

文章编号: 1674—8247(2022)01—0093—05
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2022.01.017

郑万高速铁路小三峡隧道选线分析

周定祥

(中铁二院重庆勘察设计研究院有限责任公司, 重庆 400023)

摘 要:铁路选线应结合地形地貌、不良地质、工程条件、工程造价、施工及运营风险等“全寿命周期”进行综合比较。本文在充分吸取复杂艰险山区减灾选线经验的基础上,以郑万高速铁路最长、最复杂的小三峡隧道为工程背景,开展隧道穿齐耀山背斜岩溶地质发育地段的选线研究,并创新提出“三维地质选线”方法,即隧道平面选线、隧道纵断面选线和隧道横断面选线,供类似项目参考借鉴。

关键词:郑万高速铁路;小三峡隧道;岩溶;三维地质选线;平面选线;纵断面选线;横断面选线

中图分类号:U452.1⁺3 文献标志码:A

Analysis on Route Selection for Xiaosanxia Tunnel of Zhengzhou-Wanzhou High-speed Railway

ZHOU Dingxiang

(CREEC (Chongqing) Survey, Design and Research Co., Ltd., Chongqing 400023, China)

Abstract: For route selection, railway route plans shall be comprehensively compared in terms of the "whole life cycle" regarding topography, unfavorable geology, engineering conditions, cost, construction and operation risks, etc. On the basis of the experience of route selection for disaster reduction in complex and dangerous mountain areas, taking Xiaosanxia Tunnel, the longest and most complicated tunnel of Zhengzhou-Wanzhou High-speed Railway as the case, this paper studies the route selection for tunnel passing through the karst geological development section of Qiyaoshan anticline, and innovatively puts forward the "three-dimensional geological route selection" method for reference of similar projects, that is, the integration of the plane route selection, the longitudinal section route selection, and the cross-section route selection for tunnels.

Key words: Zhengzhou-Wanzhou High-speed Railway; Xiaosanxia Tunnel; karst; three-dimensional geological route selection; plane route selection; longitudinal section route selection; cross-section route selection

郑万高速铁路(郑州—万州)位于豫、鄂、渝三省市境内,是国家《中长期铁路网规划》中区际干线铁路京—郑—渝—昆大通道的重要组成部分。铁路建成后可显著改善西南地区,特别是重庆东北向铁路的通道能力和质量,对加快沿线旅游资源开发,推进沿线城镇化进程,带动沿线经济社会发展具有积极意义。郑万

高速铁路建成后,重庆至北京、武汉的旅行时间可由目前的12 h和6.5 h缩短至6 h和4 h以内,大大缩短时空距离,显著提高铁路运输服务质量。

1 线路概况

郑万高速铁路线路长818 km,设计时速350 km,

收稿日期:2021-11-11

作者简介:周定祥(1967-),男,教授级高级工程师。

引文格式:周定祥.郑万高速铁路小三峡隧道选线分析[J].高速铁路技术,2022,13(1):93-97.

ZHOU Dingxiang. Analysis on Route Selection for Xiaosanxia Tunnel of Zhengzhou-Wanzhou High-speed Railway[J]. High Speed Railway Technology, 2022, 13(1):93-97.

总投资约1180亿,桥隧比91.9%,是我国第一条桥隧比重超过90%的复杂艰险山区高速铁路。铁路于2016年底开工建设,计划2022年底建成通车。

郑万高速铁路湖北、重庆段地处四川盆地边缘和大巴山山系南麓,位于我国第二地势阶梯(1000~2000m)与第三地势阶梯(1000m以下)过渡带。线路穿越大洪山、荆山、大巴山脉,途径襄阳盆地、南漳盆地,跨越唐白河、汉江、香溪河、神农溪、大宁河、梅溪河、汤溪河、彭溪河等河流。总地势西高东低、北高南低,山高谷深起伏大,线路多次克服峡谷间相对高差,纵坡呈“W”型,郑万高速铁路存在“四复杂”(地形条件复杂、地层岩性复杂、地质构造复杂、水文地质条件复杂)和“三突出”(岩溶及岩溶水问题突出、危岩落石问题突出、岩堆滑坡问题突出)问题。

岩溶及岩溶水是控制线路方案走向的主要不良地质,随着地质勘察工作的逐步深入,不断优化线路方案,减少可溶岩地段长度。线路方案优化后各设计阶段岩溶长度的变化如图1所示。

