

基于无损检测技术的沥青路面早期病害识别与评估

杜磊

新疆金正建设科技有限公司, 新疆 乌鲁木齐 830000

[摘要] 沥青路面在我国高等级公路及城市道路建设中得到广泛应用, 具有易于养护、施工快捷、行驶平稳等优点, 其服役性能不但直接影响交通安全, 还影响交通运行效能。但是沥青路面在长期受到环境因素、交通荷载, 加之施工质量、材料性能等相关因素的影响容易出现早期病害情况, 或未及时识别与评估, 沥青路面早期病害会快速发展为结构性的损害, 不仅会缩短路面的使用寿命, 而且提高后续的养护成本。因无损检测技术具有高效性、准确性等显著的优势, 将其应用于另期路面早期病害的识别过程中不仅不会结构造成破坏, 而且能够实现早期病害的快速识别, 为后续制定精细化针对性的路面养护计划提供参考依据。基于此, 文中首先对沥青路面常见的早期病害类型进行系统性的分析与阐述, 同时探讨各类无损检测技术的检测原理、技术特点及应用范围, 在此基础上, 围绕实际情况构建基于无损检测数据的早期病害评估体系, 以供参考。

[关键词] 无损检测技术; 沥青路面; 早期病害; 病害识别; 性能评估

DOI: 10.33142/aem.v8i3.19433

中图分类号: U412.36

文献标识码: A

Early Identification and Evaluation of Asphalt Pavement Diseases Based on Non-destructive Testing Technology

DU Lei

Xinjiang Jinzheng Construction Technology Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

Abstract: Asphalt pavement has been widely used in the construction of high-grade highways and urban roads in China, with advantages such as easy maintenance, fast construction, and smooth driving. Its service performance not only directly affects traffic safety, but also affects traffic operation efficiency. However, asphalt pavement is prone to early damage due to long-term environmental factors, traffic loads, construction quality, material performance, and other related factors. If not identified and evaluated in a timely manner, early damage to asphalt pavement can quickly develop into structural damage, which not only shortens the service life of the pavement but also increases subsequent maintenance costs. Due to the significant advantages of high efficiency and accuracy of non-destructive testing technology, its application in the identification process of early pavement diseases in another phase not only does not cause structural damage, but also enables rapid identification of early diseases, providing reference for the subsequent development of refined and targeted pavement maintenance plans. Based on this, the article first systematically analyzes and elaborates on the common early disease types of asphalt pavement, and explores the detection principles, technical characteristics, and application scope of various non-destructive testing technologies. On this basis, an early disease assessment system based on non-destructive testing data is constructed around the actual situation for reference.

Keywords: non-destructive testing technology; asphalt pavement; early diseases; disease identification; performance evaluation

引言

随着我国交通运输的发展, 沥青路面占公路建设比例达 90% 以上。然而有的路面通车几年后便发生病害, 导致交通中断甚至人身伤害事故。现有的人工检查方式费时费力又不够准确; 而钻孔抽芯虽具有一定的准确性, 但其对道路有一定的破坏性和局限性, 并不能对道路进行大面积、高精度的检测。无损检测技术 (NDT) 能在不破坏结

构完整性的前提下, 获取对象状态信息, 具高效、广范围、无破坏、数据准确等优势, 成为核心手段。目前, 国内外开发了多种无损检测技术并广泛应用, 但单一技术难全面覆盖病害识别需求, 现有评估体系也缺乏综合性能评估。因此, 系统梳理病害类型成因、分析检测技术特点、构建评估体系, 对推动养护技术发展、延长路面寿命、降低成本意义重大, 本文将就此展开研究。

1 沥青路面早期病害类型及成因分析

沥青路面早期病害种类繁多,根据其形状、位置以及危害性不同可分为裂缝类、变形类、表层损坏类三种。裂缝类主要为横向、纵向、网状裂缝,横向是指垂直行车方向,一般出现在通车后的一至两年间,位于车行道中间等处;纵向是指平行行车方向,多分布于车道边沿等处;网状是指不规则交错状,多由于表面老化等原因造成。车辙、沉陷为变形类主要类型,车辙集中在轮迹带内,高温下变形更大;沉陷多发生在桥头搭板处等位置,在局部范围出现下沉容易引起跳车现象。松散、坑槽、泛油为表面损坏类主要类型,松散是由于集料脱离形成;坑槽是在松散基础上进一步扩大,其破坏性大;泛油会使路面的抗滑能力降低。

