

地质雷达探测非金属管线研究

房玉林 钱琛

江苏省地质测绘院

DOI:10.32629/gmsm.v2i4.230

[摘要] 介绍地质雷达工作原理,分析雷达图像,总结不同种类非金属管线雷达图像的基本特征,提炼雷达图像的解释和判读方法。

[关键词] 地质雷达; 非金属管线; 探测

引言

伴随城市建设的快速发展,城市地下管线纵横交错,其维修与改建工作变得十分复杂,因此有效探明地下管线显得格外重要。由于大量非金属管线的应用以及管线间距变小,使用传统金属管线仪已无法满足现有管线探测需求,而地质雷达作为一种高分辨率探测技术,可以为施工和管理提供可靠参数。

1 地质雷达工作原理

1.1 反射探测原理

探地雷达利用高频电磁波(主频为数十兆赫至数百兆赫以至千兆赫)以宽频带短脉冲形式,由地面通过天线 T 送入地下,经地下地层或目的体反射后返回地面,为另一天线 R 所接收(图 1)。脉冲波行程需时:

$$t = \sqrt{4z^2 + x^2} / v \quad (1)$$

当地下介质中的波速 v 为已知时,可根据测到的精确的 t 值(ns , $1ns=10^{-9}s$)。由上式求出反射体的深度(m)。式中 $x(m)$ 值在剖面探测中是固定的; v 值(m/ns)可以用宽角方式直接测量,也可以根据 $v \approx c / \sqrt{\epsilon}$ 近似算出(当介质的导电率很低时),其中 c 为光速($c=0.3m/ns$), ϵ 为地下介质的相对介电常数,后者可利用现成数据或测定获得^[1]。

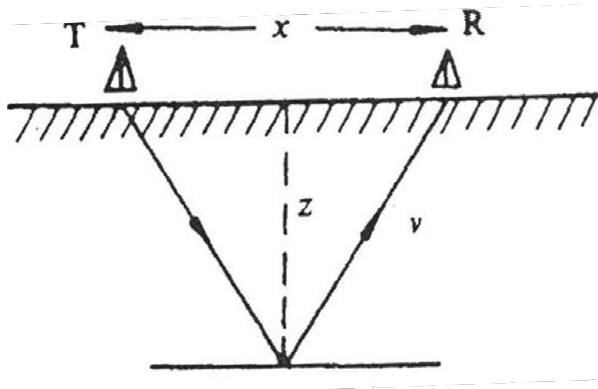


图 1 反射探测原理示意图

1.2 影响反射波的相关因素及其影响

雷达图像常以脉冲反射波的波形形式记录。波形的正负

峰分别以黑、白色表示,或者以灰阶或彩色表示。这样,同相轴或等灰度、等色线即可形象地表征出地下反射面。与反射地震剖面相似,雷达剖面亦同样存在反射波的偏移与绕射波的归位问题。故雷达图形也需作偏移处理。

反射脉冲信号的强度,与界面的波反射系数和穿透介质的波吸收程度有关。

电磁参数差别大者,反射系数也大,因而反射波的能量也大。对于斜入射情况,反射系数将因波极化性质而变,反射系数还与入射角大小有关。介质的含水量一般也会对反射系数有所影响。

1.3 探地分辨率

1.3.1 垂直分辨率

无论地层或具体目标,都有上下两个面,假设这两个面跟围岩或上下地层有明显的电性差异,则在顶、底面上都能形成反射波。那么分辨率的概念就是分别从顶、底反射回来的两个脉冲不重叠,或重叠的不厉害,能分得开。显然,两者太靠拢了就分不开。我们将这段能分得开的最小距离称为垂直分辨率。

1.3.2 横向分辨率

如果把垂直分辨率说成是时间分辨率,那么,横向分辨率更多体现为空间分辨率的概念。即为水平方向上能分辨的最大异常体的大小。射线理论认为,地下界面上的反射来自自由斯奈尔几何定律描述的一个点,但实际上,雷达波的传播还有波动性的一面,由波动理论,当入射波前到达界面上形成反射波时,是以“反射点”为中心点的一个面上反射的综合,它们是以干涉形式形成能量累加或相减的带状分布的。将围绕反射点能量累加的这一圈反射干涉带称为菲涅尔带(Fresnel 带)。

根据 R. E. Sheriff 的理论,他认为从这个面积上反射回来的波相差不应超过四分之一波长,与之相关的菲涅尔带直径是:

$$F_s = 2[(Z + \lambda/4)^2 - Z^2]^{1/2} = 2(\lambda^2/2 + \lambda^2/16)^{1/2} \approx (\lambda Z)^{1/2} \approx V(t \Delta t)^{1/2} \quad (2)$$

而 A. J. Berkout 认为,反映界面特性的重要变化可以集中在反射时间增长八分之一波长的范围内,即:

$$FB = 2[(Z + \lambda/8)^2 - Z^2]^{1/2} \approx (\lambda Z)^{1/2} \approx V(t \Delta t)^{1/2} \quad (3)$$

