

高寒高海拔高烈度地区高速公路总体设计研究^{*}

文丽娜, 王万江, 何健杰, 柯勇

(四川省公路规划勘察设计研究院有限公司, 四川 成都 610041)

摘要: 雅叶(雅安—叶城)高速公路康定过境段位于高寒、高海拔、高地震烈度地区, 建设条件极其恶劣。文中通过分析高寒、高海拔、高烈度地区高速公路总体设计中需考虑的主要因素和存在的主要风险, 从地质条件、运营安全、工程规模、实施难度等方面综合比较确定设计推荐方案, 并针对推荐方案存在的抗震设防烈度高和长下坡运营安全保障难题提出应对措施。

关键词: 公路; 高速公路; 总体设计; 高寒; 高海拔; 高烈度

中图分类号: U419

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2022)03-0080-06

雅叶(雅安—叶城)高速公路康定过境段起点与雅康(雅安—康定)高速公路相接, 终点与康定至新都桥高速公路顺接。该项目里程不长, 但建设条件复杂, 面临 5 个“极其”(极其复杂的地形、极其复杂的地质、极其复杂的气候、极其脆弱的生态条件和极其复杂的建设管理)的建设条件, 项目总体设计需考虑的因素多, 取舍困难。

1 项目建设条件

该项目工程可行性研究推荐线长 17.1 km, 其中桥梁 4 座、长 990 m, 隧道 3 座、长 15 015 m。设计速度 80 km/h, 路基宽度 25.5 m。按四车道高速公路标准建设, 主要技术指标见表 1。

表 1 雅叶高速公路康定过境段的主要技术指标

项目	指标值
设计速度/(km·h ⁻¹)	80
整体式路基宽度/m	25.5
分离式路基宽度/m	12.75
桥涵宽度/m	与路基同宽
桥涵设计荷载	公路—Ⅰ级
隧道建筑界限/m	净宽 10.25, 净高 5
特大桥设计洪水频率	1/300
桥涵及路基设计洪水频率	1/100
抗震设防标准	≥9 度

项目地处高山峡谷区, 地质条件极其复杂, 地震烈度高; 受城市规划干扰大; 属于长大纵坡运营路段; 特长隧道施工风险大; 位于贡嘎山国家级自然保

护区实验区附近, 环境保护压力大。

1.1 地形地貌

该项目位于康定市附近南北向的雅拉河和东西向的折多河谷内, 地形南高北低, 最高山峰高度大于 5 000 m, 山谷相对高差 1 000~3 000 m, 河谷宽度 100~250 m, 为典型的高山峡谷区。

路线起点升航至终点榆林直线距离约 10.5 km, 高差约 430 m, 为连续上坡路段。项目区域内主要为高山峡谷地貌, 高山区地面横坡以 25°~45°为主, 覆盖层较厚。路线起点附近存在大量岩堆体, 路线中部穿越一处巨厚大型崩坡积体。起点地形见图 1。



图 1 项目起点地形

1.2 地质条件

该项目位于松潘—甘孜造山带和扬子准地台大地构造单元之间, 区内主要区域性断裂构造为鲜水河断裂带。该断裂带为北北西向断裂构造带, 是马尔康地向斜与炉霍地背斜、雅江地向斜的分界断裂带, 也是新构造运动强烈活动带和活动地块分界断裂带(见图 2), 为四川省活动最强烈的活动断裂带。

^{*} 基金项目: 四川省科技厅重点研发项目(2020YFS0361)

金升水电站位于瓦斯河上,已建成使用,为小型水电站,跑马山1号隧道进口段与金升水电站相邻,影响范围大部分为隧道段。

2 总体设计原则

2.1 项目特点

项目地处川西高原山地与东部盆地西缘山地接触带的大雪山中段,地理条件及环境条件十分特殊,面临极其复杂的地形、地质、气象、环境等建设条件,存在工程技术、环境保护、投资大、实施困难等建设难题。主要特点如下:

- (1) 地形、地质、气候条件复杂,抗灾要求高。
- (2) 区域生态环境十分脆弱,环境保护要求高。
- (3) 桥隧比例高,工程规模大,造价高。
- (4) 地震烈度高,结构物抗震要求高。
- (5) 建设工程技术难题众多,勘察设计难度大。
- (6) 施工条件艰巨,环境恶劣,实施难度极大。
- (7) 互通式立交的选型及布置要求高。

