

# 高速公路路面病害检测技术研究

徐 凯

(山东华鉴工程检测有限公司, 山东 青岛 266108)

**摘要** 高速公路作为重要的交通基础设施,其路面状况直接影响着行车安全和通行效率。路面长期受车辆荷载、环境因素等影响,易出现裂缝、车辙、坑槽等病害。本文系统分析了常见的路面病害类型及成因,总结了目视检测、弯沉仪检测、地质雷达检测、激光三维扫描等检测技术方法,提出了构建路面病害自动识别系统、多传感器联合检测系统等应用实现策略。通过典型案例分析,证实了先进检测技术在提升路面养护精细化水平、延长路面使用寿命、保障行车安全等方面的重要作用,以期为提高高速公路路面养护管理水平提供借鉴。

**关键词** 高速公路; 路面病害; 检测技术

中图分类号: U418.6

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.15.036

## 0 引言

随着我国经济的快速发展和汽车保有量的不断攀升,高速公路已成为连接各地的重要交通纽带,在促进区域经济一体化、提高物流运输效率等方面发挥着不可替代的作用。但是,高速公路路面在长期的使用过程中,不可避免地会受到车辆荷载、环境因素等的影响,出现裂缝、车辙、坑槽等各种病害,严重影响行车安全和舒适性。及时、准确地检测和评价路面病害状况,是实施有针对性养护措施的前提。传统的人工检测方法效率低下,难以满足日益增长的路面养护需求。

## 1 高速公路路面常见病害类型及成因分析

### 1.1 裂缝

高速公路路面裂缝是一种频发的病害类型,严重影响路面使用性能和行车安全。引发裂缝的因素多种多样,既有外部荷载和环境条件的影响,也有路面自身材料特性和结构设计的原因。车辆反复荷载会导致路面应力集中,高温和低温交替易引起路面温度应力,而路面材料老化、疲劳会加剧裂缝的产生和扩展<sup>[1]</sup>。裂缝按照形态特征可分为纵向裂缝、横向裂缝和龟裂等类型。裂缝的出现会破坏路面的整体性和连续性,使路表水和杂质进入裂缝而引发二次病害,加速路面损坏的进程。同时,裂缝会降低行车舒适性,产生颠簸和噪声,甚至造成车辆失控等安全隐患。

### 1.2 车辙

车辙是高速公路路面在重复车轮荷载作用下产生的一种变形病害,具体表现为车轮反复碾压位置出现纵向凹陷或沟槽。车辙的形成主要源于路面材料在车轮荷载和高温条件下发生的永久变形,包括路面结构

层的剪切变形、压密变形以及沥青面层的流动变形等。车辙会使路面失去原有的横向坡度,降低路面排水性能,造成积水和水溅,增加车辆行驶阻力和湿滑风险。同时,车辙还会加剧动荷载作用,引起车辆颠簸和抖动,影响行车平稳性和舒适性。随着车辙加深,路面承载能力进一步降低,易诱发其他类型病害,加速路面破坏进程。

### 1.3 坑槽

坑槽是高速公路路面局部脱落、破坏而形成的坑洞或凹槽,是一种严重影响行车安全和舒适性的路面病害。坑槽的成因复杂多样,既与路面材料质量和施工工艺密切相关,也受车辆超载、环境侵蚀等外在因素的影响。路面材料质量缺陷,如粗集料级配不合理、沥青与集料粘附性差等,会导致局部脱落和松散。施工工艺不当,如压实度不足、接缝处理不到位等,也易引发坑槽病害。此外,车辆超载会加剧局部应力集中,雨水和冰冻会侵蚀路面而加速材料劣化。坑槽的存在会使车辆产生颠簸和冲击,影响行车平稳性和舒适性,甚至引发爆胎、失控等事故。

## 2 高速公路路面病害检测技术

### 2.1 目视检测法

目视检测法是高速公路路面病害检测中最为传统和直观的方法。检测人员徒步或乘车沿路巡查,通过肉眼观察和人工记录的方式,获取路面表面的裂缝、车辙、坑槽、沉陷等各种病害信息,并对病害的类型、数量、位置、尺寸等特征进行描述和量测<sup>[2]</sup>。基于目视检测结果,评价路面的损坏程度和使用性能,为后续的养护决策提供依据。这种检测方法操作简便,无

需专门的检测设备,易于推广应用。但是,目视检测对检测人员的专业经验和责任心有较高要求,检测结果易受主观因素影响。此外,徒步检测效率低下,车载检测虽然速度较快,但观察视角和时间有限,容易漏检病害,尤其是早期微小病害。同时,目视检测只能获取路面表面信息,对于内部缺陷无能为力。因此,目视检测虽然简便易行,但检测质量和效率难以保证,已逐渐被新型检测技术所取代或补充。在实际应用中,目视检测常作为初步排查和日常巡查的手段,为后续检测提供参考。

