

复杂山区地形条件下公路路线设计优化研究

欧阳文广 罗国才

安徽省交通规划设计研究总院股份有限公司 安徽 合肥 230088

【摘要】：公路工程中公路路线的选择和设计是非常重要的环节,它设计和选择的合理性直接关系到整条公路的建设质量,同时也对公路的经济效益和社会效益有一定的影响,因此公路设计人员都将路线设计比喻成公路设计的基础和灵魂。本文结合山区地形独有特征,分析现阶段公路路线设计现存痛点,从平面线形、纵断面线形、横断面布设三个核心维度,制定针对性优化设计策略,同步搭建多维度路线设计评价体系。结合工程实例开展方案优化比对,优化后的路线方案综合性能显著提升,能够在保障行车安全、适配复杂地形的基础上,降低工程建设规模与生态破坏程度,可为同类山区公路设计项目提供参考依据。

【关键词】：复杂山区; 公路工程; 路线设计; 线形优化; 地形适配

DOI:10.12417/2811-0528.26.17.022

1 引言

路线线形指由公路平面线形、纵断面线形及两者结合构成的三维空间几何形态,是公路主骨架设计的基础,直接影响行车安全、舒适性和工程造价^[1]。其设计需协调直线、圆曲线与缓和曲线组合,平面线形应避免长直线接小半径曲线或小偏角曲线,纵断面线形需保持连续性并减少波浪式起伏^[2]。山区公路重点处理小半径平曲线与竖曲线组合问题,通过增大凸形竖曲线半径改善视距,控制凹曲线高度防止排水困难。高速公路采用曲线主导设计适应地形,结合全景透视图优化视觉效果,横断面侧重超高与加宽设计,环境保护需平衡水土保持与污染防治。现代设计引入三维参数耦合方法,通过曲率、挠率等指标构建几何连续性与车辆稳定性约束模型。目前部分山区公路的设计仍然沿用传统的设计理念,过分地使用常规地区的指标,忽略了复杂地形对线形指标、线位走向的影响,容易造成大填大挖、线形组合不合理、边坡稳定性差等问题,不但会增加后期的运维风险,还会破坏区域的自然生态^[3]。因此本文以复杂山区地形为背景,对公路路线全部设计方案进行优化,实现安全、经济、生态三者的设计目标,完善山区公路路线设计技术体系。

2 复杂山区公路路线设计特征与现存问题

(1) 路线设计核心特征:复杂山区公路路线设计不同于常规平原公路,整体设计限制性因素较多,主要特点有三个方面。第一,地形限制性大。区域内山体落差大、坡面坡度不均,零散分布有断崖、深沟等地貌,路线走向不能直线穿过,必须经常改变线形指标来避开高陡山体和深谷地带^[4]。第二,地质条件复杂。山区地质构造活动频繁,松散岩土体分布广泛,潜藏滑坡、崩塌、泥石流等地质隐患,线位选址要避开不良地质区,同步改善线形减小地质灾害诱发概率。第三,在进行山区公路工程地形选线设计时,应按照复杂地形表现形式和山区公

路综合设计要求采取顺势方式开展布线工作,以此保障山区公路线性流畅性和畅通性,继而提高复杂地形背景下山区公路整体美观效果,全面满足山区公路地形选线设计和综合建设要求。同时还应强化曲线与直线结合的方式进行山区公路地形布设,尽可能降低山区公路地形布设对周边环境产生破坏。如果在山区公路地形选线设计时遇到困难路段,还应采取路基分离方式对困难路段实施有效规避,使得山区公路路线与当地地形地势达到相互协调状态^[5]。

(2) 现阶段设计主要问题:平面线形设计粗放。部分设计片面追求高线形指标,盲目采用长直线、大半径曲线设计,与山区复杂地形适配性较差,诱发大规模高填深挖施工,不仅破坏原生生态环境,还大幅增加工程建设体量与工程造价。

纵断面指标适配性不足。为片面追求纵断面线形平顺性,随意加大填挖高度,导致土石方工程量激增、建设成本上升,同时破坏原有山体应力结构,易引发边坡失稳、坍塌等隐患。此外,部分路段竖曲线半径取值偏小,车辆下坡行驶时易出现视线受阻问题,存在行车安全隐患。

平纵横线形组合协调性差。平面曲线与纵坡、横坡参数缺乏联动协同设计,陡坡急弯、反向曲线搭配陡坡等不合理线形组合频发,无法适配山区行车工况。同时,传统方案比选仅以工程造价为单一评价指标,未综合考量行车安全、生态保护、后期运维等关键因素,最优方案的判定缺乏科学性与全面性。

3 复杂山区公路路线优化设计基本原则

结合复杂山区地形、地质、生态的核心特点,为统筹协调各类设计约束条件,路线优化设计需严格遵循四项基本原则。第一,地形适配原则。依托数字化地形测绘数据,坚持沿山布线、顺势定线,根据自然地形动态调整线位走向与线形指标,最大限度减少大填大挖施工,降低对山体地貌的扰动破坏。第

