

# 地质雷达技术在道路地下病害检测中的分析与运用

杨 健

(山西博奥检测股份有限公司, 山西 太原 030100)

**摘 要:** 道路作为交通基础设施体系中的重要组成部分, 不仅直接决定着交通便利性, 还对经济建设与社会发展也有深远影响。一旦出现道路病害问题, 极易导致交通安全事故多发或缩短道路运行寿命等不良后果。由于地质雷达技术在道路病害检测方面具有明显的优势, 本文以地质雷达技术在道路地下病害检测中的分析与运用为题展开相关研究探讨, 旨在为道路病害检测提供参考资料。

**关键词:** 地质雷达技术 道路地下病害检测 技术应用

**DOI:** 10.12319/j.issn.2096-1200.2023.01.151

## 一、引言

随着国民经济的发展及工程建设技术的日益提高, 现阶段民众出行与物资流通需求也不断高涨, 对道路工程的质量要求也越来越高, 实践证明打造高品质道路工程的关键之处, 就是在保证道路工程施工质量可靠的基础上, 严格落实科学的道路管理养护工作。道路地下病害检测成果, 为道路管理养护提供重要的参考数据, 进一步提高了道路养护的工作效率和水平。介于以往的破损式检测技术存在诸多弊端, 如检测效率低、结果不准确等, 因此很有必要在道路病害检测过程中, 融入现代化的检测技术, 以便进一步提升道路病害检测的效率。作为评价和分析工程质量的方法之一, 无损检测技术的重要性日益突出, 并已成为控制施工质量与监控工程使用过程中可靠性的有效方法。由此可见, 深入分析如何利用地质雷达技术进行道路地下病害检测意义重大。

## 二、地质雷达系统的基本原理

地质雷达是一种应用于探测隐蔽目标的电磁探测技术, 它是一种研究地下结构的重要工具。它是一种利用高频电磁波(主频为10~1000MHz)以宽频带短脉冲形式探测地下介质分布的非破坏性探测仪器, 通过剖面扫描的方式获得被测断面的扫描图像。地质雷达通过在表面移动的发射天线向地下发射高频电磁波, 在地下传播的电磁波遇到不同电性界面时, 就会发生反射和折射。反射到表面的电磁波被与发射天线同步移动的接收天线接收后, 通过雷达主机精确记录下反射回电磁波的双程走时、振幅、波长、相位等特征, 再通过滤波降噪、信号叠加、图像合成等数据处理方式, 形成被测断面的扫描图像<sup>[1]</sup>。

当介质的导电率很低时, 可以根据  $v \approx c/\sqrt{\epsilon}$  近似算出电磁波在该介质中传播的波速, 其中  $c$  为光速 ( $c=0.3m/ns$ ),  $\epsilon$  为该介质的相对介电常数值, 后者可利用现成数据

或测定获得。

则利用雷达主机记录的电磁波双程走时可求得目标体的深度  $z$  :

$$z = \frac{c \cdot t}{2\sqrt{\epsilon}}$$

介质间的电性差异越大, 反射回的电磁波能量也越强, 则雷达图像中对应的目标体的反映也越清晰, 如混凝土与钢筋、混凝土与空气、混凝土与水等均有很强烈的反射, 因此, 通过对雷达图像的判读, 便可得到目标体的分布位置和状态。

经过对数据的分析, 地质雷达能可靠地提供出有关地下地质结构的信息, 如岩层厚度、空洞范围、地下结构体疏密程度等, 它可以用于地质勘探、建筑工程、考古发掘等各领域。地质雷达技术发展至今, 已经有多种不同的地质雷达系统。其中, 基于高频电磁波的地质雷达系统可以提供更精细的图像, 但深度较浅; 而基于低频电磁波的地质雷达系统可以探测到更深的地下结构, 但图像质量较低。依据地质雷达原理, 使用过程中可调整的主要参数有以下几方面。

### (一) 采样频率

地质雷达的采样频率指的是在扫描过程中, 地质雷达发出电磁波的频率。采样频率越高, 则地质雷达发出的电磁波越密集, 扫描的精度就越高; 但同时, 采样频率越高, 扫描的速度就越慢, 所需的时间也就越多。一般来说, 采样频率越高, 所能得到的图像就越清晰, 但所需的时间也就越多。因此, 在使用地质雷达时, 需要根据实际需求来确定合适的采样频率。

### (二) 采样点数

采样点数对时窗有一定的影响, 若要得到较深的探测深度, 必须增大时窗, 但取样频率不变, 采样点数目越

多,就会增大探测深度,但因仪器和采集软件的特点,采样点的上限也就固定了。采样点数是指单道雷达记录包含的数据点数,采样点数的选择要兼顾垂向分辨率、天线中心频率和数据量等因素。

