

沥青路面抗滑性能检测方法对比研究

连 萍

(上海同济检测技术有限公司, 上海市 200441)

摘 要: 沥青路面的抗滑性能直接影响道路的行车安全,为选择合适的抗滑性能检测方法获取真实的路面状况,为制定有效的养护措施提供更全面的决策依据,针对沥青路面的抗滑性能检测方法开展了对比研究。主要选取并比较了激光构造深度、摆式仪测摆值、横向力系数测摩擦系数等常用检测方法。研究表明,不同方法在测量原理、检测精度、检测结果和检测效率等方面存在显著差异。为提高检测的准确性,需综合考虑路面状况、环境条件和检测设备性能等因素,必要时可采用两种或两种以上方法相结合的方式。

关键词: 沥青路面;抗滑性能;检测方法;构造深度;摩擦系数;横向力系数;行车安全

中图分类号: U416.217;U418.3;TU997

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2026)06-0142-04

Comparative Study on Anti-Skid Performance Testing Methods for Asphalt Pavements

LIAN Ping

(Shanghai Tongji Testing Technology Co., Ltd., Shanghai 200441, China)

Abstract: The skid resistance of asphalt pavement directly impacts the driving safety of roads. To select the appropriate skid resistance testing methods for obtaining the accurate pavement conditions, and to provide a more comprehensive decision-making basis for formulating effective maintenance measures, a comparative study is conducted on the skid resistance testing methods of asphalt pavement. The commonly used testing methods such as laser texture depth, pendulum value measurement by pendulum instrument, and friction coefficient measurement by lateral force coefficient are primarily selected and compared. The study result reveals the significant differences among the different methods in terms of measurement principles, testing accuracy, testing results and testing efficiency. To enhance the testing accuracy, it is necessary to comprehensively consider the factors such as pavement conditions, environmental conditions and testing equipment performances. When necessary, a combination of two or more methods can be adopted.

Keywords: asphalt pavement; skid resistance; testing method; texture depth; friction coefficient; lateral force coefficient; traffic safety

0 引 言

沥青路面作为近年来主要的路面类型,其抗滑性能直接影响行车安全。抗滑性能的不足,可能导致车轮打滑、制动距离增加等安全隐患,严重时甚至引发交通事故^[1-3]。因此,准确检测和评价沥青路面的抗滑性能对于保障道路交通安全至关重要。

本文通过对常规沥青路面抗滑性能检测方法的原理与特点的对比研究,分析影响检测结果的主要因素,期望为道路建设及养护部门在道路全寿命周期不同阶段评价路面抗滑性能提供科学的决策依据,最终达到提升道路管理水平的目的。

1 沥青路面抗滑性能检测方法概述

国内测试路面抗滑性能常规的检测方法目前主要按照《公路路基路面现场测试规程》(JTG 3450—2019)^[4],该规程列出了8种测试方法,分属两个类别:一类为测试构造深度,是路面抗滑性能的间接测试方法;另一类为测试摩擦系数,是路面抗滑性能的直接测试方法。各种方法及其主要的优缺点简述如下。

1.1 构造深度测试

构造深度也称纹理深度,是描述路面宏观纹理的指标。构造深度的测试方法有手工铺砂法、电动铺砂仪法、车载式激光构造深度仪法^[4]。

手工铺砂法是将25 mL粒径0.15~0.30 mm的量砂在路面上按要求摊铺开成圆形,量出直径,即可计

收稿日期: 2025-11-24

作者简介: 连萍(1975—),女,本科,高级工程师,从事道路材料研究和工程检测工作。

算出构造深度。该方法原理简单、操作简便,但是由于人工操作,往往误差较大,测试结果变异性大,而且测试效率低。

电动铺砂法原理和人工铺砂法相同,能避免人工铺砂法人为操作误差大的问题,但仪器对结果有直接影响。电动铺砂法同样存在工作效率低的问题。

车载式激光构造深度仪测试,是将激光传感器对准拟测试的沥青路面,以小于等于 5 mm 的采样间隔连续采集路面构造深度,采集点沿行车方向直线状分布。该方法最大测试速度可达 50 km/h 以上,测试效率高。惠冰等^[5]研究表明,激光数据密度越高,检测结果准确度越高。

