

文章编号: 1001-1986(2004)06-0054-03

TEM 拟地震解释中的反射系数确定

刘继东 (甘肃省煤田地质局, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 在反射波地震勘探中, 能观测到输入大地中的地震波在介质的分界面上的反射, 这些反射组成的时间序列就是地震记录, 而记录上所显示的反射序列可以看作是地下介质的脉冲响应。TEM 电磁波场源同样存在二次波和透射波, 从电磁波和弹性波在介质中传播的相似性角度认识, 存在二次场拟地震解释的条件。其中, 对它们的反射系数函数的对比分析, 是认识两者有机地联系的关键。本文就是基于上述理论, 运用解释地震资料的方法解释电磁法资料。

关键词: 瞬变电磁法; 解释方法; 反射系数

中图分类号: P631.3⁺25 文献标识码: A

1 引言

无论是弹性波还是电磁波, 在介质中传播遇到界面都会产生反射, 如果从电磁波和弹性波在介质中传播的相似性出发, 对 TEM 二次响应函数与地震反射波的反射系数函数加以对比分析, 就可以把两者有机地联系起来, 运用解释地震资料的方法来解释电磁法资料。

2 基本原理

在自然界中, 无论是交变电磁场还是位移场都遵循波动方程:

$$\nabla^2 \Phi = \frac{1}{V} \cdot \frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2}, \quad (1)$$

式中 V —传播速度; Φ —波动函数; T —传播时间。

在波动传播过程中, 波遇到波阻抗界面都会产生反射和折射。在地震反射法中, 地震仪记录的信号是地震子波和介质响应函数(反射函数)的叠加; 在电磁法中, 我们知道, 电磁场场强在传播过程中与介质响应函数(或称为复反射函数)有关。若把地层

划分为电磁波或弹性波的双程传播时间都相等的“维层”时, 则不难导出频率电磁测深和地震反射法的复反射函数^[1]:

$$R_e(\omega) = \sum_{n=1}^{\infty} e^{-\frac{2\pi H}{\lambda} q_n^e} e^{-\sqrt{j\omega n} t_o^e}, \quad (2)$$

$$R_s(\omega) = \sum_{n=1}^{\infty} e^{-\sqrt{j\omega n} t_o^s} q_n^s, \quad (3)$$

式中 $R_e(\omega)$ —电磁频率测深反射函数;

$R_s(\omega)$ —地震反射法复反射函数;

q_n^e —电磁测深反射系数函数;

q_n^s —地震反射法反射系数函数;

$t_o^e = 2 \sqrt{\mu_2 h_i / \rho_i}$, 为电磁波($\omega = 1$)在第 i 层介质中的双程传播时间;

$t_o^s = 2 h_i / V_i$, 为弹性波在第 i 层介质中的双程传播时间;

$j = \sqrt{-1}$, 为虚数单位;

$\mu = 4\pi \times 10^{-7} H/m$, 为磁导率;

h_i —第 i 层介质厚度。

比较(2)式和(3)式, 两者不论从数学表达上还

收稿日期: 2004-05-17

作者简介: 刘继东(1965—), 男, 甘肃平凉人, 甘肃煤田地质局高级工程师, 从事地质勘查及管理工作。

参考文献

[1] 李庆忠. 走向精确勘探的道路—高分辨率地震勘探系统工程剖析[M]. 北京: 石油工业出版社, 1993.

[2] 俞寿朋. 高分辨率地震勘探[M]. 北京: 石油工业出版社, 1993

[3] 霍全明. 发展高分辨率地震勘探技术为煤矿生产服务[J]. 中国煤田地质, 1999, 增刊, 64—69.

Application of 3D seismic technology to the Tiefa Coal Mine Area

ZHAO Shi-hua¹, CHENG Zeng-qing², NIU Peng-cheng², TIAN Xue-feng²

(1. Northeast University, Shenyang 110101, China;

2. Research Institute of Coal Geophysical Exploration, Zhuozhou 072752, China)

Abstract: With 3D seismic exploration projects in Tiefa Coal Mine Area as the examples, this paper discusses the application of 3D high-resolution seismic exploration technology and its role in reasonable layout of the working face. It is shown from the mining examples that geological risks have been avoided by the application of 3D seismic exploration results. There are no accidents and significant geological changes in several full mechanized mining working face.

