

文章编号: 1674—8247(2023)02—0064—06

DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2023.02.013

## 极端温差地区框架棚洞结构温度效应影响及 结构优化研究

唐思聪 刘金松 张 维 罗禄森

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

**摘 要:**本文以拉林铁路达嘎拉隧道进口棚洞为研究对象,研究了外界温度变化对棚洞结构的整体稳定性的影响,分析了温度变化时立柱、纵梁、纵向联系梁及横向联系梁的内力变化,结果表明:(1)棚洞结构的最大变形随着降温及升温幅度的增加而增大,降温对结构变形的影响高于升温;(2)纵梁跨中弯矩受升温  $25^{\circ}$  控制,而纵梁端部弯矩、桩基最大弯矩、纵向联系梁最大弯矩及轴力受降温  $25^{\circ}$  控制;(3)横向联系梁的增加对控制棚洞结构的变形作用并不大;在降温作用下,横向联系梁的增加使桩基端部弯矩增加了约 3 倍,同时承受巨大的轴向拉力;(4)取消设置横向联系梁,既可以保证棚洞结构的整体稳定性,又可以降低降温引起的附加内力。

**关键词:**棚洞;框架;隧道洞口;温度荷载

**中图分类号:** U452.2      **文献标识码:** A

64

## A Study on Temperature Effect and Structural Optimization of Frame Shed Tunnel Structure in Extreme Temperature Difference Area

TANG Sicong LIU Jinsong ZHANG Wei LUO Lusen

(China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China)

**Abstract:** This paper took the shed tunnel at the entrance of the Dagala Tunnel of Lhasa - Nyingchi Railway as a case to study the impact of external temperature change on the overall stability of the shed tunnel structure, and analyzed the changes of internal forces of columns, longitudinal beams, longitudinal connecting beams and transverse connecting beams when the temperature changes. The results show that: (1) The maximum deformation of shed tunnel structure increases with the increase of temperature drop / rise, and the impact of the temperature drop on structural deformation is greater than that of temperature rise. (2) The critical temperature change for the midspan bending moment of the longitudinal beam is temperature rise of  $25^{\circ}$ , while that for the bending moment at the end of the longitudinal beam, the maximum bending moment of the pile foundation, the maximum bending moment of the longitudinal connecting beam and the axial force is temperature drop of  $25^{\circ}$ . (3) The addition of the transverse connecting beam has little effect on controlling the deformation of the shed tunnel structure. Under the cooling effect, the addition of the transverse connecting beam will increase the bending moment at the end of the pile foundation by about 3 times and bears huge axial tension simultaneously. (4) The removal of transverse connecting beams can ensure the overall stability of the shed tunnel structure and reduce the additional internal force caused by cooling.

收稿日期:2022-01-10

作者简介:唐思聪(1988-),男,高级工程师。

引文格式:唐思聪,刘金松,张维,等. 极端温差地区框架棚洞结构温度效应影响及结构优化研究[J]. 高速铁路技术,2023,14(2):64-69.

TANG Sicong, LIU Jinsong, ZHANG Wei, et al. A Study on Temperature Effect and Structural Optimization of Frame Shed Tunnel Structure in Extreme Temperature Difference Area [J]. High Speed Railway Technology, 2023, 14(2):64-69.

**Key words:** shed tunnel; frame; tunnel portal; temperature load

近年来我国掀起了西部铁路建设的浪潮,然而,西部地区地质复杂、地形山高谷深、地势起伏跌宕,山体上危岩落石发育对铁路施工及运营安全造成极大的威胁。部分危岩落石即使施工阶段进行防护也难以彻底清除或根治,如重庆枢纽铁路石壁山隧道不得不利用天窗时间采取接长明洞的方式进行防护<sup>[1]</sup>。因此,在隧道洞口设置棚洞结构防治危岩落石是非常必要的<sup>[2]</sup>。

众多专家学者开展了大量的研究,刘元雪<sup>[3]</sup>采用有限元软件 ANSYS 对 5 种不同棚洞结构型式从弯矩、轴力、剪力方面进行了综合计算优化分析;李济良<sup>[4]</sup>利用有限元等软件,分别从棚洞选型、尺寸拟定、结构组成及结构计算等方面进行分析,研究出了满足该隧道时速要求的由矩形框架和边梁组成的框架式棚洞结构;林立彬<sup>[5]</sup>对明拱暗进工法作了介绍,这种工法在适应地形上具有一定灵活性,且施工便捷,对平顶半拱通透型棚洞结构进行数值分析,验证棚洞结构的设计和施工方法;郑宗溪<sup>[6]</sup>结合内昆铁路喇叭溪棚洞地形、地质条件及既有构筑物现状对棚洞的结构方案进行研究比选,提出采用独立钢筋混凝土框架与简支梁组合的结构型式;冉利刚、陈赤坤<sup>[7]</sup>通过对棚洞净空断面、跨度、跨数、荷载以及细部尺寸的研究,探索影响棚洞内力的控制因素及棚洞受力、配筋特点,获取最优设计参数。

