

文章编号: 1674—8247(2023)02—0001—05

DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2023.02.001

## 西南山区高速铁路主要工程地质问题研究

陈明浩<sup>1,2</sup> 李东<sup>2</sup> 张广泽<sup>2</sup> 赵晓彦<sup>1</sup> 付开隆<sup>2</sup>

(1. 西南交通大学, 成都 610031; 2. 中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

**摘要:** 高速铁路具有沉降控制要求严格、速度快、运营安全舒适的特点,但西南山区地形高差显著、板块活动强烈、构造岩性复杂、气候极端恶劣,其特殊复杂的地质环境孕育了危岩落石、采空区、高地应力、基底上拱、巨型岩溶、隧道涌水突泥、非煤有害气体、隧道运营地质灾害等众多工程地质问题,制约着高速铁路向西南山区的延伸。本文对西南山区建成或在建的8条高速铁路干线主要工程地质问题的经验进行了总结,系统梳理了尚未解决或亟待优化的难点或痛点,分析了各类问题存在的原因,探寻了解决方案和研究思路,以期为广大高速铁路工程技术人员提供创新发展的方向。

**关键词:** 工程地质问题; 不良地质; 综合勘察; 高速铁路

中图分类号: U212.22

文献标识码: A

## A Study on Main Geological Problems of High-speed Railway in the Mountainous Area in Southwest China

CHEN Minghao<sup>1,2</sup> LI Dong<sup>2</sup> ZHANG Guangze<sup>2</sup> ZHAO Xiaoyan<sup>1</sup> FU Kailong<sup>2</sup>

(1. Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China;

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

**Abstract:** High-speed railway is characterized by strict settlement control requirements, fast speed, and safe and comfortable operation. But the mountainous area in southwest China has significant terrain elevation differences, strong plate activity, complex tectonic lithology, and an extremely harsh climate. Its special and complex geological environment has nurtured many engineering geological problems such as dangerous rockfall, goaf, high geostress, basement arch, giant karst, tunnel water burst and mud inrush, non-coal harmful gas, and geological disasters in tunnel operation, which restrict the extension of high-speed railways to the mountainous area in southwest China. This paper summarized the main geological problems of 8 high-speed railway trunk lines constructed or under construction in the mountainous area in southwest China, systematically sorted out the difficulties or pain spots that have not been solved or need to be optimized, analyzed the causes of these problems, and explored solutions and research ideas, so as to provide a direction of innovative development for the vast number of high-speed railway technicians.

**Key words:** geological problems; unfavorable geological conditions; comprehensive investigation; high-speed railway

经过大量的研究和运营实践,我国已建成完整的高速铁路技术体系,但在高速铁路建设中仍存在众多

收稿日期: 2022-07-06

作者简介: 陈明浩(1983-),男,教授级高级工程师。

基金项目: 中铁二院工程集团有限责任公司科技开发计划(KSNQ202063, KSNQ202035, KDNQ212034),四川省重点研发项目(2019YFG0460)

引文格式: 陈明浩,李东,张广泽,等. 西南山区高速铁路主要工程地质问题研究[J]. 高速铁路技术, 2023, 14(2): 1-5.

CHEN Minghao, LI Dong, ZHANG Guangze, et al. A Study on Main Geological Problems of High-speed Railway in the Mountainous Area in Southwest China[J]. High Speed Railway Technology, 2023, 14(2): 1-5.

尚未解决或亟待优化的问题。本文通过对西南地区已建或在建贵广铁路、成渝客运专线、云桂铁路、沪昆客运专线、成贵铁路、郑万铁路、贵南客运专线、渝昆高速铁路等项目的系统梳理和总结,研究制约西南地区高速铁路建设的主要工程地质问题,探寻解决方案及创新方向。

## 1 研究背景

西南地区地势西高东低,山川秀丽、景象万千,山地、高原、丘陵、盆地均有分布,主要包括青藏高原、云贵高原、川西山地高原、四川盆地、渝东山地及广西盆地等。区内气候类型由温暖湿润的海洋气候到四季如春的高原季风气候,再到亚热带高原季风湿润气候以及青藏高原独特的高原气候。

