

# 多次叠加技术在探地雷达资料处理中的应用

赵永辉 吴健生 万明浩

( 同济大学 教育部海洋地质重点实验室 ,上海 200092 )

摘要 :将地震方法中的多次叠加技术引入探地雷达资料的处理中 ,以增强雷达的深部弱信号 ,取得了良好的效果。

关键词 :探地雷达 ;多次叠加 ;振幅恢复 ;能量均衡

中图分类号 :P631.3 文献标识码 :A 文章编号 :1000-8918(2000)03-0215-04

地下介质对雷达波(电磁波)的吸收使深部的反射波信号迅速衰减,回波幅度减弱,而在实际探测中,通常要求做到较大的探测深度,并能够从图像解释中获得详细的深部结构,如果不能增强深部的信息,这一点是很难达到的。我们尝试将多次叠加技术<sup>[1]</sup>用于探地雷达资料的解释,以达到加强雷达深部反射回波幅度的效果。

## 1 实际数据采集方法

野外数据采集中使用多次覆盖测量<sup>[2]</sup>。在同一条测线上,使用不同的天线距进行重复测量,于是在扫描区同一测点上有几组共反射点的雷达数据。必须注意的是,使用不同的天线距探测时,起始位置必须是同一点,步长相等,以保证采集的雷达记录反映的是同一条剖面,在此基础上方可进行数据叠加。

## 2 多次叠加处理技术

### 2.1 天线距校正

进行叠加之前,必须对不同天线距的雷达测量记录结果进行天线距的校正处理,其目的是把所有非零天线距接收的反射回波旅行时间  $t$  校正到零偏移距(发射天线与接收天线均位于中心位置时)的反射旅行时间  $t_0$ 。与地震反射波的时距曲线<sup>[3]</sup>相似,雷达回波的多次覆盖反射波时距曲线也是双曲线(图 1)。用于校正的时间差称之为动校正量。

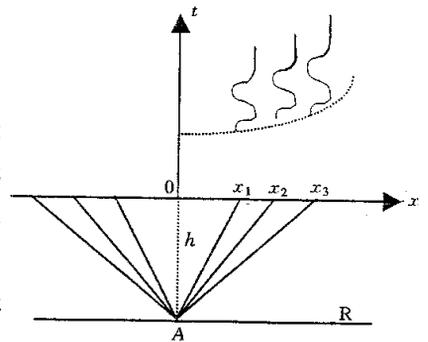


图 1 多次覆盖反射时距曲线

如图 1 所示,时距曲线上某点的时间  $t_i$  为

$$t_i = \frac{\sqrt{(2h)^2 + x_i^2}}{v_0} = \sqrt{\frac{(2h)^2 + x_i^2}{v_0^2}} = \sqrt{\frac{(2h)^2}{v_0^2} + \frac{x_i^2}{v_0^2}} = \sqrt{t_0^2 + \left(\frac{x_i}{v_0}\right)^2} \quad (1)$$

上式中  $x_i$  为该点的天线距; $t_0$  为零偏移距的时间; $t_i$  是  $x_i$  对应的时间; $v_0$  是时间  $t_0$  所对应的平均速度。那么在某一道的时距校正量  $\Delta t_i$  为

$$\Delta t_i = t_i - t_0 = \sqrt{t_0^2 + \left(\frac{x_i}{v_0}\right)^2} - t_0 \quad (2)$$

从(2)式中可以看出  $\Delta t_i$  受 2 个因素的影响,它既随时间  $t_0$  的变化而变化,也随着空间位置  $x_i$ (天线距)的变化而变化。在一组雷达数据中,对于固定的  $x_i$ ,随着  $t_0$  的增大, $\Delta t_i$  是减小的,因此,对每一雷达记录道,时间校正量随着反射点深度的变化而变化。

## 2.2 振幅恢复

在雷达数据的采集集中,不同时刻雷达激发的脉冲能量是不一样的,因此在数据叠加之前,为了使叠加各道记录的贡献一致,必须对各道的反射波振幅进行某些处理,主要是进行振幅的恢复及道间能量的均衡处理。

### 2.2.1 振幅的恢复

由于雷达波前在地下介质中的扩散,以及地下介质对雷达波的吸收作用,使得接收天线所接收到的反射波的振幅减小。为了使反射波幅度与介质的各反射层的特点切实联系起来,需要进行振幅的恢复处理<sup>[4]</sup>。

