

山区公路回头曲线线形设计与行车安全关系分析

曾渝蓉

重庆市交通规划勘察设计院有限公司 重庆 401121

【摘要】：山区公路回头曲线是越岭布线的核心形式，其线形设计的合理性直接决定行车安全。本文以山区地形约束为切入点，从平面参数、纵断面参数及线形组合三个核心维度，分析线形设计与行车安全的内在关联，指出参数选用不合理、组合搭配不规范、地形适配性不足等共性问题，揭示其安全风险成因。在此基础上，提出优化线形参数选用、完善线形组合适配、强化设计管控与配套设施建设等针对性措施，并构建“设计—审核—养护”的长效管控路径。研究成果可为山区公路回头曲线线形设计提供安全导向，助力提升山区公路行车安全性与通行稳定性。

【关键词】：山区公路；回头曲线；线形设计；行车安全

DOI:10.12417/2705-0998.26.03.048

引言

山区地形复杂、高差起伏大，越岭公路布线常依赖回头曲线实现高程过渡，这类曲线因转向角度大、线形参数受限，成为山区公路行车安全的薄弱环节。受地形条件制约，部分回头曲线线形设计存在参数选用不合理、组合搭配不规范等问题，易导致车辆行驶轨迹偏离设计预期，出现切弯、占道等行为，进而引发交通事故。聚焦回头曲线线形设计与行车安全的核心关联，剖析线形设计中存在的突出问题，探索适配山区地形的线形优化路径，既能破解山区公路行车安全痛点，也能完善山区公路设计体系，为后续线形设计与安全管控提供可靠支撑，衔接后续正文对相关问题的深入分析与解决。现有研究多聚焦于平原地区公路线形设计，针对山区回头曲线的专项研究仍显不足，尤其缺乏对地形约束下线形参数与行车安全关联的系统分析。本文立足山区实际，系统剖析回头曲线线形设计的安全风险与成因，提出适配性优化策略，以期弥补现有研究缺口，为山区公路安全设计提供理论支撑与实践参考。

1 山区公路回头曲线线形设计核心要素及现状

1.1 回头曲线线形设计核心构成要素

山区公路回头曲线线形设计的核心要素包括平面参数、纵断面参数及线形组合，三者相互关联、协同影响行车安全。平面参数中，曲线半径作为核心指标，需兼顾地形适配性与行车安全，半径过小会增大车辆离心力，过大则增加工程难度与生态破坏风险；转向角度需适配地形高差，搭配合理的缓和曲线以缓解轨迹突变^[1]。纵断面参数以曲线段纵坡为主，缓和纵坡可降低操作难度，避免溜车或动力不足。线形组合需实现平面与纵断面协同，规避急弯陡坡叠加，保障行驶轨迹连贯与行车安全。

1.2 山区公路回头曲线线形设计现状

山区公路回头曲线线形设计受地形、工程成本、建设条件等多重因素影响，现状呈现明显差异化。新建山区公路大多严格遵循设计规范，结合地形合理选用线形参数、注重线形组合，

实现了地形适配与行车安全的平衡，线形流畅且安全隐患较少。但既有老旧及低标准山区公路的线形设计问题突出，部分路段曲线半径、纵坡不符合规范要求，缓和曲线设置不足，导致车辆过弯轨迹突变；部分路段强行布设曲线，忽视与地形适配，形成急弯陡坡叠加，且安全设施配套不全，进一步加剧行车安全风险，难以适配山区公路行车安全与通行效率的双重要求。

1.3 线形设计中存在的突出共性问题

山区公路回头曲线线形设计的共性问题聚焦于参数选用、组合搭配与地形适配三方面。参数选用常因过度控制成本忽视安全，曲线半径、缓和曲线长度等核心指标不合理，难以匹配车辆自然行驶轨迹，易引发车道偏离、切弯等行为。组合搭配上，平面急弯与陡坡、竖曲线叠加形成不良线形，叠加视线诱导不足，进一步加大视线盲区。地形适配层面，部分设计未贴合山区地形强行布设曲线，引发与山体、沟壑的空间冲突，路侧空间狭窄与视线遮挡并存，显著提升车辆驶出路外、碰撞山体的安全风险。

2 回头曲线线形设计对行车安全的核心影响

2.1 平面线形参数对行车安全的影响

平面线形参数是影响回头曲线行车安全的核心因素，其合理与否直接决定车辆行驶轨迹与操作难度。曲线半径的大小直接影响车辆离心力的大小，半径过小会导致车辆过弯时离心力过大，易出现侧滑、侧翻等风险，同时会迫使驾驶员大幅减速，增加后车追尾隐患；半径过大则会延长路线里程，且可能因地形限制导致曲线与周边地形冲突，形成视线盲区。转向角度与缓和曲线长度也会影响行车安全，转向角度不合理会导致车辆转向操作频繁，增加驾驶员操作负担，缓和曲线长度不足则无法实现车辆轨迹的平稳过渡，易出现轨迹突变，导致车辆偏离车道，进而引发对向碰撞或驶出路外等事故，尤其在山区视线不佳的路段，这种影响更为突出。