西南地区处于欧亚板块的东南缘,与太平洋板块和印度板块相接。全区沉积类型多样,地层出露齐全,其间多期岩浆活动强烈,岩浆岩分布广泛,规模巨大,既有岩浆侵入、又有岩浆喷发,演化历史漫长。变质作用类型齐全,变质程度各异,成矿条件优越,矿产资源丰富。大地构造可划分为喜马拉雅褶皱系、冈底斯~念青唐古拉褶皱系、青藏~滇西褶皱系和扬子地台4个地质构造区,各区与相邻区之间均以深、大断裂带为界。西藏、云南、川西现今断裂构造活动强烈,强震发生频度较高。

该地区主要河流水系有金沙江及其长江上游段的岷江、沱江、嘉陵江、乌江、汉江等水系,澜沧江和怒江等西南水系,西江水系。地下水可分为松散沉积孔隙水、基岩裂隙孔隙水、碳酸盐岩类岩溶裂隙溶洞水和西藏高原多年冻土孔隙裂隙水,地下水类型的形成和分布受气候、水文、地形地貌、地层岩性、地质构造的控制。

西南山区具有板块活动强烈,新构造运动活跃,地形陡峭险峻,构造岩性复杂,气候环境恶劣,山地灾害频发的地质特征,强烈的内外动力地质作用给高速铁路建设带来了巨大难题和挑战。

## 2 西南地区高速铁路主要工程地质问题研究

高速铁路多采用无砟轨道,具有沉降控制要求严格、速度快、运营安全和舒适性要求高的特点,西南地区地形艰险,地质复杂,通过60多年的积累、总结,高速铁路工程地质勘察工作取得巨大成就<sup>[1]</sup>。然而,危岩落石、采空区、高地应力、基底上拱、巨型溶洞、隧道涌水突泥、非煤瓦斯有害气体、隧道运营地质灾害等

主要工程地质问题对高速铁路施工、运营尚有重大影响<sup>[2-5]</sup>,还需进一步加强研究。

### 2.1 危岩落石问题

西南山区山高谷深,植被茂密,交通不便,勘察期间难以完全查明隧道进出洞口、桥梁和路基斜坡发育的隐蔽高陡危岩体,造成施工期间或运营期间高位危岩体危及施工和运营安全的变更或潜在隐患。

崩塌常发生在高陡山麓斜坡或河谷陡岸地带,尤其是新构造运动剧烈、深大张开卸荷裂隙较多的地段,是斜坡上的剪应力超过岩土体的软弱结构面强度而崩落的结果。在地层岩性上,它多发生在软硬交互的砂页岩、中厚层及块状砂砾岩、石灰岩、片理发育的硅质片岩、片麻岩、混合岩及岩浆岩地段;在地质构造上,多发生在褶曲轴部、断层带、断层挤压破碎带、断层交汇带、节理密集带及不整合接触带;其动力来源多是地表水冲刷、潜蚀、淘空山坡下部支撑力减小,或岩土体中软弱结构面抗剪强度降低,或与人为边坡开挖、采空、爆破、地震等因素有关。

针对西南山区高陡危岩体“上不去”、隐蔽性强的特点,应大力推广无人机三维倾斜摄影、机载LiDAR等新型勘察手段,加强无人机勘察技术的适应性研究,提高危岩落石勘察精度<sup>[6]</sup>。

### 2.2 采空区问题

西南地区地域辽阔,是我国自然资源富集地区,有着丰富的水力、矿产、林业及旅游资源。作为与我国东部和东南亚地区连接的重要通道,越来越多的高速铁路线路网将穿过该地区。同时,西南地区也是我国南方重要的煤炭生产基地,目前已探明的煤炭资源约占全国总储量的10%。该区域采空区开采历史悠久,分布区域广泛,很多高速铁路线路都不可避免地要穿越煤矿及其采空区,由于采空区覆岩层的不均匀沉降变形,很容易造成高速铁路的桥隧路面错落起伏、结构变形、开裂,对线路的平顺性带来影响,进而对列车的正常运营构成重大危害。

