

文章编号: 1674—8247(2023)01—0106—05

DOI: 10.12098/j.issn.1674-8247.2023.01.020

# 沪渝蓉高速铁路(宜涪段)马鹿箐隧道选线研究

尹 航

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

**摘 要:**随着国家铁路路网逐步向复杂艰险山区拓展,铁路选线工作也面临因地形地貌复杂、地质灾害频发、工程条件艰难、施工及运营存在较高风险等特征产生的新困难。在充分吸收成昆、宜万等既有山区铁路建设经验和“减灾选线新理念”的基础上,文章以沪渝蓉高速铁路(宜涪段)地质情况复杂多变的马鹿箐隧道为背景,开展了隧道穿越岩溶地质发育地段的线路方案研究,论证了新马鹿箐隧道的线路方案的合理性,提出了隧道穿越岩溶地区的选线准则。研究成果可为类似岩溶地区隧道选线提供借鉴。

**关键词:**高速铁路; 马鹿箐隧道; 岩溶; 隧道选线

中图分类号: U452.1<sup>+3</sup>

文献标识码: A

## A Study on Route Selection of Maluqing Tunnel of Shanghai-Chongqing-Chengdu High-speed Railway (Yichang-Fuling Section)

YIN Hang

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

**Abstract:** With the gradual expansion of the national railway network to challenging mountain areas, the railway route selection is also faced with new difficulties caused by complex topographical and geomorphological conditions, frequent geological disasters, difficult work conditions, and high risks in construction and operation. On the basis of fully learning from the construction experience of existing mountainous railways such as Chengdu-Kunming Railway and Yichang-Wanzhou Railway and the “New Concept of Disaster Reduction and Route Selection”, this paper studied the alignment scheme of the tunnel crossing the karst geologically developed section, and took the Maluqing Tunnel with complex and volatile geological conditions of Shanghai-Chongqing-Chengdu High-speed Railway (Yichang-Fuling Section) as a case for study, to demonstrate the rationality of the alignment scheme of the new Maluqing Tunnel, and put forward the route selection criteria for tunnels crossing karst area. The results can provide a reference for the route selection of tunnels in similar karst areas.

**Key words:** high-speed railway; Maluqing Tunnel; karst; tunnel route selection

### 1 线路概况

沪渝蓉高速铁路(宜涪段)位于湖北省和重庆市境内,东起湖北省宜昌市,向西经湖北省长阳、五峰、

恩施、利川,重庆市石柱、丰都、涪陵等市县,终至重庆市长寿区<sup>[1]</sup>。线路全长 466 km,设计速度 350 km/h,桥隧占比 94.40%。沪渝蓉高速铁路(宜涪段)东与在建沪渝蓉高速铁路武汉至宜昌段贯通,西连在建沪

收稿日期: 2022-09-19

作者简介: 尹航(1982-),男,高级工程师。

引文格式: 尹航. 沪渝蓉高速铁路(宜涪段)马鹿箐隧道选线研究[J]. 高速铁路技术, 2023, 14(1): 106-110.

YIN Hang. A Study on Route Selection of Maluqing Tunnel of Shanghai-Chongqing-Chengdu High-speed Railway (Yichang-Fuling Section) [J]. High Speed Railway Technology, 2023, 14(1): 106-110.

渝蓉高速铁路重庆至成都段,是我国“八纵八横”沿江高速铁路通道的重要组成部分,也是一条以长途客流为主的高速铁路。

沪渝蓉高速铁路(宜涪段)位于长江流域,大部分属长江一级支流清江、洞庭湖和龙河流域,位于我国第二阶梯向第三级梯过渡地带,属云贵高原区的东北端中低山区,山高壁陡,河谷深切,东与江汉盆地相邻,西与四川盆地相接。沿线地形地质条件复杂,地形切割强烈,地层岩性纷杂。其中,位于恩施至利川段的马鹿箐隧道岩溶及岩溶水问题突出,地质条件恶劣,是沪渝蓉高速铁路的重难点工程。