以往研究大多集中于棚洞结构型式及结构参数,但未研究外界温度变化对棚洞结构整体稳定性、结构型式及结构参数的影响。本文以拉林铁路达嘎拉隧道进口棚洞为研究对象,研究外界温度变化对棚洞结构的整体稳定性的影响,主要分析温度变化时立柱、纵梁、纵向联系梁及横向联系梁的内力的变化。研究成果可为设计提供理论依据,为类似工程提供借鉴。

## 1 工程概况

达嘎拉隧道全长 17 324 m,隧区位于念青唐古拉山与喜马拉雅山之间的藏南谷地高山区,山高谷深,气候极端恶劣。隧道进口 DK 277+741~DK 278+420 段(方量约 7 000 m<sup>3</sup>)发育危岩落石,基岩为白垩纪早世花岗岩闪长岩(K<sub>1</sub>γδ)。危岩落石对隧道进口影响大。

隧道进口穿越花岗闪长岩,围岩等级为Ⅳ级。测区基岩节理为:J1:N50°W/49°S;J2:N36°W/90°;J3:N61°W/17°N。棚洞横断面如图1所示。

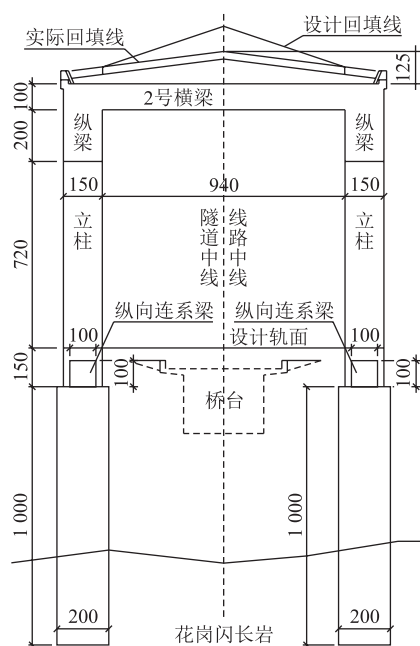


图 1 棚洞横断面图(cm)

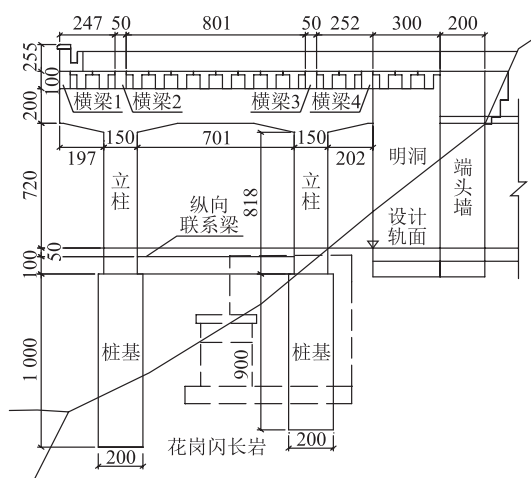


图 2 棚洞纵断面图(cm)

隧区地震动峰值加速度为 0.15 g, 地震动反应谱特征周期值为 0.45 s。隧区年平均气温 11℃, 极端最高气温 31.8℃, 极端最低气温 -11.5℃。棚洞纵断面如图 2 所示。

## 2 计算模型

棚洞纵梁、横梁、立柱、桩基及纵向联系梁均采用梁单元(BEAM4)模拟。

棚洞结构考虑永久荷载、可变荷载和偶然荷载,按最不利工况,即洞顶回填土压力、结构自重、风荷

载、雪荷载、落石冲击荷载及地震力荷载进行综合考虑,主要荷载计算如下:

(1)洞顶回填土压力计算

棚洞顶回填土石方和粘土隔水层,密度按1900 kg/m<sup>3</sup>计算。洞顶中心回填高度1.6 m,设计回填坡度1:10,检算回填坡度1:5,检算洞顶中心回填高度为1.6 m。棚洞计算时,土压力由T梁两端传递到纵梁上。一边纵梁的荷载:

$$S1T = 1.6 \times 12.4 / 2 \times 1.0 \times 1\,900 \times 9.8 / 2 / (0.4 \times 1.5) = 153\,925\text{ N/m}^2$$

(2)T梁结构自重

每片T梁自重传递到一边纵梁的荷载:

$$S1TT = (0.99 \times 0.2 + 0.8 \times 0.4) \times 12.4 \times 2\,500 \times 9.8 / 2 / (0.4 \times 1.5) = 131\,140\text{ N/m}^2$$

