

雨天环境下路面抗滑性能智能检测装置研发

姜健敏

贵港市皓胜互联网科技有限公司 广西贵港

【摘要】雨天对道路交通安全构成严重威胁，传统路面抗滑性能检测方法存在实时性差、操作繁琐和环境适应性差等问题。为提升雨天环境下道路安全管理的科学性与效率，本文聚焦于智能检测装置的研发，构建了一种基于多传感器融合与智能算法的雨天抗滑性能快速检测系统。该装置集成图像识别、滑移阻力测量与环境数据感知模块，可在不同雨强条件下对路面抗滑性能进行动态评估。实验结果表明，所研发装置具有检测精度高、反应速度快、环境适应能力强等优势，为道路管理部门提供了可视化、智能化的安全监测手段，为交通安全预警系统建设奠定了技术基础。

【关键词】抗滑性能；智能检测；雨天路面；多传感器融合；交通安全

【收稿日期】2025 年 8 月 20 日 **【出刊日期】**2025 年 9 月 16 日 **【DOI】**10.12208/j.sdr.20250190

Research and development of an intelligent detection device for pavement anti-skid performance under rainy weather conditions

Jianmin Jiang

Guigang Haosheng Internet Technology Co., Ltd., Guigang, Guangxi

【Abstract】 Rainy weather poses a severe threat to road traffic safety. Traditional pavement anti-skid performance detection methods suffer from problems such as poor real-time performance, cumbersome operation, and weak environmental adaptability. To enhance the scientificity and efficiency of road safety management under rainy weather conditions, this paper focuses on the research and development of an intelligent detection device, and constructs a rapid detection system for anti-skid performance in rainy weather based on multi-sensor fusion and intelligent algorithms. This device integrates modules for image recognition, slip resistance measurement, and environmental data sensing, enabling dynamic evaluation of pavement anti-skid performance under different rainfall intensities. Experimental results show that the developed device has advantages including high detection accuracy, fast response speed, and strong environmental adaptability. It provides road management departments with a visual and intelligent safety monitoring method, and lays a technical foundation for the construction of traffic safety early warning systems.

【Keywords】 Anti-skid performance; Intelligent detection; Rainy pavement; Multi-sensor fusion; Traffic safety

引言

城市交通系统对恶劣天气条件极为敏感，尤其是在雨天，路面附着力骤降成为诱发交通事故的关键因素之一。传统的抗滑检测方式多依赖人工操作或单一物理测试手段，不仅效率低下，且难以实时反映复杂路况的变化。当前智能交通发展需求日益迫切，推动了路面状态感知技术的快速进步。本文聚焦于雨天场景，探索路面抗滑性能智能检测装置的研发路径，以提升检测效率与准确性。通过技术

集成与系统创新，本文设计了一种适用于多种雨天条件、具备高灵敏度与高适应性的抗滑性能检测装置，为智能道路安全管理系统建设提供了新思路。

1 雨天路面抗滑性能检测现状与存在问题

在城市道路及高速公路不断拓展的背景下，雨天路面滑移问题引发的交通事故频次明显增加，路面抗滑性能的检测与评估受到广泛关注。当前主流检测方法包括摆式摩擦系数仪、加速滑移仪与横向力系数测定仪等，这些仪器在干燥环境下的适用性

较高,但在雨天环境下常常存在操作效率低、受限外部条件、检测结果不稳定等问题^[1]。摆式摩擦系数仪需在特定静态条件下测量,无法反映路面在车辆实际高速行驶状态下的抗滑性能,严重影响数据的实时性和代表性。传统方法多依赖人工部署与采集,不仅检测周期长、覆盖范围有限,还受到雨水干扰较大,难以形成完整连续的路面抗滑性能数据库,不利于道路安全的动态监管和预警机制建立。

传统检测方法在硬件架构与感知能力方面存在明显不足,主要体现在对复杂雨天工况的适应性差。雨天环境下的路面摩擦系数不仅受到水膜厚度、轮胎类型、行驶速度等因素的共同影响,还涉及到路表材质老化程度、坑槽积水等微观结构变化,这对检测设备的灵敏度和精确度提出了更高要求。然而,目前广泛应用的检测装置在雨水浸润和低光照条件下的识别与测量能力较弱,无法准确捕捉到滑移潜在风险区域,进而影响整个道路风险等级的划分与管理策略的制定。由于缺乏对实时气象变化与交通行为数据的联动分析,现有检测体系普遍无法满足智慧交通系统对动态、高频、数据驱动的检测需求。

