

Coordination design and risk prevention of horizontal and vertical alignment of highway intersections under mountainous terrain conditions

Yanyun Chen

Gansu Provincial Transportation Planning Survey and Design Institute Co., Ltd., Lanzhou, Gansu 730030, China

Abstract

This article studies the coordinated design and risk prevention of horizontal and vertical road intersections in mountainous areas. Firstly, the importance of mountainous highways for regional development and the design difficulties and risks brought by complex terrain are discussed. It is clear that literature research, case analysis, and field research methods are used, and there are innovations in humanized design and multi-source information fusion risk assessment. Further analyze the impact of mountainous terrain (with large undulations, complex geology, and variable climate) on the design of horizontal and vertical alignment, as well as the key points of each alignment design. Take a mountain road at the edge of the southwest the Yunnan-Guizhou Plateau as a case to optimize the original design and verify its improvement in safety, comfort, economy and environmental protection. Then identify four types of risks and establish a risk assessment system using AHP and FTA. Finally, prevention and control measures are proposed from three aspects: engineering technology, management, and emergency response. The research shortcomings are pointed out, and the prospect is to deepen research by combining GIS, GPS, and other technologies.

Keywords

mountainous roads; Risk prevention and control; Case optimization; Emergency rescue system

山区地形条件下公路线路交叉平纵线形协调设计及风险防控

陈彦运

甘肃省交通规划勘察设计院股份有限公司, 中国 · 甘肃 兰州 730030

摘 要

本文研究山区公路线路交叉平纵线形协调设计及风险防控。先述山区公路对区域发展的重要性与地形复杂带来的设计难度、风险,明确用文献研究、案例分析、实地调研法,且在人性化设计与多源信息融合风险评估上有创新。再析山区地形(起伏大、地质复杂、气候多变)对平纵线形设计的影响及各线形设计要点。以西南云贵高原边缘某山区公路为案例,优化原设计,验证其在安全、舒适、经济、环保上的提升。继而识别四类风险,用 AHP、FTA 建风险评估体系。最后从工程技术、管理、应急三方面提防控措施,指出研究不足,展望结合 GIS、GPS 等技术深化研究。

关键词

山区公路; 风险防控; 案例优化; 应急救援体系

1 引言

我国山区公路是区域发展关键纽带,能破解交通瓶颈、开发资源、促进经济与社会协调,但地形复杂使平纵线形设计难度大,设计不当易致行车安全隐患,且建设面临地质灾害、施工安全等风险,故平纵线形协调设计与风险防控是亟待解决的关键问题,可兼顾经济、社会与环境效益。研究用文献研究法奠定理论基础,案例分析法提炼实践经验,实地调研法获取一手数据。创新在于设计上以驾驶员体验为核心融入人性化理念,优化线形参数;风险防控上提出多源信息

融合评估法,结合大数据、AI 建动态预警模型,搭配个性化防控措施形成体系。

2 山区地形对公路线路平纵线形设计的影响

山区地形具复杂性与独特性,核心特征为地形起伏大、地质复杂、气候多变,深刻影响公路平纵线形设计。地形起伏大表现为山峦连绵、沟壑纵横(如横断山区相对高差达数百至数千米),需频繁调整路线高程与方向,增加设计复杂度,且加大坡度与坡长,对行车安全要求更高;地质复杂体现在岩石种类多、构造复杂(断裂、褶皱频发),软岩等不良地质易引发滑坡、泥石流,增加工程难度与造价,需先详勘保障稳定;气候多变表现为气温随海拔骤变、昼夜温差大,易现低温、积雪、冰冻,降水不均致暴雨、山洪,强风、

【作者简介】陈彦运(1990-),男,中国甘肃白银人,本科,工程师,从事公路总体路线设计及互通式立交设计研究。

浓雾常见，对路线、路面及安全设施有特殊要求。地形对平面线形设计影响显著：直线虽方向明确、距离短，但适配性差，强行使用需深挖高填，破坏地貌、诱发灾害，还易致驾驶员疲劳提速，增加事故与造价；圆曲线能灵活适配地形，需按《公路路线设计规范》结合地形、车速等定半径（离心力与半径成反比、与车速平方成正比，过小易侧滑，复杂路段可通过超高、加宽平衡）^[1]。缓和曲线衔接直线与圆曲线，凭曲率连续变化优化视觉、保障安全，长度需结合行车速度等计算。地形对纵断面线形设计影响关键：纵坡（坡度、坡长）直接影响安全、速度与造价，坡度过大易致重载车爬坡难、下坡制动失效，需按《公路工程技术标准》控最大坡度（如 80km/h 公路一般 $\leq 5\%$ ），过长坡长加剧车辆负荷，规范对不同坡度设最大坡长限制（如 60km/h、6% 坡度路段 $\leq 700\text{m}$ ），设计需平衡安全与经济；竖曲线设于直线坡段转折点，可改善线形、提升舒适安全（凸形增视距、凹形缓颠簸），半径需结合设计速度等确定，长度需满足行车平稳与停车视距要求，符合规范。