二,安全优先原则。严格恪守公路设计规范标准,严控平面曲线半径、纵坡坡度、竖曲线半径等核心参数,优化线形组合形式,彻底消除陡坡急弯、视线盲区等安全隐患,保障车辆平稳、安全通行。第三,生态低碳原则。将生态保护贯穿设计全过程,优先避让生态保护区、原生植被密集区,严格管控填挖施工边界,弱化桥梁、隧道等构造物对区域生态的分割效应,降低工程建设的生态成本。第四,综合最优原则。摒弃单一经济性评价模式,统筹工程投资、行车安全、生态效益、运维成本等多重维度,筛选综合效益最优的路线方案。在对其开展路线设计和实际选线时还应考虑相关设计造价。同时按照各项具体要求强化复杂地形背景下山区公路造价选线设计效果,以此降低山区公路工程造价,更好保障复杂地形背景下山区公路路线设计效果和工程项目建设效益。

4 复杂山区公路路线多维度优化设计策略

(1)平面线形优化设计:平面线形是路线整体走向的中心,优化重点是线位选址和线形指标的匹配,适配复杂的山区多变地貌。在线位选址上采取避害就利的原则,前期用三维勘察技术全面了解区域内的不良地质、生态敏感区、聚落分布位置,选择地势平坦、地质稳定的山体中下部进行布线。对纵深峡谷地段,先沿河岸单侧布线,减少跨河构造物布设数量;对连绵山体地段,采取绕山布线和短隧道穿越并行的方式,达到线路长度与工程投资的平衡。

在线形指标优化方面,摒弃长直线的设计模式,用缓和曲线为主、适中半径圆曲线为辅的平面线形来代替。直线段长度根据设计车速严格控制,所有等级公路直线段最大长度不宜大于20倍设计速度长度,低等级公路直线段限值应进一步缩短。圆曲线半径不再采用固定值,根据路段地形坡度和行车速度的变化来调节,不应在高陡边坡路段设置极限最小半径曲线。同时优化曲线衔接方式,在同向曲线之间增加足够的直线段或者复合型缓和曲线,反向曲线优先设置缓和曲线衔接,避免连续反向弯道路段造成的行车危险。

(2)纵断面线形优化设计:纵断面线形优化主要是通过平衡纵坡指标、填挖体量、行车视线来适配山区地势高差的变化。在纵坡参数的设计上,对最大纵坡和坡长做了严格的限定,重载车辆在陡坡长距离行驶容易造成制动过热、动力不足等现象,对于复杂山区高等级公路重载路段,最大纵坡比规范基准值低0.5%-1%,极限坡长使用范围也进行了缩减。对于上坡路段,减小纵坡提高车辆通过效率,下坡路段控制坡长增加缓坡段,减小车辆制动压力。

在竖曲线的设计上,统一控制凸形和凹形竖曲线的半径,尽量采用一般值指标,避免频繁采用极限指标。凸形竖曲线以保证行车视距为主要目的,增大半径参数来消除视线盲区;凹

形竖曲线主要解决夜间行车眩光、路面积水的问题。另外联动平面线形优化纵断面设计,平面小半径曲线对应的路段同步减缓纵坡坡度,从源头上杜绝陡坡急弯危险路段。

(3)横断面优化设计:山区公路横断面优化以行车道、边坡、超高加宽三个模块为主,适应山区特殊的行车环境。行车道宽度根据交通流量、车型结构做微调,低等级山区公路偏远路段在满足通行底线标准的基础上适当缩小闲置车道宽度,减小开挖坡面。弯道路段按设计规范进行超高加宽设计,小半径曲线内侧加宽值根据曲线半径、最大通行车型准确计算,超高渐变段长度和缓和曲线长度一致,防止渐变过快造成车辆侧滑。

边坡设计是横断面优化的重点,抛弃统一坡率的设计模式,采取不同的边坡方案。挖方边坡按岩土类型分层设坡率,硬质岩体边坡适当放陡,风化岩土、松散土体边坡放缓坡率,同步降低边坡最大高度,高边坡路段增设分级平台;填方边坡优先使用废弃土石方填筑,临近山体路段采用贴坡式填筑,减少占地。边沟、截水沟等附属设施的布置位置要符合横断面线形,同时考虑排水和边坡防护的要求。

(4)平纵横线形协同优化:单一维度的线形优化不能达到全面提高路线整体质量的目的,必须使平、纵、横三个方向的指标相互配合。核心优化要点有四点。一是坚持大半径曲线适配常规纵坡、小半径曲线适配平缓纵坡的匹配原则,严禁小半径曲线与极限纵坡叠加组合。二是优化线形空间搭配,在平面反向曲线拐点处设置凸形竖曲线,规避双重视线偏差引发的安全隐患;在平缓曲线路段布设凹形竖曲线,有效提升行车舒适度。三是规范超高渐变布设,严禁将竖曲线变坡点设置在超高渐变区段,避免车辆通行时出现颠簸、侧滑问题。四是严控线形组合变更频率,短距离路段内不频繁调整曲线半径、纵坡坡率,保障车辆行驶状态的连续性与稳定性。

