走向北北东。与之对应的为沉积盖层凸起。4)航磁异常主要为稳定正异常区，具有正的区域异常背景。局部异常较多，大多呈北北东向展布。ΔT上延衰减速率增大，出现300～400 γ/公里的衰减区。深部隐伏岩体呈北北东向、北东向的串珠状出现。5)出露有大量的元古代—太古代地层尤其是太古代变质岩大面积出露。基底断裂构造发育，岩浆活动强烈，有不少基性、超基性岩产出。综上所述，我们认为以赣榆—泗阳断裂与郯庐断裂带东侧作为扬子准地台与华北准地台的界线似更为洽当些。

对于既缺乏地震测深资料，又为广大平原和水域所覆盖（约四分之三）的江苏地区来说，开展区域性重磁资料的研究工作是很有意义的。它不仅能充分发挥物探的特长去解释一些地质上一时难以解决的深部构造问题，而且又能为扩大找矿远景区提供新的线索，打开新的找矿思路。以上对江苏地区的两个地质构造问题进行粗浅的探讨，鉴于水平有限，不妥之处，请批评指正。

主要参考文献

[1] Б．А．安德雷耶夫，1963，区域构造地质学中的地球物理方法，中国工业出版社

[2] З．А．科卢蒂克霍夫，І．К．塔斯凯维茨，1982，深部地质构造信息源的长波磁异常，译文见桂林冶金地质学院物探译文集第五辑．

[3] 邵箩林、陆正立，物探与化探，1978，№4．

[4] 江苏省地质局区测队，江苏地质通论（内刊）1981

在起伏地形情况下水平线圈法中实分量的近似计算方法

冶金部地球物理探矿公司　阎　恕

水平线圈法是普查良导地质体的一种快速方法，所测实分量和虚分量可分别表示成：

$$\mathrm{Re}H = \mathrm{Re}H_2 + H_1 \qquad (1)$$

$$\mathrm{Im}H = \mathrm{Im}H_2 \qquad (2)$$

式中，$\mathrm{Re}H$为实测实分量；$\mathrm{Re}H_2$为二次场实分量；H_1为各测点上的一次场强；$\mathrm{Im}H$为实测的虚分量；$\mathrm{Im}H_2$为二次场的虚分量。$\mathrm{Re}H_2$，$\mathrm{Im}H_2$，H_1等均以校正点上一次场强的百分数表示。

由(1)式可见，在实测的实分量中，除包含有矿体产生的二次场$\mathrm{Re}H_2$外，还有一次场H_1的成分。在地形起伏的山区，由于各测点间高程的变化，以及各测点间测距的误差，都会使接收线圈和发射线圈的相对位置发生改变，从而使各测点上的H_1改变，这就是通常所说的地形对实分量的影响。这一影响是很大的，当地形坡度为5.8时，一次场将产生3%的变化。因此，在山区实测的实分量不能直接用于异常的推断解释。

然而，实分量这个参数在成果解释中是有意义的。它与虚分量相比，在分辨不同导电率的导体方面，有它一定的特点。对应不同的综合参数值，实、虚分量对综合参数的变化率是不同的。对于综合参数较小的导体，虚分量的反映较灵敏，对于综合参数较大的导体，实分量的分辨力大于虚分量。在野外所遇到的大量异常中，综合参数较小的导体常与良导覆盖层有关，而综合参数略大的导体往往是我们要找寻的良导矿体，从这个意义上讲，设法利用实分量这一参数，将有利于通过辨别导体的导电率，从而达到在某些特定地区，区分矿与非矿的目的。

对简单形体的理论计算和对复杂形体的模型实验结果表明，不同形状和产状的导体，它们的综合参数特性曲线的形状是很相近的。只要适当地移动双对数坐标，曲线的左半支可以较好地重合，而右半支则有所差异（图1）。

