

40-44 U416.2
地质雷达在公路路面检测中的应用

邓居智 方根显

(华东地质学院地球科学系,江西临川市,344000)

摘 要 探讨了地质雷达在公路路面无损检测中的应用,重点介绍了野外资料采集时的参数设置和室内数据处理,以及处理后资料的解释,并给出了应用实例。

关键词 探地雷达;无损检测;参数设置

分类号 P319.12

公路、路面检测

地质雷达(亦叫探地雷达)是近年来广泛应用于工程方面的一种新物探仪器。它相对于其它物探仪器具有精度高、费用低、速度快、野外工作灵活、方便等优点。我院物探教研室于1997年初引进一台美国 GSSI 公司生产的 SIR-II 型探地雷达,在临川市洋洲立交桥路面上作了一些试验性检测。本文将对探地雷达在公路路面无损检测中的应用作一些探讨。

1 探地雷达的基本原理

探地雷达是以高频电磁波作探测场源的。当它工作时,由发射天线(T)向地下介质发射一定中心频率的高频电磁脉冲波,经地下地层或目的体反射后返回地面,被接收天线(R)所接收(图 1)。脉冲波施行时间 $t = \sqrt{4z^2 + x^2}/v$,当地下介质的波速 $v(\text{m/ns})$ 已知时,可根据精确测得的走时 $t(\text{ns})$,由上式求出反射物的深度 $h(\text{m})$ 。波的双程走时由反射脉冲相对于发射脉冲的延时进行测定。反射脉冲波形由重复间断发射(重复率 20 ~ 100 kHz)的电路,按采样定律等间距地采集叠加波而获得。当地面发射和接收天线沿探测线以等间距移动时,即可在纵坐标为双程走时 $t(\text{ns})$,横坐标为距离 $x(\text{m})$ 的雷达屏幕上,描绘出由反射体的深度所决定的“时距”波形道的轨迹图(图 2)。与此同时,探地雷达即以数字的形式记下每一道波形的数据。

2 场地的地球物理特征

公路的结构基本分为三大部分:上部为混凝土层,厚 8 ~ 30 cm;中部为碎石基层,厚 20 ~ 40 cm;下部为碎石或渣石层,厚度变化较大。由于这三层的介电常数及雷达波的衰减系数有明显的差异,所以,雷达波在界面上会产生反射。图 3(a)为公路结构和界面反射示意图,图 3(b)给出了各层反射形成的地质雷达波形扫描记录。

表 1 是与公路有关的各介质的物性参数。从表 1 知,空气、岩石、混凝土、土壤的介电常数

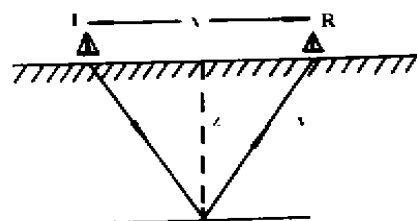


图1 反射雷达探测原理

Figure 1 Reflected radar prospecting theory

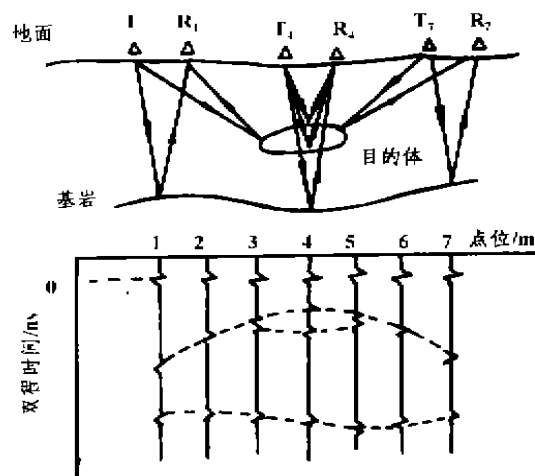
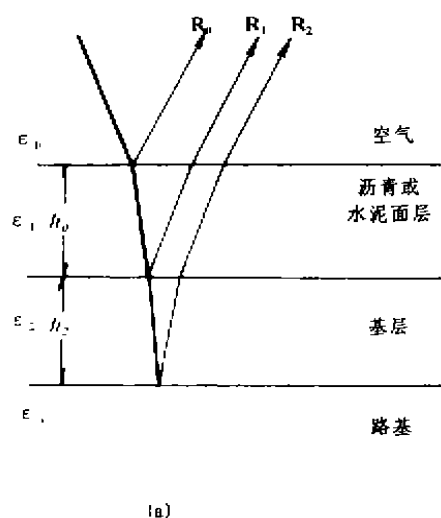
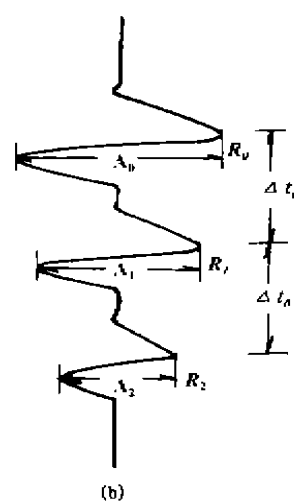