2.2 纵断面线形参数对行车安全的影响

纵断面线形参数主要通过影响车辆动力性能与操作难度，间接作用于行车安全。回头曲线段纵坡大小的选择需兼顾动力性与安全性，坡度过大会导致车辆上坡时动力不足、车速下降，下坡时刹车负荷增加，易出现刹车过热失效的情况，尤其在雨雪等恶劣天气，路面摩擦力减小，陡坡会进一步加剧车辆溜滑风险。纵坡与平面曲线的组合合理性至关重要，平面急弯与陡坡叠加会形成危险线形，驾驶员需同时应对转向与坡度变化，操作难度大幅增加，易出现操作失误^[2]。此外，纵断面线形的平顺性也会影响

行车安全，起伏过大的纵断面会导致车辆行驶颠簸，影响驾驶员对车辆的控制，增加安全隐患，无法保障车辆平稳通过回头曲线。

2.3 线形组合适配性对行车安全的影响

回头曲线线形组合的适配性直接决定行车的平顺性与安全性，不合理的组合会放大单一参数的安全隐患。平面线形与纵断面线形的协同适配是核心，平面急弯与陡坡、竖曲线叠加，会导致驾驶员视线受阻，无法提前预判弯道情况与对向来车，同时操作难度增加，易出现操作变形。线形组合与地形、周边环境的适配性也不容忽视，曲线布设未结合山体、沟壑等地形特点，会导致路侧空间狭窄、视线遮挡，车辆过弯时无法及时观察周边情况，增加碰撞风险。此外，相邻回头曲线的间距不合理，会导致驾驶员频繁调整转向与车速，产生疲劳驾驶，进而降低对突发情况的应对能力，加剧行车安全风险，无法实现车辆平稳、安全通过回头曲线路段。

3 山区公路回头曲线线形设计中的安全隐患成因

3.1 设计理念偏差导致安全导向不足

部分回头曲线线形设计存在理念偏差，过度侧重工程成本控制与建设效率，忽视行车安全的核心需求，形成“重建设、轻安全”的设计导向。设计过程中，未充分考虑车辆自然行驶轨迹与驾驶员操作习惯，盲目选用极限线形参数，甚至低于规范要求，导致线形设计与实际行车需求脱节。部分设计人员缺乏对山区地形与行车安全关联的深入认知，简单套用平原地区公路线形设计思路，未结合山区高差大、地形复杂、视线受限等特点进行针对性设计，导致线形参数与山区实际情况不匹配，无法有效规避行车安全隐患，从源头增加了回头曲线路段的安全风险。

3.2 地形约束导致线形设计空间受限

山区地形复杂多样，多为高山、沟壑、崖壁等地形，回头曲线布设需适应高程过渡需求，导致线形设计空间受到严重约束。为减少工程开挖量、降低建设成本，部分回头曲线不得不选用较小的曲线半径、较陡的纵坡，难以满足行车安全的最优参数要求。地形约束还会导致线形组合选择受限，部分路段无

法设置合理的缓和曲线，或出现平面与纵断面线形不良组合，同时路侧空间狭窄，无法预留足够的安全距离，易出现车辆驶出路外、碰撞山体等隐患^[3]。此外，山区地质条件复杂，部分路段因地形限制，无法完善视线诱导、防护等配套设施，进一步加剧了线形设计带来的安全隐患。

3.3 设计规范适配性与执行不到位

现有部分公路设计规范针对山区回头曲线的专项指引不够细化，难以完全适配不同山区地形的差异化需求，导致设计过程中缺乏明确的针对性指引，部分设计人员难以精准把握线形参数的合理范围。同时，部分设计过程中存在规范执行不到位的情况，为迎合地形条件或控制成本，擅自降低线形设计标准，选用不符合安全要求的参数，忽视缓和曲线设置、线形组合适配等关键环节。此外，设计过程中缺乏对后续行车安全的预判，未充分考虑车辆行驶轨迹、驾驶员操作习惯等实际因素，导致线形设计与实际行车场景脱节，无法有效规避潜在的安全隐患，难以保障回头曲线路段的行车安全。

4 提升回头曲线线形设计安全性的优化措施

4.1 优化线形参数选用适配行车安全需求

结合山区地形特点与行车安全需求，科学优化回头曲线线形参数选用，摒弃过度追求成本控制的设计思路，优先保障行车安全。曲线半径的选择需兼顾地形适配性与安全性，在地形条件允许的情况下，尽量选用较大的曲线半径，减少离心力对车辆行驶的影响，同时合理设置缓和曲线，确保车辆轨迹平稳过渡，缓解转向顿挫感。转向角度需适配高程过渡需求，避免角度过大或过小导致的操作难度增加，纵坡设置需控制在合理范围，避免陡坡与急弯叠加，降低车辆操作难度。此外，需结合车辆行驶轨迹特点，优化参数搭配，确保线形参数与驾驶员操作习惯、车辆动力性能相适配，从源头减少安全隐患。

