

文章编号: 1674—8247(2023)03—0107—05

DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2023.03.021

渝昆高速铁路彝良隧道高地温工程地质特性分析

刘观龙 任金龙 宋章

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

摘 要:拟建渝昆高速铁路通过云贵高原斜坡过渡带,地质条件复杂,深埋长大隧道多,其中彝良隧道存在高地温工程地质问题。本文根据彝良隧道水文地质调绘及深孔测试等成果,对该隧道高地温可能存在的热源进行了分析,根据隧道地温测试情况,对隧道高地温进行了危害性分级。研究结果表明:(1)拟建彝良隧道区地表无热泉出露,深孔最高实测井温为 39.31℃;(2)彝良隧道地热热储层为志留系中统大路寨组(S_2d),地热增温类型为地温梯度增温,地下热能的赋存形式为热水型;(3)彝良隧道在接收大气降水和地表径流补给后,地下水自北东向南西,沿大路寨组(S_2d)地层中岩溶裂隙或局部的管道顺龙池背斜轴往倾伏端深部径流,受地温梯度增温作用,形成高温热水,赋存于热储层大路寨组(S_2d)中;(4)彝良隧道 D4K 320+900~D4K 321+300、D4K 326+190~D4K 327+500 段属低高温带,热害轻微;D4K 321+300~D4K 326+190 段属中高温带,热害中等。研究成果可为隧道设计和施工提供参考依据。

关键词:渝昆高速铁路;高原斜坡过渡带;深埋长大隧道;高地温

中图分类号:U452.1⁺1

文献标识码:A

107

Analysis of Geological Characteristics of the High Geothermal Temperature of Yiliang Tunnel of Chongqing-Kunming High-speed Railway

LIU Guanlong REN Jinlong SONG Zhang

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

Abstract: The proposed Chongqing-Kunming High-speed Railway passes through the slope transition zone of the Yunnan-Guizhou Plateau, with complex geological conditions and many deep long tunnels, among which, Yiliang Tunnel has high geothermal problems. According to the results of hydrogeological mapping and deep hole testing of Yiliang Tunnel, the possible heat sources of high geothermal temperature in the tunnel are analyzed, and the hazard classification of high geothermal temperature in the tunnel is carried out according to the test results of tunnel geotemperature. The results of the study show that: (1) No hot springs are exposed on the surface of the proposed Yiliang Tunnel Area, and the maximum measured well temperature of deep holes is 39.31° C. (2) The geothermal reservoir of Yiliang Tunnel is Daluzhai Formation of Middle Silurian System (S_2d), the geothermal warming type is geothermal gradient warming, and the occurrence form of underground thermal energy is a hot water type. (3) After receiving atmospheric precipitation and surface runoff replenishment, the underground water of Yiliang Tunnel runs from northeast to southwest along the karst fissures in the stratum of Daluzhai Formation (S_2d) or local pipelines along the axis of Longchi anticline to the deep part

收稿日期:2022-07-10

作者简介:刘观龙(1990-),男,工程师。

引文格式:刘观龙,任金龙,宋章. 渝昆高速铁路彝良隧道高地温工程地质特性分析[J]. 高速铁路技术,2023,14(3):107-111.

LIU Guanlong, REN Jinlong, SONG Zhang. Analysis of Geological Characteristics of the High Geothermal Temperature of Yiliang Tunnel of Chongqing-Kunming High-speed Railway [J]. High Speed Railway Technology, 2023, 14(3):107-111.

of the dipping end. Under the action of geothermal gradient heating, high-temperature hot water is formed and stored in the geothermal reservoir Daluzhai Formation (S_2d). (4) D4K 320+900 ~ D4K 321+300 and D4K 326+190 ~ D4K 327+500 sections of Yiliang Tunnel belong to the low-high temperature zone, with slight heat damage. The section from D4K 321+300 to D4K 326+190 belongs to a medium-high temperature zone, with moderate heat damage. The conclusions can provide a reference basis for tunnel design and construction.

