

文章编号: 1674—8247(2021)06—0061—04  
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2021.06.012

## 某铁路隧道石膏岩工程地质特性及对策措施研究

甘光元

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

**摘 要:**芒康山隧道地层中含石膏岩,其主要成分为硬石膏。硬石膏的膨胀性及侵蚀性,可导致隧道底鼓、围岩侵限、结构破坏等,影响混凝土结构耐久性;硬石膏遇水软化,导致原有支护体系应力改变,引起隧道底部失稳下沉,隧道顶部松动垮塌,边墙开裂,破坏衬砌结构,影响结构安全性。针对此问题,本文研究了硬石膏在芒康山隧道的分布特征,分析可能对隧道建设产生的危害,并为施工提供处置措施及建议。

**关键词:**隧道;硬石膏;膨胀性;侵蚀性;措施建议

**中图分类号:**U452.1<sup>+</sup>1 **文献标志码:**A

## A Study on Geological Characteristics and Countermeasures of Gypsum Rock in A Railway Tunnel

GAN Guangyuan

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

**Abstract:** The strata of Mangkangshan Tunnel contain gypsum rock, which is mainly composed of anhydrite, whose expansibility and erosion can cause tunnel floor heave, rock erosion, structural failure and so on, undermining the durability of concrete structure; and which will soften when encountering water, resulting in the change of the stress of the original support system, causing the instability and subsidence of the tunnel floor, the looseness and collapse of the tunnel roof, the cracking of the side wall, damaging the lining structure and affecting the structural safety. To solve this problem, this paper studied the distribution characteristics of anhydrite in Mangkangshan Tunnel, analyzed the possible hazards to tunnel construction, and put forward the measures and recommendations for construction.

**Key words:** tunnel; anhydrite; expansibility; erosiveness; recommended measures

石膏是天然产出的硫酸盐矿物,主要成因为化学沉积,次要成因为热液,常形成巨大的脉体或透镜体,赋存于碳酸盐、粘土岩中,与各类盐岩共生。由于温度和含盐度不同,可形成硬石膏、生石膏,或二者共生。纯净的硬石膏呈透明、无色或白色,硬石膏化学式为 $\text{CaSO}_4$ ,在外部压力减小的情况下,受地下水作用转变为生石膏,同时体积增大,表现出膨胀性;摩氏硬度由由3~3.5降低至2左右,比重由 $3\text{ g/cm}^3$ 降低至

$2.3\text{ g/cm}^3$ 左右,表现出软化性;生石膏溶解析出 $\text{SO}_4^{2-}$ 离子,表现出溶解腐蚀性。

近年来,随着经济的高速发展,铁路隧道工程建设速度加快,硬石膏导致的不良工程地质问题日益增多,引起了广泛重视。刘艳敏<sup>[1]</sup>通过试验手段,对硬石膏进行了膨胀性、腐蚀性定量分析,提出了硬石膏对隧道结构的危害机制。祝艳波、李刚等<sup>[2-3]</sup>开展了隧道石膏质围岩溶蚀特性研究,分析了动态水环境、水流速、

收稿日期:2021-10-31

作者简介:甘光元(1982-),男,高级工程师。

引文格式:甘光元.某铁路隧道石膏岩工程地质特性及对策措施研究[J].高速铁路技术,2021,12(6):61-64.

GAN Guangyuan. A Study on Geological Characteristics and Countermeasures of Gypsum Rock in A Railway Tunnel[J]. High Speed Railway Technology, 2021, 12(6):61-64.

