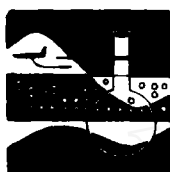


交流激电法中感应耦合效应的简单消除法

张友山

柳建新

(中南矿冶学院地质系物探教研室) (湖南有色金属勘探公司338队)



物探与化探

在野外应用频率域激发极化法,经常受到电磁感应耦合效应的干扰。尤其是在低阻地区,当所用电极装置较大时,这种干扰更为严重。区分和削弱电磁感应耦合的近似消除电磁感应耦合效应,国内外已有不少学者作过专门研究,并提出了许多近似法。目前,在我国常用的近似消除电磁感应耦合效应干扰的方法有:武汉地质学院罗延钟、张振浩同志的固定 α 法;冶金部物探公司战克等同志的解析法和量板法。从各种方法的应用情况来看,解析法要求野外作三个频组的测量,室内还需作较复杂的计算;固定 α 法虽然只需作两个频组的测量,但室内仍需作复杂的计算,且效果不甚理想;量板法虽然避免了复杂的计算,但其理论曲线有限,使其应用受到限制。

为满足快速普查找矿的需要,我们根据理论计算和模型实验验证,总结出一种简单的近似消除感应耦合效应的方法。即将频率域激发极化法中的电磁感应耦合效应作为有用信息,去放大用小频差观测的激电异常,从而获得有意义的激电异常。这种方法在野外工作中只需选用三个频率(组成两个频组),观测两个频散率值,在室内作简单计算就可以达到目的。

方法概述及理论计算

当我们在有极化源存在的地区,用三种频率(基本不产生感应耦合效应的频率 f_1 、可能产生感应耦合效应的频率 f_2 和一定会产生严重感应耦合效应的频率 f_3)供电观测时,观测值 $P_s(f_1, f_2)$ 反映的是纯激电异常, $P_s(f_2, f_3)$ 主要反映幅值很大的感应耦合效应, $P_s(f_1, f_3)$ 则是激电效应与感应耦合效应的综合反映。依公式:

$$P_s(f_D, f_G) = \frac{\Delta V_{fD} - \Delta V_{fG}}{\Delta V_{fD}} \quad (1)$$

$$\text{有: } P_s(f_1, f_3) - P_s(f_2, f_3) = \frac{\Delta V_{f1} - \Delta V_{f3}}{\Delta V_{f1}} - \frac{\Delta V_{f2} - \Delta V_{f3}}{\Delta V_{f2}} = \frac{\Delta V_{f3}}{\Delta V_{f2}} P_s(f_1, f_2) \quad (2)$$

令上式为 $P_s'(f_1, f_2)$ 则:

$$P_s'(f_1, f_2) = P_s(f_1, f_3) - P_s(f_2, f_3) = \frac{\Delta V_{f3}}{\Delta V_{f2}} P_s(f_1, f_2) \quad (3)$$

由(1)式可得:

$$\Delta V_{f3} = \Delta V_{f1} [1 - P_s(f_1, f_3)] \quad (4)$$

$$\Delta V_{f2} = \Delta V_{f1} [1 - P_s(f_1, f_2)] \quad (5)$$

将式(4)、(5)代入式(3)则:

$$P_1^1(f_1, f_2) = \frac{1 - P_1(f_1, f_3)}{1 - P_1(f_1, f_2)} \cdot P_1(f_1, f_2) \quad (6)$$

因为 $[1 - P_1(f_1, f_3)] > [1 - P_1(f_1, f_2)]$, 所以

$P_1^1(f_1, f_2) > P_1(f_1, f_2)$ 。可见利用 (2)、(6) 式可以将幅值较小的 $P_1(f_1, f_2)$ 放大。

用放大后的 $P_1^1(f_1, f_2)$ 代替 (2) 式中的 $P_1(f_1, f_2)$ 又可作两次放大。两次放大的公式是:

$$P_1^2(f_1, f_2) = \left[\frac{\Delta V_{f_3}}{\Delta V_{f_2}} \right]^2 \cdot P_1(f_1, f_2) \quad (7)$$

或

$$P_1^2(f_1, f_2) = \left[\frac{1 - P_1(f_1, f_3)}{1 - P_1(f_1, f_2)} \right]^2 \cdot P_1(f_1, f_2) \quad (8)$$