(3)风荷载

本次计算最大风荷载取600 Pa。

(4)雪荷载

最大雪荷载取1.55 kN/m<sup>2</sup>。

$$S2T = 1\,550 \times 1.0 \times 12.4 / 2 / (0.4 \times 1.5) = 16\,017\text{ N/m}^2$$

(5)落石冲击荷载

根据《铁路工程设计技术手册》(隧道)<sup>[8]</sup>:

$$S2TT = 100e^{3/3.14} / (0.5 + 2 \times \tan(40))^2 \times 12.4 / 2 / (0.4 \times 1.5) = 69\,361\text{ N/m}^2$$

(6)混凝土收缩徐变和温差效应

根据TB 1002-2017《铁路桥涵设计规范》<sup>[9]</sup>,收缩徐变影响相当于降低温度15℃考虑;温差效应根据隧区年平均气温11℃,极端最高气温31.8℃,极端最低气温-11.5℃。分别按降温0℃、10℃、20℃、25℃及升温10℃、20℃、25℃考虑。

(7)地震力荷载

地震动峰值加速度为0.15 g,根据GB 50111-2006《铁路工程抗震设计规范》<sup>[10]</sup>,棚洞的地震作用按静力法计算并施加至各个结构单元上。

3 计算结果

3.1 结构变形分析

棚洞结构变形分析如图3所示。

由图3可知,降温25℃时结构的最大变形为8.6 mm,

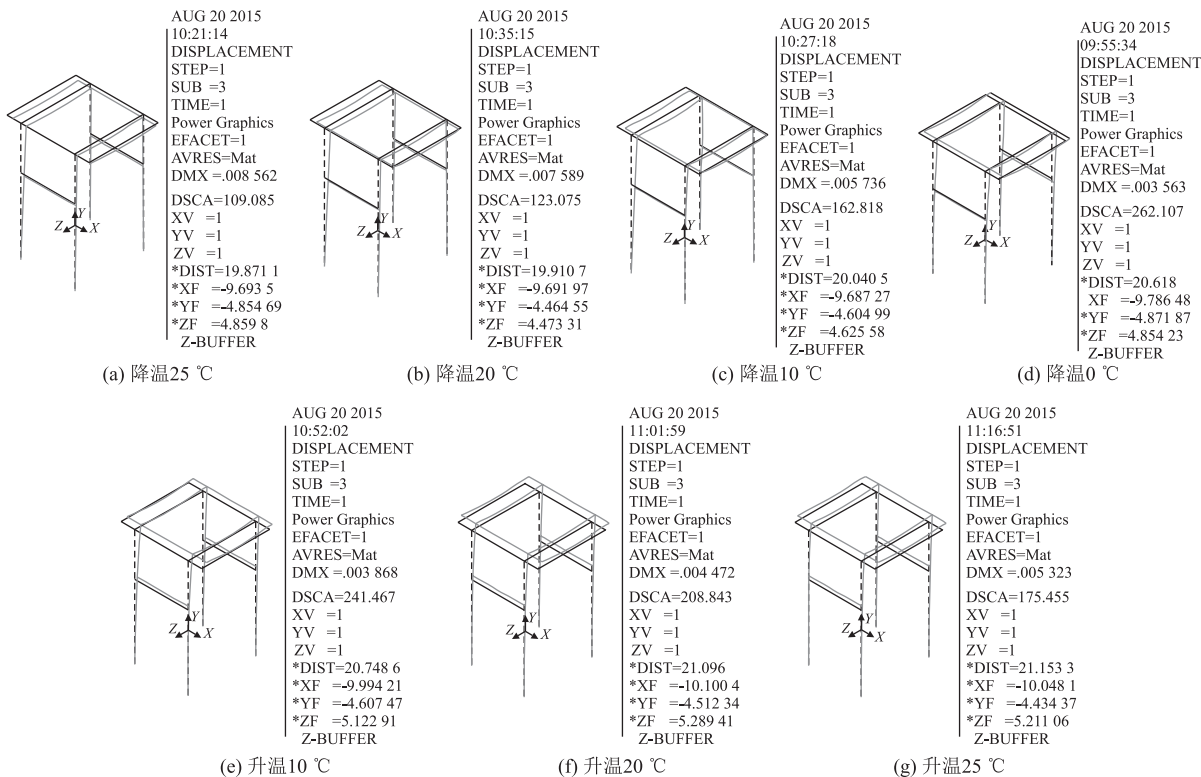


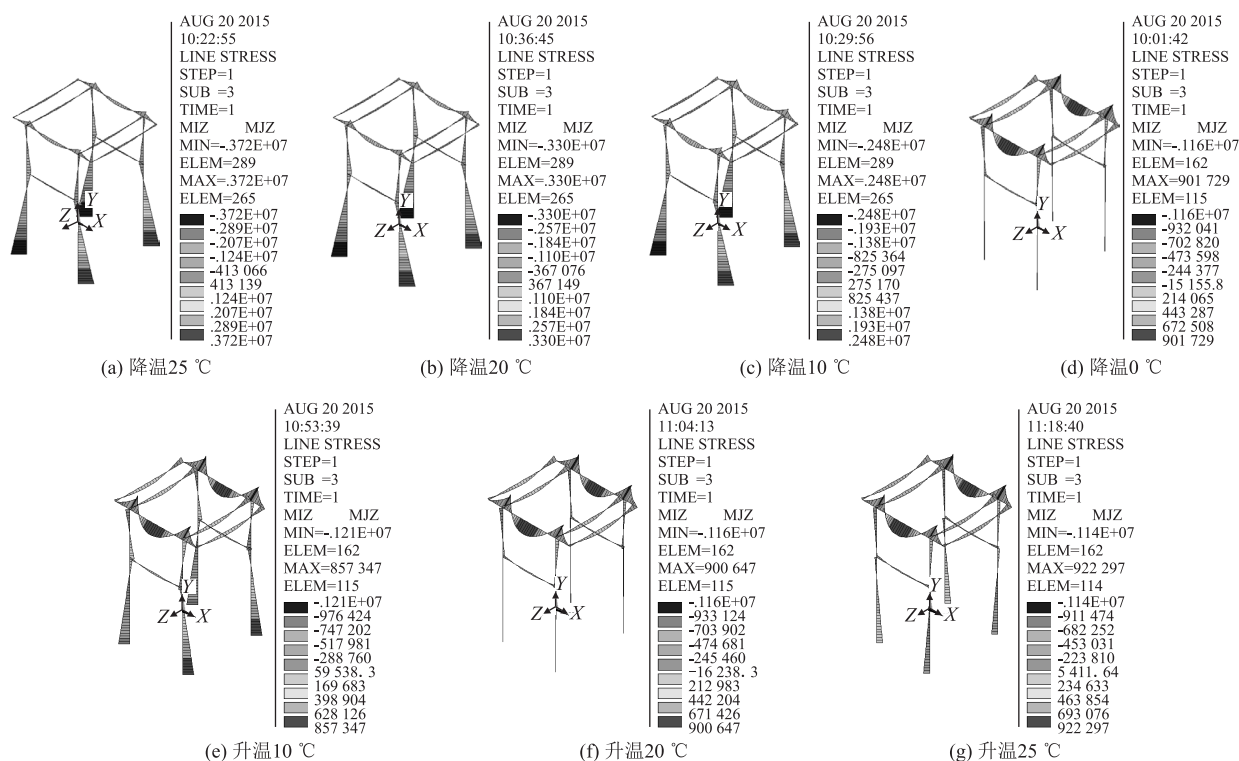
图3 棚洞结构变形分析图(m)

