

偏移技术在 GPR 资料处理中的研究

李成方¹,王绪本²,薛克勤¹,刘福江¹,邓光君¹

(1. 中国地质大学 地球科学与资源学院,北京 100083;2. 成都理工大学 信息工程学院,四川 成都 610059)

摘 要: 针对 GPR 剖面中存在的绕射波影响资料处理和解释问题,根据雷达波波动方程和声波波动方程在形式上的一致性,合理地将地震勘探中成熟的相位移波动方程偏移法、克希霍夫积分偏移法和有限差分波动方程偏移法引入到 GPR 资料处理中。理论模型的试验和实测资料的处理分析表明,该方法有较好的效果。

关键词: 探地雷达;偏移;克希霍夫积分法;有限差分法;相位移法

中图分类号: P631.3 文献标识码: A 文章编号: 1000-8918(2004)05-0451-02

探地雷达(ground penetrating radar,GPR)已被广泛应用在地下物体探测、建筑工程质量检测等许多方面^[1]。然而在实测 GPR 剖面中,由于绕射波的存在,使我们不能准确地对地下目标进行定位,对 GPR 资料的解释也很困难^[2]。

偏移技术是地震勘探中处理绕射波的有效方法,许多方法都以声波波动方程为基础。根据麦克斯韦电磁理论,磁场变化产生电场,而磁场变化又伴随着电场变化,电场与磁场随时间的变化可向周围空间扩散,形成电磁场由近向远的传递,电磁场这种随着时间与空间的变化符合波动理论,由此建立的雷达波波动方程与声波波动方程在方程形式上一致^[3]。这就为我们将已在地震勘探中得到广泛运用的、成熟的偏移技术合理地引入到 GPR 资料处理解释中提供了理论基础。

1 方法实现

在参考文献[2、4]中有克希霍夫积分偏移、有限差分波动方程偏移在 GPR 中应用的实现方法,这里不再赘述。下面讨论相位移波动方程偏移的实现方法。

设地下地质模型是水平层状的,在低耗介质中,雷达波的二维波动方程在频率-波数域中标量方程的上行波解为

$$\bar{E}(k_x,z_i+\Delta z_i,\omega)=\bar{E}(k_x,z_i,\omega)\exp(-k_z\Delta z_i),$$
$$\bar{E}(k_x,z_i,\omega)=\int_{-\infty-\infty}^{\infty}\int_{-\infty-\infty}^{\infty}E(x,z_i,t)\exp[-i(\omega t+k_x x)]dxdt,$$

$$k_{z_i}=\frac{\omega}{v(z_i)}\left[1-\left(\frac{v(z_i)k_x}{\omega}\right)^2\right]^{1/2}.$$
经二维傅立叶变换,为

$$E(x,z_i+\Delta z_i)=\frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty}\bar{E}(x,z_i+\Delta z_i,\omega)d\omega,$$
其离散形式为^[5]

$$E(x,z_i+\Delta z_i)=\frac{1}{2\pi}\sum_{n=-N/2}^{N/2}\bar{E}(x,z_i+\Delta z_i,n\Delta\omega)\Delta\omega.$$
相位移偏移的过程如下。

- (1)输入时间剖面 $E(x,t)$,相对 t 做一维傅立叶变换,得到 $\bar{E}(x,\omega)$;
- (2)延拓 $\bar{E}(x,\omega)$ 为 $\bar{E}(x,z_i,\omega)$ 且以 ω 为参数在 $\bar{E}(x,z_i,\omega)$ 的两端(x 方向)加吸收边界条件;
- (3) $\bar{E}(x,z_i,\omega)$ 相对 x 做一维傅立叶变换,得到 $\bar{E}(k_x,z_i,\omega)$,计算相移因子 $e^{-ik_z\Delta z}$;
- (4)用相移因子乘 $\bar{E}(k_x,z_i,\omega)$ 得 $\bar{E}(k_x,z_{i+1},\omega)$;
- (5)对 k_x 做一维傅立叶变换得到 $\bar{E}(x,z_{i+1},\omega)$,它有 2 个用途,一方面按公式做成像处理,另一方面将其作为向深度 z_{i+2} 延拓时的输入波场值;
- (6)重复步骤(2)~(5),直到最大深度为止;
- (7)另取 1 个频率值,重复步骤(2)~(6),直到所有的频率循环完毕为止。

