

## •煤田物探•

文章编号: 1001-1986(2002)04-0049-02

# 几种探地雷达的对比研究

刘传孝, 蒋金泉, 杨永杰, 谭云亮 (山东科技大学, 山东 泰安 271019)

**摘要:**通过对几种探地雷达技术的机理、性能和探测效果进行对比研究, 得出了它们的共性和各自特点, 对探地雷达技术的发展具有参考价值。

**关键词:**探地雷达; 电磁波; 同相轴; 目的体

**中图分类号:** P412.25 P624 **文献标识码:** A

## 1 概述

探地雷达(Ground Penetrating Radar)是一种适宜现场作业的轻便工具。当前的探地雷达主要有加拿大Pulse EKKO系列、美国SIR系列、日本GEORADAR系列、瑞典RAMAC钻孔雷达系统、国产LTD系列等。探地雷达是一种无损探测手段, 具有可程序高次叠加和多波形处理等信号恢复技术, 是当前国际上最先进的地球物理勘探手段之一<sup>[1,2]</sup>。

## 2 几种探地雷达的比较研究

### 2.1 相似性

#### 2.1.1 仪器组成及探测原理相同

探地雷达仪器组成如图1所示<sup>[1]</sup>。探地雷达图像解释的基础是研究电磁波的传播特性, 因此主要是通过找寻反射界面来判断得出目的体的几何形状和物理特征。记录到的电磁波双程走时及波幅、同相轴等波形资料反映了反射界面或目的体的深度位置及几何形态。介质的电性差异和物性差异成为衡量探地雷达适用与否的主要标准, 介质间的物性差异越大, 二者间的界面越易于分辨。电磁波在介质中传播的双程走时为:

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

式中  $t$  —— 电磁波双程走时, ns;

$z$  —— 反射界面深度位置, m;

$x$  —— 天线间距, m;

$v$  —— 电磁波在介质中的传播速度,  $m \cdot ns^{-1}$ 。

式(1)中的  $t$  为记录值,  $x$  为经验确定值, 故欲得到  $z$  值, 必须已知  $v$ 。  $v$  可由共中心点方法(CMP)现场实测得到。选用不同的天线将得到不同的探测精度和

深度。

#### 2.1.2 探测方法相同

探地雷达为便携式仪器, 是一种无损探测手段, 可容易地实现重复探测。对地质构造测绘填图、隐蔽孔洞探测、地下管缆定位、路面质检和水下目标探测等, 均适合采用探地雷达技术。在确定的探测范围内选择具有代表性的区段布置探测区, 沿探测线将雷达图像记录下来, 利用探地雷达可以连续探测的特点, 亦可将多条测线连接起来以利于分析比较, 雷达反射回波信号记录了剖面所穿过的介质物性或结构的总体组成形态, 经初步分析后再进行有针对性的重复探测<sup>[3,4]</sup>。

#### 2.1.3 相同的理论解释基础

从反射波的连续性看, 电磁波在正常衰减过程中因遇到较强的反射界面时其波幅会骤然增加, 之后迅速恢复正常变化规律。由于雷达剖面记录图记录的是电磁波的反射回波信号, 所以两侧介质物性差异较大的界面将产生较强的反射信号而被雷达的接受天线拾取; 同样若目的体中存在有许多杂乱无章的界面, 雷达接受到这些界面的反射回波信号不仅强度较弱(波幅小), 而且杂乱无序、同相轴不连续。上述两特征足以用来准确解释目的体特征。

## 2.2 性能对比

三种探地雷达的部分性能指标列于表1中。

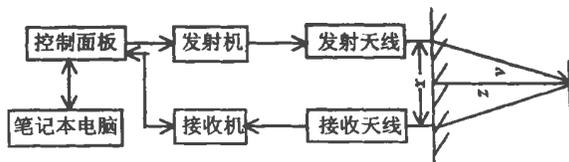


图1 探地雷达仪器组成及探测原理

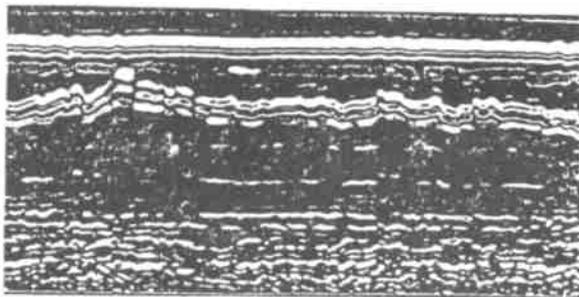
收稿日期: 2001-08-06

基金项目: 山东省自然科学基金资助项目(编号: Q99F06)

