

文章编号: 1674—8247(2022)04—0055—04
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2022.04.009

强震区跨导热断层隧道不同断层温度对结构安全性的影响

崔光耀¹ 石文昊¹ 王明胜²

(1. 北方工业大学, 北京 100144; 2. 中铁城市发展投资集团有限公司, 成都 610000)

摘要:为提升强震区跨导热断层隧道的安全性,本文利用有限差分软件 Flac3D 对强震区跨导热断层不同断层温度对隧道结构安全性的影响进行了分析。结果表明:(1)断层温度为 30 ℃时,隧道最大主应力最大值和最小主应力最大值分别为 55.61 MPa 与 -55.29 MPa,拱顶处 x 、 y 、 z 方向的位移分别为 57.30 mm、38.58 mm 与 88.34 mm;(2)随着断层温度逐级升高至 110 ℃,最大、最小主应力受其影响分别增加了 1.60% ~ 9.39% 与 2.28% ~ 10.54%,拱顶 x 、 y 、 z 方向的位移也随之增加,但增加幅度较不明显。研究结果可为强震区跨导热断层的工程设计提供参考。

关键词:隧道工程;跨导热断层;强震区;断层温度

中图分类号:U25 文献标志码:A

Impact of Different Fault Temperatures on Structural Safety of Tunnel Crossing Thermal Conductive Faults in Meizoseismal Areas

CUI Guangyao¹ SHI Wenhao¹ WANG Mingsheng²

(1. North China University of Technology, Beijing 100144 China;

2. China Railway City Development and Investment Group Co., Ltd., Chengdu 610000 China)

Abstract: In order to improve the safety of tunnel crossing thermal conductive faults in strong earthquake regions, the finite difference software Flac3D is used in this paper to analyze the impact of different fault temperatures across thermal conductive faults in meizoseismal areas on the safety of tunnel structures. The results show that: (1) When the fault temperature is 30 ℃, the maximum and minimum principal stresses of the tunnel are 55.61 MPa and -55.29 MPa respectively, and the displacements in x , y , and z directions at the crown are 57.30 mm, 38.58 mm, and 88.34 mm respectively. (2) As the fault temperature rises to 110 ℃, the maximum and minimum principal stresses increase by 1.60% ~ 9.39% and 2.28% ~ 10.54% respectively, and the displacement of the crown in x , y , and z directions also increases, but the increase is not obvious. The results can provide a reference for the engineering design of thermal conductive fault crossing in meizoseismal areas.

Key words: tunnel engineering; thermal conductive fault crossing; meizoseismal areas; fault temperature

随着我国西部山区铁路的发展,铁路隧道不可避免地穿越山区强震地区、断层带,而此类地区中可能存

收稿日期:2021-10-08

作者简介:崔光耀(1983-),男,博士,教授。

基金项目:国家自然科学基金项目(52178378)

引文格式:崔光耀,石文昊,王明胜. 强震区跨导热断层隧道不同断层温度对结构安全性的影响[J]. 高速铁路技术,2022,13(4):55-58.

CUI Guangyao, SHI Wenhao, WANG Mingsheng. Impact of Different Fault Temperatures on Structural Safety of Tunnel Crossing Thermal Conductive Faults in Meizoseismal Areas[J]. High Speed Railway Technology, 2022, 13(4):55-58

在地温等恶劣地质条件。因此,许多专家、学者开展了大量研究^[1-2]。高地温的地质成因较为复杂,袁伟^[3]等认为大气降水、冰雪融水、河水与地壳深部的高温高压热流进行的热交换、离子交换等物理化学作用,是海螺沟地区地热产生的原因;王生仁^[4]等发现拉月隧道的高地温是由雅鲁藏布江缝合带陆-陆碰撞伴随的断裂摩擦生热等所致。为了研究高地温对于隧道安全性的影响,王志杰^[5]等利用数值分析的方法研究了尼格隧道施工期水化热和高地温共同作用的传热规律,并计算了隧道隔热层的最优厚度;罗占夫^[6]等研究了高黎贡山越岭段铁路隧道洞内气温满足规范时隧道围岩的温度分布规律;崔光耀^[7-8]等分别对拉日铁路吉沃希噶隧道使用不同减震措施和不同隔热材料后的安全性提升效果进行了分析对比,并提出了适合该隧道的最优减震措施及最优隔热材料;唐兴华^[9]等研究了吉沃希噶隧道初期支护受温度及应力影响下的施工期特征及演变规律,并对其安全性进行了评价;王明年^[10]等利用数值模拟方法探究了大瑞铁路高黎贡山隧道初期支护和二次衬砌在不同岩温下的安全性,同时提出了高岩温隧道支护结构的分级方式。

