

探地雷达图像的实用解释方法及其工程应用

张树风 谢晓锋 张珊菊
(广东省建筑科学研究院 广州 510500)

摘 要: 探讨探地雷达实测图像的合理解释方法, 介绍接收信号中的基本波和确定型异常信号, 着重探讨非确定型异常信号情况下目标体的识别以及复杂图像的多种判别方法, 为实际工程中有效准确地作出判断提供依据。

关键词: 探地雷达; 异常信号; 图像识别

1 概述

探地雷达(GPR)探测技术经过多年的发展, 无论在硬件或软件方面都已相当成熟, 并取得了大量的研究成果, 但笔者认为现有的研究通常着重于分析探地雷达的工作原理、电磁波在介质中传播特性、数学化的数据处理与解释、工程应用等方面, 虽然属于探地雷达的重要内容, 但对其较为关注的应是仪器生产厂商和学术研究人员。而对于实际使用探地雷达的工程技术人员来说, 最关心的问题是: 如何对实测获得的探地雷达图像作出正确或合理解释, 这一判断过程中通常的理论方法作用非常有限, 要对错综复杂的图像作出有效的判断, 关键还取决于技术人员的经验和对图像基础知识的掌握程度, 不少使用探地雷达的技术人员在掌握了较多理论知识并积累了一定经验后, 仍无法准确判断探地雷达图像常见波形所反映的地层状况, 对于从较复杂图像中识别真异常也模糊不清。

本文针对目前较易忽视的实测图像分析问题进行分析, 力图检测人员整理出一个系统的图像判别思路。

2 探地雷达图像基本波形确认

探地雷达设备的发射与接收天线无论为分置式或一体式, 屏蔽式或非屏蔽式, 地面耦合式或空气耦合式, 只要接收从零时刻开始(或超前)都会接收到以下几种波, 即

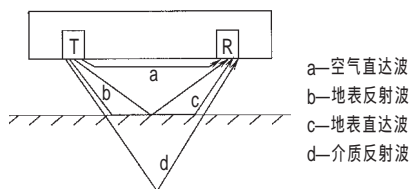


图 1 各种基本波形传播示意图

空气直达波(总是初至波, 即首波)、地表反射波、地表直达波和介质反射波(如图 1), 且它们无论介质是否异常都会存在, 实测波形如图 2 所示。

2.1 空气直达波

它是上述各种波形中最强的, 且几乎无衰减的脉冲发射信号的横向分量, 一般而言它不会产生二次及多次反射, 其波形见图 2 中最上一列的强反射波。

2.2 地表反射波

它与空气直达波的间隔取决于雷达发射—接收天线的距离以及天线发射接收端与地面的距离, 能量较强, 脉冲信号在地面与接收天线间产生二次及多次反射且周期相同, 能量强度及可测震荡次数取决于地面性质如平整度、光滑程度、表面材质和天线材质、表面状况等因素, 在某些情况下一地表反射波与空气直达波连成一体, 使得首列强反射信号显得延时较长。

2.3 地表直达波

它是脉冲发射信号经由介质表面传播一定距离后传送到接收机的, 其首波是信号由发射机经地表到接收机之间的走短程线的波, 相对前两种波较弱, 且显然与地表反射一次波呈交迭状态, 故一般并无明显表现。

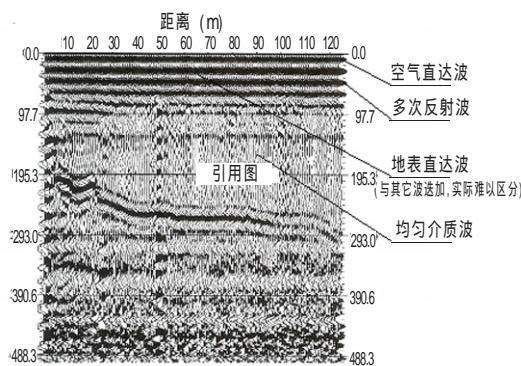


图 2 实测图示例

2.4 介质反射波

它一般相当微弱,在介质均匀无异常的情况下,在地表多次反射波后的都是介质微弱反射波,如果介质是空气,则此时波形显示为直线,因为空气反射过于微弱,其反射信号强度接近于零。

