

岩土工程

# 应用地质雷达探测小型不良地质体

姬继法, 潘纪顺

(中国地震局地球物理勘探中心, 郑州 450002)

[摘要]介绍了地基勘探中常见的几种小型不良地质体,通过实例,阐述了采用地质雷达探测此类异常体的应用效果。

[关键词]小型不良地质体 地质雷达 探测

[中图分类号]P631.3 [文献标识码]A [文章编号]0495-5331(2002)01-0080-03

## 0 前言

由于自然环境变迁和频繁的人类活动因素,在近地表中常埋伏着不同类型的不良地质体,对邻近或上部的构筑物构成了潜在的威胁。一类是规模较大的地质构造如破碎带、软弱层等,它们分布范围较广,在地基勘察中采用常规物探或地质钻探即可发现,另一类则是一些小型的不良地质体,与前者相对应,这里姑且称之为小型不良地质体,它们常具有如下特点:一是规模小,几何尺寸仅有几米甚至不足 1 m,如地下防空洞,其宽度一般不超过 2 m;二是埋深浅,其埋藏深度常在几十米范围内或者就在地表,如回填坑;三是多为人为因素形成;四是介质结构较单一,且与围岩有明显的物性差异。正是由于上述特点,离散性较大的地质钻探常难以发现这些小型不良地质体,而采用物探手段来探查这些目标,必须具备分辨率高且适合于小范围作业等性能。工作实践中,我们应用地质雷达进行地基勘察,在小型不良地质体探查方面取得了一定的实效。根据工作中遇到的一些小型不良地质体的几何形状,大致将其分为回填坑型、洞穴型、夹层型和不规则型 4 种类型。

## 1 地质雷达探测原理概述

地质雷达测试的可行性前提,是地下介质结构的变化依赖于电磁波的反射特征来反映。工作时发射天线向地下发射高频电磁波,当遇到电性差异(介

电常数、导电率等)的地层界面或目标体时,部分电磁波能量产生反射,被接收天线所接收,另一部分能量则透过界面继续向下传播,并在更深处的界面上产生反射,这样即可得到测点上随时间变化的反射波信号。该信号是发射、接收天线之间地下介质电性分布的平均影像。当发射天线和接收天线在地表沿一条测线扫描而过,可获得测线上的一组电磁波信号,高频电磁脉冲波对地下介质电性差异的反射影像特征即可再现地下介质的分布形态。大多数小的地质异常体其电性参数与背景介质差别较大,在两者的交界面处雷达电磁波将产生明显的反射,波的运动学和动力学特征也有所不同,同时,高分辨率、灵活的作业方式也为地质雷达探测提供了较为理想的前提条件。

## 2 探测实例

### 2.1 回填坑不良地质体

回填坑埋深较浅,回填介质多受到扰动,与原地基土介质相比较松散。图 1 是在郑州某工程场地获得的地质雷达探测结果。测试采用 100 MHz 增强型天线,对原始数据作了简单的滤波处理。图中横坐标为水平地表,纵坐标为探测深度,图像显示深度 3.5 m 左右为一平缓的连续波组界面,横向 10.0 ~ 22.0 m 之间、深度 4.0 ~ 6.0 m 有一凹陷的盆形曲面,事实上在横向 4.0 ~ 10.0 m 之间仍然有盆形曲面的边界迹象,与上覆的平缓波组呈一夹角存在,即

[收稿日期]2001-01-02;[修订日期]2001-11-20;[责任编辑]曲丽莉。

[第一作者简介]:姬继法(1970年-),男,1993年毕业于中国地质大学应用地球物理系,主要从事探地雷达等工程物探工作。

两个界面并不连续。凹陷的盆形曲面内为一些反射能量较强的缓倾短波组,这是一明显的回填坑事件。经调查了解回填坑在早期为水坑,图 2 是其原始地貌示意图。水坑旁边为土丘,后来土丘平整,水坑被回填,盆形曲面内能量较强的电磁波反射特征显示了回填土扰动后的松散性,更晚时期上面又被覆盖一层回填土。由于两次回填的时序差异,回填坑边界与上覆的回填土层底界面呈不整合相接。地质钻探也对此进行了验证,结果吻合完好。另外,在地质雷达探测结果图中,19.0 m 和 22.0 m 两处都在深部均有反射能量很强的多次反射波,它们实际是地表的两个废弃管道,由于天线频率较低,浅部信息被掩盖,而深部的多次反射波仍然反映了浅部异常物体的存在。测试结果表明,地质雷达探测能够很好地再现近地表地质变迁事件和回填坑不良地质体。

