

沥青路面抗滑性能衰减机理分析

马 宁

四川振通检测股份有限公司 四川绵阳

【摘要】沥青路面在长期服役过程中，其抗滑性能会因交通荷载、环境因素以及材料性能的变化而不断衰减。抗滑性能的降低不仅影响行车安全，还会加速路面结构的破坏，进而缩短使用寿命。本文以抗滑性能衰减机理为核心，系统分析了路表纹理磨耗、集料特性退化、沥青老化及环境作用等因素对抗滑性能的影响机理，阐述了微观材料特性与宏观力学性能之间的耦合关系。抗滑性能衰减是多因素共同作用的结果，其中交通荷载主导了纹理变化，而环境作用则加速了材料性能劣化。通过机理分析可为抗滑性能评价、养护决策及新型路面材料研发提供理论依据。

【关键词】沥青路面；抗滑性能；衰减机理；材料特性；交通荷载

【收稿日期】2025年4月22日 **【出刊日期】**2025年5月16日 **【DOI】**10.12208/j.ace.2025000200

Analysis on the attenuation mechanism of skid resistance of asphalt pavements

Ning Ma

Sichuan Zhentong Inspection Co. Lte, Mianyang, Sichuan

【Abstract】 During the long-term service of asphalt pavements, their skid resistance continuously attenuates due to traffic loads, environmental factors, and changes in material properties. The reduction in skid resistance not only affects driving safety but also accelerates the damage to the pavement structure, thereby shortening its service life. Focusing on the attenuation mechanism of skid resistance, this paper systematically analyzes the influence mechanisms of factors such as pavement surface texture wear, aggregate characteristic degradation, asphalt aging, and environmental effects on skid resistance, and elaborates on the coupling relationship between micro-material properties and macro-mechanical properties. The attenuation of skid resistance is the result of the combined action of multiple factors: traffic loads dominate the texture changes, while environmental effects accelerate the deterioration of material properties. The mechanism analysis in this paper can provide a theoretical basis for the evaluation of skid resistance, maintenance decision-making, and the research and development of new pavement materials.

【Keywords】 Asphalt pavement; Skid resistance; Attenuation mechanism; Material property; Traffic load

引言

沥青路面作为现代交通运输的主要结构形式，其抗滑性能直接关系到车辆的行驶安全与道路的服务水平。抗滑性能的衰减问题在道路养护与交通安全领域长期受到关注。大量研究表明，道路在服役过程中受多种因素影响，纹理逐渐磨损、材料性能退化，从而引发抗滑能力的下降。如何揭示抗滑性能衰减的内在机理，已经成为学术研究和工程实践的重要课题。通过深入分析交通荷载、环境作用及材料特性之间的耦合作用，不仅能够解释抗滑性能的演变规律，还能为优化道路设计和制定科学的养护策略提供理论支持。对沥青路

面抗滑性能衰减机理的研究，具有重要的理论价值与现实意义。

1 沥青路面抗滑性能衰减的研究背景与问题提出

沥青路面在我国道路体系中占据主体地位，其表面抗滑性能是确保道路交通安全的重要指标。长期服役条件下，沥青路面的抗滑性能往往呈现不可逆的衰减趋势。大量交通事故案例表明，路面抗滑性能不足往往是导致雨天侧滑和制动距离增加的重要因素^[1]。随着交通量的增加，车辆荷载水平不断攀升，道路结构承受的压力日益增大，表面纹理容易受到持续磨耗。在复杂气候环境的作用下，沥青材料还会出现硬化、开裂和老

化,进一步加速抗滑性能的退化。这种衰减不仅影响行车安全,也会导致路面使用寿命缩短,从而增加养护和重建成本。如何准确揭示抗滑性能衰减的机理,已经成为道路工程领域亟需解决的现实问题。

从材料学角度看,沥青混合料由沥青胶结料和矿料组成,两者共同决定了表面纹理的粗糙度与稳定性。交通荷载作用下,矿料间结合强度逐渐削弱,沥青膜磨损甚至剥落,微观孔隙率和宏观摩擦系数都会随之下降。环境因素如高温、低温、降雨、冻融循环等,则会改变沥青的黏弹特性和集料表面的附着状态,进一步引起抗滑能力的波动。这种由外力与环境交替作用产生的复杂耦合效应,使得抗滑性能衰减呈现出阶段性和区域性特征,不同路段、不同交通条件下表现出显著差异。