Key words: 3D seismic exploration; data interpretation; Tiefa Coal Mine Area; application

是从物理意义上都有一定的相似性。此时,对于地震反射法而言, q_n^s 是不同时刻的界面反射函数;对电磁测深来说, q_n^e 则是在不考虑介质的吸收和色散时的反射函数。所不同的是前者反映的是波阻抗反射系数,即

$$K_{i,i+1}^s = \frac{d_{i+1}u_{i+1} - d_iu_i}{d_{i+1}u_{i+1} + d_iu_i},$$

后者则反映电性界面发射系数,即

$$K_{i,i+1}^e = \frac{\sqrt{\rho_{i+1}} - \sqrt{\rho_i}}{\sqrt{\rho_{i+1}} + \sqrt{\rho_i}},$$

式中 d_i, u_i, ρ_i 分别代表第 i 层的密度、速度和电阻率。

由于 $R(\omega)$ 是复反射函数,所以对地震勘探而言, q_n^s 就是不同时刻从地下返回地面的发射函数;在电磁法中, q_n^e 则是不考虑吸收时,不同时刻在地面记录到的反射函数。 q_n 的正负反映反射的极性,其大小反映发射的强弱。因而在地震勘探中, q_n^s 就是单位脉冲响应,即输入为 δ 函数时,由一次反射和多次反射所构成的自激自收的“地震记录”。若以 t 为纵坐标, q_n^s 为横坐标,在一条测线上就可以画出“时间剖面”。和地震法完全相似,在电磁法中,我们也可以画出“时间剖面”,并对时间剖面进行解释,得到地下断面的有关信息。

3 TEM 反射系数函数 q_n 值的求取

反射系数函数 q_n^s 和 q_n^e 是把地震反射法和电磁测深法联系起来的纽带。在地震反射法中, q_n^s 是通过反褶积来求取的,而电磁测深法 q_n^e 值的求取,则是应用拟地震解释法中关键的一步。下面就 q_n^e 值的求取方法进行讨论。

对于两层断面而言, q_n^e 值等于常数——反射系数: $q_n^e = K_{1,2}^e$;对于多层断面,用非线性近似法求解。在 (r_i, r_{i+2}) 区间内,积分节之间的视电阻率函数 $\rho(r)$ 可用拉格朗日三项式近似表示为:

$$\rho(r) = ar^2 + br + c, \quad (4)$$

其积分为:

$$\int_0^\infty \rho(r) \frac{J_1(mr)^2}{r} dr = \sum_{i=0}^{n-1} \int_{r_i}^{r_{i+2}} (ar^2 + br + c) \frac{J_1(mr)}{r} dr + \sigma_0 + q_n$$

$$\text{式中 } \sigma_0 = \int_0^{r_n} \rho_1 \frac{J_1(mr)}{r} dr = \rho_1 [1 - J_{11}(mr_0)], \quad (5)$$

若 $\rho_n \neq \infty$,则:

$$\sigma_n = \int_{r_n}^\infty \rho_n \frac{J_1(mr)}{r} dr = \rho_n J_{11}(mr_0)$$

若 $\rho_n = \infty$,则:

$$\sigma_0 = \int_{r_n}^\infty \frac{r}{s} \frac{J_1(mr)}{r} dr =$$

$$\rho(r_i) A(mr_i) + \rho(r_{i+1}) B(mr_i) + \rho(r_{i+2}) C(mr_i)$$

式中 a, b, c 分别为视电阻率值 $\rho(r_i), \rho(r_{i+1}), \rho(r_{i+2})$ 和给定步长 $p = r_{i+1}/r_i$ 的拉格朗日系数。

我们又知道:

$$\begin{aligned} \rho(r) &= \rho_1 [1 + r^2 \int_0^\infty R_1(\omega) J_1(\omega) m dm], \\ R(\omega) &= \int_0^\infty \frac{\rho(r) J_1(mr)}{\rho_1 r} dr, \end{aligned} \quad (6)$$

从而,可得用非线性近似法计算 $R(\omega)$ 的公式:

$$R(\omega) = \frac{1}{\rho_1} \left\{ \sigma_0 + \sigma_n + \sum_{i=0}^{\frac{n}{2}-1} [\rho(r_{i,j}) A(mr_{i,j}) + \right. \\ \left. \rho(r_{i,j+1}) B(mr_{i,j}) + \rho(r_{i,j+2}) C(mr_{i,j})] \right\}, \quad (7)$$