水溶液性质、酸碱度、水温等与溶蚀率的相关性。陈钊<sup>[4]</sup>通过分析礼让隧道水文地质特征,提出了针对性的防排水措施。王超<sup>[5]</sup>研究了不同水压条件下石膏的膨胀力及强度变化,从而模拟岩溶环境中石膏围岩强度的特性。许崇帮<sup>[6]</sup>根据实际案例,归纳了已建成石膏区隧道病害特征,分析了诱因并提出了处置措施。赵国军<sup>[7]</sup>通过数值模拟,对石膏区隧道开展围岩变形影响分析和支护结构受力分析,进而提出适合的施工工法。

本文通过分析芒康山隧道石膏岩分布特征,结合工程、水文地质条件,总结以往工程经验,提出隧道设计方案及防排水措施,确保隧道施工及运营的顺利进行。

## 1 工程概况

芒康山隧道所在铁路横穿以三江并流为代表的横断山脉,沿线山高谷深,地层岩性复杂多变、地形切割破碎,地质构造复杂,断裂褶皱发育,新构造运动活跃,地震活动强烈,气候恶劣复杂<sup>[8-10]</sup>。曾被国内外专家称为铁路修建的“禁区”<sup>[11]</sup>。

芒康山隧道是地质最复杂的控制性工程之一,主要工程地质概况为断层破碎带、高地温、软岩大变形、特殊岩土(石膏)、有害气体、瓦斯、高地震烈度等。隧道全长30 km,最大埋深约1 180 m。隧道洞身为入字坡,左右线分修,预设1个贯通平导及6个辅助坑道。

特殊岩土(石膏)段落施工进度是影响芒康山隧道施工进度控制性因素之一,因此,石膏层的研究尤为重要。

## 2 工程地质概况

### 2.1 地层概况

芒康山隧道洞身主要岩性为侏罗系、三叠系砂岩、泥岩、页岩、灰岩、白云岩,洞身中部出露三叠系上统波里拉组(T<sub>3</sub>b)灰岩、白云岩,根据区域地质报告、地表调绘及钻探揭示,波里拉组地层含石膏。

波里拉组(T<sub>3</sub>b)灰岩呈灰色、灰白色,致密构造,薄~厚层状构造,溶蚀较发育,节理发育。白云岩呈灰白色,致密结构,薄~中厚层状构造,溶蚀较发育。石膏为细晶结构,层状构造,其晶体透明无色,岩芯灰白色为主,主要成分为硫酸钙,混有白云石及杂质,质软。

### 2.2 水文地质

隧址区地下水分第四系松散土类孔隙水、碎屑岩

的基岩裂隙水和碳酸盐岩裂隙岩溶水3个类型。第四系松散土类含水性和透水性不均一、差异大,是弱含水岩组,对隧道影响小;碎屑岩地层总体岩性主要以砂、泥岩互层,或泥页岩夹砂岩为主,硬质砂岩内部节理裂隙发育,连通性较差,且砂岩内部裂隙多被两侧泥岩风化残余的泥质充填,透水性较差,富水等级划分为较弱和弱;碳酸盐岩地层(含石膏)是上三叠统波里拉组(T<sub>3</sub>b),该碳酸盐岩地层构成额艾顿背斜核部地层,并与额艾顿断裂带平行伴生,呈条带状NNW-SSE向延伸,受断层影响,地下岩溶发育强烈,地下水十分丰富,下游有岩溶大泉出露,为强富水地层,隧道洞身约3.8 km为含水岩组,全长,施工中面临涌突水危险。

## 3 石膏岩分布特征

芒康山隧道3个深孔揭露石膏,均位于可溶岩地层中,以透镜状、夹层状顺层产出为主,局部与可溶岩混合沉积。其中1号钻孔揭示14层共254 m,最大层厚54 m;2号钻孔揭示5层共107 m,最大层厚68 m;4号钻孔揭示8层共363 m,最大层厚14 m。根据地层界线及构造产状,推测隧道洞身约有1.8 km位于石膏中。

石膏新鲜面呈白色、灰白色,细晶结构,岩芯多呈致密粒状,少数呈纤维聚合状,厚层状、条带状构造。代表性石膏样本鉴定结果显示,石膏含量>95%,余为白云石及杂质(<1%),该隧道石膏段落为共生组合,且以硬石膏为主。