3 山区公路线路交叉平纵线形协调设计案例分析

本研究选取西南地区云贵高原边缘某山区公路为案例，该公路地处典型山区，地势起伏剧烈（高差超 1000 米，坡度多 20° — 60° 且部分超 60° ），地质复杂（含砂岩、页岩等，断裂褶皱发育，岩溶、滑坡等不良地质常见），是连接乡镇与外界干线的重要通道，承担农产品运输、旅游开发及居民出行任务，因区域经济与旅游业发展，交通需求增长，原设计不合理需优化。

原设计方案存在多方面问题，平面线形上多处直线与曲线衔接不畅，部分过长直线直接连小半径圆曲线且无缓和曲线，相邻圆曲线半径变化大，增加操作难度与事故风险，纵断面线形上部分纵坡超规范最大值，连续上下坡路段问题突出（上坡重载车动力不足致拥堵，下坡制动频繁易失效），竖曲线半径小致视线受阻（凸形竖曲线顶部视距不足增追尾风险），平纵线形组合也不协调，出现“平包竖”或“竖包平”等不合理形式，重合段长度不当，影响视觉判断与行车安全。针对这些问题，优化方案从三方面入手，平面线形上调整直线与曲线长度及衔接方式，过长直线插缓和曲线，相邻圆曲线设缓和曲线，复杂路段用卵形曲线、S 形曲线适配地形，纵断面线形上严控纵坡坡度与坡长，调整超规范纵坡，连续上下坡路段设爬坡车道与避险车道，合理确定竖曲线半径和长度（凸形增大半径扩视距，凹形保证缓冲颠簸），平纵线形协调上遵循“平包竖”原则，在平面曲线起终点附近设竖曲线协调变化趋势，控制重合段长度，还利用计算机辅助设计软件建模分析以调整问题。

对比优化前后方案，效果显著，安全性上减少驾驶员操作难度与视觉疲劳，降低事故风险，保障重载车行驶安全，

舒适性上线形更连续流畅，减少颠簸晃动与离心力影响，经济性上虽初期成本可能增加，但长期因提升行驶效率、减少事故与养护成本，综合效益提升，环保性上通过合理选线与施工措施，减少山体开挖、植被破坏及水土流失，该案例充分证明优化方案的有效性，为其他山区公路设计改造提供参考。

4 山区公路线路交叉平纵线形设计风险防控措施

4.1 工程技术措施

山区公路地质灾害防治措施中，抗滑桩采用钢筋混凝土制成，通过在滑坡体钻孔浇筑将下滑力传至稳定地层，设计需依滑坡规模、滑动面位置等定直径、长度、间距与布置形式，如某项目针对滑坡隐患设直径 1.2 米、长 20 米、间距 3 米的梅花形抗滑桩，经监测有效稳定滑坡体；挡土墙可防土体坍塌，重力式靠自身重力稳定（适用于小型滑坡与填方路段，某填方路段设 3-5 米高块石砌筑重力式挡土墙，基础埋深不小于 1 米），悬臂式与扶壁式适用于高填方及差土质路段，设计需算高度、厚度与基础埋深；完善排水系统也关键，地面排水靠边沟（路基边缘集排雨水）、截水沟（山坡上方拦水）、排水沟（引水至桥涵或自然水系），地下排水用盲沟、渗沟（透水性材料填充配排水管）降地下水位，合理布置可减地质灾害风险。气候灾害应对上，防滑路面材料（防滑沥青加骨料改性、防滑地砖用特殊纹理、刻槽路面增粗糙度）能增摩擦力，如陡坡弯道铺菱形纹理防滑地砖降事故率；冬季防雪设防雪棚（钢结构或混凝土框架配透明顶棚，某高海拔路段设 500 米长钢结构阳光板防雪棚）与防雪栅栏（依风雪地形定高度间距）阻积雪结冰；大风路段设防风屏障（金属或复合材料，某风口路段设 2 米高百叶窗式金属屏障）保车辆稳定；暴雨应对需强化排水，设计大管径管道与陡坡边沟，路肩设横坡引雨水入边沟，定期清理维护防排水不畅。施工技术保障方面，隧道用盾构法（某项目 8 米直径盾构机日掘进 10-15 米，扰山小、周期短）、TBM 法（适用于硬岩）高效施工；桥梁用悬臂浇筑法（逐段对称浇筑梁段）、转体施工法（如跨越深谷桥梁分半幅浇筑后转体就位，避搭支架难题）解复杂地形建设问题；施工方案需优化，高边坡分层分段开挖并及时设锚杆、锚索等支护，填方路段严控填料质量与压实度，且施工中依实际调整方案保安全高效^[2]。

4.2 管理措施

山区公路设计阶段风险管理中，需综合地质、地形、气候、交通流量等因素，用层次分析法、故障树分析法等定性定量结合的方法做全面风险评估，识别潜在风险并评估发生可能性与影响程度，确定关键风险因素为设计优化提供依据，如某项目借层次分析法明确滑坡、泥石流及暴雨、冰冻为关键风险需重点关注；同时建立严格设计审查制度，组织专家审查平纵线形设计的合理性、安全性与环境协调性，