在工程应用中,传统的路面设计多注重承载力和结构稳定性,对抗滑性能的长期演化规律关注不足。许多道路在建设初期摩擦系数较高,但通车数年后即出现明显下降,尤其在重载交通和多雨地区更为突出。由于缺乏有效的预测模型和预警机制,往往导致抗滑性能衰减到危险临界点后才被发现,增加了治理难度。基于此,亟需开展系统性的机理研究,从交通荷载、环境作用、材料性能三方面综合揭示抗滑性能的衰减过程,构建科学的评价方法与养护策略,以实现道路全寿命周期内的安全运行与经济效益最大化。

2 交通荷载作用下路表纹理磨损与性能退化机理

交通荷载是导致沥青路面抗滑性能衰减的主导因素。车辆轮胎在行驶过程中与路面表面形成强烈摩擦,直接作用于粗糙纹理。随着荷载次数的不断累积,表层集料逐渐被磨平甚至剥落,宏观构造深度显著降低。特别是大型货车的高轴载作用,使得沥青胶结料在局部高应力下出现疲劳裂纹,表面粗糙度下降,摩擦系数不可避免地衰减。交通荷载还会引发塑性流动,使路表产生车辙,这一过程会进一步削弱排水性能,导致雨天路面极易出现滑水现象。轮胎与表面的重复剪切作用,则是引起微观纹理磨损和材料剥离的重要机制。

从微观力学角度分析,车辆荷载对沥青路面的作用表现为周期性应力扰动。长期应力积累会导致集料颗粒间的接触界面失稳,胶结料出现粘结力降低。沥青混合料内部的细集料容易在反复摩擦中被剥离,造成表层骨架结构的松弛与重组,表观摩擦性能逐渐弱化。轮胎高速旋转产生的摩擦热会促使沥青软化,增加了塑性变形的概率,使得粗糙纹理更容易被磨平。这种由荷载驱动的微观结构退化过程具有不可逆性,导致抗

滑性能随时间呈现单调下降趋势。

工程实践表明,在交通量大、重载车辆集中的道路路段,抗滑性能衰减速度显著高于普通道路。例如高速公路货运专用道,由于车辆荷载密集,常在短期内出现摩擦系数急剧下降的情况。路表产生的车辙与抛光集料区域相互叠加,进一步放大了安全隐患^[2]。传统的设计方法未充分考虑荷载累积效应对抗滑性能的长期影响,导致道路在使用过程中频繁需要养护。因而,有必要通过深入研究交通荷载与纹理磨损之间的关系,建立荷载水平、作用次数与抗滑性能衰减的定量模型,为道路寿命预测和抗滑设计提供科学依据。

3 环境因素与材料老化对抗滑性能的影响机理

环境作用在抗滑性能衰减过程中同样起到关键作用。高温条件下,沥青会表现出黏弹性增强与流动性增加,表层纹理因软化而更易被车辆荷载压平。低温条件下,沥青脆化显著,受荷载作用时表面容易开裂,使得集料失去约束而脱落。降雨会造成路面表层的水膜效应,直接削弱轮胎与路面的摩擦力,长期作用还会加速胶结料的水损害,导致剥离和坑槽的产生。冻融循环则通过反复膨胀和收缩,使路面内部产生微裂纹,促使抗滑性能逐步退化。这些环境因素叠加作用,显著缩短了沥青路面的使用寿命。

沥青材料的老化过程具有累积性和不可逆性,其作用机制远比表面现象复杂。光氧化作用不仅改变了沥青分子的化学组成,还会导致芳香组分和胶质逐渐减少,而沥青质含量相对增加,从而破坏了原有的胶体平衡结构,使材料逐步失去黏弹特性。老化后的沥青膜在温度变化和荷载作用下更容易开裂,导致包裹在其内的集料暴露并遭受直接磨耗,路表摩擦力随之显著下降。紫外线的持续照射会加速自由基反应,形成更多极性官能团,使沥青硬化趋势加剧^[3-7]。水分渗入不仅削弱了沥青与矿料的黏附性,还可能引起剥落和坑槽,盐分的存在更会通过化学反应破坏界面结合力。这种由物理、化学和环境共同驱动的老化效应,使得抗滑性能呈现出多阶段递减特征。若缺乏有效的抗老化措施,道路往往在设计寿命未满时便提前出现安全隐患,严重影响道路的服役质量与耐久性。

不同地区气候条件差异明显,使得环境作用对抗滑性能的影响存在显著区域性。在南方多雨地区,水损害是主要问题,常导致抛光集料与坑槽现象严重;而在北方寒冷地区,冻融循环频繁,裂缝与脱落更为突出。高温地区则容易发生流动变形与车辙,削弱表层粗糙度。由于环境作用不可控且长期存在,抗滑性能的衰减

