

# 基于探地雷达排查 燃气管道穿越方渠隐患的方法探讨

□ 佛山市燃气集团股份有限公司 (528000) 曹光贵

**摘 要:** 本文介绍了探地雷达技术的现状与发展及其原理,分析了排水方渠以及燃气管道在雷达上显示的不同图像,通过工程实例,阐述了如何利用探地雷达排查燃气管道穿越方渠这一问题,为相关燃气管道的检测提供了参考案例。

**关 键 词:** 探地雷达 方渠 燃气管道

## Discussion on GPR Method to Investigate the Hidden Danger of the Gas Pipe Which Passing Through a Canal

Cao Guanggui Foshan Gas Group Company Limited

**Abstract:** This paper introduces the present situation and the development of ground penetrating radar (GPR) technology and its principle, analyses the drainage side channel and gas pipeline in radar display on different image, through the project example, expounds how to use the ground penetrating radar (GPR) screening gas pipeline through the canal. Provide a preferable reference case for the detection of relevant gas pipeline.

**Keywords:** ground-penetrating radar canal gas pipeline

### 1 前言

近年来非金属管线特别是塑料管线的大量应用,若埋设的金属示踪线出现问题,使用传统的金属管线仪已无法完全满足现有的管线探测需要,所以近年国内引入了地质雷达这项新技术。利用雷达探测管线不仅能准确地提供管线的平面位置和埋设深度等情况,为施工或隐患管理提供可靠参数,更重要的是对非金属管线的探测提供了有力的技术支持。

与探空或通讯雷达技术相类似,探地雷达利用

高频电磁脉冲波的反射探测目的体及地质现象,因它是从地面向地下发射电磁波来实现探测,故亦称之为地质雷达。探地雷达由于采用了宽频短脉冲和高采样率,使其探测的分辨率高于所有其它地球物理探测手段,又由于采用可程序高次叠加(多达4 000次)和多波形处理等信号恢复技术,因而大大改善了信噪比和图像显示性能<sup>[1]</sup>。今后的趋势是多天线高速扫描接收和进一步改善天线对各种目的体的回波响应性能,以实现更精确、小尺寸、高工效、低成本以及图像联系真实地质情况等总的要求。

## 2 探地雷达原理

### 2.1 方法原理

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，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： $t = \sqrt{4z^2 + x^2} / v$ 。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。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（ $c=0.3m/ns$ ）， $\epsilon$ 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。

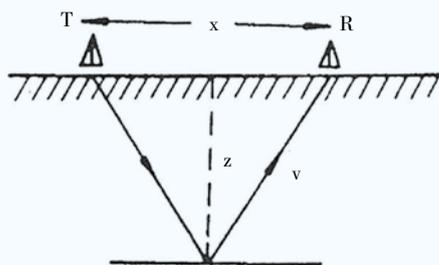


图1 反射探测原理

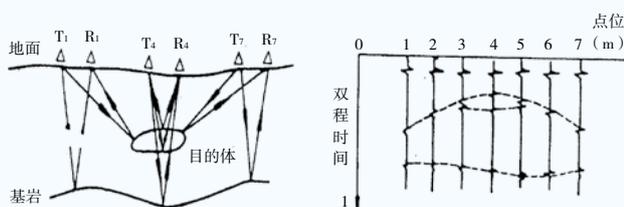


图2 雷达记录示意图

雷达图形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。图2为波形记录的示意图，图上对照一个简单的地质模型，画出了波形的记录。在波形记录图上各测点均以测线的铅垂方向记录波形，构成雷达剖面。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<sup>[2]</sup>。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。垂直界面入射的反射系数 $R$ 的模值和幅角，分别可由下列关系式表示：

$$|R| = \sqrt{(a^2 - b^2)^2 + (2ab \sin \varphi)^2} / (a^2 + b^2 + 2ab \cos \varphi)$$

$$\text{Arg}R = \varphi = \tan^{-1}(\sigma_2 / \omega \epsilon_2) - \tan^{-1}(\sigma_1 / \omega \epsilon_1)$$

由关系式可以看出，反射系数与界面两边介质的电磁性质和频率 $\omega$ 有关。很明显，电磁参数差别大者，反射系数也大，因而反射波的能量也大。上式可以用作大致的数值估计。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 $\sigma$ 、 $\epsilon$ 值有所影响，含水多者 $\sigma$ 、 $\epsilon$ 值变大，相应地，反射系数也会不同。波的吸收程度与衰减因子有关，表示为：

$$\beta = \omega \sqrt{\mu} \sqrt{\frac{1}{2} \left[ \sqrt{1 + \left( \frac{\sigma}{\omega \epsilon} \right)^2} - 1 \right]}$$

