

文章编号: 1674—8247(2020)01—0079—06  
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2020.01.017

## 重庆至昆明高速铁路减灾选线研究

陈明浩 张广泽 付开隆

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

**摘 要:**重庆至昆明高速铁路跨四川盆地、云贵高原及高原斜坡过渡段,穿小江活动断裂带,地形地质条件极为复杂,崩塌、滑坡、泥石流、高烈度地震及活动断裂、岩溶及岩溶水、采空区及煤层瓦斯构成了控制线路方案的主要工程地质问题。本文在现场地质勘察及相关地质专题研究工作的基础上,提出了高速铁路大高差上高原面减灾选线、活动断裂带减灾选线、岩溶区减灾选线、崩滑泥区减灾选线、采空区减灾选线、特殊岩土区减灾选线原则。合理确定了高县至昭通、会泽至寻甸等 8 段线路方案,最大程度降低了小江活动断裂带、岩溶及岩溶水、东川泥石流等对铁路工程的影响。地质选线效果显著,对在类似地质条件下新建高速铁路的减灾选线具有重要参考价值。

**关键词:**重庆至昆明; 高速铁路; 减灾选线; 工程地质; 线路方案

中图分类号:U212.35 文献标志码:A

## Research on Route Selection of Chongqing-Kunming High-speed Railway for Disaster Reduction

CHEN Minghao ZHANG Guangze FU Kailong

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

**Abstract:** The high-speed railway from Chongqing to Kunming crosses Sichuan Basin, Yunnan-Guizhou Plateau, plateau slope transition section and Xiaojiang active fault zone, where the topographical and geological conditions are extremely complex, and the collapse, landslide, debris flow, high-intensity earthquake and active fault, karst and karst water, goaf and coal seam gas constitute the main engineering geological problems that control the line scheme. On the basis of on-site geological investigations and related geological researches, the principles of route selection of high-speed railway for disaster reduction in plateau, active fault zone, karst area, landslide mud area, goaf area and special geotechnical area are put forward in this paper. Such schemes of 8 sections as Gaoxian-Zhaotong section, Huize-Xundian and so on are reasonably confirmed, which reduces the influences of the active fault zone of Xiaojiang, karst and karst water, Dongchuan debris flow on railway engineering to the greatest extent. The effect of geological route selection is significant, which has an important reference value for disaster-reduction route selection of new high-speed railway under similar geological conditions.

**Key words:** Chongqing-Kunming; high speed railway; route selection for disaster reduction; engineering geological; route scheme

收稿日期:2019-12-20

作者简介:陈明浩(1983-),男,高级工程师,注册土木工程师(岩土)。

基金项目:四川省科技计划资助(2019YFG0460)

引文格式:陈明浩,张广泽,付开隆. 重庆至昆明高速铁路减灾选线研究[J]. 高速铁路技术,2020,11(1): 79-84.

CHEN Minghao, ZHANG Guangze, FU Kailong. Research on Route Selection of Chongqing-Kunming High-speed Railway for Disaster Reduction [J]. High Speed Railway Technology, 2020, 11(1): 79-84.

复杂艰险山区尤其是西南山区铁路修建,面临“地形高差显著”“地质复杂多变”“构造活动强烈”的环境挑战,不仅要克服高山深谷等困难地形,还要防范各类地质灾害,且须满足工程安全、经济、环保等的目标要求。选线是统领铁路工程设计的总体性工作,如何在规划设计阶段,从源头上做好减灾选线十分重要<sup>[1]</sup>。

## 1 线路概况

重庆至昆明高速铁路位于我国西南地区的重庆市、四川省、贵州省和云南省境内,线路自重庆枢纽重庆西站引出,经重庆江津和永川区、四川泸州和宜宾市、贵州毕节市、云南昭通和曲靖市后,接入昆明枢纽昆明南站渝昆场。正线建筑长度 698.963 km,其中桥隧总长 570.154 km,占线路总长的 81.6%<sup>[2]</sup>。

## 2 区域地质条件

线路呈北东~南西走向,从高程 300~700 m 的四川盆地爬升至高程 1 900~2 450 m 的云贵高原,重庆至筠连段位于四川盆地,筠连至昭通段位于高原斜坡地带中山峡谷区,昭通至昆明段位于云贵高原。

