

道路沥青路面抗滑性能与交通安全的关联性实验检测研究

魏平¹, 李晓东², 孔政³

(1. 黑龙江铁盛工程检测有限公司, 黑龙江 哈尔滨 150001;

2. 吉林宏威公路试验检测有限公司黑龙江分公司, 黑龙江 牡丹江 157000;

3. 合肥工大共达工程检测试验有限公司, 安徽 合肥 230041)

摘要 为明确沥青路面抗滑性能与道路交通安全的量化关联关系, 本文系统分析沥青路面抗滑性能的影响因素与表征指标, 构建涵盖实验室检测与现场检测的标准化实验检测体系, 通过对比不同抗滑等级路面的交通事故数据, 建立抗滑性能指标与事故发生率、事故严重程度的回归模型, 确定不同道路等级与环境条件下的临界抗滑阈值, 以期为沥青路面抗滑性能管控、预防性养护时机确定及交通安全管理提供参考。

关键词 沥青路面; 抗滑性能; 实验检测; 交通安全; 关联性

中图分类号: U416.217

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.22.041

0 引言

沥青路面抗滑性能是保障车辆行驶安全的核心路面性能指标, 直接影响车辆制动距离与行驶稳定性。本文围绕沥青路面抗滑性能与交通安全的关联性展开实验研究, 明确抗滑性能的表征方法与检测标准, 量化分析不同抗滑指标与交通事故特征的对应关系, 提出基于抗滑性能的交通安全分级管控措施, 为道路养护管理与交通安全保障提供技术参考。

1 沥青路面抗滑性能的影响因素与表征指标

1.1 抗滑性能核心影响因素

沥青路面抗滑性能由路面表面微观构造与宏观构造共同决定, 受多重因素耦合影响。在材料特性方面, 集料的磨光值、棱角性、级配组成直接影响路面微观构造, 沥青的黏结性与老化程度决定集料的嵌固效果; 在路面构造方面, 混合料类型、摊铺工艺、压实度决定宏观构造深度; 在使用过程方面, 车辆轮胎的磨耗作用会逐步磨光集料棱角, 降低微观构造; 在环境因素方面, 雨水、冰雪、油污会在路面形成润滑层, 大幅降低摩擦系数。此外, 温度变化会改变沥青的黏弹特性, 影响路面与轮胎的接触状态^[1]。

1.2 抗滑性能衰减演化规律

沥青路面抗滑性能随使用年限呈阶段性衰减特征, 可分为初期快速衰减期、中期稳定衰减期和后期加速衰

减期。通车前2年, 路面表面浮浆被磨除, 集料棱角逐渐暴露, 抗滑性能先小幅上升后快速下降, 横向力系数衰减幅度可达20%~30%; 通车2年~8年为稳定衰减期, 集料磨耗速率趋于平稳, 年衰减率约为2%~3%; 通车8年后, 集料表面被严重磨光, 微观构造基本消失, 抗滑性能进入加速衰减阶段, 年衰减率升至5%以上。交通量是影响衰减速率的核心因素, 重载交通比例每增加10%, 抗滑性能衰减速率提高15%~20%; 高温多雨地区的抗滑衰减速率比寒冷干燥地区高30%以上, 沥青老化与水损害的耦合作用会加速集料与沥青的剥离, 进一步降低路面抗滑耐久性。

1.3 主要表征指标与技术要求

沥青路面抗滑性能采用多指标综合表征, 核心指标包括摆式摩擦系数(BPN)、构造深度(TD)、横向力系数(SFC)与制动距离。摆式摩擦系数反映路面低速状态下的微观抗滑能力, 适用于低速道路检测; 构造深度表征路面宏观构造的粗糙程度, 采用铺砂法测定; 横向力系数反映车辆高速行驶时的横向抗滑能力, 是高速公路与一级公路的核心控制指标; 制动距离是抗滑性能的综合体现, 直接关联行车安全。

2 沥青路面抗滑性能标准化实验检测体系

2.1 实验室检测方法

实验室检测主要用于混合料配合比设计阶段的抗滑性能预评价。集料磨光值试验采用加速磨光机模拟车

作者简介: 魏平(1984-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 道路桥隧。

辆轮胎磨损作用,测定集料磨光后的摆值,评价集料的抗磨光能力;混合料抗滑性能试验采用轮辙仪模拟行车荷载作用,测定不同磨耗次数后的摆值与构造深度,评价混合料的长期抗滑耐久性;表面构造特征分析采用激光轮廓仪扫描路面表面,获取三维构造参数,定量表征微观与宏观构造特征。实验室检测需严格控制温度、湿度等环境条件,保证检测结果的重复性与可比性。

