

# 公路路面抗滑性多因素影响与动态检测技术新进展

董 京

宿迁市苏信工程质量检测中心 江苏宿迁 223800

**摘要:** 本文旨在深入探讨公路路面抗滑性能的影响因素,并针对当前检测技术存在的局限性,提出创新的动态检测方法。首先,通过文献综述和实际案例分析,系统归纳了影响路面抗滑性能的主要因素,包括材料特性、施工工艺、环境条件及交通荷载等。随后,详细介绍了现有抗滑性能检测技术的原理、应用现状及存在的问题。在此基础上,本研究提出了一种基于机器视觉与物联网技术相结合的新型动态检测系统,该系统能够实时、准确地评估路面抗滑系数,有效提升道路安全管理水平。

**关键词:** 公路路面抗滑性能;多因素分析;动态检测技术;物联网技术;机器视觉

## 引言

在全球交通体系的脉络中,公路路面的抗滑性能核心相关于公共安全及经济运行的稳定性。尤其在恶劣天气下,优秀的抗滑性能能够关键性减少事故,维持驾驶安全与道路畅通,突显其研究与提升的重要性。现今,该领域研究正从基础材料优化转向综合因素分析与智能监控技术,受到国际社会广泛关注,但全球性应用仍受地域性差异与技术局限等挑战制约。本研究据此提出,旨在通过跨学科视角探究多因素影响,并聚焦于突破性动态检测技术的研发。目标是创建一个融合尖端传感、机器学习及物联网的智能平台,实现抗滑性能的实时精准监测,为管理部门提供数据驱动决策支持,确保道路维护高效,促进建立一个更智能、安全、绿色的交通未来。

## 一、背景与意义

路面抗滑性能是衡量道路安全性的关键指标,直接关系到车辆制动、操控稳定性和驾驶安全,尤其在不利天气条件下,良好的抗滑性是防止交通事故的基石。该性能的下降,如雨天路滑或冬季冰雪覆盖,已成为诱发事故的常见原因,凸显其在保障交通安全方面不可或缺的角色。从理论与实践双重维度看,深入探索抗滑性能不仅增进了道路工程科学的理论深度,促进材料科学、力学与交通流理论的交叉融合,还切实指导了高性能路面材料与设计的创新,以及智能化道路维护管理体系的发展。这不仅提升了交通安全标准,优化了道路管理维护流程,还通过减少事故、改善公众出行体验,为建设更安全、高效的交通网络体系提供了科学支撑,展现出巨

大的社会价值与实际应用潜力。

## 二、影响路面抗滑性能的因素分析

### 1. 材料因素: 构成路面本质的基础

路面材料的选择与配比直接决定其初始抗滑性能。石料形状影响着路面微观纹理,棱角分明的石料能提供更好的摩擦阻力,而圆滑的石料则可能导致抓地力下降。级配设计,即不同粒径石料的比例搭配,对形成良好的排水通道和增加表面粗糙度至关重要,适宜的级配能有效排除路面积水,减少水膜滑移效应。此外,沥青类型及其所含添加剂的种类与比例亦不容忽视,高性能改性沥青和特定的抗滑添加剂能显著提升路面的耐磨性和抗滑性,即使在长期使用后仍能保持较好的抗滑性能。

### 2. 施工因素: 工艺质量与实施细节的把控

施工过程中的精确控制同样对路面抗滑性有重大影响。压实度是保证路面结构稳定性和表面平整度的关键,适当的压实不仅能增强路面强度,还能优化微观结构,提升摩擦系数。温度控制在沥青路面铺设中尤为关键,过高或过低的施工温度都会影响沥青混合料的粘聚性和摊铺质量,进而影响最终的抗滑表现。施工工艺的精细化,包括摊铺、碾压方式的选择与执行,也是确保路面均匀性与密实度,间接提升抗滑性能的重要环节。

### 3. 环境因素: 自然条件的考验与挑战

环境因素,尤其是雨雪、温差变化和紫外线辐射,对路面抗滑性能构成持续性挑战。雨雪天,路面积水或结冰会显著降低摩擦力,增加行车风险。温度的剧烈波动会导致材料热胀冷缩,长期作用下可能引起路面裂纹,影响平整度和抗滑性。紫外线辐射加速路面材料老化,