沿线出露地层时代较齐全,岩性种类繁多。以碎屑岩、碳酸盐岩为主,局部分布岩浆岩,岩性以砂岩、泥页岩、灰岩、白云岩、玄武岩为主,可溶岩约占线路长度的 20%。

研究区地处印度板块与欧亚板块碰撞缝合带附近扬子亚板块。四川重庆段跨川东高褶带和川中平缓低褶带,构造形迹主要为华蓥山帚状褶皱束。云南贵州段处于川滇经向构造体系东缘与滇东“多”字型构造体系的结合部位,以北东、南北向构造最为明显。

全线跨越河流分属长江流域长江和金沙江水系。因第四系松散岩类分布不均,第四系孔隙水主要分布于沿线盆地及河谷中。基岩裂隙水主要分为碎屑岩类裂隙水和岩浆岩类裂隙水,碎屑岩类裂隙水主要赋存于砂岩中,岩浆岩类裂隙水主要赋存于玄武岩、凝灰岩等岩浆岩中,含水量相对较丰富。岩溶水主要赋存于碳酸盐岩的溶孔、溶隙和溶洞中,富水性受岩性、岩溶、地质构造、地貌控制,含水量丰富。

沿线不良地质主要有地震及活动断裂、煤层采空区及瓦斯、岩溶、危岩落石及岩堆、滑坡、泥石流、高地应力、顺层、浅层天然气、深切河谷岸坡、断层破碎带、软质岩风化剥落<sup>[3]</sup>。其中崩塌、滑坡、泥石流、高烈度地震及活动断裂、岩溶及岩溶水、采空区及煤层瓦斯为控制线路方案的主要工程地质问题。

## 3 主要工程地质问题

### (1) 崩塌、滑坡、泥石流<sup>[4]</sup>

全线崩塌主要分布在关河、洛泽河、白水江、洒渔河、牛栏江两岸的陡峭山谷,或为巨厚层砂岩、灰岩陡崖,或为差异风化的砂页岩互层地段,线路附近分布崩塌 22 处。滑坡主要分布于砂泥岩地区,在玄武岩受构造影响强烈地区亦有分布,灰岩地区数量相对较少,全线对线路影响较大的滑坡有 7 处。泥石流主要分布在东川的小江流域,共有沟谷型泥石流沟 47 条,以暴雨型重力类粘性阵性流最为典型,易对铁路工程造成冲击危害、淤埋危害及沟道下切危害等。

### (2) 高烈度地震及活动断裂

线路通过的全新世活动断裂( $Q_4$ )为小江断裂带东支的寻甸盆地东缘-小新街盆地西缘断裂和西支的杨林-阳宗海西缘断裂,通过的晚更新世活动断裂( $Q_3$ )为昭通-鲁甸断裂等<sup>[5]</sup>。

小江断裂带是构成川滇菱形块体东边界的川滇南北向断裂带,该断裂带北起巧家以北,南至建水、个旧一带,全长超过 400 km,自蒙姑向南,分为东西两支,大体平行向南偏西延伸,东、西支间隔 15 km 左右。断层性质以左旋走滑为主,晚更新世早期以来的水平滑动速率为 6~7.5 mm/a,全新世早期以来水平滑动速率为 4.7~7 mm/a,全新世中晚期以来水平滑动速率为 3.8~7.5 mm/a,具备发生 7 级以上强震的构造条件。

昭通-鲁甸断裂起于盐津东南,向西南经彝良、昭通、鲁甸、会泽,止于巧家以南小江断裂带东侧,长 150 km,总体走向 35°~45°,倾向北西。断裂错断了晚第四纪地层,具有晚第四纪活动性。

### (3) 岩溶及岩溶水

沿线可溶岩主要分布于三叠系(T)、二叠系(P)和石炭系(C)的石灰岩和白云岩中,泥盆系(D)、寒武系(ε)和震旦系(Z)中亦有分布。沿线通过碳酸盐岩地段长约 137.5 km,占线路长度的 19.7%,其中雷口坡组( $T_2l$ )、嘉陵江组( $T_1j$ )、茅口组( $P_1m$ )、栖霞组( $P_1q$ )、石炭系(C)、上泥盆统( $D_3$ )、曲靖组( $D_2q$ )为主要可溶岩地层,影响铁路工程的溶洞、落水洞、溶蚀洼地、隐伏溶洞、暗河等岩溶形态众多,对铁路工程的影响和危害主要体现在三个方面。一是隐伏岩溶洞穴对建筑物基础稳定性的影响;二是岩溶地面塌陷;三是岩溶涌水对地下工程造成危害。