以上研究主要集中在对非强震区高地温隧道的安全性分析以及恒定温度下强震对隧道的影响等方面,而针对不同导热断层温度对强震影响下隧道安全性的影响较少。因此,为提升此类隧道的安全性,保证铁路隧道能够安全建设运营,本文以桑珠岭隧道为研究背景,针对不同断层温度跨导热断层隧道的强震破坏规律进行了研究。研究成果可为不同断层温度跨导热断层隧道的理论研究和实际建设提供参考。

1 工程概况

1.1 地质条件

桑珠岭隧道位于西藏自治区山南市境内的雅鲁藏布江桑日峡谷,是连接拉萨市与林芝市的铁路重难点工程之一。该隧道于2014年12月开工建设,隧道全长16.449 km,地势海拔在3 300~5 100 m之间,最大埋深1 347 m。桑珠岭隧道存在岩爆、高地温、温泉水等不良地质,其中对施工作业环境影响最大的因素为高地温,开挖时隧道内环境温度最高可达56℃。隧道围岩主要为坚硬易碎的岩石,围岩分级为Ⅳ级,破碎带围岩分级为Ⅴ级,基岩围岩分级为Ⅱ级。

1.2 支护设计

隧道初期支护厚度0.25 m,采用C25喷射混凝土;二次衬砌厚0.45 m,采用C25模筑混凝土。

2 研究情况

2.1 计算模型

以桑珠岭隧道断层段为研究背景,利用有限差分软件Flac3D建立计算模型。隧道埋深设为55 m,纵向长度设为200 m,隧道左右两侧均取4倍隧道洞室宽度(约40 m)。模型底部至隧道下方距离设为55 m,底部基岩厚度设为20 m。破碎带断层倾角设为85°,其宽度设为10 m,位于模型中央位置。静力计算时,模型底部全约束,四周法向约束,顶部无约束;动力计算时,模型底部为静态边界,四周为自由场边界。模型顶部初始温度为54℃,而断层破碎带作为导热通道,是高地温向周边环境传导的主要途径,因此以其温度作为变量进行研究。

2.2 计算参数

根据桑珠岭隧道实际地勘资料,计算分析中选用的具体参数如表1所示。

表1 计算参数表

参数	重度 (kN/m ³)	弹性模量 /GPa	泊松比	黏聚力 /MPa	内摩擦角 /(°)	导热系数 (W/m·°C)
基岩	25	20	0.2	1.5	50	2.2
围岩	20	1.5	0.4	1	25	8
初支	22	23	0.2	-	-	2

2.3 计算工况

为研究不同导热断层温度对隧道结构安全性的影响,拟定的计算工况如表2所示。

表2 计算工况表

工况	导热断层温度/°C
1	30
2	50
3	70
4	90
5	110

2.4 动力参数

动力计算中采用局部阻尼,阻尼系数为0.157。使用常规加载方式,利用基线过滤及校正软件将以11度地震烈度进行标准化;地震波采用汶川实测地震波(卧龙测站),从模型底部向模型上部传递,持续时间为40 s。地震波的实际加速度时程曲线如图1所示。

