

# 探地雷达探测地下管线的能力

袁明德 摘编

(美国劳雷工业公司 北京代表处 北京 100020)

摘要:这是作者摘编的有关探地雷达探测管线的一些资料。通过细致的实验,从中分析管线的粗细、材质、充填物、缺损情况及天线频率、噪音等对雷达图像的影响,对今后开展城市管线探地雷达调查工作会有所帮助。

关键词 探地雷达 地下管线 模型 介电常数 解释

中图分类号:P631.3 文献标识码:A 文章编号:1000-8918(2002)02-0152-04

如今的城市,地上车水马龙,地下管线纵横,说不定在你的脚下,就有 1 根水泥的下水管道或金属的煤气管道通过,所以,管线探测对城市建设是必不可缺少的,而且非常重要。

探地雷达是探测管线的有力工具,因为它施工快捷、无损并能实时展示地下图像,适合在城市各种场合使用。唯一不足的是探地雷达很贵,用这样贵的仪器检测管道,当然应该保证得出满意的结果,显示其出类拔萃、与众不同。

为得到好结果,工作要特别细心。首先应保证采集尽量多的地下信息,然后作合理解释。为此,笔者译编德克萨斯大学岩石圈研究中心曾晓轩(音译)在 1997 年第 3 期 GEOPHYSICS 上刊登的论文:GPR characterization of buried tanks and pipes,参考其中的思路和做法,“他山之石,可以攻玉”,或许会对今后开展城市管线探地雷达调查有所帮助。

## 1 数字模型

表 1 100 MHz 下各种材质的电性

材质	相对介电常数	速度 $m \cdot ns^{-1}$	电导率 $ms \cdot m^{-1}$	$Q$
粉质粘土	6.0	0.12	6.6	2
PVC 塑料	3.3	0.16	1.34	7.3
玻璃纤维	4.8	0.14	1.66	18
空气	1.0	0.30	$10^{-8}$	$10^8$
淡水	80	0.033	0.01	4 800
盐水	80	0.033	5 000	0.01
金属	300	0.017	$10^{10}$	$10^{-8}$
汽油	1.94	0.22	$10^{-7}$	$10^8$
苯	2.28	0.2	$10^{-7}$	$10^8$
甲醇	32.6	0.052	34	0.9
DNA 聚合酶	2.3	0.19	$10^{-7}$	$10^8$

表 2 模型管道组份

模型号	管道材料	充填物质	液面/%
1	玻璃纤维	空气	100
2	PVC	空气	100
3	金属	空气	100
4	玻璃纤维	苯	100
5	玻璃纤维	DNA	100
6	玻璃纤维	甲醛	100
7	玻璃纤维	空气/汽油	50
8	玻璃纤维	空气/DNA	50
9	玻璃纤维	空气/甲醛	50
10	玻璃纤维	汽油/水	50
11	玻璃纤维	空气/水	50
12	玻璃纤维	空气/盐水	50
13	玻璃纤维	空气/汽油	70
14	玻璃纤维	空气/汽油	80
15	玻璃纤维	空气/汽油	90/95
16	玻璃纤维	空气/水	100

表 1、表 2 给出了文中所述各种实验所用材料的物理特性。

图 1 是 1 个管道横截面的数字模型及雷达记录,雷达波的入、反射路径用射线表示。图中模型管粗 3 m,壁厚 5 cm,埋深 1 m,周土为粉质粘土,介电常数 6,中心频率 200 MHz,带宽 200 MHz,振幅刻度 160。图中可见管线的上下管壁在雷达剖面上留下 A、B 二组绕射波。由此我们可知,1 根管道的雷达图像应该是至少上下 2 组弧形的绕射波,上弧顶为管道顶,下弧顶为管道底。

