

文章编号: 1674—8247(2019)04—0085—06
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2019.04.018

安六铁路六枝至茨冲段隧道岩溶地质选线

周关学 付开隆 李峰

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

摘要:安六铁路六枝至茨冲段线路以隧道为主,岩溶及岩溶水问题较为突出。为合理确定线路平面位置及走行高程,降低隧道(涌)突水、突泥等地质灾害,开展了区域地质调绘及水文地质专题研究。文章分析了隧道址区水文地质条件、岩溶发育特征规律及暗河系统补给、径流、排泄等地质问题,对线路方案进行比选,提出沿长江水系与珠江水系分水岭的最优线路方案,可为同类项目提供参考。

关键词:安六铁路;岩溶隧道;分水岭;堕却-郎岱背斜

中图分类号:U212.35 文献标志码:A

Karst Geologic Route Selection for Liuzhi-Cichong Tunnel of Anliu Railway

ZHOU Guanxue FU Kailong LI Feng

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

Abstract: Tunnel is the main part from Liuzhi to Cichong section of Anliu Railway, the problems of karst and karst water are prominent. In order to reasonably determine the line plane position and height, to reduce tunnel (surge) water inrush, mud and other geological disasters, the regional geological mapping and hydrogeological studies are carried out. The paper analyzes the hydrogeological conditions, karst development characteristics and the problems of supply, runoff and discharge in the underground river system, compares and selects the route plans, proposes the optimal route scheme along the watershed between the Yangtze river system and the pearl river system, provides reference for similar projects.

Key words: Anliu Railway; karst tunnel; watershed; Duoque-Langdai anticline

安六铁路是贵阳经安顺至六盘水城际铁路的重要组成部分。六枝至茨冲段隧道群是安六铁路控制线位的重要工程区段,该段线路通过堕却-郎岱背斜的可溶岩地层,并通过紧闭背斜两翼隔水层封闭形成背斜翼部的富水区,地下暗河、溶蚀槽谷、洼地、落水洞、溶洞等岩溶形态强烈发育,水文地质条件复杂,隧道施工易产生突水、突泥及环境破坏等问题,涉及比较复杂和敏感的环境水文地质及施工安全问题^[1]。为降低施工及环境风险,勘察期间把隧道区岩溶地质选线作为一个控制线路方案的重点,对穿越堕却-郎岱背斜的

各个方案作了大量地质工作,在综合分析研究的基础上,提出了线路避开行走地下水水平径流带和沿梁山组煤系地层或峨眉山玄武岩与相邻灰岩地层接触带的取直方案和沿高速公路方案,爬高线位,提出线位沿长江水系与珠江水系分水岭的推荐方案,隧道区方案示意,如图1所示。

1 隧道区工程地质条件

1.1 地形地貌

测区属构造低中山区地貌,地形上总体呈“人字

收稿日期:2018-08-06

作者简介:周关学(1966-),男,高级工程师。

引文格式:周关学,付开隆,李峰. 安六铁路六枝至茨冲段隧道岩溶地质选线[J]. 高速铁路技术,2019,10(4):85-90.

ZHOU Guanxue, FU Kailong, LI Feng. Karst Geologic Route Selection for Liuzhi-Cichong Tunnel of Anliu Railway [J]. High Speed Railway Technology, 2019, 10(4): 85-90.