## 2 研究区自然特征

沪渝蓉高速铁路(宜涪段)无法避让岩溶地质发育的马鹿箐段落,因此有必要开展大面积的地形地质调绘研究工作。研究范围北起清江、南至星斗山国家级自然保护区北缘<sup>[2]</sup>。

### 2.1 地形地貌

研究区属构造溶蚀-侵蚀中山地貌,地面标高一般为1000~1700 m,相对高差一般在200~500 m,最大超过800 m,最高点位于南侧分水岭附近,山顶高程1810 m,最低点位于北侧清江。东侧甘名溪为深切峡谷,两岸地形陡峻,呈现典型的峡谷、山顶台原、山地斜坡、山前缓坡地貌。斜坡脚发育深切岩溶槽谷,槽谷从自生桥、龙塘河、箐口,谷底有季节性溪流,自生桥和龙塘河之间局部切割较浅,以暗河通道相连。

### 2.2 地质条件

#### 2.2.1 地质构造

研究区受到新华夏系的构造体系影响,地质构造形态主要以褶皱和断裂形式存在,整体构造线方向为南西-北东向。区内构造主要集中发育于东边云雾山、西边金子山、笔架山附近。研究区内主要包含6个褶皱构造:白果坝背斜、金子山向斜、朱锦门(尖山坪)向斜、店子坪(安乐坪)背斜、黄泥塘背斜和马鞍山向斜。影响线路的较大规模断裂构造有16条,其中乌池坝断裂、云雾山断裂、猫儿山断裂、罗针田断裂、张家山断裂、团山坝断裂、姚家湾断层等都可能导致隧道的突水突泥。

#### 2.2.2 地层岩性

研究区出露地层主要有志留系(S)、泥盆系(D)、石炭系(C)、二叠系(P)和三叠系(T)。从出露地层看,以志留系、二叠系、三叠系发育最全,碳酸盐类岩石厚度约3710 m,占总厚度的62.5%左右,构成该区域的主要含水岩组。区内岩层厚度大,碳酸盐矿物含量高、

分布面积广,形成了大范围以溶蚀作用为主的地貌。

### 2.2.3 岩溶发育概况

研究区可溶岩地层发育众多,区内可溶岩平面分布约占总面积的65.7%,岩溶极强烈发育的区域面积占比约为25.76%,强烈发育区域占比约为29.3%,中等发育区域占比约为7.6%,而岩溶弱发育区域仅占3.01%。

研究区内碳酸盐岩广泛分布,区内河流发育,支沟纵横交错。河流作为岩溶发育的侵蚀基准面,影响岩溶发育的程度。同时,受河流切割、构造运动、沉积环境等多重因素的影响,研究区成为我国南方岩溶最发育的地区之一。

岩溶发育形态多样,格局造型各异,喀斯特地貌景观千姿百态。地表可溶岩地层中发育有不同程度的石芽、石脊、岩溶槽谷、溶蚀洼地、落水洞及峰丛等岩溶形态;地下也发育了溶洞、暗河及溶孔、溶隙等岩溶形态;各类岩溶形态在特定地形地貌上发育后,形成了不同的岩溶组合形态,区内主要有峰丛波状高台原,峰丛深切洼地,峰丛槽谷,溶丘洼地和岩溶峡谷等。

### 2.2.4 水文地质条件

研究区内主要水系为清江流域,发源于湖北省恩施州利川市的齐岳山,在宜都陆城汇入长江。受构造和地形地貌控制后,该水系发育多条清江一级支流或次级溪沟,地表支流或溪谷部分常年有水,流量随着季节性降雨波动,部分支流和溪沟源头是区内地下暗河的出口。研究区内大面积分布可溶岩,地下水十分发育,地下暗河埋深浅,雨季水位升高明显,部分天窗水溢出,区暗河发育众多。