2 理论模型与实例分析

2.1 GPR 正演模型分析

图 1 为置于均匀介质中的混凝土管道模型及其利用相位移波动方程正演法合成的 GPR 记录剖面。

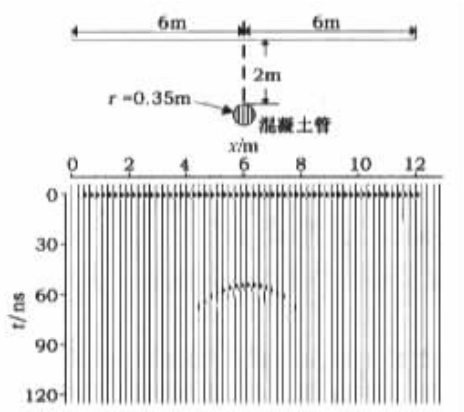


图 1 管道模型及其 GPR 剖面

管体中心水平位置在 6 m 处,管顶埋深为 2.0 m,管道外径为 0.35 m;管道周围介质的电性参数:相对介电常数 $\epsilon_r=14$,电阻率 $\rho=20\ \Omega\cdot\text{m}$,管体的相对介电常数 $\epsilon_r=6.4$ 。可以看出由于绕射波的存在,管道在 GPR 剖面上表现为一较大的弧形。

经 3 种偏移方法分别对合成资料进行偏移处理(图 2)。与合成剖面(图 1)进行比较,偏移处理后绕射波较好地归位到管体的正上方,能够准确地反

映管体的水平位置。

2.2 实测 GPR 剖面处理

图 3 为工厂车间水泥地面的一段 GPR 记录剖面。在 20 ns 处有 2 个明显的弧状反射波,为水泥地面下 2 个排水管的反射。由于绕射波的存在,使我们不能准确地对地下目体定位。