1.2 摩擦系数测试

主要分为摆式仪法(摆值)、横向力系数测试、动态旋转式摩擦系数仪测试 3 种方法。

1.2.1 摆式仪测试摆值

摆式仪是一种动力摆冲击型仪器,其检测方法是以能量守恒定律为核心的检测技术,以摆锤末端的橡胶片滑过路面所作的功表征路面的抗滑能力^[6]。

该方法设备价格低廉,操作简单,但容易受橡胶片的磨损、老化以及人为操作等因素影响,结果离散性较大,且检测结果只能代表低速状态下的路面抗滑性能^[7]。

1.2.2 横向力系数测试

横向力系数测试系统有单轮式和双轮式两种,检测结果最终以 SFC (sideway force coefficient) 值表示。单轮式横向力系数测试系统由承载车、距离测试装置、横向力测试装置、供水装置和主控制单元组成^[4],一般所有装置都安装在承载车上。单轮式横向力测试车的原理为:行车时测试轮行车带路面喷洒一定厚度的水膜,与行车方向成 20° 夹角的测试轮在 2 000 N 垂直荷载作用下产生一个横向力,此横向力通过拉力传感器转变成为模拟信号传递给数据采集系统,经数据采集系统处理后得到 SFC 值^[4]。双轮式横向力系数检测系统,是由牵引车拖带测试单元,测试单元主要由两个呈“外八字”的夹角为 15° 的试验轮及控制采集系统组成,原理与单轮式基本相同^[4,8]。

横向力系数检测由于需要在测试轮前喷水,水箱容量决定了每次测试的路程,长距离测试需要在过程中加水,影响测试效率。此外,横向力测试设备需要定期进行比对,并建立相关性关系式,确保检测结果的正确性。

1.2.3 动态旋转式摩擦系数仪测试

目前国内使用的基本都是进口的动态旋转式摩擦系数仪(简称 DF 仪,见图 1)。DF 仪包括控制单元、测试系统、洒水装置 3 部分,现场测试时,仪器的橡胶滑块(邵氏硬度 58,轮廓尺寸 6 mm×16 mm×20 mm)与测试表面的接触压力 150 kPa,旋转速度可达 90 km/h,仪器可直接读取摩擦系数值。动态摩擦系数测试法模拟车辆制动过程,直接测量轮胎与路面间的摩擦系数,检测结果基本不受人为因素影响,较为客观,能够代表高速状态下的路面抗滑性能。但测试效率较低,且设备成本较高^[9-10]。



图 1 动态旋转式摩擦系数仪

1.3 其他测试方法

除了以上两大类常规测试方法,目前国内还有制动距离法、附着系数测试法等。制动距离法虽然直观,但由于每种车辆制动性能的差异、不同人员操作水平的差异,很难使测试结果具备可比性,且高速下紧急制动影响车辆性能,也不安全,因此推广性较差^[11]。道路附着系数测试法(见图 2),采用人工拖拉方式前进,过程中自动采集仪器底部的标准摩擦块与路面的摩擦力、垂直压力,两者的比值即附着系数,该方法同样存在只能模拟低速状态以及测试效率低的问题。近年来不少道路工作者对路面抗滑性能的检测及评价方法开展了新方法的研究。王元元等^[12]基于图像视觉技术,开展了图像二维纹理和三维形貌信息在路面抗滑性能评价中的应用研究,通过相关性分析和回归模型分析,得到三维形貌信息能够准确分析和评价路面的抗滑性能的结论。

国外对路面抗滑性能的检测方法也有大量的研究,但总体与国内类似,分为路面构造和抗滑系数两类。《用体积测定技术测量路面宏观构造深度的方



图2 道路附着系数测试仪

法》ASTM E965—2015(2024)^[13],该标准对路面构造深度的测试与我国现行方法基本一致。文献^[14]对英国 GripTester 摩擦系数测试仪进行了介绍。其基本构造是重量为 85 kg 的拖车,有两个行驶轮和一个测试轮,测试轮无花纹,为光面,驱动轮轮轴与测试轮轮轴通过链条连接,链条的传动系统能使测试轮的滑移率控制在 15%,GripTester 摩擦系数仪在公路上检测时水膜厚度为 0.25 mm,其测试结果反映路面在对抗滑性能不利的潮湿状态下,车轮与路面所能达到的最大摩擦系数。该方法测试的是路面纵向抗滑性能^[15]。

2 几种常用测试方法的结果分析与比较

试验选取上海市某二级公路,分别在养护施工前及养护施工后每隔 2~3 个月进行一次测试,抗滑性能检测分别用激光构造深度仪、单轮式横向力系数检测车、摆式仪,取每次检测的路段平均值作为结果进行分析。