## 3 宜万铁路马鹿箐隧道病害

宜万铁路为双线铁路,设计速度160 km/h,马鹿箐隧道位于湖北恩施州屯堡镇和团堡镇,是宜万铁路的重难点工程<sup>[3-6]</sup>。隧道全长约7880 m,自进口至出口为连续上坡,坡度为15.3‰,高差约121 m。马鹿箐隧道地处鄂西构造溶蚀侵蚀中高地区,位于鄂西新华夏构造的金子山复向斜中四方洞向斜南东翼的单斜地层中,隧道进口端地形陡峭,有三级陡崖,其后呈现典型的台原-山地斜坡-山前缓坡地貌。隧道横穿3条较大暗河:油竹一垮岩湾暗河、小马滩一凉风洞暗河和朱家槽一和尚鞍或道湾管道流。

马鹿箐隧道施工期间发生过19次特大突涌水,单年8个月内发生5次特大透水灾害。隧道施工中共遇到3处大型复杂岩溶点,其中“978”大型高压富

水溶洞位于鸟腊河、小马滩—蝌蚪口暗河系统的径流区,溶洞横穿Ⅰ、Ⅱ线隧道,可探长度大于400 m,宽大于20 m,高大于66 m。“978”溶腔突发透水事故中瞬时涌水量达30万 $\text{m}^3$ ,峰值涌水量72万 $\text{m}^3/\text{h}$ ,严重威胁人员安全并造成了巨大的经济损失。为有效引排岩溶水,在既有排水洞外增设了两排水分支洞共同排水。马鹿箐隧道开通运营期间,多次出现泄水洞检修通道涌水淹没道床、隧道内部严重渗水、隧道内出现光带等问题,致使行车中断或列车降速运行。

## 4 马鹿箐隧道选线研究

工程选线主要受沿线地形地貌、不良地质条件、经济据点和环境敏感点分布的影响。选线主要依据既有复杂艰险山区选线经验和减灾选线理论<sup>[7-11]</sup>,力争建成安全舒适,经济合理的铁路。

### 4.1 选线原则

复杂艰险山区岩溶地段选线应遵循以下原则:

(1)先绕避:区内线路与构造线大角度相交,绕避岩溶极强烈发育区、网状暗河系统、岩溶水强径流区及汇水区,选在岩溶水危害较小的补给区通过。

(2)短通过:线路应以大角度、短距离通过岩溶强烈发育地层、构造发育带、可溶岩与非可溶岩接触带。

(3)抬高程:线路宜选择在岩溶负地形之间、地下

分水岭附近、从岩溶水垂直径流带通过且高于地下暗河系统。

(4)傍河边:线路宜紧挨河边行进,从“岩溶安全地带”通过,隧道应避免位于岩溶地下水位以下。

(5)靠既隧:线路应尽量平行靠近既有隧道、洞室等地下建筑,并将其置于既有建筑物形成的降落漏斗内。

(6)顺坡排:应优先采用人字坡,涌水量较大的长大隧道应增设横洞和平导等工程顺坡排水,采用单面坡时应避免反坡施工。

(7)浅覆盖:线路若应必须穿过地下水位在土石界面附近强烈波动的覆盖型岩溶区时,宜多采用桥梁工程,并选择覆盖土较薄地段通过。

(8)防崩塌:选择在危岩落石影响较小地段通过,采用隧道通过时应避免出入口位于危岩落石范围。

### 4.2 方案研究

马鹿箐隧道沿线需经过利川与恩施两个重要政治经济据点,岩溶不良地质位于两控制点间,无法绕避。基于上述岩溶地区选线准则,针对研究区间岩溶水文地质特点,结合既有工程研究经验教训,开展了线路方案研究工作。由北向南共研究了沿清江方案、沿宜万铁路方案、沿高速公路北侧方案、南侧新通道方案、南绕方案和靠分水岭方案等6个方案,如图1所示。