2.5 监测点及监测面布置

以模型断层中心处为基准,沿隧道纵向左各取6个监测断面,如图2所示。其中D1、D2断面分别为靠近断层中心处的下盘与上盘监测断面。各监测断面测点布置如图3所示。

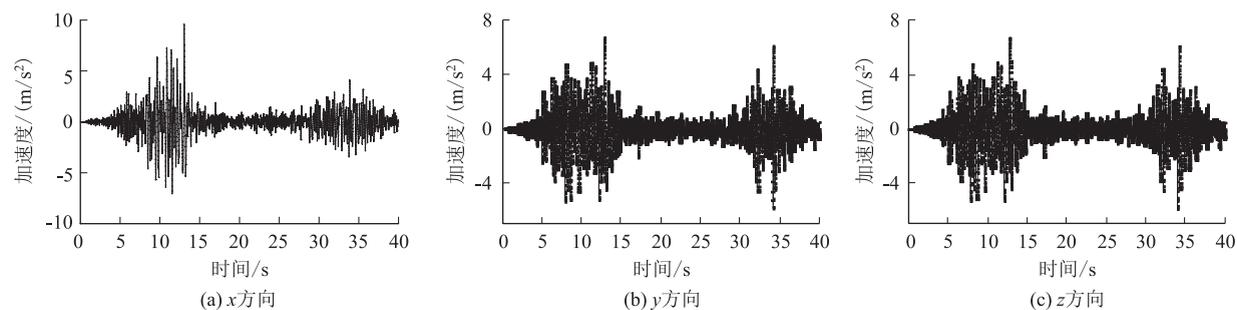


图1 地震波加速度时程曲线图



图2 监测断面布置图(m)

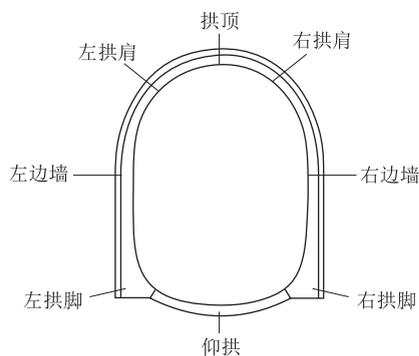


图3 测点布置图

3 试验结果及分析

3.1 最大主应力分析

从计算结果中提取全时段中各个监测断面各测点的最大主应力值,根据最不利原则取全时段中最大值进行分析。各断面的最大主应力值变化规律如图4所示,最大主应力计算结果如表3所示。

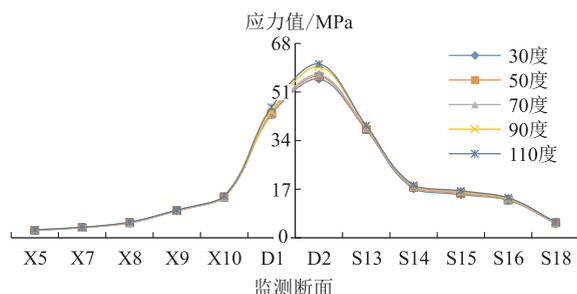


图4 最大主应力最大值变化曲线图

由图4可知,最大主应力最大值出现在D2监测

断面处。由表3可知,断层破碎带温度为30℃时,隧道最大主应力最大值为55.61 MPa。随着断层破碎带温度逐渐升高,隧道最大主应力最大值也在逐渐增加。断层破碎带温度增加至110℃时,最大主应力最大值升至55.61 MPa。最大主应力变化率在1.60%到9.39%之间,其中断层破碎带温度由70℃升高至90℃时的增量变化较大,总体呈上升趋势。

表3 最大主应力计算结果表

工况	最大主应力最大值/MPa	最大主应力变化率/%
1	55.61	-
2	56.50	1.60
3	57.08	2.64
4	59.89	7.70
5	60.83	9.39

3.2 最小主应力分析

从计算结果中提取全时段中各个监测断面各测点的最小主应力值,根据最不利原则取其中最大值进行分析。各断面的最小主应力值变化规律如图5所示,最小主应力计算结果如表4所示。

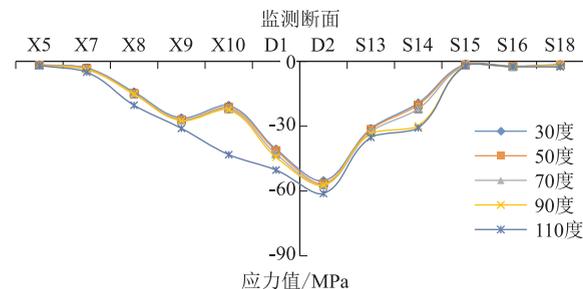


图5 最小主应力最大值变化曲线图

由图5可知,最小主应力最大值出现在D2监测断面处。由表4可知,断层破碎带温度为30℃时,隧道最小主应力最大值为-55.29 MPa;随着断层破碎带温度逐渐升高,隧道最小主应力最大值逐渐增加;断层破碎带温度增加至110℃时,隧道最小主应力最大值升至-61.12 MPa。最小主应力变化率在2.28%到