图2 雷达剖面记录示意图

Figure 2 Sketch map of radar section recording



(a)



(b)

图3 公路结构(a)和各层反射形成的探地雷达扫描波形(b)

Figure 3 Highway structure and different layers formation of the ground penetrating radar scanning wiggles chart
差异较大,即波阻抗差异较大,完全具备了探地雷达技术的地球物理前提。

表1 与公路有关介质的物性参数

Table 1 The Physical Parameter of some medium related to highway

介质	电导率/ sm	相对介电常数	速度/ $(\text{m} \cdot \text{ns}^{-1})$	衰减系数/ $(\text{dB} \cdot \text{m}^{-1})$
空气	0	1	0.3	0
纯水	$10^{-4} \sim 3 \times 10^{-2}$	81	0.033	0.1
混凝土	10^{-7}	6.4	0.12	0.03 ~ 1
沥青	10^{-9}	3 ~ 5	0.12 ~ 0.18	0.3 ~ 0.5
粘土	$10^{-1} \sim 1$	8 ~ 10	0.06	1 ~ 100
凝灰岩	4.0×10^{-6}	6	0.12	0.4 ~ 1

3 工作方法与技术

本文资料是在临川市新近建成通车的立交桥上采集的。为了探测混凝土路面厚度,沿公路走向共布设了二条剖面,长度均为 15 m。为探明路面横向厚度的均匀性,两条剖面分别布置在同一车道两侧的平行线上。

3.1 参数选择

(1) 天线中心频率

根据探测目的,选用了中心频率为 500 MHz 的天线。发射天线与接收天线组合在一起,其抗干扰能力强。

(2) 时窗选择

时窗选择主要取决于最大探测深度 $d_{\max}/\text{m}$ 与地层电磁波速度 $v/(\text{m}\cdot\text{ns}^{-1})$ 。时窗 W/ns 可由下式估算:

$$W = 1.3 \times 2d_{\max}/v$$

式中的时窗值增加 30%,是为地层速度与目标深度的变化所留出的余量。据上式,在两条测线上的时窗均选择了 20 ns。

(3) 根据高频天线的特点,采用连续测量工作方式。

3.2 探测精度说明

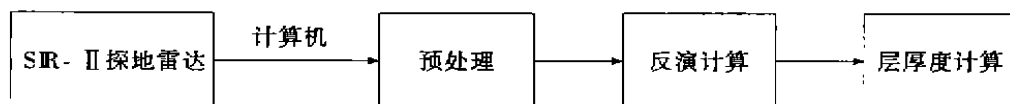
理论与实验的结果得出,当介质厚度大于子波波长的四分之一时,可被探地雷达分辨出。对中心频率为 500 MHz 的天线,混凝土介质中的雷达波长为 0.24 m(取混凝土介质雷达波速的平均值 0.12 m/ns),若以四分之一波长为其纵向分辨率,则在纵向上可分辨出的探测目的层的最小厚度为 6 cm,这完全可以满足公路路面检测的要求。

4 资料处理及解释

4.1 数据处理

在探地雷达测量中,为了得到更多的反射波特征,通常利用宽频带进行记录,因此不可避免地会记录下各种噪声。数据处理的目的是压制随机的和规则的干扰。以最大可能的分辨率使反射波在探地雷达图像剖面上显示出来,提取反射波的各种有用参数。因此,数据处理是探地雷达成功的关键。图 4(a,b)为野外采集的原始数据,几乎无法解释,必须进行数据处理。数据处理的方法很多,作用亦各不相同,所以,应根据所采集的原始资料和探测目的选用适当的数据处理方法。本次数据处理的重点是频率滤波,从输出结果(图 5a,b)看,效果较好,比较容易进行地质解释。

室内资料处理的流程图为:



其中预处理过程为:

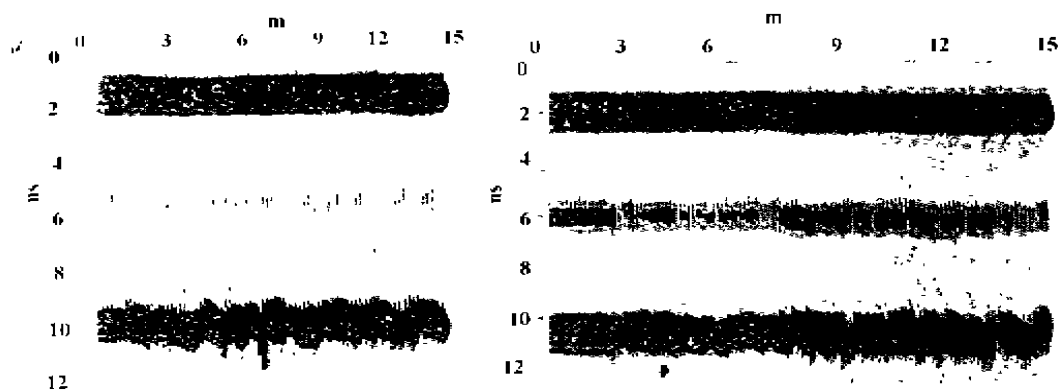
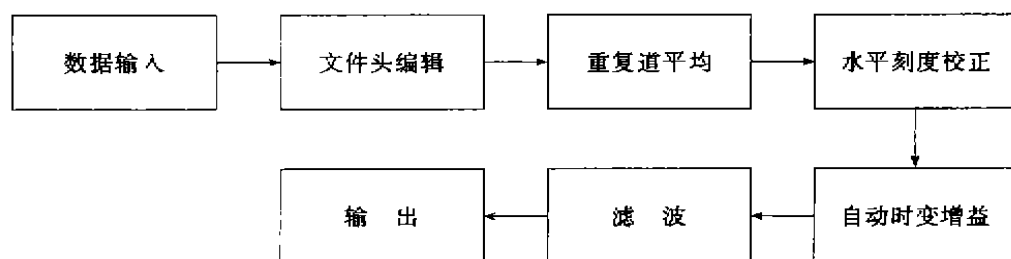