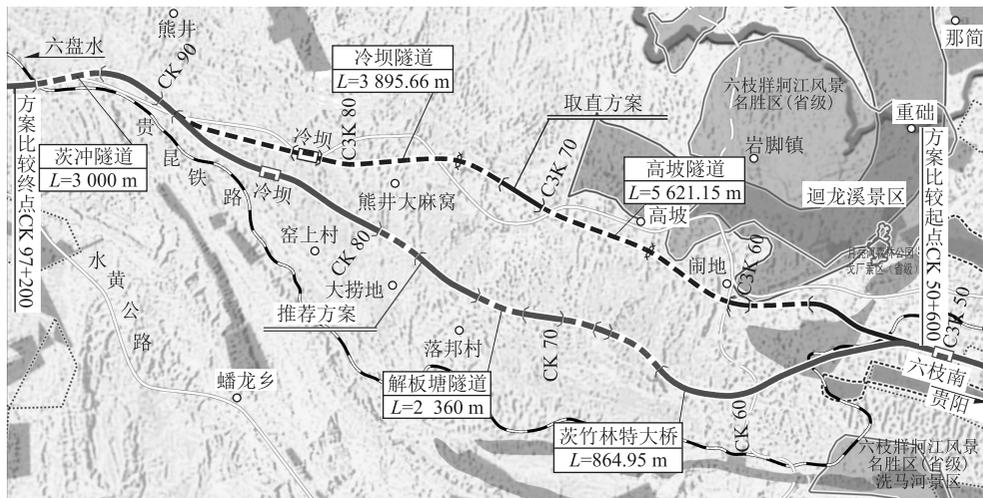


图1 隧道区方案示意图

型”, 堕却-郎岱背斜核部高, 两翼低。受地层岩性及地质构造控制, 隧址区交替形成缓坡及溶蚀冲沟地貌。堕却-郎岱背斜南翼为珠江水系, 北翼为长江水系, 线路沿长江水系与珠江水系分水岭行进。背斜核部最高海拔标高 2 042.1 m, 两翼最低海拔标高 1 350 m, 相对高差 692.1 m。

1.2 地层岩性

测区主要穿过石炭系及二叠系地层, 石炭系上统马坪群(C₃mp)、中统黄龙群(C₂hn)灰岩形成溶蚀台地地形, 两翼出露二叠系下统栖霞组(P₁q)、茅口组(P₁m)富水性强的含水岩组和二叠系下统梁山组(P₁l)、上统长兴组(P₂c)、大隆组(P₂d)、龙潭组(P₂l)及峨眉山玄武岩(P₂β)含煤地层及相对隔水岩层。线路通过区内主要岩性特征, 如表 1 所示。

表 1 隧道区通过主要地层岩性特征表

系	统	地层名称	地层代号	主要岩性
二叠系	上统	长兴组	P ₂ c	燧石灰岩夹页岩、砂质页岩、煤线和泥灰岩
		大隆组	P ₂ d	燧石灰岩夹页岩、砂质页岩、煤线和泥灰岩
		龙潭组	P ₂ l	页岩、粉砂质泥岩夹煤层及灰岩
		峨眉山玄武岩	P ₂ β	玄武岩
	下统	茅口组	P ₁ m	灰岩、白云质灰岩
		栖霞组	P ₁ q	灰岩、含泥质灰岩及白云质灰岩和白云岩
		梁山组	P ₁ l	砂岩、泥岩夹灰岩及石英砂岩, 夹煤层
石炭系	上统	马坪群	C ₃ mp	灰质白云岩, 厚层灰岩、生物灰岩
	中统	黄龙群	C ₂ hn	生物碎屑灰岩夹泥灰岩及泥质灰岩

1.3 地质构造

测区大地构造属扬子地台之滇黔鄂台褶带, 测区

位于南岭纬向构造带之北, 川滇经向构造体系之东, 新华夏第三次隆起带之西。北西向及黔西山字形构造带控制着本区域岩溶的分布、发育规律。测区为堕却-郎岱背斜, 背斜轴向呈北 30°西, 核部地层为石炭系可溶岩, 两翼为二叠系、三叠系可溶岩与非可溶岩, 两翼不对称, 南翼受南丹紫云区域断裂影响, 岩层陡, 地层缺失, 北翼舒展, 地层齐全。背斜轴部局部发育小型逆断层, 断层破碎带较窄, 背斜轴部陡倾角张性裂隙极为发育^[2]。

1.4 岩溶发育规律

隧址区位于长江水系与珠江水系分水岭地带, 背斜核部为溶蚀台地、槽谷发育区, 岩溶强烈发育, 溶蚀洼地、岩溶漏斗、落水洞、溶蚀裂隙(溶缝)、溶孔等岩溶形态沿构造线呈北西向呈串珠状发育。背斜两侧深切沟谷内由梁山组含煤地层或峨眉山玄武岩与相邻灰岩地层的接触地带均有岩溶管道水的露头及暗河出口, 溶洞、地下暗河、岩溶大泉发育^[3]。区内岩溶发育受地形地貌、地层岩性、地质构造等的影响, 呈现出如下规律:

(1) 背斜核部岩溶强烈发育

堕却-郎岱背斜为紧密背斜, 核部为 C₃mp、C₂hn 的可溶岩地层, 两翼局部含非可溶岩, 背斜轴部纵向张裂隙极为发育, 局部小型断裂构造发育, 为地表水的下渗、溶蚀提供了有利条件, 溶蚀洼地、岩溶漏斗、落水洞等岩溶形态顺构造线呈串珠状发育, 线位走行于浅表垂直发育的岩溶形态内, 背斜核部岩溶强烈发育。

(2) 背斜两翼岩溶水特别丰富

堕却-郎岱背斜两翼为 C₃mp、P₁l、P₁m、P₁q、P₂l、P₂β 的可溶岩和非可溶岩地层, 背斜北翼大面积地下

汇水向北径流,受梁山组煤系地层及峨眉山玄武岩等非可溶岩地层的分隔,岩溶水文地质系统十分复杂,在深切沟谷内由梁山组煤系地层或峨眉山玄武岩与相邻灰岩地层的接触地带均出现溶洞、地下暗河、岩溶大泉^[4]等,隧道沿可溶岩与非可溶岩界线靠可溶岩侧顺线路方向出现地下水水平径流,岩溶水特别丰富。

2 隧道区水文地质条件

2.1 区域水文地质条件

区域内岩溶水文地质条件控制着线路方案的选择。玉和顶和冷坝后山为测区最高点,标高为2 042.1 m,线路沿长江水系与珠江水系分水岭行进,地表水分水岭也是地下水分水岭,南侧为珠江水系北盘江流域,以牂牁江为最低点;北侧为长江水系乌江流域,以三岔河为最低点。背斜轴部纵向张裂隙极为发

育,为地表水入渗溶蚀提供了良好通道,南翼地下水自北向南或径流,北翼地下水自南向北或径流,在深切沟谷内由梁山组煤系地层或峨眉山玄武岩与相邻灰岩地层的接触地带均会出现岩溶管道水露头、岩溶大泉及暗河口。地下水运动的总趋势是南北分流,向北汇入长江水系三叉河乌江流域,向南归入珠江水系牂牁江北盘江流域,汇入长江水系三叉河乌江流域的地下河有骂支-龙潭地下河、解板塘-洞口地下河、播洞-下锅厂地下河、龙井-大地头地下河、小黑舍-龙井沟地下河、双龙潭地下河等;汇入珠江水系牂牁江北盘江流域的地下河有中坝水库地下河、二道岩地下河、艾家坪地下河、猴儿关左家寨地下河、茨冲地下河等。该段线路隧道区水文地质图及两侧流域内岩溶大泉及地下河统计表^[5],如图2和表2所示。

