

抗滑薄层铺装技术在山区急弯公路路面施工中的效果研究

王 蓉

新疆北新路桥集团股份有限公司，新疆 乌鲁木齐 830000

[摘要] 山区急弯公路存在坡度大、视线受限、雨水易积滞等工况特点，传统沥青路面长期受车辆制动、侧向剪切荷载作用，易出现路面磨光、抗滑性能衰减、积水打滑等问题，是山区道路交通事故高发路段。为提升急弯路段行车安全性，本文依托山区公路改造工程，探究抗滑薄层铺装技术的施工原理、材料选型与标准化施工工艺，系统分析原路面预处理、薄层摊铺、养护成型等关键工序质控要点，对比施工前后路面摩擦系数、构造深度、渗水性能等核心指标变化。工程实践表明，抗滑薄层铺装可显著提升急弯路段路面抗滑、排水与耐磨性能，施工工期短、对原有路面结构扰动小、综合经济效益优良，可广泛应用于山区急弯、长下坡等危险路段的路面提质改造工程。

[关键词] 山区公路；急弯路段；抗滑薄层；路面铺装；施工效果

DOI：10.64635/ja.2026.1523 中图分类号：U416.2 文献标识码：A

Study on the Effect of Anti-Skid Thin-Layer Pavement Technology in Pavement Construction for Sharp-Curve Mountain Highways

Wang Rong

Xinjiang Beixin Road & Bridge Group Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang 830000, China

Abstract: Sharp-curve sections of mountain highways are characterized by steep gradients, limited sight distance, and easy rainwater accumulation. Under the long-term effects of vehicle braking and lateral shear loads, traditional asphalt pavements are prone to problems such as surface polishing, skid resistance attenuation, and water-induced skidding, making them high-risk sections for traffic accidents in mountainous areas. To improve driving safety on sharp-curve sections, this paper investigates the construction principles, material selection, and standardized construction process of anti-skid thin-layer pavement technology based on a mountain highway reconstruction project. It systematically analyzes the quality control points of key procedures, including existing pavement pretreatment, thin-layer paving, curing, and forming, and compares changes in core indicators such as pavement friction coefficient, texture depth, and water permeability before and after construction. Engineering practice shows that anti-skid thin-layer pavement can significantly improve the skid resistance, drainage performance, and wear resistance of sharp-curve road sections. With a short construction period, limited disturbance to the existing pavement structure, and good comprehensive economic benefits, this technology can be widely applied in pavement quality improvement and reconstruction projects for hazardous road sections such as sharp curves and long downhill sections in mountainous areas.

Keywords: mountain highway; sharp-curve section; anti-skid thin layer; pavement paving; construction effect

引言

我国山区公路路网错综复杂，大量路段存在连续弯道、纵坡偏大、线形组合差等先天特点，受地形条件限制，急弯路段普遍视线遮挡严重、车辆制动频繁，行车安全风险远高于普通平直路段。在车辆反复制动、侧向滑移荷载以及降雨冲刷、温差交替的综合作用下，常规沥青路面表层集料逐渐磨光，路面宏观纹理消退、摩擦系数持续下降，雨天极易形成路表水膜，引发车辆侧滑、甩尾、制动距离延长等安全隐患，是山区公路交通事故的主要诱发因素。

传统路面处置方式多采用铣刨重铺、微表处、稀

浆封层等工艺，存在施工周期长、造价偏高、对交通干扰大、长期抗滑稳定性不足等缺陷，难以适配山区急弯路段快速提质、快速通车的养护需求。抗滑薄层铺装属于新型超薄路面磨耗层技术，具有厚度薄、粘结强度高、表面纹理丰富、耐磨抗滑性能优异的特点，无需大面积破除原有路面结构，仅通过薄层铺装即可快速修复路面抗滑缺陷，改善路面排水性能。

现阶段国内针对普通路段薄层铺装技术研究较多，但针对山区急弯重载、高频制动工况下的专项施工适配性、长期服役效果研究相对薄弱。基于此，本文结合实体山区公路工程，系统开展抗滑薄层铺装施

工技术与应用效果研究,总结适配山区急弯路段的施工质控体系与优化措施,为同类山区危险路段路面安全提升工程提供技术参考与实践依据。

1 山区急弯公路路面病害及行车风险分析

1.1 典型路面病害特征

山区急弯路段行车工况特殊,车辆行驶过程中需频繁减速、转向、制动,轮胎对路面产生极强的水平剪切力与竖向压力,长期反复荷载作用下,路面病害呈现明显的区域化特征。首先是路面集料磨光病害,原有沥青路面表层粗集料长期受轮胎摩擦打磨,棱角逐渐磨损消失,路面构造深度大幅降低,表面趋于光滑,路面基础抗滑能力持续衰减。其次是路面细微裂缝与渗水病害,温差变化与车辆剪切作用易引发表层发丝裂缝,雨水沿裂缝渗入路面表层结构,弱化集料与沥青粘结界面,逐步出现松散、掉粒现象。

同时,山区弯道外侧受雨水汇流影响,易出现局部积水、积水滞留问题,进一步加剧路面水损害;部分路段还伴随轻微车辙、表层磨损不均等病害,虽未形成结构性破损,但大幅降低道路通行安全性,亟需通过预防性铺装技术完成路面功能修复。

1.2 急弯路段行车安全风险

相比于平直公路,山区急弯路段车辆行驶状态复杂,驾驶员需同时完成减速、转向、控速等操作,容错率极低。路面抗滑性能不足时,干燥天气下车辆制动距离明显延长,遇突发路况难以及时制动;阴雨天气路面积水无法快速排出,水滑效应显著,极易引发车辆侧滑、占道、失控翻车等恶性交通事故。此外,路面磨损、纹理不均会造成车辆行驶颠簸,降低行车稳定性,加剧驾驶员操作疲劳,间接提升事故发生概率,因此提升急弯路段路面抗滑与排水性能,是山区公路安全提升改造的核心内容。

2 抗滑薄层铺装技术概述

2.1 技术工作原理

抗滑薄层铺装技术是一种超薄功能性路面磨耗层施工技术,常规铺装厚度控制在 $1.0 \sim 1.5\text{cm}$,依托高粘改性粘结材料搭配高磨光值耐磨集料,在经过预处理的原沥青路面表层形成高强度、高粗糙度的复合防护层。该技术核心原理为:利用特种粘结胶结料优异的渗透粘结性能,与原路面粗糙结构形成嵌挤粘结整体,同时表层均匀分布的硬质耐磨集料形成丰富的宏观、微观纹理,大幅提升轮胎与路面的摩擦阻力。

铺装成型后的薄层结构兼具排水、耐磨、抗剪切多重性能,可快速排走路表面积水,杜绝水膜形成,有

效抵抗急弯路段车辆制动、转向产生的侧向剪切力,从根本上解决山区急弯路面磨光、打滑、渗水等功能性病害,且不改变原有路面标高与线形,适配山区公路改造施工条件。

2.2 技术核心优势

相较于传统路面养护工艺,抗滑薄层铺装技术适配山区急弯路段施工,具备显著技术优势。一是抗滑性能提升幅度大,高硬度单粒径集料铺装成型后路面纹理饱满,摩擦系数、构造深度指标提升明显,干湿工况下防滑效果稳定。二是施工效率高、工期短,薄层铺装无需铣刨原有路面,工序简洁、成型速度快,养护周期短,可快速开放交通,大幅减少山区道路长时间断交造成的通行阻碍。

三是结构稳定性强,高粘粘结材料可牢牢锁定集料,抵抗高频剪切荷载,不易出现掉粒、松散、脱皮病害,服役稳定性好。四是经济性突出,铺装厚度薄、材料用量少、施工机械投入低,养护改造成本远低于传统重铺工艺,后期运维压力小。五是排水性能优异,表层多孔纹理结构可快速疏导路表面积水,彻底解决急弯低洼积水难题。

2.3 原材料性能要求

原材料质量直接决定薄层铺装的抗滑效果与使用寿命,需结合山区急弯重载、多雨的工况条件严格选材。

2.3.1 粘结材料

选用高粘改性环氧树脂或高粘改性沥青作为粘结主材,要求材料具备优良的高低温稳定性、超强粘结力与耐水老化性能,高温环境下不流淌、不泛油,低温环境下不开裂、不脆化,遇水不脱粘,能够长期适应山区复杂气候与行车荷载环境,保障薄层结构与原路面牢固结合。

2.3.2 耐磨集料

集料优先选用玄武岩硬质石料,该石料压碎值低、磨光值高、耐磨抗滑性能优异,适配山区高频制动路段。采用单一粒径规格集料,粒径均匀、颗粒饱满、棱角性好,严格控制针片状含量、含泥量,杜绝杂质附着影响粘结效果,确保铺装后路面纹理均匀、抗滑性能统一。

