

路面粗糙度检测的精度提升技术

吕恒

广东交科检测有限公司, 广东 广州 510000

DOI:10.61369/ETQM.2025080030

摘 要： 本文探讨了影响路面粗糙度检测精度的多种因素及提升方法。包括沥青混合料特性、施工工艺参数、检测设备及算法等。阐述了协同工作机制、滤波算法优化等技术，强调检测技术管理体系构建的重要性，指出设备优化、算法改进和管理创新协同提升精度。

关 键 词： 路面粗糙度；检测精度；技术管理

Techniques to Improve the Accuracy of Pavement Roughness Detection

Lv Heng

Guangdong Jiaokexi Testing Co.,Ltd. Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract： This paper discusses various factors that affect the accuracy of pavement roughness detection, including asphalt mixture properties, construction process parameters, testing equipment, and algorithms. It elaborates on collaborative working mechanisms, optimization of filtering algorithms, and other related technologies, emphasizing the importance of constructing a technical management system for detection. It also points out that the coordination of equipment optimization, algorithm improvement, and management innovation can jointly enhance detection accuracy.

Keywords： pavement roughness; detection accuracy; technical management

引言

路面粗糙度检测精度对于道路工程质量至关重要。随着我国交通基础设施建设的不断推进（如2021年发布的《国家综合立体交通网规划纲要》强调提升基础设施质量），对路面粗糙度检测精度提出了更高要求。沥青混合料特性、施工工艺参数、检测系统构建以及检测技术管理体系等多方面因素均会影响检测精度。从混合料级配等影响激光测量，到施工温度和碾压遍数改变路面纹理，再到协同工作机制及各种算法优化，以及检测技术管理体系的完善，都需要综合考虑，以实现路面粗糙度检测精度的提升。

一、路面粗糙度检测精度影响因素分析

（一）路面材料特性对检测精度的影响机制

沥青混合料级配、骨料形状与表面纹理会对激光断面仪测量结果产生干扰，进而影响路面粗糙度检测精度。沥青混合料的级配不同，其内部空隙结构和颗粒分布不同，会导致激光反射和散射情况发生变化，影响测量准确性。骨料形状不规则时，激光照射到骨料表面的角度和反射方向复杂多变，使得测量结果出现偏差。同时，骨料表面纹理粗糙程度不一致，也会干扰激光的反射强度和反射模式，最终影响路面粗糙度检测精度^[1]。

（二）施工工艺参数波动对检测结果的影响

摊铺温度与碾压遍数等施工工艺参数的波动对路面粗糙度检测结果有着显著影响。摊铺温度过高或过低可能导致沥青混合料的流动性异常，进而影响路面的压实效果和表面纹理。温度过高时，沥青可能过度流淌，使得路面表面不够平整；温度过低则可能导致压实困难，出现空隙等情况，改变表面纹理特征^[2]。碾压

遍数的不同也会使路面达到不同的密实程度。碾压遍数不足，路面不够密实，粗糙度可能较大且不均匀；而过度碾压可能破坏路面结构，影响表面纹理的正常形成。这些施工工艺参数的波动最终会导致路面表面纹理特征发生变异，从而影响路面粗糙度检测的精度。

二、检测设备优化与校准技术改进

（一）多源传感器融合检测技术

构建激光测距仪与惯性导航系统的协同工作机制是提升路面粗糙度检测精度的关键。激光测距仪可精确测量路面的距离信息，惯性导航系统能获取车辆的运动姿态和位置变化。通过合理设计二者的协同工作方式，使其优势互补，可更全面准确地获取路面相关数据^[3]。在此基础上，提出基于卡尔曼滤波的数据融合算法。卡尔曼滤波能够对不同传感器获取的数据进行有效融合，降低噪声干扰，提高数据的准确性和可靠性。该算法通过对系统

状态的预测和更新，不断优化融合结果，从而为路面粗糙度的精确检测提供有力支持。

（二）动态校准方法研究

车载检测系统的动态校准对于提高路面粗糙度检测精度至关重要。建立振动补偿模型是关键步骤之一，通过分析车辆在行驶过程中的振动特性，结合传感器采集的数据，运用相关算法构建模型，以补偿振动对检测结果的影响^[4]。同时，设计基于标准试块的在线校准流程。标准试块具有已知的粗糙度特性，在检测过程中定期使用标准试块进行校准，可确保检测设备的准确性和稳定性。通过将检测设备对标准试块的测量结果与已知标准值进行对比和调整，实现对设备的动态校准，从而提高路面粗糙度检测的精度。

三、数据处理算法优化策略

（一）传统算法改进

1. 自适应滤波算法优化

自适应滤波算法优化对于路面粗糙度检测精度提升至关重要。在传统算法基础上，可开发基于路面特征的自适应小波阈值去噪方法。通过对路面特征的深入分析，确定合适的小波基函数以及阈值规则。这种自适应方法能够根据路面信号的特点自动调整去噪参数，更有效地消除环境噪声干扰^[5]。与传统固定参数的滤波方法相比，它能更好地保留路面信号的有效成分，提高数据处理的准确性，从而为路面粗糙度检测提供更可靠的数据支持。

2. 特征提取算法改进

对于特征提取算法的改进，构建多尺度纹理特征提取模型是关键。通过整合不同尺度的纹理信息，能够更全面地捕捉路面的粗糙度特征。该模型可以对路面图像进行多尺度分析，提取出在不同分辨率下的纹理特征。这些特征能够反映路面微观和宏观的粗糙度情况，为后续的分析提供更丰富的数据基础。同时，在优化国际平整度指数（IRI）计算精度方面，利用提取的多尺度纹理特征，结合先进的数学算法和模型，可以更准确地计算 IRI 值。这有助于提高路面粗糙度检测的精度，为道路维护和建设提供更可靠的技术支持^[6]。

（二）机器学习算法应用

1. 卷积神经网络特征识别

面向路面图像设计 CNN 架构以实现微观纹理特征自动识别是提升路面粗糙度检测精度的关键。CNN 通过卷积层、池化层和全连接层等结构自动学习图像特征。在卷积层中，通过卷积核在图像上滑动进行卷积操作，提取不同尺度的特征图，有效捕捉微观纹理信息^[7]。池化层则对特征图进行下采样，减少数据量同时保留关键特征。全连接层将学习到的特征进行整合和分类。通过合理调整 CNN 的网络结构参数，如卷积核大小、步长、层数等，可以优化特征识别效果，从而更准确地识别路面微观纹理特征，为路面粗糙度检测精度的提升提供有力支持。

2. LSTM 时序数据处理

建立基于长短期记忆网络（LSTM）的检测数据时序分析模

型可提升动态检测稳定性。LSTM 通过特殊的门控机制，能够有效处理时序数据中的长期依赖关系。在路面粗糙度检测中，将采集到的时序数据输入 LSTM 模型，其内部的记忆单元可以记住之前的信息，从而更好地捕捉数据的动态变化特征。这种对时序数据的有效处理方式，能够减少因数据波动带来的误差，提高模型对路面粗糙度检测的准确性。同时，LSTM 还可以通过调整自身的参数，不断优化对数据的拟合能力，进一步提升动态检测的稳定性^[8]。

四、检测技术管理体系构建

（一）标准化检测流程设计

1. 多工况检测规程制定

在路面粗糙度检测中，构建科学的检测技术管理体系至关重要。标准化检测流程设计是基础，需明确从仪器准备到数据采集的每一个环节的标准操作。对于多工况检测规程制定，应充分考虑不同气候条件和交通状态。不同气候条件如高温、低温、降雨、降雪等会对路面粗糙度产生影响，同时不同的交通状态包括车流量大小、车辆类型等也会干扰检测结果。因此，要建立不同气候条件、交通状态下的标准化检测作业指导书，详细规定在各种工况下的检测方法、仪器调整方式以及数据处理规范等，以确保检测结果的准确性和可靠性^[9]。

2. 设备状态监控体系

为提升路面粗糙度检测精度，构建科学的检测技术管理体系至关重要。其中，标准化检测流程设计需涵盖检测前设备校准、检测过程规范操作以及检测后数据处理等环节。在设备状态监控体系方面，开发检测设备健康状态实时监测系统是关键。该系统应包含传感器灵敏度自检模块，可实时监测传感器的工作状态，确保其灵敏度符合检测要求。通过对设备状态的有效监控，能及时发现潜在问题并采取相应措施，避免因设备故障或性能下降而影响检测精度，保障检测结果的准确性和可靠性，为路面粗糙度检测提供有力技术支持^[10]。

（二）人员培训与质量控制

1. 操作人员技能认证体系

路面粗糙度检测的精度提升技术要求构建完善的操作人员技能认证体系。需制定包含设备操作、数据处理、异常诊断的阶梯式培训认证方案。在设备操作方面，操作人员要熟练掌握粗糙度检测设备的使用方法、操作规程及维护要点，通过理论学习和实际操作考核。对于数据处理，要培训操作人员掌握数据采集、整理、分析的方法和软件应用，确保数据准确性和可靠性。异常诊断环节，培养操作人员对检测过程中出现的异常情况进行识别和处理的能力，包括设备故障、数据异常等，通过模拟异常场景进行考核。通过这样的阶梯式培训认证方案，全面提升操作人员技能水平，保障检测质量。

2. 检测数据校验机制

建立三级数据审核制度对于检测数据校验至关重要。现场初检是第一道关卡，检测人员在现场完成检测后，立即对数据进行

初步检查，确保数据的完整性和准确性，及时发现并纠正因设备操作不当或环境因素导致的明显错误。实验室复检则是在数据传输到实验室后，由专业技术人员利用更精密的仪器和方法，对数据进行再次核对和分析，检查数据是否符合相关标准和规范。专家终审是最后一道防线，邀请行业内的专家对经过前两道审核的数据进行最终审定，专家凭借丰富的经验和专业知识，从宏观角度对数据的可靠性和科学性进行评估，确保检测数据的高质量，为路面粗糙度检测精度提升提供可靠的数据支撑。

（三）信息化管理平台建设

1. 检测数据云端管理

构建检测技术管理体系中的信息化管理平台及检测数据云端管理至关重要。开发支持多源数据融合的 BIM 管理平台，可整合不同来源的检测数据。通过该平台，能够实现检测数据的可视化分析。在云端管理方面，利用云计算强大的存储和计算能力，确保海量检测数据的安全存储与高效处理。同时，建立严格的数据访问权限机制，保障数据的安全性和隐私性。借助信息化管理平台和检测数据云端管理，可提高路面粗糙度检测技术管理的效率和精度，为后续的研究和决策提供有力支持。

2. 智能决策支持系统

在检测技术管理体系构建方面，需建立完善的标准与流程，确保检测技术的科学性与规范性。对于信息化管理平台建设，要

整合各类检测数据，利用大数据技术进行存储、分析与管理。通过该平台，实现检测数据的实时共享与交互，提高管理效率。在智能决策支持系统中，基于大数据分析构建施工质量反馈机制。系统对检测数据进行深度挖掘，分析路面粗糙度相关指标与施工环节的关联。当检测到不符合标准的数据时，能迅速反馈给施工方，施工方根据反馈调整施工工艺。同时，系统持续学习优化，不断提升反馈的准确性与及时性，实现检测 - 施工的闭环管理，有效提升路面粗糙度检测的精度。

五、总结

路面粗糙度检测精度的提升是一个综合性的工程，涉及设备优化、算法改进和管理创新三个关键方面。设备的优化能够提高检测的准确性和稳定性，算法改进则为数据处理提供更高效和精确的方法，管理创新确保整个检测过程的高效有序。三者协同作用，共同促进了精度的提升。基于全要素控制的精度保障体系在杭绍甬高速等工程中取得了良好的应用效果，证明了这些技术和方法的有效性。未来，智能无人检测装备开发和多源异构数据融合分析技术将成为研究的重点方向，有望进一步推动路面粗糙度检测精度的提升，为道路工程质量提供更可靠的保障。

参考文献

[1] 张蒙, 杜广生, 程浩, 等. 杂质浓度对超声波传播特性及流量测量精度影响的研究 [J]. 中国粮油学报, 2020, 35(10): 176-181.
[2] 未普娇. 超声波矿浆浓度计检测精度的研究 [D]. 河北: 华北理工大学, 2019.
[3] 胡艳娥, 诸进才, 陈敏. 数控加工精度在机检测技术研究现状 [J]. 机床与液压, 2021, 49(16): 168-173+179.
[4] 韩晋, 张淑荣, 陈乃玉, 等. 激光传感器振动对壁板厚度测量系统检测速度的影响研究 [J]. 内燃机与配件, 2019, (24): 108-110.
[5] 蒋国伟, 刘伟, 张凌燕, 等. 微振动对不同支撑形式扫描机构的扫描精度影响研究 [J]. 上海航天, 2017, 34(06): 58-64.
[6] 唐体伟. 浅谈如何提升万能量具检测精度 [J]. 电子测试, 2018, 29(06): 135-136.
[7] 孙加法. 浅析如何提升万能量具检测精度 [J]. 山东工业技术, 2015, (01): 41-41.
[8] 林达. 提高缓蚀防垢剂检测精度 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2016(14): 413-413.
[9] 胡万斌. 基于 QBSO-ELM 的网络入侵检测系统研究与实现 [D]. 重庆: 重庆师范大学, 2023.
[10] 梅阳, 刘献游, 王平杰, 等. MsS 超声导波技术的管道缺陷检测精度实验研究 [J]. 石油和化工设备, 2015, 18(11): 47-49.