2.2 总体设计原则

该项目地处高寒、高海拔、高地震烈度区,建设中遵循“强化管理、深入研究、详实勘察、精心设计”的总体设计原则。重点做好如下工作:1) 灵活应用技术指标,多层次方案优选,减小工程规模;2) 高烈度地震区、地质灾害多发区公路的防灾、抗灾;3) 连续长大下坡与冰雪组合段的运行安全及应急救援;4) 极其脆弱生态环境的保护,巨量弃渣的合理处置;5) 复杂艰巨条件下施工组织,造价控制;6) 复杂地形、地质、气候条件下综合地质勘察;7) 极其复杂地形、地质、气候条件下隧道的修建;8) 高山峡谷、高烈度地震区桥梁选型、设计及施工;9) 高寒、高海拔地区路面结构抗凝冰与耐久性技术;10) 高山峡谷地形互通选型及沿线设施场坪布设。

3 路线总体方案

3.1 初步设计方案

该项目路线起点位于康定城东升航村,与在建雅康高速公路顺接,终点位于康定新城榆林,起终点高差约430 m。为克服高差,路线从康定城区以南过境,受地形限制,主要以隧道形式展线。考虑地形地貌、不良地质现象、城市现状干扰、道路运营安全、投资规模、隧道洞口选址、建设工期等因素,初步设计阶段拟定A、B、C、D、E、F、G、H、I、K共10种路线方案进行综合比选(见图5、表3)。

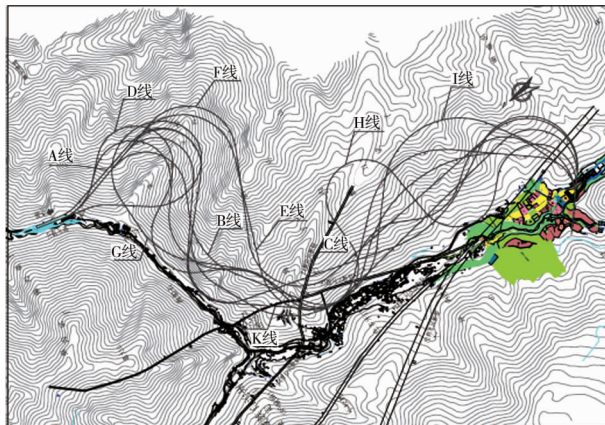


图5 初步设计阶段拟定的路线方案示意图

表3 初步设计阶段拟定的路线方案

方案编号	起讫桩号	长度/km	备注
I线	IK0+000—IK18+044.454	18.044	推荐
A线	AK0+000—AK11+201.878	11.232	论述方案(局部)
B线	BK0+000—BK15+416.770	15.417	论述方案
C线	CK0+000—CK17+758.405	17.758	论述方案(局部)
D线	DK0+000—DK17+134.105	17.134	同精度比较
E线	EK0+000—EK17+139.242	17.139	论述方案
F线	FK0+000—FK17+134.105	17.134	论述方案
G线	GK0+000—GK20+221.272	20.221	论述方案
H线	HK0+000—HK20+051.964	20.052	论述方案
K线	K0+000—K17+134.105	17.134	同精度比较

上述10种路线方案主要围绕隧道露头位置进行不同的展线,共计4处隧道露头位置,分别为康定水厂、海船石、救灾应急中心、战斗坝。在康定水厂露头的方案有G线、H线,在海船石露头的方案有K线、C线,在救灾应急中心露头的方案有B线、D线、E线、G线、H线、I线,在战斗坝露头的方案有H线。

3.2 路线方案比选

3.2.1 论述方案

结合地形地貌、不良地质现象、城市现状干扰、道路运营安全、投资规模、隧道洞口选址、建设工期等因素,对拟定的B线、C线、E线、F线、G线、H线方案进行论述比选(见表4)。

