

探地雷达技术在地基病害探测中的应用

花东文^{1,2,3,4,5*}, 李劲彬^{1,2,3,4,5}

¹陕西省土地工程建设集团, 陕西 西安

²陕西地建土地工程技术研究院有限责任公司, 陕西 西安

³陕西省土地整治工程技术研究中心, 陕西 西安

⁴自然资源部退化及未利用土地整治工程重点实验室, 陕西 西安

⁵自然资源部土地工程技术创新中心, 陕西 西安

收稿日期: 2021年11月2日; 录用日期: 2021年11月16日; 发布日期: 2021年11月30日

摘要

本文阐述了探地雷达探测地基隐患的基本原理, 以某个工程项目为实例, 解析了地基土体疏松、脱空、不密实等几种典型病害的雷达图像特征, 判定出地基病害的空间位置, 通过现场开挖, 验证了隐患识别的准确性。结果表明探地雷达技术是一种有效的地基病害快速探测方法, 值得大力推广。

关键词

探地雷达, 病害检测, 图谱分析

Application of Ground Penetrating Radar Technology in the Detection of Ground-Based Diseases

Dongwen Hua^{1,2,3,4,5*}, Jinbin Li^{1,2,3,4,5}

¹Shaanxi Provincial Land Engineering Construction Group Co., Ltd., Xi'an Shaanxi

²Institute of Land Engineering and Technology, Shaanxi Provincial Land Engineering Construction Group Co., Ltd., Xi'an Shaanxi

³Shaanxi Provincial Land Consolidation Engineering Technology Research Center, Xi'an Shaanxi

⁴Key Laboratory of Degraded and Unused Land Consolidation Engineering, Ministry of Natural Resources, Xi'an Shaanxi

⁵Land Engineering Technology Innovation Center, Ministry of Natural Resources, Xi'an Shaanxi

Received: Nov. 2nd, 2021; accepted: Nov. 16th, 2021; published: Nov. 30th, 2021

*通讯作者。

Abstract

This article explains the basic principles of ground penetrating radar to detect hidden dangers in foundations. Taking a certain engineering project as an example, it analyzes the radar image characteristics of several typical hidden dangers such as loose soil, voids, partial collapse and cracks in foundation soil, and determines the spatial location of the foundation diseases. The accuracy of hidden danger identification is verified by site excavation. The results show that the ground penetrating radar technology is an effective rapid detection method for foundation diseases, and it is worthy of vigorous promotion.

Keywords

Ground Penetrating Radar, Disease Detection, Map Analysis

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

地基是建筑物最重要的基础设施, 据不完全统计, 我国每年有上千起地基塌陷事故发生, 多是由地基病害所致[1]。地基病害的种类有很多, 主要有土体脱空、疏松和裂缝等, 其隐蔽性较强, 危害程度大, 严重影响了建筑物的使用寿命[2]。因此, 为了保证建筑物的使用安全, 通常是施工前须对地基进行探测, 传统的探测手段主要依靠人力现场开挖和钻探取样等, 不仅准确度差, 而且具有破坏性强、工期长、成本高等缺点。探地雷达是近些年发展起来的一种无损探测技术, 最早应用于军事领域, 具有精度高、速度快、成本低等优点[3]。随着计算机技术的突飞猛进, 图像处理技术被应用到雷达信号处理之中, 加速了探地雷达在民用领域的发展, 例如湖南大学研究团队采用量化神经网络实现了铁路路基的智能识别, 南昌大学研究团队采用支持向量机模型实现了公路隧道病害图像的自动解释。目前, 探地雷达在公路路基病害探测领域的研究和应用已经相对成熟, 而建筑物地基和路基虽有相似之处, 但在雷达图像的处理和识别上还有一定差别, 且探地雷达在地基探测方面的应用实例相对较少。因此, 本文在总结探地雷达探测地基病害原理的基础上, 以某实际工程为例, 为了准确探明地基病害的位置和范围, 采用 Seeker 探地雷达进行地基病害的探测, 分析雷达探测剖面图特征, 总结相关探测成果规律, 以期为更好地为诊断城市地基病害提供有价值的依据。

2. 探测原理与测量方法

探地雷达是一种用于确定地下介质分布的广谱电磁波技术设备, 具有分辨率高、效率高、实时显示的优点, 只要所探测目标体与周围物质的介电性存在明显差异, 就可以用此设备进行探测。其基本原理是在雷达主机的控制下, 发射天线发射电磁波进入地下, 电磁波在地下介质传播过程中, 当遇到管道、脱空、土体结构层分界处等差异介质时, 电磁波便发生反射, 反射信号被接收天线接收, 经过信号处理机分析和整理后, 形成相应的波形显示, 依据得到的雷达波形、强度和双程走时等参数, 准确判断地下目标体的空间分布、几何形态和结构形式, 进而实现对地基病害或目标体的探测[4] [5]。不同介质间的电性差异越大, 二者的界面就越清晰, 表现在雷达剖面图上就是同相轴不连续。探地雷达原理图如图 1 所示。