10.54%之间,其中断层破碎带温度由90℃升高至110℃时的增量变化较大,总体呈上升趋势。

表4 最小主应力计算结果表

工况	最小主应力最大值/MPa	最小主应力变化率/%
1	-55.29	-
2	-56.55	2.28
3	-57.22	3.49
4	-57.26	3.56
5	-61.12	10.54

3.3 位移分析

从计算结果中提取全时段各个监测断面拱顶处测点 x 、 y 、 z 3个方向的位移,根据最不利原则取其中位移最大值进行分析。各断面的位移变化规律如图6所示,位移计算结果如表5所示。

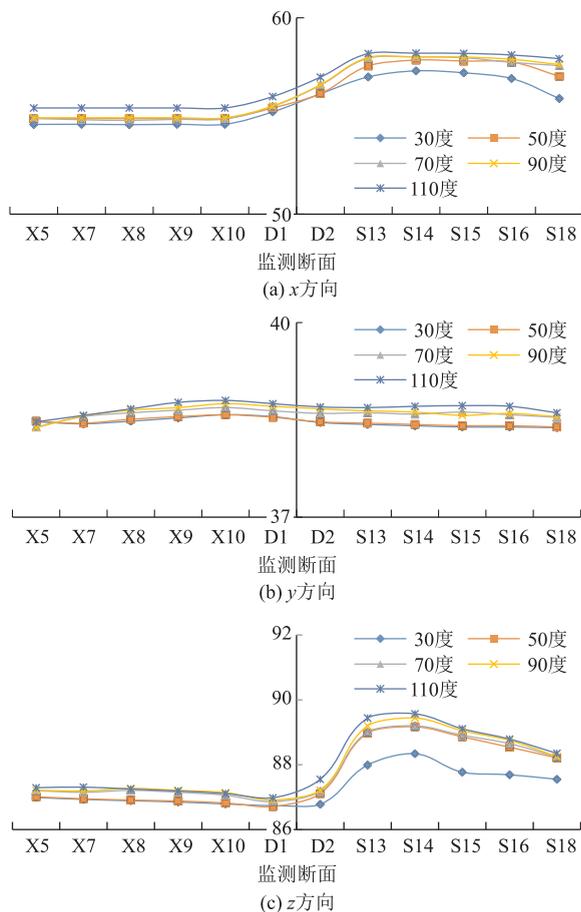


图6 隧道拱顶位移变化图

由图6可知, x 与 z 方向的位移最大值出现在S14监测断面处, y 方向的位移最大值出现在X10监测断面处。由表5可知,断层破碎带温度为30℃时,拱顶处的位移为所有工况中最小,其 x 、 y 、 z 方向的拱顶位移分别为57.30 mm、38.58 mm和88.34 mm;当断层破碎带温度为110℃时,其 x 、 y 、 z 方向的拱顶位移分别为58.20 mm、38.80 mm和89.57 mm,为所有工况

中最大。

表5 位移计算结果表

工况	x 向位移最大值/mm	变化幅度/%	y 向位移最大值/mm	变化幅度/%	z 向位移最大变化量/mm	变化幅度/%
1	57.30	-	38.58	-	88.34	-
2	57.85	0.96	38.58	0	89.19	0.96
3	58.01	1.24	38.69	0.29	89.20	0.97
4	58.01	1.24	38.75	0.44	89.44	1.25
5	58.20	1.57	38.80	0.57	89.57	1.39

整体上来看,拱顶 x 与 z 方向上的位移增加较为明显,工况2~工况5相比于工况1的位移分别增加了0.96%~1.57%和0.96%~1.39%;而拱顶 y 方向上的位移变化幅度相对较小,其工况2~工况5相比于工况1的位移增加了0.29%~0.57%。由此可知,随着断层破碎带的温度增加,隧道拱顶处的位移也随之增加,但增加幅度较为平缓。