3.2.2 同精度比选方案

K线、I线、D线起点位于康定城东升航村,接雅康高速公路。K线设康定互通接G318线,设跑

表 4 论述方案对比分析

项目	B 线	C 线	E 线	F 线	G 线	H 线
提出理由	在工程可行性研究推荐线基础上,考虑到救灾应急中心段断裂带分布较广、隧道围岩级别较差,为缩短路线长度,降低工程规模,提出 B 线方案	考虑到救灾应急中心段覆盖层较厚、工程地质条件较差、隧道洞口偏压严重,同时考虑区域内活动性断裂带分布情况,提出 C 线方案	考虑到隧道内驾驶人心理状态及视觉条件的影响,隧道内尽量采取直线和大半径曲线,提出 E 线方案	在 E 线的基础上,减少路线与断裂带交叉,提出设一座特长隧道方案的 F 线进行比较	隧道过长不利于道路运营安全及灾后救援,考虑尽可能让隧道露头,长隧道短设,提出 G 线进行比较	在 G 线的基础上,优化螺旋隧道展线段,提出 H 线进行比较
路线长度/km	15.417	17.758	17.139	17.134	20.221	20.181
隧道长度/m	13 595	15 455	15 305	15 630	17 410	17 280
隧道数量/座	2	2	2	1	4	4
平均纵坡/%	2.77	2.40	2.49	2.49	2.11	2.11
优缺点	该项目属于长下坡路段,且未来道路延伸至新都桥后,新都桥至康定有约 62 km 的长下坡段,该段位于长下坡的下段,道路平均纵坡不宜过大	海船石段隧道洞口均为崩坡积体,偏压严重,成洞条件差,处治难度大,施工及运营风险高;施工对加油站、变电站的影响较大,存在施工及运营风险	隧道总体规模较小,但其斜井选址困难且规模较大,小净距隧道范围较长,隧道施工困难,施工工期较长,且隧道纵坡较差,不利于道路行车安全	超特长隧道后期运营风险高,不利于灾后救援;斜井选址困难且规模较大,通风效果差,施工工期较长	采用螺旋线形,路线较迂回,工程规模较大,投资较高;G 线与康定水厂附近隧道露头,不良地质现象发育,均位于崩坡积体上,山体上方存在危岩,处置难度大,施工及运营风险高	与断裂带交叉 6 次,工程地质条件较差;长隧短设,斜井规模小,通风效果较优,但隧道总体规模较大;洞口不良地质现象发育,成洞条件较差;施工干扰大;工程规模较大,投资较高
结论	舍弃	舍弃	舍弃	舍弃	舍弃	舍弃

马山 1 号隧道(长 5 705 m)至海船石,设跑马山 2 号隧道(长 2 505 m)至康定市救灾防灾应急中心,设跑马山 3 号隧道(长 6 750 m),止于康定南榆林新城,路段长 17.134 km。I 线设康定互通接 G318 线,设跑马山 1 号隧道(长 8 780 m)至康定市救灾防灾应急中心,设跑马山 2 号隧道(长 7 395 m)至康定榆林驷马桥村,路线止于榆林新城,设康定榆林互通接 G318 线,路线长 18.044 km。D 线设跑马山 1 号隧道(长 8 665 m)至康定市救灾防灾应急中心,设跑马山 2 号隧道(长 6 700 m)至榆林,路线长 17.134 km。K 线、I 线、D 线的比较(见表 5):

(1) 平纵指标。I 线平面指标值较高,隧道进出口采用大半径曲线,隧道内纵坡均 $\leq 2.5\%$,明线段设置缓坡段;D 线特长隧道部分段落纵坡为 2.85%。

I 线平纵指标优于 K 线、D 线。I 线道路平均纵坡为 2.38%,且隧道露头段设置长 2 km 的缓坡;K 线、D 线道路平均纵坡为 2.5%。从道路运营安全方面比较,I 线优于 K 线、D 线。

(2) 工程地质条件。K 线海船石段隧道洞口为崩坡积体,洞口偏压严重,成洞条件差,处置难度大,施工及运营风险高;救灾防灾应急中心段断裂带分布较广,K 线、I 线、D 线均与其交叉,D 线以大角度与其交叉,K 线、I 线受断裂带影响的范围相当,D 线略优。

(3) 与城区的干扰。海船石段 K 线以明线形式通过,且为崩坡积体路段,施工对加油站、变电站的影响较大,存在施工及运营风险;I 线、D 线以隧道形式通过,对其干扰较小。