### (4) 采空区及煤层瓦斯

全线通过多套煤系地层,主要为上第三系(N)、三

叠系上统须家河组( $T_3x$ )、二叠系上统宣威组( $P_2x$ )、下统梁山组( $P_1l$ )、石炭系下统大塘阶旧司段( $C_1dj$ )地层,另外泥盆系中统曲靖组( $D_2q$ )亦含煤线。沿线大中型矿产资源主要集中在川滇省界的盐津、筠连片区,云南省大关、彝良、昭通片区,具有开采历史悠久,采空区普遍分布,大型矿床较多,面积广、规模大、开采深、矿区交叉重叠等特点。煤矿采空区易发生变形、开裂及塌陷,对铁路工程危害极大,线路已进行了绕避,目前对铁路工程可能有影响的煤矿采空区主要为新厂煤矿、富康路煤矿等<sup>[6]</sup>。

隧道通过须家河组( $T_{3xj}$ )、宣威组( $P_{2x}$ )、大塘阶旧司段( $C_{1dj}$ )可采煤层的长大隧道工区多为高瓦斯工区,应加强超前地质预报和防瓦斯措施;通过其他含煤线,薄煤层,劣质煤的煤系地层隧道工区多为低瓦斯工

区;通过夹炭质页岩地层隧道工区多为微瓦斯工区。瓦斯对工程的主要危害是其可燃性和爆炸性,其次为其窒息性和毒性,直接威胁隧道施工和运营安全。

4 减灾选线研究

4.1 大高差上高原面减灾选线

高县至昭通段位于云贵高原北部斜坡地带,关河、洛泽河、洒渔河、白水江等河谷深切,山坡陡立,褶皱构造强烈,软硬岩层相间呈条带状展布,地形地质条件复杂,结合煤矿采空区、可溶岩分布、滑坡、岩堆、危岩落石等不良地质,研究了5个线路走向方案<sup>[7]</sup>,方案走向示意如图1所示,5个方案工程地质条件综合对比如表1所示。

