

# 探地雷达在高速公路路面隐性病害检测的应用分析

范亚倩

四川科通工程检测有限公司 四川成都 610000

**摘要:** 探地雷达技术作为一种高效的无损检测方法,在高速公路路面隐性病害检测中扮演着越来越重要的角色,该技术通过发射高频电磁波并接收其在地下介质中的反射波,能够揭示路面下的结构和材料的异常情况,从而检测到不易观察的隐性病害。基于此,本文首先简要分析高速公路路面隐性病害检测中探地雷达的原理和检测方法,随后阐述高速公路路面隐性病害的类型与影响,最后详细阐述探地雷达在高速公路路面隐性病害检测的应用策略,以供相关人士交流参考。

**关键词:** 探地雷达; 高速公路; 路面隐性病害

## 引言

随着高速公路交通量的不断增加,路面结构遭受着持续的荷载和环境影响,导致路面出现各种病害,这些病害中,有些如裂缝和坑槽等直观可见,而另一些如基层脱空、内部裂缝等则隐藏在路面之下,不易被发现,这些隐性病害若不及时处理,可能会迅速恶化,引发更严重的路面破坏。因此,对高速公路路面隐性病害的检测变得尤为重要,探地雷达技术以其高分辨率、快速、无损的特点,成为检测路面隐性病害的有效手段。

## 一、高速公路路面隐性病害检测中探地雷达的原理和检测方法

### (一) 高速公路路面隐性病害检测中探地雷达的原理

探地雷达是一种高频电磁波无损检测技术,其原理是利用天线发射特定频率的电磁波,这些电磁波在传播过程中遇到地下介质的界面时会发生反射、折射和散射。探地雷达的天线接收这些返回的电磁波信号,通过记录电磁波的传播时间(也称为飞行时间)和强度,可以推断出地下结构和材料的变化,在高速公路路面隐性病害检测中,探地雷达能够探测到路面下不同深度的异常情况,如脱空、疏松、水分积聚等,这些异常往往是路面病害的早期表现。探地雷达的优势在于其高分辨率和快速扫描能力,能够提供连续的地下剖面图像,帮助检测人员及时发现并评估路面的隐性病害。此外,探地雷达的非破坏性特点意味着它可以在不损害路面的情况下进行检测,这在高速公路等交通繁忙的区域尤为重要,通过对探地雷达数据的分析,可以对病害的位置、大小和性质进行精确识别,为后续的维修和养护提供科学依据。

## (二) 高速公路路面隐性病害检测中探地雷达的检测方法

探地雷达在高速公路路面隐性病害检测中的方法是一套综合性的技术流程,它涉及数据的采集、处理和解释,在数据采集阶段,使用雷达设备沿路面等间距移动,通过天线发射电磁脉冲并接收反射回来的信号,这些信号的旅行时间与地下介质的电磁特性和几何结构密切相关,因此可以用来推断地下情况。为了提高检测的准确性,采集的数据需要经过专业的处理,包括滤波、背景去除、增益调整和数据叠加等,这些处理步骤有助于提高信号的信噪比,使得地下结构的反射信号更加清晰,此外,通过应用信号处理技术如时间迁移和深度迁移,可以将雷达数据转换为地下结构的高分辨率图像。在数据分析阶段,专业人员会根据雷达图像中的反射特征来识别可能的隐性病害,例如路面下的空洞、脱空、水分积聚或基层的损坏,这些特征通常表现为雷达图像中的异常区域,如高振幅的反射或形状不规则的双曲线。通过对这些特征的详细分析,可以评估病害的严重程度和可能的影响,从而为维修和养护决策提供依据。

### 二、高速公路路面隐性病害的类型与影响

高速公路路面隐性病害的类型与影响是公路养护工作中不可忽视的一环,其中隐性病害通常指那些不易直接观察到的路面问题,如路面下的空洞、脱空、基层的松散和层间黏结不良等,这些病害虽然在早期可能不会引起明显的路面破坏,但随着时间的推移,它们可能会导致路面结构的弱化,增加路面发生损坏的风险,从而影响道路的使用寿命和行车安全。隐性病害的存在可能会引起路面的不均匀沉降,造成车辆行驶过程中的颠簸,

影响驾驶舒适性，甚至可能导致交通事故。例如，路面下的空洞可能会在重载车辆通过时突然坍塌，造成路面塌陷，这对高速行驶的车辆尤其危险，此外层间黏结不良可能会导致水损害，进一步加速路面材料的老化和破坏<sup>[1]</sup>。因此，及时检测和评估这些隐性病害对于采取预防性养护措施、延长路面使用寿命、保障行车安全具有重要意义，通过探地雷达等先进的检测技术，可以有效地识别和评估这些隐性病害，为公路养护决策提供科学依据。