## 4 石膏的危害

结合芒康山隧道所处的工程、水文地质环境,总结石膏段可能出现的工程危害如下。

### 4.1 遇水膨胀性

硬石膏遇水发生水化作用,体积增大,表现出膨胀性。

芒康山隧道碎屑岩地层总体岩性主要以砂、泥岩互层,或泥页岩夹砂岩为主,连通性、透水性较差,石膏层总体处于一个封闭且稳定空间。随着隧道开挖,石膏暴露大气环境中,临空面增加且围岩应力再分布,地下水径流、排泄通道改变,隧道底部水流汇集。硬石膏长期处于流动水环境中,一方面因水分子进入晶格空间表现出物理膨胀;另一方面因水化作用,硬石膏与水反应生成石膏,表现出化学膨胀性。隧道拱脚处出

现应力集中,可导致底鼓、边墙开裂、边沟变形等问题的发生。

#### 4.2 遇水软化性

硬石膏遇水软化,围岩强度降低,在隧道顶部及边墙可能出现溶蚀掏空现象,隧道底部可能出现土拱效应,导致原有支护体系应力改变,引起隧道底部失稳下沉,隧道顶部松动垮塌,边墙开裂,破坏衬砌结构,影响其耐久性。

#### 4.3 溶解腐蚀性

隧道施工后引起地下水排泄途径发生变化,逐步向隧道开挖空腔集中排泄,地层中的石膏等物质随着地下水逐渐析出,形成空隙,在“延迟效应”的作用下进而发展成盐溶孔洞。石膏水溶液携带的 $\text{SO}_4^{2-}$ 离子对混凝土具有腐蚀性,最初作用于混凝土表面时,出现麻面、微裂隙,并导致混凝土结构滴水、漏水。随着溶解性的持续作用,再叠加硬石膏膨胀性和软化性,微裂隙逐步发展,最终导致混凝土结构破坏,强度丧失。

### 5 工程措施建议

#### 5.1 防排水措施

通过以上分析可以看出,硬石膏对工程的危害主要是在水环境改变的情况下显现出来的,因此,富含石膏段落防排水是保证工程安全的关键。隧道开挖不可避免会破坏水的径流、排泄环境,需根据工程地质环境制定针对性的防排水措施。

芒康山隧道石膏岩分布于可溶岩段落,水环境较差,涌突水风险较大。隧道施工时应做好本段落的防水封闭工作,降低地下水流动对石膏的影响,建议在石膏与可溶岩、可溶岩与砂泥岩接触部位设置注浆阻水墙,阻隔彼此间的水联动。由于石膏段落位于人字坡坡顶处,建议在石膏与可溶岩接触两端设置过水涵连接平导,石膏段落地下水通过平导排出。

#### 5.2 隧道断面设计

石膏膨胀会挤压衬砌结构,石膏软化会导致应力集中,加上石膏段落位于可溶岩区,水压较大,隧道存在大变形的风险。综上考虑,建议石膏段落隧道断面采用圆形断面。

#### 5.3 加强衬砌

石膏段落应遵循“主动加固、优化轮廓、强化支护、适时锚固、工法配合”的基本原则,针对不同等级的大变形地段采用对应的预设计衬砌支护措施,根据围岩揭示情况,结合现场试验、理论分析和工程类比综

合确定支护参数。支护过程中应增加预留变形量,并及时封闭。

#### 5.4 选用合适建材

石膏段建议选用C45及以上标号混凝土,水泥采用抗硫酸盐水泥,并添加抗裂防水添加剂。二衬混凝土建议掺用一级粉煤灰,增强混凝土结构的抗侵蚀性。

### 6 结论

硬石膏强度较低,属软岩—极软岩,遇水膨胀,挤压衬砌结构,影响混凝土结构的耐久性;遇水软化,强度降低,变形增大,降低围岩稳定性;易溶蚀,溶蚀后溶出大量硫酸根离子于环境水中,长期侵蚀混凝土支护结构,影响结构的耐久性。石膏质岩的不良工程特性将对隧道建设、运营产生诸多不利影响,应采取相应的防治措施。

