

· 煤田物探 ·

电偶源瞬变电磁测深研究 (四)

——瞬变电磁测深视电阻率

陈明生 田小波 (煤炭科学研究总院西安分院 710054)

摘要 给出了由电偶源垂直磁场 $H_z(t)$ 计算全区 (期) 视电阻率的数值计算方法; 将时间范围扩展到几十秒, 以满足大偏移距 (r) 探测大深度的需要。模拟计算结果显示, 全区视电阻率能清晰地反映地电断面的结构, 有助于定性定量解释。

关键词 电偶极源 瞬变电磁法 视电阻率

中国图书资料分类法分类号 P631.325

作者简介 陈明生 男 59岁 研究员 硕士 应用地球物理

1 引言

对瞬变电磁测深, 我们所采集的数据是电磁场的强度, 例如感应电动势, 这既可以是磁感应强度水平分量的时间变化率, 也可能是磁感应强度垂直分量的时间变化率。不过人们最常用的还是磁感应强度垂直分量的变化率, 即 $\frac{\partial B_z}{\partial t}$ 。所绘制的随时间变化的曲线称为时域衰减曲线或瞬态响应曲线。

但是直接从衰减曲线上很难看出所反映的地电断面结构, 通常都要根据正演公式转算成电阻率。场强和地电阻率的关系一般是比较复杂的, 很难以显函数表示。但是我们可以借助于均匀半空间的正演公式在特定条件下的渐近式直接计算电阻率, 或采用数值方法求取。这样求取的电阻率对均匀大地, 或者对曲线的首支、尾支才可能是真电阻率, 而一般情况下只能称为视电阻率。视电阻率和真电阻率关系密切, 它的变化规律基本反映了地电结构, 对我们的定性定量解释都有很大意义。

2 瞬变电磁测深远、近区视电阻率

对电偶极源瞬变电磁测深, 所测垂直磁感应强度对时间的变化率 $\frac{\partial B_z}{\partial t}$, 在特定的场区下所得均匀半空间的渐近表达式都是显函数^[1], 可按传统方法定义视电阻率。

2.1 远区 (早期) 视电阻率

在瞬变电磁测深中, 当感应数 $= \frac{2\pi r}{f} \gg 1$ 时,

称为远区或早期。在这种条件下, 对均匀半空间电磁场值进行近似, 得出均匀半空间电阻率关于电磁场值的反函数, 称为远区或早期视电阻率。对于观测资料为 $\frac{\partial B_z}{\partial t}$ 的电偶极源瞬变场的视电阻率定义为:

$$\frac{\rho}{\Omega^2} = \frac{2\pi r^4}{3Ia \sin \theta} \cdot \frac{\partial B_z}{\partial t} \quad (1)$$

2.2 近区 (晚期) 视电阻率

对于近区或晚期的情况, $\frac{2\pi r}{f} \ll 1$, 这时通过对均匀半空间电磁场近似后可得电偶极源瞬变磁感应强度 $\frac{\partial B_z}{\partial t}$ 的视电阻率定义:

$$\frac{\rho}{\Omega^2} = \left(\frac{Iar}{4\pi f^{3/2}} \right)^{5/2} \cdot \frac{\sin \theta}{\partial B_z / \partial t} \quad (2)$$

图 1 给出了电偶极源垂直磁感应强度变化率 $(\frac{\partial B_z}{\partial t})$ 的视电阻率曲线。由图看出, 这是 HK 型 4 层地电断面视电阻率响应曲线: 远区视电阻率响应曲线, (曲线 1) 首支渐近线反映了真电阻率, 相当于浅部地层, 随着时间的推移, 反映更深部的地层电阻率 (视电阻率) 变化, 尾部曲线下降, 已和地层电阻率无关; 近区视电阻率响应曲线, (曲线 2) 尾支渐近线反映第四层的真电阻率, 往前反映出第三层的高电阻率, 再向前已不能反映地层的电阻率。

由上看出, 由远区、近区特定条件下定义的视电阻率都有很大局限性。当条件满足时, 能反映地下电性的变化, 一旦条件得不到满足, 就不能很好地反映或根本不反映地下电性特征。实际上人们很难判断条件满足与否, 即使将两者合起来, 对于衔接部分也