再根据(2)式,通过解不定方程组的方法求解 q_n^e 。

非线性近似法由于缩小了数值的积分步长,因而提高了计算精度。但该方法计算繁琐,工作量大。因此, q_n^e 值求取一般采用扎包洛夫斯基递推公式。在把断面划分为“等时微层”时,有:

$$q_n^e = a_n K_{n,n+1} - (q_{n-1}^{e,n-1} x_1^{n-1} + q_{n-2}^{e,n-1} x_2^{n-1} + \dots + q_1^{e,n-1} x_{n-1}^{n-1}), \quad (8)$$

$$\text{其中 } a_n = (1 - K_{1,2}^2)(1 - K_{2,3}^2) \dots (1 - K_{n-1,n}^2);$$

$$x_j^n = x_j^{n-1} - K_{n,n-1} x_{n-j}^{n-1};$$

x_j^n 为辅助函数,且有 $x_0^0 = 1, a_1 = 1$;

$$K_{i,i+1} = \frac{\sqrt{\rho_{i+1}} - \sqrt{\rho_i}}{\sqrt{\rho_{i+1}} + \sqrt{\rho_i}}.$$

类似于地震学中的方法,我们把 q_n 定义成电磁波的脉冲响应,值得注意的是,序列 q_n 并不能直接与由脉冲平面波源所激发而在地表测得的电磁场相比较。 q_n 这一序列是去除了波的衰减和扩散后所获得的响应,而电磁波在层中衰减和扩散由 $e^{-\sqrt{f} \omega t_0}$ 来决定,故称 q_n 为伪脉冲响应,它仅与地电断面的导电性有关。事实上,我们将要构建的地下电性结构,就是由仅与介质界面反射系数和透射系数有关的伪脉冲响应 q_n 序列来构成的。具体构建时间剖面时,首先是在频率域内进行,先计算 q_n ,然后再计算一系列频率的 $R(\omega)$,再利用付氏反变换,转换成时间域响应 $R(T)$,最后绘制成时间剖面。

4 TEM 反射速度分析

电磁场在介质中的传播与频率及波数有关

$$V_p = \frac{\tilde{\omega}}{k},$$

$$\text{式中 } \tilde{\omega} \text{—圆频率; } k \text{—复波数, } k = \frac{2\pi(1-j)}{\lambda};$$

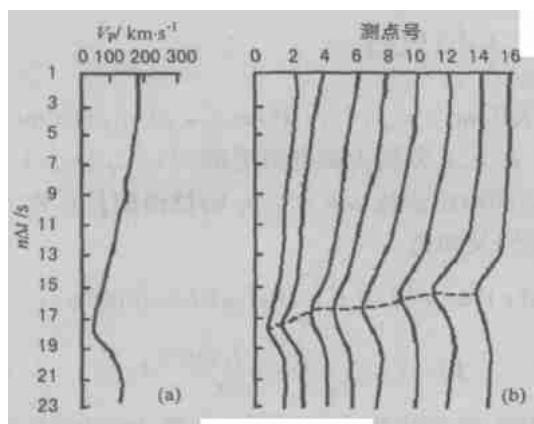


图1 电磁波拟地震速度谱线图

$\lambda = \sqrt{10^7 \frac{\rho}{f}}$ 为波长; f —频率; ρ —视电阻率。

在把断面划分成“等时微层”时, 每个“等时微层”对应一个速度。若以 t_0 为纵坐标, V_p 为横坐标, 画出 V_p-t_0 曲线(图1), 这样每个测点对应一条速度谱线, 一条测线构成一个速度谱图。将各速度谱线的峰值连接起来即得有效速度曲线。根据有效速度曲线, 可近似地认为界面垂直深度为:

$$H = \frac{V_{pn} t_0}{2},$$

式中 V_{pn} —测线上第 n 层底界面地平均速度。

5 瞬变电磁场的计算实例

5.1 正演计算

图2所示为一些理论模型计算结果, 模型参数见表1。表1中模型编号与图2中时间曲线的编号一致。从表1中模型深度与速度计算深度误差可以

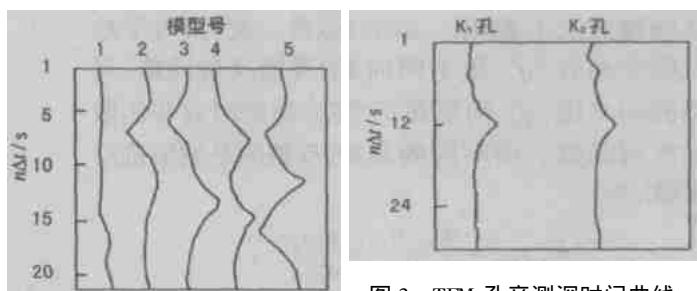


图3 TEM 孔旁测深时间曲线

图2 理论模型计算结果

表1 理论模型参数及计算误差统计表

编 号	理 论 模 型				速 度 计 算 深 度/ m				相 对 误 差/%			
	ρ_1	ρ_2	ρ_3	ρ_4	h_1	h_2	h_3	H	h_1	h_2	h_3	H
1	30											
2	100	10			100			100	96		96	4.08
3	100	25	500		30	270		300	20	286	306	-1.82
4	10	30	500		30	270		300	18	277	296	1.68
5	20	80	15	500	20	80	200	300	15	75	203	293

