

文章编号: 1674—8247(2019)01—0059—05

DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2019.01.012

强震区跨断层隧道减震缝减震技术研究

涂瀚¹ 倪嵩陟² 左奎现²

(1. 中铁隧道集团四处有限公司, 南宁 530003; 2. 北方工业大学, 北京 100144)

摘要:为进一步提高强震区跨断层隧道的震时安全稳定性,文章依托某铁路隧道断层段,利用有限差分数值计算软件对减震缝的减震性能进行研究,对比分析了无减震缝、常规减震缝和交错设缝二衬结构的主应力及内力。研究结果表明:(1)跨断层隧道上盘结构受地震作用的影响大于下盘;(2)铺设减震缝后,隧道衬砌结构轴力值、弯矩值明显降低,常规设缝和交错设缝的轴力最大降幅分别为54.4%、47.6%,弯矩最大降幅分别为41.9%、43.1%;(3)铺设减震缝后,隧道衬砌结构的安全系数明显增大,常规设缝和交错设缝的最大增幅分别为54.3%、55.6%;(4)综上可知,铺设减震缝可提高跨断层隧道结构的安全性及稳定性。

关键词:强震区;跨断层隧道;减震缝;减震性能

中图分类号:U452.2⁺8

文献标志码:A

Study on Shock Absorption Technology of Shock Absorption Joint of Fault-crossing Tunnels in Meizoseismic Area

TU Han¹ NI Songzhi² ZUO Kuixian²

(1. The 4th Engineering Co., Ltd. of China Railway Tunnel Group, Nanning 530003, China;

2. North China University of Technology, Beijing 100144, China)

Abstract: In order to further improve the seismic safety and stability of fault-crossing tunnel in meizoseismic area, based on the fault section of railway tunnel, the vibration reducing performance of the shock absorption joint is studied by using finite difference numerical calculation software, and the main stress and internal force of the second lining structure of the conventional damping joints and staggered joints and without shock absorbing joints are compared and analyzed. The results show that the influence of seismic action on the hanging wall structure of the fault-crossing tunnel is greater than that of the footwall. The axial force value and bending moment value of the tunnel lining structure are obviously reduced after the shock absorption joints are installed. The maximum decreasing amplitude of axial force for conventional joints and interlacing joints is 54.4% and 47.6% respectively, and the maximum decreasing amplitude of bending moment for conventional joints and interlacing joints is 41.9% and 43.1% respectively. The safety factor of tunnel lining structure increases obviously after the joints are installed, and the maximum amplification of conventional joints and staggered joints is 54.3% and 55.6% respectively. In conclusion, the application of the shock absorption joint can improve the safety and stability of the fault-crossing tunnel structure.

Key words: meizoseismic area; fault-crossing tunnel; shock absorption joint; seismic performance

收稿日期:2018-09-11

作者简介:涂瀚(1983-),男,高级工程师。

基金项目:国家自然科学基金(51408008);国家十二五科技支撑项目(2012BAK09B06)

引文格式:涂瀚,倪嵩陟,左奎现. 强震区跨断层隧道减震缝减震技术研究[J]. 高速铁路技术,2019,10(1):59-63.

TU Han, NI Songzhi, ZUO Kuixian. Study on Shock Absorption Technology of Shock Absorption Joint of Fault-crossing Tunnels in Meizoseismic Area[J]. High Speed Railway Technology, 2019, 10(1): 59-63.

随着我国隧道交通工程的快速发展,在其选址时不可避免地会穿越断层破碎带,而这些断层地区往往出现在高烈度地震区。地震时,跨断层隧道结构将受到严重破坏,造成围岩垮塌、二衬破坏等严重震害,因此,跨断层隧道的抗减震技术问题受到人们越来越多的关注^[1-3]。

目前,国内外专家、学者对跨断层隧道的抗减震技术进行了部分研究,主要有:设置不同减震缝间距减震效果的计算分析^[4-7];高烈度地震区隧道设置减震层减震措施、减震效果的研究^[8-10];跨断层隧道设置常规抗减震措施研究^[11]等。以上研究主要集中在设置减震层和二衬结构设置减震缝等方面,而对初支和二衬均设置减震缝技术方面的研究较少。因此,本文依托某铁路隧道穿越F6-6断层段,利用有限差分数值计算软件对初支和二衬均设置减震缝技术的减震性能进行研究。研究成果可为类似跨断层隧道的抗震设防设计提供参考。