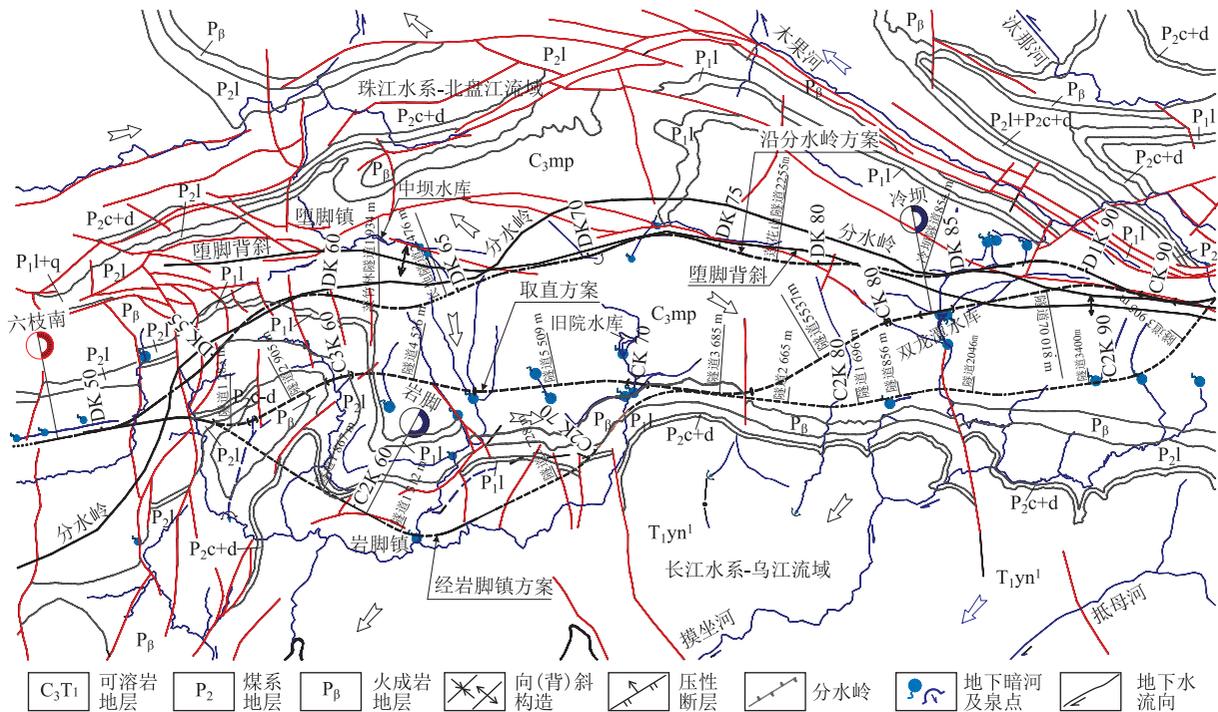


图2 隧道区水文地质示意图

2.2 岩溶水的补给、径流、排泄

堕却-郎岱背斜地貌上呈“人字型”形态,核部高山,两翼低谷,在空间上整体连续分布,形成背斜核部溶槽洼地的补给区。山岭斜坡含水补给径流区,两翼低洼处受梁山组煤系地层及峨眉山玄武岩等非可溶岩地层分隔而形成排泄区,背斜核部岩溶地下水与东西两翼地层的水力联系,形成堕却-郎岱背斜较完整的补给、径流、排泄区域性水文地质单元。

堕却-郎岱背斜为玉和顶-冷坝后山脉向南、向

北地表水和地下水汇流的分水岭,玉和顶-冷坝后一带山岭高程在1 800~2 040 m,南北两侧均为地势相对较低的槽谷地形,两翼最低海拔标高1 350 m,相对高差450~690 m。隧道区背斜轴部溶沟、溶槽、落水洞发育,地下水主要接收大气降水补给,大气降水通过岩石的孔隙、裂隙、溶蚀管道补给地下水,一部分补给深层地下水,一部分以裂隙泉、岩溶泉或地下暗河的形式排出地表。在两翼深切沟谷内的梁山组煤系地层或峨眉山玄武岩与相邻灰岩地层的接触地带带有岩溶管道

