

# 地下动态导体充电法高精度定量解释

何 裕 盛

(中国国土资源航空物探遥感中心,北京 100083)

摘要: 提供了动态导体充电法的高精度定量解释的原理和具体方法。

关键词: 充电法; 定量解释; 量板

中图分类号: P631.3 文献标识码: A 文章编号: 1000-8918(2001)03-0215-09

随着观测方法和数据处理技术的改进,地下动态导体充电法的测量精度得到空前提高,观测电位差从毫伏级跃为十几微伏级甚至微伏级,可反映出较小充电导体信息,但现有的解释推断方法却因精度较低而不能满足需要。

笔者在分析了影响提高现有解释推断方法精度的原因之后,选择了如下研究途径: 增大绘图模数,根据不同精度要求,采用不同绘图模数; 绘图模数的增大将使对数曲线相互分离过远,为便于对比,必须研究出使曲线分布相互靠近的方法; 提取纯异常,充电法的对数曲线异常是“不纯”的,异常主体仍保留着“正常场”弧形曲线的影子,必须研究出去掉“影子”的有效方法; 实测电位差  $U/MN$  与理论量板梯度  $\partial U/\partial r$  在进行直接对比时,毕竟存在着一定误差,必须研究出消除误差的方法; 根据实际测区具体条件制作量板,提出快速制作量板的方法。

笔者介绍的高精度定量解释推断方法是改进型量板对比法。量板类型有 2 种: 量板和量板。适用的电极排列也有 2 种: 环形测线纵向梯度法和中心剖面测线梯度法。下面按电极排列分两部分介绍。有些相同的概念和内容在文献[1]中已经介绍过的,这里就不再赘述。

## 1 环线纵向梯度法量板

### 1.1 量板制作原理

#### 1.1.1 环形测线纵向梯度排列

图 1 为环形测线纵向梯度法工作布置示意。举例说明,假设电极 A 是 1 个钻井,可视为垂直向下的电极。在井底通过大型压裂冲出 1 条裂缝,采用注水等方式使该裂缝成为 1 个导体,形状近似于伸长旋转椭球体,我们需要确定该导体的走向方位及半长  $a$ ,如果该导体呈倾斜状态,还要确定其倾角  $\theta$ 。在野外供电系统中,供电电极 A、汇流电极 B 与供电设备连接,通过地下介质形成回路。有时为了

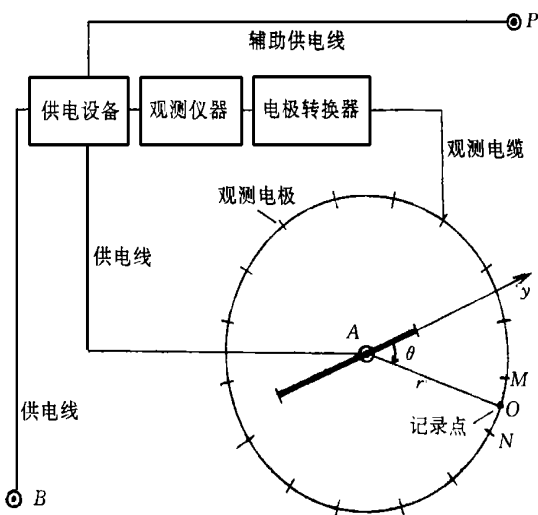


图 1 环形测线纵向梯度法示意

收稿日期:2000-04-27

测量各电极间的电阻,还要布置辅助供电电极  $P$ 。在观测系统中,测线为环形,半径为  $r$ 。观测仪器和电极转换器的一端与供电设备连接,另一端通过特制的观测电缆与环形测线上所有观测电极连接。图中布置 16 个(或 24 个)观测电极,相邻 2 个电极均可组成 1 对  $MN$  电极, $MN$  中点作为纪录点。

### 1.1.2 一般公式的特点

在量板制作上电位梯度公式形式为

$$\frac{\partial U}{\partial} = \frac{I}{2} \cdot f(, r/z, a/z, b/z, a/z, ), \quad (1)$$

野外工作时使用(1)式的近似式

$$\frac{U}{\partial} = \frac{I}{2} \cdot F(, r/z, a/z, b/z, a/z, ). \quad (2)$$

式中,  $U$  为环线上  $MN$  间的电位差; $O$  为纪录点,是环线上  $MN$  的中点;导体走向反方向为横轴  $Ax$ ,  $\alpha$  为从  $Ax$  沿顺时针旋转到  $AO$  间的夹角,称为纪录点的方位角; $\beta$  为环线上  $AM$  与  $AN$  间的夹角; $\rho$  为围岩电阻率; $I$  为供电电流强度; $z$  为导体埋深,即地表到导体上充电接触点的长度; $b$  为伸长旋转椭球体的半宽度; $a$  为充电接触点到导体一端的距离。 $\alpha$  越小, $U/\partial$  越接近  $\partial U/\partial$ 。将(1)式和(2)式等号两边同时取对数

$$\lg \frac{\partial U}{\partial} = \lg \frac{I}{2} + \lg f(, r/z, a/z, b/z, a/z, ), \quad (3)$$

$$\lg (U/\partial) = \lg ( \frac{I}{2} ) + \lg F(, r/z, a/z, b/z, a/z, ). \quad (4)$$