假设地下介质均匀,则距发射天线  $r$  处的雷达波的振幅  $A$  为

$$A = \frac{A_0}{r} e^{-\beta r} \quad (3)$$

式中  $A_0$  是无扩散、无吸收影响的原始振幅值; $1/r$  是雷达波前扩散因子; $\beta$  是介质的吸收系数; $t$  为接收到的反射波的旅行走时,那么由上式可逆推出反射波的原始振幅值  $A_0$

$$A_0 = Ar e^{\beta r} \quad (4)$$

由于反射波实际旅行路径  $r = vt$ ,  $v$  是雷达波在介质中传播的平均速度,则有

$$A_0 = Avt e^{\beta vt} \quad (5)$$

根据(5)式,即可恢复反射波振幅。

### 2.2.2 道间能量的均衡

如果说参与叠加的各道所反映的地下介质的特性是一致的,那么其对应的反射波能量(以振幅来表现)也应是一致的,但在实际探测中,由于种种原因及其不可避免的噪声干扰的存在,使各道之间的能量并不均衡。为了使参与叠加的各道对合成结果的贡献一致,必须在叠加前对各道的能量加以均衡。

取  $N$  道雷达记录进行叠加(即  $N$  种不同的天线距),每道的反射波振幅为  $n$  个,每个记录道的采样点总数为  $m$ ,各记录的采样值为  $A_{ij}^k$ ,即使用第  $k$  种天线距时第  $i$  道第  $j$  点的采样值,其中  $i = 1, 2, \dots, m$ ;  $j = 1, 2, \dots, m$ ;  $k = 1, 2, \dots, N$ 。按以下步骤计算,即可实现振幅均衡。

$$\text{首先求出各道的平均振幅} \quad \overline{A_j^k} = \frac{\sum_{i=1}^n |A_{ij}^k|}{n};$$

$$\text{其次求出 } N \text{ 道的平均振幅} \quad \overline{A_j} = \frac{\sum_{k=1}^N \overline{A_j^k}}{N};$$

$$\text{最后对各道每个采样点值进行能量均衡} \quad \overline{A_{ij}^k} = \frac{A_{ij}^k}{A_j^k} \times \overline{A_j}.$$

