

瞬变电磁法测量中地形改正方法探讨

周明平

(贵州省地质矿产局 103 地质大队, 贵州 铜仁 554300)

[摘 要] 瞬变电磁法在工程、水文及金属矿产勘探等方面正日益得到广泛的应用。在地形复杂地区, 物探异常的准确定位不可避免地受地形因素的影响。笔者通过大量的工作实践, 提出了用法线进行地形改正的方法。对重叠回线装置而言, 法线是垂直于回线平面、并通过线框中心点的一条直线。通过专用软件换算出每个测点上的各道电位值所对应的视深度和视电阻率值, 沿法线方向投影到作图面上, 从而达到地形改正的目的。

[关键词] 地形改正; 法线; 瞬变电磁法

[中图分类号] P631.3⁺25 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1000-5943 (2004) 02-0117-04

1 瞬变电磁法概况

瞬变电磁法 (简称 TEM 法) 属于地球物理勘查方法中的电磁法大类。其方法原理是: 在地面铺设不接地回线, 并施加人工脉冲磁场, 激励地下目的物, 使其产生感应电动势, 即二次场在脉冲的间隙观测感应电动势随时间变化的响应。瞬变电磁法装置组合较多, 本文主要讨论重叠回线组合。重叠回线组合就是供电回路与接收回路重叠铺设在地面上, 回线可以是圆形, 也可以是正方形或者矩形。正方形回线因铺设较方便, 铺设精度容易控制, 故较常用。线框的中心点即是观测记录点位置。主要测量值为感应电动势。

瞬变电磁法的主要优点: (1) 在脉冲的间隙测量不受一次场源的干扰; (2) 不同脉冲频率或不同延时, 在地层中的传播速度不同。改变发射功率、发射线框边长、发射脉冲频率和延迟时间等参数可以满足不同探测深度的要求; (3) 剖面测量和测深工作同时完成, 信息量大; (4) 相对其他电磁法, 受地形因素影响较小。

瞬变电磁法的缺点: 瞬变电磁法异常主要反映岩矿石的电阻率特征, 其异常具有多解性。

瞬变电磁法常用于工程基础勘查, 如查明基

岩起伏面、断层破碎带、裂隙、岩溶等; 也用于水文地质勘查, 如确定地下水的富水情况; 近年来在金属矿产勘探, 尤其是在块状金属硫化物矿床勘探方面取得了较好的效果。

2002 年, 笔者在黔西北威宁县云炉河坝及银厂坡银铅锌矿区, 使用国产 MSD-1 型中功率脉冲瞬变电磁仪开展物探测量, 由于矿区地形起伏对地电断面图的成图效果影响较大, 在工作过程中, 结合地质认识及瞬变电磁法的原理, 对地形改正方法进行摸索总结, 获得了良好找矿效果。

2 地形改正的两个实例

在黔西北威宁县云炉河坝银铅锌矿区, 采用国产 MSD-1 型中功率脉冲瞬变电磁仪进行测量, 该仪器自动化程度较高, 具有多种观测参数设置, 观测时窗 8~25 920 μ S (微秒), 采样道数 40 道, 自动采样, 数据自动贮存, 仪器与电脑通过 RS-232C 串口连接, 使用专用软件换算视深度、视电阻率, 通过 SURFER 软件绘制物探地电断面图。事实证明, 在地形平坦条件下, 直接用 SURFER 软件绘制的地电断面图, 显示的物探异常与实际情况基本吻合, 但是, 在复杂地形条件下, 若经过地形改正, 绘制的地电断面图, 显示的异常形态将产生畸