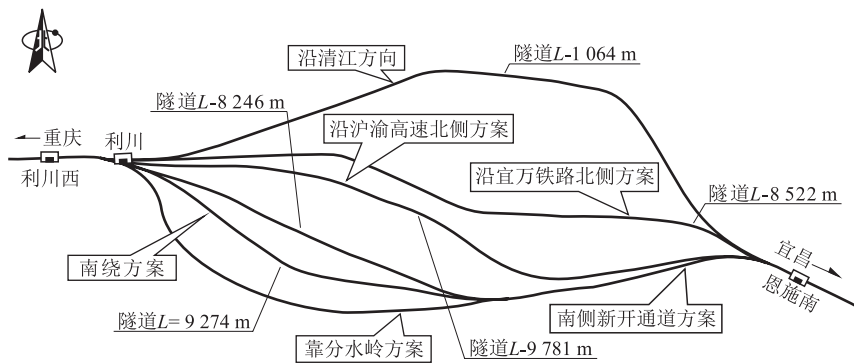


图1 马鹿箐隧道选线方案示意图

选线严格执行岩溶发育区选线原则,结合站位选择,绕避了岩溶极强烈发育区。抬高高程,设人字坡,实现顺坡排水,绕避了进出口段重大重力不良地质。沿宜万铁路北侧方案线路最为顺直,但是新云雾山隧道和新马鹿箐隧道均处于岩溶强烈发育区,该方案马鹿箐隧道穿越岩溶极强烈发育段落4 958 m,强烈发育段落2 990 m,下穿3条暗河。该线比宜万铁路高约38 m,比小马滩暗河低约128 m,比董家垭口—白腊山—蝌蚪口暗河低约34 m,受岩溶水和暗河的影响大,工程风险高,研究后予以放弃。沿高速路

北侧方案线路较长,投资高,地质条件较差,且甘名溪桥工程大,施工难度及风险高。沿清江方案与线路走向不符、重力不良地质条件差。故本研究重点对其余3个方案进行比选<sup>[12-13]</sup>,方案里程自C1K 231+420至C1K 295+000,全长63.58 km。

#### (1) 南侧新通道方案

线路自方案比较起点向西南行进,跨越甘名溪后沿西北走行,以8 246 m隧道穿越马鹿箐,上跨沪渝高速公路和宜万铁路至既有线北侧,于利川凉雾乡旗杆村设利川西站后至方案比较终点。线路长63.58 km,



桥隧总长 58.46 km,桥隧比 91.95%。

#### (2) 高速公路南侧方案

线路自方案比较起点向西行进,而后折向西北沿沪渝高速公路北侧通道,以 9 800 m 隧道穿越马鹿箐,上跨沪渝高速公路和宜万铁路至既有线北侧,于利川凉雾乡旗杆村设利川西站后至方案比较终点。线路长 63.40 km,桥隧总长 56.83 km,桥隧比 89.64%。

#### (3) 南绕方案

线路自方案比较起点向西南行进,跨越甘名溪后沿西北走行,以 9 274 m 隧道穿越马鹿箐,上跨沪渝高速公路和宜万铁路至既有线北侧,于利川凉雾乡旗杆村设利川西站后至方案比较终点。线路长 64.18 km,桥隧总长 58.66 km,桥隧比 91.4%。

### 4.3 方案比选

#### 4.3.1 从线路长度及工程投资分析

南侧新通道方案较高速公路北侧方案线路长 0.18 km,但受甘名溪桥梁方案影响,工程投资较高速公路北侧方案节省 3.05 亿元;南侧新通道方案较南绕方案线路长度短 0.6 km,工程投资节省 1.36 亿元。因此,从投资角度出发,南侧新通道方案最优<sup>[14-15]</sup>。

#### 4.3.2 从工程地质条件分析

该段落控制性工程主要为岩溶和岩溶水。

南侧新通道方案中新马鹿箐隧道穿越可溶岩长度约 5.9 km,未穿越岩溶和岩溶水极强烈发育段落,穿越岩溶和岩溶水强烈发育段落 5.2 km。线路靠近上游,属区域岩溶水的补给区,岩溶水补给范围 31.3 km<sup>2</sup>,相对较窄,暗河系统规模小,岩溶水风险相对较低。