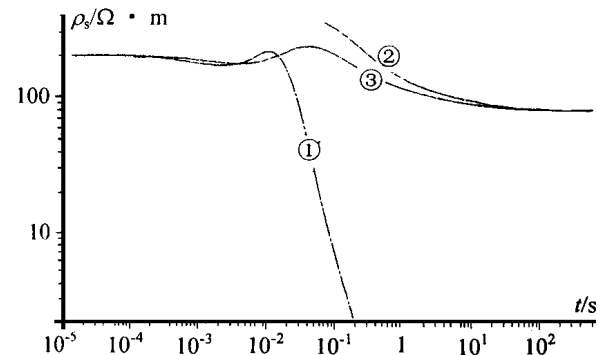


图 1 远区、近区、全区定义视电阻率曲线

1——远区视电阻率曲线; 2——近区视电阻率曲线;
3——全区视电阻率曲线

不好解释

3 瞬变电磁测深全区视电阻率

由特定条件定义的远区或近区视电阻率有很大局限性,促使了一些学者研究全区的视电阻率定义:长谷川 健^[2]提出了全区定义的瞬变测深视电导率计算方法,我国学者在此基础上计算了全区视电阻率^[3]。根据前人研究,对电偶源瞬变测深,采用磁场强度 H_z 定义的全区视电阻率是单值的,能比较好地反映地电断面的电性结构(如图 1 中曲线 3)。

由 H_z 直接计算全区视电阻率显然不可能,但可采用长谷川 健提出的数值方法求取均匀半空间电阻率关于 H_z 的反函数。不过我们将时间范围拓展到几十秒,以适应大偏移距(r)勘探大深度的需要。

对电偶极子源在均匀半空间的磁场表达式^[1],可采用负阶跃函数的瞬变响应:

$$H_z(t) = \frac{Ia}{4\pi} \sin\theta \frac{1}{r^2} \left[\left(1 - \frac{3}{u^2}\right) \operatorname{erf}\left(\frac{u}{2}\right) + \frac{2}{c} \left(\frac{3}{u}\right) e^{-u^2/2} \right], \quad (3)$$

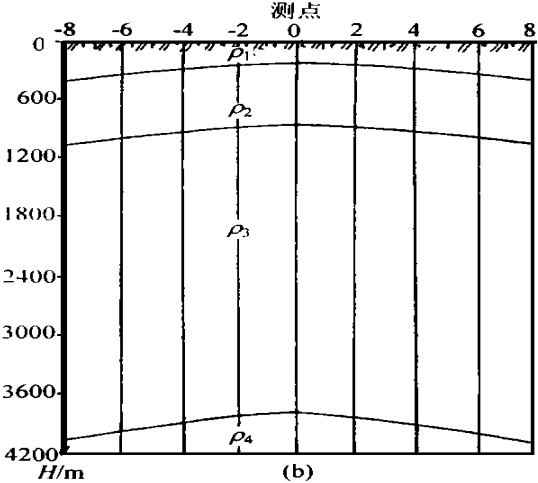
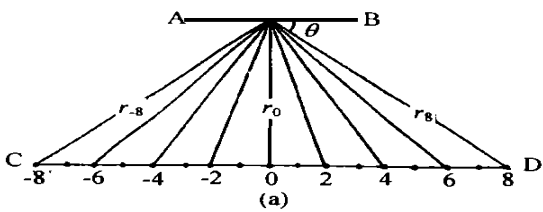


图 2 电偶源观测装置(a)及示例地电断面(b)

现用相应均匀半空间稳定磁场归一化,(3)式变为:

$$h_z(t) = \frac{H_z(t)}{H_z^0} = \left(1 - \frac{3}{2}x\right) \operatorname{erf}\left(\frac{1}{x}\right) + 3 \frac{x}{\pi} e^{-1/x}, \quad (4)$$

式中 $x = \frac{4t}{c_1 r^2}$ (5)

令(4)式对 x 的解为 $g[h_z(t)]$,则由(5)式可确定均匀大地电导率为:

$$c_1 = \frac{4t}{c r^2 g[h_z(t)]}$$

如果介质不均匀,便称为视电导率,即

$$c_{1s} = \frac{4t}{c r^2 g[h_z(t)]} \quad (6)$$

表 1 时间域磁场变换为视电导率的系数

取值范围	系数	1	2	3	4	5
$y \leq 10^{-5}$	a	0.449 037	0.0	0.0	0.0	0.0
	α	- 2/3	—	—	—	—
$10^{-5} < y \leq 0.05$	a	0.447 673	0.227 530	- 2.567 17	6.669 52	- 4.624 50
	α	- 2.3	- 2.5	- 2.7	- 2.9	- 2.11
$0.05 < y \leq 0.2$	a	0.264 751	8.177 44	- 50.001 7	89.417 8	- 47.768 1
	α	- 2/3	- 2/5	- 2/7	- 2/9	- 2/11
$0.2 < y \leq 0.45$	a	0.430 426	- 0.503 995	0.469 312	- 0.603 661	0.259 355
	α	- 2/3	1/3	4/3	7/3	10/3
$0.45 < y \leq 1$	a	0.666 667	- 0.014 646	- 0.273 327	1.039 01	0.245 262
	α	1	2	3	4	5
$(1-y) \rightarrow y$						