在各种低频感应法中，为压制地表良导覆盖层的干扰，通常是选择适当的工作频率，使所要找寻矿体的综合参数位于综合参数特性曲线的左

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

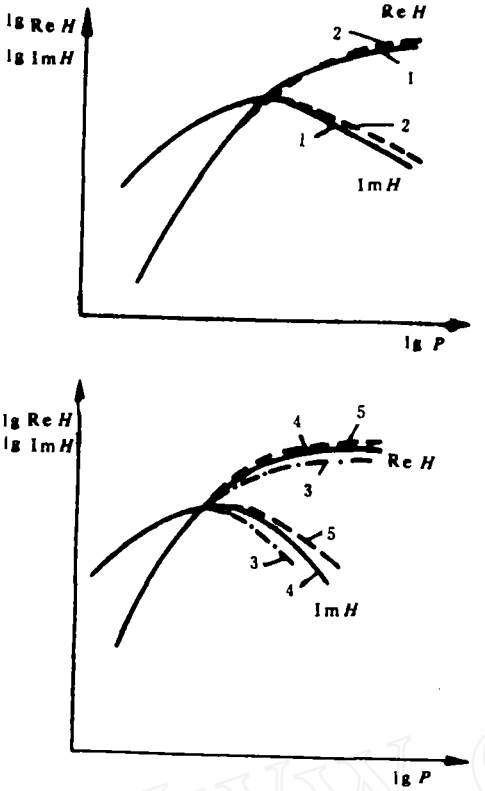


图 1

1—均匀场中水平圆柱体异常场的实、虚分量（理论计算结果）；2—偶极场中直立板状体异常场的实、虚分量（模型实验结果）；3—偶极场中水平板异常场的实、虚分量；4—倾角45°板的实、虚分量异常；5—直立板的实虚分量异常

半支。这就意味着，在我们所使用的频率范围内，异常值随频率变化的曲线形状有着共同的规律。根据这一规律，我们来研究计算实分量异常值的近似方法。

用$\Delta \mathrm{Re}H$代替$\mathrm{Re}H_2$的近似程度

在野外工作中，常采用两个频率进行测量。为消除地形起伏对实分量异常的影响，有时也利用在同一测点上用两个频率测得的实分量的差值（$\Delta \mathrm{Re}H$）来研究异常。为进一步利用实分量的差值，我们首先要研究的是$\Delta \mathrm{Re}H$与某一频率的二次场实分量（$\mathrm{Re}H_2$）的近似程度。为此，设与两个频率相应的综合参数分别为P_1，P_2，并表示成：

$$P_1 = K_0 \mu\sigma t L \omega_1$$

$$P_2 = K_0 \mu\sigma t L \omega_2$$

其中，K_0—对不同形状和产状导体的系数；μ—导磁率；σ—导电率；t—板状体的厚度；L—线圈距；ω—圆频率

在低频感应法中，为压制干扰，并取得较大的虚分量值，通常使P_1，P_2都位于综合参数曲线的左半支，其相应位置如图2所示。

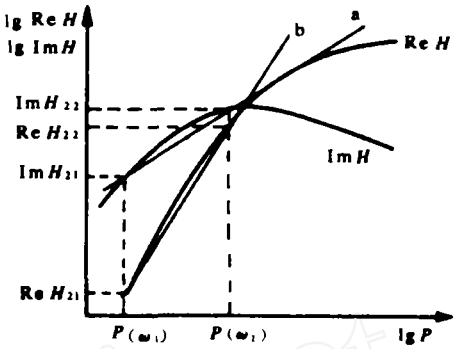


图 2

图2中与ω_1相对应的二次场实、虚分量分别为$\mathrm{Re}H_{21}$，$\mathrm{Im}H_{21}$，与ω_2相对应的二次场实、虚分量分别为$\mathrm{Re}H_{22}$，$\mathrm{Im}H_{22}$。在综合参数曲线上，用直线连接$\mathrm{Re}H_{21}$和$\mathrm{Re}H_{22}$，设该直线的斜率为b，其方程式可表示成：

$$\mathrm{Re}H_2 = (K\omega)^b$$

式中，$K = F(K_0 \mu\sigma t L, h/L)$

则与ω_1，ω_2相应的实分量值可分别表示成：

$$\mathrm{Re}H_{21} = (K\omega_1)^b \quad (3)$$

$$\mathrm{Re}H_{22} = (K\omega_2)^b \quad (4)$$

同样，虚分量可表示成：

$$\mathrm{Im}H_{21} = (K\omega_1)^a \quad (5)$$

$$\mathrm{Im}H_{22} = (K\omega_2)^a \quad (6)$$

式中，a为综合参数曲线上$\mathrm{Im}H_{21}$与$\mathrm{Im}H_{22}$连线的斜率，$K = G(K_0 \mu\sigma t L, h/L)$。