高速公路北侧方案中新马鹿箐隧道穿越可溶岩长度约 8.05 km,其中岩溶和岩溶水极强烈发育段落长 4.4 km,岩溶和岩溶水强烈发育段落 3.2 km,下穿 3 条暗河,上跨 1 条暗河。属岩溶水的强径流区,岩溶水补给范围 64 km<sup>2</sup>,岩溶水补给范围和暗河系统规模大,岩溶水风险高。该方案的优点是位于高速公路和既有铁路之间,对环境影响最小。

南绕方案中新马鹿箐隧道穿越可溶岩长度约 5.2 km,其中未穿越岩溶和岩溶水极强烈发育段落,穿越岩溶和岩溶水强烈发育段落 5.0 km,但该方案穿越可溶岩段落的总长度较南侧新通道方案长 1.7 km,且下穿一条岩溶管道,风险较高。线路靠近上游,属区域岩溶水的补给区,岩溶水补给范围 25.6 km<sup>2</sup>,相对较窄,暗河系统规模小。

综合比较,南侧新通道方案工程地质条件相对较好,南绕方案次之,高速公路北侧方案较差。

#### 4.3.3 从甘名溪桥梁工程条件分析

南侧新通道方案中桥高 187.8 m,边坡陡峻,地形整体呈“V”峡谷,部分发育岩堆及围岩落石,若采用梁桥桥型,桥墩施工难度较高,且需加强边坡防护措施。结合地形条件,桥梁孔跨采用 275 m 上承式拱桥。

高速公路北侧方案中主跨采用 480 m 上承式钢管混凝土拱桥跨越甘名溪,拱上立柱最大墩高约 110 m。该方案造价高,施工难度大,安全风险高。

南绕方案中甘名溪桥梁工程同南侧新通道方案。

综上,南侧新通道方案和南绕方案甘名溪桥梁与地形条件结合较好,工程较简单,条件较好;高速公路北侧方案甘名溪桥梁工程复杂,施工难度高,投资大,工程条件最差。

#### 4.3.4 从对地方规划影响分析

利川城市东南侧规划有恩施高新区利川生物医药规划产业园,致力打造成为以生物医药制造功能为主,医疗、养生、休闲为辅的创新和综合服务功能完善的生态民族康养产业园。目前已完成部分产业布局,多家企业已投产或在建厂房。

南侧新通道方案和南绕方案从规划产业园南侧边缘通过,对规划无影响,高速公路北侧方案虽绕避建成区,但穿越规划区,对其规划影响大。从对地方规划影响的角度分析,南侧新通道方案和南绕方案均优于高速公路北侧方案。

综上分析,南侧新通道方案虽线路长度较长,但工程地质条件好,马鹿箐隧道施工风险小,对城市规划影响小,工程投资较省,故本次推荐南侧新通道方案。

## 5 结论

马鹿箐岩溶区不良地质直接影响新建沪渝蓉高速铁路马鹿箐隧道线位方案选择。根据高速铁路减灾选线经验,结合岩溶发育特点,吸取了既有隧道事故病害教训,提出了岩溶隧道选线原则,得出的结论包括:

(1) 针对岩溶及岩溶水发育地段,铁路隧道选线应遵循绕避为先的原则,若无法绕避,应选在岩溶水危害较小的补给区通过,且尽量抬高高程,使线路高于地下暗河系统,同时以大角度、短距离通过岩溶强烈发育地层。

(2) 岩溶区隧道线位宜选择汇水面积小的区域,当不可避免穿越水平流动带时,应避免反复横穿,且宜采用短通过的原则通过水平流动带。

(3) 岩溶隧道选线时应尽量平行或靠近既有隧道、洞室等地下建筑,并将其置于既有建筑物形成的降落漏斗内,将有利于避免隧道内发生突涌水及透水

等灾害,影响线路施工及运营。

(4)新马鹿箐隧道线路方案选择时,总结了该片区既有隧道穿越马鹿箐岩溶发育区的经验,深化了该片区地质研究成果。线位方案选择及地质研究所取得的经验,必将会对今后类似工程的勘测设计提供借鉴价值。岩溶地区“先绕避、短通过、抬高程、傍河边、靠既隧、顺坡排、浅覆盖、防崩滑”二十四字方针,符合复杂地质隧道工程选线需求,值得推广与应用。

