

川汶高速公路地质灾害特征及地质选线研究

席呈虎¹, 阚艳伶²

(1. 四川公路桥梁建设集团有限公司勘察设计分公司, 四川 成都 610041; 2. 四川省地质工程勘察集团有限公司, 四川 成都 610041)

摘要: 拟建川汶高速公路穿越青藏高原东缘的松潘甘孜褶皱带和西秦岭褶皱断裂带, 并以隧道或桥梁工程方式通过历史上发生过强烈地震的茂汶断裂带、岷江断裂带等新构造活动强烈区域。该区大地构造背景十分复杂, 山势巍峨、河谷深切, 地形地势险峻、生态环境脆弱, 不良地质分布广、类型多、规模大, 沿岷江河谷巨型、大型重力地质现象比比皆是, 滑坡、岩堆、崩塌、泥石流等不良地质成群分布, 对高速公路这样的线状工程影响非常严重。结合川汶高速地质勘察及专题地质研究结论, 对该区域主要地质灾害特征进行了分析, 开展了综合地质选线研究, 对线路中的铜钟段、马脑顶至沙坝段、雁门段进行了选线方案比选, 从3个角度阐述了地质选线原则, 提出了一套适用于复杂地质条件下的综合选线策略。

关键词: 川汶高速公路; 地质灾害; 地质选线; 活动断裂; 滑坡; 泥石流; 生态环境保护

中图分类号: U412.36

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)09-0151-04

Study on Characteristics of Geological Hazards and Geological Route Selection of Chuanwen Expressway

XI Chenghu¹, KAN Yanling²

(1. Survey and Design Branch of Sichuan Highway Bridge Construction Group Co., Ltd., Chengdu 610041, China; 2. Sichuan Geological Engineering Investigation Group Co., Ltd., Chengdu 610041, China)

Abstract: The proposed Chuanwen Expressway traverses the Songpan-Garzê fold belt and the West Qinling fold-fault belt on the eastern margin of the Qinghai-Tibet Plateau, and passes through the Maowen Fault Zone, Minjiang Fault Zone and other areas with intense neotectonic activities where strong earthquakes have occurred in history in the form of tunnel or bridge engineering. The tectonic background of this area is very complex with lofty mountains, deep river valleys, steep terrain and fragile ecological environment. The poor geological conditions are widely distributed with diverse types and large scales. The giant and large-scale gravitational geological phenomena are everywhere along the Minjiang River Valley, and the poor geological conditions such as landslides, rock piles, collapses and debris flows are distributed in groups, which have a very serious impact on linear engineering projects like expressways. Combined with the geological survey and special geological research conclusion of the Chuanwen Expressway, the characteristics of the main geological disasters in this area are analyzed, and the comprehensive geological route selection is studied. The route selection schemes for the Tongzhong section, the Manaoding to Shaba section and the Yanmen section of the line are compared and selected. The principles of geological route selection are expounded from three perspectives, and a set of comprehensive route selection strategies applicable to complex geological conditions is proposed.

Keywords: Chuanwen Expressway; geological disaster; geological route selection; active fracture; landslide; debris flow; ecological environment protection

1 工程概况

川汶高速公路是阿坝州交通基础设施建设的核心项目, 其规划与建设面临复杂的地质条件。这一

地带有着特殊的大地构造背景, 由此带来的地质灾害隐患点更是不胜枚举^[1]。因此, 必须采用科学合理的综合地质选线策略, 以降低风险, 保障工程的顺利推进和长期稳定运营^[2]。本文全面剖析了该区域的主要地质灾害特征, 并系统开展了综合地质选线研究, 为项目的科学规划提供有力支撑。

