技术·方法

TEM 中心回线法瞬变磁场求取和全区视电阻率计算

许建荣[1,2], 李爱勇[1,2], 杨 生[3]
(1. 中南大学信息物理工程学院, 长沙 410083; 2. 江苏省有色金属华东地质勘查局, 南京 210007;
3. 有色金属矿产地质调查中心, 北京 100012)

[摘 要]依据 TEM 法中心回线装置瞬变电磁场的衰减规律, 给出了由实测的 dB/dt 求取瞬变磁场 B 的简单方法。详细推导了发射电流为斜阶跃波条件下由 B 迭代反演全区视电阻率的方法。为提高计算精度和速度, 对计算过程中的积分、求导推导了解析表达式和采用标准数据库的方法计算含有概率积分的函数。对实测资料进行了计算, 通过算例进行了验证和分析。

[关键词]瞬变电磁法 中心回线装置 瞬变磁场 全区视电阻率 斜阶跃波形
[中图分类号]P628 [文献标识码]A [文章编号]0495-5331(2008)06-0062-07

0 引言

在瞬变电磁法(简称 TEM)中, 因目前技术上的限制, 观测的是感应电压, 相当于瞬变磁场(B)对时间的导数(dB/dt, 下文以 B'表示), 但直接测量瞬变磁场 B 比测量 B'有诸多优点, 是 TEM 工作者的一个共识[1-4]。首先, 勘探深度大, 文献[1]通过研究 B 和 B'所含频率成份的差异, 指出在保证相同信噪比情况下, 当探测深度要加深 2倍时, 测量 B'要求发射电流加大 32倍, 而测量 B 时只需加大 8倍; 其次, 由于 B'对地下电阻率 ρ是非单调函数, 计算出的全区视电阻率不是单值的[5], 有两条曲线, 在某些情况下, 两曲线都含有合理的部分和不合理的部分需要甄别, 但两条曲线往往没有明显的交点(除非均匀半空间条件), 处理起来比较棘手, 反而瞬变磁场 B 对地下电阻率是个单调函数, 相应的全区视电阻率也是单值的[6]; 第三, 因瞬变电磁法的数值模拟十分复杂, 目前二维正反演技术还没到实用阶段, 虽然有三维模拟商业软件面市, 但三维模拟过程的多解性相当严重, 模型设计要充分依据对资料的定性分析认识, 而瞬变电磁理论研究中, 大多是对瞬变磁场得出的一些规律和认识, B 符合的规律, B'未必符合, 两者是有差异的。鉴于上述原因, 目前观测 B 的瞬变电磁仪在积极研发试验中[7]。文章的工作起因于由 B'计算全区视电阻率时存在无法克服多解问题, 试图由实测的 B'积分计算出瞬变磁场 B, 然后通过迭代反演方法计算全区视电阻率。

1 瞬变磁场的求取方法

因目前的 TEM 野外仪器只能测量 B', 还没有能直接测量 B 的实用仪器, 而实测的 B'和 B 有以下关系:

$$B(t) = \int_t^{\infty} B'(t)\,dt \qquad (1)$$

用于 TEM 勘探的仪器设计思路基本是一致的, 各道(gate)的观测值实际是一个衰减窗口积分平均值, 如 Geonics公司 PROTEM 系统, 即使是采用数值取样, 输出的数据也是一个窗口积分平均值, 如图 1所示。

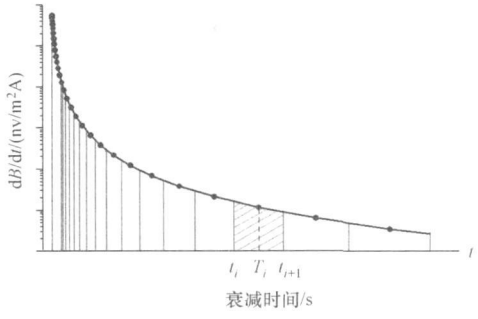


图 1 dB/dt瞬变示意图

第 i道的实测值为:

[收稿日期]2007-12-14; [修订日期]2008-03-14。
[基金项目]全国危机矿山接替资源找矿项目(编号: 200799089)资助。
[第一作者简介]许建荣(1963—), 男, 1983年毕业于中南大学, 获学士学位, 在读博士生, 教授级高工, 现从事应用地球物理勘探工作。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

$$B'(T_j) = \frac{1}{\Delta t_i}\int_{t_i}^{t_{i+1}} B'(t)\,dt \qquad (2)$$

其中: T_i 为第 i道对应的瞬变延时 (s), t_i 和 t_{i+1} 分别为第 i道积分窗口的上下限 (s), $t_i < T_i < t_{i+1}$, $\Delta t_i = t_{i+1} - t_i$, $t_i = T_i - \Delta t_i/2$。

式 (1)改写为:

$$B(t_j) = \int_{t_i}^{t_{i+1}} B'(t)dt + \int_{t_{i+2}}^{t_{i+3}} B'(t)dt + \cdots + \int_{t_N}^{t_{N+1}} B'(t)dt + \int_{N+1}^{\infty} B'(t)dt \qquad (3)$$

N 为最大测道数, 令:

$$C = \int_{N+1}^{\infty} B'(t)\,dt \qquad (4)$$

将式 (2)代入式 (3), 有:

$$B(t_j) = \sum_{j=i}^{N} \Delta t_j \cdot B'(T_j) + C \qquad (5)$$

式 (5)一言而概之: 第 i道的瞬变磁场就是该道及以后各道实测的 B'乘以对应的窗口宽度后叠加, 再加一个积分常数 C。所以现在的关键是积分常数 C 如何获取。

文献 [8]中对 B'的衰减进行了系统的研究, 在近区时总结的规律是:

均匀半空间: $B'(t) \propto t^{-5/2}$;

导电覆盖层: $B'(t) \propto t^{-4}$;

磁性体: $B'(t) \propto t^{-(1.1\sim 1.7)}$。

以上规律说明, 在晚期道 $B'(t)$和 t在双对数坐标具有线性关系, 且斜率小于 - 1, 有:

$$\ln(B) = a\ln(t) + b$$

根据最后几道的 B'(建议取最后 3道)采用线性回归的方法求出上式中的 a和 b。得:

$$B' = \exp(b) \cdot t^{a}$$

代如式 (4), 求积分并因 a< - 1, 得:

$$C = -\exp(b)\frac{1}{a+1} \cdot t^{a+1} \qquad (6)$$

注意的是 $B(t)$和 $B'(t)$的取样时序是不同的, 前者的时序对应提前了半个取样窗口宽度。TEM 测量仪器的技术手册中都会说明各取样窗口的起止时间的。

为了评估由式 (6)计算的 C 值的精度, 作了一个算例, 模型条件为电阻率 ρ= 100Ωm 的均匀半空间, 发射框大小为: 400m × 400m, 关断时间 t_{off} = 0. 3ms, 图 2表示出了理论计算的 B 和由 B'求取 B 的曲线, 两者几乎一样, 线性回归计算的 a = - 2. 478, C 值为 3. 062 × 10^{-13}, 而由式 (4)算的理论的 C 值为 3. 049 × 10^{-13}, 两者相差 1. 58 × 0^{-15}, 相对误差为 0. 5%, 对最后一道瞬变磁场引起的误差最大, 为 1%, 远小于实测数据的误差。

现在简单讨论一下 C 的取值误差对全区视电阻率的影响, 以 dlog(ρ) /dlog(C)表示, 图 3是半空间条件下 dlog(ρ) /dlog(C)随瞬变延时的变化曲线, 虽然电阻率的变化和 C 值的变化呈反比, 但第一道的 dlog(ρ) /dlog(C) = - 5 × 10^{-4}, 几乎不受影响, 主要是对晚期的几道影响, 最后一道的 dlog(ρ) /dlog(C) = - 0. 47, 也就是说 C 值有 10% 的改变量时, 期晚道的全区视电阻率将有 4. 7% 的改变量。同时由式 (5)知, C 的误差对 B 来说相当一个系统误差, 因 B 早期道的数据远大于晚期的数据的几个数量级, 所以对早期道的相对影响远小于晚期道的。