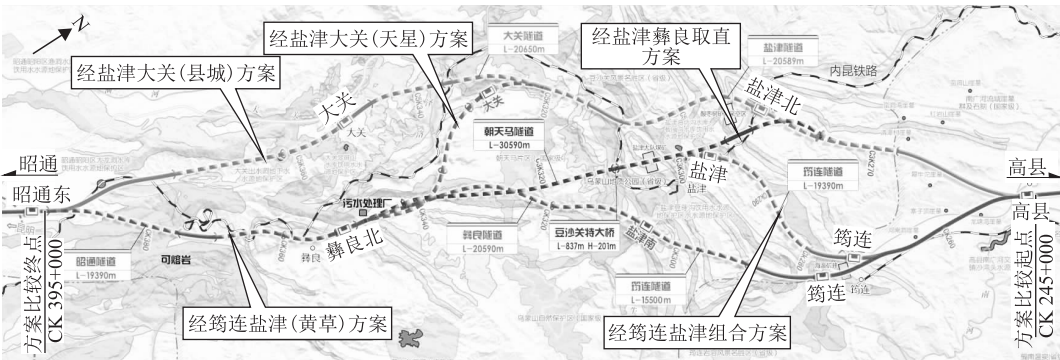


图1 高县至昭通段方案示意图

表1 高县至昭通段方案工程地质条件综合对比表

线路方案	区域工程地质条件	主要工程地质问题
经筠连盐津(黄草)方案	属峡谷中低~中山地形,地面标高450~2 740 m;沿线地层繁多,为侏罗系(J)至寒武系(ε)的碳酸盐岩,砂泥岩和玄武岩相间出露,第四系土层较薄;该区褶皱构造强烈,以“多”字型构造形迹为主,背向斜以N40~60°E方向延伸;地下水为第四系土层孔隙水、基岩裂隙水及岩溶水等	(1)两处浅层滑坡对盐津南站有一定影响 (2)昭通隧道出口段长度约4 km 位于膨胀土( $N_2$ )内 (3)分布筠连隧道、盐津隧道、彝良隧道、小草坝隧道、昭通隧道6座岩溶隧道
经盐津彝良取直方案		(1)盐津县大队煤矿对隧道工程影响大 (2)C3K 292 危岩落石对桥梁工程危害大 (3)关河至钱家河沟段为30 km 长大隧道,洞身通过灰岩( $P_1m$ )长度约10 km,岩溶涌水、突泥风险大 (4)昭通隧道出口段长度约4 km 位于膨胀土( $N_2$ )内 (5)分布筠连隧道、盐津隧道、彝良隧道、小草坝隧道、昭通隧道6座岩溶隧道
经盐津大关(县城)方案		(1)昭阳区盛丰煤矿对隧道工程影响大 (2)在大关县城附近,线路沿大关河右岸行进,岸坡陡峻,重力不良地质对铁路工程危害大 (3)大关县城至昭通段以隧道工程通过2个特大岩溶泉,岩溶涌水、突泥风险大
经盐津大关(天星)方案		(1)大关县沿河煤矿对隧道工程有一定影响 (2)线路沿横江峡谷行进,2处危岩落石、3处岩堆对隧道洞口及桥梁工程危害大 (3)盐津北站至豆沙关段为20 km 岩溶隧道,通过多条构造及多套岩溶含水层,水文地质条件复杂 (4)昭通隧道出口段长度约4 km 位于膨胀土( $N_2$ )内 (5)分布筠连隧道、盐津隧道、彝良隧道、小草坝隧道、昭通隧道6座岩溶隧道
经筠连盐津组合方案		(1)筠连至盐津段为19 km 岩溶隧道,隧道沿可溶岩与非可溶岩接触带行进,岩溶及岩溶水风险高 (2)盐津县大队煤矿对隧道工程影响大 (3)关河至钱家河沟段为30 km 长大隧道,洞身通过灰岩( $P_1m$ )长度约10 km,岩溶涌水、突泥风险大 (4)昭通隧道出口段长度约4 km 位于膨胀土( $N_2$ )内 (5)分布筠连隧道、盐津隧道、彝良隧道、小草坝隧道、昭通隧道6座岩溶隧道

控制线路走向方案比选的地质因素为河流峡谷区 斜坡中、下部极为发育的不良地质,特别是危岩落石对

高速铁路全寿命周期的危害,经筠连盐津(黄草)方案避开了河流峡谷区、煤矿采空区及岩溶富水区,采用高墩大跨桥梁、超长深埋隧道、长大坡度的“高位线位”快速爬升到高原面,避免了其他4个方案沿河谷爬升,受斜坡重力不良地质的严重影响,推荐线路顺直的经筠连盐津(黄草)方案。

#### 4.2 活动断裂带减灾选线

##### (1) 会泽至寻甸段方案比选

测区主要经济据点为昆明市的东川区,结合地形条件、小江活动断裂、东川泥石流等控制因素研究了经东川和经田坝2个方案,如图2所示。经东川方案大范围通过小江活动断裂东支的地震次生地质灾害带,山体多为规模巨大且稳定性极差的震裂岩体(群、带),沟谷斜坡稳定性极差,泥石流多发,分布巨型滑坡7处、高度危险以上泥石流沟12条,深大断裂22条,平行小江活动断裂长度约30 km。经田坝方案虽然未通过东川城区,但避开了小江活动断裂的震裂岩体和地震次生地质灾害带,地质条件明显改善,推荐经田坝方案。