石膏岩质隧道增大了设计和施工的难度,芒康山隧道石膏段落应精心设计,超前谋划,针对防排水、施工工法、衬砌强度、施工材料等进行专门检算设计,确保隧道施工及运营的顺利进行。

### 参考文献:

- [1] 刘艳敏,余宏明,汪灿,等.白云岩层中硬石膏岩对隧道结构危害机制研究[J].岩土力学,2011,32(9):2704-2708.  
LIU Yanmin, YU Hongming, WANG Can, et al. Research on Mechanism of Damage of Anhydrite in Dolomite Layer to Tunnel Structure[J]. Rock and Soil Mechanics, 2011, 32(9): 2704 - 2708.
- [2] 祝艳波,吴银亮,余宏明.隧道石膏质围岩溶蚀及溶出特性试验研究[J].现代隧道技术,2016,53(1):28-37.  
ZHU Yanbo, WU Yinliang, YU Hongming. Experimental Research on Corrosion and Leaching Characteristics of Gypsum Rock Surrounding Tunnels [J]. Modern Tunnelling Technology, 2016, 53(1): 28 - 37.
- [3] 李刚.隧道石膏质围岩溶蚀特性试验研究.[J].西南公路,2016(3):221-230.  
Li Gang. Experimental Research on Leaching Characteristics of Gypsum Rock Surrounding Tunnels [J]. Southwest Highway, 2016(3): 221 - 230.
- [4] 陈钊,蒲文明,王永庆,等.礼让隧道石膏岩段防排水措施分析[J].铁道建筑技术,2016(2):49-53.  
CHEN Fan, PU Wenming, WANG Yongqing, et al. Waterproof and Drainage Measures of Lirang Tunnel in Gypsolyte Section [J]. Railway Construction Technology, 2016(2): 49 - 53.
- [5] 王超,张水林,蒲文明,等.模拟隧道水压对石膏围岩强度特性的影响[J].地下空间与工程学报,2018,14(S1):235-239.  
WANG Chao, ZHANG Shuilin, PU Wenming, et al. Influence of

Water Pressure on Surrounding Rock Strength in Tunnel[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2018, 14 ( S1 ): 235 – 239.

[6] 许崇帮,王华牢,汪成兵,等. 石膏岩地区隧道病害成因分析及处治措施. [J]. 公路隧道,2015(2):38 – 42.

Xu Chongbang, Wang Hualao, Wang Chengbing, et al. Causes Analysis and Treatment Measures of Tunnel Diseases in Gypsum Rock Areas. [J]. Road Tunnel,2015(2):38 – 42.

[7] 赵国军,陈钊,欧阳汛. 石膏质岩隧道工法优选[J]. 西部资源, 2017(2): 187 – 192.

ZHAO Guojun, CHEN Fan, OUYANG Xun. Excavation Method Optimization of the Gypsum Rock Tunnel [J]. Westem Resources, 2017(2): 187 – 192.

[8] 中铁二院工程集团有限责任公司. 新建铁路川藏线雅安至林芝段预可行性研究[R]. 成都: 中铁二院工程集团有限责任公司, 2018.

China Railway Eryuan Engineering Group Co. , Ltd. Pre-feasibility Study of the Newly Built Ya'an-Nyingchi Section of Sichuan-Tibet Railway[R]. Chengdu: China Railway Eryuan Engineering Group Co. ,Ltd. , 2018.

[9] 宋章,张广泽,蒋良文,等. 川藏铁路主要地质灾害特征及地质选线探析[J]. 铁道标准设计, 2016, 60(1): 14 – 19.