从近几年西南地区采空区在勘察、施工及运营期间的实际问题分析,采空区勘察精度及方法的适用性越来越难以满足铁路工程不同阶段的需要,采空区勘察精度有待提高。首先,因为西南地区采空区的区域特性,采空区钻探和物探的效果较差;其次,早期开采的老窑采空区勘察难度大,不确定性高,隐蔽性强,易发生遗漏;再次,采空区钻探和物探新方法研究相对滞后;最后,正在开采煤矿的越界开采尚未得到有效控制。高速铁路线路通过采空区立面图如图1所示。

西南地区采空区具有较为明显的区域特点,这也

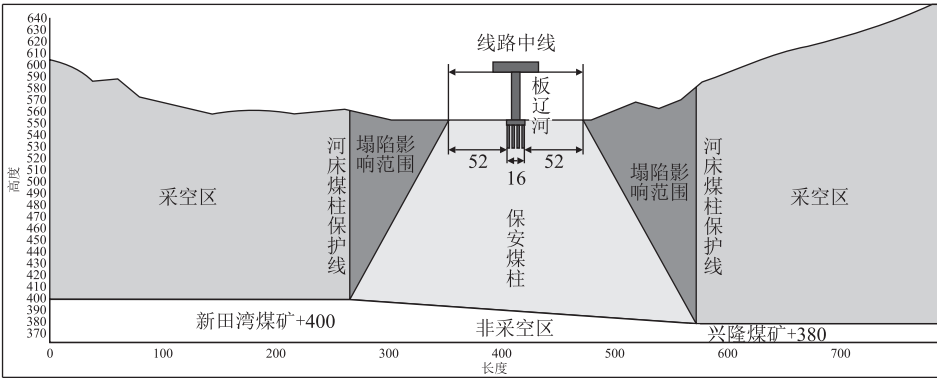


图 1 线路方案通过采空区立面示意图(m)

是导致在该区域开展采空区勘察较为困难、精度难以满足工程设计的原因,主要表现在西南地区煤层具有层数多、煤层薄、层间距小、有一定岩层倾角的特点;同时,西南地区老窑采空区分布范围广,开采历史悠久,空间无规律性,无资料可循等。

早期铁路勘察中针对采空区的勘察技术及其对铁路的影响研究主要是以北方厚层煤层、缓倾煤层采空区为主。对于西南地区这种陡倾薄煤层、开采历史悠久、规模相对较小、层数较多的采空区,原有的缓倾厚层煤层采空区勘察技术、采空区变形行为评价模型和对铁路的影响分析体系具有较大的局限性和不适宜性,这种陡倾薄煤层采空区勘察防治难点给勘察提出了更为严苛的要求和新的挑战。因此,开展针对西南地区采空区的勘察方法研究及采空区对高速铁路的影响研究就显得十分紧迫和必要。

采空区勘察方法主要包括矿产资料收集、野外调查及访问、井下采空区实测、地球物理勘探、工程钻探、变形观测及水文试验等,其中钻探和物探是最为常用的勘探手段,针对不同特征的采空区,采用不同的勘察手段及相互印证的综合勘察方法。针对西南地区急倾煤层采空区,已广泛采用了定向钻探工艺,极大提高了急倾斜煤层钻探效果,降低了无效钻孔的长度和比例;采用大线圈瞬变电磁法进行采空区勘察已具有较为明显的效果,后期进一步开展新型高分辨率地震反射波法、地震折射波法、地震 CT 法等技术应用,同时高精度物探设备研制及物探解译方法创新也是重要的研究方向。

### 2.3 高地应力问题

西南地质构造复杂活跃地区,软岩大变形、硬岩岩爆问题较为突出。如拉林、成昆、成兰铁路等部分隧道发生轻微~中等岩爆,成兰、丽香、大瑞、渝昆等铁路发生中等~强烈软岩大变形,对施工及运营造成