2.1 摆值与横向力系数的关系

由图 3 可以看出,摆值(BPN)的检测结果显示在 40~64,横向力系数检测结果显示在 36~66。总体来看,摆值与横向力系数呈线性关系,摆值小的路段,其横向力系数较低,反之,摆值大的路段横向力系数较大,相关系数为 0.8283,如剔除横向力系数最大点,其相关系数可达到 0.9203。说明横向力系数与摆值之间存在较强的线性相关。

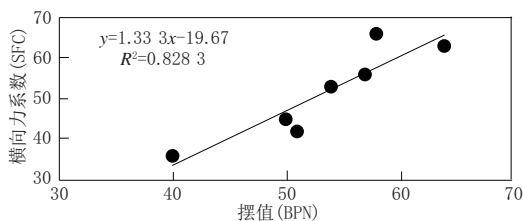


图3 摆值与横向力系数的关系

2.2 激光构造深度与横向力系数的关系

由图 4 可以看出,激光构造深度的检测结果显示在 0.45~0.90 mm,横向力系数(SFC)检测结果显示为 36~66。

总体来看,激光构造深度与横向力系数呈线性关系,但相关系数仅为 0.7035。其结果相关性较差的原因可能有两方面:设备检测误差;如前文分析,两种方法检测原理不同,激光构造深度检测结果是沿车辆行驶方向的线状带的构造深度,而横向力系数是试验轮在测试过程中产生的横向力与试验轮对路面荷载的比值,是测试摩擦系数,原理不同可能导致结果的相关性较差。

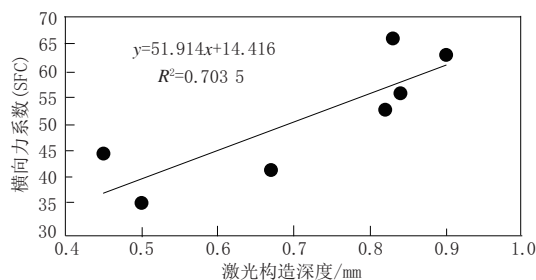


图4 激光构造深度与横向力系数的关系

2.3 激光构造深度与摆值的关系

由图 5 可以看出,激光构造深度和摆值(BPN)具有一定的线性关系,但相关系数仅为 0.7178,相关性较差。其原因与激光构造深度与横向力系数之间的相关性差的原因类似,主要由检测原理不同导致。

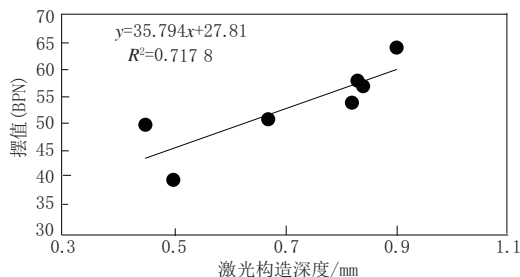


图5 激光构造深度与摆值的关系

3 影响检测结果的主要因素

影响沥青路面抗滑性能检测结果的因素主要包括检测设备性能、人为操作误差、路面状况及环境条件等。

3.1 设备性能

所有定量检测都需要使用仪器设备,设备的稳定性、检测精度的符合性直接影响检测结果。如摆式仪橡胶片的尺寸和硬度直接影响测试结果。

3.2 人为操作

铺砂法、摆式仪法受人为操作影响较大,主要体现在检测点的选择、检测过程操作手势的统一性。

3.3 路面状况及环境条件

路面状况如路面干湿情况、污染程度等直接影响测量结果。环境条件如温度、湿度等也会对检测结果产生一定影响,特别是摆值检测,对路面温度的

敏感性较高。

3.4 综合因素

有些检测方法,如横向力系数检测,不同速度和温度都会影响测试结果^[16-17],需要建立不同温度与速度条件下与标准值之间的相关性关系式。《公路路基路面现场测试规程》(JTG 3450—2019)给出了不同路面温度时检测结果SFC值的温度修正值,以及不同速度时SFC值的修正公式。