在上述各种波形中,地表多次反射波可以较容易地通过反褶积等方法消除,但也可能会连带着消除了真实异常界面的信息。

3 通用图像解释方法概述

探地雷达之所以能发现隐藏的目标体,是因为目标体与其周围环境存在电性差异界面,只要有电性差异界面,就会形成反射层,由此在雷达波图像上形成可以区分的异常信息特征。

常用的判断异常存在的特征是:图像上波的同相轴发生明显错动、同相轴局部缺失、同相轴发生畸变、波形发生畸变、波频率明显变化、波振幅变化等。当有异常体存在时,一般是在图像上出现一个或多个上述特征,对此一般技术人员都较易掌握。

4 确定型异常信号判定

探地雷达至今可开展探测工作的领域主要包括:市政设施及各种管线探测;建设工程质量检测;地下埋藏物(包括洞穴)检测;路桥隧道结构质量;公路检测;铁路检测;地质与水文勘探;环境检测、考古学、军事与安全等。可见上述领域中就具体探测目标而言,有很多是交叉重合的,如在有些领域都有空洞检测问题。

各检测领域中包含的探测目标体种类繁多,但从探测角度可将其分为一维、二维和三维体,管线、钢筋等是一维目标体的代表,地层界面是典型的二维目标体,洞穴是较有代表性的三维目标体。大多数目标体都是分数维的,但都可归结为一、二、三维。

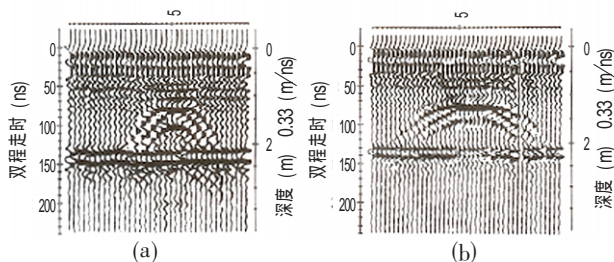


图3 异常特征明显的图像

当目标体的异常信号特征明显、容易辨别时,称之为确定性异常。如地下浅部管线信号在较理想情况下表现为明显的双曲线形(如图3),再由于已知正在探测的目标体类型,由此依据这类异常信号可以较肯定地作出准确判定,对此本文不再详述。

5 非确定型异常信号判定

本文着重探讨实测雷达图像较复杂时的判定问题,这时虽没有明显的异常信号,但又似乎有1个或多个异常信号,既可判定为无异常,也可判定为有异常(如图4)。这种情况并非图像处理软件能有效解决的,一般是当目标埋深较大造成返回波较微弱且脉冲行程较长导致介质相应变复杂以及存在某种电磁或人为干扰时会出现假异常现象,而这正是探地雷达检测技术人员常会遇到的难题。针对这种局面,我们可以考虑采取以下方法:

5.1 变换天线比对法

通常仪器都配置了多种天线,每种天线发射的脉冲都是宽频带的,使得中心频率不同但差别不是很大的天线探测同一目标体可以得到接近的异常反映,还有屏蔽天线和非屏蔽天线,屏蔽天线抗干扰能力强,针对同一目标体不同天线测得的信号对真实异常有良好的重复性,但非真实异常由于不存在真实电性界面,往往伴有明显的随机性,在不同天线条件下表现不稳定,可能出现明显变化,由此可以区分真实异常。

图4中观测到(3~6)ns之间出现凌乱的异常信号,按照探测时的已知情况很难判定它们是不是真实异常信号,该异常是100MHz非屏蔽天线测得的,随后采用同一频率屏蔽天线进行同样探测,得出的图5显示这些凌乱异常并不存在,该异常很可能是空间电磁干扰所造成的。在这种情况下,如果换作其它频率差别较大的天线进行复测,也会达到相近的效果。