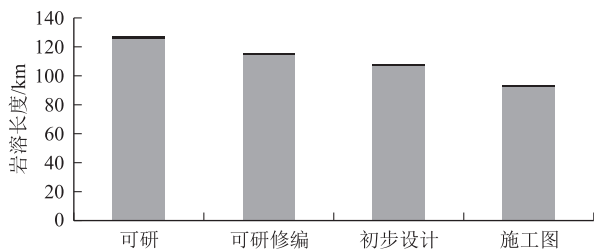


图1 各阶段岩溶长度变化图

可研阶段岩溶长度为125.71 km,可研修编阶段为114.27 km,初步设计阶段为106.45 km,施工图阶段为92.48 km,占线路长度的19.7%。

湖北、重庆段共有双线隧道60座(其中10 km以上隧道11座),共计336 962 m,占线路长度的71.5%,主要集中在湖北省南漳至重庆万州段。其中,小三峡隧道位于重庆奉节县东部与巫山县接壤地带,隧道全长18 954 m,为全线最长隧道,也是全线的控制性工程,属Ⅰ级高风险岩溶隧道。

高速铁路线型标准、构筑物沉降控制及轨道平顺性等要求高,主要经济点、环境敏感点等限制条件多,对长达数百公里的线路来说,传统的以适应地线为主的“地形选线”、“工程选线”及绕避不良地质为主的“地质选线”技术已难以完全满足要求。基于此,在充分汲取成昆、宝成、南昆等既有山区铁路经验教训^[1-3]及朱颖、魏永幸等人提出的“铁路减灾选线”新理念的基础上^[4-6],结合渝贵、渝怀二线勘察设计实践和郑万高速铁路小三峡隧道岩溶地质选线实际,提出了岩溶

隧道选线的一种新思路与方法——“三维地质选线”,即隧道平面选线、隧道纵断面选线和隧道横断面选线。

2 小三峡隧道平面选线

小三峡隧道位于长江以北,东为大宁河,南为长江,西为瞿塘峡,北为草堂河、石马河。线路穿越齐耀山背斜、巫山向斜、梁子上背斜的两翼,主要不良地质为顺层偏压、岩溶及岩溶水、岩堆、滑坡等。隧道以Ⅳ-13 520 m(81.59%),Ⅴ-2 250.5 m(13.58%)为主,隧道设置“3横洞+2平导+1斜井”的辅助坑道,总工期为48.7个月。

该段线路以大角度穿越齐耀山背斜,隧道洞身穿越可溶岩段落无法避免。汲取同走廊内长江南岸宜万铁路穿齐耀山背斜的经验教训,并充分借鉴渝利铁路的研究成果^[7],设计前期开展了大范围选线研究。选线研究的总体思路为:尽量缩短线路穿越可溶岩强烈发育段和水平径流带的长度,对利用长江作为岩溶水排泄基准面的南线系列方案和利用大宁河作为岩溶水排泄基准面的北线系列方案同时开展比选研究,线路方案示意如图2所示。

2.1 小三峡隧道南、北线系列方案研究

2.1.1 南线系列方案

对东端大宁河方案研究了沿江隧道设站方案、利用巫山站位沿江方案;对西端草堂河方案研究了经白帝镇方案和限速方案。经综合比选,推荐采用沿江隧道设站方案+经白帝镇方案D2K贯通。

2.1.2 北线系列方案

研究了DK方案、线路北移方案D2K和限速方案D3K。限速方案D3K线路绕行长,运行时分多、工程投资大,与线路北移方案相比,在穿越可溶岩强烈发育地段长度、水头高度方面无明显优势。经综合比选,推荐采用不限速的线路北移方案贯通。

对南、北线系列的推荐方案再进行系统比较,优中选优,最终推荐工程地质、水文地质、站位、桥位条件及工程投资均相对较好的北线系列线路北移方案D2K。

2.2 线路北移方案D2K的局部优化

在齐耀山北侧线路北移方案D2K中,小三峡隧道以大角度穿越齐耀山背斜,因中洞河两侧为陡峭峭壁,危岩落石范围广、规模大,无法处理,线路选择以长隧方案暗挖通过D2K。原贯通方案在小三峡隧道进口至中洞河段(D2K 665+815~D2K 670+800)段使用的平均纵坡为14.2‰,在满足隧道顶板与中洞河沟底位置关系的前提下,有进一步优化线路平面曲线半径、适当靠河的可能性,因此增加研究了两个对比方案,方案平面示意如图3所示。