同理, 几次放大的公式是:

$$P_1^n(f_1, f_2) = \left[\frac{\Delta V_{f_3}}{\Delta V_{f_2}} \right]^n \cdot P_1(f_1, f_2) \quad (9)$$

或

$$P_1^n(f_1, f_2) = \left[\frac{1 - P_1(f_1, f_3)}{1 - P_1(f_1, f_2)} \right]^n \cdot P_1(f_1, f_2) \quad (10)$$

方法的可靠性

由于没有激电效应时 $P_1(f_1, f_2)$ 应为零 (实际工作中为幅值很小的背景值), 所以 $P_1^1(f_1, f_2)$ 也应为零。由于在普查工作中常用中梯装置, 布线方式是要求发现的异常位于 AB 中部, 所以用 (2) 和 (6) 式将小频差观测的异常放大, 恰好利用了中梯装置中部电磁感应耦合效应大的特点^[2]。可以认为, 放大的只是纯激电异常, 不含由于放大而出现假异常, 因而放大的结果是可靠的。

方法的意义

在野外工作中, 人们总希望交流激电的观测结果反映纯激电效应。根据理论计算和模型实验^[2] 我们已经知道: 当综合参数不大于 10^4 时^[3], 观测结果中的电磁感应耦合干扰很小, 可以忽略不计。由于纯激电效应与频率的关系式可以表示为 $P_1^n = K \lg(f_2/f_1)$, 频差越大 (即 f_2/f_1 越大), 所观测的激电异常也越大。因此, 在实际工作中 (特别是在低阻区) 为避免感应耦合效应, 反映较大的纯激电异常, 总是将低频 f_1 选得比较低。降低 f_1 增大频差, 虽然能增大 P_1^n 的幅值, 但是工作效率也会随之降低, 大地工业电流的干扰也会明显增大。因此, 实际工作中考虑到工作效率、勘探深度以及仪器可供选择的最小频率, 有时频差不可能太大 (如当 $f_2 = 0.9$ 赫时, 综合参数为 10^4 、仪器的最小可供选择频率为 0.3 赫, 则 f_2/f_1 最大为 3)。所以, 此时观测的纯激电异常幅值可能很小, 甚至不能反映激电异常的变化规律。过去遇到这样的情况, 只能采用增大高频 f_2 的方法来增大激电异常, 这时电磁感应耦合效应会迅速增大, 即电磁感应耦合就变得无法避免。根据上面的分析, 通过 (2)、(6) 式就可以将小频差所观测的幅值较小的纯激电异常放大, 使其清楚地反映出地下岩、矿石的激电效应变化规律, 并使电磁感应耦合效应减小或消除, 工作效率得到提高。

方法的应用

只有存在电磁感应耦合且难于避免时才应用 (2)、(6) 式, 否则仍应用常规的方法。应用此法的关键在于频率的选择。如前所述, 当综合参数不大于 10^4 时, 电磁感应耦合效应可以忽略, 因此在实际工作中, 当装置大小一定时, 可用 $f_2 (= 10^4 \cdot \rho_s / b^2)$ 作中间频率。选定 f_2 后, f_1 可取 f_2 的 $1/2 \sim 1/3$ 倍, f_3 可取 f_2 的 $10 \sim 20$ 倍。

前面已经讲到,应用上述公式可以作两次或多次放大。因为此时纯激电异常可以表示为 $P_s^{IP} = K_s \lg(f_2/f_1)$, 当 $f_2 = (2 \sim 3)f_1$ 时, $P_s^{IP} = (0.3 \sim 0.48) K_s$, 若用 (9) 式或 (10) 式将 P_s^{IP} 放大为原来的两倍, 则放大后的 $P_s^{IP} = (0.6 \sim 0.96) K_s$, 此时相当于 $f_2/f_1 = (4 \sim 9.1)$ 。即相当于用 $f_1 = (1/4 \sim 1/9.1) f_2$ 的频率观测的激电异常。同样若放大为原来的三倍, 则相当于用 $f_1 = (1/8 \sim 1/14) f_2$ 的频率观测的结果。可见用上列诸式放大低频差观测的结果, 可以得到与用大频差观测的相同结果。