因为用解析法求解 (4)式中的函数 g 是不可能的,这里采用多项式逼近,即

$$g(y)=\sum_{i=1}^5 a_i y^{\tau_i},$$

(7)

式中 $y=h_z(t)$

利用一个近似式保证在全区范围内精确地逼近是相当困难的,于是可根据 y 值的大小将全区间分割成段,(这里取 5 段)并在每一段找近似逼近式 按照 $h_z(t)$ 衰减曲线的形态确定最优的指数 τ_i ,利用最小二乘法确定系数 a_i 表 1 给出了时间域磁场变换为视电导率的系数。

这样,根据 t 的对应值 $h(t)$ 的大小,选择表 1 中的合适系数 a_i 和 $\tau_i(i=1,2,\cdots,5)$,将其代入 (7) 式计算 $g[h_z(t)]$,进而由 (6) 式计算视电导率,再取倒数求得视电阻率。

值得注意的是,这种全区视电阻率的定义仍是从均匀半空间情况出发,推广到任意分层介质必然产生一定误差;不过对定性解释来说就直观多了,对定量解释也可提供初始参数。

用我们所编程序计算图 2 所示的地电断面(装置数据和地层参数列于表 2),计算的 $h_z(t)$ 数据转换为断面上各测点的全区视电阻率曲线示于图 3,相应的等视电阻率断面示于图 4

所设地电断面为一背斜构造,属 HK 型。从图 3 的全区视电阻率曲线来看,明显地反映出 HK 地电

表 2 装置数据及地层参数表

接收点号	收发距 r/m	角度 $\theta/(\circ)$	地层厚度 $/m$		
			h_1	h_2	h_3
-8	6 209.67	-75.068 6	320	700	3 000
-7	6 161.17	-76.866 0	305	700	3 000
-6	6 118.82	-78.690 1	290	700	3 000
-5	6 082.76	-80.537 7	275	700	3 000
-4	6 053.10	-82.405 4	260	700	3 000
-3	6 029.93	-84.289 4	245	700	3 000
-2	6 013.32	-86.185 9	230	700	3 000
-1	6 003.33	-88.090 8	215	700	3 000
0	6 000.00	90.000 0	200	700	3 000
1	6 003.33	88.090 8	215	700	3 000
2	6 013.32	86.185 9	230	700	3 000
3	6 029.93	84.289 4	245	700	3 000
4	6 053.10	82.405 4	260	700	3 000
5	6 082.76	80.537 7	275	700	3 000
6	6 118.82	78.690 1	290	700	3 000
7	6 161.17	76.866 0	305	700	3 000
8	6 209.67	75.068 6	320	700	3 000

地层电阻率

$d_1=200, d_2=150, d_3=400, d_4=80$

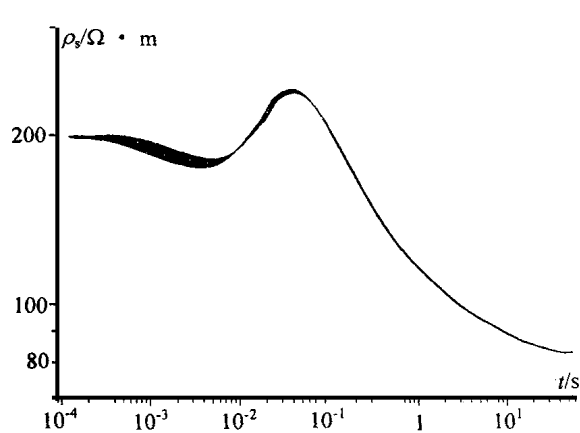


图 3 各测点的视电阻率曲线

断面类型,而且首支和尾支都分别接近第一层和第四层的电阻率 中间二层的趋势明显;因埋深不同,曲线有程度不同的分离 17 个测点曲线,仅有 9 条曲线分离,这是因为其中 8 对测点位置与地电结构是左右对称的 由这些测点的视电阻率数据所绘等视电阻率断面图(图 4),清晰地反映出断面的地电结构 这说明全区视电阻率对定性解释很直观逼真,在定量解释方面可提供适当的初始参数值