1 隧道断层段概况

1.1 地质条件

隧道位于四川省青川县骑马乡与观音店乡交界地段,断层为压性逆断层,受断层和岩性影响,场地内出现次级断裂,节理裂隙较发育,岩体较破碎。

F6-6断层隧道在K 22+780~K 24+630段存在绢云母千枚岩、碎块岩等岩体,该处韧性剪切带宽度最宽可达10 m,围岩整体性较差,节理裂隙较发育,岩体较破碎,围岩等级为V级。

1.2 衬砌结构设计

隧道支护结构断面为五心圆马蹄形,隧道跨度为12.54 m,高度为9.79 m;隧道初支采用C25喷射混凝土,初衬厚度为30 cm,二衬采用钢-玄武岩混杂纤维混凝土(SBHFRC),厚度为40 cm。

2 研究情况

2.1 计算模型

以某隧道F6-6断层为研究背景,建立计算模型,本构模型为弹塑性模型,屈服准则采用摩尔-库伦准则。模型宽90 m,仰拱以下高55 m,拱顶埋深最高处55 m,最低埋深22 m,隧道纵向长度为75 m,断层厚度为1 m,位于隧道中间部位,断层倾角约为75°。模型底部采用刚性地基模拟地下条件并传导地震波,故在模型底层处另增加10 m基岩,减震缝施设在初支和二衬结构,间距为12 m。静力分析时模型的边界条件为下边界与四周边界全约束,上边界无约束。动力分析

时,模型各水平方向施加自由场边界,计算模型如图1所示。

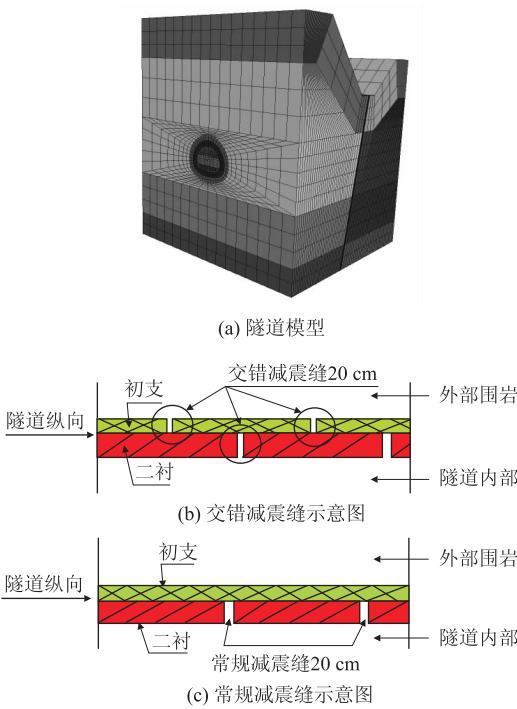


图1 计算模型

2.2 计算参数

以实际地勘资料及实验研究结果得到模型的计算参数,如表1所示。

表1 计算模型参数

参数	重度 /(kN/m ³)	弹性模量 /GPa	泊松比	内摩擦角 /(°)	粘聚力 /MPa
上下盘Ⅳ级围岩	22	5.0	0.3	35	0.5
破碎带Ⅴ级围岩	20	2.0	0.4	25	0.2
基岩Ⅱ级围岩	25	20	0.2	50	1.5
C25混凝土	24.5	28	0.2	—	—
SBHFRC	24.5	29.3	0.2	—	—
减震缝	9	1	0.38	10	0.4

2.3 计算工况

计算工况如表2所示。

表2 计算工况

工况	设缝情况
1	无
2	常规设缝12 m
3	交错设缝12 m

2.4 动力参数

选用自由场边界条件进行模拟计算,计算阻尼选用局部阻尼,局部阻尼系数为0.157 1。采用常规动力加载方式,将三个方向(x,y,z)的地震波同时通过模型底部向上部结构传递。地震波选取汶川地震加速度波