## 参考文献:

- [1] 中铁二院工程集团有限责任公司. 新建铁路沪渝蓉高速铁路宜昌至涪陵段预可行性研究总说明书[R]. 成都: 中铁二院工程集团有限责任公司, 2016.  
China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd. General Specification for Prefeasibility Study of Yichang Fuling Section of New Shanghai Chongqing Chengdu High Speed Railway [R]. Chengdu: China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., 2016.
- [2] 中铁二院工程集团有限责任公司. 新建铁路沪渝蓉高速铁路宜昌至涪陵段可行性研究总说明书[R]. 成都: 中铁二院工程集团有限责任公司, 2017.  
China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd. General Specification for Feasibility Study of Yichang Fuling Section of Shanghai Chongqing Chengdu High Speed Railway under Construction [R]. Chengdu: China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., 2017.
- [3] 李鸣冲. 宜万铁路马鹿箐隧道“+978”溶洞处理技术研究[J]. 铁道建筑技术, 2012(2): 30-33.  
LI Mingchong. Study on Processing Technology for “+978” Cave in Malujing Tunnel on Yichang-Wanzhou Railway [J]. Railway Construction Technology, 2012(2): 30-33.
- [4] 杨兵. 宜万铁路马鹿箐隧道岩溶灾害的工程处治技术[J]. 地下空间与工程学报, 2011, 7(3): 581-586.  
YANG Bing. Treatment Techniques for Karst Disaster of Maluqing Tunnel on Yichang-Wanzhou Railway [J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2011, 7(3): 581-586.
- [5] 黄雄军. 宜万铁路马鹿箐隧道 + 978 溶腔预测预报[J]. 现代隧道技术, 2011, 48(1): 128-132.  
HUANG Xiongjun. Geological Forecast for Cavity at + 978 of Malujing Tunnel on Yichang-Wanzhou Railway [J]. Modern Tunnelling Technology, 2011, 48(1): 128-132.
- [6] 杨兵. 马鹿箐隧道高压富水大体量充填性溶腔处治技术[J]. 现代隧道技术, 2010, 47(2): 42-50.  
YANG Bing. Study on Treatment Technology Applied to Filled Cavity with Rich Water under Great Pressure in Maluqing Tunnel [J]. Modern Tunnelling Technology, 2010, 47(2): 42-50.
- [7] 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 Design in Mountainous Area [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2010.
- [8] 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 Design in Mountainous Area [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2010.
- [9] 朱颖, 许佑顶. 复杂艰险山区铁路(公路)工程勘察设计论文选集[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.
- [10] 朱颖, 姚令侃, 魏永幸. 复杂艰险山区铁路减灾选线理论与技术[M]. 北京: 科学出版社, 2016.  
ZHU Ying, YAO Lingkan, WEI Yongxing. Theory and Technology of Railway Location with Disaster Mitigation in Challenging Mountainous Areas [M]. Beijing: Science Press, 2016.
- [11] 郑天池, 龙宗明. 贵阳至南宁高速铁路避灾减灾选线设计[J]. 高速铁路技术, 2018, 9(S1): 121-126.  
ZHENG Tianchi, LONG Zongming. Route Selection Design with Disaster Avoidance & Decrease for Guiyang-Nanning High-Speed Railway [J]. High Speed Railway Technology, 2018, 9(S1): 121-126.
- [12] TB 10098-2017 铁路线路设计规范[S].  
TB 10098-2017 Code for Design of Railway Line [S].
- [13] 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 Design of Railway Karst Tunnel [S].
- [14] 龙宗明. 贵阳至南宁高速铁路环保选线设计探讨[J]. 高速铁路技术, 2022, 13(3): 91-95.  
LONG Zongming. Discussion on Environment-Friendly Railway Location Design of Guiyang-Nanning High-Speed Railway [J]. High Speed Railway Technology, 2022, 13(3): 91-95.
- [15] 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.