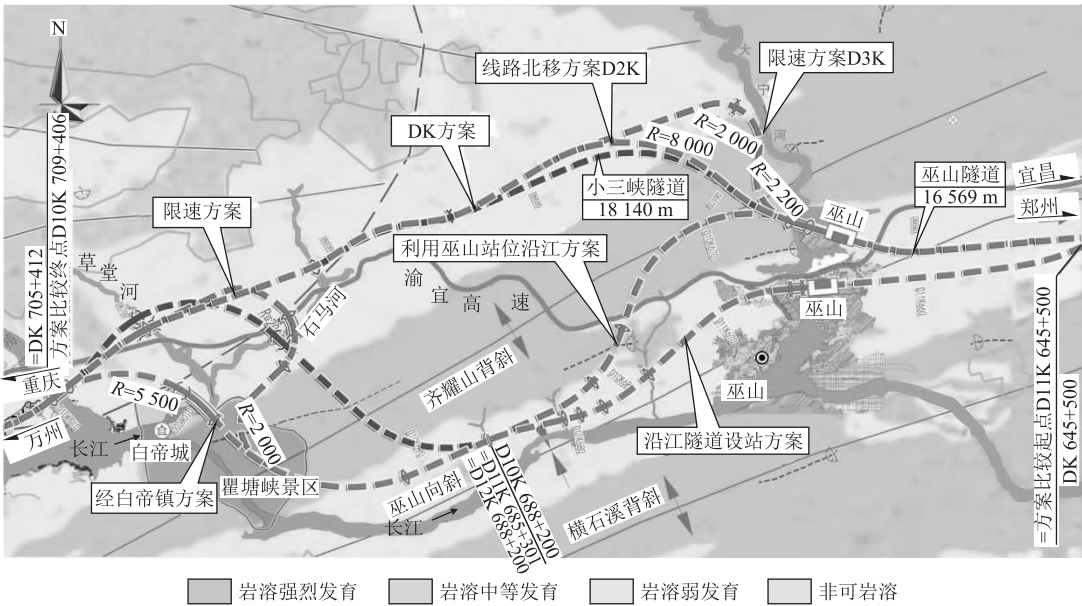


图 2 小三峡隧道南北线系列方案示意图

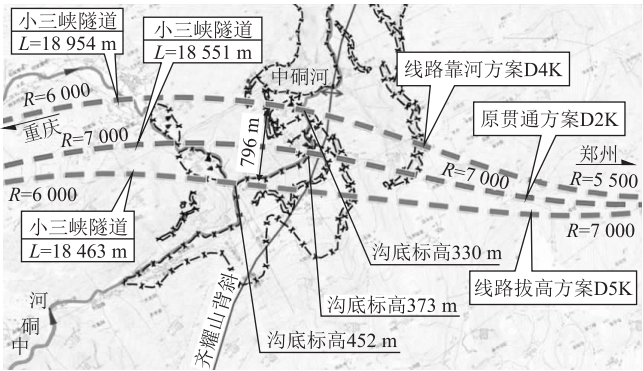


图 3 局部细化靠河、抬高方案示意图

2.2.1 线路靠河方案(D4K)

从平面位置分析,该段线路路方案应尽可能靠近东侧大宁河排泄区,以使线路走行于地下水水位水头较低位置。故在保证中洞河处隧道不出露的情况下,研究了线路平面位置更靠近大宁河的方案。该方案中洞河沟底地面标高 $H=330\text{ m}$,轨面设计标高 $H=304\text{ m}$,小三峡隧道进口至中洞河沟段采用 6‰ 纵坡。

2.2.2 线路抬高方案(D5K)

从线路设计标高分析,根据岩溶地区选线原则,该段线路方案应尽可能抬高,使线路尽可能走行于水平循环带之上,无法走行于水平循环带之上时应最大程度减小水头高度,减少隧道防护措施。中洞河自西向东流入大宁河,沟底地面西高东低,故线路西移后,沟底标高增加,按照设计规范^[8-9],线路最大纵坡可采用 30‰ ,故可用足坡度将线位拔至更高。该方案洞河沟底地面标高 $H=452\text{ m}$,轨面设计标高 $H=425\text{ m}$ 。

经研究比较,3 方案的可溶岩长度、岩溶发育程

度、水平径流带长度等条件基本一致。线路拔高方案 D5K 距离大宁河远约 796 m ,线路标高高于线路靠河方案 D4K 约 $50\sim120\text{ m}$,但其最大水头高度仅降低 15 m ,且在 D5K $670+385\sim671+335$ 段穿越高陡岸坡形成的岩堆及盐溶角砾岩,隧道围岩较差,隧道横洞长度增加约 800 m 。综合分析,推荐线路靠河方案 D4K。