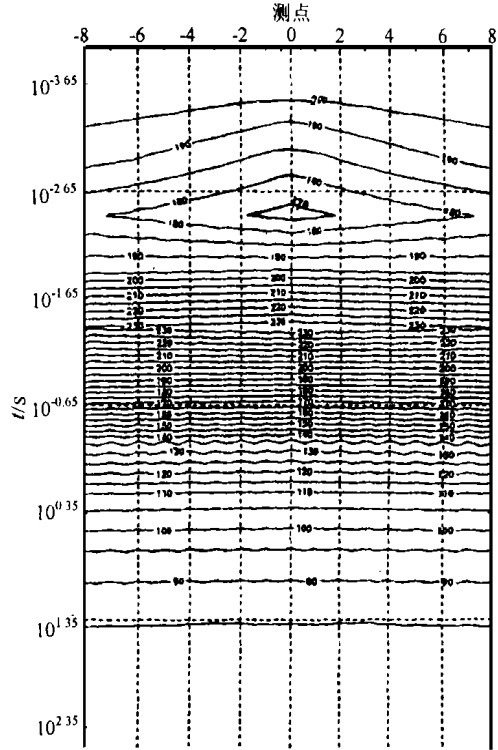


图 4 视电阻率等值线图

· 矿井物探 ·

采区高分辨率地震勘探在永夏矿区的应用

张胜利 刘蕴祥 程东全 (永城煤电(集团)有限责任公司 永城 476600)

摘要 1992年以来,永夏矿区各矿井相继进行了采区高分辨地震勘探。本文就所取得的突出成果及验证情况作了全面的介绍,并分析了地震勘探成果的利用及效益。

关键词 高分辨率地震勘探 效果 永夏矿区

中国图书资料分类法分类号 P631

作者简介 张胜利 男 32岁 工程师 矿井地质

1 引言

永夏矿区是“八五”、“九五”国家重点工程,为我国六大无烟煤基地之一。矿区共规划陈四楼、车集、城郊、新桥4对国有重点矿井,设计总能力 780×10^4 t/a,属永城煤电集团公司管辖。陈四楼矿井于1997年11月投产,车集、城郊正在建设,新桥于1993年底完成精查勘探。矿区各矿井均以综采为主,对地质成果的精度要求很高,而由于本区地质条件较为复杂兼受当时勘探技术水平的限制,精查勘探成果质量并不高。为进一步查明首采区内构造,从1992年

开始,在矿区各矿井相继开展了采区高分辨率地震勘探工作。

2 矿区采区地震勘探简介

2.1 地震地质条件及主要技术措施

矿区属华北地层区,新生界全掩盖。地层由老到新有:中下奥陶统(O_{2-3})、中上石炭统(C_{3-4})及二叠系(P)和新生界,其中二叠系为主要含煤地层。煤层埋深350~1000 m,表土层厚290~400 m。

2.1.1 地震地质条件

地表标高31~35 m,地势平坦,潜水位5 m左

4 结束语

a. 全区视电阻率较远区或近区视电阻率能够完整地、逼真地反映地电断面结构,有助于定性定量解释。

b. 将时间扩展到几十秒时计算全区视电阻率,需要相应地改进正演计算方法,以达到大偏移距探测大深度的目的。

c. 通过模拟背斜构造显示,用较成熟的一维

解释方法解释一般遇到的简单构造是有效的。

参考文献

- 1 陈明生. 电偶源瞬变电磁测深研究(三)——大地表面瞬变电磁场. 煤田地质与勘探, 1999, 27(3): 58~61
- 2 长谷川 健. 水平电气双极子による层状大地のスチツア応答と见挂导电率について. 物理探矿, 1985, 38(3): 21~31
- 3 朴化荣等. 电法勘探新进展(13~15). 北京:地质出版社, 1996
(收稿日期 1999-03-17, 待续)

STUDY ON THE TRANSIENT ELECTROMAGNETIC (TEM) SOUNDING WITH ELECTRIC DIPOLE. IV. APPARENT RESISTIVITY IN TEM SOUNDING

Chen Mingsheng Tian Xiaobo (Xi'an Branch of CCRI)

Abstract The numerical calculation method of apparent resistivity in whole area(period) by vertical magnetic field $H_z(t)$ of electric dipole is given, and the time range is expanded to tens seconds to satisfy the need for detecting larger depth by big offset distance(r). The results of analogy computation indicate that the apparent resistivity in whole area can clearly reflect the structure of geological section, contributing to the qualitative and quantitative interpretations.

Keywords electric dipole source; TEM; apparent resistivity