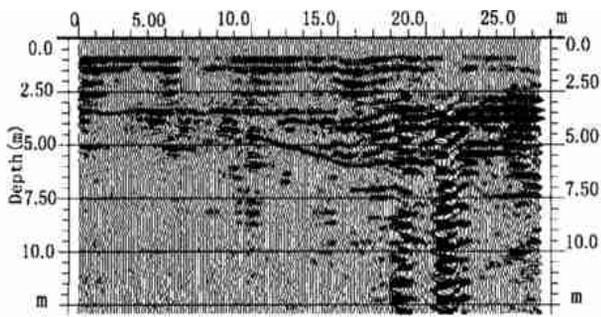


图 1 回填坑地质雷达探测结果图

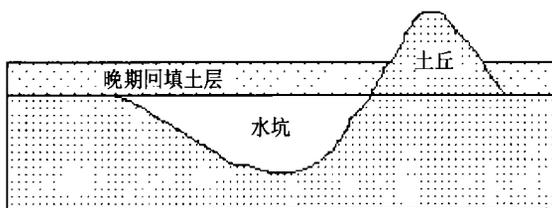


图 2 回填坑地貌示意图

## 2.2 洞穴型不良地质体

地基中的洞穴型不良地质体一种是由于地基土的流失而形成的空洞或岩溶溶洞,另一种是人工砌筑的地下洞穴如窖仓、防空洞等。其中地下防空洞是城市地基处理中常遇到的隐蔽性构造,由于处理不完善而致构筑物沉降、倒塌的工程实例已不少见,因此地基处理中详细调查防空洞的埋藏信息是非常必要的。图 3 是采用地质雷达在江苏某工程场地调查中测得的防空洞结果,测试天线中心频率为

100MHz,测线近视垂直于防空洞走向。图中水平方向 2.0~4.0 m 之间、深度 3.8 m 处有一清晰的弧形反射波同相轴,它是防空洞顶界面的雷达反射图像,防空洞洞顶为砖混砌筑的拱形界面,结构单一,在雷达探测剖面图中表现为规则的弧形反射界面,弧形界面顶点深度是防空洞的顶界埋深,钻孔验证与探测结果一致。由于电磁波的绕反射,防空洞宽度在雷达图像中被放大,其实际宽度为 1.5 m。需要提到的是,钻孔后发现,洞内已被水充填,水的介电常数比之土介质要大,水对电磁波的高导和强吸收特性,为地质雷达探测提供了好的地电背景,这也是探测效果明显的因素之一。事实上,有些防空洞因塌陷而被土质充填,目标与背景介质介电常数差异缩小,将给地质雷达方法的应用带来困难,另外,城市环境中各种干扰以及匹配天线的选择,也将直接影响探测效果。因此,采用地质雷达探测防空洞等土体介质中的洞穴型不良地质体,必须进行现场调查和试验对比。

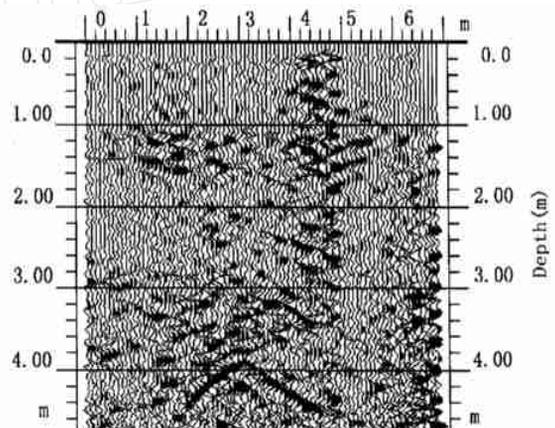


图 3 地下防空洞地质雷达探测结果图

## 2.3 夹层型不良地质体

小型的地质夹层是引起构筑物基础产生不均匀沉降的隐患之一。图 4 是在郑州某工程场地地基勘探中获得的地质雷达探测结果,该工程场地位于市内老城区,表层地基土有多次变动的可能性。测试时雷达匹配天线为 100 MHz 增强型天线,对原始数据作了简单的滤波处理,图像以灰度图方式显示。图中显示,水平方向 19~50 m 之间、深度 7~11 m 有一反射能量较强的电性地层单元 (Mellet, 1990),平均层厚约为 0.5 m,其中 19~32 m 之间该反射层