图4 洋州立交桥路面雷达记录

Figure 4 Radar's recording of the surface Yangzhou overpass

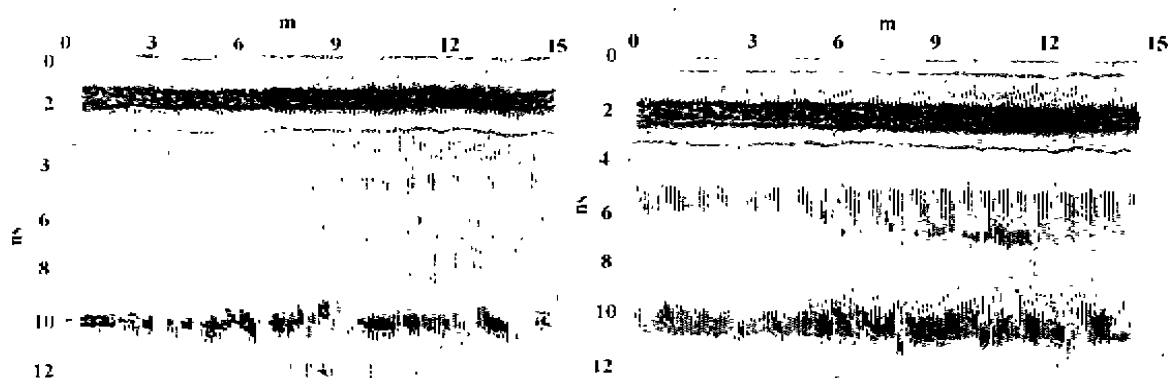


图5 洋洲立交桥路面雷达记录处理结果

Figure 5 Processed result of the radar's recording of the surface Yangzhou overpass

4.2 资料解释

探地雷达资料解释是探地雷达测量的目的。这项工作通常是在雷达图像剖面上,根据反

射波组的波形与强度特征,通过同相轴的追踪进行。在路面检测中,图像解释主要是根据波形确定路面的顶界面位置 t_1 和底界面位置 t_2 ,然后由公式 $h = v \times (t_2 - t_1)/2$ 算出路面层的厚度。图 5 中画出了路面顶底界面的反射波位置。

表 2 列出了探地雷达测量的立交桥路面水泥层厚度与实际厚度的对照。

表 2 探地雷达测量厚度和实际厚度对照表

Table 2 Table of comparison between the GPR survey of the highway and its actual thickness

对照点	料 质	实际厚度/cm	雷达探测厚度/cm	速度/(m·ns ⁻¹)	误差/cm
记录 a	混凝土	19	18.70	0.126	-0.30
记录 b	混凝土	19	17.64	0.126	-1.36

注:实际厚度在公路两侧出露处测定。

5 结语

- (1)在公路路面无损检测方面,探地雷达已取得较好的效果,有广阔的应用前景。
- (2)对探地雷达开发利用的重点应放在数据处理和资料解释上。
- (3)探地雷达的天线对勘察深度及分辨率影响很大,应根据探测目的正确选择。

本文得到了物探教研室莫德教授的悉心指导和帮助,谨表谢意!

参 考 文 献

- 1 李金铭等.电法勘探新进展.北京:地质出版社,1996
- 2 李大心.探地雷达方法与应用.北京:地质出版社,1994
- 3 牛一雄.地质雷达在公路建设中的应用.物探与化探,1996,2(2):116~123

The Application of Ground-penetrating Radar to Highway Road Surface Inspection

Deng Juzhi Fang Genxian

(Department of Resources and Environment Engineering, East China Geological Institute, Linchuan, JX 344000)

Abstract The paper discusses the application of ground-penetrating radar to highway road surface inspection with emphasis given on the parameter offered when data acquisition in the open and data processing and data interpretation indoors. Some application examples are also given.

Key Words ground-penetrating radar; non-destructive inspection; parameter offered