随着近年来川汶高速公路等重大工程的推进, 该地区地质灾害问题受到关注。已有研究主要集中

收稿日期: 2025-02-06

作者简介: 席呈虎(1986—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事高速公路勘察设计工作。

通信作者: 阚艳伶(1986—), 女, 硕士, 高级工程师, 从事水工环地质相关工作。电子信箱: 296287424@qq.com

在单一地质灾害的防治上,缺乏对复杂地质条件下综合选线策略的系统研究。本文充分结合川汶高速公路地勘资料及相关专题研究结论,对工程区的地质灾害情况进行分析论证,开展相关的地质选线研究。研究旨在提出一套适用于复杂地质条件下的综合选线策略,为类似工程的规划和建设提供科学依据,确保工程的安全性和经济性。图1为川汶高速公路工程位置示意图。

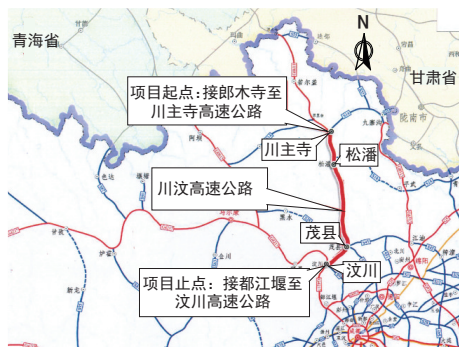


图1 川汶高速公路工程位置示意图

2 选线方法

2.1 数据收集与地质勘察

资料搜集:对已有的地质资料、地震资料、气象资料、水文资料等进行收集,建立综合地质资料库。

地质勘察:对工区的地质情况进行详细调查,包括地层岩性、地质构造、不良地质现象等,通过地面调查、钻探、物探等多种方式进行。

2.2 地质条件分析

地形地貌分析:对工程区域的地形地貌特征进行分析,识别潜在的地质灾害危险区。

地层岩性分析:分析岩性在地层中的分布和特性,鉴别岩群的稳定性。

地质构造分析:分析地质构造的分布和活动性,识别活动断裂带和高地震风险区域。

不良地质现象分析:对不良地质现象如滑坡、崩塌、泥石流等的分布和规模进行分析,并对其对工程造成的影响进行评估。

2.3 选线方案设计

根据地质分析结果,设计多个选线方案。每个方案根据不同的地质条件和工程要求,进行初步的路线布置。

2.4 方案比选与优化

对比各方案的优缺点,在地质风险、工程难度、经济性等方面进行评估。选择最优方案进行详细设计,优化路线走向和结构物布置。

3 工程环境

川汶高速走廊带地质环境呈现多系统耦合的复杂特征,其形成机制可归纳为以下5个维度:

(1)地形地貌格局受控于青藏高原东缘差异隆升作用(垂直隆升速率4~6 mm/a),发育多级阶梯状夷平面(海拔梯度2 800~1 500 m)与V形深切峡谷(谷坡角35°~65°)的复合地貌体系。

(2)地质构造位于松潘-甘孜地块前缘冲断带与龙门山走滑构造带的复合部位,晚第四纪活动断裂密度达1.2条/km²,岩体结构呈现碎裂岩-构造角砾岩-糜棱岩的递进变形序列(应变率10⁻¹⁴~10⁻¹³ s⁻¹)。

(3)气候系统具有显著的水热异相性,表现为年降水强度梯度80 mm/100 m的垂直分带特征,极端气象事件重现期(50 a一遇24 h降雨量>120 mm)较相邻区域缩短40%。

(4)生态系统处于山地-河谷生态交错带,关键种空间分布破碎度指数(FN=0.68±0.05)超过生态恢复阈值,地表覆被稳定性参数(NDVI≤0.42)反映退化趋势。

(5)工程场址面临高地应力场 $\sigma_1=(15\pm3)$ MPa与强卸荷带(水平卸荷裂隙发育深度>50 m)的协同作用,基于BQ岩体质量分级标准,Ⅳ类围岩占比达42.3%,需要建立InSAR形变监测(精度±2.8 mm/a)与微震监测联动的工程地质风险预警系统。