2.2 现场检测方法

现场检测用于评价路面实际使用状态下的抗滑性能。摆式仪法适用于低速道路与局部路段检测,操作简便、成本低廉;铺砂法用于测定路面构造深度,是最常用的宏观构造检测方法;横向力系数测试车法可实现高速连续检测,检测速度可达 50 km/h~80 km/h,适用于高等级公路全线检测;激光构造深度仪法通过激光扫描快速测定构造深度,检测效率高、数据精度高^[2]。现场检测应选择干燥、无风的天气条件,避免环境因素对检测结果的干扰。

2.3 检测质量控制与数据处理

建立标准化的检测质量控制体系,检测仪器需定期检定校准,检测人员需经专业培训考核合格。检测测点应均匀布置,每公里不少于 5 个测点,每个测点重复检测 3 次,取平均值作为检测结果。对异常数据进行复核验证,剔除无效数据。采用数理统计方法对检测数据进行处理,计算路段平均抗滑指标、标准差与变异系数,评价路面抗滑性能的均匀性。建立路面抗滑性能数据库,实现检测数据的长期存储与动态管理。

2.4 检测数据不确定性分析与修正

路面抗滑性能检测结果受多种因素影响,存在一定的不确定性。系统误差主要来源于仪器校准偏差、轮胎磨损、检测车速波动,横向力系数检测车的检测车速每偏离标准车速 10 km/h,检测结果偏差约为 ± 0.03 ;轮胎花纹深度每减少 1 mm,检测结果降低约 0.02。随机误差主要来源于路面构造不均匀性、环境温度与湿度变化,温度每升高 10 °C,沥青路面横向力系数降低约 0.02~0.04。针对上述影响因素,应建立标准化的检测数据修正体系,根据实际检测车速、轮胎磨损程度、环境温度对原始检测结果进行修正,同时通过增加测点数量、重复检测等方法降低随机误差,提高检测结果的准确性与可靠性。

3 抗滑性能与交通安全的关联性实验分析

3.1 实验方案设计

选取不同使用年限、不同交通量等级的沥青路面路段,按照横向力系数将路面划分为优($SFC \geq 0.5$)、良

($0.4 \leq SFC < 0.5$)、中($0.35 \leq SFC < 0.4$)、差($SFC < 0.35$)四个等级。收集对应路段连续 3 年的交通事故数据,包括事故发生时间、地点、类型、严重程度及天气条件。控制道路线形、交通量、交通组成等无关变量,单独分析抗滑性能对交通事故的影响^[3]。

3.2 干燥环境下的关联性分析

在干燥环境下,路面抗滑性能与交通事故发生率呈显著线性负相关。当横向力系数从 0.55 降至 0.35 时,百公里事故发生率从 0.12 上升至 0.48,增长 3 倍;当横向力系数低于 0.35 时,事故发生率呈指数级上升,横向力系数为 0.3 时,百公里事故发生率达 1.26。制动距离与横向力系数呈显著负相关,100 km/h 车速下,横向力系数 0.55 对应的制动距离为 38 m,降至 0.35 时延长至 62 m,横向力系数 0.3 时制动距离达 85 m,远超常规安全车距,极易引发连环追尾事故。在事故严重程度方面,抗滑性能越差,重大事故占比越高,横向力系数低于 0.35 的路段,重大事故占比达 18.7%,是优良路段的 4.2 倍。通过回归分析建立事故发生率与横向力系数的数学模型,相关系数 R^2 达 0.92,验证了两者的强关联性。

3.3 潮湿环境下的关联性分析

在潮湿环境下,路面抗滑性能大幅衰减,交通事故风险显著升高。相同路面条件下,潮湿状态横向力系数较干燥状态降低 30%~45%。当干燥状态横向力系数为 0.5 时,潮湿状态仅为 0.28,对应的百公里事故发生率达 2.13,是干燥状态的 17.8 倍。雨天交通事故中,80% 以上与路面抗滑性能不足相关,主要事故类型为侧滑、追尾与翻车^[4]。不同集料类型的抗滑衰减特性存在差异,玄武岩集料路面潮湿抗滑性能优于石灰岩集料路面。

3.4 不同车速与降雨强度的耦合影响

车速与降雨强度的耦合作用会显著放大路面抗滑性能不足的安全风险。车辆行驶速度越高,轮胎与路面的接触时间越短,有效接触面积越小,要求的临界抗滑系数越高。当车速从 60 km/h 提升至 120 km/h 时,所需的安全横向力系数从 0.30 升至 0.45。降雨强度决定路面水膜厚度,小雨时水膜厚度约为 0.1 mm~0.5 mm,中雨时为 0.5 mm~2.0 mm,大雨时可达 2.0 mm 以上。当水膜厚度超过 1 mm 且车速超过 80 km/h 时,易发生水滑现象,轮胎与路面完全脱离接触,摩擦系数骤降至 0.1 以下,车辆完全失控。实验数据表明,在大雨条件下,车速超过 100 km/h 的路段,交通事故发生率是干燥路面的 25 倍以上。