经过上述处理之后,即可进行数据的多次叠加。

### 2.2.3 多次叠加

经过天线距校正与能量均衡后,多次覆盖共中心点的各道样点振幅值为  $\overline{A_j^k}$ ,则多次叠加

后的样点振幅值  $\overline{A}_{ij} = \frac{1}{N} \sum_{K=1}^N \overline{A}_{ij}^k$ 。

### 3 应用实例

在上述理论的基础上 编制处理软件并将其用于实际的资料处理中。

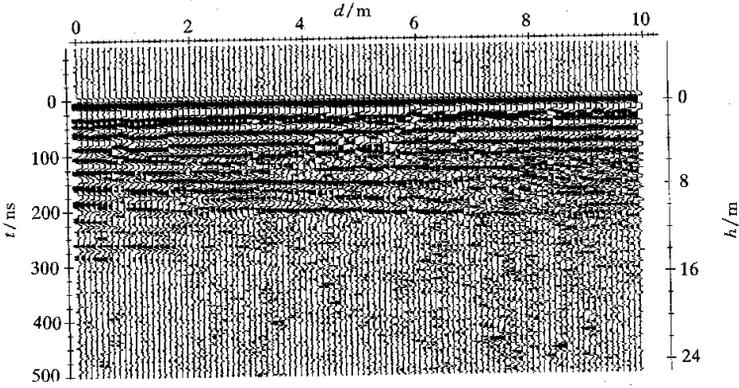


图 2 天线距为 0.4 m 的探地雷达记录剖面

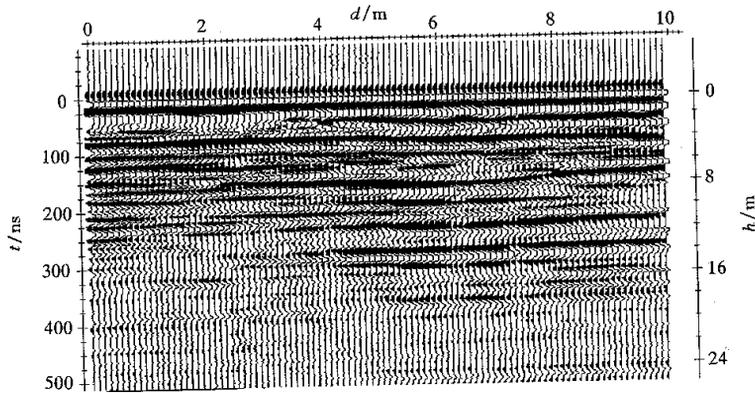


图 3 天线距为 0.8 m 的探地雷达记录剖面

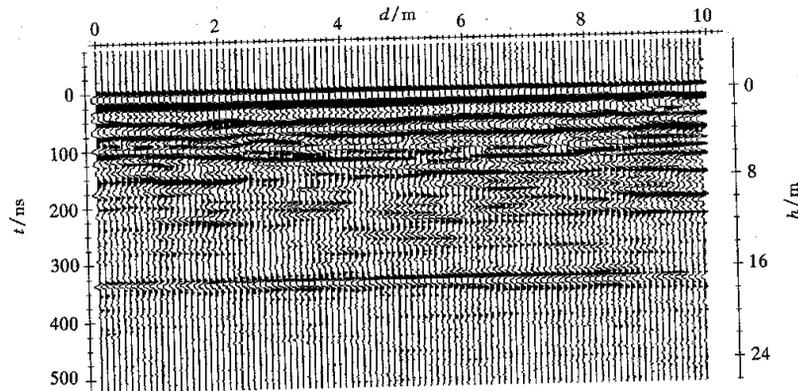


图 4 天线距为 1.6 m 的探地雷达记录剖面

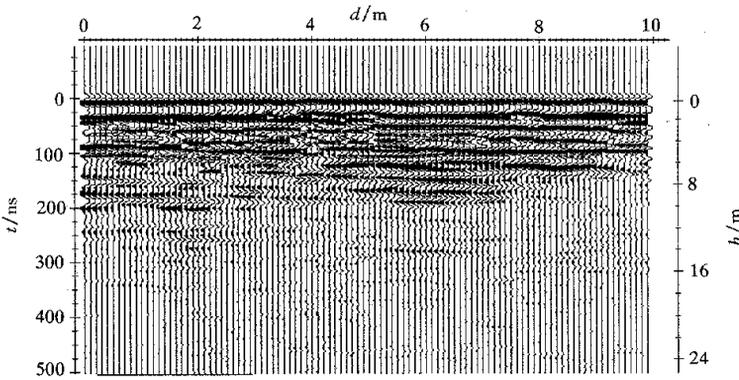


图 5 叠加后的探地雷达记录剖面

某建筑场地内有试验区,要求划分浅部地层。在同一条测线上用天线距分别为 0.4、0.8、1.6 m 的双天线系统进行了 3 次覆盖测量(图 2~4),图 5 是 3 次覆盖的雷达记录叠加的结果。比较上述的 4 幅雷达剖面,可以看出:单天线距雷达记录剖面中,由于噪声的干扰及雷达波信号的衰减,使得深部的反射信号很弱,反射界面也不清楚,而经过 3 次覆盖雷达记录的叠加,深部的信息增强了,反射界面也变的很清晰。

#### 4 结束语

由于存在不可避免的噪声干扰及地下介质对电磁波的吸收等问题,使得雷达图像剖面对深部介质特性反映较弱,因此需要进行增强处理,以改善图像记录质量。通过对雷达数据进行多次叠加处理,增强了雷达图像的深部信息,取得较好的应用效果。

#### 参考文献:

- [1] 陆基孟主编.地震勘探原理[M].东营:石油大学出版社,1993
- [2] 王兴泰主编.工程与环境物探新方法新技术[C].北京:地质出版社,1996
- [3] 何樵登主编.地震勘探[M].北京:地质出版社,1985
- [4] 李大心.探地雷达方法与应用[M].北京:地质出版社,1994

### THE APPLICATION OF MULTIPLE STACKING TECHNIQUE TO THE DATA – PROCESSING WORK OF GROUND – PENETRATING RADAR

Zhao Yonghui ,Wu Jiansheng ,Wan Minghao

(Main Marine Laboratory of Educational Ministry ,Tongji University ,Shanghai 200092)

**Abstract:** The multiple stacking technique for seismic exploration was introduced into the data-processing work of ground-penetrating radar so as to enhance the weak radar signal at depth. The result of the application is excellent.

**Key words:** ground-penetrating radar, multiple stacking, amplitude restoration, energy balance

第一作者简介:赵永辉(1974-),男,1996年毕业于长春地质学院应用地球物理系,现为同济大学在读博士生。  
万方数据