降温20℃时为7.6 mm,降温10℃时为5.7 mm,降温0℃时为3.6 mm,升温10℃时为3.9 mm,升温20℃时为4.5 mm,升温25℃时为5.3 mm。结构的最大变形随着降温及升温幅度的增加而增大,降温对结构变

形的影响高于升温。

3.2 结构控制内力分析

弯矩(M<sub>z</sub>)主要受外部荷载的影响,为结构配筋设计的控制内力,棚洞结构弯矩如图4所示。

图4 棚洞结构弯矩  $M_z$  分析图( $N \cdot m$ )

由图4可知,棚洞结构的内力受温差的影响较大,降温使桩基端部承受较大的端部弯矩,而升温对桩基端部弯矩影响较小。

纵梁最大弯矩随温差变化如图5所示。

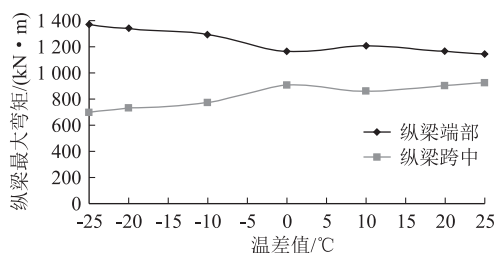


图5 纵梁最大弯矩随温差变化值图

棚洞纵梁为主要受力结构,承受顶部覆土荷载、落石冲击荷载、雪荷载及T型顶梁荷载,但纵梁的轴力较小,可视为纯弯构件。由图5可知,在降温效应下,纵梁跨中弯矩随着温差值的增大而减小,由902  $kN \cdot m$  减小到697  $kN \cdot m$ ,减大幅度达23%;在升温效应下,跨中弯矩随着温差增大而略微增大,升温25  $^{\circ}C$  时跨中弯矩达到最大值,为922  $kN \cdot m$ 。在降温效应下,纵梁端部弯矩随着温差值的增大而增大;在升温效应下,端部弯矩随着温差值的增大而减小,降温25  $^{\circ}C$  纵梁端部弯矩达到最大值1365  $kN \cdot m$ 。因此,升温25  $^{\circ}C$  时应控制纵梁底部的结构及配筋设计,而降温25  $^{\circ}C$  时则