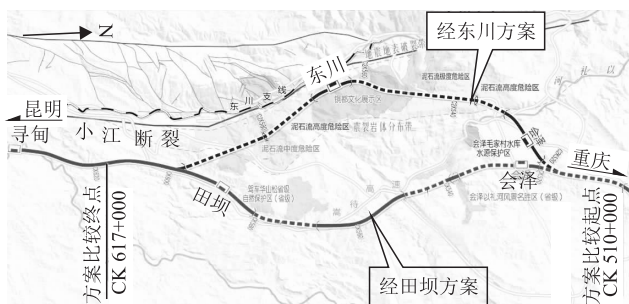


图2 会泽至寻甸段方案示意图

##### (2) 寻甸至嵩明段方案比选

控制线路方案的主要工程地质问题为小江活动断裂及寻甸、小新街、嵩明、杨林拉分盆地内深厚软土、松软土层。结合寻甸和嵩明等经济据点研究了4个线路方案,如图3所示。经羊街、杨桥方案通过小江活动断裂交叉部位,通过寻甸盆地和嵩明盆地深厚软弱土层长度约26 km;经塘子、杨桥方案通过小江活动断裂交叉部位,通过寻甸盆地和嵩明盆地深厚软弱土层长度约23 km;经易隆、小街方案通过嵩明盆地深厚软弱土层长度约17 km;经易隆、罗荣庄方案在杨林盆地较窄处通过深厚软弱土层,主要以路基工程大角度通过小江活动断裂。推荐经易隆、罗荣庄方案。

#### 4.3 岩溶区减灾选线

##### (1) 迤车至会泽段方案比选<sup>[8]</sup>

结合岩溶发育及分布情况,研究了沿高速公路和

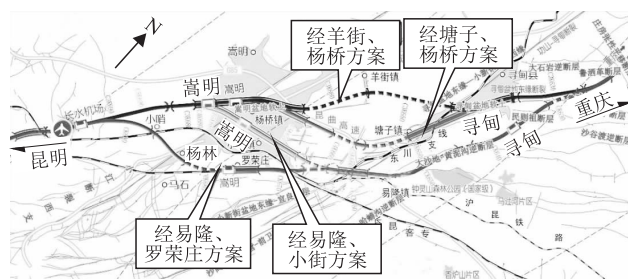


图3 寻甸至嵩明段方案示意图

远离高速公路2个方案,如图4所示。沿高速公路方案以隧道工程通过可溶岩长度16.3 km,其中隧道洞身约4 km位于岩溶水水平径流带内;远离高速公路方案以隧道工程通过可溶岩长度2.6 km,且隧道洞身位于岩溶水垂直渗流带上。沿高速公路方案大范围通过岩溶强烈发育区和岩溶水富积区,隧道涌水、突泥风险大,远离高速公路方案大角度通过岩溶发育区,推荐远离高速公路方案。

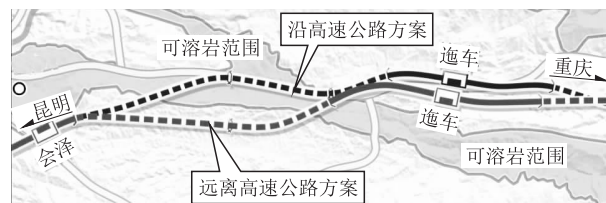


图4 迤车至会泽段方案示意图

##### (2) 会泽至田坝段方案比选

结合沿线地形条件、可溶岩分布等控制因素研究了沿高速和取直2个方案,如图5所示。取直方案以长度18 km的长大隧道通过可溶岩长度11.2 km;沿高速方案以明线工程通过可溶岩长度1.2 km。取直方案大范围通过岩溶强烈发育区和岩溶水富积区,长大隧道辅助坑道条件差,易遭遇隧道涌水、突泥危害,沿高速公路方案位于可溶岩之上的玄武岩( $P_2\beta$ )盖层内,岩溶及岩溶水风险低,推荐沿高速方案。