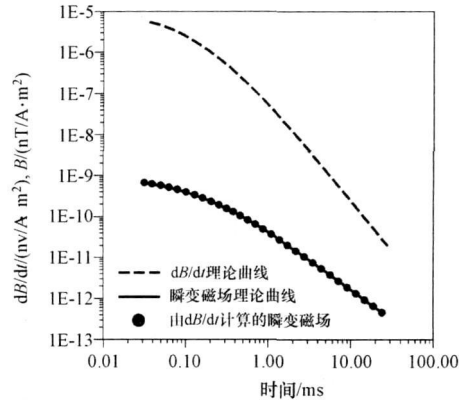


图 2　dB /dt, B 理论曲线和由 dB /dt 求取的 B 曲线

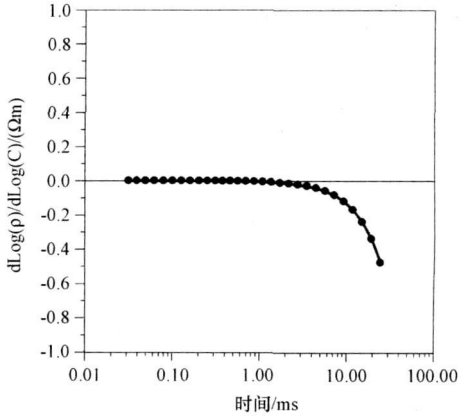


图 3　dLog(ρ) /dLog(C)曲线

2　斜阶跃波瞬变磁场全区视电阻率计算方法

电阻率法中视电阻率的定义是根据均匀半空间条件下, 测量参数和地下电阻率的关系式导出的。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

在均匀半空间中,发射电流为阶跃波时,瞬变磁场 $H(t)$和电阻率(ρ)的关系为[9]:

$$H(t) = \frac{I\mu\sqrt{\pi}}{2\sqrt{S}}\frac{1}{Z^2}\left[\frac{3Z}{\sqrt{\pi}}e^{-Z^2} + \left(Z^2 - \frac{3}{2}\right)\mathrm{erf}(Z)\right] \quad (7)$$

式中: I为发射电流(A); ρ为均匀半空间的电阻率($\Omega\cdot$ m); S为发射框面积(m^2); $\mu = 4\pi\times10^{-7}$ H/m,为磁导率; t为瞬变延迟时间(s); $\mathrm{erf}(Z)$为概率积分(也称误差函数),

$$\mathrm{erf}(Z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}}\int_0^Z e^{u^2}\,du$$

$$Z = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{S}{\pi}}\sqrt{\frac{\mu}{\rho\cdot t}}$$

实际发射的电流均为斜阶跃波形,有个关断时间(t_{off},单位 s)存在,设瞬变磁场$H(t)$对时间 t的导数为$H'(dH/dt)$,则野外实测数据 B'为[10]:

$$B'\left(\right) = \frac{1}{t_{off}}\int_t^{t+t} H'(t)\,dt$$

代入式(1)有:

$$B\left(\right) = \int_t^{\infty}\frac{1}{t_{off}}\int_t^{t+t} H'(t)\,dt\,dt$$

$$= \frac{1}{t_{off}}\int_t^{t+t}\int_t^{\infty} H'(t)\,dt\,dt = \frac{1}{t_{off}}\int_t^{t+t} H(t)\,dt \quad (8)$$

$B(t)$则为斜阶跃波的瞬变磁场,因 B 是 ρ的隐函数,需要通过迭代反演的方法求解出 ρ,称为全区视电阻率。

2.1 对关断时间积分的解析表达

式(8)可写为:

$$B\left(\right) = \frac{1}{t_{off}}\int_t^{\infty} H(t)\,dt - \frac{1}{t_{off}}\int_{t+t}^{\infty} H(t)\,dt \quad (9)$$

令:

$$Y(t) = \int_t^{\infty} H\left(\right)\,dt$$

则:

$$B(t) = [Y(t) - Y(t + t_{off})]/t_{off} \quad (10)$$

经推导有:

$$Y(t) = \frac{I\mu^2\sqrt{S}}{8\sqrt{\pi}\rho}\cdot\frac{1}{Z^4}\left[\left(Z^4 - Z^2 + \frac{3}{4}\right)\cdot\mathrm{erf}(Z) + \frac{1}{\sqrt{\pi}}\left(Z^3 - \frac{3}{2}Z\right)e^{-Z^2}\right] \quad (11)$$

这样就避免了式(8)的数值积分运算。

2.2 反演迭代及 dLnB/dLnρ的求法

对式(10)的反演采用的是阻尼最小二乘法(或称马夸特法),在对数据取对数后建立起来的方程为,第 i次迭代时:

$$\Delta\rho_i = (d\mathrm{Ln}B/d\mathrm{Ln}\rho)\Delta B/[(d\mathrm{Ln}B/d\mathrm{Ln}\rho)^2 + d] \quad (12)$$