## 2 材质影响

下面用物理实体模型对此加以检验,并根据充填物的不同,考察雷达图像的变化(图 2)。

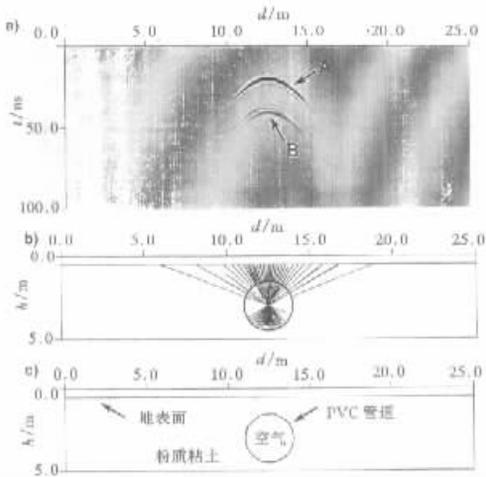


图 1 1 根 3 m 粗管道的雷达数字模型记录

图 2a 中,模型 1、模型 2 管道的顶、底反射无多大差别,但第 3 根金属管道只有顶反射 C 而没有底反射 F,这是由于金属管壁跟周围介质粉质粘土的介电常数比差很大(6.0/300),在上管壁发生了全反射,再没有能量传入下管壁之故。同时注意到,反射同相轴 C 与 A、B 是反相的,如果 A、B 是波峰—波谷—波峰的话,那么 C 是波谷—波峰—波谷,而且强度高,绕射弧延伸远。

现在用 1 根玻璃纤维管道充填以苯、DNA 氯化碳和甲醛(图 2b)。首先注意到底反射 G 和 H 下移,使得管道的顶、底反射间隔拉长,这是由于充填物的介电常数大于空气的,使得雷达波的传播速度减小,因而尽管管道仍然一样,但雷达波穿过所花的时间拉长了。另外,充填甲醛的 6 号管没有底反射,这是由于甲醛具有高导电率,大介电常数,低 Q,反射类似金属表面,所以也出现反相同相轴,只是反射强度略低于金属,绕射弧度的长度也略短于 3 号金属管绕射。

### 3 管线中液体的影响

图 3 反映了管线中充填 50% 不同液体的雷达记录。图 3a 中,模型 7、8 尽管介电常数相差 20%,但液面反射强度差别不大(A、B),而模型 9(甲醛)的上反射最强(C),与模型 12 的盐界面差不多,理由是介电常数差别最大。D、E 是管底反射,模型 9 的底反射消失,理由也一样,是由于甲醛的高导电率吸收强。