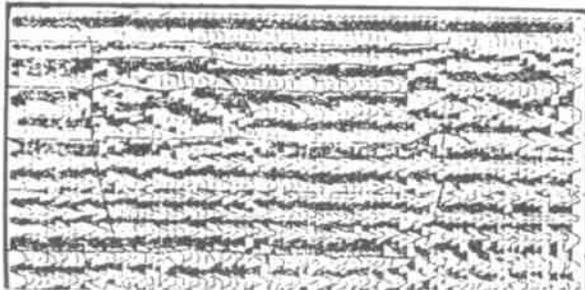
作者简介: 刘传孝(1970—), 男, 山东科技大学工程师, 博士, 从事巷道矿压及工程探测方面的科研工作。

表 1 探地雷达仪器性能对比

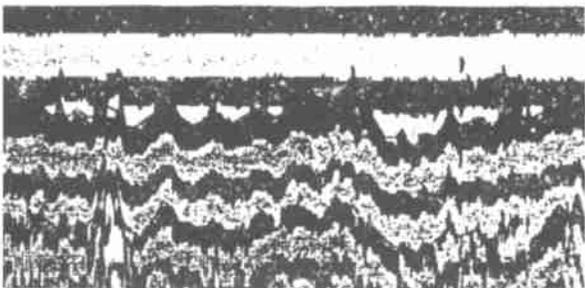
特性	美国 SIR	加拿大 Pulse EKKO	中国 LTD
A/D	8 或 16 bit	16 bit	12 bit
仪器特性(系统增益)	120 dB	170 dB	150 dB
实时时变增益	对老型模拟仪需要	对真数字化仪不需要	可编程时变增益(−10~70 dB)
实时时间滤波	有	有,但仅仅用于屏显,不改变记录数据	实时叠加去除噪音(任选 1~8 次)
屏蔽天线	80~1 000 MHz	100~1 000 MHz	80~1 000 MHz
无屏蔽天线	16~80 MHz	12.5~200 MHz	25~2 000 MHz
微机控制	486 母板装入主机中	用户可选(从 XT 到 Pentium)	笔记本微机或微型工程机或台式机
后处理软件	RADAN	EKKO-PLOT 等	IDSP(二维或三维)
叠加	1~30 k(主要用在空间扫描)	1~无穷(全部为测点时间系列叠加)	1~2 048 次
最小采样间隔/s	25	100	128
重复率	78~96 kHz	与真数字化系统无关联,但可标准为 50 kHz,决定于控制的计算机	
(仅用于模拟仪)			64 kHz
测量方式	点测,“连续”(分米级的“连续”)	“连续”,点测,时控,计程触发,手工触发	连续,点测
发射、接受天线分离性	仅仅某些天线是分离的	全部是分离的	部分是分离的
全光缆传输	不是	是	不是
测量道	1 至 4 道(干扰问题还未解决)	1	1
显示	彩色、灰度、波形	彩色、灰度、波形屏显及硬拷贝	伪彩色、灰度电平图、波形屏显
重量	28 kg	2.8 kg	3 kg
天线尺寸	25 cm×96 cm×200 cm	10.5 cm×92 cm×0.8 cm	32 cm×35 cm×14 cm
电源	200 W	35 W	12 V 直流或 220 V 交流电源
工作温度	−10℃~40℃	−50℃~50℃	−10℃~50℃



(a)



(b)



(c)

图 2 探地雷达探测公路路基剖面

a— SIR 探地雷达探测公路路基后处理优化图像;  
b— EKKO 系列的图像;c— LTD 系列的图像

### 2.2.1 国产 LTD 探地雷达比较突出性能

实时时间滤波性能, LTD 可实时叠加去除噪音及背景干扰, 是其特点之一; LTD 的 IDSP 后处理软件可将接受信号处理成二维或三维图像, 功能较强, 是其特点之二。美国 SIR 探地雷达的 RADAN 软件相对较差。

### 2.2.2 LTD 的比较居中性能

LTD 的仪器特性, 即系统增益性能居中, 加拿大 EKKO 探地雷达的最高; LTD 的 A/D 居中; LTD 的可重复脉冲频率为 64 MHz 居中, SIR 最高。

### 2.2.3 LTD 的比较一致性能

基本相同的性能指标有屏蔽天线和无屏蔽天线的频率范围, 所需控制微机的配置, 测量的方式均可实现点测、连续测, 测量道均为一道时效果好, 均可实现彩色、灰度、波形屏显, 范围基本相等的工作温度(加拿大 EKKO 探地雷达可到低温 −50℃)。

