

高速公路交通安全设施优化设计研究

杨成龙

云南省交通科学研究院有限公司 云南 昆明 663100

【摘要】：云南山区高速公路受地形、气候及早期建设标准限制，交通标志、标线、护栏、防眩及防撞设施存在诸多安全隐患，影响行车安全。分析各类交通安全设施现状与核心问题，明确优化设计五大原则、相关规范依据及驾驶人需求导向，从分项设施制定差异化优化方案，构建效果评价体系，结合典型路段验证方案可行性，完善养护管理保障措施。优化方案能提升设施视认性、防护性与耐久性，降低事故发生率，为云南山区高速公路交通安全设施升级改造提供理论支撑与实践参考。

【关键词】：云南山区；高速公路；交通安全设施；优化设计；养护保障

DOI:10.12417/2811-0722.26.08.038

引言

云南高速公路路网持续完善，山区高速桥隧密集、坡长弯急、地质复杂、气候多变，交通安全风险居高不下。交通安全设施是被动防护核心，性能直接决定行车安全水平。早期建设路段设施老化、配置不足、标准不统一，已无法适配重载货车通行、雨雾天气频发的运行需求，交通事故频发制约路网安全高效运行。系统分析云南高速公路交通安全设施现状与问题，结合地域特征制定针对性优化设计方案，验证应用效果并完善保障措施，对提升山区高速行车安全、推动路网高质量发展有重要现实意义。

1 高速公路交通安全设施现状与问题分析

1.1 交通标志现状与存在问题

云南高速公路受山区地形、桥隧密集及早期建设标准限制，交通标志在设置、信息、结构三方面存在系统性短板。昆磨高速大风垭口长下坡、昆石高速、安楚高速等早期通车路段，标志以指路、指示类为主，隧道群、桥隧衔接段、长下坡预警类标志配置不足，告示、旅游区、避险提示等专项标志缺失^[1]。部分指路标志被跨线桥广告牌、路侧林木遮挡，匝道出入口门架式标志多牌并设造成信息过载，驾驶人短时间内难以完整识读，易引发分心驾驶与追尾风险。限速标志设置缺乏时序与空间连贯性，隧道群路段限速值频繁切换且无解除标志，新旧标准标志并存，“超车道”等过时标识未及时清理，信息一致性差。标志版面文字规格、英文翻译不统一，小写拼音、字体偏小问题突出，夜间高等级反光膜覆盖率不足，雨雾天气视认性骤降。桥隧区段标志附着方式杂乱，方柱式立柱占比高，碰撞时对车辆损伤较大，部分标志侵入建筑限界，安全冗余不足。

1.2 交通标线现状与存在问题

云南山区高速弯多坡陡、雨雾天气频发，交通标线耐久性、视认性与功能性存在明显缺陷。早期建设路段多采用热熔刮涂型标线，玻璃珠折射率不达标、分布不均，夜间反光衰减快，通车 2-3 年便出现模糊、剥落、缺损现象。路面文字标记书写方向逆向、尺寸超标，边缘线未预留排水孔道，雨季积水易加

剧滑漂风险。减速标线无统一设置规范，振动标线厚度与条数搭配不合理，下坡、隧道段双组分铁锈红标线无反光功能，视觉辨识度低，且无配套限速标志说明，易让驾驶人产生困惑。标线材料与路段适配性不足，长下坡、隧道路段未采用高耐磨、雨夜反光型双组分材料，普通热熔标线磨损严重，抗滑性能欠缺，与路面摩擦系数不匹配，无法有效辅助车辆控速（见图 1）。



图 1 交通标线现状与存在问题

1.3 护栏设施现状与存在问题

云南高速路侧陡崖、深谷、高边坡路段占比高，护栏防护能力与细节处理存在核心隐患。路侧护栏立柱紧靠边坡点布设，土路肩侧向土压力不足，碰撞时易连根拔起；波形梁护栏防护等级偏低，无法抵御重载货车冲击，路面加铺后护栏有效高度下降，防翻越功能丧失。护栏长度凭经验取值，缺少定量计算，过渡段与桥隧衔接处断开、刚度突变，车辆易从缺口冲出。中央分隔带护栏高度未适配本地车型特征，活动护栏多为伸缩式、插拔式，缺少防撞与导向功能，失控车辆易闯入对向车道。护栏端头多为普通圆头式，无消能结构，正面碰撞易刺穿车身；地锚式端头刚性过强，碰撞损伤较大，外展端头展开率不合理，易引发车辆侧翻与二次事故。