图 3b 中的充填物为水和盐水。首先由于液面介电常数差别加大,所以反映液面分界面的反射比

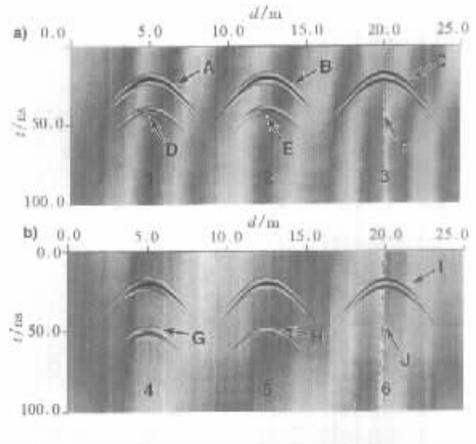


图 2 管道中充填材质对雷达图像的影响

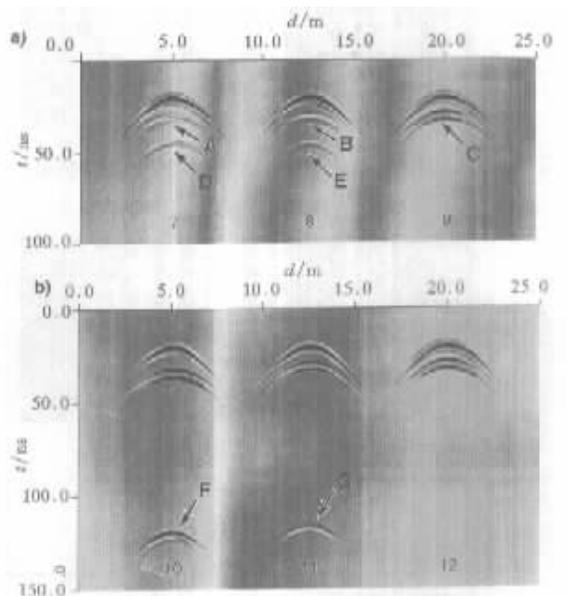


图 3 不同液体在雷达反射记录上的响应

图 3a 中的强,其次是底反射下移,时间增大,这是由于雷达波在水中随速度降低而走时增加所引起的。

### 4 不同频率天线的响应

以上是用同种天线对不同管道所做的实验记录。如果改变天线频率,记录有何不同呢?图 4 反映不同频率天线对雷达记录的影响,可见随着天线频率的提高,反射轴精细程度随之提高,但强度降低。图 4a 中,模型 13、14 的图像无差别,模型 15 的底界上 2 个强反射点为液面与管壁交点的绕射点。当天线频率达到 450 MHz 时,高频信号衰减严重,液面反射 F、G、H 勉强可见,底反射已完全消失(图 4c),反映了频率越高,吸收损失越大。

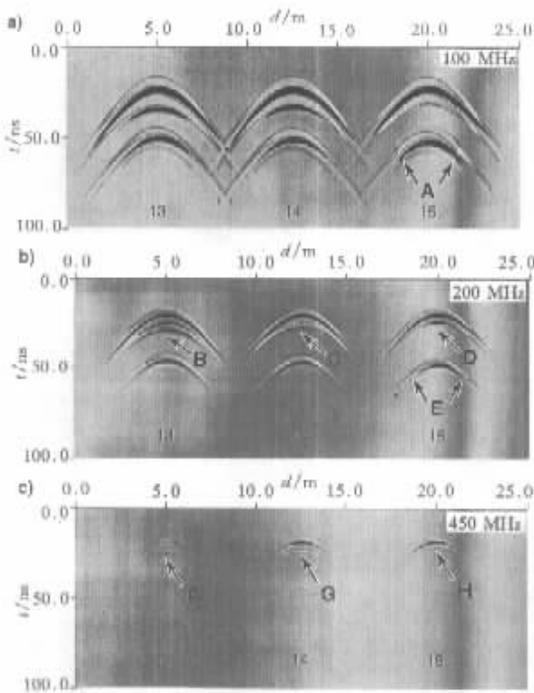


图 4 不同频率天线对不同地下管道反射图像的影响

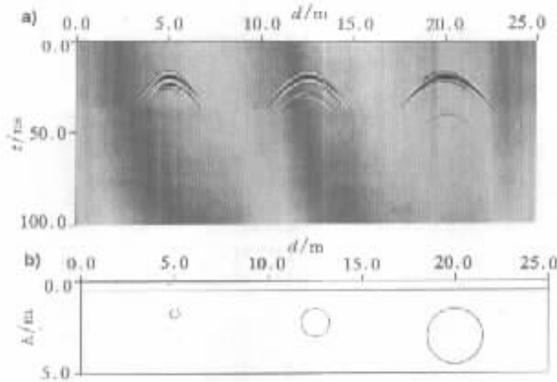


图 5 管道粗细对雷达波记录的影响

### 5 管道大小的影响

图 5 说明管道尺寸对雷达图形的影响。图中模型材质为玻璃纤维, 充满水, 管道直径从小到大依次为 0.5 m, 1.5 m, 3.0 m。总的说来, 管道越粗, 反射弧度越大, 并且底反射距顶反射越远。如果知道充填物的介电常数, 亦即雷达波在充填介质中的传播速度已知, 那么顶、底反射弧之间的距离就等于时间乘上速度的 1/2, 也即管道的直径。