Key words: Chongqing-Kunming High-speed Railway; plateau slope transition zone; deep long tunnel; high geothermal temperature

高地温是深埋长大隧道主要的工程地质灾害之一,高地温的形成与地层岩性、地质构造、新构造运动及地下水状态等因素有密切联系。根据高地温形成原因,可将高地温增温途径分为 4 类:地温梯度增温、构造增温、化学增温和放射性增温;根据地热资源的性质和赋存状态,可将高地温系统分为蒸汽型、热水型、地压型、干热岩型和岩浆型 5 类^[1]。

目前国内外对隧道高地温问题研究的较多^[2-4],如大瑞铁路高黎贡山隧道、西康铁路秦岭特长隧道、拉日铁路吉沃希嘎隧道、玉蒙铁路旧寨隧道、拉林铁路桑珠岭隧道及瑞士境内 Loetschberg 隧道和 Saint Gotthard 隧道等;高地温的增温途径多以构造增温为主,高地温系统多属于干热岩型、岩浆型。

拟建彝良隧道位于四川盆地至云贵高原的高原斜坡过渡带,地质条件复杂,存在高地温危害。本文拟采用地质调绘、水文调绘、深孔钻探及孔内原位测试等手段和方法,查明彝良隧道高地温成因、评价其

对工程的影响、判定隧道高地温工程分级。

1 彝良隧道工程地质条件

彝良隧道起于盐津县柿子乡新生村,向西南延伸,经彝良县钟鸣乡,止于钱家沟,为拟建渝昆高速铁路最长隧道,采用双洞单线分修方式,隧道全长约 24 794 m,采用“人”字坡设计,最大埋深约 920 m,最小埋深 26 m。

1.1 隧道地质特征

隧道位于四川盆地向云贵高原爬升的高原斜坡地带,属于中山峡谷区,测区内地貌主要受地质构造及地层岩性控制,地形陡峻、起伏大,地面高程 890 ~ 1 920 m,相对高差 200 ~ 1 100 m。上覆地层主要为第四系粉质黏土,下伏地层主要为二叠系(P)碎屑岩、玄武岩、灰岩,泥盆系(D)碎屑岩、灰岩及白云岩,志留系(S)碎屑岩、泥灰岩等。彝良隧道地质概况如图 1 所示。