SONG Zhang, ZHANG Guangze, JIANG Liangwen, et al. Analysis of the Characteristics of Major Geological Disasters and Geological Alignment of Sichuan-Tibet Railway[J]. Railway Standard Design, 2016, 60(1): 14 – 19.

[10] 宋章,魏永幸,王朋,等. 复杂艰险山区地质灾害特征及减灾选线研究[J]. 高速铁路技术, 2020, 11(5): 8 – 12.

SONG Zhang, WEI Yongxing, WANG Peng, et al. Research on Geological Disaster Characteristics and Location for Disaster Reduction in Complex and Dangerous Mountainous Areas [J]. High Speed Railway Technology, 2020, 11(5): 8 – 12.

[11] 朱颖,魏永幸. 复杂艰险山区铁路减灾选线[J]. 高速铁路技术, 2018, 9(6): 1 – 4.

ZHU Ying, WEI Yongxing. Disaster Reduction Techniques for Route Selection of Railway in Complex and Dangerous Mountain [J]. High Speed Railway Technology, 2018, 9(6): 1 – 4.

(上接第 60 页)

[20] 韩永军. 武汉动车段喷漆库设计[J]. 铁道建筑技术,2011(5): 58 – 62.

HAN Yongjun. Design of Spray Paint Library for Wuhan EMU[J]. Railway Construction Technology, 2011(5): 58 – 62.

[21] 田军. 武广客运专线广州动车基地总平面布置研究[J]. 铁道标准设计,2010(12):126 – 129.

TIAN Jun. Research on the General Layout of Guangzhou Train Base of Wuhan-Guangzhou Passenger Dedicated Line [J]. Railway Standard Design, 2010(12): 126 – 129.

[22] 于永兴. 武汉动车段三级修架车方案研究[J]. 铁道勘察,2010, 36(2):119 – 122.

YU Yongxing. Research on the Three-level Frame Repair Plan of Wuhan EMU[J]. Railway Survey, 2010, 36(2): 119 – 122.

[23] 中铁第四勘察设计院集团有限公司. 武汉至广州客运专线新建武汉动车段工程修改初步设计文件[R]. 武汉: 中铁第四勘察设计院集团有限公司,2007.

China Railway No. 4 Survey and Design Institute Group Co. , Ltd. Preliminary Design Document for Modification of New Wuhan EMU depot of Wuhan-Guangzhou Passenger Dedicated Line[R]. Wuhan: China Railway No. 4 Survey and Design Institute Group Co. , Ltd. , 2007.

[24] 中铁第一勘察设计院集团有限公司. 新建铁路郑州至西安客运专线引入西安枢纽新建客运北环线工程西安动车段施工图设计文件[R]. 西安: 中铁第一勘察设计院集团有限公司,2013.

China Railway First Survey and Design Institute Group Co. , Ltd. Detail Design Document for Xi'an EMU Depot of New Passenger North Ring Line of New Zhengzhou-Xi'an Passenger Dedicated Line to Xi'an Terminal Project[R]. Xi'an: China Railway First Survey and Design Institute Group Co. , Ltd. ,2013.

[25] 谢红太,王伟,武振锋. 铁路枢纽内动车组运维检修规模测算分析研究[J]. 华东交通大学学报,2021,38(5):90 – 100.

XIE Hongtai, WAMG Wei, WU Zhenfeng. Analysis and Research on the Scale of Operation Maintenance and Repair of EMUs in Railway Hub [J]. Journal of East China Jiaotong University, 2021, 38(5): 90 – 100.

[26] 谢红太. 新建宁淮城际铁路南京北动车所整体布局方案研究[D]. 兰州: 兰州交通大学,2021.

XIE Hongtai. Research on the Overall Layout and Technological Scheme of Nanjing North EMU for the New Ninghuai Intercity Railway [D]. Lanzhou: Lanzhou Jiaotong University, 2021.