图5 会泽至田坝段方案示意图

##### (3) 筠连至盐津段方案比选

线路大角度通过盐津长沟,分布5段可溶岩,对线路纵断面在盐津长沟是否透气进行了长、短隧道2个

方案的研究,如图 6 所示。短隧道方案线路在盐津长沟处透气,设人字坡满足顺坡排水条件,采用桥梁工程跨越盐津长沟,降低了岩溶隧道工程风险,推荐短隧道方案。

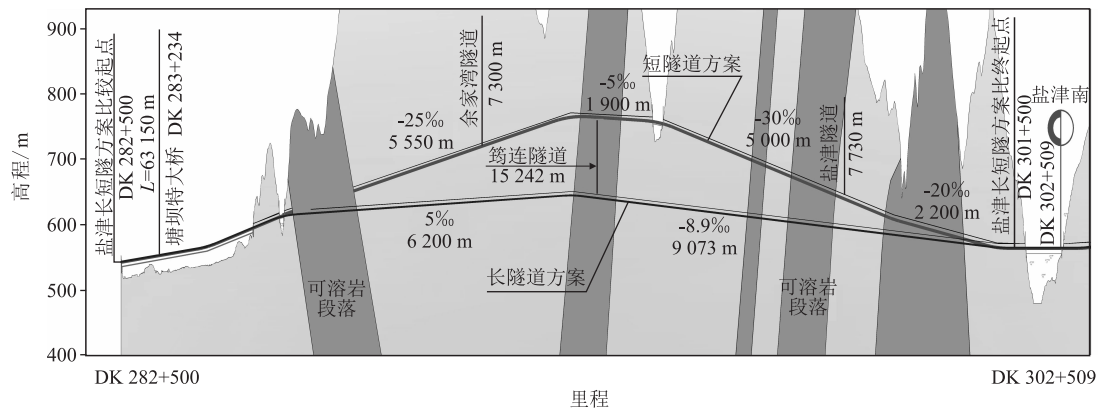


图 6 筠连至盐津段方案示意图

4.4 崩滑泥区减灾选线

以小龙潭桥位方案比选为例。小龙潭河属于洛泽河支流,河谷两岸地形陡峻,灰岩等硬质岩形成悬崖峭壁,危岩落石极为严重,砂页岩等软质岩多为槽谷,坡脚发育岩堆,上游还分布有彝良县笋叶联营煤矿、野牛塘煤矿,主要研究了小龙潭上游桥位、中游桥位和下游桥位 3 个方案,如图 7 所示。小龙潭上游桥位方案通过巨型滑坡和小煤窑采空区;中游桥位方案桥墩位于顺层岩质边坡,前缘河流下切临空,极易发生顺层滑动;下游桥位方案绕避了危岩落石集中分布地段,并下穿昭阳区新厂煤矿,推荐下游桥位方案。

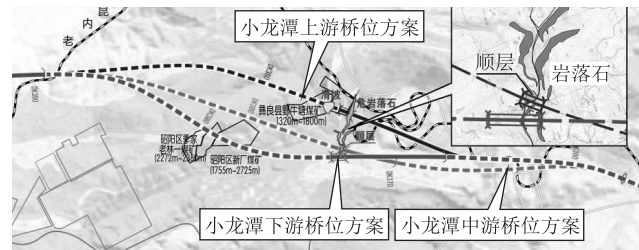


图 7 小龙潭桥位方案示意图

4.5 特殊岩土区减灾选线

对线路方案及工程设置影响较大的软土、松软土主要分布于昭通断陷盆地内,结合昭通市城市规划、机场限高等控制因素研究了 G85 高速公路外侧设站、老机场与 G85 高速公路间设站、靠城市侧设站 3 个方案,如图 8 所示。靠城市侧设站方案通过深厚软土、松软土长度约 15 km;老机场与 G85 高速公路间设站方案通过深厚软土、松软土长度约 8.2 km;G85 高速公路外侧设站方案位于盆地边缘,老窑采空区对昭通东站有一定影响,但完全绕避了软土、松软土的分布范

围。鉴于线路通过深厚软土、松软土时,沉降变形不宜控制,推荐 G85 高速公路外侧设站方案。



图 8 昭通站位方案示意图

5 减灾选线原则

(1)大高差上高原面减灾选线

提前离开地质条件复杂的河流峡谷,采用高墩大跨桥梁、长大隧道爬高,尽早上高原面,避免河谷重力不良地质体对铁路工程的危害。

(2)活动断裂带减灾选线

线路应绕避  $Q_{3/4}$  活动断裂带及其次生灾害发育区,难以绕避时,应避开断层带的端点、拐点、交叉点等部位,选择断层宽度较窄处或活动性相对较弱的位置或被动盘,以易于修复的简易工程大角度通过。

(3)岩溶区减灾选线

选择岩溶及岩溶水发育相对较弱的位置通过,是铁路工程岩溶地区减灾选线的基本原则和出发点。线路应绕避岩溶强烈发育地带,选择在非可溶岩地层、岩溶相对不发育或发育微弱的地段大角度通过;越岭岩溶隧道应选择抬高线路标高,尽量从岩溶水垂直渗流带内通过,并具备隧道顺坡排水条件;傍山与河谷地段

的岩溶隧道应尽量靠近河边并高于岩溶水雨洪期排泄高程,选择在岩溶安全带通过。

#### (4) 崩滑泥区减灾选线

线路应绕避大(巨)型滑坡、错落、崩塌、岩堆、危岩落石、沟河谷(顺层)不稳定斜坡、泥石流等不良地质体集中或成群发育分布地段。绕避困难时可采用桥梁跨越或隧道下穿通过。

#### (5) 采空区减灾选线

鉴于高速铁路无砟轨道对沉降变形控制要求严格,对于大面积地下开采的煤矿采空区,线路应进行绕避,并将铁路工程设置在移动盆地外一定距离。

#### (6) 特殊岩土区减灾选线

在膨胀土(岩)、软土等地区,在查清分布区域和特性的基础上,确定绕避的可行性及无法绕避时的最佳线路方案。

## 6 结论

重庆至昆明高速铁路跨四川盆地、云贵高原及高原斜坡过渡段,穿小江活动断裂带,地形地质条件极为复杂,崩塌、滑坡、泥石流、高烈度地震及活动断裂、岩溶及岩溶水、采空区及煤层瓦斯构成了控制线路方案的主要工程地质问题。在现场地质勘察及相关地质专题研究工作的基础上,提出了大高差上高原面、活动断裂带、岩溶区、崩滑泥区、采空区、特殊岩土区高速铁路减灾选线原则,合理确定了高县至昭通、会泽至寻甸等8段线路方案,最大程度降低了小江活动断裂带、岩溶及岩溶水、东川泥石流等对铁路工程的影响,地质选线效果显著,对控制建设风险、降低工程投资、确保运营安全起到了重要作用。

## 参考文献:

- [1] 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.

- [2] 中铁二院工程集团有限责任公司. 新建铁路重庆至昆明高速铁路可行性研究第四篇地质[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. Chapter 4: Geology, Feasibility Study of Chongqing-Kunming High Speed Railway [R]. Chengdu: China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., 2017.
- [3] 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].
- [4] 魏永幸, 岳志勤, 李光辉. 复杂艰险山区地质灾害识别与铁路减灾选线[J]. 高速铁路技术, 2019, 10(3): 1-5.  
WEI Yongxing, YUE Zhiqin, LI Guanghui. Identification of Geological Hazards and Disaster Reduction Techniques of Railway Route Selection in Complex Dangerous Mountain Area [J]. High Speed Railway Technology, 2019, 10 (3): 1-5.
- [5] TB 10012-2019 铁路工程地质勘察规范[S].  
TB 10012-2019 Code for Geology Investigation of Railway Engineering [S].
- [6] 陈明浩, 王朋, 赵平. 成渝客专石材采空区的勘察与评价研究[J]. 铁道工程学报, 2015, 32(2): 11-15.  
CHEN Minghao, WANG Peng, ZHAO Ping. Research on the Survey and Evaluation of Chengdu to Chongqing Inter-city Train Stone Goaf [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2015, 32 (2): 11-15.
- [7] 李光伟, 杜宇本, 蒋良文, 等. 大瑞铁路高黎贡山越岭段主要工程地质问题与地质选线[J]. 地质力学学报, 2015, 21(1): 73-86.  
LI Guangwei, DU Yuben, JIANG Liangwen, et al. Research on the Engineering Geology Condition and Railway Routes Comparison along the Mt. Gaoligong Section, Dali-Ruili Railway [J]. Journal of Geomechanics, 2015, 21 (1): 73-86.
- [8] 王子江, 蒋良文, 王茂靖, 等. 复杂岩溶区高速铁路减灾选线理论[J]. 铁道工程学报, 2018, 35(4): 11-15.  
WANG Zijiang, JIANG Liangwen, WANG Maojing, et al. Research on the Selection of Disaster Reduction of High-speed Railway in Complex Karst Area [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2018, 35 (4): 11-15.

(编辑: 车晓娟 白雪)