[收稿日期] 2003-09-28

[基金项目] 本文为国家大调查项目“贵州威宁—赫章地区银铅锌矿评价”及“贵州松桃—玉屏铅锌矿评价”资助。

[作者简介] 周明平 (1962-), 男, 贵州岑巩县人, 物化探工程师, 长期从事地球物理及地球化学野外探测工作。

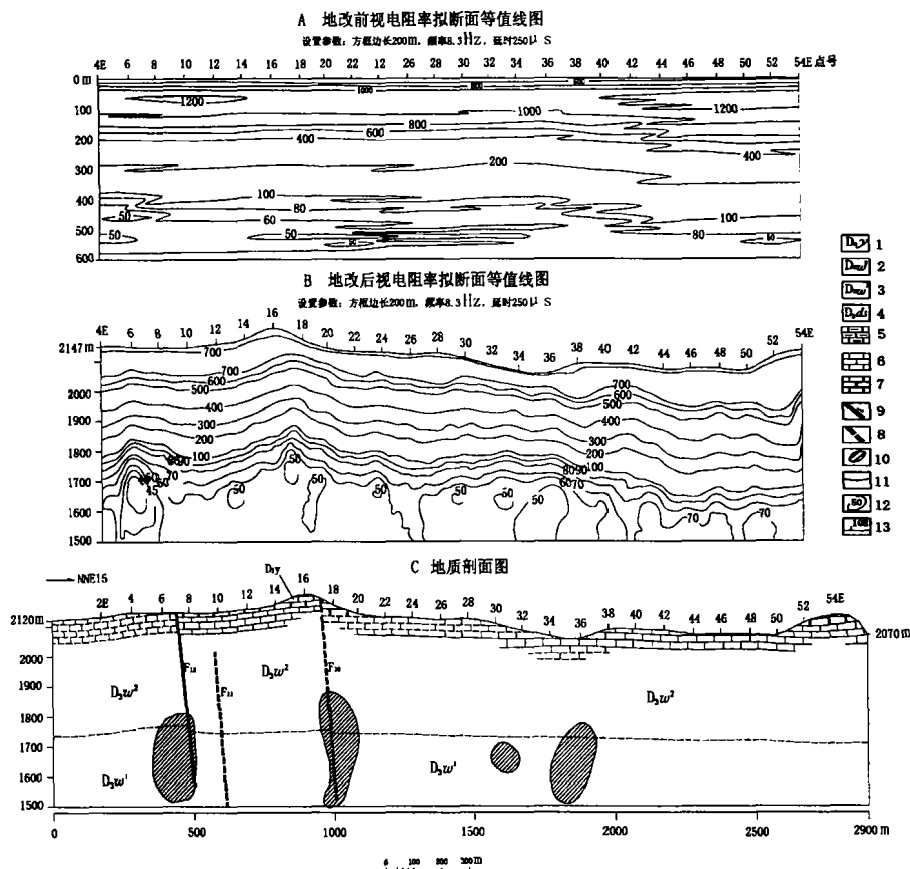


图1 平缓地形条件下地改效果对比图

1—泥盆系上统绕梭组; 2—泥盆系上统望城坡组第二段; 3—泥盆系上统望城坡第一段;
4—泥盆系中统独山组; 5—泥质灰岩; 6—灰岩; 7—白云岩; 8—正断层; 9—推测断层;
10—推测铅锌矿化异常; 11—地层界线; 12—视电阻率 ($\Omega \cdot m$); 13—TEM观测点及编号

变, 甚至无法解释。

例一: 图1是在云炉河坝银铅锌矿区地形条件相对平缓的山梁上作的 TEM 测量地电断面图, 图中 A 为未经地改的视电阻率断面等值线图, B 为地改后的视电阻率断面等值线图, C 为地质剖面图。该剖面图具有以下几个特征: (1) 泥盆系上统望城坡组二段 (D_3w^2) 灰岩, 地层厚度近 400m, TEM 测量显示高阻异常, 视电阻率大于 $200\Omega \cdot m$, 异常等值线近水平分布, 地改前后与实际情况对比基本吻合。(2) 泥盆系上统望城坡组一段 (D_3w^1) 白云岩, 为银铅锌矿体围岩, 岩性破碎, 褐铁矿化蚀变发育, 地层厚度约 450m, 视电阻率值较低, 地改前后的分布特征与实际情况基本吻合。(3) 铅锌矿体和断层为相对低阻异常, 视电阻率等值线向上凸起呈带状分布的为断层破碎带异常, 等值线圈闭的低阻异常, 推测为矿致异常。图1所示, 地改前异常特征不明显, 地改后异常明显并与实际情况吻合。