(4) 工程规模。I 线设 2 座特长隧道, 共计 16 175 m, 斜井规模较大, 通风效果较差, 施工周期长; K 线设 3 座隧道, 共计 14 960 m, 隧道规模较小, 斜井规模、通风效果等较优; D 线设 2 座特长隧道, 共计 15 365 m, 斜井规模较小。从工程规模比

较, K 线优于 D 线, D 线优于 I 线。
综上所述, 虽然 I 线工程规模较大, 但平纵指标较优, 道路平均纵坡最小, 有利于运营安全, 同时对城区的干扰小。因此, 初步设计阶段将 I 线作为推荐方案。

表 5 同精度比选方案主要技术经济指标对比

项目			I 线	K 线	D 线	I 线—K 线	I 线—D 线
路线长度/km			18.044	17.134	17.134	0.91	0.91
交点数量/个			8	6	9	2	—1
最小平曲线	半径/m		750	740	750	10	0
	数量/个		1	1	2	0	—1
最大纵坡	坡度/%		2.7	2.9	2.85	—0.20	—0.15
	长度/m		660	2 890	1 970	—2 230	—1 310
最小竖曲线	凸形	半径/m	90 000	150 000	150 000	—60 000	—60 000
		数量/个	1	1	1	0	0
	凹形	半径/m	70 000	270 000	150 000	—200 000	—80 000
		数量/个	1	1	1	0	0
计价土石方合计/万 m ³			2.304	4.176	1.134	—1.872	1.170
路基排水及防护工程/万 m ³			0.248	0.188	0.224	0.060	0.024
桥梁(含互通主线)	大、中桥	长度/m	743.940	847.905	684.940	—103.965	59
		数量/座	3	4	3	—1	0
隧道	特长隧道	长度/m	16 175	12 455	15 365	3 720	810
		数量/座	2	2	2	0	0
	长隧道	长度/m	—	2 505	—	—2 505	—
		数量/座	—	1	—	—1	—
平均纵坡/%			2.38	2.5	2.5	—0.12	—0.12
互通/处			2	2	2	0	0
涵洞/道			2	3	2	—1	0
建安费/亿元			33.96	31.91	34.87	2.05	—0.91
概算金额/亿元			39.88	36.82	40.31	3.06	—0.43
造价/(亿元·km ^{—1})			2.21	2.04	2.35	0.17	—0.14

4 建设难题的解决措施

I 线建设中面临两大难题, 即抗震设防烈度高和长大纵坡运营安全保障。
(1) 抗震设防烈度高。根据表 2 计算, 跑马山 2 号隧道出口处的地震动峰值加速度大于 0.40g, 相应地震基本烈度大于Ⅸ度, 抗震烈度高。跑马山 2 号隧道出口紧接榆林互通, 该处需跨越榆林河、折多河, 榆林互通处桥梁高度需按抗震设防要求严格控制。经抗震计算, 将该处桥梁高度控制在 30 m 以

下, 且全部采用钢结构桥梁、薄壁轻型墩、钢盖梁等, 满足抗震要求。
(2) 长下坡运营安全措施。1) 根据道路安全性评价结论, 为提高 I 线的运营安全, 降低运营风险, 在工程可行性研究路线起点设置互通综合体的基础上, 在路线终点设置榆林停车区, 提高未来康新(康定—新都桥)高速公路自新都桥出发至康定 62 km 长下坡的运营安全; 同时在跑马山 2 号隧道与 1 号隧道之间增设一处避险车道。2) 该项目主线右幅跑马山 2 号隧道—康定榆林互通及主线左幅跑马

山1号隧道—康定互通隧道出口与匝道分流鼻间距均小于明适应距离+识别距离367 m的要求,且隧道出口与渐变段起点间距均小于明适应距离+完整认读标志并操作距离287 m,为此,对跑马山1号隧道出口段、跑马山2号隧道出口段进行特殊结构设计,拓宽一条车道作为辅助车道。3)考虑隧道内长下坡段较长,1线跑马山1号隧道左线(车辆下行方向)每间隔一处将停车带加长至100 m,以便车辆应急停靠。4)考虑到跑马山1号、2号隧道之间海拔较高,处于弯道和隧道洞口交界处,易受冰雪天气影响,路面设计中采用主动抑制冰雪技术,添加盐化材料,延缓冰雪凝结。