当介质的电导率很低时：

$$\beta \approx \frac{\sigma}{2} \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} = 60\pi\sigma \sqrt{\frac{1}{\epsilon}}$$

这是一个与电磁参数有关的量，随 $\sigma$ 的增大而增大，随 $\epsilon$ 的增大而减小；但介质电导率高时， $\beta$ 值则与 $\sigma$ 、 $\omega$ 有关，而与 $\epsilon$ 几乎无关<sup>[3]</sup>。

现场测量工作，通常采用剖面法（CDP）或宽角法（WARR）两种方式。采用一个天线固定，移动另一个天线的方式，或者两天线同时由一中心点向两侧反方向移动。此时记录的是电磁波脉冲通过地下各个不同介质层的双程传播时间，它反映地下成层介质的速度分布。除了共深度法（剖面法）和宽角法以外，还有一种多天线法（MAM）。这种测量方式是利用多个接收天线，同时实现多点测量<sup>[4]</sup>。但这种方法必须考虑天线的屏蔽，以避免直达波或泄漏波在天线之间多次反射造成的干扰。

## 2 探地雷达在排查燃气管道穿越方渠隐患的应用

### 2.1 探测方法

青岛黄岛输油管爆炸事件给相关危化品企业敲响了警钟，事故主因是输油管路排水暗渠交汇处管道腐蚀变薄破裂，原油泄漏，流入排水暗渠，挥发的油

气与暗渠中的空气混合形成易燃易爆气体，在相对封闭的空间内集聚从而发生事故。埋地燃气管道与输油管道类似，一旦发生泄漏并排入地下排污系统，后果将相当严重，为此有必要对埋地燃气管道与大型排污方渠的交叉构造关系掌握清楚，防患于未然。

综合考虑技术方案，利用探地雷达结合地下管线探测仪能够对排水方渠与埋地燃气管道的关系进行很好的探测。实际工程应用中，探地雷达采集方式一般采用剖面法探测。将发射、接收天线以固定的分离距，沿测线方向以等步长同步移动，所有单道反射信息构成了雷达图像剖面，其中横坐标表示天线在水平方向的位置，纵坐标记录的是反射波的双程旅程时间。该剖面常以脉冲反冲波的波形记录，波形的正负峰分别以黑、白表示，或者以灰阶或色彩表示，这样，同相轴或等灰、等色线即可形象地表征出地下反射界面或目标体。

由于排水方沟顶部是平面的，探地雷达探测断面的雷达图像不会显示出与圆形管道相似的曲线形状，判断其平面位置和埋深难度较大。正确分析管沟雷达图像的突破口在于找准方沟的两个顶端沟边上，雷达图像上若有两个相似的、相互对称的坡度异常，且两异常之间距离与管沟宽度一致，即可确认两沟顶边的位置，见图3。

埋地燃气管道开挖敷设的埋深一般在0.6m~2m之间，管道的圆形结构，在雷达图像上显示为不同大小的月牙形，结合土壤类型与月牙的大小弧度，即可判断出管道的具体位置与埋深。见图4为某小区管径为de110的PE燃气管道雷达成像图。