控制纵梁顶部的结构及配筋设计。

立柱、桩基最大弯矩随温差变化如图7所示。

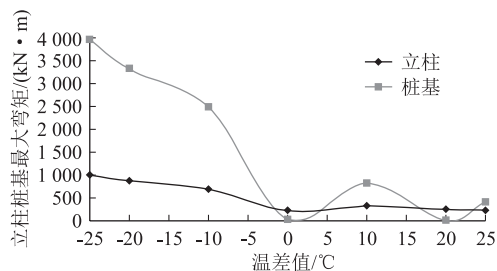


图6 立柱、桩基最大弯矩随温差变化值图

棚洞的立柱及桩基为偏心受压构件,由图6可知,在降温效应下,桩基最大弯矩随着温差值的增大而增大,由35  $kN \cdot m$  增加到3950  $kN \cdot m$ ,增加了100余倍;而在升温效应下,桩基最大弯矩的变化不大。在降温效应下,立柱最大弯矩随着温差值的增大而增大,由220  $kN \cdot m$  增加到1004  $kN \cdot m$ ,增加了近5倍;在升温效应下,立柱最大弯矩受温差的影响较小。因此,降温25  $^{\circ}C$  时应控制立柱及桩基的结构及配筋设计。

纵向联系梁最大弯矩、轴力随温差变化如图8所示。

由图7可知,降温25  $^{\circ}C$  时纵向联系梁的弯矩、轴力最大,分别为167  $kN \cdot m$ 、-595  $kN$ 。在降温效应下,



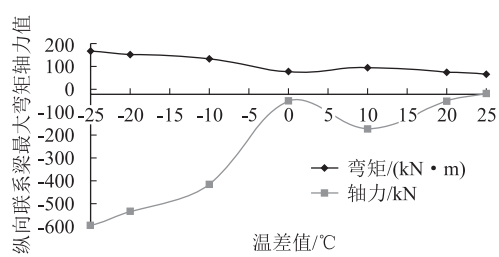


图 7 纵向联系梁最大弯矩、轴力随温差变化值图

纵向联系梁的轴力、弯矩随着温差值的减小而减小,轴力由  $-595\text{ kN}$  减小到  $-49\text{ kN}$ ,弯矩由  $167\text{ kN}\cdot\text{m}$  减小到  $77\text{ kN}\cdot\text{m}$ 。升温对纵向联系梁的弯矩及轴力影响较小。

3.3 结构设计优化研究

棚洞为超静定结构,温度荷载对结构的影响不容忽视,从上文可知,降温比升温引起的结构内力要大,棚洞的结构设计及配筋主要受降温  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  的影响。对棚洞结构的横梁设置进行研究,计算工况如图 8 所示。棚洞结构变形、弯矩和轴力分别如图 9、图 10 和图 11 所示。

由图 10~图 12 分析可知:

(1)棚洞结构无横向联系梁的最大变形为  $8.56\text{ mm}$ ,设置 2 根横向联系梁时为  $7.86\text{ mm}$ ,4 根横向联系梁时为  $7.85\text{ mm}$ 。棚洞桩基端部的弯矩最大,无横向联系梁的最大值为  $1\,720\text{ kN}\cdot\text{m}$ ,2 根横向联系梁为  $6\,770\text{ kN}\cdot\text{m}$ ,4 根横向联系梁为  $6\,790\text{ kN}\cdot\text{m}$ 。2 根横向