注: 表中负值表示模型值小于计算值。

看出, 其误差一般都不大于 4%。可见, 用拟地震解释法解释瞬变电磁场资料是可行的。对于由速度解释深度有时出现较大误差的现象, 笔者认为这是由于 V_p 是垂直速度和水平速度的叠加, 而计算时则认为 V_p 是垂直速度, 因而其结果受水平速度的影响会产生误差。在实际工作中, 要消除速度沿水平方向变化的影响, 可做速度展开图。将速度展开图与 V_p 平均速度作比较, 求出沿测线各点相同 t_0 值的速度差, 然后按下面的公式进行速度校正:

$$\Delta H = \Delta V t_0.$$

5.2 应用实例

图3为某区已知钻孔上瞬变电磁法资料的计算

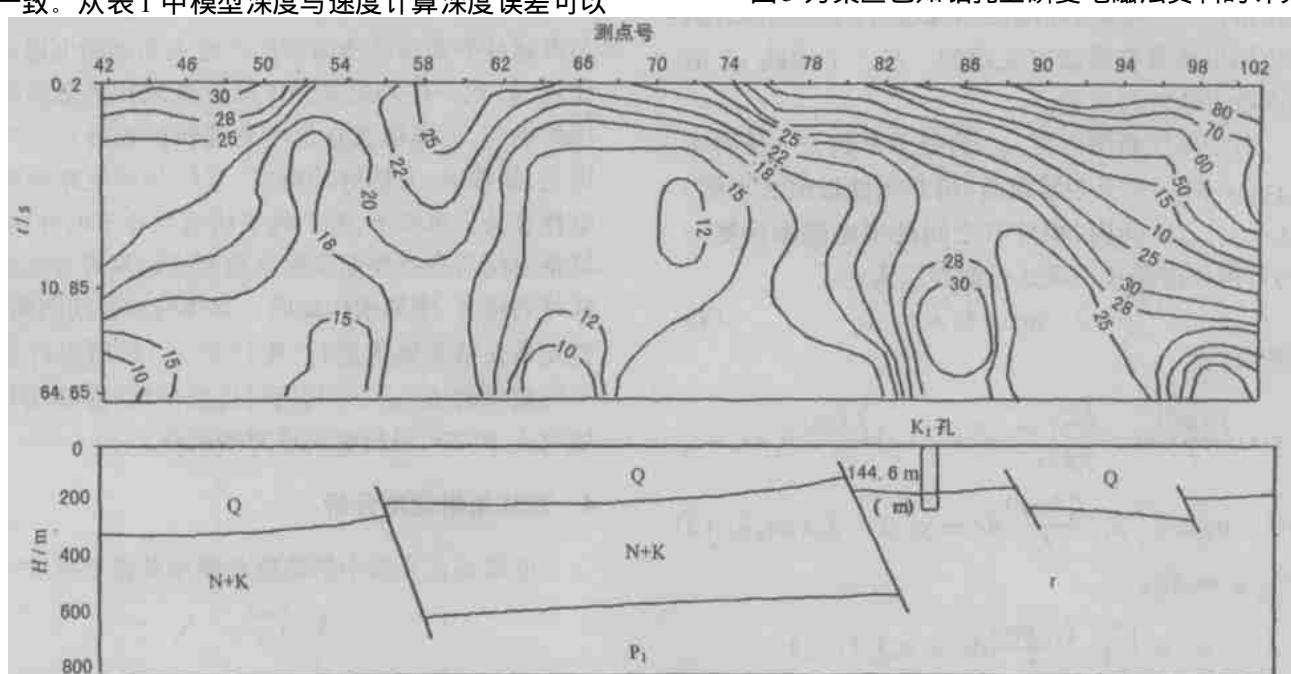


图4 某区6线TEM推断地质剖面图

注: 上图为TEM等视电阻率剖面图

•探矿工程•

文章编号:1001-1986(2004)06-0057-04

镀覆技术对硬质合金复合齿性能的影响

史晓亮¹, 刘晓阳², 段隆臣³, 邵刚勤¹, 林华幌¹

(1. 武汉理工大学材料复合新技术国家重点实验室, 湖北 武汉 430070; 2. 核工业二四三大队, 内蒙古 赤峰 024006; 3. 中国地质大学工程学院, 湖北 武汉 430074)