1.4 防眩及防撞设施现状与存在问题

防眩设施类型单一，全线统一采用平板式防眩板，未结合平曲线、竖曲线调整遮光角，凸形竖曲线底部漏光严重，中央分隔带开口处防眩板缺失，夜间对向眩光干扰强烈^[2]。防眩板无过渡段设置，驾驶人视觉适应差，易产生疲劳与不适感。防

撞垫以简易防撞桶为主,结构脆弱、缓冲能力不足,仅能承受轻微碰撞。匝道三角端、隧道入口、桥梁端头等关键部位,防撞垫布设数量不足、排布随意,合流区存在冗余设置与危险点缺失问题,未形成系统化缓冲防护体系,无法有效吸收碰撞能量、降低事故严重程度。

2 高速公路交通安全设施优化设计原则与依据

2.1 优化设计基本原则

优化设计立足云南山区高速“桥隧比高、坡长弯急、地质复杂、气候多变”特征,坚守系统协调、宽容安全、人性适配、经济耐久、地域适配五大原则。统筹标志、标线、护栏、防眩、防撞设施布局,避免单一设施优化引发的功能冲突;融入宽容设计理念,强化护栏消能、防撞垫缓冲、标志解体消能效果,减轻碰撞伤害。围绕驾驶人动态视认、反应特性,确保信息传递连续、清晰、可预判;兼顾全寿命周期成本,优先采用高耐久、低养护材料,适配山区运维条件。结合地形、气候、民族文化特色,实现安全功能与生态景观、地域文化的有机融合。

2.2 相关规范与技术依据

优化设计严格遵循现行国家与行业标准,核心依据有《道路交通标志和标线》(GB 5768-2009)、《公路交通安全设施设计规范》(JTG D81-2006)、《公路交通安全设施设计细则》(JTG/T D81-2006)、《公路交通标志和标线设置规范》(JTG/T D82-2009)。参考美国 AASHTO 护栏指南、欧洲防眩设施统一标准,结合云南昆磨、大保、保龙高速安全提升工程实践经验,兼顾规范刚性要求与山区特殊路段适应性调整。

2.3 驾驶人需求与安全运行导向

以驾驶人安全感知、快速判读、平稳操控、应急避险全流程需求为导向,优化标志前置距离、信息层级与视认条件,确保 120km/h 及隧道 80km/h 设计车速下可完整识读。针对长下坡制动衰减、隧道路线明暗突变、雨雾路面附着下降等痛点,强化控速标线、护栏过渡、防眩连续、防撞缓冲等被动防护。构建“预警—引导—防护—避险”闭环体系,适配云南高速重载货车占比高、外地驾驶人多、应急处置难度大的运行特征(见图 2)。