这里我们讨论一下前述放大公式的“误差传递”问题。对 (6) 式求一次全微分, 并用该式除之, 整理后便得 $P_s^I(f_1, f_2)$ 与 $P_s(f_1, f_2), P_s(f_1, f_3)$ 的相对误差之间的关系式:

$$\frac{dP_s^I(f_1, f_2)}{P_s^I(f_1, f_2)} = K_1 \frac{dP_s(f_1, f_2)}{P_s(f_1, f_2)} - K_2 \frac{dP_s(f_1, f_3)}{P_s(f_1, f_3)} \quad (11)$$

式中: $P_s(f_1, f_2)$ 误差的放大系数:

$$K_1 = \frac{1}{[1 - P_s(f_1, f_2)]^2} \quad (12)$$

$P_s(f_1, f_3)$ 误差的放大系数:

$$K_2 = \frac{P_s(f_1, f_3)}{1 - P_s(f_1, f_3)} \quad (13)$$

从 (12)、(13) 两式可以看出: 只有当 $P_s(f_1, f_2) = 1$ 或 $P_s(f_1, f_3) = 1$ 时, K_1 或 K_2 才会很大, 而实际工作中 $P_s(f_1, f_3), P_s(f_1, f_2)$ 都很小, $P_s(f_1, f_2)$ 一般为百分之几, $P_s(f_1, f_3)$ 为百分之几到负的百分之几十。所以 K_1 一般略大于 1, K_2 则小于 1。可见上述放大公式的“误差传递”一般不会成为严重问题。

模 型 实 验

实验场地是大小为 $3.0 \times 1.6 \times 1.2 \text{ m}^3$ 的水池, 池中注入含食盐 4% 的盐水溶液, 模拟均匀介质。在水中放置模型, 造成不均匀介质。有以下几种模型:

铜板 ($30 \times 20 \times 0.2 \text{ cm}^3$);

含 C 50% 的水泥板 ($30 \times 15 \times 1 \text{ cm}^3$);

含 C 20% 的水泥板 ($30 \times 15 \times 1 \text{ cm}^3$)。

前两者模拟低阻不均匀体, 后者模拟高阻不均匀体。

用 XD—1 型信号发生器作发送机, 用 1 欧姆电阻上的电压测定供电电流的大小 (电阻的绝对误差为 10^{-3}), 接收机是 JB—1 B 型交流毫伏表, 此仪器经计量局检查, 观测质量满足 2.5 级标准。

实验装置为中梯装置, 采用“Π”型电极方式, $AB = 140 \text{ cm}$, $MN = 8 \text{ cm}$ 。A、B、M、N 电极均用石墨棒, 直径为 0.2 cm, 电极入水深度为 1 cm。A、B 电极间的中点为 $x = 0$ 的测点, $x = \pm 30$ 的测点距 $x = 0$ 测点的距离为 30 cm。测线选在水池中部, $x = 0$ 的测点正好落在水池的中心。

实验结果见图 1。为便于比较, 将放大后的结果也绘在相应图上。从图上可以看出 $P_s^I(5, 10^4)$ 与 $P_s(5, 10^4)$ 曲线在形态上是完全一致的, 两曲线的零点位置不变, $P_s^I(5, 10^4)$ 的异常幅值较同一点的 $P_s(5, 10^4)$ 大。实验结果与理论计算结果完全吻合。

实 例

1982 年青海冶金地质第八勘探队在青海某地采用 $AB = 1200 \text{ m}$, $MN = 60 \text{ m}$ 的中梯装置开展了时域和频率域激电工作, 频率域所采用的频率分别为 0.22; 1; 4.6; 22 赫。结果时域在剖面中部出现了