可以看出,(4)式中右部常数项与(3)式右部常数项仅沿纵向有一定偏离  $\lg ( \frac{I}{2} )$ ;第二项均为变量,它们接近相同,其数值是由导体各参数决定的,反映了接近相同的曲线形态,当  $\alpha$  越小,它们越接近相同。由此可以认为,在取对数的条件下,野外观测曲线与理论量板曲线的形态是接近相同的,只是沿纵向有一定偏移。这就是量板对比方法的理论基础。

### 1.1.3 单对数量板

与环形测线纵向梯度法相适应的定量解释量板是一种单对数量板。制作量板曲线时,设为自变量,取其它参数中之一为参变量,它是反映曲线本身的量,经常标注于曲线附近,可称为“曲线参数”。剩下的参数统称“量板参数”。同时设深度  $z$  为长度单位,即  $z=1$ ,相应地具有长度的量值变为  $\frac{r}{z}, \frac{a}{z}, \frac{b}{z}, \frac{a}{z}$  等。例如在计算  $\lg \frac{\partial U}{\partial}$  — 曲线时,给定  $b, a$  和  $\alpha$  (定义为量板参数),然后每给定 1 个  $a$  (曲线参数),便可计算出 1 条  $\lg \frac{\partial U}{\partial}$  — 曲线。

### 1.1.4 绘图模数

将  $\frac{\partial U}{\partial}$  — 值绘在厘米坐标纸上,需先将  $\frac{\partial U}{\partial}$  取对数并乘以绘图模数  $k$ ,即  $k \lg \frac{\partial U}{\partial}$ 。在常规电法包括充电法中, $k$  取 6.25 cm。绘图模数指对数纸上  $10^n \sim 10^{n+1}$  之间的算术距离,根据数据精度和解释推断的要求选择不同的绘图模数,也可绘在已知模数数值的单对数坐标纸上。

### 1.1.5 零重合点绘图法

从图 2a 中可见,异常曲线 2 相对正常场曲线 1 间拉开的距离较大,难以相互对比和鉴别。但我们知道,当方位角  $\alpha$  较小时,各条曲线形态在这部分接近一致。如果在图上选择 1 个点,如横轴上  $\alpha = 20^\circ$ ,纵轴上曲线  $k \lg (U/\partial) = 0$  点作为零重合点,将诸条曲线均进行“归零”计算,在图上表现为各条曲线沿纵向平移,并在该点重合。这样曲线间的分布非常靠近,曲线形

态差异更容易对比和鉴别(见图 2 中曲线 1 和 2),同时也减少了图幅面积和绘图难度。

## 1.2 量板制作方法

### 1.2.1 曲线量板

曲线公式如下

$$20 = k \cdot \lg \frac{\partial U}{\partial} - \left( k \cdot \lg \frac{\partial U}{\partial} \right)_{20}, \quad (5)$$

式中  $\left( k \cdot \lg \frac{\partial U}{\partial} \right)_{20}$  为当  $= 20$  时  $k \cdot \lg \frac{\partial U}{\partial}$  的值。

在充电法中,点源场就是正常场,在直线测线中心剖面上,其对数曲线为弧形。在环线上  $\partial U / \partial = 0$ 。但对于充电伸长旋转椭球体,只要充电点分布不对称,无论导体怎样小,曲线仍不趋于零,亦为弧形曲线。究其原因,我们知道

$$g = k \cdot \lg \frac{\partial U}{\partial} - \left( k \cdot \lg \frac{\partial U}{\partial} \right)_g = k \cdot \lg \left[ \frac{\partial U}{\partial} / \left( \frac{\partial U}{\partial} \right)_g \right], \quad (6)$$

当  $0, \frac{\partial U}{\partial} 0$ , 而  $\lg \frac{\partial U}{\partial} -$ , 直接分析  $\lg \frac{\partial U}{\partial}$  将出现困难,而  $\lg \frac{\partial U}{\partial}$  曲线与  $g$  曲线的形状完全相同,因此可以用分析  $g$  来代替。设  $g$  为任意小,在环线纵向梯度法中,  $\frac{\partial U}{\partial} > \left( \frac{\partial U}{\partial} \right)_g$  (均指绝对值),  $g$  曲线呈弧形。随着曲线参数的减小,  $\frac{\partial U}{\partial}$  和  $\left( \frac{\partial U}{\partial} \right)_g$  也随着减小。而  $\frac{\partial U}{\partial} / \left( \frac{\partial U}{\partial} \right)_g$  减小的速率相当缓慢,并逐步演变成  $\frac{\partial U}{\partial}$  与  $\left( \frac{\partial U}{\partial} \right)_g$  减小的速率接近相同,即它们保持一定比例,致使  $g$  曲线接近一个极限——弧形曲线的极限。例如曲线参数  $a = 0.001$  与  $a = 0.0001$  时,它们的  $g$  曲线几乎重合。只有当  $\frac{\partial U}{\partial} = \left( \frac{\partial U}{\partial} \right)_g$  时,  $g$  曲线才能成为平缓的直线,实际上这种情况很难出现。当导体呈不对称分布时 ( $a \neq a$ ), 不论  $a$  多么小,  $\frac{\partial U}{\partial} \left( \frac{\partial U}{\partial} \right)_g$ 。因此认为,在对数形式的量板曲线中,存在 1 个曲线呈弧形的“正常场”,这是由  $\lg \left[ \frac{\partial U}{\partial} / \left( \frac{\partial U}{\partial} \right)_g \right]$  中,分子与分母永远不相等造成的。这种“正常场”可称为“准正常场”。

