基于探地雷达与超声波耦合技术的市政道路基层病害无损检测方法研究

朱 军

（安徽省建设工程测试研究院有限责任公司，安徽 合肥 230041）

摘 要 市政道路基层病害无损检测需兼顾全范围、高精度与环境适配性，单一探地雷达或超声波技术存在检测盲区与精度缺陷，难以满足实际检测需求。本文以市政道路基层常见病害检测为研究对象，聚焦裂缝、脱空、松散等病害检测痛点，研究探地雷达与超声波耦合技术的应用方法。优化耦合检测技术参数，规范检测流程，构建数据融合策略，针对不同病害类型与复杂工况制定针对性检测方案，建立检测与治理的联动机制。结果表明，耦合技术可实现深浅层病害全覆盖检测，提升检测精度与效率，有效降低误判、漏判概率，为市政道路基层病害精准识别与科学治理提供技术支撑，助力延长道路使用寿命。

关键词 探地雷达；超声波；耦合技术；市政道路；基层病害

中图分类号：U418.6；P631.3 **文献标志码**：A **DOI**：10.3969/j.issn.2097-3365.2026.27.006

0 引言

城市道路网络承载着城市运行与民生出行的核心功能，基层结构的健康状态直接决定道路服役寿命与通行安全。随着交通荷载持续增长与城市更新进程加快，基层裂缝、脱空、松散等隐蔽性病害频发，传统单一检测技术难以兼顾深浅层覆盖、高精度识别与复杂工况适配的综合需求。当前，道路养护行业正加速向数智化、绿色化转型，国家政策明确要求提升基础设施耐久性与运维精准度，推动检测技术从被动排查向主动预防升级。探地雷达与超声波技术在检测原理与应用场景上存在天然互补性，二者耦合应用可突破单一技术的探测盲区与精度瓶颈。本文立足于市政道路基层病害检测的现实痛点，系统研究耦合技术的参数优化、数据融合与工程适配策略，构建全周期、高精度的无损检测体系，为道路病害精准识别、科学治理与低碳运维提供技术支撑，助力交通基础设施高质量发展。

1 市政道路基层病害无损检测核心需求与耦合技术适配性分析

1.1 市政道路基层病害无损检测核心需求

明确市政道路基层病害检测的核心诉求，能给探地雷达与超声波耦合技术的应用提供清晰的方向，让技术应用更有针对性和实用性。市政道路基层是道路结构的核心承重层，它的健康情况直接影响道路使用寿命与通行安全，如果基层已经出现裂缝、脱空、松散等病害，这些问题会慢慢蔓延到路面，引发更大范围的道路损坏。检测工作要精准定位各类病害的具体位置，还要明确病害的严重程度，给后续处理提供精准依据。无损检测是市政道路检测的核心前提，可以避免检测过程对道路结构造成二次损伤，同时检测工作还要兼顾高效性与低成本，适配市政道路检测的规模化需求，不用投入过多人力物力就能完成大面积检测。市政道路工况复杂，车流量大、路面杂物多等问题都会干扰检测工作，检测技术需要有较强的环境适应性，保障检测过程连续、检测结果可靠，避免因工况干扰导致检测中断或是结果出现偏差。检测工作也不是孤立存在的，它的结果需要紧密对接后续病害治理环节，为维修策略的制定提供详实、准确的数据支撑，确保治理方案贴合病害实际情况，达成精准治理、高效修复、延长道路使用寿命的目标。

1.2 探地雷达与超声波技术单独应用的局限性

探地雷达和超声波技术单独使用时，都存在明显的检测盲区和精度缺陷，这一问题使两种技术结合使用变得很有必要。探地雷达的优势在于可以探测深层结构，在检测市政道路基层的深层病害时具有一定优势，但它对浅层病害的分辨能力不足，碰到基层表面和浅层的细小裂缝，无法精准识别出来，而且路面上

作者简介：朱军（1990-），男，硕士研究生，高级工程师，研究方向：市政道桥。

的杂物会干扰雷达信号，进一步拉低检测精度，经常会漏掉细小裂缝这类浅层病害。超声波技术更擅长高精度检测浅层病害，可是探测深度不够，无法深入基层深层区域，针对基层内部脱空、松散这类体积型病害，探测范围有限，无法完整掌握病害分布，另外，检测角度只要出现一点偏差，就会直接影响检测结果，造成数据不准。两种技术单独使用都存在各自的局限，检测结果很容易出现误判、漏判，无法满足市政道路基层病害高精度、全范围的检测要求，也不能全面、准确地反映基层的健康状态，因此需要结合两种技术来突破单一技术的限制，提高检测效果。