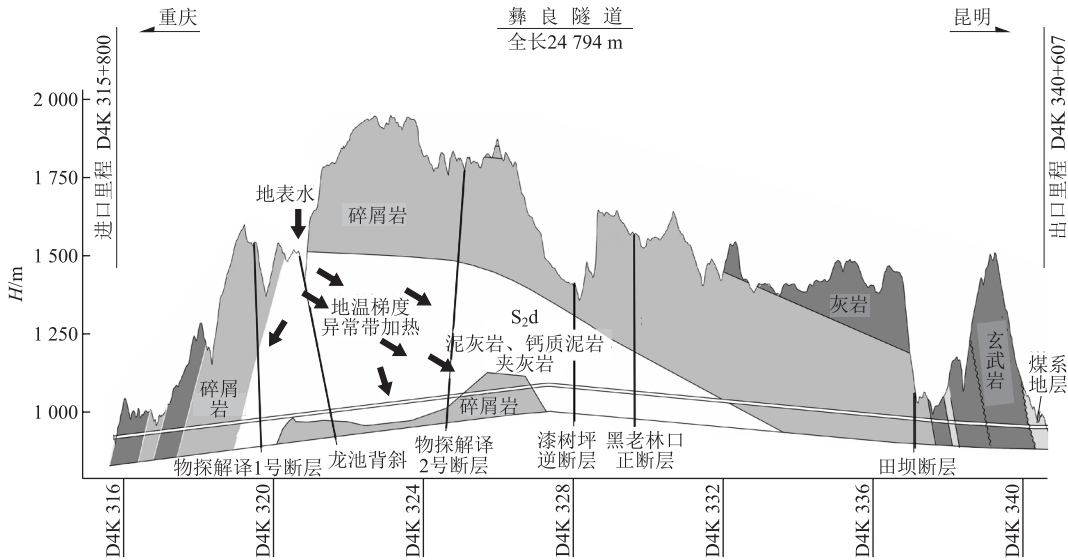


图 1 彝良隧道纵断面示意图

彝良隧道区域上处于一级大地构造单元扬子亚板块,以小江断裂为界,地跨扬子亚板块之滇东拗褶带和康滇古隆起。区域内以“多”字型构造形迹为主,

背向斜组成一系列雁行排列的褶皱群,两翼不对称,一般北翼陡、南翼缓,褶皱轴面均向 NW 倾斜,向斜长而宽展,背斜短而紧密。隧址区主要发育褶皱为罩子

山向斜、龙池背斜,主要发育断层为田坝断层、漆树坪逆断层及黑老林口正断层等。隧址区无深大、活动断裂,地震及新构造运动较弱。隧址区构造纲要如图2所示。

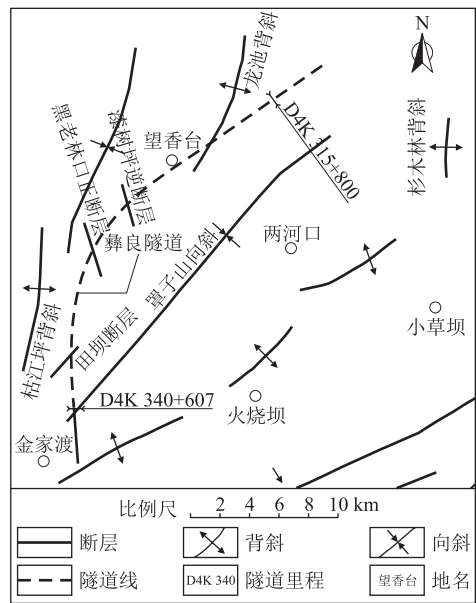


图2 隧址区构造纲要图

1.2 隧道气象特征

隧址区位于北回归线以北,属亚热带,地势较高,气候垂直变化显著。年降水量在 900~1 400 mm,雨季多集中在 6—10 月,占全年降水量 80% 以上,月降雨量 160~210 mm 之间,最大可达 400 mm 以上,是地下水补给旺盛时期;从 11 月到次年 5 月,降水量少,为干季。

1.3 隧道水文地质特征

1.3.1 地表水

隧道穿越白水江和洛泽河间分水岭地带,地表分水岭在隧道里程 D2K 323+000 附近,以山脊为地表分水岭。地表水在分水岭以北经龙爪坝河向白水江排泄,在分水岭以南经魏家堡沟、钱家沟向洛泽河排泄。河水流量受季节影响明显,雨季水量较大,旱季

相对较小。

1.3.2 地下水

测区地下水主要为基岩裂隙水及岩溶水。受区域构造影响,测区基岩节理裂隙发育,基岩裂隙水分布广泛,赋存于碎屑岩及玄武岩裂隙中,为该隧道的主要地下水类型。测区基岩裂隙水具有地下水相对丰富、径流途径短、沿沟谷渗透汇集的特征。测区可溶岩分布范围较小,但岩溶发育,水量丰富,为富水性含水地层。

1.3.3 地下水的径流、排泄

区域地下水分水岭位于隧道中部,与地表水分水岭基本一致。拟建彝良隧道所穿地下水系统为洛泽河地下水系统和白水江地下水系统的二级凉水井—望香台地下水系统。隧址区地下水接收大气降雨入渗补给,顺层流动后向沟谷汇集排泄,地下分水岭以北最低排泄基准面为白水江,地下分水岭以南最低排泄基准面为洛泽河。

1.4 隧道主要不良地质

高地温是彝良隧道主要工程地质问题,其它地质问题包括危岩落石、高地应力、岩溶及岩溶水、岩堆、厚土层斜坡、顺层、缓倾岩层、有害气体等。

2 彝良隧道高地温成因机理分析

2.1 隧道高地温特征

隧址区水文地质调绘:调查泉点共计 19 个,流量在 0.5 L/s~125 L/s,泉点水温均在 14℃~16℃之间,未见异常,未见热泉出露。

隧道深孔井温测试成果:深孔井温测试共 20 孔,其中 16 孔井温及地温梯度未见异常;3 孔井温超过 28℃,最高可达 39.31℃;1 孔地温梯度异常,最高地温梯度值达 13.53℃/100 m。深孔井温异常孔测试结果如表 1 所示,井温异常钻孔温度随深度分布情况如图 3 所示。根据深孔分布情况,彝良隧道高地温段落主要分布在隧道跃岭段,为隧道埋深最大段落(600~920 m)。