式中

$$\Delta\rho_i = \mathrm{Ln}(\rho_i/\rho_{i-1})$$

$$\Delta B = \mathrm{Ln}(B_o/B)$$

B_o为需拟合的实测值; B 为正演计算值(理论值); d为阻尼因子; ρ_{i-1}为第 $i-1$次迭代的电阻率; ρ_i为第 i次迭代的电阻率,具体迭代过程为:

① 计算 dLnB/dLnρ和 ΔB;

② 用给定的 d值和方程(12)计算出$\Delta\rho_i$:

③ 计算第 i次迭代的电阻率:

$$\rho_i = \rho_{i-1}\times\exp(\Delta\rho_i)$$

④将 ρ_i代入式(10)计算出 B_i 和 ΔB_i,进行如下判断:

如果$(\Delta B_i)^2$小于设定值,或迭代次数大于设定的最大迭代数,或 d 大于设定值,则结束迭代,最后算出的电阻率为给定时间的全区视电阻率。否则:

如果收敛,即: $(\Delta B_i)^2 < (\Delta B_{i-1})^2$,将 d 值缩小 10倍,重复 ①~④,进行第 $i+1$次迭代;

如果不收敛,即: $(\Delta B_i)^2 > (\Delta B_{i-1})^2$,将 d 值放大 10倍,转到②~④,重新进行第 i次迭代;

关于初参 ρ_0的确定:在进行初次迭代时要给定初参 ρ_0,因晚期道数据受关断时间影响小,由式(7)可推的晚期道的电阻率为:

$$\rho = \frac{1}{\pi}\left(\frac{\mu}{t}\right)^{5/3}\left(\frac{I\cdot S}{30B}\right)^{2/3}$$

迭代顺序先从晚期最后一道开始,由上式求出的电阻率作为初参进行迭代。从倒数第二道开始,迭代每道时,选其后一道迭代出的全区视电阻率作为该道的初参,这样可使迭代快速收敛。

关于阻尼因子 d的处理:由反演理论中知, d为0时马夸特法变为高斯-牛顿法,指向局部极小值方向;当 d足够大时它就退化为梯度法,保证迭代收敛,所以在反演迭代过程中,要根据需要不断自动地调整 d值,可获得较快的收敛速度和较好的反演结果,具体作法是:第一次迭代取 $d = 0.1$,如果迭代收敛,即: $(\Delta B_i)^2 < (\Delta B_{i-1})^2$时,进入下一次迭代时,让 d 缩小 10倍;如果迭代不收敛,既: $(\Delta B_i)^2 > (\Delta B_{i-1})^2$时,将 d放大 10倍,重新迭代。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

现在来讨论 dLnB /dLnρ的求法:

由式 (7)有:

$$\frac{\mathrm{dLn}B}{\mathrm{dLn}\rho}=\frac{\rho}{B}\frac{dB}{d\rho}=\frac{\rho}{B\cdot t_{\mathrm{off}}}\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}\rho}\left[Y(t)-Y(t+t_{\mathrm{off}})\right] \tag{13}$$

在式 (11)中, 令

$$A(t)=\frac{I\mu^2\sqrt{S}}{8\sqrt{\pi}}\cdot\frac{1}{Z^4}\left[\left(Z^4-Z^2+\frac{3}{4}\right)\cdot\mathrm{erf}(Z)+\frac{1}{\sqrt{\pi}}\left(Z^3-\frac{3}{2}Z\right)e^{-Z^2}\right]$$

则

$$\begin{aligned}Y(t)&=\frac{A(t)}{\rho}\frac{\mathrm{d}Y(t)}{\mathrm{d}\rho}\\&=\frac{1}{\rho}\frac{\mathrm{d}A(t)}{\mathrm{d}\rho}-\frac{A(t)}{\rho^2}\\&=\frac{t}{\rho^2}\frac{\mathrm{d}A(t)}{\mathrm{d}t}-\frac{A(t)}{\rho^2}=-\frac{t}{\rho}H(t)-\frac{Y(t)}{\rho}\end{aligned}$$