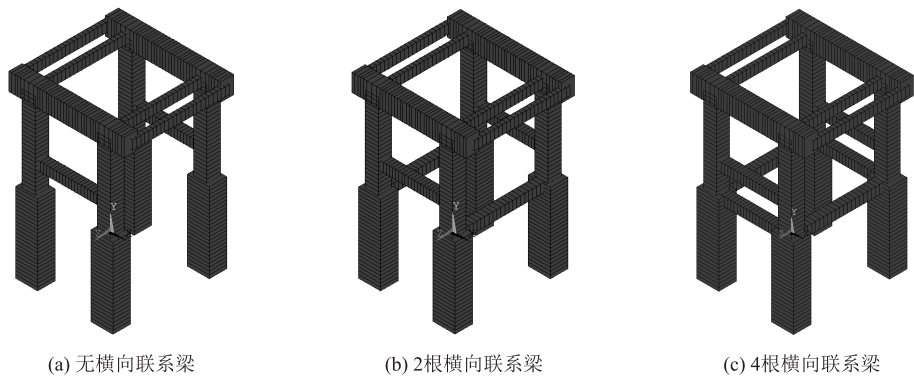


图 8 计算工况图

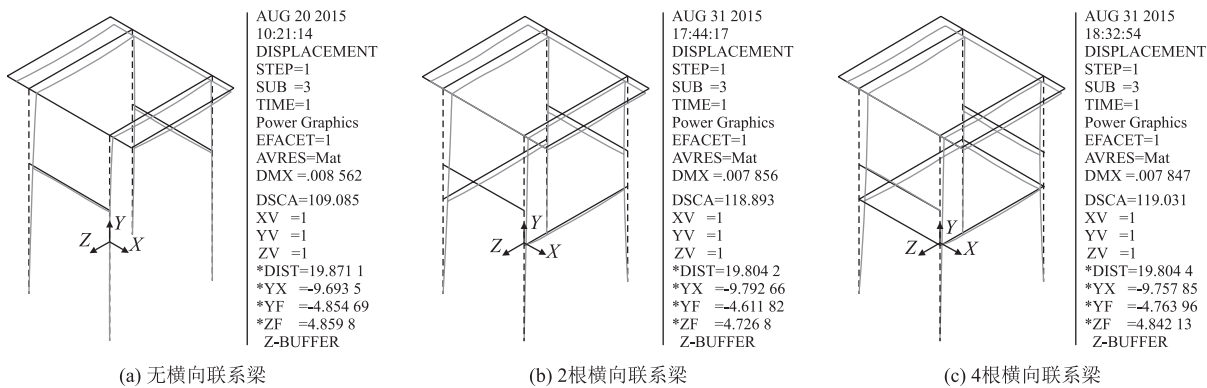


图 9 棚洞结构变形分析图(m)

联系梁的轴力为  $1\,060\text{ kN}$ ,4 根横向联系梁为  $1\,690\text{ kN}$ ,均受拉。

(2)棚洞结构整体变形不大,结构趋于稳定,横向增设联系梁对控制结构的变形作用不大。在降温作用下,增设横向联系梁使桩基端部弯矩增加了约 3 倍,横向联系梁也承受巨大的轴向拉力。

(3)取消设置横向联系梁,既可以保证棚洞结构的整体稳定性,又可以降低降温引起的附加内力。

4 结论

本文以拉林铁路达嘎拉隧道进口棚洞为研究对象,研究了温度变化对棚洞结构的影响,得出如下主要结论:

- (1)棚洞结构的最大变形随着降温及升温幅度的增加而增大,降温对结构变形的影响高于升温。
- (2)棚洞结构内力受升温的影响较小,降温对

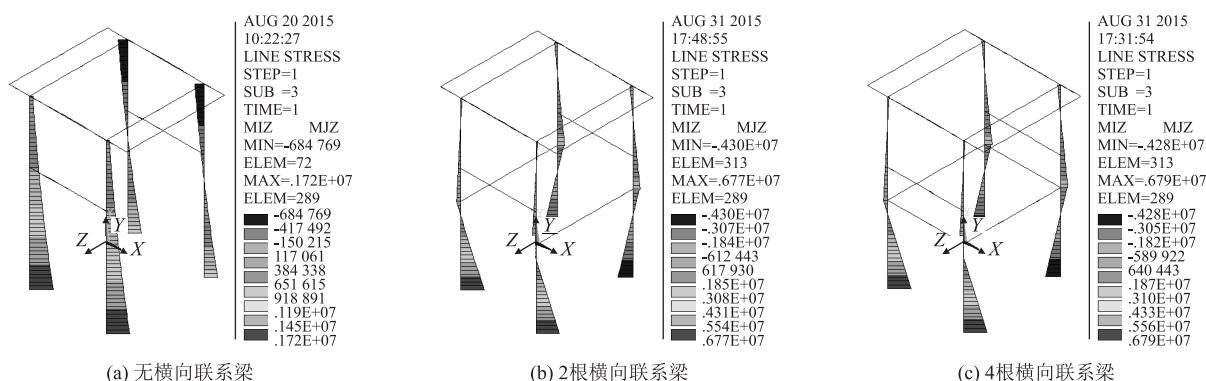
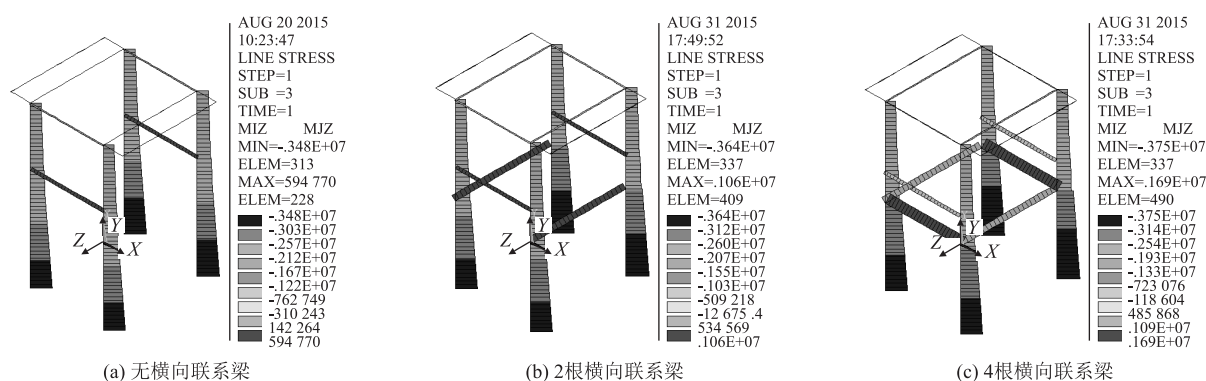
图10 棚洞弯矩  $M_y$  分析图(N.m)