(卧龙测站),按8度地震烈度标准化,持续时间为15 s。利用滤波软件进行滤波和基线校正,处理后的地震波加速度时程曲线,如图2所示。

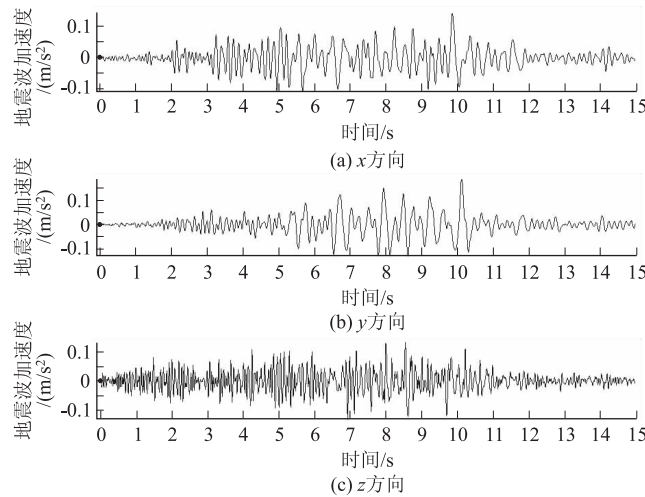


图2 加速度时程曲线

2.5 监测断面及测点布置

模型以中间断层为分界,上盘、下盘各5个监测断面,监测断面布置如图3所示。上盘监测断面分别为P10、P11、P12、P13、P14。由于越靠近断层位置,隧道衬砌内力分布越复杂,变化程度越快,规律性降低,所以靠近断层处的监测面布置相对密集,远离断层处的监测面布置相对稀疏,模型边界附近不设置监测面。

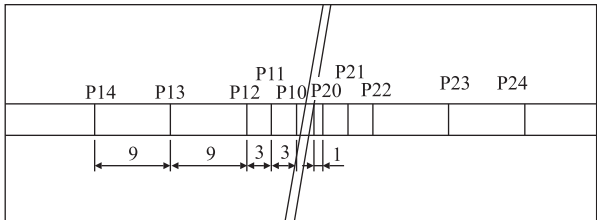


图3 监测断面布置示意图(m)

提取各监测断面二衬结构的拱顶、左拱腰、左边墙、左拱脚、右拱腰、右边墙、右拱脚、仰拱等8个测点的数据进行减震效果分析,测点布置如图4所示。

3 减震效果分析

3.1 主应力分析

提取隧道最不利时刻的最大主应力(以拱顶为例),分析地震作用对跨断层隧道纵向结构的影响,如图5所示。

由图5可知,3种工况整体趋势基本相同,以断层处为原点,距离断层越远最大主应力峰值越小,且靠近断层处变化快,远离断层处变化平缓。仅在上盘位置,无设缝工况在靠近断层处最大主应力出现极小情况。

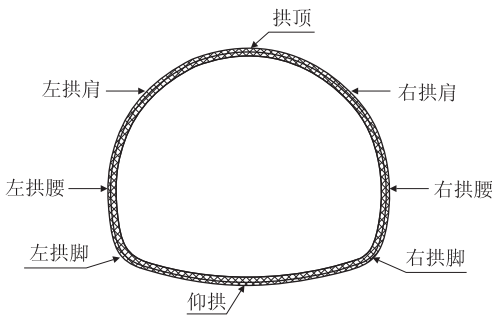


图4 测点布置示意图

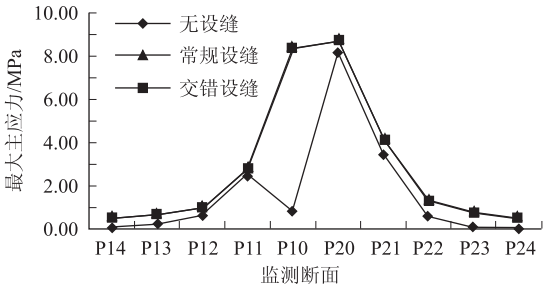


图5 最大主应力纵向分布图

从数值上分析,无设缝工况最大主应力峰值为8.15 MPa,常规设缝工况为8.69 MPa,交错设缝为8.72 MPa。相比无设缝工况,常规设缝工况上升了6.6%,交错设缝工况上升了7.0%。