4 结论

本文以桑珠岭隧道为研究背景,研究了强震区跨导热断层隧道不同断层温度结构安全性的影响,得出主要结论如下:

(1)随着断层温度的增加,其最大最小主应力也同步增加,且最大值皆位于D2监测断面处。各工况的最大主应力和最小主应力增加率分别为1.60%~9.39%与2.28%~10.54%。由此可知高地温对于跨导热断层隧道的结构安全性影响较小。

(2)不同断层温度下跨导热断层拱顶的各方向位移变化规律大致相同,各方向位移最大值随着地温升高皆逐渐增加。其中 x 与 z 方向的位移最大值出现在S14断面处,各监测断面间温度差异较为明显,而 y 方向的位移最大值出现在X10监测断面处,各监测断面间温度差异较小。总体上看,高地温对于跨导热断层隧道的位移影响也较小。

(3)虽然应力及位移都随着断层温度的增加而增加,但其增加幅度与温度的增加幅度相比并不明显。因此高地温对于跨导热断层隧道的安全性和位移影响较小,而对其他指标的影响还有待进一步实验研究。

参考文献:

- [1] 李国良,程磊,王飞. 高地温隧道修建关键技术研究[J]. 铁道标准设计, 2016, 60(6): 55-59.
LI Guoliang, CHENG Lei, WANG Fei. Study on Key Technology for Construction of High Ground Temperature Tunnel [J]. Railway Standard Design, 2016, 60(6): 55-59.

(下转第98页)

- [5] 丛丛, 李俊辉, 秦凯. 城市轨道交通行车作业虚拟仿真实训系统的设计与应用[J]. 城市轨道交通研究, 2020, 23(8): 44-49.
CONG Cong, LI Junhui, QIN Kai. Design and Application of Virtual Simulation Training System in Urban Rail Transit Operation [J]. Urban Mass Transit, 2020, 23(8): 44-49.
- [6] 王秀娟. 基于车站子系统一体化配置的分散自律调度集中系统研究[J]. 铁道通信信号, 2007, 43(4): 1-3.
WANG Xiujuan. Research on Decentralized and Self-disciplined Scheduling Centralized System Based on the Integrated Configuration of Station Subsystems [J]. Railway Signalling & Communication, 2007, 43(4): 1-3.
- [7] 周妍, 周磊山. 高速铁路行车调度指挥一体化仿真实验平台设计与研究[J]. 铁道学报, 2012, 34(6): 1-7.
ZHOU Yan, ZHOU Leishan. Study on Simulation and Experiment Platform of Integrated High-speed Railway Traffic Control [J]. Journal of the China Railway Society, 2012, 34(6): 1-7.
- [8] 闫贝贝. 分散自律调度集中与计算机联锁的结合[J]. 铁道运营技术, 2011, 17(2): 41-43.
YAN Beibei. The Combination of Decentralized and Autonomous Scheduling Centralized and Computer Interlocking [J]. Railway Operation Technology, 2011, 17(2): 41-43.
- [9] 杨肇夏, 蒋熙, 苗建瑞, 于勇. 列车接发与调度指挥实时仿真培训系统[J]. 系统仿真学报, 2001, 13(4): 546-547.
YANG Zhaoxia, JIANG Xi, MIAO Jianrui, et al. Real-time Simulation Training System for Train Reception and Departure, Dispatching and Command [J]. Acta Simulata Systematica Sinica, 2001, 13(4): 546-547.
- [10] 赵随海, 宋鹏飞, 林海桐, 等. 高速铁路调度集中一体化仿真测试平台的设计与实现[J]. 铁道运输与经济, 2018, 40(8): 65-70.
ZHAO Suihai, SONG Pengfei, LIN Haitong, et al. The Design and Implementation of Integrated Simulation and Test Platform for High-speed Railway Centralized Traffic Control [J]. Railway Transport and Economy, 2018, 40(8): 65-70.
- [11] 马文晖, 杨斐, 冯国斌. 高速铁路 CTC 仿真培训系统的设计与应用[J]. 高速铁路技术, 2021, 12(1): 26-28.
MA Wenhui, YANG Fei, FENG Guobin. Design and Application of Simulation Training System of CTC for High-speed Railway [J]. High Speed Railway Technology, 2021, 12(1): 26-28.