早期病害产生的原因很多,在设计过程中存在结构不合理、排水不完善、配合比设计不当等造成路面的抗裂、抗变形能力不够等问题;在材料的选择方面,沥青指标不符、集料级配不合理以及黏结性能差等容易引起病害;环境因素如温度的变化、雨水的冲刷及紫外线的照射等会导致病害的发展;施工方面,原因分析:从路基方面看,压实不充分、温度不够、接缝不严等;从交通荷载来看,重载超载车辆增多以及刹车转向等行为导致了路面的局部破坏。

2 沥青路面早期病害无损检测技术及应用

2.1 探地雷达检测技术(GPR)

探地雷达(Ground Penetrating Radar, GPR)基于电磁反射原理,通过发射天线向沥青路面发射高频电磁波(100MHz~2GHz)。电磁波在不同介质传播时,因介电常数、电导率差异,在介质分界面发生反射、折射与散射,接收天线接收反射信号,经处理分析获取路面内部结构信息,识别病害类型与分布。路面有裂缝、松散、空洞等病害时,病害与正常区域介电常数差异大,反射电磁波幅值、相位改变,分析这些特征可定位、定性及定量识别病害。该技术主要适用于沥青路面早期裂缝(横向、纵向、网状裂缝)、松散、空洞、层间剥离、厚度不均匀等病害识别与检测,尤其适合隐蔽性内部病害检测,能准确获取病害位置、范围、深度等参数,为病害评估提供定量数据支持。优点是检测速度快,可达50~80km/h,并可实现路面全幅连续检测;检测对象广泛,可同时检测出路面表面、路面内部以及路基病害;对路面无破坏作用;检测精度较高,可检测到毫米级的裂缝和厘米级的空洞缺陷。缺点是对路面表面的杂质、水膜、温度变化敏感。检测结果容易出现偏差;对检测人员的技术要求高,要求精通信号处理及分析技术;检测装置的成本较高,不利于推广普及应用。

2.2 超声波检测技术(UT)

超声波检测技术(Ultrasonic Testing, UT)利用声学反射理论,用超声波探头向沥青路表面发射高频超声波(0.5~5MHz),超声波在路面中传播过程中由于其弹性模量、密度等物理参数的不同而产生反射、折射以及衰减现象,在接收探头处接受到反射信号,并根据其传播的时间及幅值、频率等参数来判定路面内部构造是否完好。识别病害种类与病害程度。该方法主要可应用于沥青面层及浅层早期裂缝、松散、层间剥离等病害识别检测,特别适宜于对细微裂缝进行定量检测,能够精确地测试出裂缝的宽度、深度等信息,并可用于评价病害的程度,也可用来评价沥青路面压实度、弹性模量等指标。优点是分辨率高,能够检测到较小的裂缝(缝宽 $\geq 0.1\text{mm}$),定量地测定裂缝深度;仪器尺寸小、重量轻,便于携带,可在现场进行快速检测;检测费用相对较少,适用于小型化、细部检测

沥青路面正常区域超声波传播速度均匀、衰减小,反射信号稳定;有裂缝、松散等病害时,超声波在病害区域强烈反射和衰减,传播速度降低,反射信号幅值和频率显著变化。如裂缝使超声波传播路径改变,反射信号传播时间延长;松散区域超声波衰减剧烈,反射信号幅值大幅减小。此外,该技术还可通过测量超声波传播速度计算路面弹性模量,评估路面结构强度。然而,它也有局限性,检测效率低,无法实现路面全域连续检测,只能单点检测;受路面表层平整度、温度等因素影响大,检测结果稳定性差;对路面内部深层病害检测效果有限,检测深度通常不超过1m。

2.3 红外热成像检测技术(IRT)

红外热成像检测技术(Infrared Thermography, IRT)技术基于热辐射原理,利用红外热像仪捕捉沥青路面热辐射信号,转化为可视化热成像图,通过分析温度分布差异识别路面早期病害。