### 6 管线上的缺损在雷达记录中的反映

如果管道有缺损, 在雷达记录上也应该出现相应的反映。图 6b 为实埋管道示意, 左为空管道, 在其左侧 1/3 处钻一个直径 25 cm 的洞, 从对应的图

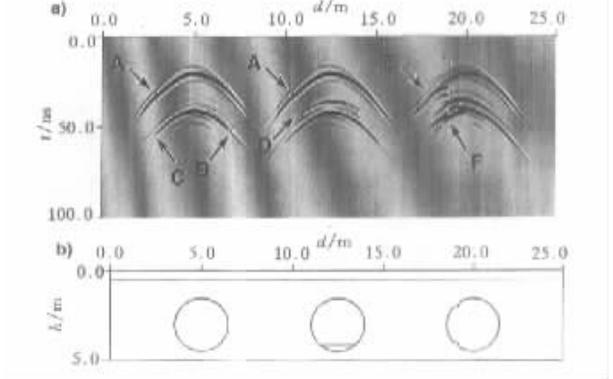


图 6 管线缺损在雷达记录上的反映

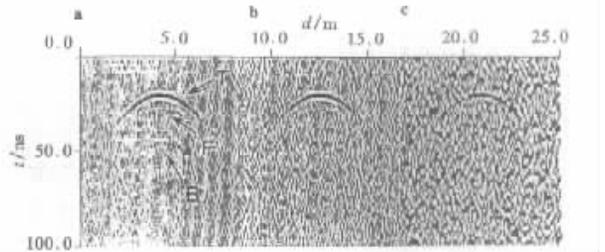


图 7 人工噪声的影响示意

6a 中, 可见绕射尾部稍有曲折, 曲折点 A 即为上洞的反映, 管道下半部的绕射波 C 上反映下洞口的 B 点就不很清楚了。下图中部是管道中充了 10% 的汽油, 在图 6a 中可见到反映汽油面的反射同相轴 D, 其余不变。图 6b 中右边为扩大了上下洞, 形成 2 处较大的缺陷, 这时上缺陷出现比较明显的曲折点 E, 但下缺陷难以发现, 图中 F 不是下缺陷的反映, 是管道底反射穿过上缺陷造成的曲折。

### 7 噪声影响

以上是用数字模型和管线物理模型所做的各种试验和分析。实际的现场工作很少有如此理想的工作状态, 绝大多数记录都充斥了各种各样的噪声干扰, 反映管线及其特征的多数讯号往往淹没在噪声的汪洋大海之中, 难以辨认。

图 7 为模型 13(玻璃纤维管道)反射讯号中杂以 30%(图 7a), 70%(图 7b) 和 100% 的噪声(图 7c) 时的图像资料, 天线频率 200 MHz。

图 8 是实测的现场资料。其中图 8a ~ 图 8c 为直径 16 cm 的塑料管, 分别充填空气、水、盐水, 图 8d 为直径 15.5 cm 的金属空管。管道埋深 1.25 m, 覆盖物为沙土  $\rho \sim 0.5$  m 的介电常数为 8.5, 以下为 6。图 8a 可见左半枝顶反射, 右半枝淹没在干扰中, 其底反射正好极性相反, 也不明显。按理应看到底