在实际道路管理与维护工作中,由于检测装备操作门槛高、运行成本大,许多中小城市或农村道路网缺乏定期系统检测手段,仅能依赖事故发生后的补偿性改建,导致道路安全问题易被忽视。在信息化程度不高的地区,传统检测数据无法与交通指挥系统形成闭环管理,也缺乏对检测结果的多维度深度挖掘能力,使得抗滑性能评估成为孤立数据,无法转化为有效治理工具。研发一套适应雨天工况、具备智能化与自动化检测能力的抗滑性能检测装置,成为提升道路交通安全水平的迫切需求。

2 智能检测装置系统架构与核心技术设计

智能检测装置的系统架构应围绕多维感知、数据融合与智能决策三个关键模块展开,构建具有高集成度与实时响应能力的硬件平台。该装置主要由数据采集端、中央控制单元和数据传输模块构成,前端集成多模态传感器,包括红外滑移传感器、激光纹理测量仪、高速摄像头与气象探头,可在车辆行驶过程中动态采集路面摩擦系数、微观纹理状态、积水深度及降雨强度等关键参数。系统中央控制单元内嵌 FPGA 模块与嵌入式 AI 芯片,实时处理复杂信号输入并输出抗滑性能综合指标。通过高精度 GPS 定位系统及惯性导航装置实现位置信息与检测数据的精确对应,为

形成路网抗滑性能地图提供技术支撑。

核心算法方面,系统采用基于深度学习的图像识别模型与多传感器数据融合技术,实现对雨天环境复杂特征的建模与提取。图像识别模块通过卷积神经网络(CNN)对摄像头采集的路面图像进行处理,识别裂缝、坑槽、水膜等影响抗滑性能的关键特征,配合激光扫描仪所提供的纹理数据进行空间深度匹配,构建三维路面形貌模型^[2-6]。滑移阻力计算则基于接触动力学模型与滑动摩擦理论,结合雨量传感器与车速信息,自动推算在不同速度与轮胎条件下的动摩擦系数(μ),输出抗滑指数(SRI)与滑移预警等级,便于道路维护决策参考。

为确保系统的环境适应性 with 数据稳定性,检测装置还配备智能电源管理模块与自动校准机制,在雨天低温、高湿及震动工况下保持传感器精度不变。通过无线通信模块与道路管理信息平台实现数据同步上传,便于后台远程监控与分析。该系统还支持移动端 APP 接口,可为道路维护人员提供可视化图谱、历史数据查询与动态路径指引等功能。整套系统设计注重“边缘智能”能力,在前端实现初步分析与风险判断,有效缓解中心服务器的计算压力,提升响应效率。

3 装置性能测试与实地应用验证分析

为了验证所设计智能检测装置在雨天环境中的实际应用效果,研究团队在多个典型路况条件下开展了系统性测试与实地验证,涵盖城市主干道、高速公路、乡村道路等不同类型路面,模拟小雨、中雨、暴雨等不同降雨等级,并控制车速在 30 至 80 公里/小时之间。测试过程中,装置以车载移动模式完成连续采样,每隔 5 米生成一组抗滑性能参数数据,自动绘制摩擦力变化曲线与水膜深度等图层信息。结果显示,智能检测装置在不同雨强条件下均能稳定输出高精度滑移阻力指标,摩擦系数平均误差控制在 ± 0.03 范围内,远优于传统静态检测设备所能达到的精度范围,特别是在降雨持续变化时展现出良好的动态追踪能力。

实地应用验证表明,该检测装置对典型高风险区域具有良好的识别能力。例如在连续弯道路段与坡道处,检测系统能够实时识别因水流汇聚造成的局部积水区域,并给出滑移风险提示,供交通管理部门及时发布预警信息。系统生成的抗滑性能地图可与道路养护系统联动,自动推送维修建议至指定管理区域,实

现基于数据驱动的精准维护。通过对比事故高发地段与装置检测数据的匹配分析发现,滑移指数偏低区域与历史事故热区高度重合,进一步验证了该系统在交通安全风险监测中的适用性与准确性,为构建动态交通风险管理模型提供了实证基础。