5 结语

雅叶高速公路康定过境段总体设计中围绕项目控制性因素,以不遗漏任何有价值的方案为原则,认真比选,提出研究方案多达30余条,最终筛选出有价值的10条路线方案。从地质条件、运营安全、工程规模、实施难度等方面综合比较,将相对较优的1线作为推荐方案。

围绕推荐方案,针对抗震设防烈度高的问题,提出断裂带附近桥梁高度控制在30 m以下,且桥梁全部采用钢结构、薄壁轻型墩、钢盖梁等措施;针对长下坡的运营安全保障问题,提出跑马山2号隧道与1号隧道之间增设一处避险车道、在跑马山1号隧道出口段和跑马山2号隧道出口段拓宽一条车道作为辅助车道、跑马山1号隧道左线(车辆下行方向)每间隔一处将停车带加长至100 m、隧道间路面采用主动抑制冰雪技术等措施。

参考文献:

- [1] 交通运输部公路局,中交第一公路勘察设计研究院有限公司.公路工程技术标准:JTG B01—2014[S].北京:人民交通出版社,2014.
- [2] 唐正光,徐则民,吴华金,等.公路路基地质灾害与选线设计[J].公路交通科技(应用技术版),2011(7):66—68.
- [3] 贾兴利.高烈度地震峡谷区公路选线理论与方法研究[D].西安:长安大学,2013.
- [4] 朱顺华.面向风险的高烈度地震区路线走廊带选择方法研究[D].西安:长安大学,2012.
- [5] 周育名.公路路线走廊震害与环境基础因子关系研究[D].西安:长安大学,2012.
- [6] 邱燕玲.基于风险调控原理的高地震烈度山区选线设计研究[D].成都:西南交通大学,2015.
- [7] 江玉林,张前进,陈学平,等.高速公路选线环境影响评价方法研究[J].公路,2005(7):71—74.
- [8] 王梓昭.山区高速公路路线优化设计及选线探析[J].公路交通科技(应用技术版),2020(2):73—74.
- [9] 江启军.影响高速公路选线的因素分析及合理设计方法研究[J].黑龙江交通科技,2020(4):49+51.
- [10] 杨德刚.从环境影响角度谈山区公路选线[J].交通世界,2017(15):20—21.
- [11] 刘小滔,薛佳,曹放,等.川西地区某省道改建工程路线设计选择与方案研究[J].公路与汽运,2021(2):93—95.
- [12] 张骥宁.济青中线高速公路潍青段总体设计及路线方案探讨[J].公路与汽运,2021(3):54—57+67.

收稿日期:2021—08—16

(上接第79页)

- 路面厚度动态调整技术研究[J].中外公路,2020,40(3):70—75.
- [4] MENG Y H,ZENG P,MENG X Y.A paving thickness monitoring device of paver[J].Mechanical Electrical Engineering Technology,2018,47(4):24—28.
 - [5] 庞小勇.公路路面厚度检测试验方法研究[J].黑龙江交通科技,2020(6):72+74.
 - [6] 吴忠辉.基于探地雷达的沥青路面厚度检测分析[J].公路与汽运,2017(4):93—94.
 - [7] LIU D H,WU Y.Continuous measuring and real-time visualization monitoring of pavement lift thickness in highway construction[J].China Journal of Highway

and Transport,2017,30(11):41—43.

- [8] 刘智琦,张睿.公路路面厚度检测试验方法解析[J].交通世界,2018(36):54—55.
- [9] 王若俊,严筱.探地雷达在路面面层厚度检测中的应用[J].公路交通科技(应用技术版),2018(8):137—140.
- [10] LIU H,SATO M.In situ measurement of pavement thickness and dielectric permittivity by GPR using an antenna array[J].NDT & E International,2014,64:65—71.
- [11] 臧国帅,金光来,蔡文龙,等.基于探地雷达和高速弯沉仪的结构内部状态评价[J].公路与汽运,2020(3):59—61.

收稿日期:2021—07—05