4 路面全寿命周期不同阶段的抗滑性能检测方法选择建议

根据以上对各种抗滑性能检测方法的分析,建议在路面全寿命周期的抗滑性能检测方法如下。

4.1 施工阶段

在施工初期试验路阶段,建议采用手工铺砂法或电动铺砂法检测构造深度,以评价抗滑性能,验证沥青混合料的级配是否符合要求。施工过程同样可以采用铺砂法进行质量自控。

4.2 工程验收阶段

由于工程量大,铺砂法已不适用,可以选择激光构造深度的方法评价路面抗滑性能。

4.3 路面运营阶段

此阶段路面沥青混合料的压实度已基本稳定,混合料集料表面的沥青膜也已磨耗稳定。横向力系数法最为直观,可作为此阶段最主要的评价路面抗滑性能的检测方法。

在条件允许的前提下,可以选择多种方法相结合的方式,以提高抗滑性能评价结果的准确性与客观性。

此外,建议研发新型检测技术,如基于人工智能的抗滑性能评估方法,以提高检测效率和精度。同时,建立完善的抗滑性能数据库,包括检测结果与路面事故,分析不同路面材料、不同检测方法、路面事故的相互关系,为精确决策提供数据支持。

5 结 语

通过对比分析几种常用沥青路面抗滑性能检测方法,得出以下结论。

(1)不同检测方法在测量原理、精度、适用范围和效率等方面存在显著差异。动态摩擦系数测试法精度最高,但效率较低;激光构造深度法效率高,但其准确性与数据采集密度正相关;横向力系数法效

率也较高,但须定期与标准值建立相关关系式后对检测结果进行修正,同时还需考虑温度、速度对检测结果的影响;摆式仪法、人工铺砂法操作简单,但精度和效率均较低。

(2)路面状况、环境条件和检测设备性能是影响检测结果的主要因素。为提高检测准确性,需要综合考虑这些因素,并采取相应的优化措施。

(3)建议根据具体路面状况及设备条件选择合适的检测方法,必要时可采用两种或以上方法相结合的方式。同时,应加强检测标准化、设备维护和人员培训,以提高检测结果的科学性和准确性。

(4)未来研究应关注新型检测技术的开发,如基于人工智能的抗滑性能评估方法,以及建立完善的抗滑性能数据库,为路面管养决策提供更全面的数据支持。

参考文献:

- [1] 吴申. 沥青路面抗滑性能研究现状综述[J]. 上海公路, 2025(3): 12-17.
- [2] 余苗, 童锦尧, 孔令云, 等. 轮胎-沥青路面摩擦测试及抗滑模型研究综述[J]. 公路交通科技, 2020, 37(10): 12-24.
- [3] AMES E L, RUSSO B J. Analysis of Factors Affecting Injury Severity in Traffic Crashes on Arizona Tribal Lands[J]. Transportation Research Record, 2019, 2673: 345-354.
- [4] JTG 3450—2019 公路路基路面现场测试规程[S].
- [5] 惠冰, 郭沫, 刘晓芳. 三维激光数据密度对路面构造深度检测的影响[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2018, 46(11): 142-149.
- [6] 郭永盛. 公路沥青路面抗滑性能检测方法[J]. 四川建材, 2021, 47(4): 52-56.
- [7] 尹江华. 沥青路面抗滑性能指标检测方法分析[J]. 交通标准化, 2012(16): 57-59.
- [8] 李志强. 沥青路面抗滑性不同评价指标及测试方法比较[J]. 筑路机械与施工机械化, 2018(35): 111-115.
- [9] 刘伟, 赵明. 动态摩擦系数测试法在沥青路面抗滑性能评估中的应用[J]. 中国公路学报, 2021, 34(2): 112-120.
- [10] 苗英豪, 曹东伟, 任慧, 等. 基于动态摩擦系数测试仪的路面抗滑性能评价方法改进[J]. 公路, 2010(4): 1-5.
- [11] 张子华. 沥青路面抗滑性能检测方法及其适用性[J]. 交通世界, 2018(14): 25-26.
- [12] 王元元, 郭诗言, 刘燕燕. 基于图像二维和三位信息的路面抗滑性能评价效果的对比[J]. 公路, 2020(5): 1-6.
- [12] ASTM E965—2015 (2024) Standard Test Method for Measuring Pavement Macrottexture Depth Using a Volumetric Technique[S].
- [13] 黎春林, 乐金朝, 马旭阳. Grip Tester摩擦系数仪应用研究[J]. 河南科学, 2003, 21(1): 73-77.
- [14] 钟燕辉, 张蓓, 胡亚男. 沥青路面纵向抗滑性能影响因素试验研究[J]. 中外公路, 2009, 29(5): 96-99.
- [15] 和松, 钱敬之. 路面横向力系数温度影响研究[J]. 公路交通科技, 2005, 22(12): 32-34.
- [16] 和松, 常成利, 钱敬之. 路面横向力系数速度修正试验研究[J]. 公路交通科技, 2005, 22(6): 54-56.