由(1)式已知，地形对实分量的影响，实质上是指各测点间，因相对空间位置的改变而造成的一次场H_1的变化。在同一地形下，对应不同频率，其一次场H_1的变化是相同的。因此，由ω_1，ω_2测得的实分量可分别表示成：

$$\mathrm{Re}H^1 = \mathrm{Re}H_{21} + H_1 \quad (7)$$

$$\mathrm{Re}H^2 = \mathrm{Re}H_{22} + H_1 \quad (8)$$

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

式中，ReH^1 和 ReH^2 分别为 ω_1，ω_2 时测得的实分量。

将同一测点上，不同频率测得的实分量相减，即（8）－（7），并将（3）、（4）代入，得：

$$\begin{aligned}\Delta ReH &= ReH^2 - ReH^1 \\ &= ReH_{22} - ReH_{21} \\ &= (K\omega_2)^b - (K\omega_1)^b\end{aligned}$$

当 $\omega_2 = n\omega_1$，则

$$\Delta ReH = ReH_{22}\left(1 - \frac{1}{n^b}\right) \qquad (9)$$

由（9）式可见，用两个频率测得的实分量之差值 ΔReH 来代替 ReH_{22}，其近似程度是由 n 和 b 所决定的。我们先讨论 n 值。一般仪器有两个频率，例如瑞典ABEM公司生产的电磁枪为440 赫和1760赫，加拿大麦法公司生产的VHEM仪为600赫，2400赫，可见一般仪器所选用的两个频率可以做到 $\omega_2 = 4\omega_1$，亦即 $n = 4$，有的仪器还可提供更多的频率，n 值也更大。b 值是由 P_1，P_2 在综合参数曲线上的位置所决定的。众所周知，在低频段内 $b = 2$，当取 $n = 4$ 时，由（9）式得：

$$\begin{aligned}\Delta ReH &= ReH_{22}\left(1 - \frac{1}{n^b}\right) \\ &= ReH_{22} \cdot 93.7\%\end{aligned}$$

当 $n = 4$，高频选在最佳频率，由综合参数曲线查得 $b = 1.53$，则由(9) 式得：

$$\Delta ReH = ReH_{22} \cdot 88\%$$

由此可见，当 $\omega_2 = 4\omega_1$，且高频选在等于或小于最佳频率时，用 ΔReH 代替 ReH_{22} 的近似程度可达93.7%～88%，并随着 n 值的增大，近似程度会更好。

对于陡倾斜的板状导体，实分量的异常值一般小于20%，这时用 ΔReH 来代替 ReH_{22}，可以认为是有足够精度的。由（9）式可见，随着 $b < 2$，ΔReH 近似于 ReH_{22} 的程度会逐渐变差，但在最佳频率附近，尽管近似程度变差，而 ΔReH 的绝对值是会更明显的。因此，在使用两个频率进行野外工作的测区，应该计算出 ΔReH 值，并用 ΔReH 成图，根据 ΔReH 和 ImH_{22} 的相对大小的变化，对异常体导电率进行相对的判断，这对异常的解释是有意义的。

利用公式（9）计算实分量

在（9）式中，n 为所选用两个频率之间的倍数，ΔReH 为两个频率实测的实分量之差值，这些都是已知的，只要求得 b 值，即可得到 ReH_{22}。

在综合参数曲线上，b 与 a 有一定的关系。用均匀场水平圆柱体综合参数理论曲线，计算得 a 与 b 的关系示于图 3。它同样适用于偶极场中的各种形体。

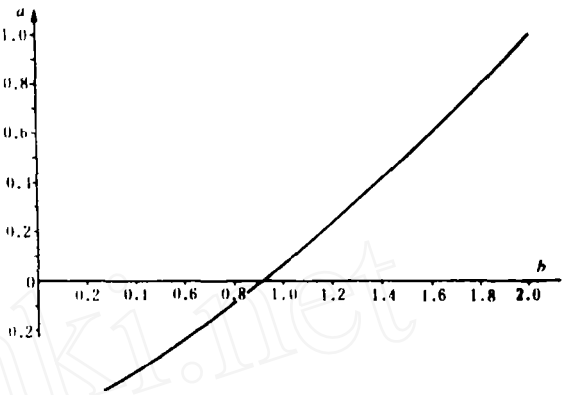


图 3　a —b 关系曲线（$n = 3 - 5$）

a 值是可以由 ω_1 和 ω_2 实测的虚分量值计算出来的。对(5)、(6) 式取对数得：

$$\lg ImH_{21} = \lg (K\omega_1)^a$$

$$\lg ImH_{22} = \lg (K\omega_2)^a$$

解得：$$a = \lg\left(\frac{ImH_{22}}{ImH_{21}}\right) / \lg(\omega_2/\omega_1) \qquad (10)$$