3.2 内力分析

由最大主应力分析可知,距离断层越近,隧道结构的安全性越差,因此,提取靠近断层附件的P10、P20断面各监测点的计算量测数据,计算结构的轴力、弯矩及安全系数,并计算其减震效果。

3.2.1 轴力

各工况监测点的轴力如图6所示。

由图6可知,下盘位置无设缝工况左、右拱肩轴力较大,最大值为2 967 kN,常规设缝与交错设缝轴力值最大值均在右边墙处,分别为2 792 kN(常规设缝工况)和2 669 kN(交错设缝工况)。

上盘处,无设缝工况左、右拱脚处轴力值较大,最大值为6 030 kN;常规设缝工况与交错设缝工况左、右拱肩轴力也较大,但最大值均在左边墙处,分别为2 749 kN(常规设缝工况)和3 162 kN(交错设缝工况)。

从整体数值上看,使用减震措施后的隧道衬砌轴力值大部分位置有一定程度降低。相比未设缝工况,轴力最大值上盘常规设缝工况降低了54.4%,交错设缝降低了47.6%;下盘位置常规设缝工况降低了5.9%,交错设缝工况降低了10.0%。

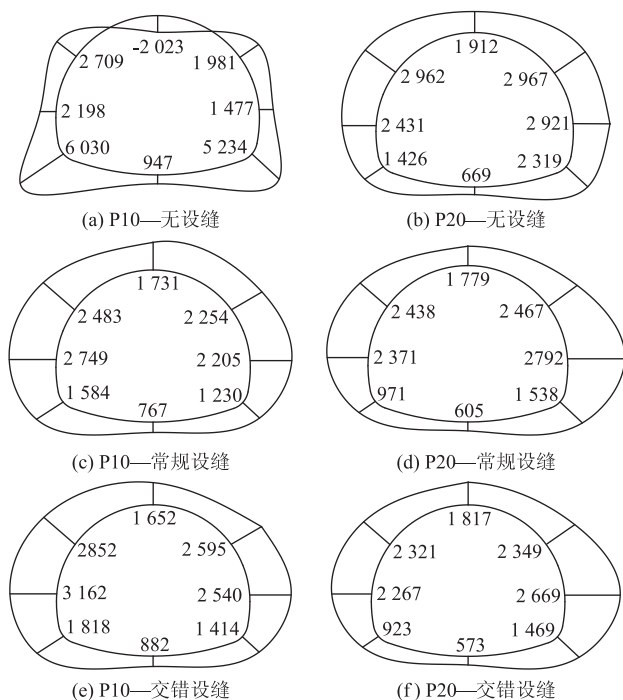


图 6 主要监测面轴力图(kN)

3.2.2 弯矩

各工况监测点的弯矩如图 7 所示。

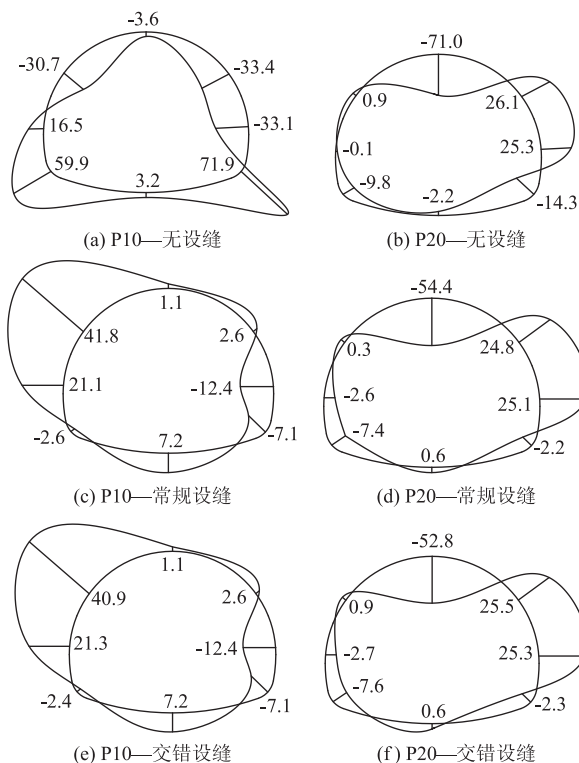


图 7 主要监测面弯矩图(kN·m)