不利影响。

工程实践发现施工图预测岩爆的准确性较低,目前采用的岩石强度应力比判定标准,预测范围普遍偏大,主要为缺少区域地质构造、能量脆性释放的分析;现有的大变形预测、分类分级和控制技术存在以下问题:一是原位环境下结构性围岩大变形发生边界条件及工程地质特性不够明确;二是工程扰动对结构性围岩大变形的长时作用机理不清楚;三是现有大变形分类分级方法理论基础薄弱,缺乏对隧道岩体地质背景的分析,难以适用于构造活跃区围岩;四是大变形隧道围岩支护次数多,且效果不佳,围岩加固理念及控制技术方案不明确。

岩爆和大变形一直是高地应力区隧道围岩所面临的世界性难题,其机理复杂多样,不仅地应力复杂难以准确获取,岩体结构及其在开挖后的力学行为也难以全面准确认识,故目前学者们对大变形的定义及其发生边界条件、形成机理认识不统一,也存在一定的局限性。如大变形最新实践发现高地应力区硬质岩类同样可以发生大变形,如天平铁路关山隧道、成昆铁路盐边隧道的花岗岩大变形,丽香铁路中义隧道的玄武岩大变形等,该类隧道围岩均属硬质岩,岩质坚硬,受构造改造岩体结构出现片理化、层理化、碎块化。

西南地区铁路隧道占比高,隧道埋深大,区域构造复杂,地应力背景值高,需加强高地应力区岩爆、大变形机理研究、分类分级及防控技术的科研攻关;勘察阶段开展大面积地质调绘、物理勘探、深孔岩心饼化分析、深孔孔径分析、孔内摄像、多方法地应力测试及反演、岩石(岩体)原位测试及室内试验、构造演化分析、数值模拟等地质工作,重点加强构造应力场、岩体结构、构造破碎岩体、围岩力学参数等的专题研究与综合分析,形成具有中国特色的区域性岩爆大变形



理论、方法与技术。

## 2.4 基底上拱问题

高速铁路多采用无砟轨道,其高效运营取决于轨面平顺性,控制基底变形是保证无砟轨道轨面平顺性的关键,我国铁路自采用无砟轨道运营以来,已有多座隧道和多处挖深超过25 m的路堑出现了基底上拱,尤其表现在高速铁路(客运专线),如成渝客运专线、达(州)成(都)铁路、成(都)贵(阳)客运专线、西(安)成(都)客运专线、沪(上海)昆(明)高速铁路等。

发生该现象的岩性绝大多数为泥岩或泥岩夹砂岩,且多为缓倾甚至近水平中厚层状,通过分析内江北站及云顶隧道基底上拱特征及相关影响因素可以发现,缓倾泥岩基底上拱工程病害具有显著的长时持续缓慢特征,即变形速率小、持续时间长;不同的路堑形式下,基底上拱变形特征受基底宽深比、最大开挖深度的影响显著;不同的隧道仰拱形式,基底上拱程度不同等。由于其变形机理复杂,目前尚无具体有效的评价防控措施,基底上拱也成为了如今高速铁路建设过程中面临的一个关键难题。

病害整治对策需考虑病害成因、剩余上拱量、运营因素等综合确定,由于变形原因的复杂性,变形量准确预测非常困难,方案整治应预留一定富余量并持续加强监测、检测。进一步深入研究红层泥岩深宽路堑段上拱机理,可为后续相同地区类似工程的地质勘察和措施处理提供指导意见。

## 2.5 巨型岩溶问题

虽采用了区域地质调查、物探、钻探等综合勘察手段,仍难以准确查明巨型岩溶的空间分布特征,如成贵高速铁路玉京山隧道岩溶大厅、沪昆铁路朱砂堡隧道岩溶大厅等。某岩溶暗河拱桥跨越纵断面如图2所示。

西南山区岩溶具有隐蔽性、复杂性且普遍强烈发育,探测效果较好的地震法物探因爆破无法实施而难以开展,大地电磁法对含水量敏感,无水或少水充填的岩溶腔常表现为高阻而容易漏判,加之隧道埋深普遍较大,地面物探的探测精度随埋深的增加而降低,导致深埋隧道洞身段的溶洞难以识别。而深孔钻探受限于“一孔之见”更难确定岩溶准确形态。