图11 棚洞轴力分析图(N)

棚洞结构的内力起控制作用。纵梁跨中弯矩受升温 25℃控制,而纵梁端部弯矩、桩基最大弯矩、纵向联系梁最大弯矩及轴力受降温 25℃控制。

(3) 棚洞结构的整体变形不大,结构稳定,增设横向联系梁对控制棚洞结构的变形作用并不大。在降温作用下,增设横向联系梁使桩基端部弯矩增加了约 3 倍,并且横向联系梁也承受巨大的轴向拉力。取消横向联系梁既可以保证棚洞结构的整体稳定性,又可以降低降温引起的附加内力。

## 参考文献:

- [1] 张永平. 运营隧道非常规方法接长明洞设计及施工[J]. 高速铁路技术, 2014, 5(2): 37-40.  
ZHANG Yongping. Design and Construction of Extending Operating Tunnel with Unconventional Method[J]. High Speed Railway Technology, 2014, 5(2): 37-40.
- [2] 甘目飞,刘科. 郑万铁路罗家山隧道高陡边坡危岩落石综合防护技术[J]. 高速铁路技术, 2021, 12(4): 82-86.  
GAN Mufei, LIU Ke. Comprehensive Protection Technology of Dangerous Rock and Rockfall on High and Steep Side Slope of Luojiashan Tunnel of Zhengzhou-Wanzhou Railway[J]. High Speed Railway Technology, 2021, 12(4): 82-86.
- [3] 刘元雪,谢锋,蒋树屏,等. 棚洞结构洞形优化计算分析[J]. 岩土力学, 2007, 28(S1): 490-492.  
LIU Yuanxue, XIE Feng, JIANG Shuping, et al. Numerical Analysis of the Shed-tunnel Structure on the Tunnel Shape Optimizing[J]. Rock and Soil Mechanics, 2007, 28(S1): 490-492.
- [4] 李济良,巩江峰,刘志刚. 浅谈铁路隧道框架式棚洞结构设计[J]. 四川建筑, 2017, 37(1): 133-135.  
LI Jiliang, GONG Jiangfeng, LIU Zhigang. Discussion on Structural Design of Frame Shed Hole in Railway Tunnel[J]. Sichuan Architecture, 2017, 37(1): 133-135.
- [5] 林立彬. 偏压地形新型棚洞设计与数值模拟[J]. 北方交通, 2012(12): 113-116.  
LIN Libin. Design and Numerical Simulation of New Shed Tunnel in Bias Terrain[J]. Northern Communications, 2012(12): 113-116.
- [6] 郑宗溪. 设于桥梁上方的新型棚洞研究[J]. 铁道工程学报, 2007, 24(2): 54-57.  
ZHENG Zongxi. Study of the New Type Shed Tunnel on the Bridge[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2007, 24(2): 54-57.
- [7] 冉利刚,陈赤坤. 高速铁路棚洞设计[J]. 铁道工程学报, 2008, 25(6): 61-66.  
RAN Ligang, CHEN Chikun. The Design of the Hangar Tunnel of High-speed Railway[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2008, 25(6): 61-66.

(下转第74页)

## 5 结论

通过对离心模型试验结果进行分析,总结深路堑坡体开挖后基底应力场变化特征与位移变化特征,得出以下结论:

(1)深路堑坡体开挖后改变了基底应力场状态。开挖前,基底竖向应力大于水平应力,随基底深度的增加而增加;开挖后,基底下一定深度范围内的水平应力大于竖向应力,该深度范围内的侧压力系数 $\lambda > 1.0$ ,且影响深度范围与开挖量成正比。

(2)基底中部上拱变形量最大,位移矢量随着基底埋深的增加而逐渐减小。埋深达到一定深度后,位移矢量以水平方向位移为主。

(3)基底埋深一定深度范围内,水平应力大于竖向应力,侧压力系数 $\lambda > 1.0$ ,为深路堑基底上拱主要变形区,基底水平应力与竖向应力的大小关系是导致深路堑基底产生上拱变形的关键因素。