4.2 完善线形组合适配提升行车平顺性

注重回头曲线平面与纵断面线形的协同组合，避免不良线形叠加，提升行车平顺性与安全性。合理搭配平面曲线与纵坡，避免平面急弯与陡坡、竖曲线叠加，减少驾驶员操作负担，同时优化相邻回头曲线的间距，避免驾驶员频繁调整转向与车速，降低疲劳驾驶风险^[4]。结合山区地形特点，优化线形与地形的适配性，充分利用山体、沟壑等地形条件，合理布设回头曲线，避免线形与地形冲突，预留足够的路侧安全空间，减少视线遮挡。此外，注重线形的连续性，确保回头曲线与前后路段线形顺畅衔接，避免轨迹突变，提升车辆行驶的稳定性和安全性，减少安全隐患。

4.3 强化设计管控与配套设施完善

强化回头曲线线形设计全过程管控，树立安全优先的设计理念，完善设计审核机制，确保设计规范严格执行，杜绝擅自降低设计标准的情况。加强设计人员专业培训，提升其对山区

地形、行车安全与线形设计关联的认知,结合实际工程案例,优化设计思路,提升设计的针对性与合理性。同时,完善回头曲线路段配套安全设施,结合线形特点设置视线诱导设施,缓解视线盲区问题,合理布设防护栏、警示标识等设施,减少车辆驶出路外、碰撞山体的风险。此外,可引入科技赋能手段,推广应用弯道预警系统,实现对来车动态的实时监测与预警,进一步提升回头曲线路段的行车安全性。

5 山区公路回头曲线线形设计安全管控长效路径

5.1 建立地形与设计适配的专项指引

结合不同山区地形特点,建立回头曲线线形设计专项指引,细化不同地形条件下的线形参数选用标准、组合搭配要求,为设计人员提供明确的针对性指引,避免盲目套用设计规范。针对高山、沟壑、崖壁等不同地形类型,分类明确曲线半径、纵坡、缓和曲线长度等核心参数的合理范围,结合高程过渡需求,优化转向角度设置,确保线形设计与地形条件有机融合。同时,结合车辆行驶轨迹特点与驾驶员操作习惯,完善线形设计细节,提升设计的实用性与安全性,确保回头曲线线形设计既适配地形条件,又能满足行车安全需求,为长效安全管控奠定基础。

5.2 完善设计审核与动态优化机制

完善回头曲线线形设计审核机制,建立多层次审核体系,重点审核线形参数选用、组合搭配、地形适配性等关键环节,确保设计方案符合安全要求,杜绝设计漏洞。引入行车安全预判机制,在设计阶段模拟车辆行驶轨迹,预判潜在的安全隐患,及时优化设计方案。建立线形设计动态优化机制,结合道路运

营过程中的行车安全反馈,定期对回头曲线线形进行排查,针对出现的安全隐患,及时调整线形参数、完善组合搭配,确保线形设计始终适配行车安全需求^[5]。同时,加强设计与运营的衔接,将运营过程中的安全数据转化为设计优化的依据,提升线形设计的科学性与长效性。

5.3 强化设计与养护的协同管控

强化回头曲线线形设计与后期养护的协同管控,将养护需求纳入设计环节,在设计阶段充分考虑后期养护的便利性,避免因线形设计不合理导致养护难度增加。定期对回头曲线路段进行养护排查,重点检查线形完整性、路面平整度、配套设施有效性等,及时修复路面破损、防护设施损坏等问题,确保线形始终保持良好状态,保障行车安全。加强设计人员与养护人员的沟通协作,养护人员及时将运营过程中发现的线形问题反馈给设计人员,设计人员结合反馈优化后续设计方案,形成“设计-养护-优化”的闭环管控体系。同时,加强路域环境整治,清理曲线周边遮挡视线的植被、杂物,进一步提升回头曲线路段的行车安全性与通行稳定性。

6 结语

本文围绕山区公路回头曲线线形设计与行车安全的关联,明确了线形设计核心要素及现存问题,剖析了线形设计对行车安全的影响与隐患成因,提出了优化措施及长效管控路径。合理的回头曲线线形设计是保障山区公路行车安全的关键,需兼顾地形适配与安全需求,优化参数选用与组合搭配,完善管控机制。此举可有效规避安全隐患,提升山区公路通行稳定性,为山区公路建设与安全运营提供可靠支撑,助力山区交通运输高质量发展。

参考文献:

- [1] 辛凯业.山区公路路线设计原则及关键点[J].四川水泥,2025,(07):220-222.
- [2] 郑大林,张力驰.浅谈山区公路选线应重点考虑的几个问题[J].低碳世界,2025,15(06):142-144.
- [3] 刘通,张中刚,刘唐志,等.山区公路线形及天气对驾驶人生理及行为特性影响[J].人类工效学,2024,30(04):6-11.
- [4] 陈键.山区长大纵坡公路选线方法浅析[J].交通科技与管理,2024,5(07):24-27.
- [5] 孟颖茹.山区公路路线设计原则及要点分析[J].交通世界,2023,(31):61-63.