4 地质选线和方案比选

“地质选线”的观念是根据治理工程的规模,妥善处理地质病害“防”与“治”的关系^[3]。在认清区域地质条件的情况下,优化平纵指标、避大治小、降低施工风险和运营风险,获取了潜在风险最小、投资最小的最优方案^[4]。以地质选线和安全选线为原则,结合相关专题研究成果,考虑节约资金和人力资源以降低工程造价,对铜钟段、马脑顶至沙坝段、雁门段进行了多方案比选研究。

4.1 铜钟段选线

该段路线经过南新镇、七星关,路线方案的影响因素包括不良地质体、铜钟电站大坝等。

A线方案K182~K185段落位于岷江东岸,穿越大型古滑坡、泥石流沟等不良地质体。穿越滑坡段的施工扰动易引起滑坡滑动,将严重影响太子岭景区的进场道路;路线从铜钟电站坝址上游通过,需要在库区内设桥,施工难度大。因此,结合地形地质条

件、铜钟电站大坝等多重因素,提出K线方案,与A线方案进行论述性比较(见图2)。

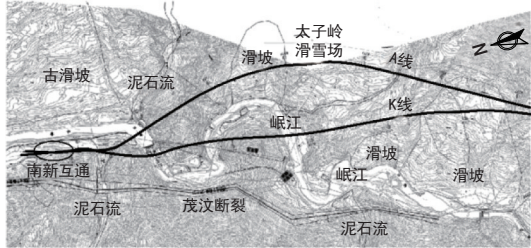


图2 铜钟段路线方案示意图

K线方案于K173+800附近跨越岷江,然后沿南新镇西侧布设,于K175处布设南新互通,自铜钟电站大坝下游跨越岷江,设置两个短隧道避让K177+100位置岷江左岸的滑坡体,合理避让不良地质。

综上,综合考虑工程规模、对电站的影响、不良地质等因素,推荐K线。

4.2 马脑顶至沙坝段选线

马脑顶至沙坝段的选线同样至关重要,经研究提出了K线和A线2个方案(见图3)。

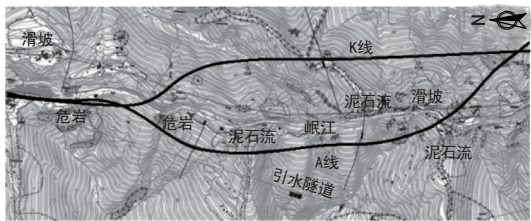


图3 马脑顶至沙坝段路线方案示意图

A线方案路线过了天龙电厂后沿岷江右岸布设,设马脑顶隧道,旨在绕避岷江沿线大型滑坡和危岩崩塌。在大店村设桥梁跨岷江和G213,然后设沙坝隧道,继续绕避岷江沿线大型滑坡和危岩崩塌,并下穿“宝顶沟省级大熊猫自然保护区”(以下简称大熊猫保护区)。该方案沿线属构造剥蚀-侵蚀高中山峡谷地貌、岷江河谷侵蚀堆积地貌,地形极为陡峻。平缓地段覆盖第四系冲洪积层卵石、碎石夹粉质黏土,局部夹块石;下伏基岩为三叠系粉砂质板岩、钙质板岩及页岩,在地质作用下,岩石结构较为破碎,稳定性较差。区段构造复杂,发育岷江断裂、石大关断层等。总体上A线遵从了地质选线原则,但在马脑顶隧道进洞口处,场地狭窄,左洞无法实施,洞口右侧上方崩塌发育,评估为极高风险区域;马脑顶隧道出口上方发育高位崩塌,风险等级为高,且覆盖层较厚;沙坝隧道进口处岩层倾向坡内,倾角60°,节理裂隙发育,岩体破碎,同时发育高位崩塌,高度在100 m以上,处治难度较大,后期运营风险依然比较大。