1.3 探地雷达与超声波耦合技术的适配性

探地雷达和超声波技术的特性高度互补，将二者结合使用能有效打破单一技术的限制，大幅提高市政道路基层病害无损检测的整体效果。探地雷达的核心优势是可以探测深层区域，它能够穿过基层表层，准确找到深层区域的脱空、松散等病害；而超声波技术在检测浅层病害时精度更高，可以准确识别基层表面以及浅层的细小裂缝。二者结合后，就能覆盖不同深度的所有病害，弥补单一技术探测范围不足的缺陷[1]。探地雷达属于非接触式检测，不需要直接接触路面，能适应路面杂物较多的工作场景，减少了接触式检测带来的干扰。超声波技术则是接触式检测，可以提高浅层病害检测的稳定性。两种检测方式搭配，能适配市政道路车流量大、路面状况复杂等多种工作场景，保证检测工作可以顺利进行。两种技术的检测数据还能形成互补：探地雷达得到的深层数据，和超声波得到的浅层数据可以互相验证、互相补充，能有效去掉单一技术检测中的异常数据，降低检测误判的概率，提高检测结果的可靠性，为后续识别和治理病害提供更全面、准确的数据支撑。

2 探地雷达与超声波耦合技术检测策略

2.1 耦合检测技术参数优化策略

参数优化是实现探地雷达与超声波技术高效协同的核心，能够有效保障耦合检测的精度与效率，让两种技术的优势得到充分发挥。探地雷达的天线频率直接决定探测深度与分辨率，不同厚度的市政道路基层对探测参数的要求不同，优化天线频率需兼顾探测深度与分辨率。针对薄型基层选择较高频率，提升浅层分辨率；针对厚型基层适当降低频率，扩大探测深度，确保适配不同基层厚度的检测需求。超声波技术的检测精度受探头频率与耦合剂选择影响较大，调整探头频率需结合基层病害类型。针对细小裂缝选择高频探头，提升识别精度；针对体积型病害适当调整频率，保障探测范围。耦合剂的选择需贴合路面工况，减少探头与路面之间的界面反射干扰，避免信号衰减，进一步提升浅层病害检测精度。此外，两种技术的检测速度与采样间隔需协同协调，确保探地雷达与超声波的检测数据能够同步采集，实现数据的精准匹配，避免因采集不同步导致数据错位，影响后续数据融合效果，保障耦合检测工作的高效推进。

2.2 耦合检测流程规范化设计

建立标准化的耦合检测流程，可以保证探地雷达和超声波耦合检测操作统一，也能让检测过程重复进行，减少人工操作差异带来的检测偏差，保障最终的检测质量。检测前的准备工作会直接影响检测精度，需要先彻底清理检测区域，清除路面杂物、浮尘等会干扰检测的因素，避免杂物挡住探头或者影响检测信号；还要对探地雷达、超声波检测设备做全面校准，保证设备性能稳定，检测得到的数据准确。另外，需要结合道路实际情况划分检测区域，确定好检测路线和检测范围，避免出现漏检[2]。耦合检测的操作流程要严格规范，明确探头布置的间距、位置，结合病害检测的需求合理安排数据采集的顺序，实现两种设备的联动控制，让检测过程可以有序推进，保证检测数据完整，防止因为操作不规范导致数据缺失或者数据失真。检测完成后的数据整理环节也需要规范操作，要制定清晰的数据整理标准，把两种技术采集到的原始数据分类整理、筛选，把探地雷达数据和超声波数据有序整合在一起，同时进行初步分析，去除明显异常的数据，给后续的数据融合工作打好基础。

2.3 耦合检测数据融合策略

数据融合技术可以让探地雷达与超声波检测数据实现优势互补，进一步提高基层病害识别的准确度，让检测结果更有参考价值。探地雷达和超声波的检测原理不一样，采集到的数据在空间坐标上容易出现不匹配的问题，使用数据对齐技术就可以有效解决这个问题，通过坐标校准、数据同步等操作，让两种数据在空间位置上精准对应，保证数据能够相互关联、相互补充[3]。融合算法的合理选用是数据融合的核心，结合两种技术的数据特点，挑选适配的融合算法，把探地雷达的深层病害数据和超声波的浅层病害数据整合到一起，就能构建出完整的基层病害三维数据模型，清晰地展示病害的分布范围、深度以及严重程度，让病害情况更直观。另外，要建立完善的数据筛选与校验机制，对融合前的原始数据和融合后的综合数据做双重校验，去除设备故障、工况干扰等因素产生的异