## 2.2 落锤式弯沉仪检测法

落锤式弯沉仪是一种常用的路面结构承载能力检测设备。通过在路面上释放一定质量的重锤,测量路面在冲击荷载作用下产生的弯沉变形量,评价路面的承载能力和结构完整性<sup>[3]</sup>。弯沉值越大,表明路面的刚度和强度越低,车辆荷载引起的变形越大,路面承载能力越差。落锤式弯沉仪可用于路面设计验证、施工质量控制以及运营期病害诊断等环节。与其他检测方法相比,落锤式弯沉仪能够快速获取路面的整体性能指标,量测结果直观可靠,设备操作也相对简便。但是,由于落锤冲击会对路面产生一定扰动,因此检测速度相对较慢,每日检测里程有限。同时,落锤质量和释放高度等参数设置会影响检测结果,不同设备之间的衔接和比对也有一定难度。在实际应用中,落锤式弯沉仪常用于路面结构验收、大修设计和专项病害诊断等关键时点,而对于日常巡查和路况普查,则较少采用。

## 2.3 地质雷达检测法

地质雷达检测法是一种非接触、非破损的路面内部病害探测方法。地质雷达通过天线向路面发射高频电磁脉冲,电磁波在路面结构中传播并在界面处发生反射和衰减,反射信号携带了路面内部结构和材料特性的信息<sup>[4]</sup>。通过分析雷达图像,可识别出路面结构层厚度、层间界面状况、裂缝和空洞等内部缺陷,为路面病害诊断和养护决策提供翔实的依据<sup>[5]</sup>。地质雷达检测的优点在于无损探测、实时成像、高效快速,可达 100~120 km/h,日检测里程可达数百公里。同时,地质雷达对表面病害不敏感,可穿透薄层沥青面层探测基层、底基层病害,弥补目视检测和落锤弯沉的不足。但是,地质雷达检测也存在一些局限性。首先,雷达信号易受路面含水量、温度等因素干扰,材料介电常数差异也会影响探测分辨率和精度。其次,雷达图像的解译需要丰富的专业知识和实践经验,缺乏统一的定量判读标准。此外,地质雷达设备造价较高,车载系统集成也相对复杂。尽管如此,地质雷达检测仍是

当前应用最为广泛、发展最为成熟的路面无损检测方法之一,在高速公路路况巡查、专项病害排查以及大中修工程质量检测等方面发挥着重要作用。

## 2.4 激光三维扫描检测法

激光三维扫描检测是近年来兴起的一种先进的路面几何形貌获取技术。激光扫描系统利用车载或机载激光雷达,以极高的频率向路面发射激光束,通过激光的飞行时间和反射强度信息,获取路面表面的三维点云数据<sup>[6]</sup>。高密度、高精度的点云数据真实地记录了路面的空间几何特征,包括横纵坡、翻边、车辙、平整度等路况指标,以及裂缝、坑槽、唧浆等表面病害。通过点云数据处理软件,可自动提取路况参数,量化分析病害的尺寸、体积等,实现路面性能的精细化评价。与传统检测方法相比,激光扫描检测具有全面真实、精度高、效率高等优点。扫描频率可达百万点每秒,车速可达 100 km/h,每日可获取上百公里的路面三维数据。海量的点云数据也为后续的可视化展示、数字孪生、大数据分析等应用奠定了基础。但是,激光扫描系统造价昂贵,数据采集、存储、处理也对计算资源提出较高要求。同时,激光穿透能力有限,主要用于路面表层检测,对内部缺陷无能为力。

## 3 高速公路路面病害检测技术的应用实现

### 3.1 路面病害自动识别系统

路面病害自动识别系统是将先进的机器视觉和深度学习技术应用于公路养护领域的典型成果。该系统以高清摄像头为感知设备,通过在公路网络布设固定摄像头或在巡查车辆上安装车载摄像头,持续采集高质量的路面图像数据<sup>[7]</sup>。采集到的海量图像经过预处理、特征提取和分割等步骤,提取出路面病害的图像特征,并建立起完善的病害特征数据库。在此基础上,利用卷积神经网络等深度学习模型,对图像特征进行分类和识别,实现裂缝、坑槽、车辙、沉陷等典型病害的自动检测和分类。与人工目视检测相比,路面病害自动识别系统具有速度快、精度高、效率高、客观性强等优点。系统可根据病害类型、密度、严重程度等指标,快速生成路面病害统计报告和分布图,直观呈现路面健康状况。同时,该系统可与地理信息系统、路面管理系统等平台集成,实现病害数据的空间定位、趋势分析、维修排程等智能化应用,加速从海量数据到决策的过程,提高路面养护管理的科学化水平。