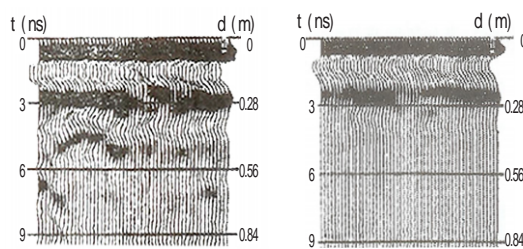


图4

图5

5.2 模糊观察法

我们可能都有过这样的体验,当仔细注视某幅图时可能无法识别其中的图像,但当将其移至视线迷糊的距离时,图中的景象反而显现出来。该法同样适用于观察雷达图像,在某些情况下还相当有效。

图6为某工程地下新埋管道的探地雷达图像的局部图,从中看不到管道的双曲线形同相轴曲线,但从已知情况看来,该图上应有管道图像,工地及附近无强电磁干扰,很可能是该处管道周围回填土松散且不均匀造成管道特征难以辨别。

但当我们把图像移至足够远处而显得不太清晰时,就可以发现图中椭圆所标的区域为一双曲线形态,显得杂乱无章,这确实是回填土造成的。这种既表现目标又掩盖可通过模糊法识别的异常目标的图像几乎不能通过其它方法有效解释,当然一般是在一定的已知条件下有效,若是完全未知就不能凭这样的模糊特征而作出判断了。

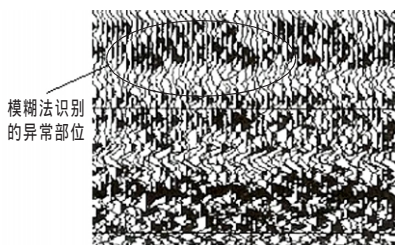


图6 实测局部的模糊法异常识别

5.3 间断观测法

在不同时间到同一地点做同样的观测,这主要是可以避开可能的电磁干扰,如电台、电视台及其它电磁波的发射干扰,必要时可先用电磁场检测仪探测测区附近是否有强发射源,且查明其发射规律,在其间歇时段开展工作,比对图像异同。

5.4 基准校对法

这里所指的基准并非通过钻芯确定的基准,而是以图像上的可靠异常作为基准,如在混凝土中进行钢筋探测时,通常钢筋分布较有规律,但并非所有的钢筋都能清晰地反映,这时可以用可靠的异常反映作为基准,再按照已知条件判定所有钢筋的分布情况,该法适合于假定钢筋存在而判定其位置分布,但不适用于验证钢筋(目标体)是否存在的情形。

5.5 数据库比对法

先建立探地雷达实验和(经过验证的)实测图像数据库,将难以判断的工程实测图与数据库比对,找到异常特征最相近的,再结合尽可能多的已知信息

作出综合判断,这就是要求数据库包含的图像量要足够多和覆盖面广,且图像信息应清晰真实可靠。

6 结束语

探地雷达图像识别解释始终是相关技术人员经常遇到的难题,本文对常见探地雷达波作了简要介绍,并针对较复杂凌乱的探地雷达图像的目标识别提出几种解决方法,这些方法是在工程实测中发现总结出来的,以期起到一定的参考作用。作为工程技术人员,我们应知道至今尚未有一种可靠的方法可以对任何探地雷达图像作出正确的解释,因涉及的问题相当复杂多样,或许建立数据库用于比对是最为有效的方法。

参 考 文 献

- [1] 曾昭发等. 探地雷达方法原理及应用[M]. 科学出版社
- [2] 国内探地雷达的应用与发展[M]. 青岛海洋大学
- [3] 范国新等. 探地雷达原理、设计思想及实现[J]. 电波科学学报, 1992(3)