图 2a 中曲线 1 可看作准正常场曲线。这里取  $a = 0.001 z$ 。可以看出,在对数曲线中,异常场包括 3 个特征: 导体本身的电场; 仍含“准正常场”的成分,有时不为人所注意,但是使用零重合点法绘出的曲线就容易把它们分辨出来,如图 2a 所示,导体的异常曲线相对准正常场曲线分离部分就是纯异常; 曲线极值相对准正常场曲线极值的位移。从图中可知,准正常场曲线 1 是弧形曲线,包含面积  $S_1$ ; 异常曲线 2 包含面积  $S_1$  和  $S_2$ ,  $S_1$  属准正常场成分,  $S_2$  是纯异常。图 3 为 曲线量板举例,它反映了充电点在导体端点略向内移 ( $a = 0.5 a$ ) 的情形。

### 1.2.2 曲线量板

如果将准正常场曲线表现为直线(如横轴),将使异常场曲线异常更为明显。为此,将曲线减去准正常场曲线  $0$  即可,称为 曲线,  $= - 0$ 。从图 2b 中看出, 曲线形态仅仅是导体产状和充电点位置的反应,是纯粹的异常。曲线的形态和面积  $S_3$  反映了纯异常场的特征。初步认为 曲线量板的精度较高,在野外观测精度较高条件下,当探测深度较大或探

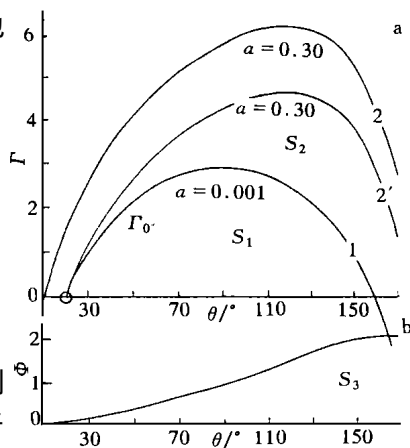


图 2 几种环形测量板曲线的比较  
a — 量板曲线; b — 量板曲线

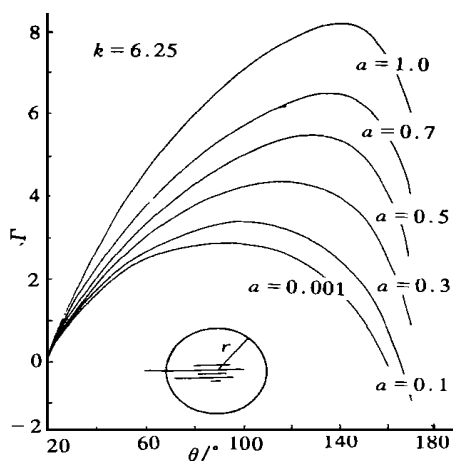


图 3 环形测线 曲线量板举例

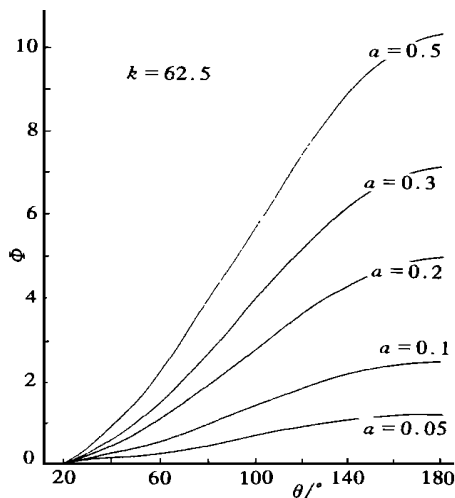


图 4 环形测线 曲线量板举例

测导体较小时,仍可使用 曲线量板。图 4 为 曲线量板举例。

### 1.3 实测数据的整理和绘图

在环形测线纵向梯度法中,实测数据  $U_{MN}$  为视纯异常  $U_s$ ,它可直接用于确定导体走向方位的解释推断,其对数形式为

$$\lg(U_s) = \lg n + \lg(U_c), \quad (7)$$

式中,  $n$  为分流系数;  $U_c$  为由充电导体引起的异常,即(4)式中的  $U$ 。取导体走向方位的反方向作为横轴  $x$  和方位角  $\theta$  的起点 0,沿顺时针进行测点编号,建立  $U$  —  $\theta$  的对应关系。可以看出,(7)式相对(3)式仅改变了曲线的位置,沿纵向又位移了  $\lg n$ ,曲线形态则完全相同。因此视纯异常  $U_s$  可以直接用于量板法的解释推断。