巨型溶洞的形成必不可少的条件之一就是地下水,水力搬运了坍塌物质,置换了空间,进一步促成了坍塌,如此循环,易形成巨型溶洞,大量地下水来源主要是暗河,预测有大型暗河通过地段为存在巨型溶洞发育的高风险区,在查明岩溶水发育情况下加密开展物探和钻探。进一步提高大地电磁法的解译水平,

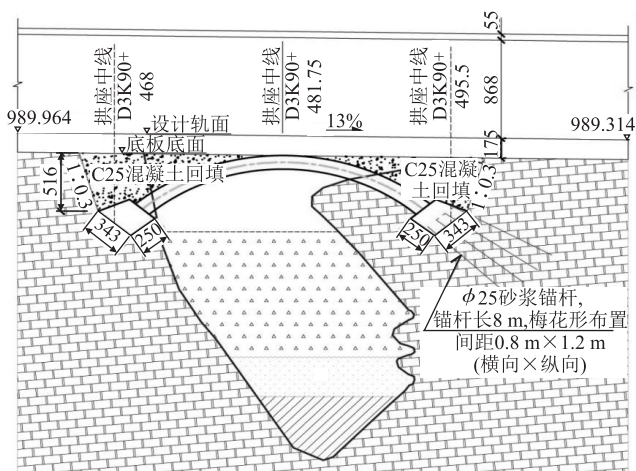


图2 岩溶暗河拱桥跨越纵断面示意图

研究便携、强震源的地震波物探设备及技术,研究地面三维物探综合解译技术,采用多种物探方法综合判释,加强钻孔验证,必要时采用水平定向孔探测。

## 2.6 隧道涌水突泥问题

岩溶隧道涌水突泥预测评价困难,涌突水位置和规模难以准确预判,如贵南高速铁路朝阳隧道施工过程中遇岩溶管道导致大规模涌水,郑万高速铁路小三峡隧道贯通后因强降雨导致450万 $\text{m}^3/\text{d}$ 的特大涌水,勘察期间虽对隧道涌水突泥情况进行了预测,但隧道施工时乃至贯通后揭露的涌水突泥情况与预测存在一定偏差。

西南地区地形陡峻、构造活动强烈,越岭岩溶隧道多,埋深大且常通过多个地质构造单元,隧址区多具有复杂多变的岩溶水文地质条件,导致隧道涌水突泥模式多样,致灾因子众多。虽然已开展了大量隧道涌水突泥机制研究,提出了经验、半经验的隧道涌水量计算方法,但仍难以形成系统的、全面的岩溶隧道涌水突泥预测评价体系。同时,受限于物探等勘察手段对深部岩溶的多解性、钻探对深部岩溶的不确定性,及现场水文地质试验参数获取的差异,导致勘察结果存在偏差,从而影响隧道涌水突泥预测的精度。

结合已建成西南地区越岭隧道涌水突泥实例,总结出一套系统的、全面的岩溶隧道涌水突泥预测评价的方法体系;位于岩溶水垂直渗流带的隧道地段,应预测雨季隧道最大涌水量,采用日最大降雨量计算,入渗系数应结合地表岩溶发育程度合理取值;提升物探对深部岩溶的解译准确性;加大深部岩溶钻探密度;研发更先进的深部岩溶勘探技术;规范现场水文地质试验,提高水文地质参数精度。

## 2.7 非煤有害气体问题

随着高速铁路网向西南山区延伸,线路将不可避免地通过有害气体地层,隧道施工运营安全风险极高,成兰铁路断裂揭示  $H_2S$  气体、大临铁路揭示花岗岩“岩浆囊气”等均表明除煤层瓦斯有害气体对铁路工程严重影响外,天然气储气构造带、深大断裂带、多期次岩浆岩接触带等构造复杂地段,施工中也可能揭露深部迁移上涌的  $CH_4$ 、 $H_2S$ 、 $H_2$ 、 $CO$  等其他有害气体并发生中毒、气体爆炸等问题。四川盆地红层浅层天然气运移富集规律如图3所示。