3 小三峡隧道纵断面选线

中洞河为小三峡隧道洞身 DK $670+000$ 前后的深切沟谷,危岩落石发育、高差大,是线路方案的重要控制点,在线路平面位置确定的情况下,进一步研究了既可躲避危岩落石、又可抬高线路的方案,即在小三峡隧道洞身中洞河设置明洞拔高的线路方案。利用隧道弃渣在中洞河上设置堤坝,堤坝上设置明洞,中洞河排水则通过在堤坝上游设置单独泄水洞予以处理,如图 4 所示。

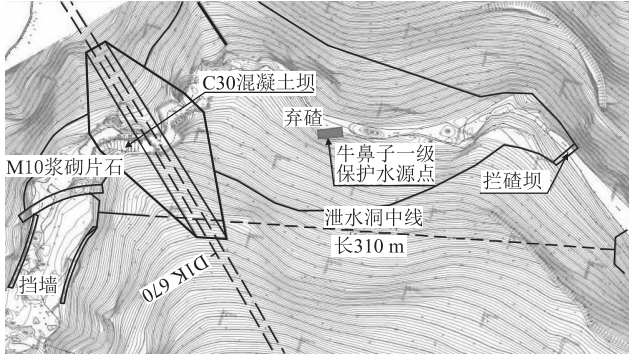


图 4 小三峡隧道洞身中洞河平面地形图

根据线路标高的差异,对 3 个纵坡方案进行了研究,分别为下穿中硐河不出露方案、上跨中硐河(坝高 30 m)方案和上跨中硐河(坎高 60 m)方案,各方案纵

坡与中硐河相对高程关系如图 5 所示,中硐河出露 30 m 低堤坝设明洞方案和出露 60 m 高堤坝设明洞方案断面图如图 6 所示。

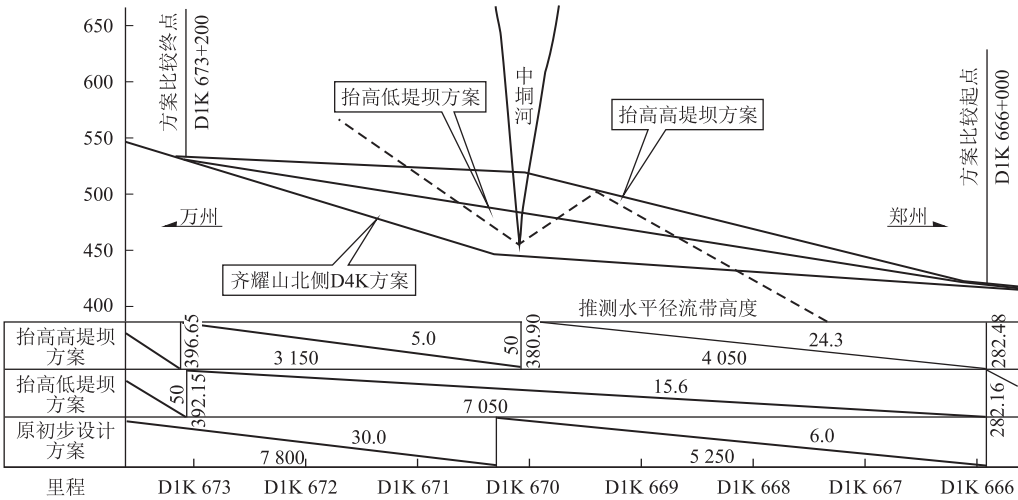


图 5 各方案纵坡与中硐河相对高程关系图

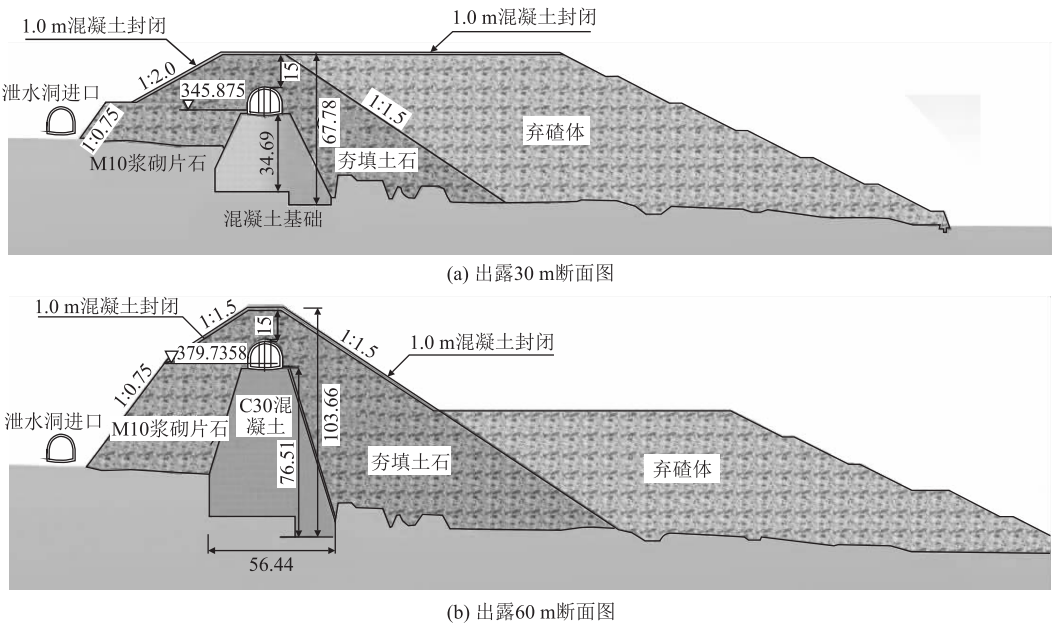


图 6 中硐河出露 30 m 低堤坝明洞和出露 60 m 高堤坝明洞方案断面图(m)

对岩溶及岩溶水条件进行分析,3 方案的可溶岩长度、岩溶发育程度基本一致,但在隧道穿越水平径流带长度和水头高度上有所差异,水头高差最大约 45 m,水平径流带最大长度差为 3 015 m。3 方案可溶岩分布特征及岩溶发育情况如表 1 所示。

从表 1 可以看出,在减小水头高度和水平径流带长度上,上跨中硐河方案有较大优势,但中硐河出露方案在减少水头高度的同时,也带来了新的问题,即中硐河两侧危岩落石极其发育,线路要面临高度超过 650 m、块径大于 10 m 且呈楔形掉块危岩落石的威胁。危岩落石对隧道明洞结构影响分析和模拟计算的结果

表明,现阶段隧道明洞结构不能抵御该处巨大的危岩落石,因此,中硐河出露方案安全风险极高。在岩溶和危岩问题二者无法完全兼顾的前提下,最终推荐中硐