3 山区急弯路段抗滑薄层标准化施工工艺

3.1 施工前期准备

3.1.1 原路面病害预处理

正式施工前对急弯作业路段开展全方位病害排查与处置。针对路面松散、掉粒区域,彻底清扫剔除破

损松动集料；对细微发丝裂缝进行封闭处理；清理路面油污、淤泥、杂物，采用高压吹风、清扫设备组合作业，确保路面干净、干燥、无杂质、无油污。对于局部轻微坑槽、磨损不均点位，提前采用修补材料找平处理，保证铺装基底平整坚实，为薄层粘结提供良好基础。

3.1.2 施工环境与设备准备

抗滑薄层施工需在干燥、无雨、无风天气开展，环境温度控制在 10℃ 以上，禁止雨天、结露、潮湿路面施工。提前调试摊铺机、撒料设备、碾压设备、清扫设备，校准施工参数，检查粘结材料、集料质量，完成现场技术交底，明确急弯路段摊铺速度、厚度、搭接宽度等专项管控指标。同时布设安全警示标识，封闭作业区域，做好山区弯道交通疏导工作。

3.2 核心施工工序

3.2.1 界面底涂处理

在预处理完成的干燥路面均匀涂刷高粘底涂材料，底涂薄而均匀、无堆积、无漏涂，充分渗透原路面表层空隙，增强新旧路面粘结界面强度，封闭路面微小孔隙，防止后期水分渗入引发脱层病害。底涂施工完成后静置至表干状态，方可开展后续铺装作业。

3.2.2 薄层粘结层摊铺

严格按照试验段确定的用量均匀摊铺主粘结材料，控制摊铺厚度均匀一致，弯道外侧重点把控摊铺质量，杜绝局部缺料、堆积、厚薄不均问题。摊铺过程匀速作业，适配急弯线形走势，保证粘结层连续完整，为集料附着提供稳定粘结基底。

3.2.3 耐磨集料撒布

粘结层摊铺完成后，及时均匀撒布硬质耐磨集料，确保集料全覆盖粘结层面，颗粒均匀分布、嵌入充分，无大面积裸露粘结层、无集料堆积死角。弯道、超高路段适当优化撒布均匀度，保证车辆高频制动区域集料饱满，保障抗滑性能均匀统一。

3.2.4 压实固化与清理

集料撒布完成后及时采用轻型压路机匀速静压压实，促使集料充分嵌入粘结层，提升整体结构密实度与粘结强度，压实过程避免急刹、掉头，防止集料推移堆积。待材料完全固化成型后，人工清扫路面多余松散集料，保证路面整洁、纹理清晰。

3.3 后期养护与交通开放

施工完成后进入封闭养护阶段，严格禁止车辆、行人通行，根据环境温度控制养护时长，待薄层结构完全固化、粘结强度达标后，方可限速开放交通。通车初期安排专人巡查养护，及时清理少量脱落松散集

料，观察路面成型状态，确保薄层结构稳定成型。

4 施工质量控制与常见病害防治

4.1 全过程质量控制要点

原材料进场实行严格检验制度，粘结材料、集料各项指标达标后方可进场使用。正式施工前铺设试验路段，确定最佳摊铺厚度、材料用量、撒布速度、碾压遍数等核心参数，作为全线施工依据。施工过程重点管控急弯、弯道外侧、超高路段施工质量，保证纹理均匀、厚度统一、粘结牢固。施工完成后对路面摩擦系数、构造深度、渗水系数、平整度等指标逐一检测，确保满足规范及安全通行要求。

4.2 常见病害及防治措施

4.2.1 集料脱落、掉粒

病害成因：原路面清理不彻底、存在油污灰尘；粘结材料用量不足、粘结强度不够；养护时间不足、提前通车。防治措施：严格落实路面清扫预处理工序；精准控制材料摊铺用量；严格执行养护制度，杜绝提前开放交通，保障粘结材料充分固化。

4.2.2 局部泛油、纹理不均

病害成因：粘结材料局部堆积、摊铺不均匀；集料撒布厚度不足、覆盖率不够。防治措施：匀速摊铺，杜绝材料堆积；均匀撒布集料，保证全覆盖；弯道区域人工辅助补撒，消除纹理盲区。