可见横向分辨率跟目标的埋深与脉冲波长乘积有关,或者跟反射时间与脉宽的乘积有关^[3]。

1.4 雷达探地原理

各种探地雷达仪器的基本原理均类同。雷达控制电路产生一定间隔($3.3 \times 10^4 \sim 1 \times 10^4 \text{ns}$ 即 $30 \sim 100 \text{kHz}$ 的重复率)的一系列电磁短脉冲,由天线送入地下。这些脉冲的频宽按探测分辨特性的要求设计,一般均具有甚宽的频带,以使脉冲波形尖锐。脉冲时宽为 10ns 至 $1 \sim 2 \text{ns}$, 脉冲峰值达 $100 \sim 150 \text{V}$ 。接收天线(或分离式的或同点式的)检测来自地下不同介质界面的反射波(波形稍有变化),送到控制电路,或进行直接数值采集,或者经一定的处理以后再做数值采集^[2]。各类探测仪均由微机控制,并配有数字处理和解释软件以及黑白(波形或灰阶)或彩色图形输出设备(包括现场模拟显示和打印成图),但各类设备的技术规格、结构、重量等各有特点。

2 地质雷达实验

2.1 实验对象基本特点

2.1.1 排水

现状排水普遍为砼和 pvc 材质,埋深符合各个深度条件,多为空和半满状态,内容物为空气和带有杂质的水。

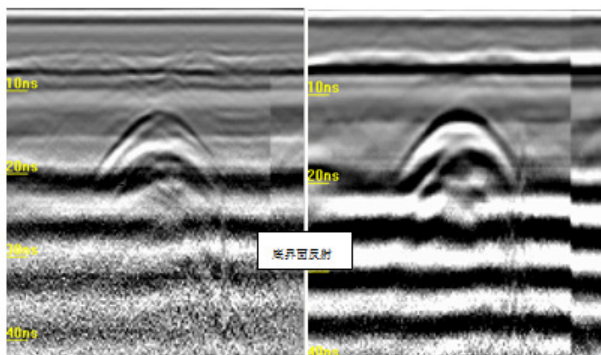


图2 意大利 ids 雷达 700MHz 和 250MHz 对排水管线的探测雷达图像

一般情况下,下水为空和半满状态,其特征是有可能有下底信息,并伴随有多次波。

2.1.2 给水

现状塑料给水埋设深度较浅,基本为全满状态,内容物为水。

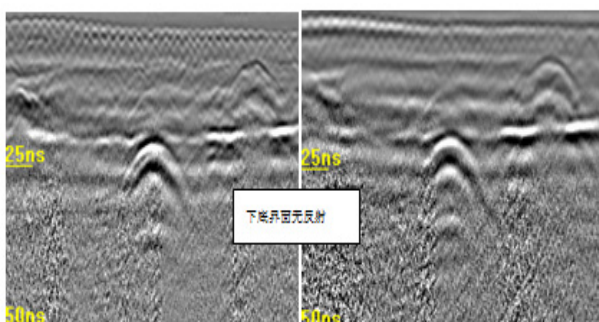


图3 意大利 ids 雷达 700MHz 和 250MHz 对给水管线的探测雷达图像

由于水管一般是满容的,所以它反射波比较清晰,但没有下底信息,多次波不明显。

2.1.3 燃气

现状塑料燃气埋设深度适中(施工要求决定),内容物为天然气。

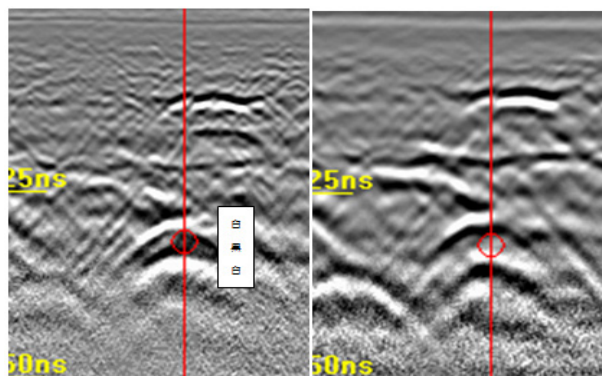


图4 意大利 ids 雷达 700MHz 和 250MHz 对天然气管线的探测雷达图像

天然气管线是标准的空容管线,但是由于其特殊施工要求,在探测深度上比其他管线采样更困难,波形一般不是很明显。

2.2 不同内容物的管线比较分析

管径 200 下水空管,内容物为空气,有被干扰的下底面信息。

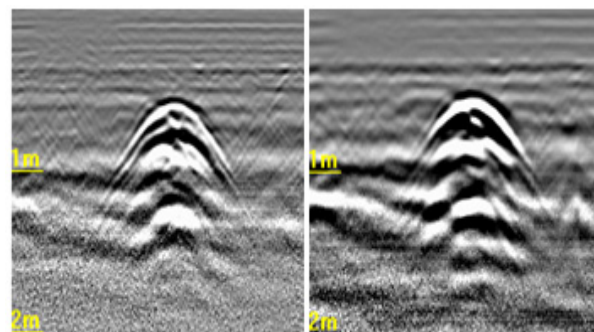


图5 下水空管雷达图像
管径 200 下水满管,内容物为湿泥,无下底信息。

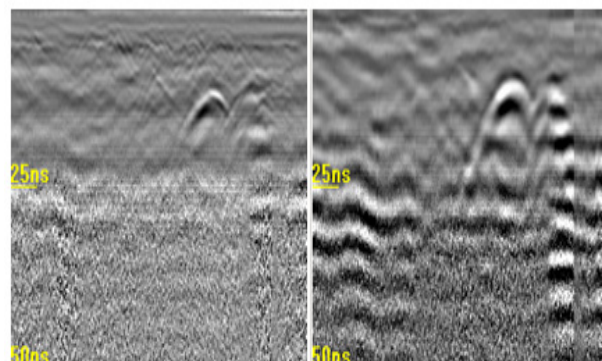


图6 下水满管雷达图像