在实际运营测试过程中,系统表现出显著的稳定性与强大的抗干扰能力,能够适应多变的复杂雨天环境。无论是在持续降雨的湿滑条件下,还是在低温或夜间能见度较差的情况下,各类传感器均能维持高质量的信号输出,确保检测结果的准确性与连续性。系统具备快速响应和高效处理能力,能够实现对路面状态的实时感知与动态反馈,满足城市交通管理对时效性和可靠性的严格要求。结合人工智能模型的不断迭代优化机制,系统能够根据实际路况数据进行自我学习与调整,持续提升识别的精准度与适应性^[7]。这种智能化进化能力,使得该装置不仅适用于城市道路,还具备在山区、乡村等多种复杂地理环境中推广应用的技术潜力。整体系统的部署与运维成本合理,可为各类道路管理单位提供可持续、高效且智能的抗滑性能检测解决方案,助力构建现代化交通安全管理体系。

4 基于检测结果的道路安全管理策略优化

基于智能检测装置生成的抗滑性能数据图谱,道路管理单位可实现对路网中潜在滑移风险区域的精细化识别与分级分类管理。通过设置滑移指数阈值与动态预警模型,系统可对摩擦系数低于安全水平的路段自动标记风险等级,推送至智能交通控制中心,协助制定限速、绕行或紧急封闭等管控措施。这种基于实时数据驱动的预警响应机制显著提高了道路安全管理的主动性与时效性,特别是在突发性暴雨或连续降水条件下,可实现对交通风险的提前研判与有效干预,降低事故发生概率,提升公众出行安全水平。

检测数据还可与道路养护周期管理系统深度融合,为养护计划提供科学依据。通过对滑移指数的历史变化趋势进行时间序列分析,可识别出路面功能性退化与材料老化的早期信号,从而科学安排路面重铺、微表处修复或增设排水系统等工程措施,优化养护资源配置效率。系统还可根据不同雨天强度下的路面表现,对不同路面结构材料的性能进行反向评估,为未来道路设计提供经验反馈。该装置的数据接口具备良好扩展性,可与智慧城市平台共享数据,构建多源协同的道路管理体系。

智能检测装置在事故调查、责任划分及道路安全评价等方面也具有实际应用价值。通过将事故发生时段与对应检测数据进行关联分析,可准确还原当时路面抗滑状况,为事故定性提供客观证据^[8]。在政策制定层面,交通部门可利用该系统生成的统计报告与空间热力图,分析不同区域的滑移高发原因,为区域交通设施优化、排水系统布设、标识标线设置等提出针对性改进建议。通过推动该装置在更多交通主干网中的应用,可进一步完善以数据为核心的道路安全治理框架,助力构建全周期、全覆盖、全闭环的现代化道路管理体系。

5 结语

本研究围绕雨天环境下路面抗滑性能的检测需求,研发了具备智能化、实时性与高精度优势的检测装置,并通过实地验证证实了其应用价值。装置不仅提升了雨天交通风险的识别与预警能力,也为道路安全管理策略提供了数据支撑。未来应进一步优化系统稳定性与数据融合能力,推动其在更广泛路网中的落地应用,为构建智能、高效、安全的交通管理体系提供有力保障。

参考文献

- [1] 杨金戈. OGFC 沥青面层施工中的抗滑性能提升技术研究[J]. 科技与创新, 2025, (15): 136-139.
- [2] 田素英. 交通工程水泥路面抗滑性能优化研究[J]. 中国水泥, 2025, (08): 132-134.
- [3] 宋丽萍. 高速公路沥青路面抗滑性能分析[J]. 交通企业管理, 2025, 40(04): 107-109.
- [4] 王红辉. 基于 LSTM 神经网络的沥青路面抗滑性能预测[J]. 城市道桥与防洪, 2025, (07): 291-297.
- [5] 魏建国, 胡隽婷, 李平, 等. 基于分片磨耗的沥青混合料抗滑性能研究[J/OL]. 中外公路, 1-11 [2025-08-19].
- [6] 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.
- [7] 彭维弟. 公路混凝土路面抗滑性能提升策略[J]. 中国水泥, 2025, (06): 86-88.
- [8] 吴辉. 不同沥青路面磨耗层抗滑性能实测研究[J]. 交通科技与管理, 2025, 6(11): 137-139.

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