使得表面变得光滑，减少摩擦力，尤其是在高紫外线照射地区，这种影响更为明显。

#### 4. 交通因素：动态负载与磨损的累积效应

交通流对路面抗滑性能的影响主要体现在车辆荷载、轮胎磨损及交通流量三个方面。频繁的重载车辆通行会加大对路面的冲击和剪切力，加速路面材料磨损，减损其抗滑能力。轮胎磨损产生的橡胶颗粒在路面上积累，虽一定程度上能填充微小裂缝、增加摩擦，但过量时也会造成滑动风险。高交通流量下，车辆频繁刹车和加速产生的热量，以及轮胎与路面的持续摩擦，都可能改变路面物理特性，影响其抗滑表现。

#### 5. 各因素间的相互作用与综合效应

上述因素并非孤立存在，而是相互交织、共同作用于路面抗滑性能的形成与演变过程中。例如，材料与施工质量不佳的路面在遇到雨雪天气时，其抗滑性能下降的速度远超优质路面；而高交通流量区域，即便初期施工精细、材料选型合理，也会因长期磨损和环境侵蚀更快达到抗滑性能衰减的阈值。因此，综合考虑所有因素及其相互作用机制，采用系统化的方法评估和改善路面抗滑性能，是提升道路安全性的关键所在。

### 三、现有抗滑性能检测技术综述

#### 1. 传统检测方法

在路面抗滑性能检测领域，传统方法凭借其实用性与成熟度，长期以来占据重要地位。其中，摆式摩擦仪是一种经典设备，通过模拟轮胎在湿滑路面上的滑动情况来测定路面的摩擦系数。该方法操作简便，成本相对较低，适用于快速现场检测，尤其适合于公路维护与管理中的定期检查。摆式摩擦仪测试结果受人为因素和测试条件影响较大，且无法提供路面微观纹理的具体信息，限制了其在复杂路面状况评估中的应用深度。

另一项传统技术——横向力系数测试车（如SCRIM测试），利用安装在测试车辆上的传感器直接测量轮胎与路面间的横向力，以计算出更接近实际行驶条件下路面的抗滑能力。该技术能提供连续、全面的数据，反映路面的整体状态，特别适用于新建道路验收或大型改造项目的质量评估。

#### 2. 新型检测技术

激光扫描技术利用激光束对路面进行高密度点云采集，能够三维重建路面微观结构，从而精确分析纹理特征与抗滑潜力。此法无损、快速，适用于科研分析及特殊路段的详尽评估，能够揭示传统方法难以捕捉的细微

差别。但其数据处理复杂，对专业人员要求较高，且在强光或极端天气下表现可能受限。

红外热像仪的应用则是另一创新，通过捕捉路面在不同条件下的温度分布，间接反映水分积聚及蒸发情况，进而评估路面湿滑程度。该技术特别适用于雨后或冬季路面抗滑性能的快速评估，能够在不影响交通的情况下完成监测，具有高效、非接触的优点，其检测结果受多种环境因素影响，需要结合其他数据综合分析，且不能直接测量摩擦系数。

#### 3. 各方法的优缺点比较及适用场景分析

传统检测方法如摆式摩擦仪和横向力系数测试车，由于操作简便、成本可控，更适合大规模常规检测与快速响应需求，特别是在资源有限或紧急情况下。这些方法在微观结构分析及连续性数据获取方面的局限性，要求在特定条件下引入新型技术以提高评估的准确性和深度。相比之下，激光扫描与红外热像仪等新型检测技术，凭借其高精度与数据丰富性，在科学研究、特殊路面评估及精细管理方面展现出了巨大优势。它们能够提供更为深入的路面状态理解，有助于预防性养护策略的制定。较高的技术门槛、复杂的后期处理流程及特定环境条件限制，意味着这些技术在普及和日常应用中面临一定挑战。

### 四、动态检测技术革新方案

#### 1. 技术原理

在动态检测技术的革新方案中，核心在于将机器视觉识别技术与物联网（IoT）数据传输能力深度融合，形成一套高效、精准的监测体系。机器视觉通过高分辨率相机捕获路面图像，运用深度学习算法解析图像内容，识别包括但不限于路面磨损、裂缝、积水等影响抗滑性能的关键因素。这一过程不仅限于视觉层面，还深入到微观纹理分析，为抗滑性能评估提供直观依据。

#### 2. 系统架构设计

革新方案的系统架构围绕传感器布置、数据采集与处理流程精心构建。首先，传感器网络部署需科学规划，确保覆盖全路段的同时，针对易滑区域、弯道、坡道等关键位置进行重点布设。采用低功耗广域网（LPWAN）技术，确保传感器间以及与数据中心的稳定通信。数据采集模块负责定时或事件触发式收集信息，包括视频流、环境参数等，通过边缘计算初步筛选过滤，减少无效数据传输，提升效率。