### 2.2.4 LTD 有待于进一步提高的性能

叠加次数上限为 2 048 次, 相对较低; 最小采样间隔为 128 /s, 相对较高; 未实现全光缆传输(EKKO 探地雷达已实现)。

### 2.3 探测效果对比

以公路质量检查作为对比研究的对象。(图 2) 通过比较可以看出, 三种雷达分辨铺层间界面的能力相当, 同相轴均很连续。从微观上看, SIR 图像虽然重点较突出, 但整体图像较模糊, 大部分信号已被处理掉了。EKKO 的图像稍好一些, 但对路基裂缝部位的解释不太明晰, LTD 图像非常清晰, 裂缝的位

文章编号:1001-1986(2002)04-0051-04

# 工作面富水区探测与矿井电法

## ——音频电透视在工作面富水区探测中的应用效果

高致宏<sup>1</sup>, 王彦红<sup>2</sup>, 陈青峰<sup>2</sup> (1. 煤炭科学研究总院西安分院, 陕西 西安 710054;  
2. 淮北矿业集团有限公司桃园煤矿, 安徽 宿州 234116)

**摘要:**在影响我国煤矿安全生产的诸多因素中, 矿井水害占有重大比例。本文介绍了我国煤矿综采工作面富水特性, 以及探测富水区常用的矿井电法及其特点, 着重阐述了音频电透视方法的基本原理、工作方法和资料解释, 并附以实例说明音频电透视在工作面富水性探测方面的应用效果。

**关键词:**矿井电法; 富水区探测; 音频电透视; 应用

**中图分类号:**P631.3 **文献标识码:**A

### 1 引言

在我国大中型高产高效煤矿中综采工作面所占的比例越来越大, 安全生产客观上要求地质预测预报工作要及时准确, 尤其是岩溶型大水矿区, 如果能对小断层、陷落柱、岩溶裂隙以及较大的富水区域等地质异常现象作出成功预报, 将能避免许多不必要的损失, 从而对煤矿安全生产起到巨大促进和保障作用。

### 2 工作面的富水特性

一般而言, 每个煤矿企业的地测部门都有自己矿区比较详细的矿井水文地质资料。这些资料在一定程度上满足了生产需要, 但是随着开采深度的增加和水文地质构造情况日趋复杂化, 现有资料已难

以满足生产需要, 甚至需要对原来的水文地质复杂程度重新审视、评价和修编。在采煤工作面中, 能够对安全回采构成威胁的主要是顶板水和底板水。顶板水中的第四系含水、煤层上方砂岩水, 在赋存特点上又有承压与不承压、静态储水(静态储水一般为裂隙或溶洞含水, 水量有限可以疏干)和动态储水(具有稳定的补给源和顺畅的补给通道)之区分。底板水中威胁较大的常是底板砂岩水和底板灰岩水, 当这些水体的规模较大, 补给源较稳定, 并因地质构造的发育而具有良好的导水通道时, 其破坏和危害程度更为严重。对富水区域的探测, 要根据其赋存的不同特性采取与之相适应的探测手段, 在探明其赋存位置、规模及与相关构造的关联情况以后, 方可采取进一步的防治措施。对于静态的、不承压的砂

收稿日期:2001-09-16

作者简介:高致宏(1969—), 男, 陕西周至人, 工程师, 从事煤田及金属矿物探方面的研究与应用工作。

置与形态很直观。

### 3 结论

- 国际上探地雷达技术的探地机理、探测方法和解释方法基本相同;
- 仪器性能指标具有较大差异、各具特点;
- 较强功能的后处理软件可适度弥补探地雷达部分仪器性能的不足;
- 国产探地雷达应在信号采集、排除干扰的能力方面作进一步努力。

### 参考文献

- [1] 王惠廉. 探地雷达目的体物理模拟研究结果[J]. 地球科学—中国地质大学学报, 1998, 18(3): 266—284.
- [2] 刘传孝, 杨永杰, 蒋金泉. 探地雷达技术在采矿工程中的应用[J]. 岩土工程学报, 1998, (6): 99—101.
- [3] 刘传孝. 探地雷达空洞探测机理研究及应用实例分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2000, 19(2): 238—241.
- [4] Davis J L, Anan A P. High resolution sounding using ground probing radar[J]. Geo-science Canada, 1986, 13(3): 205—208.

### Comparison of principles and applications of several kinds of GPR

LIU Chuan-xiao, JIANG Jin-quan, YANG Yong-jie, TAN Yun-liang  
(Shandong University of Science and technology, Taian 271019, China)

**Abstract:** Studying the principles and the applications of several kinds of the Ground Penetrating Radar, the paper finds their basic methods are same, and some different points among them are key to the advance of GPR technique.

**Key words:** the ground penetrating radar; the electromagnetic wave; event; object.