## 参考文献:

- [1] 司文明,庞永海. 川中红层泥岩高速铁路基拱病害处理设计[J]. 高速铁路技术, 2022, 13(3): 96-99.  
SI Wenming, PANG Yonghai. The Design of Disease Treatment for the Upheaval of Subgrade of High-speed Railway on Red Bed Mudstone in Central Sichuan [J]. High Speed Railway Technology, 2022, 13(3): 96-99.
- [2] 邱恩喜,谢强,赵文,等. 红层软岩边坡岩体工程特性研究[J]. 地质与勘探, 2007, 43(5): 96-100.  
QIU Enxi, XIE Qiang, ZHAO Wen, et al. Research on Engineering Characteristics of Soft Rock Slope Mass in Red Beds [J]. Geology and Prospecting, 2007, 43(5): 96-100.
- [3] 叶世斌. 川渝地区红层软岩路堑边坡变形机理及对策[J]. 高速铁路技术, 2015, 6(5): 67-72.  
YE Shibin. Deformation Mechanism and Countermeasures of Red-bed Soft Rock Cutting Slopes in Sichuan and Chongqing Area [J]. High Speed Railway Technology, 2015, 6(5): 67-72.
- [4] 向章波,张家铭,周晓宇,等. 基于Slide的某红层路堑边坡稳定性分析[J]. 水文地质工程地质, 2015, 42(4): 90-95.  
XIANG Zhangbo, ZHANG Jiaming, ZHOU Xiaoyu, et al. The Slope Stability Analysis of Red Bed Based on Slide [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2015, 42(4): 90-95.
- [5] 陈明浩,赵晓彦,张广泽,等. 高速铁路路基上拱变形危险性评价方法研究[J]. 铁道工程学报, 2021, 38(10): 31-36.  
CHEN Minghao, ZHAO Xiaoyan, ZHANG Guangze, et al. Research on the Risk Assessment Method of Subgrade Heaving Deformation of High-speed Railway [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2021, 38(10): 31-36.
- [6] 王冲,王起才,张戎令,等. 无砟轨道高速铁路路基上拱病害成因分析[J]. 科学技术与工程, 2017, 17(12): 252-256.  
WANG Chong, WANG Qicai, ZHANG Rongling, et al. Analysis of Arch Disease of Ballastless Track High-speed Railway [J]. Science Technology and Engineering, 2017, 17(12): 252-256.
- [7] 杨吉新,马旭超,刘前瑞. 关于成渝高铁路基上拱问题的探讨[J]. 铁道建筑, 2016, 56(8): 112-115.  
YANG Jixin, MA Xuchao, LIU Qianrui. Exploring on Subgrade Swelling of Chengdu-Chongqing High Speed Railway [J]. Railway Engineering, 2016, 56(8): 112-115.
- [8] 钟志彬,李安洪,邓荣贵,等. 高速铁路红层软岩路基时效上拱变形机制研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2020, 39(2): 327-340.  
ZHONG Zhibin, LI Anhong, DENG Ronggui, et al. Study on Time-dependent Upheaval Deformation Mechanisms of Red-bed Soft Rock Subgrade of High-speed Railways [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2020, 39(2): 327-340.
- [9] 包承纲. 我国离心模拟试验技术的现状和展望[J]. 岩土工程学报, 1991, 13(6): 92-97.  
BAO Chenggang. The State and Prospect of Centrifugal Model Test in China [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 1991, 13(6): 92-97.
- [10] 周小文,濮家骝. 隧洞结构受力及变形特征的离心模型试验研究[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2001, 41(8): 110-112, 116.  
ZHOU Xiaowen, PU Jialiu. Centrifuge Model Test Study of the Earth Pressure and Deformation of Tunnel Lining [J]. Journal of Tsinghua University (Science and Technology), 2001, 41(8): 110-112, 116.
- [11] 王玉峰,程谦恭,黄英儒. 不同支护模式下黄土高边坡开挖变形离心模型试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2014, 33(5): 1032-1046.  
WANG Yufeng, CHENG Qiangong, HUANG Yingru. Centrifuge Tests on Excavation of High Loess Slope with Different Reinforcement Modes [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2014, 33(5): 1032-1046.

(上接第69页)

- 2008, 25(6): 61-66.
- [8] 铁道第二勘察设计院. 铁路工程设计技术手册·隧道[K]. 北京: 中国铁道出版社, 1995.  
The Second Railway Survey and Design Institute. Railway Engineering Design. Tunnel [K]. Beijing: China Railway Publishing House, 1995.

[9] TB 10002-2017 铁路桥涵设计规范[S].

TB 10002-2017 Code for Design on Railway Bridge and Culvert [S].

[10] GB50111-2006 铁路工程抗震设计规范[S].

GB50111-2006 Code for Seismic Design of Railway Engineering [S].