常数据，保证融合数据的可靠性，避免异常数据干扰病害识别结果，给后续的病害判定和治理提供精准的数据支撑。

3 耦合技术在市政道路基层病害检测中的应用策略

3.1 不同类型基层病害的耦合检测针对性策略

针对不同类型的市政道路基层病害，调整探地雷达与超声波耦合检测方案，能提高病害检测的针对性与精准度，做到各类病害的精准识别与判定。基层裂缝是最常见的病害类型，特点是宽度小、分布分散，且多集中在浅层区域。针对这类病害，要调整超声波探头的布置方式，缩小探头间距，同时改变探地雷达频率，提高浅层分辨率，更精准地测量裂缝长度、宽度，确定裂缝的延伸方向与严重程度，避免细小裂缝被遗漏[4]。基层脱空多发生在基层深层，单一技术很难做到精准判定，针对这类病害，要重点发挥探地雷达的深层探测优势，准确找到脱空区域的位置与范围，同时结合超声波数据验证，进一步确定脱空厚度，避免因单一技术检测出现误判，保证脱空病害检测的准确性。基层松散属于体积型病害，分布范围广、检测难度大，针对这类病害，将探地雷达与超声波数据深度融合，整合深层与浅层数据，全面确定松散区域的分布范围、松散程度及影响深度，为后续松散病害治理提供精准依据，提高治理效果。

3.2 复杂市政道路工况的耦合检测适配策略

市政道路的作业情况复杂多变，针对不同作业环境调整探地雷达和超声波的搭配检测方案，可以保障检测工作顺利进行，提高检测的适配性与可靠性。在车流量较大的路段，检测要尽可能降低对交通的影响，可以使用便携式耦合检测设备，简化检测流程，达成快速检测、快速离场的目标，压缩检测时长，防止引发交通拥堵，还能保障检测人员和过往车辆的安全，让检测工作在不干扰正常交通的情况下有序推进。针对路面破损、杂物较多的路段，这类区域外界干扰更多，容易影响检测信号的稳定性，要优化检测前的清理流程，重点清理掉路面的破损碎石、杂物这类干扰物[5]。同时调整探头的适配方式，搭配防滑、防干扰的探头配件，减少界面反射带来的干扰，保证检测信号稳定，提高检测精度。不同基层材料的物理特性有区别，对检测信号的吸收、反射效果也不一样，结合水泥稳定基层和沥青稳定基层的特性差异，调整探地雷达的天线频率与超声波探头参数，优化数据融合算法，适配不同基层材料的检测要求，保证检测结果可以真实反映基层的病害状况。

3.3 耦合检测与病害治理的衔接策略

建立探地雷达与超声波耦合检测结果和病害治理的联动机制，可以充分发挥检测技术的实际价值，让病害检测和治理高效衔接，提高市政道路养护水平。围绕耦合检测得到的精准数据，结合病害类型、严重程度以及分布范围划分病害等级，明确不同等级病害的危害程度与处理优先级，能给针对性治理方案的制定提供科学依据，避免治理工作盲目进行，让治理资源可以得到合理分配。将检测数据和维修档案相关联，把每次耦合检测得到的病害数据、检测时间、检测区域等信息录入维修档案，做到病害检测、治理、复检的全流程闭环管理，方便后续追溯病害发展过程，评估治理效果，为后续的养护工作提供参考。结合多次耦合检测的数据做趋势分析，还能捕捉基层病害的发展规律，提前预判病害的蔓延方向和发展速度，制定预防性养护策略，及时采取防控措施，阻止病害进一步发展，降低病害治理的成本，延长市政道路的使用寿命。

4 结束语

市政道路基层病害无损检测是道路养护的关键环节，直接关系到道路通行安全与使用寿命。本文围绕耦合技术在基层病害检测中的应用展开系统研究，明确耦合技术与检测需求的适配性，突破单一技术的应用局限，形成涵盖参数优化、流程规范、数据融合的完整检测体系。针对不同病害与复杂工况的适配策略，进一步提升检测技术的实用性与针对性，实现检测数据与病害治理的高效衔接，达成病害精准识别、科学治理与预防性养护的目标。未来可结合智能化技术，进一步优化数据融合算法，提升检测自动化水平，推动耦合检测技术在市政道路养护领域的规模化应用，为市政道路运维提供更高效、更精准的技术保障。

参考文献：

[1] 杨久宁.市政道路设计中三维智能检测技术与应用效果[J].新疆钢铁,2025(03):100-102.
[2] 程冰.基于分层混合多模态大模型网络的道路病害检测方法[J].中国安防,2024(11):44-48.
[3] 曹林梅.市政道路沥青混凝土路面病害与检测技术[J].建材发展导向,2024,22(17):28-30.
[4] 樊祥龙,马顺芳.浅析市政道路沥青混凝土路面病害及检测技术[J].科技与创新,2023(06):88-90,93.
[5] 刘瑢.城市市政道路沥青路面裂缝及检测修复技术[J].智能城市,2023,09(01):41-43.