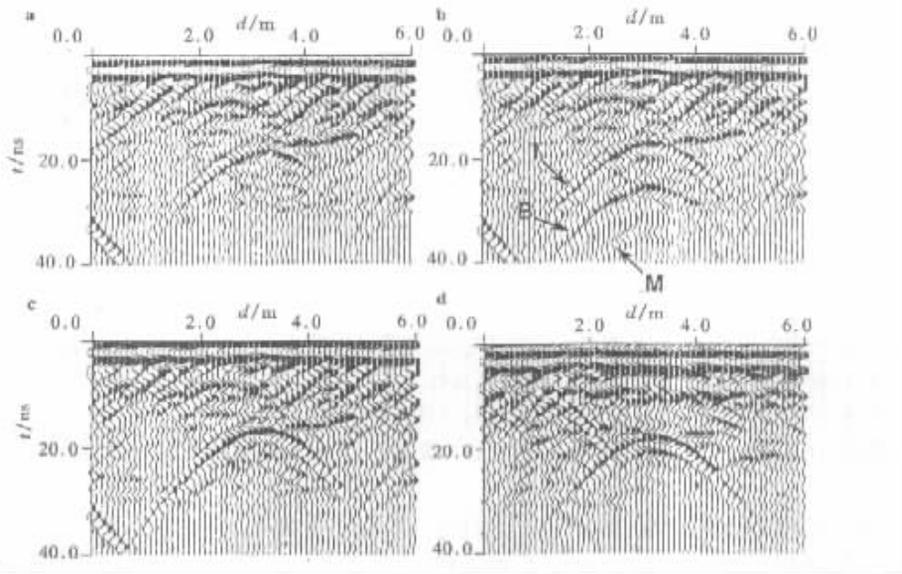


图 8 雷达现场探测管线记录

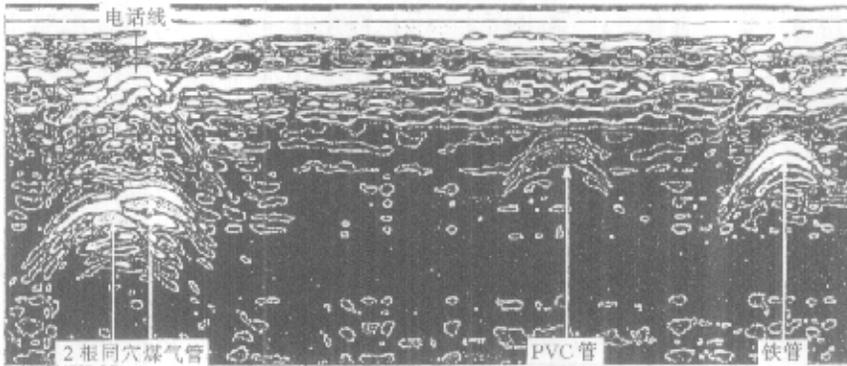


图 9 横穿马路的地质雷达剖面 (资料来源 美国 GSSI 地质雷达公司)

反射,因为空气与底界有反差,但很可能正好极性相抵,所以只看到很弱的第二条弧。图 8b 为充水塑料管,顶反射 T、底反射 B 都较清晰,在底反射之下还出现了多次反射同相轴 M,这是因为水跟周围沙、土介电常数反差较大。图 8c 为充盐水塑料管,由于盐水的强烈吸收,底反射消失。图 8d 为金属管线,只有完整鲜明的顶反射而无底反射,原因是能量全部反射了,难有下传的透过波和下层反射出现。

### 8 结语

根据雷达探测的能力,得到在现场反映地下管线位置的记录不成问题(图 9),然而,更深入一步,象实验中所示,从中分析求证出管线的粗细、材质,以及其中的充填物和其他信息,则需要从施工参数的选取到后期数据的处理和解释等一系列的细微工作。但愿本文能带来某些启迪,使得探地雷达在城市管线探测的工作更上一层楼。

## THE CAPACITY OF THE GROUND-PENETRATING RADAR FOR DETECTING UNDERGROUND PIPELINES

Selected and Edited by YUAN Ming-de

(Beijing Representative Office, Laurel Industrial Company, Inc., USA, Beijing 100020, China)

**Abstract:** The author selected and edited some data concerning the application of the ground-penetration radar to the detection of underground pipelines. On the basis of detailed experiments, the effects of such factors as the thickness, material quality, filling

雷面波数据的同时,在与瑞雷波测点相对应的位置上作一部分轻型动力触探( $N_{10}$ )值。铁道部 1988 年轻型动力触探技术规定(TBJ18-87)将  $N_{10}$  值转换为承载力  $\sigma_0$  ( $\sigma_0 = 8N_{10} - 20$ ),见表 3。