由图 7 可知,上盘处,无设缝工况弯矩最大值出现在左、右拱脚,值为 71.9 kN·m。常规设缝工况与交错设缝工况分布趋势基本相同,均在左拱肩处出现较

大弯矩,分别为 41.8 kN·m 和 40.9 kN·m,分别降低了 41.9% 和 43.1%。

下盘位置,3 种工况弯矩分布基本相同,弯矩较大处均在拱顶、右拱肩、右边墙,其中拱顶处最大,无设缝、常规设缝工况与交错设缝的最大值分别为 -71 kN·m、-54.4 kN·m、-52.8 kN·m,相比未设缝,常规设缝工况与交错设缝分别降低了 23.4% 和 25.6%。

3.2.3 安全系数

各工况监测点的最小安全系数,如图 8 所示。

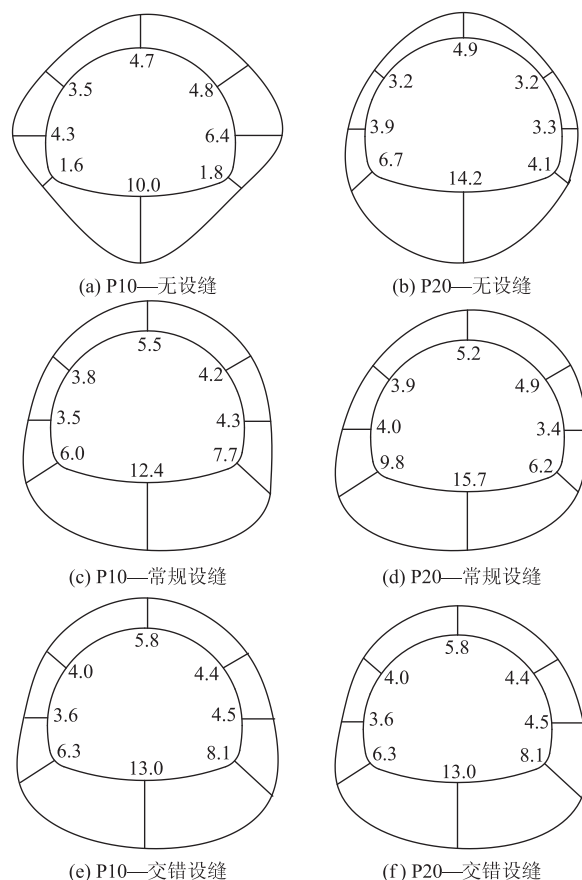


图 8 主要监测面最小安全系数

由图 8 可知,无设缝工况在上盘的 P10 断面左、右拱脚处安全系数极低,分别为 1.6 和 1.8,在下盘除仰拱位置较高外,其余部位安全系数均较低,在左、右拱肩处最低为 3.2。设置减震缝后,隧道各部位安全系数均有不同程度提高,仰拱处仍保持较高的安全系数。常规设缝工况上、下盘安全系数最小值分别为 3.5 和 3.4;交错设缝工况上、下盘安全系数最小值均为 3.6。设置减震缝后,隧道上盘最大减震效果分别增大了 54.3%、55.6%;隧道下盘最大减震效果分别增大了 5.9%、11.1%。

4 结论

(1)从隧道结构的最大主应力、内力分析可知,上盘受地震作用的影响大于下盘。

(2)施設减震缝后,隧道衬砌结构轴力值、弯矩值均有一定程度的降低,交错设缝的降低程度大于常规设缝;隧道衬砌结构的安全系数明显增大,交错设缝的增大程度大于常规设缝。

(3)综上可知,施設减震缝可提高跨断层隧道结构的安全性和稳定性,交错设缝的减震效果优于常规设缝,故推荐使用交错设缝作为跨断层隧道的减震技术。

参考文献:

- [1] 信春雷,高波,周佳媚,等.跨断层隧道抗减震措施性能振动台试验研究[J].岩土工程学报,2014,36(8):1414-1422.
XIN Chunlei, GAO Bo, ZHOU Jiamei, et al. Shaking Table Tests on Performances of Anti-seismic and Damping Measures for Fault-crossing Tunnel Structures[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2014, 36(8): 1414-1422.
- [2] 高波,王峥峥,袁松,等.汶川地震公路隧道震害启示[J].西南交通大学学报,2009,56(3):336-341.
GAO Bo, WANG Zhengzheng, YUAN Song, et al. Lessons Learnt from Damage of Highway Tunnels in Wenchuan Earthquake[J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2009, 56(3): 336-341.
- [3] 耿萍,吴川,唐金良,等.穿越断层破碎带隧道动力响应特性分析[J].岩石力学与工程学报,2012,31(7):1406-1413.
GENG Ping, WU Chuan, TANG Jinliang, et al. Analysis of Dynamic Response Properties for Tunnel Through Fault Fracture Zone[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2012, 31(7): 1406-1413.
- [4] 倪嵩陟.钢-玄武岩混杂纤维混凝土衬砌承载特性及抗震性能研究[D].北京:北方工业大学,2017.
NI Songzhi. Study on Bearing Capacity and Seismic Performance of Steel-basalt Hybrid Fibers Reinforced Concrete Lining[D]. Beijing: North China University of Technology, 2017.
- [5] 高峰,石玉成,严松宏,等.隧道的两种减震措施研究[J].岩石力学与工程学报,2005,24(2):222-229.
GAO Feng, SHI Yucheng, YAN Songhong, et al. Study of Two Shock Absorption Measures in Tunnel[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24(2): 222-229.
- [6] 王道远,袁金秀,朱永全,等.高烈度区软硬岩交界段隧道震害机制及减震缝减震技术模型试验研究[J].岩石力学与工程学报,2017,36(S2):4113-4121.
WANG Daoyuan, YUAN Jinxiu, ZHU Yongquan, et al. Mechanism of Seismic Damage and Model Test on Absorption Joint Damping Technology of Tunnel Across Junction of Soft and Hard Rock in High Seismic Area[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2017, 36(S2): 4113-4121.
- [7] 崔光耀,王明年,于丽,等.断裂黏滑隧道减震缝减震技术模型试验研究[J].岩石力学与工程学报,2013,32(8):1603-1609.
CUI Guangyao, WANG Mingnian, YU Li, et al. Model Test Study of Shock Absorption Joint Damping Technology of Stick-slip Fracture Tunnel[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2013, 32(8): 1603-1609.
- [8] 熊良宵,李天斌,杨林德.隧道两种减震措施的数值模拟研究[J].水文地质工程地质,2007,51(4):36-40.
XIONG Liangxiao, LI Tianbin, YANG Linde. Study on Numerical Simulation of Two Shock Absorption Measures in Tunnel[J]. Hydro Geology and Engineering Geology, 2007, 51(4): 36-40.
- [9] 崔光耀,王明年,于丽,等.穿越黏滑错动断层隧道减震层减震技术模型试验研究[J].岩土工程学报,2013,35(9):1753-1758.
CUI Guangyao, WANG Mingnian, YU Li, et al. Model Tests Study on Damping Shake Technology of Shock Absorption Layer of Tunnels Crossing Stick-slip Faults[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2013, 35(9): 1753-1758.
- [10] 崔光耀,伍修刚,王明年,等.高烈度地震区黏滑断层隧道减震层减震模型试验研究[J].岩土工程学报,2017,39(11):2125-2131.
CUI Guangyao, WU Xiugang, WANG Mingnian, et al. Model Tests Study on Damping of Shock Absorption Layer of Stick-slip Fracture Tunnel in High Seismic Areas[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2017, 39(11): 2125-2131.
- [11] 信春雷,高波,周佳媚,等.跨断层隧道设置常规抗减震措施振动台试验研究[J].岩石力学与工程学报,2014,33(10):2047-2055.
XIN Chunlei, GAO Bo, ZHOU Jiamei, et al. Shaking Table Tests of Conventional Anti-seismic and Damping Measures on Fault-crossing Tunnels[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2014, 33(10): 2047-2055.

(编辑:赵立红 苏玲梅)