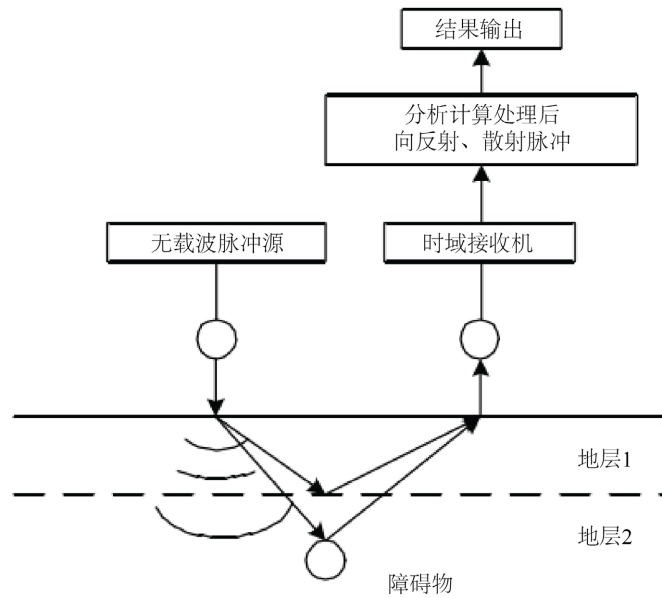


Figure 1. Schematic diagram of the working principle of ground penetrating radar
图 1. 探地雷达工作原理示意图

探地雷达检测常采用的测量方式为剖面法(图 2), 即在被测物表面上利用时距固定不变的天线, 在测线上以一定的点距离移动进行测量。测量时发射天线向地下发射高频脉冲电磁波, 当电磁波在向下传播的过程中遇到不同介质的交界面时, 就会有部分电磁波反射回到表面, 并被接收天线接收。这样, 每次接收的记录就组成了探地雷达时间剖面图像, 横坐标为天线在表面测线上的位置, 纵坐标为到接收天线的双程走时。该图像能准确地反映正对测线下方被雷达脉冲从发射天线出发经各界面反射回测物各个反射面的起伏变化, 当电磁波在介质中的传播速度 v 确定时, 根据以下公式, 即可算出地基病害在下的具体深度位置。

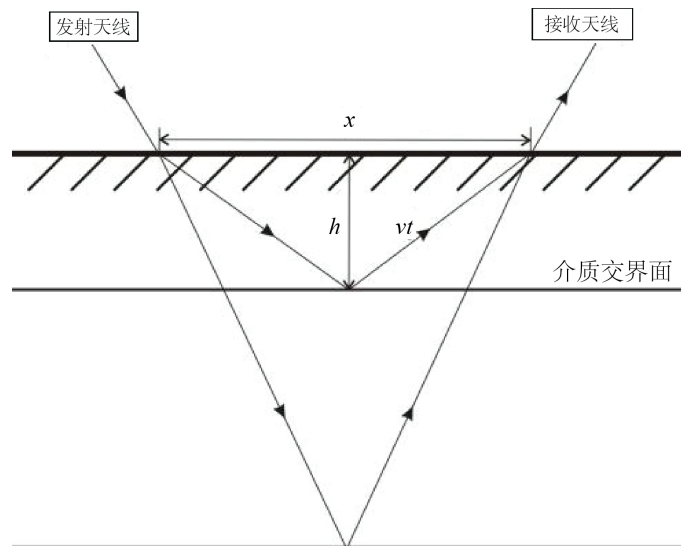


Figure 2. Schematic diagram of ground penetrating radar measurement method (profile method)
图 2. 探地雷达测量方法(剖面法)示意图

$$t = \frac{\sqrt{4h^2 + x^2}}{v}$$

式中, h 为介质交界面的深度, v 为电磁波在土壤介质中的传播速度, t 为电磁波由表面传至介质分界面的双程走时。

3. 应用实例

3.1. 工程概况

某工业园区内, 进行厂房扩建, 该项目道路硬化已完成, 为保障后续项目顺利进行, 现需对道路工程质量进行检测, 并对项目区一片建筑规划用地的地基进行探测, 探明 10 m 范围内是否有明显的空洞, 是否存在不密实松散积水现象。

3.2. 探测方法

采用剖面法, 沿场地横向和纵向, 间隔 1 m 的距离分别布置 3 条测线, 用奥维地图记录测线的起点和终点, 对地基隐患进行探测, 过程中始终保持天线与地面接触良好, 避免对雷达信号产生干扰。本次探测测线的实际布置如表 1 所示。