平均埋深在 8.5 m 以下,32~50 m 之间反射层平均埋深在 7.5 m 左右,两段在桩号 32 m 处有突变起伏迹象。经钻孔取芯验证,该地层单元对应为早期的煤渣层。可以想象,这样的地质夹层将大大改变均匀地基对构筑物荷载的平均分配,剧烈起伏的松散夹层异常体也存在剪切滑动的潜在危险性,针对此夹层对基础进行特殊处理是非常必要的。

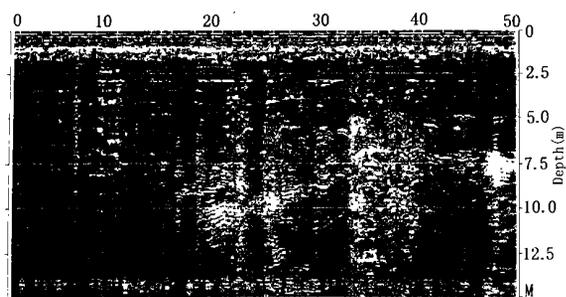


图 4 夹层型不良地质体地质雷达探测结果图

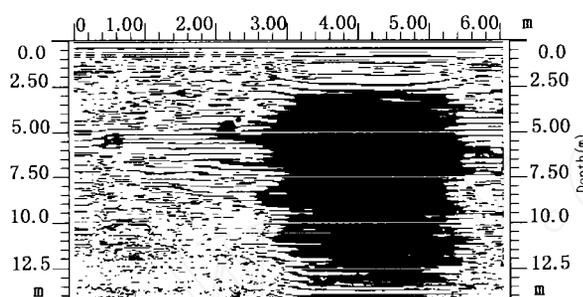


图 5 浙江某建筑工程场地地质雷达探测结果图

#### 2.4 不规则不良地质体

地基中隐藏的有些不良地质体的形状可能是不规则的,由于成因的多样化,它们在地下的发育往往没有固定规律,捕捉这样的异常信息比较困难。图 5 是在浙江某高层建筑工程场地获得的一条地质雷达探测结果,该建筑基础已先期作了 1.5 m 厚的钢筋混凝土处理,原本测试目的是检测钢筋混凝土底板质量,测试过程中发现地基内有异常存在,于是调整了雷达天线和测试参数,文中附图即是采用 100

MHz 增强型雷达天线探测的原始灰度图,图像显示水平方向 3.0~5.4 m 之间、深度 3.0 m 以下雷达电磁波能量表现出强衰减异常特征,与周边较强的电磁波反射区形成鲜明对比,显示为截然不同的雷达地相(Jol,Smith,1991),且两种地相的接触界面呈现为不规则状,在图像中部电磁波强衰减区域有向两侧侵入的迹象,在强衰减区上部深度 2.0~3.0 m 之间和下部 13.5 m 左右的反射波同相轴表现为凹陷形态,反映出该区内电磁波速度较低。根据地质报告,图中的电磁波强反射区内介质是粉土和粉质粘土,推测强衰减区内介质是对电磁波具有强吸收性能的淤泥质不良地质体,该探测结果得到建设和设计部门的高度重视。

### 3 结论

小型的不良地质体在地基中的发育形状和埋深各有不同,它们与围岩介质的电性参数有着明显的差别,利用地质雷达的电磁波反射特征可以有效地圈定异常区,结合取芯结果,进而定性判断不良地质体的介质岩性及成因。由于不良地质体赋存状态的复杂,地质背景条件、设备的选择和各种干扰因素会制约地质雷达的实际应用效果。

现场探测及成文过程中得到孙振国、刘保金、赵成斌等高级工程师的指导,表示感谢。

[参考文献]

- [1] James S Mellett. Ground penetrating radar applications in engineering, environmental management, and geology[J]. Journal of Applied Geophysics, 1995(33): 157~166.
- [2] David F Dominic. Delineation of shallow stratigraphy using ground penetrating radar[J]. Journal of Applied Geophysics, 1995(33): 166~170.

## DETECTION OF DIMINUTIVE ILL GEOLOGIC BODIES USING GROUND PENETRATING RADAR

J I Ji - fa , PAN Ji - shun

( Research Center of Exploration Geophysics , CSB , Zhengzhou 450002)

**Abstract :** A number of diminutive adverse geologic phenomena are presented in this paper. The applied effects of ground penetrating Radar to detect those portents are described by examples.

**Key words :** diminutive ill geologic bodies , ground penetrating Radar , detection