表 1  $N_{10}$  值转换为承载力  $\sigma_0$  参数对照

$N_{10}$ (击数/30 cm)	15	20	25	30
$\sigma_0$ /kPa	100	140	180	220

然后将瑞雷面波速度  $v_R$  与相对应测点的轻型动力触探( $N_{10}$ )击数进行数学统计分析,得到  $v_R$  与  $N_{10}$  的相关关系式

$$v_R = A + BN_{10}$$

式中  $A$ 、 $B$  为常数。当其相关系数  $r > 0.7$  时,说明  $v_R$  与  $N_{10}$  是有相关关系的,可以用  $v_R$  代替  $N_{10}$  来计算承载力  $\sigma_0$  的大小,即

$$\sigma_0 = (v_R - A) / B - 20。$$

根据此式可用  $v_R$  定量计算路基的承载力。

### 5 应用实例

京广线部分区段路基承载力检测时,得到的  $v_R$  与  $N_{10}$  的相关关系式为

$$v_R = 91.07913 + 2.940517N_{10}$$

相关系数  $r = 0.8201915$ , 选样点数  $n = 100$ ,  $A = 91.07913$ ,  $B = 2.940517$ 。将 K2011 + 170 ~ K2011 + 270 这 100 m 区段内的瑞雷波速根据以上关系式转换为承载力  $\sigma_0$  的大小,再画出承载力的

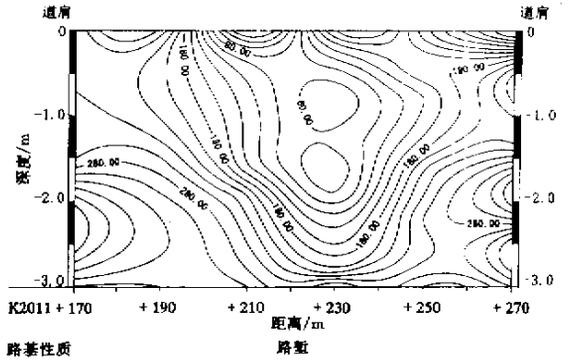


图 4 承载力等值线

等值线如图 4。从图中可以看出,在 K2011 + 230 附近路基的承载力偏低,约为 80 kPa,而在其两侧路基的承载力相对偏高,约为 180 kPa,此结果与现场实际的情况非常吻合。

### 6 结束语

这一实例说明利用瑞雷波技术进行铁路路基承载力的检测是可行的,该方法便捷、安全,检测效果较好,可以使铁路部门避免盲目地投资,为既有线路路基病害的确定、整治提供可靠的数据。

### 参考文献:

- [1] 杨成林. 瑞雷波勘探 [M]. 北京: 地质出版社, 1993.
- [2] TBJ18-87 轻型动力触探技术规定 [S]. 北京: 中国铁道出版社, 1988.

## THE APPLICATION OF THE RAYLEIGH SURFACE WAVE TECHNIQUE TO RAILWAYS

LI Hai

(Research Centre of Engineering Geology and Applied Geophysics, China Railway Engineering Corporation, Langfang 065000, China)

**Abstract:** With practical examples, this paper deals with the basic principle and technique of the Rayleigh surface wave exploration, the technology for its application to railways, the data acquisition, processing and interpretation, and the calculation method for converting the velocity of the Rayleigh surface wave to the bearing capacity. The reliability of applying this technique to railways is also pointed out.

**Key words:** Rayleigh surface wave; test; roadbed; method

作者简介: 李海(1968-)男,山西大同人,1991年毕业于河北地质学院物探系,现在中国铁路工程总公司地质物探试验研究中心任工程师。

(上接 155 页)

substances and defects of the pipelines as well as the frequency and noise of the antenna upon the radar images are analyzed, which will be of some help to further application of the ground-penetrating radar to urban underground pipeline detection.

**Key words:** ground-penetrating radar; underground pipelines; model; dielectric constant; interpretation.

作者简介: 袁明德(1942-)男,1965年毕业于北京地质学院物探系。现供职于美国劳雷公司,从事物探仪器研发工作。  
万方数据