Table 1. List of survey line layout

表 1. 测线布置一览表

测线编号	区位类型	测线位置		实际测线长度(m)
L1	农田	34.259278N	108.094386E	46
L2	农田	34.259324N	108.094496E	48
L3	农田	34.259617N	108.094480E	50
L4	农田	34.259841N	108.094340E	40
L5	农田	34.259897N	108.094541E	45
L6	农田	34.259903N	108.094214E	52

3.3. 设备参数设置

开始探测前, 对探测区域地表进行平整, 使得天线移动时可以很好地与地表密合。本次探测采用美国 US RADAR 公司生产的 SEEKER SPR 最新型探地雷达设备, 天线频率为 250 MHz。该型号探地雷达可实现中小尺度无损测量, 在道路病害检测、混凝土路面厚度、地基基础检测等方面应用较广泛, 满足本次探测要求。相关参数设置如下: 采样点数为 512, 时间窗口为 256 ns, 迭加次数为自动迭加, 触发方式为 keyboard 触发, A/D 转换为 16 bit, 采集点间距为 25 cm。

4. 探测结果与分析

4.1. 雷达图像处理

探地雷达采集的原始数据, 由于受到外界杂波和仪器设置等因素影响, 并不能直接读取有效的病害图像信息, 为了得到真实有效的信息, 本文秉持使用最少的图像处理技术和步骤, 并获取高清晰度的上层土体剖面信息为原则, 采用 ReflexW 软件对原始数据进行基础滤波、空气波校正、图像增益、背景去除等一系列图像处理。主要包括有 3 步:

(1) 基础滤波处理, 旨在消除不必要的低频信号, 保留高频信号。

(2) 空气波校正, 雷达天线下方有一层保护壳, 在电磁波发射后, 第一道波并非来自地面的反射, 而是来自空气反射, 因此要将第一个波峰或波谷之前的波段截掉, 旨在获取雷达图像准确的起点位置。

(3) 自动增益控制, 雷达信号会随着介质深度增加而衰减, 造成深层信号较弱, 因此需要对深层信号进行放大, 突出有用信息, 但也不能设置过大造成信号失真, 本处理的时窗设置为 1, 最大增益值设置为 5000。

(4) 背景去除, 当同一位置不同深度处的信号强度变异较小时, 难以用肉眼发现差别, 需要对雷达图像水平方向上的信号强度减去其平均值, 突出差异性, 以方便识别异常。

4.2. 雷达频谱特征分析

空洞是地基的常见病害之一, 多是由于土体内部的夯实程度不一或者动物洞穴造成局部坍塌所致。地基下方的空洞内部多为空气, 因此电磁波从土体进入空洞内部, 反射系数为正, 空洞顶板与入射波相位相同, 反射振幅强, 且多次波发育, 有时在空洞两侧可见绕射波发育。因此, 空洞的雷达图谱特征表现为单层或多层重叠的抛物线, 如图 3 所示, 在测线 8 的 5~25 m 位置上, 深度约 1 m 左右位置, 出现开

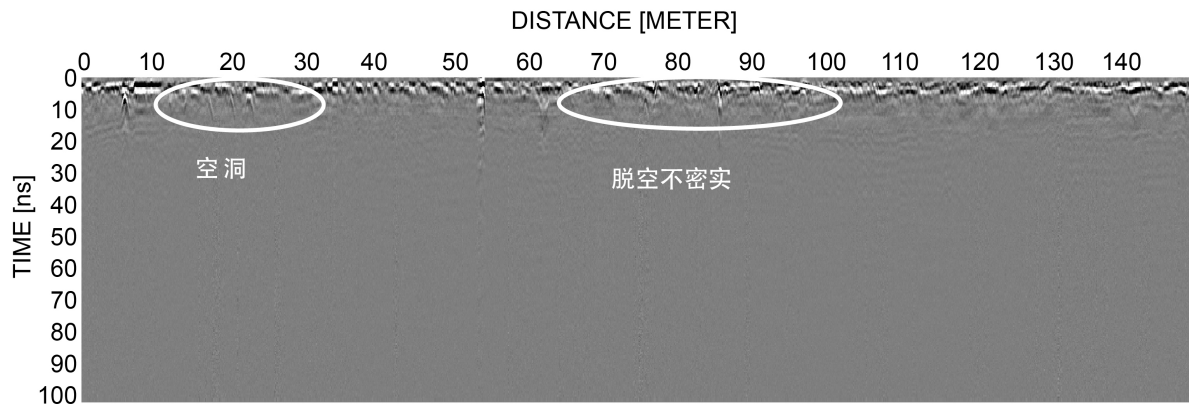


Figure 3. Survey line 8 (the characteristics of the radar image of the hole disease)