根据  $U_s$  数据精度和解释推断的要求选择相应的绘图模数  $k$ ,通过计算,得量板对比使用数据  $k \lg(U_s)$ 。利用该数据在透明厘米坐标纸上绘图,横轴为纪录点方位角  $\theta$ ,纵轴为  $k \lg(U)$ ,于是得出 实测对比曲线。将实测对比曲线在重合点处的值(一般设  $\theta = 20^\circ$ )定为零,算出 实测对比曲线数据

$$= k \cdot \lg(U) - [k \cdot \lg(U)]_g, \quad (8)$$

然后按(8)式减去与  $\theta$  值相同的准正常场数据(近似值  $a = 0.001 z$ ,  $b = 0.000 2 z$ ,  $\theta = 20^\circ$ )

$$= k \cdot \lg(U) - [k \cdot \lg(U)]_0, \quad (9)$$

便得出了  $\theta = 20^\circ$  数据。这里如果不用与  $\theta$  值相当的准正常场数据而使用理论准正常场

数据  $\theta = k \lg \frac{\partial U}{\partial \theta} - \left( k \lg \frac{\partial U}{\partial \theta} \right)_g$ ,得出的 数据将增加一些误差。

### 1.4 量板使用方法

将透明实测对比曲线覆盖于绘图模数相同的 曲线量板上进行对比。将该曲线保持相对应,并且上下移动,使之在“零重合点”处(如  $20^\circ, 0$ )重合,这时与实测对比曲线重合的量板曲线所指的“曲线参数”就是所要求解的主要参数,量板上所附“量板参数”为所求的其它参数。或者进行“归零”计算,将实测对比曲线在重合点处的值定为零(一般设  $\theta = 20^\circ$ ),计算出 实测对比曲线。对比时,使实测对比曲线与 曲线量板的零重合点重合,如  $(20^\circ, 0)$ 。这种对比,省去了上下移动的步骤。

绘出 — 曲线,再与模数相同的 理论量板直接对比,便可得到解释推断参数。

使用数学模拟方法对曲线误差进行了分析。结果表明,在目前观测条件下,曲线精度能够满足实际需要,而且  $r$  值较大,其精度也较高。

## 2 中心剖面测线电位梯度的定量解释

当直线测线与导体走向在地面上的投影重合或垂直,该测线称为中心剖面测线。

### 2.1 求导体埋深 $z$ 和半长 $a$ 的 曲线量板

#### 2.1.1 曲线量板制作

假设充电导体为水平伸长旋转椭球体,充电点深度  $z$  和导体半长  $a$  均为未知,  $b = 0.2a$ , 以  $z$  作为长度计算单位即  $z = 1$ , 坐标原点设在导体的中心。设  $l/2 = 1$ , 给定导体半长轴  $a$ 、半短轴  $b$ 、充电接触点到导体一端的距离  $a$ 、环线半径  $r = 0$  (这时  $r$  在  $y$  轴上,  $r = y$ )、导体倾角  $\alpha = 0^\circ$ , 每给出 1 个  $r$ , 计算出测线上相应测点的电位梯度值  $\frac{\partial U}{\partial r}$  (取绝对值), 由此便得一对

$\frac{\partial U}{\partial y} - y$  数据。鉴于曲线的对称性, 我们只利用右半支数据。计算出  $\lg \frac{\partial U}{\partial y} \cdot k$ , 在距原点较近

处取零重合点。将  $\lg \frac{\partial U}{\partial y} \cdot k$  减去零重合点处数据

$\left( \lg \frac{\partial U}{\partial y} \cdot k \right)_g$ , 即得 曲线数据

$$= \lg \frac{\partial U}{\partial y} \cdot k - \left( \lg \frac{\partial U}{\partial y} \cdot k \right)_g, \quad (10)$$

各测点到原点的距离  $y$  也要取对数并乘以相应模数。在厘米坐标纸上绘制 —  $\lg y \cdot k$  曲线, 结果如图 5 所示, 图中可见各曲线间的分异是比较好的。