例二: 图2是在有斜坡、沟谷和山脊等复杂

地形条件下作的 TEM 测量剖面图。其中 A 为未经地改的视电阻率断面等值线图, 图上显示的异常特征, 与实际情况相差甚大; B 为地改后的视电阻率断面等值线图, 图上显示有六条断层破碎带异常, 位置和产状显示清楚, 与实际情况吻合; 深部有较弱的低阻圈闭异常显示, 推测为矿致异常; 泥盆系上统望城坡组二段灰岩, 显示高阻异常, 分布特征与实际情况基本吻合。

综上所述, 通过地形改正, 在地形平缓情况下, 能使异常更为凸显, 在地形复杂时, 能提高测量结果与地质实际之间的吻合度。因此, 地形改正 TEM 测量中具有十分重要的

应用意义。

3 地形改正公式推导

在平坦地面上铺设不接地正方形重叠回线, 当供电电流突然阶跃下降为零时, 在其周围空间产生急剧变化的磁场和电场。急剧变化的磁场和电场是形成地中涡流的激发源。电磁能量从场源所在地直接传播到地下, 它在地下均匀半空间激发产生电流, 电磁场似“烟圈”那样随时间推移逐步扩散到地下深处。

在回线中部 $< 0.33b$ 范围内磁场接近均匀场, 在中心点上磁力线垂直向下, 当逐渐靠近回线, 磁场的强度剧烈增加, 磁力线方向改变, 当越过并远离回线时, 场的强度迅速下降, 磁力线方向相反。

在一次电磁场的激发下, 对于正方形重叠回线地下均匀非磁性导电半空间的电动势响应为:

$$\epsilon = I_0 \mu_0^{5/2} (2L)^4 / 20\pi^{3/2} \rho^{3/2} t^{5/2} \quad (\tau_0 \geq 3) \quad (1)$$

由 (1) 式推出近区 ($\tau_0 \geq 3$) 的视电阻率渐进式:

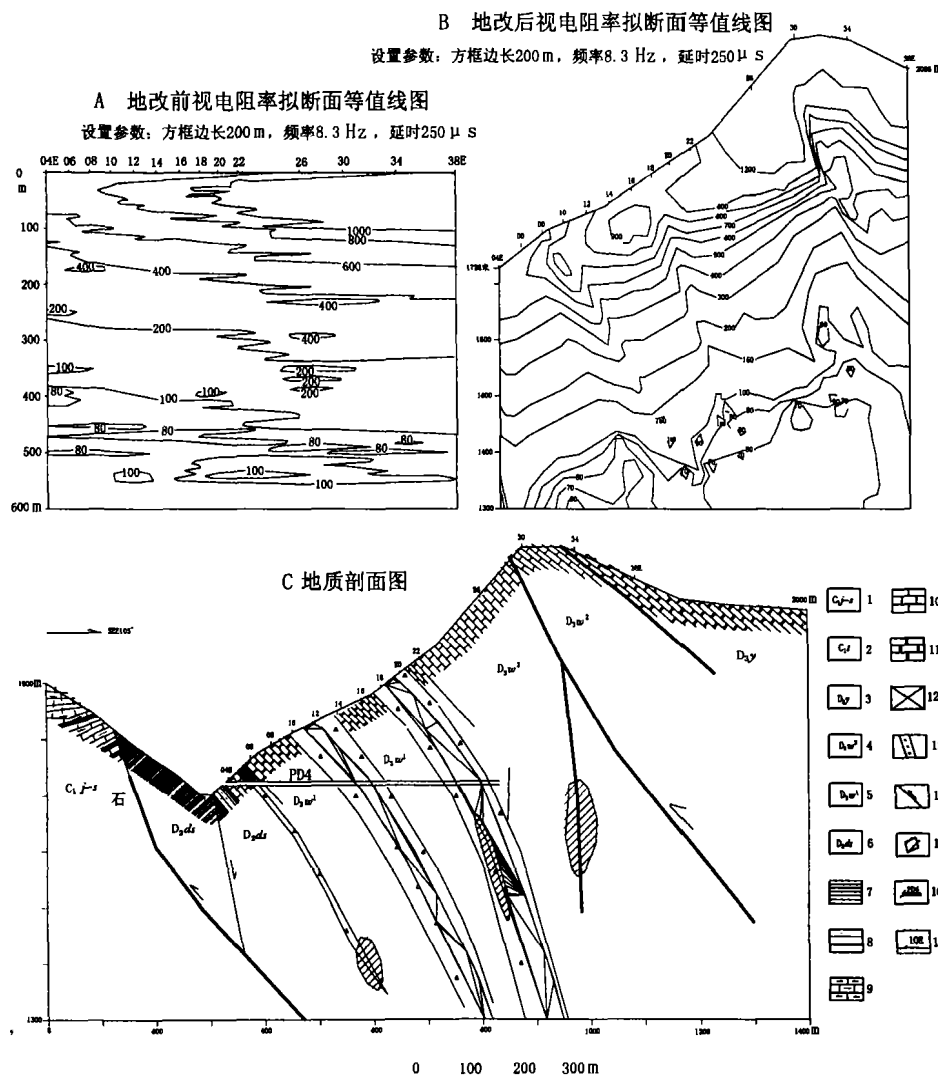


图2 复杂地形条件下地改效果对比图

- 1—石炭系下统旧司—上司组; 2—石炭系下统汤把沟组; 3—泥盆系上统挠楼组;
4—泥盆系上统望城坡组第二段; 5—泥盆系上统望城坡组第一段; 6—泥盆系中统独山组;
7—页岩; 8—粉砂岩; 9—泥质灰岩; 10—灰岩; 11—白云岩; 12—矿化蚀变带; 13—层间破碎断层;
14—断层; 15—推测铅锌矿化体异常; 16—下铜及编号; 17—TEM观测点及编号

$$\rho_s = 6.32 \times 10^{-3} (2L)^{8/3} (\epsilon/I)^{-2/3} t^{-5/2} \quad (2)$$

视深度为:

$$H_s = 4/\pi^{1/2} (t \times \rho_s / \mu_0)^{1/2} \quad (3)$$

X—过回线中心点主剖面上的距离, 米 (m);

b—回线边长, 米 (m);

ϵ —电动势, 毫伏 (mV);

I—电流, 安 (A);

μ_0 —导磁率, $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$, 亨利/米 (H/m);

ρ —电阻率, 欧姆米 ($\Omega \cdot m$);

ρ_s —视电阻率, 欧姆米 ($\Omega \cdot m$);

t—测道中心时间, 毫秒 (ms);

τ_0 —综合参数 (无量纲);

H_s —视深度, 米 (m)。

由上述 (2)、(3) 式推导出来的视电阻率和视深度, 是地下地质体被激发产生的二次感应电动势在不同衰减时间 (测道) 的综合反映。记录点位于供电回路的中心点上, 每个测道对应的视电阻率按视深度距离被记录到过回路平面中心点向下的法线方向上, 见图 3 所示。当供电回路辅于水平面上时, 法线方向垂直向下; 当供电回路辅于斜坡上时, 法线垂直于线框所在斜面。

地形改正就是将每个观测点在法线上的不同视深度对应的视电阻率投影到作图面上。

根据图 3 所示原理, 推出剖面图地形改正计算公式如下:

投影点到剖面图起点的距离:

$$L = L_0 + \sin(\alpha) \cos(\beta - \theta) H_s \quad (4)$$

投影点高程:

$$H = H_0 - \cos(\alpha) H_s \quad (5)$$

平面图地形改正公式为:

第 i 观测点横坐标:

$$x_i = x_0 + \sin(\alpha) \sin(\theta) H_s \quad (6)$$

第 i 观测点纵坐标:

$$y_i = y_0 + \sin(\alpha) \cos(\theta) H_s \quad (7)$$

L_0 —观测点到剖面起点的平距;

H_0 —观测点高程;

x_0 —观测点横坐标;

y_0 —观测点纵坐标;

α —法线与垂线的夹角 (即回线平面所在的

坡度角);

β —剖面方位角;

θ —法线方位角;

H_s —视深度。

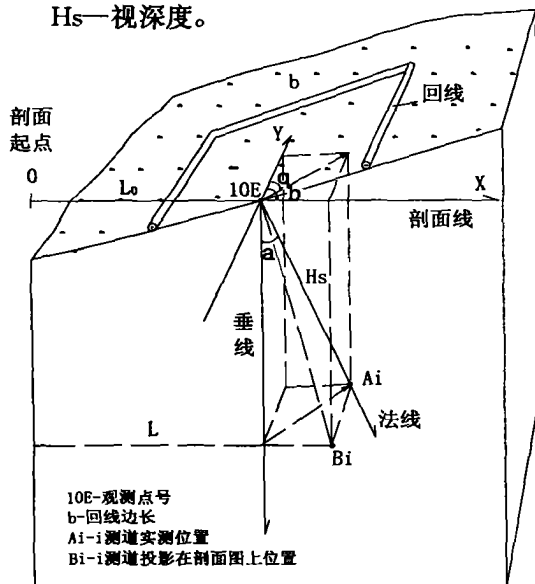


图3 地形改正原理图

当法线方位与剖面方向夹角较大时,地电断面上反映的 TEM 异常并不表示剖面上的真实情况,分析时应根据法线方位进行解释。因此,在布置 TEM 测量剖面时,遇斜坡、沟谷或山脊地形,剖面线尽量与地形等高线直交,使 TEM 异常都落到观测剖面上,便于解释推断。

4 地形改正的步骤

地形改正的步骤如下:

- (1) 换算每个测道的视深度和视电阻率;
- (2) 量出每个测点的纵横坐标和高程值,计算每个观测点至剖面起点的平距;
- (3) 量出每个观测点的法线产状(即量出每个观测点的法线方位角和法线与垂线的夹角);
- (4) 将上述 1-3 的数据代入(4)、(7)式,计算出每个测点的地形改正值;
- (5) 将地改数据用 SURFER 软件作图,即可绘制视电阻率断面等值线图或视电阻率平面等值线图。

5 结论

综上所述,本文提出的地形改正方法,是将每个观测点法线上的不同视深度对应的视电阻率投影到作图面上,将地形改正数据用 SURFER 软件绘制 TEM 地电断面图或地电平面图。所提出的过回线平面中心点(即记录点)的法线进行地形改正,有助于对 TEM 异常的正确认识和解释推断。

致谢:本文在构思和成文过程中曾得到我队原总工程师廖震文和覃英高工的指导和帮助,在此表示感谢!

参考文献

- [1] 蒋帮远.实用近区磁源瞬变电磁法勘探[M].北京:地质出版社,1998.

A Discussion on the Landform Rectified Way in the Measurement of Transient Electromagnetic Method

ZHOU Ming - ping

(Geological Team 103, Guizhou Bureau of Geology and Mineral Resources, Guiyang 554300, Guizhou, China)

[Abstract] Transient electromagnetic method increasingly has been applied in the fields of engineering, hydrology and metallic mineral exploration. For the regions of complex topography, the accurate orientation of geophysical anomaly unavoidably is influenced by the landform. Through author's numerous practical operations, the way in employing normal in landform rectification is advanced. In terms of the normal - wrapping installation, the normal is a straight line through the center point of linear framework. The visual depth and visual resistivity corresponding to the electric potential value of every track of each determined point are converted by the special software, and are projected on the constructive plan along the normal orientations, further obtaining the corrective aims.

[Keywords] landform rectification; normal; transient electromagnetic method