### 3.2 多传感器联合检测系统

多传感器联合检测系统是集成多种先进无损检测技术的路面综合检测解决方案。该系统在同一检测平台上融合了多种传感器,如激光雷达、地质雷达、高

清摄像机、红外热像仪等,可同步获取路面表面和内部的多源异构数据<sup>[8]</sup>。通过传感器阵列布设和数据同步触发技术,实现了路面全方位、多维度、高精度的一次性采集,极大地提高了检测效率。采集到的海量数据通过多传感器数据融合算法进行解译和分析,发挥不同传感器的互补优势,实现对路面结构状况、功能性能和病害特征的全面刻画。例如:激光雷达点云数据用于提取路面表面的宏观纹理特征和几何形貌参数,高清图像用于识别表面裂缝、坑槽等病害,地质雷达剖面图用于分析内部层状结构、空洞、脱空等缺陷,多源数据的融合分析可形成路面结构和性能的全息画像。多传感器联合检测系统的应用,可快速查找路面病害成因,精准诊断病害等级,预测病害发展趋势,制定养护维修策略,实现“一次检测,多项评定”的目标。

### 3.3 移动应用与路面管理系统集成

随着智能手机和移动互联网的普及,将路面病害检测技术与移动应用相结合,开发路面巡查APP,可以显著提高一线养护人员的工作效率。巡查人员利用智能手机拍摄路面图像,通过APP将图像上传至云端服务器,借助机器视觉算法自动识别图像中的路面裂缝、坑槽等病害,并评估病害等级。识别结果与定位信息、路段信息等关联后,实时反馈给巡查人员,并同步更新路面管理系统中的路况数据库<sup>[9]</sup>。管理人员通过移动端或Web端,可随时查看辖区内路面病害的数量、分布、程度等统计信息,并下达相应的养护作业指令。移动应用与路面管理系统的无缝集成,打通了路面病害从发现到处置的业务链条,实现了病害数据的实时采集、自动化分析和网络化管理,使传统的路面养护流程更加高效、便捷,大幅节约了人力物力。

### 3.4 声学及震动检测技术应用

声学及震动检测技术是路面结构性能评价的新兴手段。受路面病害影响,车辆行驶时产生的胎噪声和车身振动会表现出不同的频谱特征。通过在路面安装声学阵列和振动传感器,采集车辆通过时的声音和振动信号,并进行时频分析和特征提取,可以实现路面粗糙度、平整度等功能性指标的间接测量。同时,这些信号还蕴含着路面内部结构的信息。空洞、脱空、离层等病害会在频谱图上呈现出异常的峰值或阶跃变化,通过大数据分析和机器学习算法,可以从海量的声音和振动数据中智能识别出这些内部病害。声学及震动检测具有非接触、非破损、低成本、全天候等优点,尤其适合交通流量大、路况复杂的高速公路。在实际应用中,可利用收费站和服务区等区域布设声学及震动传感器,实现路面结构状况的自动化普查。

## 4 典型案例分析

某高速公路管理部门管辖的路段面临路面病害频发、日常养护难度大的棘手问题。为精准掌控路面状况,提高养护决策的科学性和针对性,管理部门果断引入了激光三维扫描检测系统和路面病害自动识别系统等先进技术装备。定期利用车载激光雷达开展路面三维扫描,获取高密度点云数据,建立起路面几何形貌的数字化模型,并通过病害识别算法自动检测和量化路面裂缝、坑槽等病害,形成路面病害数据库。同时构建路面管理信息系统平台,将路面病害与路段、桩号等位置信息关联,生成病害统计报告和分布图,直观呈现路面健康状况。管理部门据此优化年度和月度的检测计划,对病害严重、高风险路段加密检测频次。检测数据也被用于指导日常小修保养和大中修工程,对病害趋势进行超前研判,形成“早检测、早预警、早处治”的主动养护模式。

## 5 结束语

高速公路路面病害检测技术是公路运营养护中的一项关键技术。通过分析路面病害成因,研究先进的检测方法,开发智能化的病害识别系统和便捷的移动应用,可以显著提升路面病害检测的效率和精度,为路面预防性养护、科学化管理提供有力的数据支撑。展望未来,随着新型传感器、大数据分析、人工智能等技术的进一步发展和应用,路面病害检测技术必将向着更加智能化、网联化的方向发展,实现路面全生命周期的精细化健康监测,最终为高速公路的安全、高效、绿色运营提供坚实的基础保障。

## 参考文献:

- [1] 姚轩.公路沥青路面病害类型及处治措施[J].汽车画刊,2025(01):215-217.
- [2] 潘畴男.高速公路养护管理的新技术分析[J].城市建设理论研究(电子版),2025(02):164-166.
- [3] 吴钢荣,侯丁戈,雷超.高速公路路面病害检测技术研究综述[J].科技视界,2024,14(16):76-79.
- [4] 赵旭.路面病害数字化检测技术在京台高速公路改扩建工程中的应用[J].工程技术研究,2022,07(19):28-30.
- [5] 同[4].
- [6] 朱哲,冯波.基于探地雷达技术的路面病害检测研究[J].工程技术研究,2018(02):186-187.
- [7] 贾根选.高速公路路基路面病害检测技术的合理选择[J].新城建科技,2024,33(02):119-121.
- [8] 李明珊.高速公路路面病害无损检测与养护技术探析[J].交通世界,2024(Z2):73-75,79.
- [9] 穆红海,刘超权.高速公路路基路面病害检测技术研究[J].运输经理世界,2023(01):16-18.