下面以倾斜矩形薄板体为例说明充电导体呈倾斜分布时的量板制作。设导体半长  $l = 0.3$ , 半宽  $b = 0.1$ , 充电

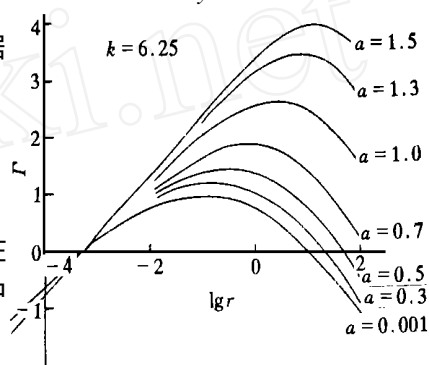


图 5 中心纵剖面测线 曲线量板

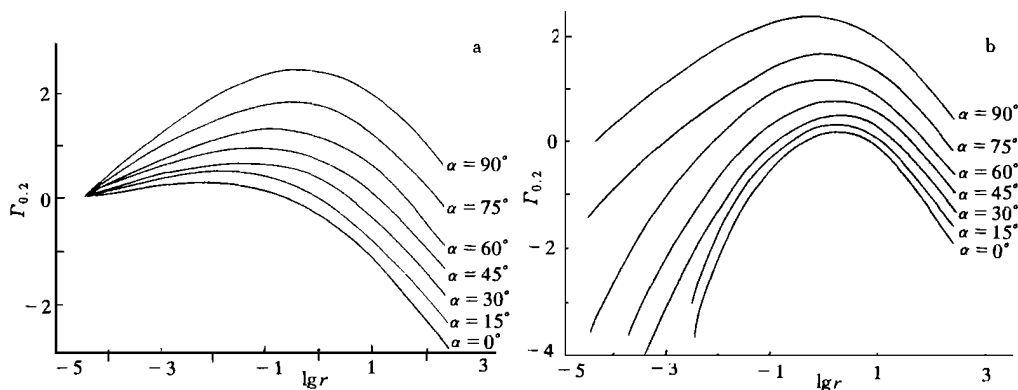


图 6 中心剖面测线充电矩形薄板导体 曲线量板

a—曲线右支; b—曲线左支

接触点到导体一端的距离  $l = 0$ ,  $z = 1$ , 倾角  $\alpha = 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90$  并作为曲线参数,  $l/2 = 1$ , 取长度单位  $z = 1$ , 坐标原点设在电极点 A。利用充电矩形薄板电位公式<sup>[2]</sup>计算, 在这里  $y$  为自变量,  $U$  取绝对值。曲线以零点为界分左右两支。计算出  $6.25 \lg y$  和  $6.25 \lg (U)$ , 将

右支的  $y = 0.2$  作为曲线的零重合点, 将  $6.25 \lg(U)$  减去零重合点处的  $[6.25 \lg(U)]_{0.2}$ , 便可得到  $0.2$  曲线数据, 绘制  $0.2 - \lg y$  曲线。图 6 为左、右支 曲线量板, 可以看出, 曲线分离增大, 精度有明显提高。

实际使用时, 将实测对比曲线  $6.25 \lg(U) - \lg y$  与 量板对比, 可以上下、左右移动, 左支与左支对比, 右支与右支对比。曲线重合后, 与之对应的曲线参数为 , 与量板原点 0 对应的对比曲线横坐标表示的距离为  $z$ , 单位  $m$ , 量板参数为  $1/z, 1/z, 1/z$ 。例如  $\theta = 30^\circ$ , 量板比较时位移应为  $z = 1\ 000\ m$ , 矩形薄板半长  $l = (1/z) z = 300\ m$ , 半宽  $b = (1/z) z = 100\ m$ , 充电接触点距离  $l = (1/z) z = 0$ 。

### 2.1.2 野外实测 对比曲线的绘制

在野外, 根据实测电位差  $U_c$  (或  $n U_c$ ) (单位为  $mV$  或  $\mu V$ ) 和纪录点绘出剖面曲线, 根据该曲线零点确定导体中心部位, 并作为原点。先取半支曲线, 将各纪录点到原点的距离  $y$  (单位  $m$ ) 量出, 按上述方法可绘制出  $\lg(n U_c) - \lg y$  实测对比曲线。注意, 在纸上对纪录点距离仍标示为  $m$ 。对另半支曲线也这样做。

这里给出数学模拟的例子。设导体为水平伸长旋转椭球体, 半长轴  $a = 700\ m$ , 半短轴  $b = 140\ m$ , 导体中点充电  $a = 700\ m$ , 充电点深度  $z = 1\ 000\ m$ ,  $MN = 200\ m$ 。由于在野外观测的是  $MN$  间的电位差, 所以在模拟中先计算出观测点的电位  $nU_c$ 。根据电位算出电位差  $n U_c = U_s$ 。在厘米坐标纸上, 横轴表示  $6.25 \lg y$ , 单位  $cm$ , 同时也要注明实际距离  $m$ ; 纵轴表示  $6.25 \lg(U_s)$ , 单位  $cm$ 。图 7 即为绘制在透明纸上的实测对比曲线。在横轴上已经注明了 2 个距离, 将该曲线(图 7)覆盖在模数相同的量板上(图 5), 保持横轴平行, 移动到与最相近的曲线重合。重合曲线的参数为  $a = 0.7$ , 量板曲线横坐标为  $6.25 \cdot \lg y$ , 实测曲线横坐标为  $6.25 \cdot \lg(y/z) = 6.25 \cdot (\lg y - \lg z)$ 。实测曲线与理论曲线重合后, 坐标原点的位移  $= 6.25 \lg z$ , 对应理论量板原点 0 处的实测对比曲线图上表明的数值为  $18.75\ cm$ , 即  $\lg z = 18.75/6.25\ cm$ , 可得  $z = 1\ 000\ m$ 。导体半长  $a = 0.7(a/z) = 700\ m$ 。