表1 彝良隧道深孔井温异常孔测试结果表

孔号	测试深度/m	> 28℃孔深/m	> 37℃孔深/m	洞身处温度/℃	地温梯度/(℃/100m)
DZ-彝良-04-1	725	> 443	> 659	38~39.31	3.7
DZ-彝良-05	755	> 518	> 728	32~38.31	-
DZ-彝良-06	578.8	> 434	-	32.9~34.8	3.92
DZ-彝良-06-1	289.9	-	-	23.4	194.6~251.1段: 5.75 251.10~256.20段: 13.53 256.20~289.90段: 4.63

2.2 隧道高地温原因分析

2.2.1 隧道热储层

彝良隧道高地温段通过志留系中统大路寨组(S₂d)地层岩性为泥灰岩、钙质泥岩夹灰岩,岩溶整体

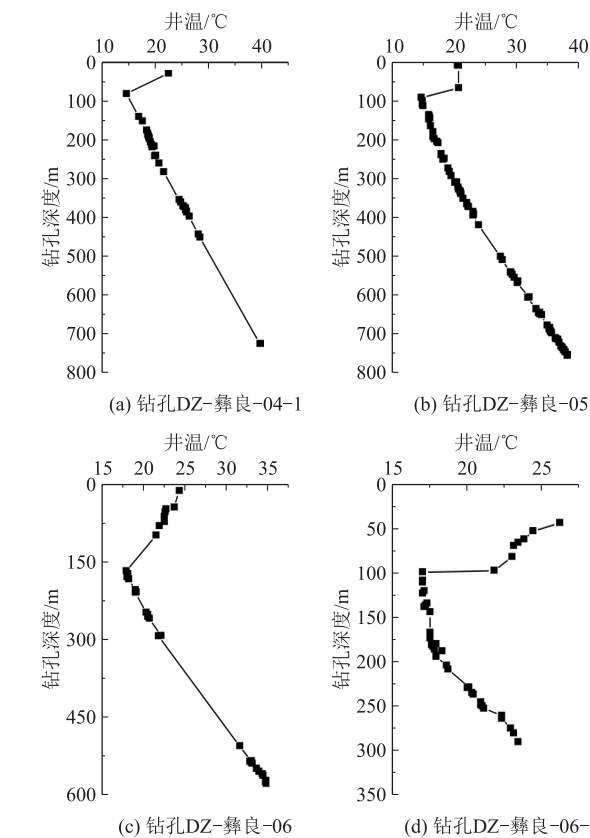


图 3 井温异常钻孔温度随深度变化图

弱发育,部分段落弱~中等发育,具有赋水条件;上覆志留系中统菜地湾组(S_{3z})页岩夹砂岩地层,下伏志留系下统嘶风崖组(S_{2s})页岩、砂岩地层,上下 2 套地层隔水隔热作用明显,为良好的保温层。深孔测温结果显示,彝良隧道地温异常钻孔全部位于志留系中统大路寨组(S_{2d})地层内。由此推断,大路寨组(S_{2d})地层为隧道高地温段热储层。

2.2.2 隧道地热增温类型

彝良隧道深孔测试显示高地温段埋深约 380~920 m,轨面标高约 987~1 078 m;根据测试成果,隧道高地温段位于龙池背斜北西翼,属单斜构造区,区域内发育 2 条小型断层,无深大断裂;地层岩性以泥灰岩、钙质泥岩夹灰岩为主,未含膏盐及放射性物质。由此推断,彝良隧道高地温段地热水主要由地热梯度增温所致。

2.2.3 隧道地下热能的赋存形式

彝良隧道高地温段热储层为大路寨组(S_{2d})泥灰岩、钙质泥岩夹灰岩地层,岩石导热率低,钻孔实测地温最高为 39.31℃,埋深约 380~910 m,基底无岩浆岩类,岩溶裂隙中富含岩溶水。由此推断,彝良隧道高地温是由地温梯度增温加热地下水形成,地下热能的赋存形式为热水型。