5 路线设计方案综合评价体系

为了量化不同的路线方案的综合性能,本文从安全性、经济性、生态性、适配性四个方面选取了十个二级评价指标,构建起多层次评价体系,用加权评分法进行方案比选,满分100分,指标权重根据山区设计侧重点来确定,具体评价指标及权重如表所示。

表1 山区公路路线方案综合评价指标体系

一级指标	权重占比	二级指标	分项分值	评分说明
行车安全	35	平面线形指标合规	12	曲线半径、直线长度符合规范,平纵组合良好

性		度		
		纵断面行车舒适度	12	纵坡、竖曲线指标适配车速，无视线盲区得满分
		平纵横组合合理性	11	无陡坡急弯等不良组合，线形衔接顺畅得满分
工程经济性	25	土石方工程量	9	填挖方总量越少，评分越高
		构造物建设规模	8	桥梁隧道占比合理，无冗余构造物得满分
		基础工程造价	8	同等条件下造价越低，评分越高
生态保护性	20	植被破坏范围	10	地表扰动面积越小，植被破坏越少评分越高
		水系地貌影响度	10	不破坏原有水系、山体地貌得满分
地形适配性	20	不良地质避让率	10	完全避让高危不良地质区域得满分
		地形贴合程度	10	线位顺势布线，与自然地形适配度越高评分越高

(注：续表1)

6 工程实例分析

6.1 项目概况

本次选取的是西南山区一个三级公路改建项目作为研究对象，路线全长 12.6km，设计车速 30km/h。项目区以中低山地貌为主，地势起伏较大，最大高差 216m，坡面坡度 25° ~ 45°，局部有风化破碎岩层，生态敏感度高。项目初始设计方案采取传统的定线办法，存在着线形组合不恰当、填挖量过多、多处陡坡急弯路段等不足之处，综合性能较差，须要加以优化设计。

6.2 方案优化内容

依托前文提出的多维度优化策略，对项目初始方案的线位布局、平纵横线形组合进行系统性优化，具体内容如下。一是优化局部线位布局，舍弃原方案跨越深谷、穿越陡峭边坡的不

合理线位，调整为山体缓坡平顺布线，成功避让 2 处小型滑坡隐患点，取消 1 处跨沟构造物，降低工程风险与建设体量。二是优化平面线形指标，取消 3 处过长直线段，替换为适配地形的圆曲线+缓和曲线组合线形，缩减小半径曲线数量，所有曲线半径均采用规范一般值，提升线形流畅度。三是完善纵断面线形设计，放缓 3 处极限陡坡路段纵坡、缩短超长坡长，增大凸形竖曲线半径，彻底消除行车视线盲区。四是优化横断面与线形协同组合，调整高填深挖路段差异化边坡坡率，拆分 2 处超高边坡，全面规避小半径曲线搭配陡坡的不良线形组合。

6.3 优化效果分析

根据上文评价体系对初始方案和优化方案进行综合评分，并对比核心设计参数，具体对比结果如下表所示。评分上，初始方案的综合评分是 68.5 分，优化方案的综合评分达到了 87.2 分，各项一级指标的评分都有明显的提高。从参数上讲，优化后的路线土石方总量减少 16.3%，高填深挖路段长度减少 21.5%，危险线形组合全部清零；植被扰动面积减少 14.8%，工程基础造价降低 7.2%。且优化后的线路更加顺畅，行车视距达到安全通行要求，解决了原来存在的问题，实现了安全、经济、生态效益三赢的局面，证明了本文提出的方法是可行的。

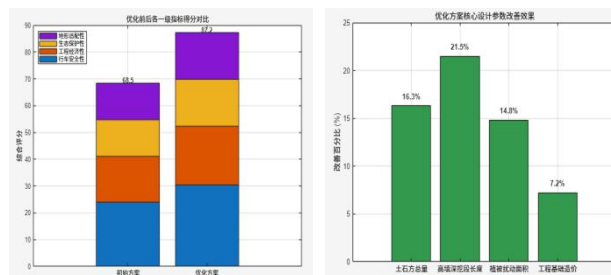


图1 优化方案前后对比

7 结论

复杂山区地形给公路路线设计带来诸多方面的限制，也是造成山区公路建设质量参差不齐的关键原因。就山区公路而言，在对其进行路线设计时必须考虑山区地形条件以及具体设计要求，针对性提高复杂地形条件下山区公路路线设计效果，为后期山区公路规划建设顺利开展提供有效参考依据。相关的设计思路可以直接用于山区新建、改建公路项目，可以很好地解决传统设计模式的各种问题。

参考文献：

- [1] 沈雪琦.复杂条件下山区高速公路路线平纵设计对比[J].城市建设理论研究(电子版),2026,(12):127-129.
- [2] 穷达.西藏山区复杂地形条件下的公路路线设计研究[J].运输经理世界,2026,(1):52-54.
- [3] 邱东宇.山区复杂地形条件下的公路路线设计研究[J].交通世界,2025,(16):101-103.
- [4] 任云峰.基于山区复杂地形条件下的公路路线设计分析[J].交通科技与管理,2025,6(10):168-170.
- [5] 朱仁政,龚旺.复杂条件下山区高速公路路线平纵设计比选研究[J].价值工程,2025,44(11):85-88.