同理

$$\frac{\mathrm{d}Y(t+t_{\mathrm{off}})}{\mathrm{d}\rho}=-\frac{t+t_{\mathrm{off}}}{\rho}H(t+t_{\mathrm{off}})-\frac{Y(t+t_{\mathrm{off}})}{\rho}$$

式 (13)变为:

$$\frac{\mathrm{dLn}B}{\mathrm{dLn}\rho}=\frac{1}{B\cdot t_{\mathrm{off}}}\cdot\left[-H(t)-Y(t)+(t+t_{\mathrm{off}})H(t+t_{\mathrm{off}})+Y(t+t_{\mathrm{off}})\right]=\frac{1}{B\cdot t_{\mathrm{off}}}\left[(t+t_{\mathrm{off}})H(t+t_{\mathrm{off}})-H(t)\right]-1 \tag{14}$$

上式避免了反演过程中以差分替代导数运算的近似。

2 3　数据库文件的建立方法

由式 (10)和式 (14)知, 只要能算出 $Y(t)$和$H(t)$, 就可实现对关断时间的积分计算和对电阻率的求导运算, 很容易地实现迭代反演, 计算出全区视电阻率。但因 $Y(t)$和$H(t)$关系式中均有概率积分 (erf(Z))存在, 仍需数值积分来解决, 加之在 Z 很小时, 为了保证计算精度, 需展开成级数方式计算, 将大大影响计算速度, 所以可提前将含有概率积分的 Z的函数计算好, 放入一文件中作为数据库, 用内差的方法求函数值。

式 (7)和式 (11)写为:

$$H(t)=\frac{I\mu\sqrt{\pi}}{2\sqrt{S}}\cdot E'(Z)$$

$$Y(t)=\frac{I\mu^2\sqrt{S}}{8\sqrt{\pi}\rho}\cdot E(Z)$$

$$E'(Z)=\frac{1}{Z^2}\left[\frac{3Z}{\sqrt{\pi}}e^{-Z^2}+\left(Z^2-\frac{3}{2}\right)\mathrm{erf}(Z)\right] \tag{15}$$

其中:

$$E(Z)=\frac{1}{Z^4}\left[\left(Z^4-Z^2+\frac{3}{4}\right)\cdot\mathrm{erf}(Z)+\frac{1}{\sqrt{\pi}}\left(Z^3-\frac{3}{2}Z\right)e^{-Z^2}\right] \tag{16}$$

库文件数据则是针对式 $E'(Z)$和 $E(Z)$建立的, 为了保证 Z值小的时候的内差精度, 自变量 Z的变化采用了对数等间隔方式建库, 设计 Z 的取值范围为 $10^{-3}\sim 10^{3}$, 每个数量级中设计 1000个 Z 值, 库文件中共 6000个 Z 值, 文件以直接存取格式记录, Z 值和逻辑记录顺序 REC的关系为:

$$Z=0\ 001\times 10^{1/1000\times REC}$$

每个记录有 3个数据, 分别为 Z, E'和 E, 图 5示出了它们的函数图形。

当遇到 Z 值不在数据库文件范围内时, 以解析关系计算 E'和 E, 具体:

$Z<0\ 0010023$时:

$$E'=\frac{1}{\sqrt{\pi}}\left(\frac{8}{15}Z^3+\frac{Z^5}{5}\right) \tag{17}$$

$$E=\frac{2}{\sqrt{\pi}}\left(\frac{8}{15}Z+\frac{3}{10}Z^3\right) \tag{18}$$

Z> 1000时:

$$E'=1-\frac{3}{2Z^2} \tag{19}$$

$$E=1-\frac{1}{Z^2} \tag{20}$$

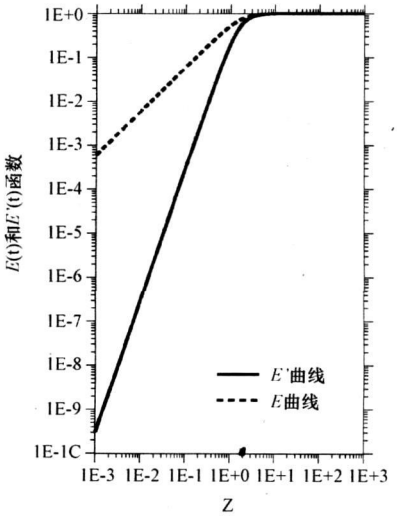


图 4　函数 $E'(Z)$ 和 $E(Z)$的图形

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

在迭代反演中,因要不断计算不同 ρ值情况下的 Z 的函数 E'和 E 的值,可用式(21)和式(22)的计算方法,直接读出满足 $Z_1 \leqq Z \leqq Z_2$ 条件下的 Z_1 和 Z_2 的记录位置 REC(Z_1)和 REC(Z_2),通过内差的方法求出 Z 对应的函数值。