表 1 岩溶及岩溶水比较表

名称	方案		
	中硐河不出露(D4K 方案)	中硐河出露 30 m(低堤坝方案)	中硐河出露 60 m(高堤坝方案)
线路长度/m	18 995	18 983	18 983
通过可溶岩长度/m	7 285	7 285	7 285
通过岩溶水平径流带长度/m	3 735	2 275	720
水头高度/m	80	55	35

河不出露方案(D4K 方案)。

4 小三峡隧道地质横断面选线

与 DK 方案相比,D4K 方案线路通过可溶岩长度、水平径流带长度及最大水头高度均明显减少,如表 2 所示,小三峡隧道水文、地质条件得到了较大的改善。

表 2 岩溶及岩溶水比较表

名称	方案	
	DK 方案	D4K 方案
线路长度/m	18 130	18 551
通过可溶岩长度/m	11 574	7 176
通过岩溶水平径流带长度/m	9 074	4 676
最大水头高度/m	175	80

综上可知,小三峡隧道进口端穿越齐耀山背斜可溶岩无法避免,经过南北系列方案比较及平(面)、纵(断面)、横(断面)三维地质选线,隧道近 2/3 位于非可溶岩,推荐绕避大型危岩落石、水文地质条件相对较好的 D4K 方案。

5 小三峡隧道工程设计措施

小三峡隧道设计采用“3 横洞 + 2 平导 + 1 斜井”方案,通过设置“横洞 + 平导”,进口端实现了可溶岩段全部顺坡排水施工,其中,长 6 324 m 的 1 号平导起到超前探明地质、排水泄压和超前正洞增开工作面快速施工的作用。为加快施工进度,保障施工安全,对控制工期的工区采用大型机械化配套施工;对涌(突)水(泥)风险段加强超前地质预报并考虑注浆堵水预案;对软岩变形塌方段加强结构支护;对处于风景区的隧道洞口采取仰坡零开挖进洞。同时,为避免施工排水破坏小三峡风景区水体,1 号横洞和 2 号横洞洞口均设置污水处理站。整个隧道开挖过程成功避免了岩溶隧道施工极易出现的突水、突泥及塌方等风险事故。科学选线和合理的工程措施是确保小三峡隧道提前 1 年贯通的关键。