表2 各流域内岩溶大泉及地下暗河统计表

序号	流域名	暗河名称	含水岩组	入口高程/m	出口高程/m	流量/(L/s)	与线路关系	利用现状
							交于线路里程及工程名称	
1	长江水系乌江三叉河流域	骂支-龙潭暗河	C ₃ mp	1 410	1 253	2 000	暗河于沙子坡隧道 DK 56 + 265 处轨面下 134 m 通过	人饮灌溉
2		大坡脚-水打田暗河	C ₃ mp	1 739	1 370	120	暗河于 DK 65 + 970 路基下 10 ~ 20 m	发电
3		后冲-油竹箐暗河	C ₃ mp	1 793	1 725	20	暗河于油竹箐特大桥 DK 69 + 810 处路肩以下 5 ~ 10 m	人饮灌溉
4		小马场-解板塘-洞口暗河	C ₃ mp	1 698	1 598	30	暗河于解板塘隧道 DK 72 + 075 处轨面下 98 m	人饮灌溉
5		冷坝-双龙潭暗河	C ₂ hn	1862	1 570	295.3	暗河于冷坝车站 DK 84 + 950 路基面下 25 ~ 35m	人饮、发电
6		冷坝-双龙潭暗河	C ₂ hn	1 801	1 570	128.2	暗河口位于 DK 88 右 1.6 km 外	人饮发电
7		播洞-下锅厂暗河	P ₁ q、P ₁ m	1 320	1 243	95.4	暗河口位于 DK 57 右 6.5 km 外,	人饮灌溉
8		周家寨-坪子暗河	C ₃ mp	1 610	1 400	5	暗河口位于 D K64 右 5.5 km 外	人饮灌溉
9		大冲头-纸厂暗河	C ₃ mp	1 545	1 340	30	暗河口位于 DK 64 右 6.5 km 外	人饮灌溉
10		龙井-大地头暗河	C ₃ mp	1 492	1 450	25	暗河口位于 DK 68 右 5.5 km 外	人饮灌溉
11		左坝-魏家寨暗河	P ₁ q、P ₁ m	1 404	1 315	50	暗河口位于 DK 70 右 5.7 km 外	人饮灌溉
12		苏家岩脚-岩路口暗河	P ₁ q、P ₁ m	1 420	1 315	50	暗河口位于 DK 73 右 6.5 km 外	人饮灌溉
13		大寨岩溶泉	C ₃ mp	-	1 420	105.6	暗河口位于 DK 72 右 4.2 km 外	旧院水库
14		熊井小寨-干河沟暗河	P ₁ q、P ₁ m	1 571	1 455	20	暗河口位于 DK 77 右 5.3 km 外	人饮灌溉
15		小长冲-五里碑暗河	C ₃ mp	1 701	1 440	30	暗河口位于 DK 80 右 4.6 km 外	人饮灌溉
16		石丰箐-赵家河暗河	C ₂ hn	1 654	1 550	50	暗河口位于 DK 84 右 2.5 km 外	赵家河水库
17		水淹-鱼塘边暗河	C ₂ hn	1 783	1 760	20	暗河口位于 DK 87 右 3.3 km 外	人饮灌溉
18		小黑舍-龙井沟暗河	C ₃ mp	1 788	1 460	55	暗河口位于 DK 89 右 3.8 km 外	人饮灌溉
19		李家寨-大坝暗河	C ₃ mp	1 831	1 680	15	暗河口位于 DK 90 右 3.5 km 外	人饮灌溉
20		沙坝-箐沟头暗河	C ₃ mp	1 760	1 675	26.8	暗河口位于 DK 91 右 3.0 km 外	人饮灌溉
21	珠江水系北盘江牂牁江流域	老马田-郎节坝-中坝水库暗河	C ₃ mp	1 806	1 675	20(泉群)	暗河口位于 DK 56 左 1.3 km 外	中坝水库
22		小平箐-小冲头暗河	C ₂ hm	1 874	1 861	15(泉群)	暗河口位于 DK 86 左 1.0 km 外	饮用
23		华竹林-三家寨暗河	C ₂ hm	1 889	1 622	5	暗河口位于 DK 88 左 0.8 km 外	二道岩站饮用
24		艾家坪-苗冲口暗河	C ₃ mp	1 744	1 540	20	暗河口位于 DK 91 左 2.0 km 外	陡崖上,未开发
25		猴儿关-左家寨暗河	C ₂ hm	1 816	1 567	39.6	暗河于茨冲一号隧道 DK 95 + 430 处路肩下 100 m 通过	灌溉饮用
26		高速公路暗河茨冲暗河	C ₃ mp	1 925	1 818	50	暗河于茨冲二号隧道 DK 97 + 450 处隧顶上 10 ~ 30 m 通过	工厂灌溉
27		苗寨-茨冲暗河	P ₁ m	1 936	1 720	37.3	暗河于茨冲二号隧道 DK 98 + 280 处路肩下 10 ~ 30 m 通过	工厂饮用