$$REC(Z_1) = INT(Log10(Z/0.001) \times 1000) \quad (21)$$

$$REC(Z_2) = REC(Z_1) + 1 \quad (22)$$

3 实例、算例及讨论

3.1 实例

图 5和图 6是在不同地区野外工作中的两个实例,观测设备为 EM67瞬变电磁系统,中心回线装置,工作基频 6.25Hz,发射电流 20A,30道观测。图中给出了由 B'计算的和由 B 计算的两种全区视电阻率曲线。图 3的发射框为 400m×400m,关断时间为 0.356ms;图 4是一个小框工作的实例,发射框大小为 100m×100m,关断时间为 0.062ms,两种全区视电阻率类型是相同的,但电阻率值有差异,当中深部为低阻时,B 的早期视电阻率小于 B'的(图 5),反之,B 的早期视电阻率大于 B'的(图 6),说明 B的早期视电阻率含有较深部的信息。

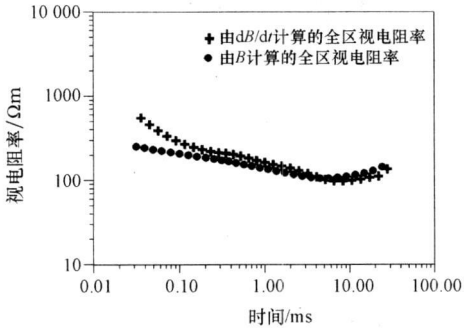


图 5 实例 1两种全区视电阻率曲线
(关断时间:0.356ms;发射框:400m×400m)

3.2 算例

算例试验是在一维模型上进行的,首先正演计算设计模型的瞬变响应 B',尔后由式(5)和式(6)计算 B,最后由 B 迭代反演出全区视电阻率。

1) 两种全区视电阻率的比较

图 7给出的是两种全区视电阻率 ρ(由 B 计算)和 ρ′(由 B'计算)的比较,模型是个 H 型的 3层模型,电阻率分别为:$\rho_1 = 100\Omega \cdot m$;$\rho_2 = 10\Omega \cdot m$;$\rho_3 = 500\Omega \cdot m$;各层厚度为:$h_1 = 300m$;$h_2 = 50m$。迭代反演出的全区视电阻率 ρ的首支值为 98.4Ω·m,

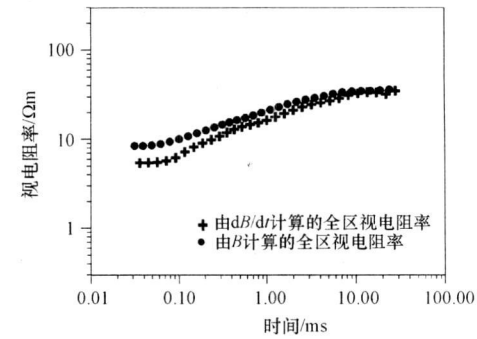


图 6 实例 2两种全区视电阻率曲线
(关断时间:0.062ms;发射框:100m×100m)

和模型第一层的电阻率接近,而本例中 ρ′的首支因"Overshoot"和"Undershoot"现象[11]而波动,并在第3个点上出现了假极小;在晚期,ρ′为 145Ω·m,而 ρ为 213.8Ω·m,大于 ρ′的值,更接近模型最后一层的电阻率 500Ω·m;两曲线反应第二层低阻的极小值延时也是不同的,ρ的早,为 2.23ms,ρ′的晚,为 4.05ms。

由此可说明 3点,一是由 B 计算的全区视电阻率和由 B'计算的全区视电阻率两者是有区别的,并不相等,类型可能一样,但具体形态特征不同;二是因 B 是电阻率的单调函数,所以计算的 ρ早期道没有"Overshoot"和"Undershoot"现象;三是相同延时条件下,瞬变磁场 B 勘探深度要大于 B'的。