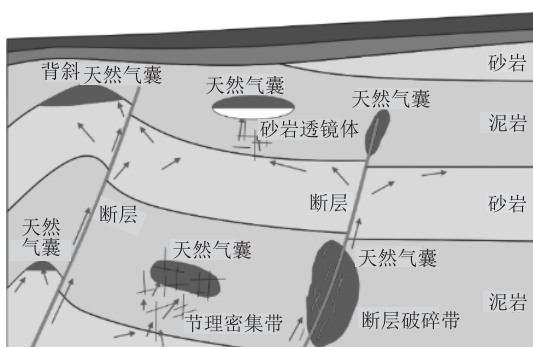


图3 四川盆地红层浅层天然气运移富集规律图

浅层天然气赋存条件复杂多样,其逸出、涌出方式具有相当的不确定性,目前对非煤有毒、有害气体勘察手段主要为钻探、孔内测试,测试数据无法真实反映气体分布规律、存储特征,对工程影响程度量化分级难度大;其他有害气体受地质构造、地热活动制约,如高压气体、温泉气等勘察时气体采集、测试存在一定的局限性,无法进行系统分析;由于在构造复杂区施工的隧道越来越多,揭示有害气体的类型也在增加,可能为工程首次发现,其致灾机理不明确。

如何查明非煤有毒、有害气体分布规律,消除或减小有害气体对工程的影响,已成为亟待解决的突出问题。在勘察阶段应适当的增加钻孔及测试,以验证特殊地层的有害气体情况;同时,加强对其他有害气体的分布特征、致灾机理等理论研究,加强其他有害气体测试设备研制;针对非煤有毒、有害气体特点建立综合评价体系,实现量化分级。

## 2.8 隧道运营地质灾害问题

由于隧道开挖改变了岩溶地下水径流路径,在隧道周边形成一个新的集水廊道,且没有有效的排水措施或者排水措施未发挥排水作用,导致衬砌背后、隧道仰拱底部水压增大,导致隧底隆起、衬砌结构破坏及渗漏水等病害,如渝利铁路方斗山隧道,沪昆客专白岩脚隧道,贵广铁路胡山、斗篷山、高天隧道,渝黔铁路扩能白果坪隧道等。

岩溶及岩溶水具有隐蔽性强,各向异性和不确定性的特点,受限于目前的勘察手段,为了避免高水压导致隧底上拱、衬砌结构变形开裂及渗漏水,在施工阶段应高度重视隧道岩溶段施工情况,加强隧道周边隐伏岩溶探测工作;对于施工中揭示的富水裂隙或岩溶管道要加强位置、规模、水量的复核工作;对于浅埋、下穿河流及岩溶强烈发育地段,加强物探工作,推测可能的岩溶通道;对于设置了泄水洞、集水廊道的部位要进行排水效果的排查和验收工作;隧道设计过程中加强二次衬砌、仰拱强度等工程措施。

其他含石膏地层,地下水丰富地段,硫酸盐侵蚀严重,导致隧道混凝土衬砌开裂、错台、剥壳、掉块,边墙腐蚀呈豆腐渣状;当隧道围岩为膨胀岩或盐岩地层时,隧道开挖形成新的排水通道或者临空面,地下裂隙水逐渐向隧道周边迁移、富集,隧道围岩吸水膨胀,进而发生强烈的内鼓变形,围岩吸水膨胀是一个缓慢的过程,需要很长时间才能达到稳定,其危害在运营阶段表现更加明显。