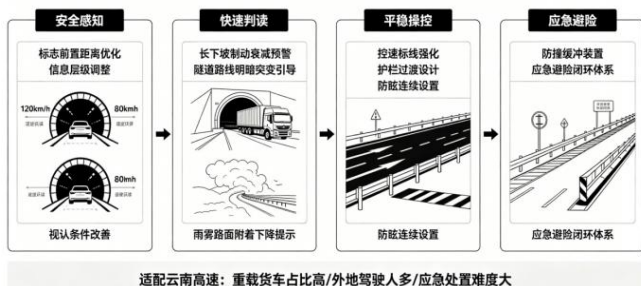


图2 驾驶人需求与安全运行导向

3.高速公路交通安全设施分项优化设计

3.1 交通标志优化设计

纵向按警告、禁令、指示时序提前布设,指路标志前置距离贴合驾驶人反应与操作需求,横向优先布设于右侧无遮挡区域,中央分隔带双侧重复设置。竖向控制悬臂式标志净空 $\geq 5.5\text{m}$,柱式标志下缘距地面 1.5-2.5m,杜绝侵入限界。单柱并设不超过 4 块,按禁令—指示—警告排序,解除限速、禁止超车标志单独设置,标志间距 $\geq 60\text{m}$,采用互不遮挡支撑结构^[3]。版面统一文字规格与英文大写翻译,反光膜升级为一、二级,长下坡、隧道路段采用主动发光标志。结构统一圆柱式立柱,桥隧区段采用落地式与钢盖梁加固,路侧净区内标志采用解体消能结构,配套防撞桶防护。昆磨高速大风垭口优化后,每公里密集布设预警、避险、加水提示标志,信息层级清晰,视认距离提升 50%以上。

3.2 交通标线优化设计

适配云南山区高速地形复杂、雨雾天气多、视线条件差的特点,交通标线采用差异化材料与布设方案,全面提升行车安全性与耐久性。行车道边缘线及路面实线采用热熔喷涂型材料,附着力强、抗磨损、反光效果佳,可适应山区高速车辆制动频繁、路面磨损严重的工况;车行道分界线采用热熔刮涂型,线条清晰规整,方便驾驶员识别车道边界。长下坡、隧道路段光照不足、易积水,标线改用双组分高亮反光材料,增强夜间及恶劣天气视认性,边缘线增设排水孔,避免雨水淤积影响标线识别。路面文字按行车方向布设,尺寸、间距严格执行国家相关标准,清晰易读且干扰行车视线。减速标线分三类优化: I 型涂料振动标线厚度 $\geq 3\text{mm}$,横条间距采用渐变设计,组间距 30-50m,贯通整个车道并配套限速标志,通过振动提醒驾驶员减速; II 型视错觉标线布设于隧道口、收费岛前端,借助视觉误差引导驾驶员提前减速,适应路况突变; III 型彩色防滑铺装用于长下坡路段,采用间断铺装,既实现减速效果,又保障路面排水通畅,全线标线抗滑性能不低于路面本身,实现“控速、视认、排水、耐久”四大功能协同提升。

3.3 护栏系统优化设计

云南山区高速边坡陡峭、地形起伏大、车辆制动负荷高,护栏系统全方位优化以强化防护能力与结构稳定性。路侧护栏立柱与边坡点保持 $\geq 60\text{cm}$ 安全距离,避免边坡坍塌损坏护栏,立柱埋深加密并采用硬化工艺,埋深长度结合结构安全与功能防护双指标定量计算,确保抗倾覆、抗拔能力达标。波形梁护栏全面升级防撞等级,适配山区大型车辆通行需求,路面加铺路段同步抬高护栏高度,防止防护失效。中央分隔带护栏结合山区主流车型重心高度优化,活动护栏采用钢管预应力索式结构,满足 Am 级防护标准,兼具开启灵活与防眩功能,可有效拦截失控车辆。路一桥、路一隧过渡段采用刚度平稳渐变设计,

过渡段长度按两端结构变形量差的 10-12 倍控制，通过波形梁与混凝土护栏镶嵌锚固连接，杜绝刚度突变。护栏端头借鉴美国 ET-2000、SRT-350 消能型式，采用挤压展开、解体消能结构，吸收碰撞能量，降低车辆刺穿与侧翻风险，全面适配山区高速高防护、高安全需求。