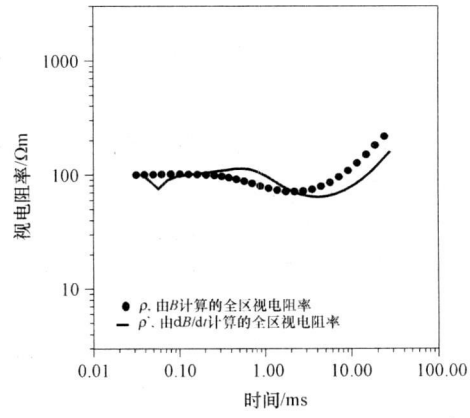


图 7 两种全区视电阻率 ρ和 ρ′曲线比较
(发射框:400m×400m,关断时间:0.3ms)

2) 不同关断时间对全区视电阻率的影响

现在作一个五层模型的算例,模型各层的电阻率(Ω·m)为:$\rho_1 = 100$,$\rho_2 = 10$,$\rho_3 = 100$,$\rho_4 = 10$,$\rho_5 = 500$,各层的厚度(m)为:$h_1 = 100$,$h_2 = 20$,$h_3 = 200$,$h_4 = 50$,发射框为 200m×200m 时,图 8是由 B 算出的关断时间分别为 0.1ms,0.15ms和 0.2ms的

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

全区视电阻率。不同关断时间的中晚期道的视电阻率几乎相等, 差别在早期道, 对应三个关断时间的第一道视电阻率分别为 87.5Ω·m, 83.1Ω·m, 80.0Ω·m, 关断时间越长, 第一道视电阻率与模型第一层电阻率相差越大。其原因是早期道的首支视电阻率因关断延时不同程度地含有第二层的低阻信息, 使早期道的视电阻率曲线变平滑。算例说明虽然全区视电阻率考虑了关断时间, 但计算的早期道视电阻率仍然受到关断时间的影响。

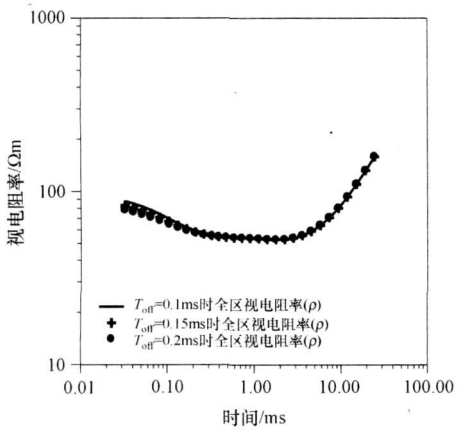


图 8　不同关断时间全区视电阻率曲线
(发射框: 200m × 200m)

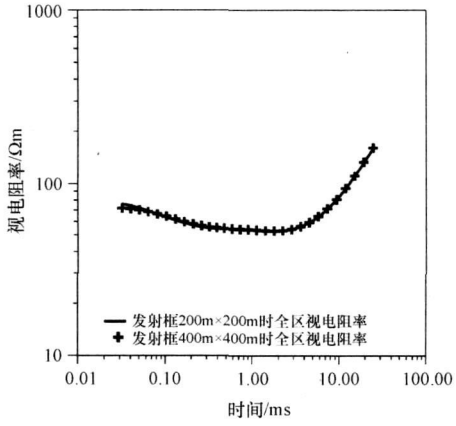


图 9　不同发射框大小全区视电阻率曲线
(关断时间: 0.3ms)

3) 不同发射框大小的全区视电阻率比较

对同一五层模型在关断时间为 0.3ms的条件下, 发射框大小分别为 200m × 200m和 400m × 400m时, 计算的全区视电阻率见图 9, 差别也主要是在早期道上, 第一道视电阻率分别为 76.08Ω·m 和 71.78Ω·m。发射框越大, 实测数据中远区场成份越多, 在早期道, 视电阻率 ρ和 B 有如下关系:

$$\rho = \frac{S\mu}{3\pi(t_{off} + 2t)}\left(1 - \frac{2\sqrt{SB}}{I\mu\sqrt{\pi}}\right)$$

当 $\vec{t}$ 0时, $\vec{B}$ $I\mu/2\times(\pi/S)^{1/2}$, $\vec{\rho}$ 0, 所以远区成份多, 全区视电阻率会降低。