2.2.4 隧道地下热水补给、径流、排泄条件

(1) 补给条件

彝良隧道 D4K 314+000~D4K 321+000 段右侧志留系中统大路寨组(S_{2d})地层大面积出露,地表冲沟发育,为接收大气降水和地表径流补给创造了良好的条件,为地下热水补给区,地表高程 1 050~1 910 m。

(2) 径流条件

彝良隧道洞身于 D4K 320+520 附近穿越龙池背斜轴部,背斜轴走向北东,往南西方向倾覆,隧道高地温段位于倾覆端。大路寨组(S_{2d})上下地层均为隔水层,地表水在 D4K 314+000~D4K 321+000 右侧区域接收大气降水及地表径流补给后,先垂直下渗,后岩地层走向运动,自北东向南西,沿大路寨组(S_{2d})地层中岩溶裂隙或局部管道顺背斜轴往倾伏端深部径流,受地温梯度增温作用,形成高温热水赋存于热储层大路寨组(S_{2d})中。隧道地下热水补给、径流、排泄如图 4 所示。

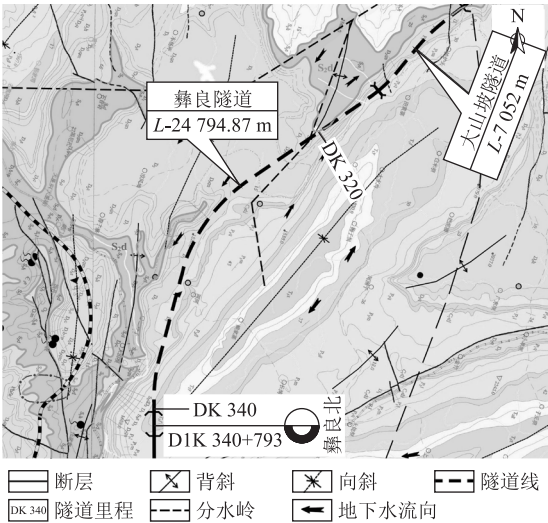


图 4 隧址区地下水径流平面示意图

(3) 排泄条件

龙池背斜南西倾覆端受北西向隔水断层阻隔,且该段热储层埋深大,同时受隔水断层阻隔,地下热水排泄不畅,故地表未见温泉出露。

彝良隧道地下热水补给区高程 1 050~1 910m,高地温段轨面标高 987~1 078 m,由于地下热水排泄不畅且热储层上下均为隔水地层,可推测出区内热水的水头高度 63~923 m。彝良隧道高地温段为单面上坡,隧道开挖后,可能会形成新的通道,造成热储层大路寨组(S_{2d})中赋存的高温热水往隧道进口方向排泄。

3 彝良隧道水热环境及对工程的影响

彝良隧道高地温为地热梯度增温形成,地下水在下渗过程中经地温梯度增温形成高温热水,赋存于热储层大路寨组(S_2d)中,结合水文地质调绘及深孔井温测试成果,综合判定隧道高地温分布范围为:D4K 320+900~D4K 327+500(YDK 320+910~YDK 327+500)。

高地温对彝良隧道施工的不良影响主要表现为恶化施工环境、影响施工人员健康、降低人员、建筑材料使用、机械作业效率及混凝土耐久性等^[5]。一方面,高地温造成施工环境恶化,施工人员和机具效率降低,影响工程进度及人员健康;另一方面,高地温还影响工程材料的采用及混凝土耐久性,可能造成隧道衬砌开裂等质量问题,影响隧道的质量及稳定性。

4 彝良隧道高地温工程分级

根据相关规范及工程实践^[6-8],隧道施工作业环境温度大于 28°C 时,隧道施工存在高地温。地温温度介于 $28^{\circ}\text{C}\sim 37^{\circ}\text{C}$,为低高温带,热害轻微;地温温度介于 $37^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$,为中高温带,热害中等。根据隧道高地温分布范围及地温异常段地温测试数据,绘制隧道地温等温线,如图5所示。综合判定:D4K 320+900~D4K 321+300、D4K 326+190~D4K 327+500段属低高温带(温度介于 $28^{\circ}\text{C}\sim 37^{\circ}\text{C}$),热害轻微;D4K 321+300~D4K 326+190段属中高温带(温度介于 $37^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$),热害中等。