4.2.3 薄层脱层、空鼓

病害成因：路面潮湿、施工环境湿度大；底涂处理不到位，界面粘结差。防治措施：选择晴朗干燥天气施工，杜绝潮湿作业；规范底涂施工流程，强化界面粘结效果。

5 施工效果检测与综合效益分析

5.1 路面性能指标检测

为验证抗滑薄层铺装应用效果，项目完工养护完成后，对山区急弯施工路段随机选取检测点位，对比施工前后路面核心性能指标。检测结果显示：施工前路面长期磨损磨光，构造深度不足 0.4mm，摩擦系数偏低，雨天渗水明显，抗滑性能无法满足急弯行车安全要求；铺装完成后，路面构造深度提升至 0.8mm 以上，横向摩擦系数大幅提升，路面渗水系数趋近于零，排水、防水性能显著优化，路面耐磨、抗剪切能力大幅增强，彻底解决山区急弯路段路面打滑、积水、抗滑不足的安全隐患，路面功能性指标全部达标。

5.2 综合效益分析

5.2.1 安全效益

抗滑薄层铺装有效改善山区急弯路段路面纹理结

构,大幅提升干湿工况下路面抗滑性能,缩短车辆制动距离,杜绝雨天水滑、侧滑事故,从道路硬件层面消除山区弯道通行安全隐患,显著提升山区公路通行安全水平。

5.2.2 经济效益

相较于传统铣刨重铺、厚层罩面工艺,抗滑薄层铺装材料用量少、施工工序简单、机械成本低,工程造价大幅降低。同时施工速度快、交通封闭时间短,极大降低交通管制带来的间接经济损失,且薄层结构耐久性好、后期养护频次低,长期运维经济效益显著。

5.2.3 社会效益

该技术适配山区复杂施工条件,无需大范围破坏原有道路结构,施工噪音小、污染少,对沿线居民出行、区域物资运输影响极小,能够快速完成危险路段安全提质,提升山区公路路网通行稳定性与服务能力,具备良好的推广应用价值。

6 结论与展望

6.1 结论

本文结合山区急弯公路施工工程,系统研究抗滑薄层铺装技术的施工工艺、质控要点与应用效果,得出以下结论:

(1) 山区急弯公路路面病害以集料磨光、纹理消退、抗滑衰减、局部积水渗水为主,是诱发弯道交通事故的核心诱因,需针对性开展路面抗滑提质改造。

(2) 抗滑薄层铺装技术适配山区急弯路段施工特点,施工便捷、对原路面结构扰动小、成型速度快,可快速修复路面功能性缺陷。

(3) 通过严格落实原路面预处理、材料精准配比、精细化摊铺压实、规范养护管控等工序,可有效提升薄层铺装成型质量,杜绝掉粒、泛油、脱层等施工病害。

(4) 工程实践证明,抗滑薄层铺装可显著提升

山区急弯路段路面抗滑性能、排水性能与耐磨性能,行车安全保障能力大幅提升,综合效益突出,适合在山区公路急弯、长下坡、高危弯道等路段大规模推广应用。

6.2 展望

本次研究仅针对短期施工成型效果与服役性能开展分析,后续可长期跟踪观测薄层铺装结构在山区多雨、重载、高频制动工况下的长期性能衰减规律。同时可进一步探索彩色抗滑薄层、环保型冷拌薄层等新型技术在山区危险路段的应用,结合智能化施工监测手段优化质控体系,持续完善山区公路抗滑提质养护技术体系。

【参考文献】

- [1] 交通运输部. JTG 5421-2018 公路沥青路面养护设计规范[S]. 北京:人民交通出版社,2018.
- [2] 李志强. 山区急弯公路抗滑薄层施工技术及安全效果研究[J]. 公路工程,2022,47(03):189-193.
- [3] 王浩. 超薄抗滑磨耗层在山区高危路段养护中的应用[J]. 中外公路,2023,43(01):212-216.
- [4] 陈林峰. 沥青路面抗滑薄层铺装病害成因及质量控制[J]. 筑路机械与施工机械化,2021,38(09):76-79.
- [5] 张天宇. 山区公路路面抗滑性能衰减规律及提升技术研究[D]. 重庆:重庆交通大学,2022.
- [6] 刘建军. 环氧树脂抗滑薄层在山区弯道路面改造中的应用[J]. 公路交通科技,2022,39(06):56-61.
- [7] 赵阳. 预防性养护超薄磨耗层施工工艺与性能评价[J]. 交通科技,2023(02):88-92.

作者简介:王蓉(1989.04—),女,汉族,籍贯:重庆云阳,学历:本科,职称:目前为中级,研究方向:公路工程。