4　结语

1) 文章依据 dB/dt的衰减规律给出了由实测的 dB/dt计算瞬变磁场 B 的方法, 通过在半空间条件下的试算, 完成满足精度要求。但对于实测资料, 因晚期数据受干扰很大, 必须要根据变化趋势认真编辑后才能计算。积分常数 C 的误差主要影响晚期道视电阻率的计算精度。

2) 计算全区视电阻率对 TEM 资料的定性分析, 半定量解释及一维反演等很有意义, 文章所介绍的全区视电阻率计算方法, 尽量用解析关系计算反演过程中的积分和求导, 这样不仅提高了计算精度, 也提高了计算速度, 对于含有概率积分的函数, 采用建立数据库的方法, 使 Z 和逻辑记录顺序建立起关系, 可直接读出 Z 所在的区间, 进行内差, 这也提高计算速度的关键, 所以本章的方法应该是比较实用和易实现可操作的。

3) 由 B 计算的全区视电阻率 ρ曲线和由 dB/dt 计算的全区视电阻率 ρ′曲线都能反映地下电性变化特征, 但有区别的。相同衰减延时时, ρ反映的深度大于 ρ′的, 且因 B 对电阻率是个单调函数, ρ曲线上不会出现“Overshoot”和“Undershoot”现象, 但因 ρ比较平滑, 可能会模糊一些细节。由算例表明, 在早期道, ρ受关断时间的影响大于 ρ′, 而 ρ′受发射框大小的影响大于 ρ。

[参考文献]

[1] 王庆乙. 近区瞬变场的频率效应与大深度探测能力的研究[J]. 地质与勘探, 2007, 43(1): 79-83.

[2] 罗国平, 魏凤英. 瞬变电磁法磁场及其视电阻率研究[J]. 中国煤田地质, 2000, 12(2): 60-62

[3] 白登海, Maxwell Meju. 瞬变电磁法中两种关断电流对响应函数的影响及其对应策略[J]. 地震地质, 2001, 23(2): 245-251.

[4] 苏朱刘, 张交东, 胡文宝. 瞬变电磁法中磁场的特性及测量方法[J]. 工程地球物理学报, 2004, 1(1): 70-73.

[5] 蒋邦远主编. 实用近区磁源瞬变电磁法勘探[M]. 北京: 地质出版社, 1998.

[6] Raiche A P. The use and misuse of apparent resistivity in electromagnetic methods[J]. Geophysics, 1984, 15: 37-41.

[7] 陈晓东, 赵毅, 王赤军, 等. 高温超导磁强计的研制及在 TEM上的应用研究[J]. 地质与勘探, 2002, 38(增刊): 18-22

[8] 牛之琏. 时间域电磁法原理[M]. 长沙: 中南工业大学出版社,

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

1992

[9] Kaufman A A. Harmonic and transient fields on the surface of a two layer medium[J]. Geophysics, 1979, 44: 1208-1217.

[10] Fitterman D V and Anderson W L. Effect of transmitter turn off time on transient sounding[J]. Geoexploration, 1987, 24: 131-146.

[11] Raiche A P. Comparison of apparent resistivitys functions for transient electromagnetic methods[J]. Geophysics, 1983, 48: 787-789.

CALCULATION OF TRANSIENT MAGNETIC FIELD AND ALL TIME APPARENT RESISTIVITY BASED ON CENTRAL TEM LOOPS METHOD

XU Jian-rong[1,2], LIAi-yong[1,2], YANG Sheng[3]

(1. *School of Info-physics Engineering, Central South University, Changsha* 410083;

2. *Eastern China Bureau of Nonferrous Geological Exploration, Nanjing* 210007;

3. *China Nonferrous Metals Resource Geological Survey, Beijing* 100012)

Abstract Accorded on the attenuation regime of central loop unit TEM field, the explicit calculation method of transient magnetic field B from dB/dt measurement was given. The method, which inverses the all-time apparent resistivity from B iteration, under the slanting wave transmission current was deduced. The integral and derivation resolution expression was deduced, in order to promote the calculation precision and speed, as well as the calculation of probability integral function using standard database method. Then through the sample calculation, the method was proved and analyzed.

Key words: TEM, central loops unit, transient magnetic field, all-time apparent resistivity, slanting wave

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net