依规范提意见,设计单位优化方案,如某项目审查中专家指出部分路段平曲线半径小的隐患,建议增大半径并设缓和曲线,修改后提升了公路安全与舒适性。施工阶段风险管理以施工安全管理为核心,需健全安全生产制度、明确安全职责、加强安全教育培训,现场设警示标志、隔离防护危险区域,定期检查维护施工设备,对高风险作业制定专项方案,如某项目加强隧道施工安全管理,定操作规程、培训演练,严控通风照明支护与有害气体检测^[3]。施工质量控制需建质量管理体系,严检原材料构配件,按规范操作并加强工序检验,如某桥梁施工中严控钢筋水泥等原材料与混凝土配合比,监控模板钢筋安装及浇筑质量;施工进度管理需制定合理计划、跟踪分析进度、及时调整偏差,合理调配资源并协调参建单位,如某项目因地质与天气滞后进度,经调计划、增人力设备、优工艺及强协作后,进度得到控制并按时完工。运营阶段风险管理需建公路运营监测系统,用传感器、信息技术等实时监测路面状况、桥隧结构、交通流量,分析数据及时发现隐患,如某项目监测系统发现桥梁桥墩轻微位移裂缝后预警,相关部门及时检测加固避免事故;同时制定详细计划定期检查维护公路,清扫修补路面、检测维护桥隧结构、检修安全设施,如某公路定期灌缝路面、更换桥梁伸缩缝、维护隧道通风照明,延长使用寿命;还需健全应急响应机制,遇事故或突发事件可迅速启动预案、采取措施降低损失^[4]。

4.3 应急措施

针对山区公路可能面临的地质灾害、气候灾害和交通事故等突发事件,制定完善的应急预案至关重要,预案需明确应急组织机构(含应急指挥中心、抢险救援组、医疗救护组、交通疏导组、后勤保障组)及职责分工,指挥中心统筹协调、定救援方案,抢险组清理滑坡体等,医疗组救治转运伤员,交通组管制疏导,后勤组保障物资设备,确保突发事件时各部门协同响应;还需详细规定应急响应流程,突发事件后现场人员立即报指挥中心,中心启动预案并依事件性质组织救援(如地质灾害需勘查评估、清理加固,气候灾害需防滑除雪排水,交通事故需救治伤员、管制交通防二次事故),同时包含后期处置措施,如事故调查查因追责、总结改进,损失评估伤亡与财产损失,恢复重建定方案复公路运营;应急救援体系建设中,关键是建专业应急救援队伍,

队伍需有丰富经验与专业技能,定期培训(含救援知识、技能、防护知识)和演练(模拟各类突发事件)以提能力,如某项目定期组织培训、邀专家授课,年多次模拟滑坡等场景演练,显著提升响应速度与效率;应急物资设备储备是重要保障,需依突发事件类型规模储备抢险工具、照明通信设备、医疗器材、食品及挖掘机、救护车等,定期检查维护并建管理制度明确调配流程,如某储备库储备充足物资设备且定期维保;还需完善应急响应机制,建24小时应急值班制、与周边地区的应急联动机制(如签合作协议调集力量),借信息技术建应急信息平台实现信息共享传递,如某项目与周边交通、消防、医疗部门联动,建信息平台,以此提应急效率与协同能力,保障山区公路安全畅通。

5 结语

本研究聚焦山区公路线路交叉平纵线形协调设计及风险防控,明确平纵线形设计要点(如直线慎用、圆曲线半径合理确定、纵坡与竖曲线控制)及“平包竖”等组合原则;通过西南山区公路案例优化设计,提升安全、舒适、经济与环保性。同时识别地质、气候、施工、运营四类风险,用层次分析法等构建评估体系,从工程技术(如抗滑桩、防滑材料)、管理(各阶段管控)、应急(预案与救援体系)三方面提出防控措施。不足在于未深入研究复杂地质下平纵线形关键技术及新型风险(如极端天气、智能交通新风险)。未来将应用GIS、GPS等技术精准勘察,深化协调设计理论;加强新型风险研究,结合大数据、AI建监测预警系统,创新防控技术,开展跨学科研究推动山区公路可持续发展。

参考文献

- [1] 李建坤.山区复杂条件下公路线形设计要点分析[J/OL].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2024(1)[2024-01-01].<https://www.cqvip.com/doc/journal/2010228886389687296>.
- [2] 谢玮.山区公路改扩建设计要点分析[J].河南科技,2025,52(09):79-83.DOI:10.19968/j.cnki.hnkj.1003-5168.2025.09.015.
- [3] 楚峰.复杂地质条件下山区公路路基施工安全与质量控制如何做?[J].交通建设与管理,2021,(04):46-49.
- [4] 何洋.山区高速公路施工便道路线平纵设计[J].工程建设与设计,2023,(03):86-88.DOI:10.13616/j.cnki.gcjsysj.2023.02.024.