6 结束语

郑万高速铁路小三峡隧道已于 2020 年 7 月 26 日全线顺利贯通,较原计划工期提前了 1 年。从后期施工开挖揭示的地层岩性可以看出,勘察设计过程中对该段地质的认识分析是科学合理的,采用的岩溶隧道选线原则“先绕避、短通过、抬高程、傍河边、靠既隧、顺坡排、浅覆盖、防崩塌”^[10]是正确的。

线路穿越中垆河段的后期施工中并未遇到较大岩溶突水突泥事件,这也验证了设计方案的合理性,若设计时一味追求降低岩溶水压而拔高线路,将会给运营埋下永久的安全隐患。因此,在单纯岩溶地区的铁路

选线中应遵循岩溶隧道选线原则,并结合“拔高”后带来的其他地质风险合理取舍。中垆河是一个典型案例,面临“拔高”后是否再进一步“拔高”的抉择,就某一工点而言,岩溶风险存在一定不确定性,现阶段的勘探手段很难全方位查明。而继续“拔高”后危岩落石的危害则会给后期运营留下重大安全隐患。因此,在复杂艰险山区铁路选线过程中,应采用“三维地质选线”,始终把施工及运营安全风险放在首位,从设计源头做好特长岩溶隧道的选线工作。

参考文献:

[1] 铁道第二勘察设计院. 宝成铁路技术总结[M]. 北京:中国铁道出版社,1958.
The Second Survey and Design Institute of China Railways. Technical Summary of Baoji-Chengdu Railway [M]. Beijing : China Railway Publishing House,1958.

[2] 铁道第二勘察设计院. 成昆铁路技术总结[M]. 北京:中国铁道出版社,1976.
The Second Survey and Design institute of China Railways. Technical Summary of Chengdu-Kunming Railway[M]. Beijing ; China Railway Publishing House,1976.

[3] 铁道第二勘察设计院. 南昆铁路[M]. 成都:电子科技大学出版社,2006.
The Second Survey and Design Institute of China Railway. Nanning-Kunming Railway [M]. Chengdu : University of Electronic Science and Technology of China Press,2006.

[4] 朱颖,魏永幸,蒋登伟,等. 复杂艰险山区高速铁路减灾选线设计研究[J]. 高速铁路技术, 2020, 11(2): 7-11.
ZHU Ying, WEI Yongxing, JIANG Dengwei, et al. Research on Route Selection Design of High-speed Railway for Disaster Reduction in Complex and Dangerous Mountain [J]. High Speed Railway Technology, 2020, 11(2): 7-116.

[5] 朱颖. 复杂艰险山区铁路选线与总体设计论文集[M]. 北京:中国铁道出版社,2010.
ZHU Ying. The Collected Papers on Railway Line Location and General Desgin in Mountainous Area [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2010.

[6] 朱颖,许佑顶. 复杂艰险山区铁路(公路)工程勘察设计论文集[M]. 北京:人民交通出版社,2012.
ZHU Ying, XU Youding. Collection of Railway (highway) Engineering Survey and Design Papers in Complex and Dangerous Mountainous Areas [M]. Beijing: China Communications Press, 2012.

[7] 中铁二院工程集团有限责任公司. 渝东复杂艰险山区铁路防减灾关键技术研究与应用[R]. 成都:中铁二院工程集团有限责任公司,2014.
China Railway Eryuan Engineering Group Co.,Ltd. Study and Application of Key Technologies for Railway Disaster Prevention and Reduction in Complex and Dangerous Mountainous Areas of East Chongqing [R]. Chengdu:China Railway Eryuan Engineering Group Co.,Ltd.,2014.

[8] TB 10098-2017 铁路线路设计规范[S].
TB 10098-2017 Code for Design of Railway Line [S].

[9] TB 10621-2009 高速铁路设计规范(试行)[S].
TB 10621-2009 Code for Design of High-speed Railway(Trial) [S].

[10] Q/CR 9251-2020 铁路岩溶隧道勘察设计规范[S].
Q/CR 9251-2020 Code for Investigation and Dsgin of Railway Karst Tunnel [S].