摘要:通过对比镀覆金刚石增强型硬质合金复合齿和普通金刚石增强型硬质合金复合齿的磨耗比、抗冲击韧性,说明添加真空蒸镀W的金刚石的复合齿具有良好的抗冲击性能和耐磨损性。研究表明,真空蒸镀W的金刚石相对于未镀和化学镀的金刚石,具有较强抵抗热损伤和胎体侵蚀的能力,而化学镀覆Ni-W-B和Ni-W-P则会加剧胎体金属对金刚石的侵蚀和热损伤,金刚石的强度大大降低,复合齿的磨耗比远小于真空蒸镀W复合齿。金刚石真空蒸镀W镀覆技术的应用必然大大地提高复合齿的性能。

关键词:金刚石; 镀覆; 硬质合金; 复合齿

中图分类号:P634.4⁺¹ **文献标识码:**A

1 概述

金刚石增强型硬质合金复合齿是将两种超硬材

料复合在一起,形成一种新型的超硬复合材料,旨在使金刚石的耐磨损性和硬质合金的抗冲击韧性结合在一起。金刚石是非金属,与一般金属或合金之间有

收稿日期:2003-12-22

基金项目:国土资源部大调查项目部分内容(No. 20002010005016)

作者简介:史晓亮(1974—),男,黑龙江佳木斯人,武汉理工大学材料复合新技术国家重点实验室博士,主要从事纳米 WC-Co 超硬复合材料及其制品的研究。

结果。由K₁, K₂孔的钻孔资料可知,第四系地层直接覆盖在花岗岩上,花岗岩埋深分别为144.6 m 和110.28 m。运用速度计算的反射界面埋深,K₁和K₂孔分别为138 m 和105 m。深度解释误差分别为4.6%和4.9%。

图4为某区6测线瞬变电磁资料剖面图。该线控制了4条已知断层。图5为拟地震解释时间剖

面。在断层附近,同相轴明显错断,其计算结果与已知断层位置及钻孔控制位置吻合,其深度解释误差一般不大于6%。

6 结语

TEM电磁波场在介质中的传播过程与弹性波存在相似性,通过反射系数函数的对比分析,电磁波二次响应与弹性波反射具有一定的对应关系。实测表明,基于上述理论整理二次场响应的时间序列,类比解释地震资料的方法解释电磁法资料,可以获得地层界面响应序列。该方法能够从传统电法实测资料中进一步提取地质信息,是提高TEM勘探精度和资料价值的有效技术途径。

参考文献

- [1] 王家映.大地电磁测深的拟地震解释方法[J].石油地球物理勘探,1985, 23(2):66—75.

Determination of reflection coefficient in TEM imitated-seismic interpreting

LIU Ji-dong (Gansu Coal Field Geology Bureau, Lanzhou 73000, China)

Abstract: In reflective seismic exploration, the reflection of the waves from interfaces of media can be observed and recorded as time-related series, which compose the seismic records. The reflective series revealed by the records can be regarded as the pluse response of the underground media. Similar to the elastic wave field, TEM electromagnetic wave field has both reflection and transmission too. There is the condition of seismic interpreting for quadric field based on their similarity of transmitting in the media, and it is the key to understand the closely connect between electromagnetic wave and elastic wave for contrast analyses of the reflective modulus functions. In this paper, it is introduced how to apply the mentioned theory of interpreting seismic data to interpret electromagnetic data.

Key words transient electromagnetic method; interpreting method; reflection coefficient

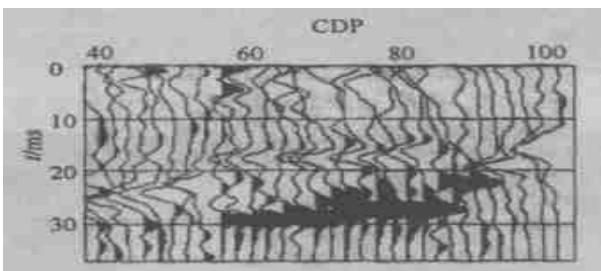


图4 TEM某区6线TEM拟地震时间剖面图