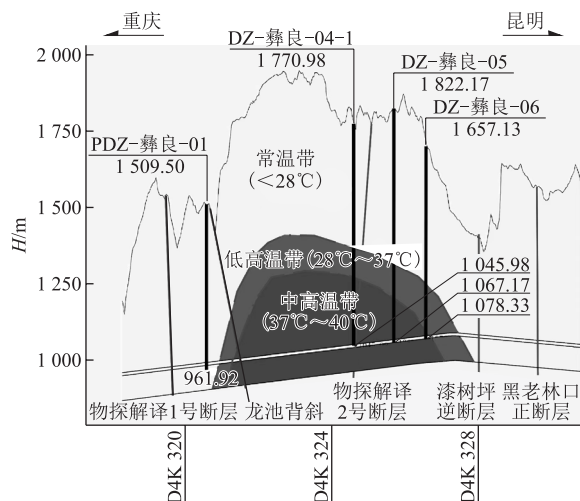


图5 隧道高地温分级图

5 结论

本文通过彝良隧道的热源和高地温危害性分析,得出以下主要结论:

(1) 拟建隧道区地表无热泉出露,深孔最高实测井温为 39.31°C 。

(2) 隧道地热热储层为志留系中统大路寨组(S_2d),地热增温类型为地温梯度增温,地下热能的赋存形式为热水型。

(3) 在接收大气降水和地表径流补给后,地下水自北东向南西,沿大路寨组(S_2d)地层中岩溶裂隙或局部的管道顺龙池背斜轴往倾伏端深部径流,受地温梯度增温作用,形成高温热水,赋存于热储层大路寨组(S_2d)中。

(4) 隧道 D4K 320+900~D4K 321+300、D4K 326+190~D4K 327+500 段属低高温带,热害轻微;D4K 321+300~D4K 326+190 段属中高温带,热害中等。

参考文献:

- [1] 徐世光,郭远生. 地热学基础[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
XU Shiguang, GUO Yuansheng. Geothermal Foundation [M]. Beijing: Science Press, 2009.
- [2] 沈玲玲. 高黎贡山地区地热异常特征及对隧道建设影响的初步研究[D]. 成都: 成都理工大学.
SHEN Lingling. Preliminary Study on the Characteristics of Geothermal Anomaly in Gaoligongshan Area and its Influence on Tunnel Construction [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology.
- [3] 侯新伟,李向全,蒋良文,等. 大瑞铁路高黎贡山隧道热害评估[J]. 铁道工程学报, 2011, 28(5): 60-65.
HOU Xinwei, LI Xiangquan, JIANG Liangwen, et al. Estimation of Heat-harm of Gaoligong Mountain Tunnel of Dali-Ruili Railway [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2011, 28(5): 60-65.
- [4] 田四明,赵勇,石少帅,等. 中国铁路隧道建设期典型灾害防控方法现状、问题与对策[J]. 隧道与地下工程灾害防治, 2019, 1(2): 24-48.
Tian Siming, Zhao Yong, Shi Shaoshuai, et al. Present Situation, Problems and Countermeasures of Typical Disaster Prevention and Control Methods in China Railway Tunnel Construction Period [J]. Hazard Control in Tunnelling and Underground Engineering, 2019, 1(2): 24-48.
- [5] 王贤能,黄润秋. 深埋长隧洞温度场的评价预测[J]. 水文地质工程地质, 1996(6): 6-10.
WANG Xianneng, HUANG Runqiu. Evaluation and Prediction of Temperature Field in Deep Buried Long Tunnel [J]. Hydrogeology Engineering Geology, 1996(6): 6-10.
- [6] TB 10003-2016 铁路隧道设计规范[S].
TB 10003-2016 Code for Design of Railway Tunnel [S].
- [7] TB 10027-2012 铁路工程不良地质勘察规程[S].
TB 10027-2012 Code for Unfavorable Geological Condition Investigation of Railway Engineering [S].
- [8] TB 10304-2020 铁路隧道工程施工安全技术规程[S].
TB 10304-2020 Technical Safety Regulations for Construction of Railway Tunnels [S].