具有复杂性和不可预测性。需要结合气候条件与材料特性开展区域化研究,开发耐高温、抗水损害、抗冻融的新型沥青混合料,并建立环境作用下抗滑性能演化的预测模型,以提升道路的适应性与安全性。

4 基于机理分析的抗滑性能提升与养护对策

在明确抗滑性能衰减机理的基础上,可以从材料改进、结构优化与养护策略三个方面提出提升与控制措施。材料方面,应注重集料的耐磨性与抗抛光性能,选择高硬度、粗糙度较高的矿料,提升表面构造的稳定性。沥青胶结料可采用改性技术,通过掺加聚合物、橡胶粉等改善黏结力和抗老化能力,从源头延缓性能退化。结构设计方面,可通过优化混合料级配,提高骨架密实度,使表面具备更持久的粗糙度与摩擦性能。排水路面与微表处技术也能有效减少雨天滑水效应,从而延缓抗滑性能的下降。

在养护层面,定期监测抗滑性能变化,建立摩擦系数数据库,能够实现对路面状态的动态掌控。一旦发现摩擦系数接近临界值,应及时采取干预措施。常见养护手段包括喷砂处理、表面再生、超薄磨耗层铺筑等,这些措施能够恢复表面粗糙度并延缓衰减过程。对于交通量大的高速公路,可采用微表处或超薄磨耗层快速修复,保证养护效率与道路通行能力。应结合交通荷载与环境作用的规律,制定分区域、分等级的养护方案,避免“一刀切”式治理。科学的养护机制不仅能延长道路使用寿命,还能显著降低全寿命周期内的养护成本。

在未来发展方向上,应强化智能化与信息化技术的应用。通过在道路表面和结构层布设高灵敏度传感器,可以实现对摩擦系数、温度、湿度以及荷载作用的实时监测;利用无人机结合高分辨率影像与激光扫描技术,可快速获取大范围路面的纹理特征数据,并在短时间内完成精准评估;大数据与人工智能算法的引入,则能够对监测结果进行深度学习和趋势分析,从而提前预测潜在的抗滑风险。基于机理分析建立的预测模型,可实现多维度参数的耦合计算,为管理部门提供科学的养护时机与措施选择^[8]。材料研发方面,纳米改性剂能够改善沥青的分子结构,提高其抗老化和抗水损害能力;光催化材料则具备自清洁与抗污染性能,有助

于长期维持表面粗糙度。通过材料创新与智能监测的有机结合,道路工程能够逐步实现由传统的被动修复向主动预防转型,从根本上提升道路运行的安全性与耐久性,降低社会经济损失。

5 结语

沥青路面抗滑性能的衰减机理复杂而多元,既受到交通荷载作用下纹理磨耗的持续影响,也受到环境因素与材料老化的协同作用。通过对其形成机理的深入分析,可以更为科学地揭示抗滑性能演化规律,并为后续评价与预测提供理论支撑。未来的发展应在材料创新、结构优化与智能化养护技术方面持续探索,尤其在大数据与传感监测结合的背景下,有望实现由被动修复向主动预防的转变。这不仅有助于保障交通安全,还能提升道路全寿命周期的经济与社会效益。

参考文献

- [1] 张磊刚,余彪,朱旺,等.沥青路面人造纹理多目标优化设计[J/OL].公路工程,1-9[2025-09-30].
- [2] 张萍.喷砂雾封层对沥青路面的抗滑效果研究[J].中国新技术新产品,2025,(18):114-116.
- [3] 吴申.沥青路面抗滑性能研究现状综述[J].上海公路,2025,(03):12-17+246.
- [4] 王宏博,邱天,郭瑞,等.风积沙对公路沥青路面抗滑性能的影响研究[J].交通科技与管理,2025,6(17):85-87.
- [5] 蔡爵威.基于数字图像技术的沥青路面纹理重构和抗滑性能评价方法综述[J].城市道桥与防洪,2025,(08):1-8.
- [6] 宁丽,彭兴菊.公路工程沥青路面抗滑性能试验检测[J].大众标准化,2025,(15):182-184.
- [7] 范腾.沥青路面抗车辙性能评价及材料优化探讨[J].工程建设与设计,2025,(13):136-138.
- [8] 甄育红.沥青路面抗滑性能试验与衰变预测研究[J].交通世界,2025,(18):36-38.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS