

高速公路路面自动化检测技术研究

张顺雨

南京科兴工程建设项目管理有限责任公司，江苏 南京 210000

摘要：新时期公路工程建设工作的开展，特别是合理利用公路路基施工技术，既能保证路基工程质量，又能提高公路工程的总体效益。因此，在新时期，为了适应社会发展的需要，必须合理运用路基施工技术。本文聚焦于高速公路路面自动化检测技术，详细阐述了其检测内容，包括路面平整度、车辙状况、损坏程度、抗滑性能以及结构强度等方面。深入探讨了各项自动化检测技术的应用路径，分析了该技术高效性、经济性、精准性等主要特点，旨在为提升高速公路路面检测水平、推动道路养护与建设的科学化发展提供理论与实践支撑。

关键词：高速公路；路面结构；自动化检测；技术路径

Research on the Automatic Detection Technology of Highway Pavement

Zhang Shunyu

Nanjing Kexing Engineering Construction Project Management Co., Ltd. Nanjing, Jiangsu 21000

Abstract : The development of highway engineering construction work in the new period, especially the rational use of highway subgrade construction technology, can not only ensure the quality of subgrade engineering, but also improve the overall benefit of highway engineering. Therefore, in the new period, in order to adapt to the needs of social development, we must reasonably use the roadbed construction technology. This paper focuses on the automatic detection technology of highway pavement, and elaborated its detection content, including the pavement flatness, rutting condition, damage degree, skid resistance and structural strength. The application path of various automatic detection technology is deeply discussed, and the main characteristics of its high efficiency, economy and accuracy are analyzed, aiming to provide theoretical and practical support for improving the detection level of highway pavement and promoting the scientific development of road maintenance and construction.

Keywords : highway; pavement structure; automatic detection ; technical path

前言

高速公路作为现代交通网络的重要组成部分，其路面质量直接关系到行车的舒适性、安全性以及道路的使用寿命。传统的路面检测方法往往依赖人工操作，不仅效率低下，而且检测结果的准确性和客观性也难以保证。随着科技的不断进步，自动化检测技术应运而生，为高速公路路面检测带来了新的机遇和变革。本文旨在对高速公路路面自动化检测技术进行深入研究，分析其检测内容、特点以及应用路径，以期为该技术的进一步推广和应用提供有益的参考。

一、高速公路路面自动化检测概述

(一) 检测内容

高速公路路面自动化检测涵盖路面平整度、车辙状况、损坏程度、抗滑性能、结构强度等内容。路面平整度是衡量行车舒适性的重要指标，通过自动化设备能够精准测量路面的起伏变化情况^[1]。车辙状况反映了路面在车辆长期碾压下的变形程度，对于评估路面的承载能力和耐久性具有重要意义。路面损坏程度包括裂缝、坑槽、松散等各类病害的识别与量化分析，有助于及时发现路面的薄弱环节。抗滑性能直接关系到行车安全，自动化检测可准确测定路面的摩擦系数等参数。此外，路面结构强度的检测能

够为道路的承载能力评估提供数据支持，确保道路在设计使用年限内安全稳定运行。

(二) 主要特点

自动化检测体现出高效性、经济性、精准性等特点，充分满足高速公路路面检测的基本要求。自动化检测技术具有显著优势，能够快速完成大面积的路面检测任务，大幅缩短检测周期，减少对交通的影响^[2]。经济性方面，虽然初期设备投入较高，但从长期来看，由于减少了人工成本和提高了检测效率，总体成本得到有效控制。精准性是自动化检测的核心优势之一，先进的传感器和数据处理算法能够精确获取路面各项参数，避免了人工检测中可能出现的主观误差，为道路养护决策提供可靠依据。

二、高速公路路面自动化检测技术应用路径

(一) 路面平整度检测技术的应用

在路面平整度自动化检测过程中，技术人员可以采用激光平整度仪等设备，利用激光测距原理，在车辆行驶过程中，实时采集路面的高程数据。通过对这些数据的分析处理，能够快速、准确地计算出路面平整度指标，如国际平整度指数（IRI）等。这种技术具有检测速度快、精度高的特点，能够适应高速公路的快速检测需求，为路面的养护维修提供及时准确的平整度信息^[3]。具体来看，技术人员根据《公路路基路面现场测试规程》（JTG3450—2019），激光平整度仪凭借其高精度的激光测距传感器，以特定的激光波长，在车辆维持正常行驶速度的工况下，沿车道纵向连续、精准地采集路面的高程数据。其传感器的采样间距经过优化设置，可精确至毫米级别，确保对路面微小起伏变化的敏锐捕捉。通过车载计算机系统对采集到的海量高程数据进行实时、高效的处理和分析，依据标准规定的严谨算法计算得出国际平整度指数（IRI）。通常情况下，新建高速公路路面的IRI值严格要求不超过2.0 m/km，这是保障车辆行驶舒适性和平稳性的关键指标^[4]。对于运营中的高速公路，当IRI值攀升至2.5m/km以上时，车辆行驶过程中的颠簸和跳车现象将显著加剧，不仅会增加车辆的机械磨损和燃油消耗，还会对驾乘人员的舒适性造成极大影响，同时也埋下了交通安全隐患。此时，就需考虑采取铣刨罩面等针对性的养护措施，恢复路面的平整度，优化行车条件，降低交通事故发生的潜在风险。

(二) 路面车辙状况检测技术的应用

在路面车辙状况检测环节，技术人员选用基于激光或线阵相机的车辙检测系统，通过对路面的横向扫描，获取车辙的深度、宽度等参数。从实际效果来看，技术能够清晰地分辨出车辙的形态和尺寸，对于不同类型的车辙能进行有效的检测和评估，为采取针对性的车辙修复措施提供依据，保障路面的行车安全和平顺性^[5]。按照《公路技术状况评定标准》（JTG 5210－2018），基于激光或线阵相机的车辙检测系统在执行检测任务时，展现出高度的专业性和精确性。激光扫描装置的精度可达毫米级，能够以极高的分辨率细致地捕捉路面的车辙信息。检测车辆以60km/h-80km/h的速度行驶，在确保检测效率的同时保证数据的准确性，对路面进行全面的横向扫描，从而精确获取车辙的深度（RD）、车辙宽度（RW）等关键参数^[6]。对于车辙深度，沥青混凝土路面车辙深度在理想状态下不应超过15mm。当车辙深度处于10mm-15mm区间时，路面的行车安全性虽尚未受到严重威胁，但已对行驶舒适性产生一定影响，可采用微表处等预防性养护措施，通过在路面表面铺设一层薄而均匀的混合料，填补车辙浅坑，增强路面的平整度和抗滑性能，有效延缓车辙的进一步发展；若车辙深度超过15mm，路面的结构完整性和行车安全将面临严峻挑战，可能导致车辆行驶过程中出现跑偏、积水等危险状况，此时则极有可能需要进行铣刨重铺等较为复杂且彻底的修复措施，重新构建路面结构层，确保路面的行车安全和平顺性得以恢复和保障^[7]。

(三) 路面损坏程度检测技术的应用

技术人员利用高清相机和图像处理技术，对路面图像进行采

集和分析。通过建立损坏特征数据库和智能识别算法，能够自动识别裂缝、坑槽、唧浆等各类路面损坏情况，并对损坏的程度进行量化评估。这种技术能够实现对路面损坏的快速普查，及时发现病害的发展趋势，为合理安排养护资金和制定维修计划提供有力支持。具体来看，技术人员根据《公路技术状况评定标准》（JTG 5210－2018），利用配备高清相机和先进图像处理技术的检测系统，在检测车速稳定控制在40km/h-60km/h时，对路面图像进行全面、细致的采集和深入分析^[8]。对于裂缝这一常见病害，通过高度智能化的图像识别算法，可精确测量裂缝长度（CL），其精度能够精确到毫米级，宽度（CW）的测量精度则可达0.1mm级别。当裂缝宽度超过3mm或长度达到一定程度时，雨水、杂物等容易侵入裂缝内部，加速路面结构的损坏，此时需及时采用灌缝、贴缝等处理方式。灌缝材料需具备良好的黏结性和耐久性，能够有效填充裂缝，防止水分渗透，保护路面基层；贴缝则采用高强度、耐老化的贴缝带，紧密贴合裂缝表面，阻止裂缝进一步扩展。对于坑槽，利用图像分析技术能够精确测量其面积（PA），精度可达到0.01 m²，深度（PD）精确到毫米级。当坑槽面积超过0.1 m²且深度超过20mm时，坑槽的存在不仅会严重影响行车舒适性，还可能导致车辆爆胎、失控等危险情况发生，因此需进行及时、有效的填补修复，选择合适的修补材料和工艺，确保修复后的路面与原路面结构紧密结合，恢复路面的平整性和整体性，防止病害的持续恶化，保障行车安全^[9]。

(四) 路面抗滑性能检测技术的应用

路面抗滑性能检测过程中，技术人员可以使用目前成熟度较高的横向力系数测试车，通过测量车辆在行驶过程中轮胎与路面之间的横向力，间接计算出路面的抗滑性能指标。技术人员利用摆式摩擦仪自动化改造后的设备，能够在一定速度下连续测量路面的摩擦系数，确保检测结果能够真实反映路面在实际行车条件下的抗滑能力，有效预防因路面抗滑不足导致的交通事故。实际操作过程中，遵循《公路工程质量检验评定标准》（JTG F80/1-2017），使用横向力系数测试车时，测试轮按照规定的垂直荷载精准作用于路面，车辆以50km/h-60km/h的稳定速度行驶，通过高精度的传感器实时测量轮胎与路面之间的横向力，并依据科学严谨的计算公式间接计算出路面的横向力系数（SFC）^[10]。在潮湿状态下，高速公路的SFC值一般不应低于50，这一指标对于保障车辆在雨天等恶劣天气条件下的制动和操控性能至关重要。当SFC值低于标准要求时，车辆在行驶过程中极易发生侧滑、甩尾等危险状况，严重威胁交通安全。同时，在特定的速度范围内连续测量路面的摆值（BPN）。在潮湿状态下，BPN值应不低于45，确保检测结果能够真实、准确地反映路面在实际行车条件下的抗滑能力。尤其在雨天、雪天等恶劣天气条件下，足够的抗滑性能能够有效缩短车辆的制动距离，增强车辆的操控稳定性，为驾乘人员的生命财产安全提供坚实保障^[11]。

(五) 路面结构强度检测技术的应用

技术人员在路面结构强度检测中，使用落锤式弯沉仪（FWD），通过模拟车辆荷载对路面施加冲击荷载，测量路面在荷载作用下的弯沉值，进而反算路面结构层的模量等参数，评估

路面的结构承载能力。具体来看，技术人员以《公路沥青路面设计规范》(JTGD50—2017)等规范为依据，合理操控检测设备。通过释放落锤，对路面施加冲击荷载，高精度的传感器能够精确测量路面在荷载作用下的弯沉值(L)，测量精度可达0.01mm，同时通过分布在路面不同位置的多个传感器，可获取完整的弯沉盆数据^[10]。依据这些数据，结合路面结构层的精确厚度等参数，利用专业的反算软件，采用基于力学原理的复杂算法，反算路面结构层的回弹模量(E)等关键参数。不同等级的高速公路根据其设计承载能力和交通流量预期，对各结构层的回弹模量均有相应的严格设计要求范围。若实测值低于设计标准值的80%，这表明路面结构在长期的车辆荷载作用下，可能已经出现了一定程度的损坏或强度衰减，其承载能力已无法满足设计预期和实际交通需求。对路面结构进行加固或修复处理，可以借助加铺基层、补强面层等措施。加铺基层可选用高强度的水泥稳定碎石等材料，

增强路面的整体承载能力；补强面层则可采用高性能的沥青混合料，提高路面的抗疲劳性能和耐久性，从而保障道路在长期运营过程中能够稳定承载交通流量的增长和车辆荷载的增加，维持良好的使用性能和服务水平。

三、结语

高速公路路面自动化检测技术的发展和应用，为提高道路检测效率和质量提供了有力保障。通过对各项检测技术的合理应用，能够全面、准确地掌握路面的技术状况，及时发现潜在问题并采取有效的养护维修措施。目前的自动化检测技术仍存在有待改进的问题。通过不断完善检测设备和方法，提高自动化检测技术的整体水平，以更好地服务于高速公路的建设和养护事业，推动交通运输行业的可持续发展。

参考文献

- [1] 董晶. 信息技术下装配式建筑智慧建造体系构建[J]. 城市建筑, 2022, 19(16).
- [2] 熊涛, 席恩伟, 阎文佳. 基于红外光谱分析与改进 CNN 的智能道路质量检测技术[J]. 工业仪表与自动化装置, 2023 (5): 98–102.
- [3] 杨木根. 公路软土路基自动化监测及灰色模型预测研究[J]. 低温建筑技术, 2023 (5): 89–92.
- [4] 柳雨豪, 罗浩原, 黄晓明. 智能公路系统下的路面病害图像检测技术综述[J]. 现代交通与冶金材料, 2023 (1): 9–20.
- [5] 曾锋, 周东东, 孙一方. 高速公路混凝土预制梁智能制造技术研究[J]. 公路与汽运, 2023 (2): 122–126.
- [6] 倪健. 无损检测技术在高速公路施工检测中的应用[J]. 国际援助, 2022 (7): 141–143.
- [7] 宋书康, 靖立峰, 郜冰等. 基于路面跳车检测技术的研究[J]. 山东交通科技, 2022 (5): 156–158.
- [8] 方筠. 高速公路沥青路面施工工艺质量的控制研究[D]. 陕西: 长安大学, 2008.
- [9] 陆卫东. 基于物联网传感技术的高速公路边坡自动化安全监测系统应用研究[J]. 经纬天地, 2023 (5): 61–65.
- [10] 朱云, 凌志刚, 张雨强. 机器视觉技术研究进展及展望[J]. 图学学报, 2020, (6).