### (三) 重复频率

脉冲重复频率是指脉冲源间断发射脉冲波形的频率。由于现有雷达多采用等效采样机制,即系统采用时间递进的方式仅在每个脉冲信号的反射回波中取一个采样点,故重复频率可用于计算雷达系统每秒钟最多纪录的数据量。一般情况下,地质雷达的最大重复频率=采样点数\*扫描速度。

### (四) 采样间隔

采样间隔是一个在持续的距离触发状态下可调整的参数,可以随意选择。取样时间的选取与采集速度和叠加次数有关。通常选取范围为0.02~0.10cm,若超出0.10m,则影像的分辨率较差,没有实用价值,不能反映地下空洞、脱空、疏松体、管线等地质异常;由于采样间隔过小,所收集到的雷达资料数量庞大,严重时会导致计算机不能正常工作,所以在进行地质雷达检测时选择合适的采样间隔尤为重要。

## 三、道路地下病害的原因分析

### (一) 构成道路坍塌的岩土状态

岩土状态的变化是引起路面坍塌的根源,而引起路面坍塌的主要原因是内部和外部两方面。

### (二) 内部环境影响

内部环境影响因子是影响土体内部结构变化的重要因素,内部环境影响因素主要是自然水的影响,而动水则是大气降水、土体内部输水管道泄漏、周围大型建筑物施工时的降水。一方面,由于路面下的岩石充填不紧密,会在水流的作用下发生收缩,进而产生局部的孔隙;另一方面,由于周围大型建筑物的施工降雨,会使该地区的地下水位发生下降,使原有的力系平衡和土壤流失,进而产生中、深层塌陷。

### (三) 外在的环境影响

外部环境作用因素是指对道路地下病害产生影响的外部因素。这些因素可以分为自然因素和人为因素两类。

1.自然因素.第一,地质因素。道路建设的地质条件会对道路地下病害产生影响,如土壤类型、地层岩性、地下水位等。第二,气候因素。气候条件会影响道路地下的温度、湿度等,对道路地下病害产生影响。第三,荷载因素。道路承载的车辆数量和车辆荷载对道路地下病害产生影响。

2.人为因素。第一,设计因素。道路的设计参数,如路基厚度、路基结构等,会对道路地下病害产生影响。第

二,施工因素。道路施工过程中出现的问题,如施工质量、施工工艺等,会对道路地下病害产生影响。第三,维护因素。道路的日常维护情况,如清理污水、清理植被等,也会对道路地下病害产生影响。

## 四、运用地质雷达进行道路地下病害检测的工作流程

### (一) 资料搜集

资料搜集主要有以下三个方面。第一,所测地区的工程地质、水文地质情况。第二,与地面和地下结构有关的设计及施工资料。第三,探测路段历史坍塌事故及修复资料。在探测范围内,岩体特征、地层分布、地下水位等为外业数据采集进行雷达数据采集参数设定提供了依据;地面、地下构筑物和曾经出现过的塌陷区等数据,在探测地下病害时容易产生异常干扰,容易对数据后期处理造成一定影响,因此通过掌握探测区段的各项技术资料,可以更好地指导地下病害的检测,以便检测结果更加准确、可靠。

### (二) 检测规划设计

通常情况下,探地雷达法需要进行多次扫描,并通过计算机软件进行分析处理,得出地下结构的三维图像。探地雷达法的适用范围:探地雷达法只能检测在电磁波传播路径上的地下物体,因此不能检测在深基坑、桥墩、大型钢筋混凝土结构等后面的地下病害。探地雷达法的检测精度:探地雷达法的检测精度受多种因素的影响,包括电磁波的频率、地下物体的性质、地下管线、电缆的干扰等。因此,在设计方案时应根据具体情况选择适当的天线,并加以修正检测数据。除此之外,还需要对探地雷达法的检测范围、检测覆盖率以及数据处理方式进行必要的科学设计,以满足项目需求<sup>[2]</sup>。

### (三) 数据处理及解析

资料分析的工作是对异常的判断与解释,其工作可分为四个阶段。第一,依据现有调查资料、现场记录资料、施工经验,排除干扰异常。第二,从探测雷达图像中电磁波的幅值、相位、电磁波信号的频谱特性、同相轴的形状等方面来判断是否存在异常。第三,利用现有调查资料,结合相邻测点的对比分析,排除地下结构引起的特殊异常。第四,通过多次对比,找出异常体存在的类型及区域。

### (四) 各种地下病害的电磁波特征

1.地下空洞。从这些空洞的形成机理来看,空洞的形状更接近于球形,空洞中常充满气体,介电常数为1,且与周围介质有较大的介电常数差异,因而空洞顶部容易在雷达影像中形成一个强烈的反射性界面,其内部会出现若干个组明显的绕射波和多次波,表现为倒悬双曲线形态;在此基础上,整体振幅强,相位和频率方面表现为顶部反射