## 3 结束语

西南地区具有强烈的板块活动、复杂构造及岩性、显著的地形高差、极端气候条件的环境特征,加之高速铁路对轨面平顺、运营安全的极高要求,探讨了制约高速铁路建设的8类主要工程地质问题:危岩落石、采空区、高地应力、基底上拱、巨型溶洞、隧道涌水突泥、非煤瓦斯有害气体、隧道运营地质灾害,分析了地质问题的特征、成因及解决对策。希望今后铁路工程地质工作者广泛开展路内、外合作,采用天空地新型勘察技术,开展综合地质勘察工作,强化可研阶段地质勘察,积极推行加深地质工作,紧密围绕高速铁路建设与运营过程中的重难点工程地质问题,进行专项勘察或专题研究,加强施工地质工作,提高对特殊复杂工程地质问题的认识水平和勘察精度,更好地满足西南山区高速铁路建设的需要。

## 参考文献:

- [1] 中国地质学会工程地质专业委员会铁道分会. 中国铁路工程地质六十年[M]. 西安: 西安地图出版社, 2015.  
Railway Branch of Engineering Geology Commission, China Geology Society. Sixty Years of Railway Engineering Geology in China [M]. Xi'an: Xi'an Cartographic Publishing House, 2015.
- [2] 中国中铁二院工程集团有限责任公司. 铁路工程地质实例 - 西南及相邻地区分册[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2011.  
China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd. Examples of

(下转第12页)

of Quasi-rectangular Shields [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2019, 38(4): 852 – 864.

[11] LIN Qingtao, LU Dechun, LEI Chunming, et al. Model Test Study on the Stability of Cobble Strata during Shield Under-crossing [J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 2021, 110: 103807.

[12] 邓声君, 肖广良, 胡向东, 等. 类矩形盾构隧道数值模拟研究及若干施工因素分析 [J]. 现代隧道技术, 2016, 53(S1): 232 – 239.

DENG Shengjun, XIAO Guangliang, HU Xiangdong, et al. Numerical Simulation and Analysis of Construction Factors Affecting Quasi-rectangular Shield Tunnelling [J]. Modern Tunnelling Technology, 2016, 53(S1): 232 – 239.

[13] 李培楠, 石来, 刘俊, 等. 软土地区类矩形盾构隧道同步注浆填充扩散压力空间分布模式 [J]. 中国铁道科学, 2021, 42(2): 77 – 87.

LI Peinan, SHI Lai, LIU Jun, et al. Spatial Distribution Mode of Diffusion Pressure of Synchronous Grouting Filling for Quasi-rectangular Shield Tunnel in Soft Soil Area [J]. China Railway Science, 2021, 42(2): 77 – 87.

[14] ZHENG Bin. An Analysis of Shell Earth Pressure and Jacking Force of Quasi-rectangular Pipe Jacking with Large Cross-section: a Case Study on Underpass Project at Songhu Road-Sanmen Road in Shanghai [J]. Tunnel Construction, 2021, 41(10): 1740 – 1747.

(上接第 5 页)

Railway Engineering Geology-Southwest and Adjacent Areas [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2011.

[3] 徐正宣, 张利国, 蒋良文, 等. 川藏铁路雅安至林芝段工程地质环境及主要工程地质问题 [J]. 工程科学与技术, 2021, 53(3): 29 – 42.

XU Zhengxuan, ZHANG Liguo, JIANG Liangwen, et al. Engineering Geological Environment and Main Engineering Geological Problems of Ya'an-Linzhi Section of Sichuan-Tibet Railway [J]. Advanced Engineering Sciences, 2021, 53(3): 29 – 42.

[4] 陈明浩, 张广泽, 丁文富, 等. 成渝中线高铁主要工程地质问题及减灾选线 [J]. 铁道工程学报, 2021, 38(12): 13 – 18.

CHEN Minghao, ZHANG Guangze, DING Wenfu, et al. Main Engineering Geological Problems of Chengdu-Chongqing Middle Line High Speed Railway and Route Selection for Disaster Reduction [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2021, 38(12): 13 – 18.

[5] 杜宇本, 蒋良文. 大瑞铁路大保段主要工程地质问题及地质选线 [J]. 铁道工程学报, 2010, 27(4): 23 – 28.

DU Yuben, JIANG Liangwen. Main Problems in Engineering Geology and Alignment in Dali-Baoshan Section of Dali-Ruili Railway [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2010, 27(4): 23 – 28.

[6] 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].