### 三、探地雷达在高速公路路面隐性病害检测的应用策略

#### (一) 精选雷达参数，确保雷达波能够有效穿透并获取地下信息

通过合理选择雷达的工作频率、发射功率和采样率，可以优化探测深度和分辨率，以适应不同路面材料和结构的检测需求，高频雷达适用于浅层探测，能够提供更高的分辨率，而低频雷达则适用于深层探测，能够覆盖更大的深度范围。在实际应用中，雷达参数的选择应基于具体的检测目标和环境条件，如选择合适的天线类型和配置，确保雷达波能够有效发射并接收反射信号，天线的设计和排列直接影响雷达的探测能力，合理的天线布局能够提高信号的接收效率和数据的准确性，此外，采样率和数据采集频率的设置也至关重要，这些参数影响着数据的质量和后续分析的有效性。在数据采集过程中，确保雷达波的发射和接收能够覆盖整个检测区域是至关重要的，通过合理规划扫描路径和调整设备设置，可以最大限度地减少数据遗漏，确保获取全面的地下信息，针对不同的路面材料和结构，调整雷达的发射功率和接收灵敏度，以适应不同的探测需求。通过这些精细的参数选择和调整，探地雷达能够在高速公路路面隐性病害检测中发挥最大效能，为后续的数据分析和病害识别提供高质量的基础数据，这一策略不仅提高了检测的准确性和效率，还为高速公路的养护和维修提供了科学依据，确保道路的安全性和耐久性<sup>[2]</sup>。

#### (二) 精确校准设备，从而准确将时间转换为深度信息

精确校准设备是探地雷达在高速公路路面隐性病害检测中获取准确地下信息的关键步骤，通过校准，可以确保雷达系统的发射频率、接收灵敏度和时间延迟等参数被精确设置，从而使得雷达波能够有效地穿透路面材料并捕捉到地下结构的反射信号，这一过程涉及到对雷达系统的硬件和软件进行细致的调整，包括天线的中心

频率选择、发射功率的优化以及接收器的灵敏度调节。在校准过程中，通常需要进行场地测试，以确定电磁波在特定路面材料中的传播速度，这是因为不同材料的介电常数会影响电磁波的传播速度，通过比较不同测试点的速度数据，可以建立一个准确的速度模型，用于后续数据处理中将时间转换为深度，此外，还需要对雷达系统的时钟进行校准，确保数据的采集和记录与实际时间同步。通过精确校准，探地雷达能够提供高分辨率的地下图像，帮助工程师和技术人员识别和评估路面下的隐性病害，如空洞、脱空、水分积聚等，这对于制定有效的养护和维修策略至关重要，能够预防潜在的路面损坏，确保高速公路的长期稳定性和行车安全。

#### (三) 实施细致的数据采集，确保全面覆盖并最大限度地减少数据遗漏

实施细致的数据采集是探地雷达（GPR）技术在高速公路路面隐性病害检测中的关键应用策略，这一策略的核心在于通过精确、系统的扫描，确保对高速公路路面进行全面的覆盖，同时最大限度地减少数据的遗漏，以获取高质量的雷达数据，为后续的数据分析和病害识别提供坚实的基础。在数据采集阶段，首先需要根据高速公路的具体条件和预期的探测目标，选择合适的探地雷达设备和相应的参数设置。这包括选择合适的天线频率、发射功率、采样率和扫描速度等，一般来说，高频天线适用于浅层探测，能够提供更高的分辨率，而低频天线则适用于深层探测，能够覆盖更大的深度范围，发射功率和采样率的调整则直接影响到雷达信号的穿透能力和数据的详细程度。为了确保数据的全面覆盖，探地雷达的扫描路径应根据路面的宽度和车道分布进行合理规划，通常采用沿车道中心线或车道边缘进行连续扫描的方式，以确保雷达波能够覆盖到路面的每一个角落。在实际操作中，还需要考虑到路面的实际情况，如路面的曲率、坡度以及可能存在的障碍物等，适时调整扫描路径和设备设置，以避免数据的遗漏。此外，数据采集过程中的环境因素也不容忽视。路面的湿度、温度以及电磁干扰等都可能对雷达信号的传播和接收产生影响，因此，在数据采集前，应对现场环境进行充分的调查和评估，并在必要时采取相应的措施，如使用屏蔽设备、调整扫描时间等，以减少环境因素对数据质量的影响。在数据采集过程中，还应实时监控雷达系统的运行状态，确保信号的稳定性和数据的连续性，这包括对发射天线和接收天线的耦合情况进行监控，以及对数据采集软件的运行情况进行跟踪，一旦发现数据异常或设备故障，