波、多次波和入射波的相位是一致的，底部反射波与入射波反向，且波形频率高于周边背景场。

2.地下脱空。地下脱空病害从波组形态分析顶部形成连续的同向性反射波组，表现为似平板状形态，多次波明显，且波形整体振幅强，在相位和频率方面与空洞表现形式基本一致。

3.松散体。松散体一般是由低密度和高孔隙率的不同土壤构成，其介电常数较低，且与周围正常地层的介电常数有较大差别，因而在雷达影像中，松散体的顶面一般呈现出强烈的振幅反射波，其极性与入射波的相位一致；由于松散体内部充满了不规则的分布，所以在雷达成像中，松散体内部呈现出一种混乱而强烈的反射波，并且随着深度的增大，其信号会逐渐减弱。

4.地下水囊及富水区。水囊或富水区一般是由土壤内部的部分地区在管道渗水或表层水的渗入下，逐步蓄水，可能全部是水，也有可能是土壤中含有大量的水分，也就是富水区。这种类型的地下病害具有较高的介电常数，与周边土壤介质有很大的差别，因而往往在异常顶部形成连续的同向性反射波组，其顶部反射波与入射波的方向相反。因为水的相对介电常数为81，所以电磁波在水中的传播速度很慢，而且在水中的高频电磁波会迅速衰减，所以很难探测到富水异常的底面反射波，也就不能准确地探测到富水异常的深度；由于地下水囊，富水区异常会充填各种不同致密度的土介质，造成非均质性，并形成多套错综复杂的反射波。

#### (五) 对分析出的异常位置进行必要的复核和验证

利用地雷达法对地下病害进行探测，可以发现异常，但是不能准确地判定异常的深度及范围，一般需要通过其他方法来进行验证。冲击钻孔是最直观的验证方法，但必须要对路面进行损坏，因此建议在没有钻孔条件的情况下，可以采用地震影像、面波等方法进行复核或验证，以便确定病害的埋深及范围，为以后地下病害的修复提供可靠的依据<sup>[3]</sup>。

#### 五、城市公路地下病害检测中存在的一些问题

在城市道路地下病害检测中，主要会受到以下几种典型干扰因素的影响。

##### (一) 物理扰动

这种干扰主要是指在探测时，在天线上方的人行天桥、高架桥、金属物体等，这种干扰一般不是由周围的电磁和探测雷达信号引起的，而是在天线移动时，这些结构对雷达电磁波的反射。此类干扰一般在雷达图像中表现出很好的形态特征，也就是说，在雷达剖面上所呈现的图形

和上面构造的图形非常吻合。

##### (二) 电磁干扰

主要是在探测过程中产生的干扰，包括高压电力线以及城市道路地下铺设了大量的通信电缆，这些电缆会产生电磁干扰。除此之外，电磁干扰还来源于电动汽车充电桩、电视广播发射设备、对讲机、手机等。

##### (三) 典型的地下构造物的干扰

主要是指在公路工程勘察中，地下隧道、井室、降水井、地下加固体、防空洞、树根等特殊结构，这些干扰通常不会直接影响到地面雷达的探测，但其在雷达数据剖面上呈现的干扰信号对地下真实的探测信号造成影响，容易让人对地下病害产生误判，因此很难对结果进行准确的解析。

#### 六、地下病害检测中运用地质雷达技术的建议

探地雷达是目前地下病害检测最普遍的方法，地质雷达技术具有检测快速、数据准确等优点，但也有一些局限性，如对于高导电性物质的检测效果较差、对于有绝缘材料的物体的检测效果较差、对于有大量砂土的地区检测效果较差等。因此，在运用地质雷达技术检测地下病害时，应注意这些局限性，并结合其他技术进行综合分析和检测。

在运用地质雷达技术检测地下病害时，应注意以下几点：选择合适的检测频率：地质雷达的检测频率对检测结果有很大的影响，应根据检测目标的特点选择合适的检测频率。调整检测参数：地质雷达的检测参数也会影响检测结果，应根据检测目标的特点调整检测参数，以获得更准确的检测结果<sup>[4]</sup>。

#### 七、结语

总之道路工程一旦出现地下病害问题，会直接危害道路交通安全和道路运行寿命，因此必须不断提升道路地下病害检测水平，以便进一步加强道路管理维护，地质雷达检测方法的出现，为道路地下病害检测提供了现代化技术支持，深入探讨如何借助地质雷达识别道路地下病害种类，可促进道路地下病害检测高效开展。

#### 参考文献

- [1]李六江.城市道路地下空洞探测的地质雷达技术探讨[J].科技资讯,2013(15):45.
- [2]杨光,李颖.地质雷达在城市道路地下典型病害探测中的应用[J].河南科技,2021,40(4):115-117.
- [3]蒋维东.地质雷达在赣州市古代地下暗渠探测中的应用研究[D].广州:华南农业大学,2018.
- [4]蔡智斌.地下管线探测中地质雷达的应用[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2016(9):00267.