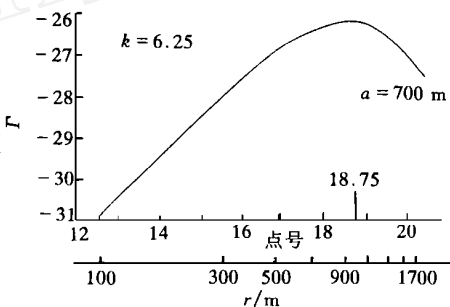


图 7 中心剖面测线实测对比曲线

## 2.2 已知导体埋深 $z$ , 求导体半长 $a$ 的 曲线量板

### 2.2.1 曲线量板制作

当充电点深度  $z$  为已知, 设  $z = 1$ , 充电导体为水平伸长旋转椭球体, 坐标原点在导体中心, 设  $l/2 = 1$ , 给定  $a, b, a, = 0, = 0$ , 每给出 1 个  $y$ , 计算出测线上相应测点的电位梯度值  $\frac{\partial U}{\partial y}$  (取绝对值), 由此使得 1 对  $\frac{\partial U}{\partial y} - y$  数据; 我们只利用右半支数据。先计算出 曲线数据, 在距原点较近处取零重合点。这与上述情形相同。当  $a, b$  很小、接近于点电源时,  $\lg \frac{\partial U}{\partial y} \cdot k$  可视为点源场或正常场, 其 数据用  $0$  表示。将 数据减去  $0$ , 即得 曲线数据  $= - 0$ 。下面举例说明。

当充电点深度  $z$  为已知, 设  $z = 1$ , 充电导体为水平伸长旋转椭球体, 座标原点在导体中心, 选择  $y = 0.1$  处作为零重合点。分 2 种情形:  $0.1 < a < 0.3$  和  $a < 0.1$ 。

第 1 种情形。设  $l/2 = 1$ , 给定  $a = 0.1, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30$ ;  $b = 0.2a, a = a, = 0, = 0$ 。这时  $y$  取  $0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9, 1.1, 1.3$  和  $1.5$  (图 8a)。计算出测线上相应测点  $y$

的电位梯度值  $\frac{\partial U}{\partial y}$  (取绝对值), 由此便得 1 对  $\frac{\partial U}{\partial y} \rightarrow y$  数据。我们只利用右半支数据。绘图模数  $k = 62.5$ , 在测线上选择零重合点  $y = 0.3$ , 即得 曲线数据

$$0.3 = \lg \frac{\partial U}{\partial y} \cdot k - \left[ \lg \frac{\partial U}{\partial y} \cdot 62.5 \right]_{0.3} \quad (12)$$

因  $a = 0.001$ ,  $b = 0.0002$  已接近于点电源, 这时的  $\left[ 6.25 \lg \frac{\partial U}{\partial y} \right]_0$  可视为点源场或正常场, 其数据用  $0$  表示, 得 曲线数据  $= -0$ 。在厘米坐标纸上绘制  $\rightarrow y$  曲线, 结果如图 8a 所示。野外观测精度为十微伏级时, 可以使用这种模数的量板。

对于  $a < 0.1$  的情形, 如还使用绘图模数  $62.5 \text{ cm}$ , 曲线已很难显示。我们用较大的绘图模数  $k = 625 \text{ cm}$ , 取  $a = 0.02, 0.04, 0.06, 0.08$  和  $0.10$ , 其它不变。绘出的曲线量板如图 8b 所示。野外观测精度较高, 达到微伏级时, 可以试用这种模数的量板。

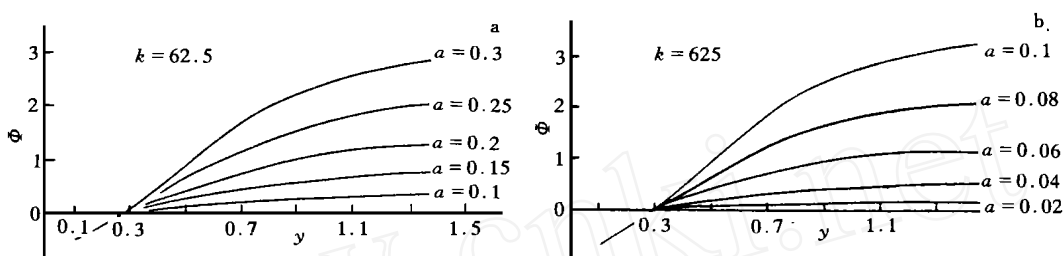


图 8 中心剖面测线的 曲线量板

a—0.1 a—0.3; b— $a < 0.1$

### 2.2.3 野外实测对比 曲线的绘制及误差分析

第一个模拟例子为已知  $z = 800 \text{ m}$ ,  $b = 0.2a$ ,  $MN = 160 \text{ m}$ , 原点对应于导体中心在地表的投影,  $U$  纪录点的距离和  $MN$  电位差  $U \cdot 10^{-3}$ , 并假设  $a = 200 \text{ m}$ 。先进行正演, 计算出  $U$ , 要求根据  $U$  计算出 曲线并求  $a$ 。