分别用 3 种偏移方法对该剖面进行处理。由图 4 可以看出,在处理后的剖面中较好地消除了绕射波的影响,比较准确地反映了地下排水管的分布,结果与实际资料相吻合。

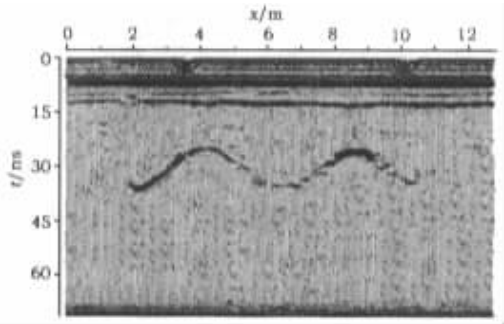


图 3 混凝土结构的 GPR 剖面

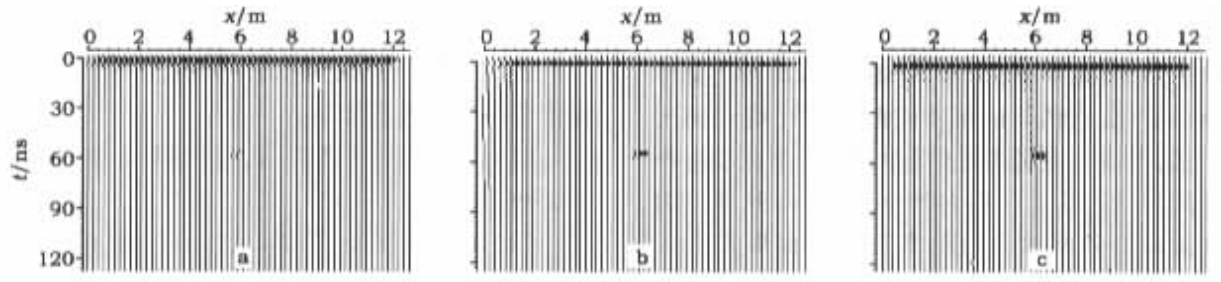


图 2 模型的 3 种偏移方法处理后的结果

a—克希霍夫积分偏移剖面;b—有限差分波动方程偏移剖面;c—相位移波动方程偏移剖面;图 4 同。

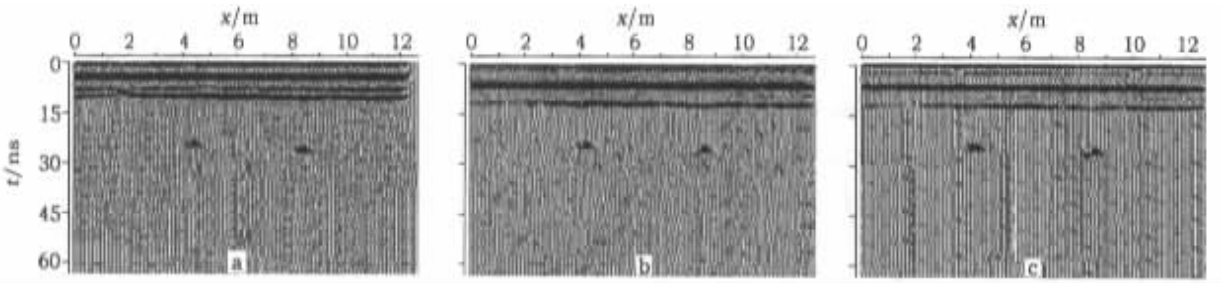


图 4 混凝土结构的 3 种偏移方法的处理结果

3 结语

由于 GPR 在探测管线、洞穴或类似结构的地下异常体时,存在较大的绕射波,使得剖面不能准确反映地下介质的实际位置。采用相位移波动方程偏移法、克希霍夫积分偏移法和有限差分波动方程偏移法对实测资料进行处理,能够有效地消除剖面中的绕射波,提高 GPR 资料的分辨率。证明了建立在声

波波动方程基础上的偏移方法对于处理 GPR 剖面中的绕射波是有效的。

参考文献:

[1] 李大心. 探地雷达方法与应用[M]. 北京:地质出版社,1994.
[2] 赵永辉、吴健生. 有限差分探地雷达波动方程偏移成像[J]. 物探化探计算技术,2001,23 (1):48.
[3] 沈彪. 探地雷达波动方程研究及其正演模拟[J]. 物探化探计算技术,1994,16(1):29.

SOME IMPORTANT LINKS IN SEISMIC DATA PROCESSING UNDER
COMPLEX SURFACE AND UNDERGROUND GEOLOGICAL CONDITIONS

HE Xin-zhen^{1,2}, SHANG Xin-min¹, WANG Chang-bo¹, SHI Lin-guang¹, MA Li-bin²

(1. Institute of Geophysical Exploration, Shengli Oilfield Company Ltd., SINOPEC, Dongying 257022, China; 2. Linpan Oil Site of Shengli Oilfield Company Ltd., SINOPEC, Dongying 251057, China)

Abstract: Complex areas are characterized by complex near-surface geological structures, considerable variation in horizontal and vertical direction, fractured geological structures or the appearance of large dip angle old formation. This paper analyzes the main behaviors and the formation mechanisms of the seismic data in this area, and puts forward some processing techniques suitable for such areas, such as static correction, noise-elimination technique, and frequency compensation. Some problems deserving of attention are also pointed out.

Key words: seismic data; static correction; noise-elimination technique; frequency compensation; migration imagery

作者简介: 何新贞(1970—),男,工程师,1988年毕业于石油大学(华东)勘探系物探专业,现从事地震资料处理与分析工作。



上接 452 页

[4] 邓世坤. 探地雷达图像的正演合成[J]. 地球科学. 1993,18(3): 285.

[5] 贺振华. 反射地震资料—偏移处理与反演方法[M]. 重庆:重庆大学出版社,1989.

[6] John F Hermance. Ground-penetrating radar: Postmigration stacking of n-fold common midpoint profile data[J]. Geophysics, 2001, 66: 379.

[7] Albane C Saintenoy, Albert Tarantola. Ground-penetrating ra-

dar: Analysis of point diffractors for modeling inversion[J]. Geophysics, 2001, 66: 540.

[8] McCann D M. Comprarision of the seismic and ground probing radar methods in geological surveying[J]. IEEE Proceeding, 1998, 135(4): 380.

[9] 李振春, 穆志平, 张建磊, 等. 共聚焦点道集偏移速度建模[J]. 物探与化探, 2003, 27(5).

A STUDY OF MIGRATION TECHNIQUE FOR GPR DATA PROCESSING

LI Cheng-fang¹, WANG Xu-ben², XUE Ke-qin¹, LIU Fu-jiang¹, DENG Guang-jun¹

(1. Institute of Geosciences and resources, China University of Geosciences, Pekin 100083, China; 2. Institute of Information Engineering, Chengtu University Of Technology, Chengtu Szechwan 610059, China)

Abstract: Due to the interference of diffraction wave in GPR profiles, especially in the detection of underground pipes, caves or similar anomalies, the processing and interpretation of GPR data have become very difficult. In order to deal with this problem, the authors, according to the unified wave equation form of electromagnetic wave equation and sound wave equation, used three migration methods to process GPR data. They are phase displacement, Kirchhoff integral and finite difference, which had been employed extensively in data processing of seismic prospecting. On the basis of testing and analyzing the model, the processing and analyzing of the filed GPR data yielded good results.

Key words: GPR; migration; Kirchhoff integral method; finite-difference method; phase displacement method

作者简介: 李成方(1976—),男,河北人,博士研究生,主要研究方向地理信息系统软件设计与工程。