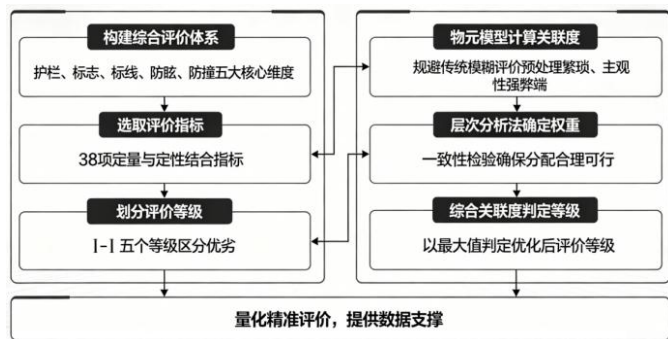
3.4 防眩设施与防撞垫优化设计

云南山区高速直线段长、平曲线半径小、夜间会车眩光影响大，防眩设施与防撞垫系统性优化，构建“分级防护、精准消能”安全体系。防眩设施按路段差异化布设，直线路段遮光角 8° ，植树防眩路段 10° ，平曲线、凸形竖曲线按公式修正，防眩板下缘贴近路面杜绝漏光^[4]。中央开口处防眩板与活动护栏一体化设计，连接牢固抗风达标。防撞垫采用可导向型式，符合欧盟 EN1317 标准，高危路段品字形布设防撞桶+弹性立柱+爆闪灯组合防护，长下坡加密自救水箱与防撞缓冲设施，形成全方位防护体系，有效提升行车安全性。

4 优化方案验证与应用保障

4.1 优化效果评价方法

科学检验高速公路交通安全设施优化方案实际成效，构建涵盖护栏、标志、标线、防眩、防撞五大核心维度的综合评价体系，选取 38 项定量与定性结合的评价指标，划分为 I-V 五个等级区分优劣。采用物元模型计算各指标关联度，规避传统模糊评价预处理繁琐、主观性强弊端；通过层次分析法确定各项指标权重，经一致性检验确保分配合理可行，以综合关联度最大值判定设施优化后的评价等级，实现优化效果量化精准评价，为方案完善提供可靠数据支撑（见图 3）。



参考文献:

- [1] 杨远洪.基于运营高速公路项目的安全设施有效性评价分析[J].交通科技与管理,2025,6(21):182-184.
- [2] 郭文乐.高速公路交通安全设施设置及效果评估[J].交通世界,2025,(31):4-6.
- [3] 赵志伟.高速公路交通安全设施安全评价应用研究[J].运输经理世界,2025,(31):120-122.
- [4] 魏立鑫.高速公路交通工程安全设施施工现场处置[J].汽车画刊,2025,(10):206-208.
- [5] 王德璋.高速公路改扩建工程中交通安全设施迁移施工技术[J].汽车周刊,2025,(11):143-145.

图 3 优化效果评价方法

4.2 典型路段优化应用验证

选取云南昆磨高速大风垭口 27 公里长下坡这一事故高发典型路段作为优化方案验证段，优化后该路段交通标志预警体系连续完善，标线控速功能高效发挥，护栏防护等级显著升级，防眩设施连续无死角，防撞缓冲系统全面到位。同步配套完善自救匝道、大网兜、应急预警系统等辅助设施，实践验证显示，该路段事故率大幅下降 90%，2019 年实现通车 15 年来首次零死亡，重载货车失控、起火等恶性事故明显减少^[5]。昆石、安楚高速标志标线优化后，设施视认性大幅提升，信息过载问题彻底解决，追尾与违法变道事故发生率下降 28%，应急停靠与疏散效率明显提高，充分印证优化方案对云南山区高速公路的适配性与实用性。

4.3 设施养护与管理保障措施

为保障优化方案长期稳定发挥成效，建立“日常巡查一季度检测一年度评定”闭环养护机制，同步推进标志清洁紧固、标线反光性能修复、护栏结构校正、防眩及防撞设施完好性核查等工作，实现常态化开展。长下坡、隧道路段划为 A 级养护区段，大幅缩短巡检周期，明确设施破损后 24 小时内完成处置，确保始终处于良好运行状态。依托高速公路交通安全设施评价管理系统，实现数据录入、现状分析、优化设计、综合评价、权重计算一体化管理，提升管理效率。推行“一路多方”联动联动机制，联合交警、路政、运营单位建立隐患排查与快速处置机制，配套专项养护资金，为优化效果长效稳定提供坚实管理与资金保障。

5 结语

本文围绕云南山区高速公路交通安全设施优化设计展开研究，剖析交通标志、标线、护栏等核心设施存在的系统性短板，结合地域特征确立优化原则与依据，提出分项差异化优化方案，通过典型路段验证与养护保障措施，确保方案落地见效。优化后的设施能有效解决视认性差、防护不足、耐久性弱等问题，大幅降低事故发生率。