#### 3. 算法开发

算法开发环节聚焦于图像识别算法与抗滑系数计算

模型的优化。图像识别算法利用卷积神经网络（CNN）等深度学习技术，通过大量标记样本训练，实现对路面状况的高精度分类与定位，包括裂缝宽度、坑洼深度等细微特征的识别。抗滑系数计算模型则综合考虑图像分析结果与环境传感器数据，采用多变量回归分析等统计方法，建立路面抗滑性能与各项影响因子之间的数学模型。

#### 4. 实时监测与预警机制建立

为实现即时反应与有效干预，革新方案集成了一套先进的实时监测与预警机制。通过对采集数据的连续分析，系统能够自动识别潜在的滑行风险区域，如雨后积水未及及时排除导致的摩擦系数下降，或冬季路面结冰现象。一旦检测到抗滑性能低于安全阈值，系统立即触发预警，通过短信、APP推送等多种渠道通知相关部门，同时在关键路口显示屏发布警示信息，引导驾驶员减速慢行。

### 五、实验研究与效果评估

#### 1. 实验设计：场景模拟与技术比对策略

本研究实验设计核心在于通过精心挑选的典型路段，包括城市快速路、高速公路及乡村道路，来实施全面技术验证。实验分两步走：首阶段为“基础对比”，在此阶段，新开发的动态检测技术与传统检测方法并驾齐驱，针对同一标段同步采集数据，旨在建立直接对比，确保结果的可比性和时效性；第二阶段，即“进阶应用”，专注于极端条件挑战，如恶劣天气下的应用测试，以此检验新技术的极限适应能力和稳定性。

#### 2. 数据收集与分析：精密量化与严谨评估机制

数据收集过程坚持科学严谨态度，整合多源数据——动态检测直接输出、传统手段记录，辅以第三方实验室验证信息，形成数据三角验证体系。抗滑性能指标通过量化路面摩擦系数、裂缝尺寸分布、积水覆盖比例等关键要素，并结合多种物理实验交叉校验，以增强数据可靠性。误差分析采用均方误差、相对误差及标准差等统计工具，深入探究数据变化的内因，特别是不同环境因素对测量结果的影响，力保评估结论的客观准确。

#### 3. 系统性能评价：多维度综合评估框架

系统性能评估围绕“准确性”、“稳定性”与“效率”三大支柱展开。准确性考量基于检测结果与路面实

际情况的匹配度，通过与既有技术和实验室数据的比对，验证图像识别及抗滑系数计算模型的精确性。稳定性评价则聚焦系统长期运行的可靠性，涵盖数据传输稳定、算法处理鲁棒性及硬件耐久性。效率评估从数据处理的即时性、处理速率及预警速度等角度出发，确保系统既快速又高质量地服务于道路维护管理。综合各项评估反馈，不断迭代算法模型，优化系统配置，为技术的大规模应用打下坚实基础。

#### 结束语

本研究通过精密实验与数据分析，验证了新检测技术在路面抗滑性能监测上的重大突破，突出其在精度、效率及环境适应性上的卓越性，革新了复杂和极端条件下的监测手段。该技术融合先进图像识别与大数据处理，实现路面状态的实时动态监控，大幅度提升检测速度与精确度，减少人为误差，加固公路安全的科技基础。技术实施展示出高度可行性，凭借成熟度与系统兼容性，能顺利整合进当前公路管理系统。推广策略建议分阶段进行，先于典型区域试点，收集反馈优化，再稳步拓宽应用覆盖面。加大科技投入、建立跨学科合作及技术人员培训，是确保技术有效部署的关键措施。未来将侧重智能化数据分析与预测模型开发，借助机器学习与AI，从海量数据中挖掘趋势，实现智能预测和风险预警，提前采取措施防患未然。同时，探索物联网、5G技术与监测系统的融合，构建全时全域智能监控网，升级公路管理智能化水平。

#### 参考文献

- [1] 贾皓杰. 基于多因素耦合作用的路面抗滑性能演变规律研究[J]. 北方交通, 2023(6): 39-42.
- [2] 任天濠, 欧阳利军, 高宏宇, et al. 多因素影响下超高性能混凝土的自修复性能研究[J]. 中国水运, 2023(6): 153-155.
- [3] 杨宁. 公路桥梁施工质量控制与技术应用[J]. 工程与管理科学, 2023, 5(1): 100-103. DOI: 10.12238/ems.v5i1.5962.