K线方案路线过了天龙电厂后沿岷江左岸布设,在马脑顶村跨过岷江后,上跨G213,然后设马脑顶

隧道。马脑顶隧道长6 630 m,下穿大熊猫保护区。此方案完全避开了目前调查发现的不良地质体,从源头上降低了地质灾害对工程的威胁。总体上,K线方案隧道进出口有较好的建设条件,场地开阔,地质条件相对稳定,有利于施工的顺利进行。同时,后期运营安全风险大为降低,避免了电站引水隧道的干扰问题,路线也更加顺直,有利于提高行车速度和安全性。

对比K线和A线方案,K线方案在地质条件、施工难度和运营安全方面均优于A线。K线避开了多处不良地质区域,降低了地质灾害风险;K线隧道进出口建设条件较好,施工难度较低;K线有效避开了高位崩塌等安全隐患,运营安全更有保障。

因此,在综合考虑大熊猫保护区、引水隧道、地形地质、工程规模等因素后,推荐K线。

4.3 雁门段选线

该段经过雁门乡,结合地形地质条件、水源保护地等多重因素,布设K线方案,并布设B1线、B2线方案进行论述性比较。路线方案见图4。

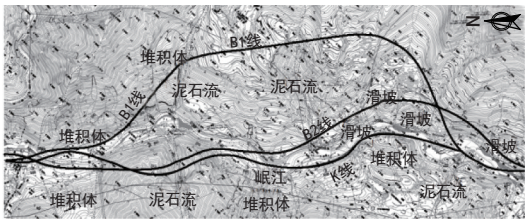


图4 雁门段路线方案示意图

B1线以两个特长隧道于岷江东岸展线,与岷江无干扰,隧道总里程11.54 km。相较于K线,B1线更为顺直,平纵指标更高,但路线里程增加0.342 km,隧道里程增加6.05 km,工程规模较大,并且穿越两条泥石流沟,隧道进出口分布有崩塌堆积体及滑坡,处治难度较大。

B2线为B1线的优化方案,缩短了路线里程。相较于K线,B2线更为顺直,路线里程缩短0.103 km,但隧道里程增加3.38 km,工程规模较大,且隧道进口处分布有崩塌堆积体,岩体不稳定。

综上,K线总体规模较小,沿线地质条件较其他方案更优,施工难度较小,因此推荐K线。下阶段针对岷江行洪问题进行涉江桥梁跨径的调整优化,将其对岷江的影响降到最低。

5 地质选线原则

川汶高速公路沿线地震频繁发生,且有高位危岩崩塌、滑坡、泥石流等不良地质灾害,沿线工程建

设受到严重威胁。合理的地质选线可有效降低这些威胁,提高运营安全^[5]。

5.1 从工程场地内活动断裂与地壳稳定性评价的角度

建议路线优先避让活动断裂区,实在无法避让则应大角度穿过活动断裂区,并就相交部位开展专项设计。此外,还需要做好施工期勘察,准确确定活动断裂区在构筑物穿过处的展布位置^[6]。

(1)尽量利用河流一带的开阔谷地布设明线。

(2)因场地存在软、硬差异性极显著的两类岩体,大部分岩体极为破碎,所以隧道工程需要避免顺层和沿背斜核部布设,同时应尽量缩小隧道与区域水平主压应力方向(N20°E)的夹角。

(3)在强活动构造区,隧道的稳定性更好,但隧桥工程应避免穿越全新世活断层和危险性较高的晚更新世活断层;在跨断层存在地面不均匀沉降地段,应避免桥梁跨越。

(4)在第四纪河湖相松散地层分布区,应注意季节性沉积物变形和强震区的砂土液化问题。

(5)在高山-深切峡谷区,需要关注大地震造成的地形放大效应和边坡不稳定性对高位隧道进出口及桥梁稳定性的影响。

5.2 从不良地质灾害的角度

走线设计普遍采取的基本原则,即“避大治小”原则。

(1)路线段内的滑坡、不稳定斜坡、岩堆等不良地质体发育区,以及位于其附近的工程,应尽量避免扰动,并针对不良地质体加强支挡防护。对于影响较大的不良地质体,应先整治再施工;对于处置难度大的不良地质体,应采用绕避方式^[7]。

(2)路线段内的泥石流发育区,设计时应充分考虑泥石流危害,根据泥石流的特征、流体性质、规模、易发性、频率、百年淤积厚度等情况进行工程设置,避免泥石流通道堵塞、桥涵净空不足等问题,尽量采用大跨度桥梁跨越泥石流沟,增加导流、拦挡等工程措施,并对有泥石流影响的墩台进行防护。

(3)路线段内局部横坡较陡,覆盖层厚,大桥墩台以及路基填方、挖方应加强横坡稳定性检算,防止横坡失稳,减少对坡体的开挖。

(4)隧洞进出口上部存在大量危岩体,节理裂隙发育,易形成高位崩塌,存在安全隐患,需要加强地质勘察及危岩体监测工作,采用清危岩,设置主、被动防护网,增设明洞等措施,降低工程风险^[4]。

5.3 从生态环境的角度

拥有众多自然保护区、风景名胜区和珍稀动植物栖息地的川汶高速公路沿线生态环境异常脆弱,公路建设对周边环境造成一定影响,需要综合评估,切实加以治理。在选线时,充分考虑了风景名胜区的景观保护需求,尽量避免在景区内或周边近距离布线,将通过优化线路走向来选择对景区景观影响较小的区域。在熊猫保护区附近选线时,通过多方案比选,最终确定的线路方案远离了景区核心区域,减少了公路建设对景区景观的破坏。

6 结 语

在高速公路的规划与建设进程中,地质选线扮演着举足轻重的角色^[8]。本文通过科学选线,采取避让活动断裂区、优化路线走向、合理布置结构物等措施,成功降低了滑坡、崩塌、泥石流等不良地质现象对工程的影响,确保了工程的安全性和经济性。此外,选线过程中充分考虑了生态环境保护,减少了对自然保护区和风景名胜区的破坏。

参考文献:

- [1] 黄润秋.汶川地震地质灾害后效应分析[J].工程地质学报,2011,19(2):145-151.
- [2] 龚诗照,谌育雄.公路总体设计的地质选线思路、原则与方法[J].运输经理世界,2024(2):19-21.
- [3] 檀军,韩新宇.公路不良地质段选线方法浅析[J].内蒙古科技与经济,2024(12):134-137.
- [4] 胡敏.高速公路地质选线研究与实例分析[J].山西建筑,2024,50(5):135-137.
- [5] 徐齐福,李莉莉,田启文.地形地质复杂地段的工程地质选线[J].中外公路,2006(8):11-13.
- [6] 王强,王兆林,范安军.西部强震山区高速公路地质选线与安全选线研究[J].交通科技与管理,2024,5(19):47-49.
- [7] 何振宁.区域工程地质与铁路选线[M].北京:中国铁道出版社,2004.
- [8] 张卓元,王士天,王兰生.工程地质分析原理[M].北京:地质出版社,1994.
- [9] 林明高.高速公路路堑滑坡成因分析及应对措施[J].铁路工程技术与经济,2017,32(1):32-35.
- [10] 程强,黄邵槟,周永江.公路路堑边坡工程施工监测与动态设计[J].岩石力学与工程学报,2005(8):1335-1340.
- [11] 王恭先.滑坡防治工程措施国内外现状[J].中国地质灾害与防治学报,1998(1):1-9.
- [12] 赵华.高速公路沿线黄土滑坡群(带)的利导与整治[J].灾害学,2016,31(3):60-65.
- [13] 余蜀予,肖岗,何云勇,等.高原山区高速公路选线研究[J].山西建筑,2022,48(12):106-108.
- [14] 霍明.建设生态公路考虑的几个问题[C]//中交第一公路勘察设计研究院公路勘察设计技术论文集.西安:陕西人民出版社,2002.
- [15] 殷跃平.2013汶川地震工程地质与地质灾害[M].北京:科学出版社.