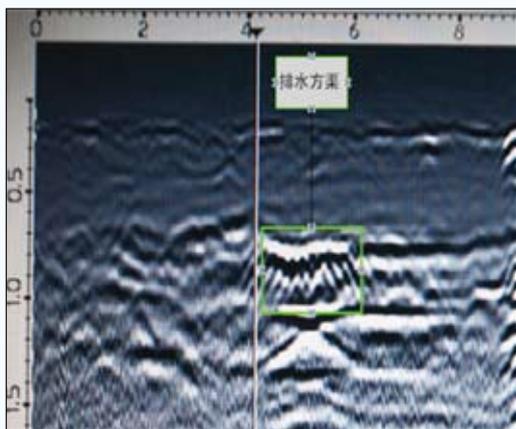


图3 排水方渠雷达成像图

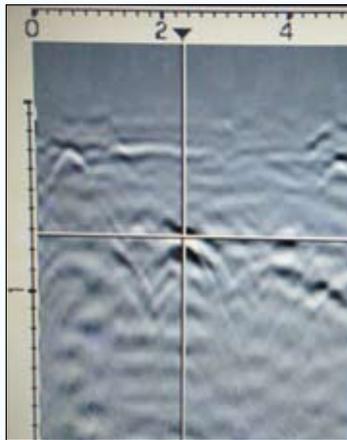


图4 DE110燃气管雷达成像图

## 2.2 工程实例

禅城区佛平路一段埋地燃气管道（管道规格为D219×7），通过一段市政排水方渠，由于时间较久，不知道埋地燃气管道是穿越方渠还是跨越而过，为了燃气管道的安全需要搞清楚燃气管道通过排水方渠方式。对此段管道位置情况进行了探测，探测所用仪器为管线探测仪和探地雷达。首先利用管线探测仪探测出埋地燃气管道的位置和埋深。然后利用探地雷达对排水方渠进行雷达扫描，分析雷达图像从而确定排水方渠位置与方渠顶深度。管道和排水方渠顶面埋深如表1。

根据管道埋深数据和雷达探测图像分析可知，水

表1 管道和排水方渠顶埋深数据表

探测点编号	1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#
间距 (m)	0	1	3	3	4	5	6
管道埋深 (m)	1.15	1.12	1.13	1.1	1.03	1.09	1.1
水渠顶板深 (m)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7

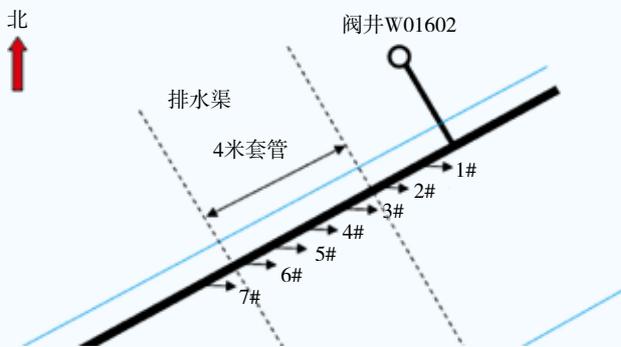


图5 埋地钢管与排水渠相交位置示意图

doi:10.3969/j.issn.1671-5152.2016.06.006

# 燃气用户端安全管理，政府管理部门又该如何做？

□ 长沙华润燃气有限公司（410200）伍荣璋

**摘要：**由于燃气用户数量多，在使用燃气过程中，难免会出现燃气泄漏现象，而用户的使用环境决定了燃气泄漏后是否达到爆炸所具备的条件和后果。因此，一旦发生燃气泄漏，极易引发爆燃、爆炸或者火灾等事故，进而造成人员伤亡和财产损失，也给社会的公共安全与稳定带来极大的负面影响。如何在快速发展的同时保证用户的安全，成为政府和企业都关心的问题。

**关键词：**燃气 安全管理

## 1 典型事故案例

2015年7月29日上午，重庆市沙坪坝双碑夜市附

近一家烧鸡公店的厨房突然发生爆炸，导致6名孩子2名店员不同程度受伤，其中一名店员被爆炸的火焰灼伤。炸飞的玻璃砸伤了几名正好过路的一所幼儿园中

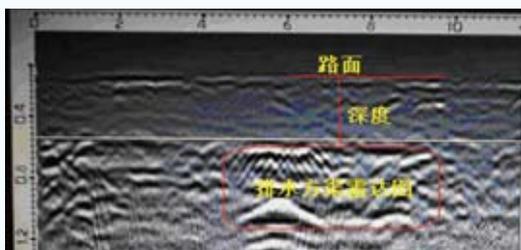


图6 燃气管道与排水方渠位置示意图

渠顶板深度约0.7m，埋地燃气管道的深度在1.03m~1.15m之间，因此，可以判断埋地钢质燃气管道在市政排水方渠中通过，存在穿越关系。

## 3 结论

找出埋地燃气管道穿越排水方渠的逻辑关系，是一项较高难度的工程问题。实践表明，利用探地雷

达能够很好的解决这一问题，得到较为清晰的逻辑关系。这为后期的相关隐患整改措施，提供了较好的参考数据。但是，在实际探测中，工程经验的积累是解决这类型问题的关键。

### 参考文献

- 1 黄蕾. 探地雷达回波信号数据采集方法的研究与实现. 武汉大学, 2003; 1-2
- 2 曾昭发. 探地雷达原理与应用. 北京: 电子工业出版社, 2010: 96-98
- 3 李鹏. 探地雷达数据采集和显示. 电子科技大学, 2004; 16-17
- 4 茹瑞典等. 地质雷达探测技术的应用研究. 工程地质学报, 1996; 6: 32-33