 2014.
- [7] 邵广宇. 高地应力下板岩隧道施工工法探讨[J]. 兰州交通大学学报, 2014, 33(1): 83-86.
SHAO Guangning. Discussion on Construction Method of Slate Tunnel under High Ground Stress[J]. Journal of Lanzhou Jiaotong University, 2014, 33(1): 83-86.
- [8] 王更峰. 炭质板岩蠕变特性研究及其在隧道变形控制中的应用[D]. 重庆大学, 2012.
WANG Gengfeng. Creep Characteristics of Carbonaceous Slate and Its Application in Tunnel Deformation Control[D]. Chongqing University, 2012.
- [9] 包宏涛. 深埋板岩隧洞围岩力学特性研究[D]. 中国科学院研究生院(武汉岩土力学研究所), 2007.
BAO Hongtao. Study on Mechanical Characteristics of Surrounding Rock of Deep Buried Slate Tunnel[D]. Institute of Rock and Soil Mechanics (Chinese Academy of Sciences), 2007.
- [10] 杜雁鹏. 软质板岩隧道大变形力学行为与控制技术研究[D]. 中南大学, 2011.
DU Yanpeng. Research on Large Deformation Mechanics Behavior and Control Technology of Soft Slate Tunnel[D]. Central South University, 2011.
- [11] 刘建国, 王春明, 薛宁鸿, 等. 强膨胀岩浅埋富水隧道变形分析及施工控制[J]. 高速铁路技术, 2018, 9(1): 84-89.
LIU Jianguo, WANG Chunming, XUE Ninghong, et al. Deformation Analysis and Construction Control of Heavily Expansive Rock Tunnels with Shallow-buried Rich Water[J]. High Speed Railway Technology, 2018, 9(1): 84-89.

(编辑:赵立红 苏玲梅)

(上接第18页)

- [2] 马国忠. 轨道交通运载工具与列车牵引计算[M]. 成都:西南交通大学出版社, 2011.
MA Guozhong. Rail Transit Vehicle and Train Traction Calculation[M]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2011.
- [3] 中铁二院工程集团有限责任公司. 川藏线计算报告[R]. 成都:中铁二院工程集团有限责任公司, 2014.
China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd. The Study and Calculation Report of Train Running on the Long and Steep Slope of Sichuan Tibet Railway[R]. Chengdu: China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., 2014.
- [4] 黄问盈, 杨宁清, 黄民. 我国铁道列车紧急制动距离限值核定原则的探讨[J]. 中国铁道科学, 2003, 24(3): 79-88.
HUANG Wenying, YANG Ningqing, HUANG Min. Discussion on the Principle of Limiting the Value of the Emergency Braking Distance of the Railway Train in China[J]. China railway science, 2003, 24(3): 79-88.
- [5] 饶忠. 关于长大下坡道列车制动限速的确定[J]. 铁道车辆, 1984, 22(2): 33-35.
RAO Zhong. The Determination of Train Speed Limit for Trains Running on the Long and Steep Slope[J]. Railway Vehicles, 1984, 22(2): 33-35.
- [6] TB/T 1407.1-2018 列车牵引计算 第1部分:机车牵引式列车[S].
TB/T 1407.1-2018 Railway Train Traction Calculation-Part 1: Trains with Locomotives[S].
- [7] 中铁二院工程集团有限责任公司, 西南交通大学. 高寒山区长大坡道对铁路运输能力的影响研究[R]. 成都:中铁二院工程集团有限责任公司, 西南交通大学, 2015.
China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Southwest Jiaotong University. A Study of Railway Transport Capacity on the Long and Steep Slope in High-altitude Mountainous Areas[R]. Chengdu: China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Southwest Jiaotong University, 2015.
- [8] 中铁二院工程集团有限责任公司, 西南交通大学. 复杂艰险山区铁路避难线设计问题研究[R]. 成都:中铁二院工程集团有限责任公司, 西南交通大学, 2015.
China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Southwest Jiaotong University. Study on Evacuation Line Design Problem Hard Mountain Railway Complex[R]. Chengdu: China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Southwest Jiaotong University, 2015.

(编辑:苏玲梅)