3.5 临界抗滑阈值确定

基于事故风险分析,确定不同道路等级的临界抗滑阈值。上述临界阈值适用于设计车速120 km/h的高速公路,设计车速每降低20 km/h,临界横向力系数可降低0.03。高速公路与一级公路的养护临界横向力系数为0.35,当路面抗滑性能低于该值时,事故风险显著升高,应及时采取预防性养护措施;二级及以下公路的养护临界横向力系数为0.30。潮湿环境下的安全临界横向力系数为0.40,低于该值时应采取限速、警示等交通管控措施。针对不同事故类型设置差异化预警阈值:侧滑事故临界值为0.32,追尾事故为0.36,翻车事故为0.30,实现精准化风险预警。

4 基于抗滑性能的交通安全管理措施

4.1 预防性养护时机优化

建立基于抗滑性能衰减规律的预防性养护决策模型,根据路面初始抗滑性能、交通量、环境条件预测抗滑性能衰减趋势,在路面抗滑性能降至临界阈值前实施预防性养护。结合抗滑性能衰减规律与养护措施效果,可实现养护时机的精准预判,避免过早养护造成的资金浪费或过晚养护导致的安全风险^[5]。

4.2 不同抗滑养护措施的效果对比与选型

不同预防性养护措施的抗滑提升效果、耐久性与成本存在显著差异。微表处可使路面横向力系数提升0.15~0.20,构造深度提升至0.6 mm以上,使用寿命3年~5年,单位成本约12元/m²~18元/m²;稀浆封层抗滑提升幅度约0.10~0.15,使用寿命2年~3年,单位成本8元/m²~12元/m²;碎石封层抗滑性能提升最显著,横向力系数可提升0.20~0.25,选型时应综合考虑路面现状、交通量、环境条件与资金预算,优先选择性价比高、耐久性好的养护措施。

4.3 抗滑性能分级管控

实行路面抗滑性能分级管理制度,对不同抗滑等级的路段采取差异化管控措施。优良路段每2年检测1次抗滑性能,建立长期监测档案;中等路段每1年检测1次,在路面设置“路面湿滑、减速慢行”警示标志,加强雨天巡逻;较差路段立即封闭车道进行养护,养护期间设置临时限速标志,限速值较设计车速降低40 km/h,安排专人现场指挥交通。

4.4 恶劣天气交通管控

建立雨天路面抗滑性能动态监测与预警系统,实时监测路面湿度与抗滑性能变化。当路面潮湿且抗滑

性能低于安全阈值时,及时发布预警信息,通过可变情报板提示驾驶员降低车速、保持安全车距。暴雨天气下,对高速公路采取临时限速、关闭收费站等管控措施,降低交通事故风险。

4.5 养护质量验收标准优化

完善沥青路面抗滑性能验收标准,将横向力系数与构造深度作为竣工验收的强制性指标。施工过程中应重点控制集料的磨光值(不小于42)、混合料的油石比(偏差控制在±0.3%以内)与摊铺压实度(不小于98%)。养护工程完工后,应在开放交通前进行抗滑性能检测,横向力系数与构造深度需同时满足设计要求,否则不得开放交通。

5 结束语

本文通过实验检测与数据分析,系统研究了沥青路面抗滑性能与交通安全的量化关联关系,构建了标准化的抗滑性能检测体系,确定了不同条件下的临界抗滑阈值,提出了针对性的交通安全管理措施。研究表明,路面抗滑性能是影响道路交通安全的关键因素,潮湿环境下抗滑性能衰减是雨天事故高发的主要原因。通过科学的抗滑性能检测与分级管控,可有效降低交通事故发生率,提升道路交通安全水平。未来研究可进一步深化不同轮胎类型、不同车速下路面抗滑性能的变化规律,探索基于物联网的路面抗滑性能实时监测技术,构建更加智能、精准的交通安全管理管控体系,为道路交通安全保障提供更有力的技术支撑。

参考文献:

- [1] 朱慧芳,董海东,蔡燕霞,等.ETA-10沥青混合料体积指标对沥青路面抗滑性能的影响[J].新型建筑材料,2024,51(02):144-148.
- [2] 王胜利,姜冬冬,张滨,等.沥青路面抗滑性能智能检测技术在预防性养护中的应用研究[J].计算机应用文摘,2025,41(24):214-216.
- [3] 高茜楠,芮润华,耿靖杰.基于纹理分形特性的沥青路面抗滑性能研究综述[J].交通信息与安全,2022,40(05):12-22.
- [4] 甫尔海提·艾尼瓦尔,陈思宇,郝小堂,等.基于路表纹理的沥青路面抗滑性能研究[J].公路交通科技,2023,40(S01):127-133.
- [5] 张虎林.沥青路面抗滑性能衰减规律及影响因素研究[J].科学技术创新,2026(02):113-116.