(上接第58页)

- [2] 严健, 何川, 汪波, 等. 高地温高应力隧道岩爆特征及机制研究[J]. 铁道学报, 2020, 42(12): 186-194.
YAN Jian, HE Chuan, WANG Bo, et al. Research on Characteristics and Mechanism of Rockburst Occurring in High Geo-Temperature and High Geo-Stress Tunnel [J]. Journal of the China Railway Society, 2020, 42(12): 186-194.
- [3] 袁伟, 冉光静, 张恒. 海螺沟温泉地质成因分析[J]. 中国矿业, 2015, 24(4): 83-87.
YUAN Wei, RAN Guangjing, ZHANG Heng. Genetic Analysis of Hailuoguo Hotspring [J]. China Mining Magazine, 2015, 24(4): 83-87.
- [4] 王生仁, 张晓宇, 杜世回, 等. 川藏铁路拉月隧道穿越东构造结地温分布特征及预测[J]. 隧道建设, 2021, 41(1): 100-107.
WANG Shengren, ZHANG Xiaoyu, DU Shihui, et al. Geothermal Distribution Characteristics and Prediction of Layue Tunnel of Sichuan-Tibet Railway Passing through East Syntaxis [J]. Tunnel Construction, 2021, 41(1): 100-107.
- [5] 王志杰, 林铭, 姜逸帆, 等. 高地温隧道考虑二次衬砌水化热的隔热层厚度优化[J]. 隧道建设(中英文), 2021, 41(S1): 1-10.
WANG Zhijie, LIN Ming, JIANG Yifan, et al. Optimizing Thickness of Thermal Insulation Layer of High Geotemperature Tunnel Considering Hydration Heat of Secondary Lining [J]. Tunnel Construction, 2021, 41(S1): 1-10.
- [6] 罗占夫, 蒋涛, 王树刚, 等. 隧道围岩温度分析解在高黎贡山铁路隧道的应用: 隧道内空气温度满足设计要求时的围岩温度分布规律[J]. 隧道建设(中英文), 2020, 40(S2): 32-37.
LUO Zhanfu, JIANG Tao, WANG Shugang, et al. Application of Theoretical Solution of Surrounding Rock Temperature in Gaoligongshan Railway Tunnel: Surrounding Rock Temperature Distribution Law under Design Air Temperature [J]. Tunnel Construction, 2020, 40(S2): 32-37.
- [7] 伍修刚, 左奎现, 何兆才, 等. 强震区高岩温隧道两种隔热材料的隔热减震效果分析[J]. 国防交通工程与技术, 2017, 15(6): 34-37.
WU Xiugang, ZUO Kuixian, HE Zhaoai, et al. An Analysis of the Thermal Insulation and Shock Absorption Effects of Two Kinds of Thermal Insulation Materials in High-Rock-Temperature Tunnels in Meizoseismal Areas [J]. Traffic Engineering and Technology for National Defence, 2017, 15(6): 34-37.
- [8] 崔光耀, 王雪来, 左奎现, 等. 强震区高岩温隧道刚柔并济综合减灾技术研究[J]. 现代隧道技术, 2019, 56(5): 98-103.
CUI Guangyao, WANG Xuelai, ZUO Kuixian, et al. Study on Rigid and Flexible Compound Disaster Reduction Technology for the Tunnel with High Rock Temperature in Meizoseismal Area [J]. Modern Tunnelling Technology, 2019, 56(5): 98-103.
- [9] 唐兴华, 王明年, 童建军, 等. 高岩温隧道初期支护应力场及安全性研究[J]. 西南交通大学学报, 2019, 54(1): 32-38.
TANG Xinghua, WANG Mingnian, TONG Jianjun, et al. Study on Stress Field and Security of Primary Support in High Rock Temperature Tunnel [J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2019, 54(1): 32-38.
- [10] 王明年, 童建军, 刘大刚, 等. 高岩温铁路隧道支护结构体系分级研究[J]. 土木工程学报, 2015, 48(11): 119-125.
WANG Mingnian, TONG Jianjun, LIU Dagang, et al. Study on Support Structure System Classification of Railway Tunnel with High Rock Temperature [J]. China Civil Engineering Journal, 2015, 48(11): 119-125.