图 3. 测线 8 (空洞病害雷达图像特征)

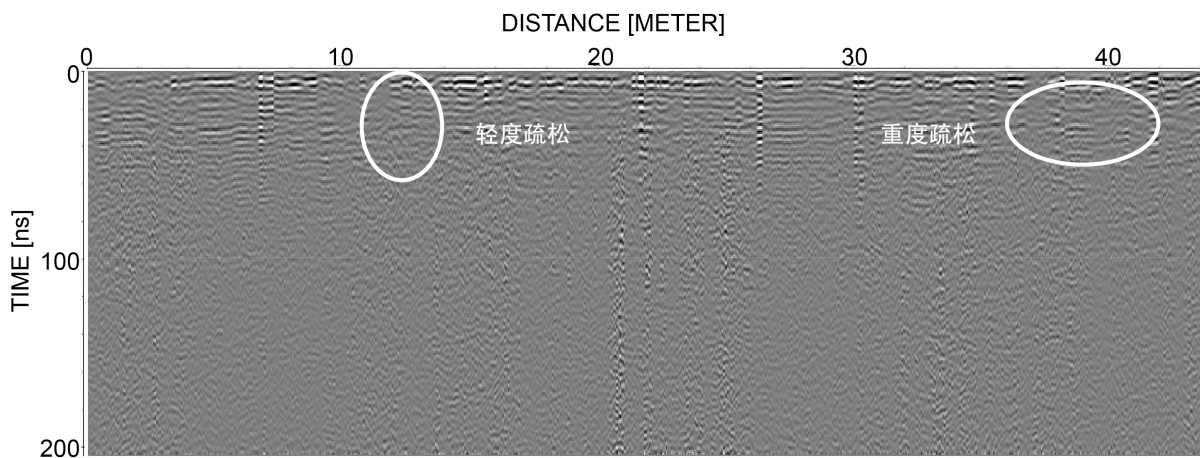


Figure 4. Survey line 5 (Radar image characteristics of loose soil)

图 4. 测线 5 (疏松土体雷达图像特征)

口向下的双曲线, 推测该区域存在空洞隐患。地基脱空是指填土压实度不够导致孔隙度较周围土体较大, 其图谱特征表现为边界波形紊乱, 分层不明显, 紧邻空洞右侧 60~90 m 区域电磁波反射信号幅值较强, 同相轴不连续、错断, 且相位杂乱, 呈区域化分布, 说明该区域土体受到扰动, 出现脱空、不密实现象。根据图中位置进行了开挖验证, 证实了地基存在脱空和不密实现象。

疏松体是土和空气的混合物, 由于空气的介电常数为 1, 因此其相对介电常数要小于周围土体的介电常数, 当电磁波从密实土体进入疏松土体是其反射系数为正, 会形成连续的同向性反射波组, 土体疏松程度会导致振幅强弱、同相轴的不连续及波形的杂乱程度的差异[6]。如图 4 所示, 在测线 6 水平方向 10 m 距离附近, 地下深度位置 2 m 左右, 出现同向轴不连续现象, 推测该区域土体密实程度不一。

5. 结语

本文介绍了探地雷达探测地基隐患的基本原理, 通过对工程项目实例的探测分析, 总结了地基脱空和不密实等隐患的典型雷达图谱特征, 通过开挖验证, 结果表明: 探地雷达法在疏松土体、不密实、脱空等地基病害的探测上具有时效性快, 可辨性好的优点, 可作为城市地基病害探测的有效手段之一。同时, 鉴于土壤组成成分复杂、均匀性差, 电磁波在土壤中衰减快、电磁波干扰因素多, 且易受到周围环境干扰, 建议采样雷达探测手段时辅以其它物探方法进行对比验证, 以提高探测结果的有效性。

参考文献

- [1] 王亚奇, 嵇业超, 朱浩然, 黄九达, 蔡海泉. 基于探地雷达的路面隐性病害检测与识别研究[J]. 上海公路, 2021(3): 47-53+154.
- [2] 李周强. 探地雷达在道路无损检测技术中的应用[J]. 中国公路, 2021(14): 116-117.
- [3] 何亮, 廖荣潇. 探地雷达在地基病害和地下管线探测中的应用研究[J]. 科学技术创新, 2021(21): 119-120.
- [4] 皮海康. 基于探地雷达的地下隐伏异常分析[J]. 山西建筑, 2021,47(8): 82-84.
- [5] 孙通, 刘延祥. 探地雷达道路典型病害图像解译分析[J]. 工程与建设, 2020, 34(6): 1106-1108.
- [6] 何亮. 探地雷达探测地基病害的应用研究[J]. 岩土工程技术, 2016, 30(2): 100-104.