在透明厘米纸上绘制  $\rightarrow y$  曲线见图 9a。将该曲线图覆盖在模数相同即  $62.5$  的量板 (图 8a) 上进行对比, 发现重合曲线的曲线参数  $(a/z) = 0.25$ , 从而算出  $a = 200 \text{ m}$ 。在求 曲线数据时, 需利用公式

$= -0$ 。必须指出, 在制作理论量板时, 所用的

的数据是  $\frac{\partial U}{\partial y}$ , 因此制作  $0$  也必须使用  $\frac{\partial U}{\partial y}$ 。对于实测对比曲线制作的数据, 事实上是使用  $\frac{MN}{z}$  间的电位梯度  $\frac{U}{y}$  得出的, 因此, 也应使用  $\frac{MN}{z}$  间的电位梯度  $\frac{U}{y}$  来制作  $0$ 。这样制作的 曲线可以与使用

$\frac{\partial U}{\partial y}$  制作的理论量板对比, 其误差很小。

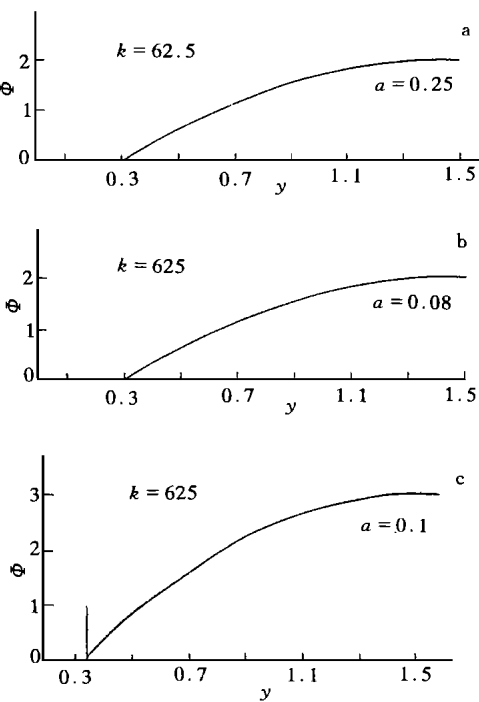


图 9 中心剖面测线实测 对比曲线

第二个模拟例子是已知  $z = 800 \text{ m}$ ,  $b = 0.2a$ ,  $MN = 160 \text{ m}$ , 原点对应于导体中心在地表

的投影,  $U$  纪录点距离和  $MN$  电位差  $U \times 10^3$ , 并假设  $a = 64 \text{ m}$  (比第一个例子小很多)。先进行正演, 计算出  $U$ , 要求根据  $U$  计算出  $y$  曲线并求  $a$ 。在透明厘米纸上绘制  $y$  曲线见图 9b。将该曲线图覆盖在模数相同即 625 的量板 (图 8b) 上进行对比, 重合曲线的  $(a/z) = 0.08$ , 进而可得  $a = (a/z) \cdot z = 64 \text{ m}$ 。

上述 2 个例子中电位差假设为  $0.000\ 00\ n \cdot 10^{-3} \text{ V}$ , 相当于  $0.00\ n$  微伏级, 我们把它作为正确值。对第一个例子, 在  $I/2 = 1$  条件下, 如果实测电位差小数点后取 3 位, 相当于微伏级, 其数据与正确值比较, 误差接近 10%, 具有实用性。如果实测电位差小数点后取 4 位, 相当于 0.1 微伏级, 其数据与正确值比较, 误差仅为 1%, 这种情形是很理想的。如果较大或增大  $I$ , 均可使  $I/2 > 1$ , 可以增加实测电位差的数量级, 提高值的精度。对第二个例子, 在  $I/2 = 1$  条件下, 如果实测电位差小数点后取 4 位, 相当于 0.1 微伏级, 其数据与正确值比较, 误差平均值达 10%,  $y$  值越大, 误差越小。可见有一定的可用性。同样, 如果较大或增大  $I$ , 均可使  $I/2 > 1$ , 可以增加实测电位差的数量级, 提高值的精度。

第三个模拟例子是已知  $z = 1\ 000 \text{ m}$ ,  $b = 0.2\ a$ ,  $MN = 200 \text{ m}$ , 并假设  $a = 100 \text{ m}$ 。先进行正演, 算出  $U$ , 根据  $U$  曲线数据, 求  $a$  和  $a$ 。