水露头及暗河出口,地下水具有区域性排泄的特征。深层岩溶地下水^[6]向下游区域基准面运移排泄,构成地下水运动总趋势为分别向南、向北分流,向北汇入长江水系三叉河乌江流域,向南归入珠江水系牂牁江北盘江流域。于排泄基准面以暗河或泉的形式排泄,具有分散补给、集中排泄的特点,具有雨后水量暴增并含泥砂的山区型岩溶水特征。

2.3 隧道方案与岩溶水的位置关系

图3给出了隧道区岩溶水补给、径流、排泄与隧道的关系,从图中可以看出:

(1)比较方案(经双龙潭取直方案 C3K 线)长岭岗隧道

该方案位于堕却-郎岱背斜北翼,线路左侧地势较高,线位处地势低洼,相对高差 450 ~ 690 m。隧道

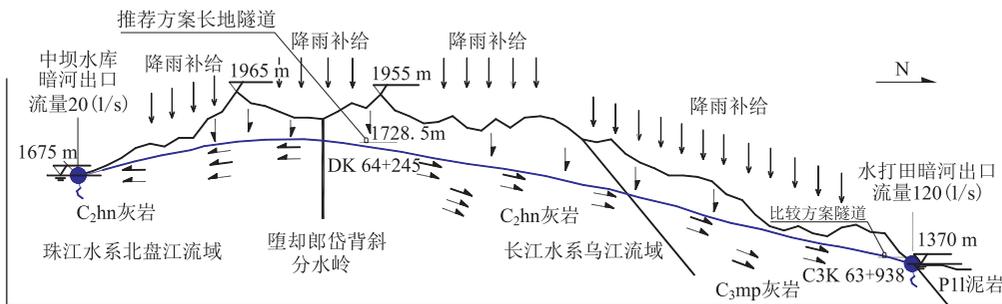


图3 隧道区岩溶水补给、径流、排泄与隧道关系图

主要位于地下水集中排泄区,长岭岗隧道距离水打田暗河口 300 m,距梁山组煤系地层 400 m,受梁山组煤系地层及峨眉山玄武岩等非可溶岩地层的分隔,该方案有 3 座长 4~5 km 和 1 座长约 7 km 隧道的岩溶水文地质系统十分复杂,隧道与暗河交叉,位于岩溶水水平径流带内,隧道施工运营中可能会遇到突水、突泥、水压大、轨底上拱等岩溶地质灾害。

(2)推荐方案(经堕却-郎岱背斜分水岭方案(CK线)长地隧道

该方案位于长江水系乌江流域和珠江水系北盘江流域地表水和地下水的分水岭地带,方案沿山脊行进,线位行走较高,大部分以浅埋、小隧道为主,隧道区地下水主要接收大气降水补给,大气降水通过岩石孔隙、裂隙、溶蚀管道补给地下水。线路位于岩溶水补给区,隧道洞身位于岩溶水垂直渗流带,岩溶水对隧道影响小,但背斜轴部纵向张裂隙极为发育,为地表水入渗溶蚀提供了良好通道,使洞身溶洞、溶腔、溶蚀裂隙等岩溶形态强烈发育。

3 隧道方案比选

本文研究了沿高速公路经岩脚镇方案(C2K方案)、经双龙潭取直方案(C3K方案)和沿长江水系与珠江水系分水岭方案(CK方案),从工程地质、水文地质条件等对三个方案进行比选。

3.1 方案概况

3.1.1 经双龙潭取值方案(C3K方案)

该方案起点 C3K 50+000,终点 C3K 96+845,线路长 46.845 km,长度 3 km 以上的隧道 5 座,最长隧道长约 7 km。可溶岩地层(C₃mp、C₂hn、P₁m、P₁q)长 37.57 km,占 80.20%,P₁l 含煤地层占 7.08%,P₂β 火成岩占 12.72%。该段线路位于背斜北翼,左侧地势较高,线位地势低洼,相对高差 450~690 m,左侧大范围汇水区,线路沿梁山组煤系地层或峨眉山玄武岩与相邻灰岩地层接触地带行进,靠灰岩侧集中大量地下水顺线路方向水平径流,岩溶及岩溶水风险很大,隧道施工可能会遇到突水、突泥等岩溶地质灾害。