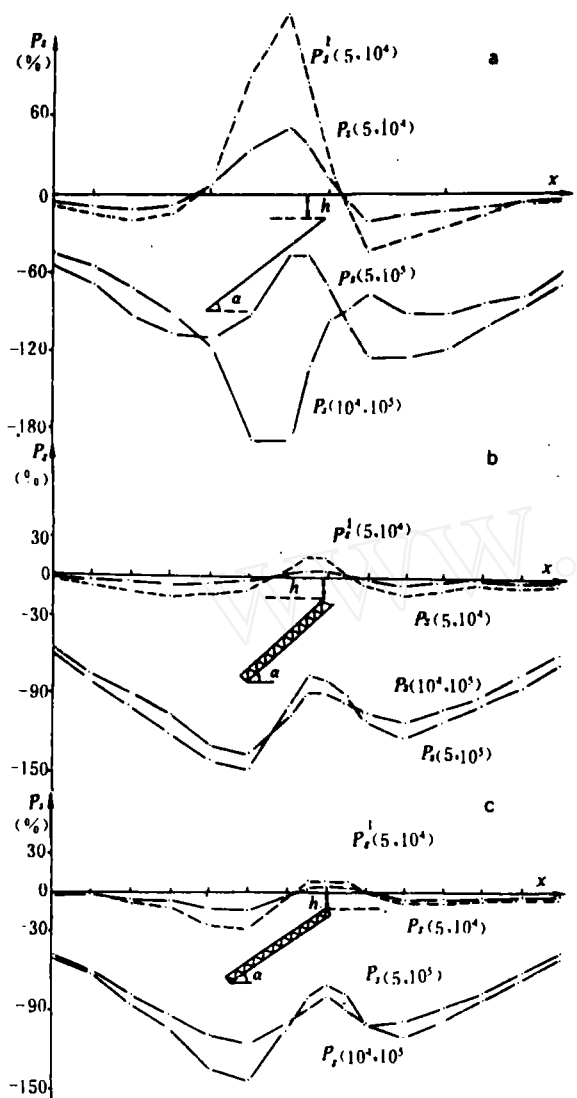


图1 平地非均匀质 ρ_s 剖面图

图a—铜板, $h = 3$ 厘米, $\alpha = 26.7^\circ$; 图b—含碳50%的水泥板, $h = 3$ 厘米, $\alpha = 33.7^\circ$; 图c—含碳20%水泥板, $h = 2$ 厘米, $\alpha = 31^\circ$

η_s 幅值达20%的正异常。说明地下有极化源存在。而频率域则在相应地段上, 频率高于2.2赫时均出现了负异常, $P_z(-22, 22)$ 达-90%, 明显地反映出电磁感应耦合效应的存在。虽加 $P_z(-22, 1)$ 反映的是激电异常(此时剖面上综合参数最大为 1.04×10^4), 但其幅值最大为4.4%。如果利用原始观测值 $P_z(-22, 22)$ 按(6)式将 $P_z(-22, 1)$ 放大, 则放大一次后 $P_z^1(-22, 1)$ 的最大值为7.4%, 放大两次后的 $P_z^2(-22, 1)$ 最大值为

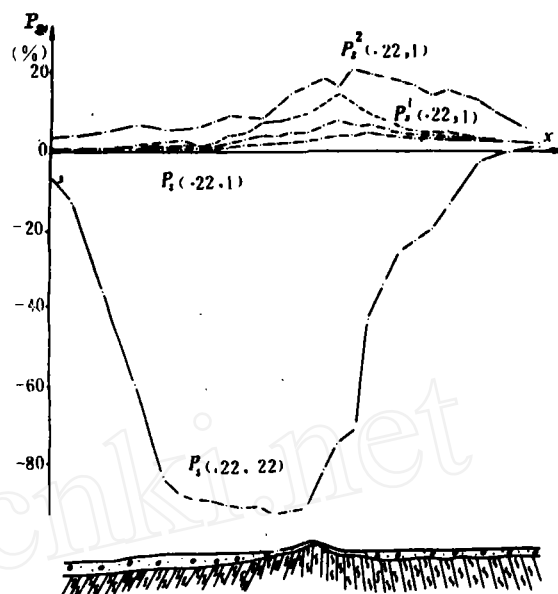


图2 时域和频率域观测结果对比图

13.8%, 曲线形态与时域 η_s 相同, 清楚地反映了激电效应在剖面上的变化规律。其结果见图2。

结 论

通过理论计算, 模型实验和实例验证, 我们认为应用小频差观测激电异常, 将高频引起的电磁感应耦合效应放大所观测的激电异常, 可间接消除电磁感应耦合效应, 并提高工作效率。此法比常规消除电磁感应耦合的方法简单、效果好。在工作中也许会遇到一些问题, 有待进一步探讨。

物探公司为我们的实验提供了方便, 沈莲金同志指导了实验, 战克同志为我们提供了野外资料, 中南矿冶学院何继善副教授审阅了全文, 在此一并致谢。

参 考 文 献

- [1] 傅良魁等:《激发极化法》, 北京, 地质出版社, 1982
- [2] 战克等: 物探与化探, 1981, 第1期
- [3] 罗延钟: 地质与勘探, 1980, 第10期
- [4] 张振浩等: 物探与化探, 1981, 第2期