通过  $U$  与观测点的关系曲线, 求出零点  $O$ , 作为新的原点, 由此得出新老原点间的距离  $AO = 50 \text{ m}$ 。算出各纪录点到新原点的距离并除以  $z$ , 得  $y = 0.35, 0.55, 0.75, \dots, 1.35$  和  $1.55$ , 将与之对应的  $U$  取对数, 并取  $k = 625$ 。选择零重合点时遇到了困难, 理论量板的零重合点坐标为  $(y/z) = 0.3$ , 但实测曲线上没有  $(y/z) = 0.3$  的实测电位差数据。这时可以取附近有数据的点如  $(y/z) = 0.35$ , 将  $(y/z) = 0.35$  处的  $\lg(U_c)$  看作零, 进行“归零”计算, 从而得到 (零重合点  $y = 0.35$ ) 曲线数据。另外还要计算出  $y = 0.35, 0.55, 0.75, \dots, 1.35$  和  $1.55$  时的正常场 ( $a = 0.001$ ,  $b = 0.000\ 2$ ) 的  $\phi_0$  (零重合点  $y = 0.35$ ) 曲线数据。然后计算 (零重合点  $y = 0.35$ ) 曲线数据  $= (\text{零重合点 } y = 0.35) - \phi_0(\text{零重合点 } y = 0.35)$ , 绘出的曲线示于图 9c。将该透明曲线覆盖于模数相同的量板上 (图 8b)。注意在保证  $\phi_{0.35}$  曲线零点在坐标  $y = 0.35$  的纵线上上下下移动。该曲线与  $(a/z) = 0.10$  的理论曲线重合得最好, 所以导体半长等于  $a = (a/z) \cdot z = 100 \text{ m}$  而接触点的距离  $a = a - AO = 50 \text{ m}$ 。实际计算表明, 如果使用从曲线上量得的  $y = 0.3$  处的  $\lg(U_c)$  值来制作  $y$  曲线和  $y$  曲线, 其精度太低, 几乎不能使用。

#### 4 建议

这里仅介绍了高精度量板和量板的基本原理、制作方法和使用方法, 没有提供量板曲线册。这是因为如果各种条件均予以考虑时, 量板数量将太多。在量板使用来源方面, 有 2 点建议: 根据工作具体要求, 自制数量不多的专用型量板册, 这对工程实施小组来说容易做到; 作为 1 个专题, 制作数量较大的通用型量板册。

#### 参考文献:

- [1] 何裕盛. 地下动态导体充电法探测概论[J]. 物探与化探, 2000, 24(1), (2).
- [2] 何裕盛, 夏万芳. 充电法[M]. 北京: 地质出版社, 1978.



## THE HIGH-PRECISION QUANTITATIVE INTERPRETATION OF “ MISE-A-LA-MASSE ” METHOD FOR THE UNDERGROUND DYNAMIC CONDUCTOR

HE Yu-sheng

( China Aerogeophysical Survey and Remote Sensing Center for Land and Resources , Beijing 100083 , China )

**Abstract :** This paper describes the principle and technique of high-precision quantitative interpretation of “ mise-a-la-masse ” method for the underground dynamic conductor.

**Key words :** “ mise-a-la-masse ” method ; quantitative interpretation ; template

**作者简介:** 何裕盛(1934 - ) ,男,吉林市人,1958年毕业于长春地质学院物探系,从事物探和遥感地质的研究工作,发表论文及专著 20 余篇。

(上接 214 页)

### 参考文献:

- [1] 罗延钟,张桂青.电子计算机在电法勘探中的应用[M].武汉:武汉地质学院出版社,1987.
- [2] 杨华,李金铭.起伏地形对近矿围岩充电法影响规律的数值模拟研究[J].物探与化探,1999,23(3):202—210.
- [3] Fraser D. C. Cointouring of VLF-EM data[J]. Geophysics, 1969,34:958—967.
- [4] 杨华,李金铭.归一化总梯度解释法在充电法中的应用研究[J].物探与化探,2001,25(2).
- [5] 别列兹金.物探数据的总梯度解释法[M].陆克,刘文锦,焦恩富译.北京:地质出版社,1994.
- [6] 曾华霖,李小孟,楼海,等.重力探测油气藏方法及其应用[M].北京:地质出版社,1999.
- [7] Mallat S. Multiresolution approximation and wavelets[A], IEEE Trans. PAMI,1989,111,674—693.
- [8] 杨进,傅良魁.点源二维地电模型反演方法的研究[J].物探与化探,1993,17(1).

## EXAMPLES OF APPLYING DATA-PROCESSING AND INTERPRETATION SYSTEM FOR TIME DOMAIN “ MISE-A-LA-MASSE ” METHOD

YANG Hua<sup>1</sup>, LI Jin-ming<sup>2</sup>

(1. Remote Sensing and GIS Research Center, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. College of Engineering technology, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

**Abstract :** This paper describes briefly the gist of the data-processing and interpretation system for time domain “ mise-a-la-masse ” method and deals in detail with its field application in two metallic ore districts within Sichuan Province. The results show that, for metallic ore deposits with indistinct difference in electrical resistivity and considerable difference in polarizability, this technique is fairly effective and deserves popularization.

**Key words :** time domain “ mise-a-la-masse ” method ; data-processing and interpretation ; field application

**作者简介:** 杨华(1971 - ) ,女,湖北人。1999年毕业于中国地质大学(北京)地球探测与信息技术专业,获博士学位。现为北京师范大学资源与环境科学系遥感与GIS研究中心博士后,主要从事定量遥感的基础研究和GIS研究。