3.1.2 沿高速公路经岩脚镇方案(C2K方案)

该方案起点 C2K 50+000,终点 C2K 97+200,线路长 49.200 km,较双龙潭取直方案长近 3 km。线路位于背斜北翼更北端,线路基本沿 C₃mp、P₁m、P₁q 灰岩地层与 P₁l、P₂l、P₂β 煤系地层分界线行进,在梁山组和龙潭组煤系地层或峨眉山玄武岩与相邻灰岩地层的接触地带。靠灰岩侧集中大量地下水顺线路方向水平

径流,岩溶及岩溶水风险大^[7],隧道施工可能会遇到突水、突泥等岩溶地质灾害。线位多处穿越小煤窑采空区,沿可溶岩与非可溶岩界线施工风险及运营风险大,地质条件较差。

3.1.3 沿长江水系与珠江水系分水岭方案(CK方案)

该方案起点 CK 50+000,终点 CK 97+200,线路长 48.46 km,长度 3 km 以上的隧道 2 座,地层 C₃mp、C₂hn、P₁m、P₁q,长 46.02 km,占 94.96%,P₁l 含煤地层占 3.55%,P₂β 火成岩占 1.49%。方案沿 102 省道行走于分水岭地带,沿山脊行进,线位行走标高较高,以浅埋、小隧道为主,隧道区地下水主要接收大气降水补给,降水通过岩石的孔隙、裂隙、溶蚀管道补给地下水。线路位于岩溶水补给区,隧道洞身位于岩溶水垂直渗流带,岩溶水对隧道影响小。

3.2 方案比选

沿高速公路经岩脚镇方案(C2K方案)和经双龙潭取直方案(C3K方案)线路均位于堕脚-郎岱背斜北翼,左侧地势高,线位地势低洼,高差达 690 m,大面积地下水以暗河形式向线位低洼处汇聚,受梁山组和龙潭组煤系地层及峨眉山玄武岩等非可溶岩地层分隔,在深切沟谷内均有岩溶管道水露头和暗河出口,在梁山组煤系地层或峨眉山玄武岩与相邻灰岩地层接触地带靠灰岩侧集中大量地下水顺线路方向水平径流,岩溶及岩溶水风险大,隧道施工可能会遇到突水、突泥等岩溶地质灾害。小煤窑采空区及煤系地层对隧道施工及运营风险也大。沿长江水系与珠江水系分水岭方案(CK方案),线路沿山脊行进,行走标高较高,以浅埋、小隧道为主,线路位于岩溶水补给区,隧道洞身位于岩溶水垂直渗流带,岩溶水对隧道影响小。故建议采用沿长江水系与珠江水系分水岭方案(CK方案)。

4 研究结论

本文对六枝至茨冲段隧道结合工程地质、水文地质情况进行线位方案比较。推荐采用沿长江水系与珠江水系分水岭方案(CK方案)。

(1)该方案线路沿山脊行进,行走标高高,隧道位于岩溶水补给区,隧道洞身位于岩溶水垂直渗流带内,隧道纵坡设计成人字坡,顺坡施工^[8],大大降低了隧道施工中岩溶突水、突泥等地质灾害风险和环境影响。

(2)该方案岩溶水风险较低,但背斜轴部张节理发育,加上线路标高较高,以浅埋短隧道为主,围岩级别以Ⅲ级为主,施工中掌子面遇到溶洞及溶蚀破碎带

的机率增多,应加强配合施工的地质工作。

(3)岩溶隧道的地质选线应先进行大面积区域工程地质、水文地质专题研究,再根据具体地质条件,综合分析确定岩溶隧道。

参考文献:

- [1] 铁道部第二勘测设计院. 岩溶工程地质[M]. 北京:中国铁道出版社,1984.
The Second Survey and Design Institute of the Ministry of Railways. Karst Engineering Geology[M]. Beijing: China Railway Publishing House,1984.
- [2] 铁道部第一勘测设计院. 铁路工程地质手册[M]. 北京:中国铁道出版社,2007.
The First Survey and Design Institute of the Ministry of Railways. Railway Engineering Geology Handbook[M]. Beijing: China Railway Press,2007.
- [3] 汪锋华,高崇华. 成贵铁路绕避地下水水平循环带线路方案研究[J]. 高速铁路技术,2016,7(1):59-63.
WANG Fenghua, GAO Chonghua. Research on Route Scheme of Chengdu-Guiyang Railway Passing Round Groundwater Level Cycling Zone[J]. High Speed Railway Technology, 2016, 7(1): 59-63.
- [4] 蒋良文,易勇进,贾中明. 圆梁山隧道毛坝向斜深埋大型充填溶洞及其形成机制分析[J]. 铁道工程学报,2007,24(4):53-60.
JIANG Liangwen, YI Yongjin, JIA Zhongming. Research on Characteristics and Formation Mechanism of Great Deep Buried

- Infilled Caves at Maoba Syncline in the Yuanliangshan Railway Tunnel [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2007, 24(4): 53-60.
- [5] 中铁二院工程集团有限责任公司. 安六线岩溶水文地质专题报告[R]. 成都:中铁二院工程集团有限责任公司,2013.
China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd. Special report on Karst Hydrogeology of An Liu Railway [R]. Chengdu: China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., 2013.
- [6] 毛邦燕. 现代深部岩溶形成机理及其对越岭隧道工程控制作用评价[D]. 成都:成都理工大学,2008.
MAO Bangyan. Modern Deep Karst Formation Mechanism and Evaluation of Control Action on Cross-mountain Tunnel [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2008.
- [7] 毕强,何小勇,刘继宝. 渝利线余家隧道岩溶工程地质选线[J]. 高速铁路技术,2012,3(3):45-49.
BI Qiang, HE Xiaoyong, LIU Jibao. Route Selection for Chongqing-Lichuan Railway[J]. High Speed Railway Technology, 2012, 3(3): 45-49.
- [8] 罗林,岳志勤. 成贵铁路宜宾至毕节段岩溶勘查与选线[J]. 高速铁路技术,2017,8(3):77-83.
LUO lin, YUE Zhiqin. Karst Exploration and Route Selection on Yibin-Bijie Section of Chengdu-Guiyang Railway[J]. High Speed Railway Technology, 2017, 8(3): 77-83.

(编辑:刘会娟 苏玲梅)

(上接第84页)

- [4] TB 10092-2017 铁路桥涵混凝土结构设计规范[S].
TB 10092-2017 Code for Design on Concrete Structure of Railway Bridge and Culvert [S].
- [5] 谭子书. 桥梁转体施工方法在我国的应用与发展[J]. 黑龙江交通科技,2014,241(3):90-91.
TAN Zishu. The Application and Development of Swivel Construction Method for Bridge in China [J]. Communications Science and Technology Heilongjiang, 2014, 241(3): 90-91.
- [6] 李文广. 桥梁转体施工工艺与关键技术探析[J]. 建筑技术开发, 2016,43(11):108-109.
LI Wenguang. Bridge Swivel Construction Technology and Key Technology [J]. Building Technology Development, 2016, 43(11): 108-109.
- [7] 王刚. 跨铁路曲线桥水平转体施工及监控技术研究[D]. 石家庄:

石家庄铁道大学,2015.

- WANG Gang. Research on Construction and Control Techniques for Horizontal Rotation of Curved Bridge across Railway [D]. Shijiazhuang: Shijiazhuang Railway University, 2015.
- [8] 赵翔. 温州特大桥T型刚构桥转体施工控制技术研究[D]. 杭州:浙江工业大学,2016.
ZHAO Xiang. Research on Swivel Construction Control Technology for Wenzhou Super-Major T Rigid Frame Bridge [D]. Hangzhou: Zhejiang University of Technology, 2016.
- [9] 任韶敏. 铁路连续箱梁水平转体施工及监控技术研究[D]. 石家庄:石家庄铁道大学,2014.
REN Shaomin. Research on Construction and Control Technology for Horizontal Rotation of Railway Continuous Box Beam [D]. Shijiazhuang: Shijiazhuang Railway University, 2014.

(编辑:刘会娟 张红英)