应立即进行调整或修复，以避免数据的丢失或损坏<sup>[3]</sup>。

#### （四）进行专业的数据处理，提高信号的信噪比并突出病害特征

进行专业的数据处理是提高探地雷达在高速公路路面隐性病害检测中应用效果的关键步骤，这涉及到对雷达数据的一系列处理技术，目的是提高信号的信噪比（SNR），从而更清晰地突出地下结构的反射特征。信噪比是衡量信号质量的重要参数，表示有用信号的功率与背景噪声功率的比值，高SNR意味着信号质量好，噪声对信号的干扰小；而低SNR则表明信号中噪声成分较多，信号质量差。为了提高信噪比，可以采用多种数据处理方法，包括但不限于：1. 滤波技术：通过应用带通滤波器去除信号中的高频和低频噪声，只保留与目标频率范围相关的信号，从而减少噪声干扰。2. 信号增强：对雷达信号进行增益调整，提高有用信号的强度，使其在噪声中更加突出。3. 反褶积处理：通过反褶积技术减少或消除雷达信号中的混响效应，提高信号的清晰度。4. 图像增强：采用图像增强技术，如直方图均衡化，提高雷达图像的对比度，使病害特征更加明显。5. 多视处理：通过多视技术合成多个雷达剖面，以减少随机噪声的影响，提高数据的稳定性和可靠性。6. 人工智能算法：利用机器学习或深度学习算法，如卷积神经网络（CNN），自动识别和分类雷达数据中的病害特征。通过这些专业的数据处理方法，可以显著提高探地雷达数据的质量，使得高速公路路面隐性病害的检测更加准确和高效，这不仅有助于及时发现和评估路面病害，还能为道路养护和维修提供科学的决策支持<sup>[4]</sup>。

#### （五）强化数据解释和应用，准确识别和评估路面隐性病害

强化数据解释和应用是探地雷达技术在高速公路路面隐性病害检测中的关键环节，这一过程涉及对雷达数据的深入分析，以准确识别和评估路面隐性病害，数据解释的准确性直接影响到病害检测的结果和后续的养护决策。首先，专业人员需要对雷达数据进行详细的分析，这包括对雷达图像的形态、振幅和相位变化的解读，通过分析反射波的传播时间、幅度和形状，可以推断出地下结构的电性差异和空间位置。例如，地下空洞或脱空区域通常在雷达图像上表现为明显的低振幅反射或暗区，而裂缝和界面不连续则可能呈现为明亮的条纹或反射波

形的突变。为了提高数据解释的准确性，可以采用多种技术手段，如利用信号处理技术对雷达数据进行滤波和增强，以减少噪声干扰并突出病害特征，此外，通过与地质资料、路面设计参数和历史维护记录的对比分析，可以进一步提高解释的可靠性。在数据应用方面，准确识别的病害信息可以用于制定科学的养护计划和维修策略，例如对于检测到的路面脱空区域，可以优先进行维修，以防止病害的进一步扩展，同时，通过对病害分布和发展趋势的分析，可以对路面的养护需求进行预测，从而实现预防性养护。此外，数据解释和应用的过程中还可以结合人工智能技术，如机器学习和深度学习算法，以提高病害识别的自动化和智能化水平，这些算法可以通过学习大量的雷达数据和病害样本，自动提取病害特征并进行分类，从而提高检测效率和准确性<sup>[5]</sup>。

#### 结束语

综上所述，探地雷达技术在高速公路路面隐性病害检测中的应用策略是多方面的，涵盖了从设备参数选择、数据采集、信号处理到最终的数据解释和应用，通过精选雷达参数和精确校准设备，可以确保雷达波能够有效穿透路面并获取地下信息。细致的数据采集和专业的数据处理技术提高了信号的信噪比，并突出了病害特征，使得数据解释更为准确，最终强化数据解释和应用，准确识别和评估路面隐性病害，为高速公路的养护和维修提供了科学依据。

#### 参考文献

- [1] 杨美群, 邹友泉, 刘静. 探地雷达在高速公路路面隐性病害检测中的应用[J]. 公路, 2022(008): 067.
- [2] 罗利刚. 探地雷达在高速公路路面隐性病害检测中的应用[J]. 华东公路, 2023(5): 55-57.
- [3] 蔡勤波, 田学军, 穆建强, 等. 探地雷达在城市道路病害探测中的应用[J]. 勘察科学技术, 2023(5): 56-59.
- [4] 于明明, 张杨, 陈涛, 等. 基于三维探地雷达路面隐性病害识别与评价[J]. 公路, 2023, 68(3): 383-388.
- [5] 熊学堂, 谭忆秋, 唐嘉明, 等. 基于探地雷达的沥青路面内部病害快速识别[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2023, 51(11): 120-127.