沥青路面正常区域热传导性能均匀,温度分布一致,热成像图呈现均匀温度色块;有裂缝、松散、水损害等病害时,病害区域热传导性能与正常区域不同,温度分布不均匀,热成像图上出现明显温度异常区域。如裂缝阻碍热传导,高温环境下裂缝区域温度较低,低温环境下温度较高;水损害区域比热容大,温度变化慢,热成像图上呈现低温异常色块。该技术主要适用于沥青路面表层早期裂缝、松散、泛油、水损害等病害识别与检测,尤其适合大面积路面快速筛查,可快速定位病害区域,为后续精细化检测提供指引,还可用于检测路面压实度不均匀区域。其优势为检测效率高,可实现路面全域快速检测,速度达40~60km/h;操作便捷,无需接触路面,可远距离检测;无破坏性,不损伤路面结构;可

同时识别多种表层及浅层病害,检测结果直观易懂。但受环境因素(光照、风速、气温)影响大,检测结果易有误差;对深层病害检测效果有限,主要适用于表层及浅层病害识别;检测精度低于探地雷达和超声波检测技术。

2.4 激光检测技术(LT)

激光检测技术(Laser Testing, LT)基于光学反射原理,通过激光发射器向沥青路面发射激光束,激光束反射后由激光接收器接收信号,测量传播时间、反射角度等参数,获取路面表面平整度、车辙深度、裂缝宽度等信息,识别路面早期病害。

该技术分激光平整度检测和激光裂缝检测两种类型。激光平整度检测连续测量路面表面高程变化,计算平整度指标,判断是否存在沉陷、凸起等变形类病害;激光裂缝检测扫描路面表面,识别裂缝位置、宽度、长度等参数,实现裂缝类病害定量识别。其检测精度高,可实现毫米级测量,检测速度快,能实现路面全域连续检测。主要用于对沥青路面早期车辙、沉陷、表面裂缝等病害进行识别以及定量检测,特别适用于对车辙深度、路面平整度的精确测量,以便对路面变形类病害做出正确评价,也可用来检测路面磨损及抗滑能力等情况。优点是对路面检测精度较高,可精确测定路面平整度、车辙深度、裂缝宽度等参数,定量化表示病害程度;检测率高,检测速度快,达到60~80km/h,能够对全路幅进行连续式检测;检测过程自动化

程度高,避免了人工造成的误差影响;非破坏性的测试方式,不会对道路造成损害。但局限性在于检测设备成本高,推广应用受限;受路面表层杂物、光照等因素影响大,检测结果易有误差;对路面内部病害检测效果有限,主要适用于表层病害识别。对各类主流无损检测技术的核心参数进行对比,具体表1所示。

3 基于无损检测技术的沥青路面早期病害评估体系

沥青路面早期病害评估依托无损检测数据,对病害程度、路面结构性能及服役状态定量评价以辅助养护决策。其科学完善的评估体系涵盖评估指标、等级与方法,其中评估指标体系分三大类:病害特征指标描述病害类型、分布、程度等,如裂缝类、变形类、表层损坏类指标分别通过不同无损检测技术获取;结构性能指标评价承载能力与结构完整性,压实度、弹性模量、层间黏结强度基于相应检测数据计算得出;服役状态指标评估整体服役性能与病害趋势,病害发展速率依不同时期数据计算,路面性能综合指数(PQI)结合各类指标加权求和。最后,依据PQI及病害指标严重程度,将评估等级划分为优良、良好、中等、较差、极差五个级别,具体划分标准如下表2。

基于无损检测技术的沥青路面早期病害评估方法,采用“指标量化-权重分配-综合计算-等级判定”的流程,如表3所示:

表1 各类无损检测技术对比表

检测技术	检测原理	检测精度	检测效率	适用病害类型	优势	局限性
探地雷达(GPR)	电磁反射	毫米级裂缝、厘米级空洞	高(50~80km/h)	裂缝、松散、空洞、层间剥离	效率高、范围广、无破坏、可检测内部病害	受环境影响大、对人员要求高
超声波(UT)	声学反射	0.1mm以上裂缝	低(单点检测)	表层及浅层裂缝、松散、层间剥离	精度高、设备轻便、成本低	效率低、检测深度有限
红外热成像(IRT)	热辐射	厘米级病害	中高(40-60km/h)	表层裂缝、松散、泛油、水损害	效率高、操作便捷、无破坏、结果直观	精度较低、受环境影响大
激光检测(LT)	光学反射	毫米级参数测量	高(60~80km/h)	车辙、沉陷、表层裂缝	精度高、效率高、自动化程度高	设备成本高、无法检测内部病害

表2 沥青路面早期病害评估等级划分标准

评估等级	路面性能综合指数(PQI)	病害特征	结构性能
优良	≥90	无明显病害,仅存在极少量细微裂缝(缝宽<0.2mm)	压实度、弹性模量、层间黏结强度均满足规范要求,结构完整
良好	80~89	存在少量轻微裂缝(缝宽0.2~0.5mm),无变形、松散等病害	各项结构性能指标基本满足规范要求,结构完整性较好
中等	70~79	存在一定数量的裂缝(缝宽0.5~1mm),局部存在轻微松散、车辙(深度<5mm)	部分结构性能指标略低于规范要求,结构完整性一般
较差	60~69	存在较多裂缝(缝宽1~3mm),局部存在明显松散、车辙(深度5~10mm),少量坑槽	多项结构性能指标低于规范要求,结构完整性较差,存在病害发展风险
极差	<60	存在大量裂缝(缝宽>3mm),大面积松散、车辙(深度>10mm),较多坑槽、沉陷	结构性能指标严重低于规范要求,结构完整性差,需立即进行大修

表3 评估指标权重分配表

一级指标	权重	二级指标	权重
病害特征指标	0.4	裂缝类指标	0.16
		变形类指标	0.14
		表层损坏类指标	0.10
结构性能指标	0.4	压实度	0.15
		弹性模量	0.15
		层间黏结强度	0.10
服役状态指标	0.2	病害发展速率	0.10
		路面性能综合指数	0.10

4 结论与展望

沥青路面早期病害隐蔽性强、影响范围较为广泛等，直接影响到路面的行驶品质、路面的寿命，若未及时采取发现，及时干预，甚至也会增加交通安全隐患风险。鉴于此，通过应用探地雷达、超声波、红外热成像无损检查技术，可提高识别效果。基于沥青路面的病害机制构建评估体系，可精准评估病害。未来，无损检测技术将向多方向发展，后续研究应加强多技术联合系统研发、加大低成本设备投入，及时发现沥青路面早期病害，及时评估，采取针对性的措施，提高路面耐久性能。

[参考文献]

[1]宝君.对高速公路沥青路面早期病害原因分析的探讨[J].甘肃科技,2020,36(13):96-98.

[2]王明.公路路基路面早期病害检测及处治技术研究[J].新疆有色金属,2022,45(4):41-42.

[3]罗霞.沥青路面预防性养护技术在公路养护中的应用[J].运输经理世界,2025(14):139-141.

[4]刘建锋.复合式沥青路面早期破坏成因案例分析[J].广东土木与建筑,2020,27(10):40-43.

[5]谢海花.沥青路面病害成因及处治措施分析[J].交通世界,2021(8):91-92.

[6]朱洪洲,阳绪缘.沥青路面内部缺陷无损检测技术研究综述[J].科学技术与工程,2024,24(25):10588-10604.

[7]李多玉.沥青路面压实度无损检测技术探讨[J].科技创新,2024(15):111-114.

[8]何昆阳.红外热成像技术在检测公路沥青路面早期病害中的应用[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2025(4):112-115.

[9]张冬梅.公路工程沥青路面施工试验检测内容与技术研究[J].工程建设与设计,2022(10):189-191.

[10]李刚.高速公路原材料及道路路基试验检测方法探析[J].甘肃科技纵横,2022,51(7):53-54.

作者简介：杜磊（1990.2—），毕业院校：新疆农业大学，所学专业：水利水电，当前就职单位：新疆金正建设科技有限公司，职称级别：中级。