由（10）计算出 a 值，根据计算的 a 值，在图 3 上查得相应的 b 值，代入（9）式，则可计算出 ReH_{22}。在这里要说明的是，在应用 a 与 b 关系曲线时，只有 ImH_{22} 位于综合参数曲线的左半支，即当 $n = 3$、$a > 0.4$；$n = 4$，$a > 0.5$；$n = 5$，$a > 0.6$ 时，由公式（9）计算 ReH_{22} 的误差较小，而当 ImH_{22} 位于综合参数曲线的右半支，即当 a 小于上述各值时，对不同产状和形状的导体会有不同程度的计算误差，并且表现为系统误差。

图 4 给出用（9）式计算的与模型实验实测的实分量对比曲线。图中，计算的实分量值普遍小于实测的实分量，这主要是因为在1760赫时，实分

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

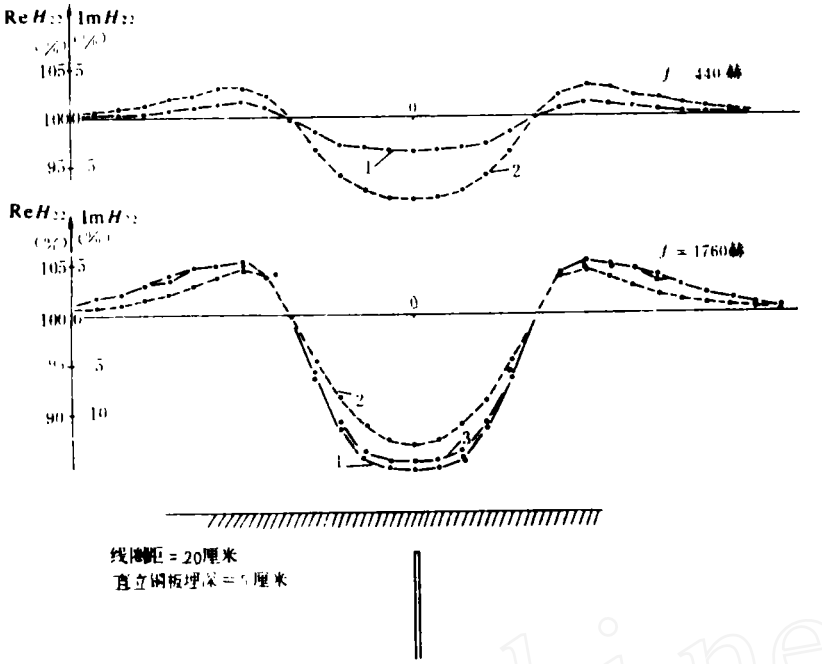


图 4　计算的与实测的实分量值的对比

1—实测实分量；2—虚分量；3—计算的实分量

量已大于虚分量，亦即高频已位于综合参数的右半支，造成了系统误差。

用三个频率的实测值计算实分量

当用三个频率进行测量时，在综合参数曲线上，如果这三个频率的实分量值呈线性关系，那么这三个实分量值可以表示成：

$$\mathrm{Re}H^1 = (K\omega_1)^b + H_1 \qquad (11)$$

$$\mathrm{Re}H^2 = (K\omega_2)^b + H_1 \qquad (12)$$

$$\mathrm{Re}H^3 = (K\omega_3)^b + H_1 \qquad (13)$$

式中$\mathrm{Re}H^1$，$\mathrm{Re}H^2$，$\mathrm{Re}H^3$分别为ω_1，ω_2和ω_3时实测的实分量值。

当$\omega_3 = n\omega_2 = n^2\omega_1$时，

(12) − (11) 得：

$$\Delta\mathrm{Re}H^{2-1} = \mathrm{Re}H^2 - \mathrm{Re}H^1 = \mathrm{Re}H_{22}\left(1 - \frac{1}{n^b}\right) \qquad (14)$$

(13) − (12) 得：

$$\Delta\mathrm{Re}H^{3-2} = \mathrm{Re}H^3 - \mathrm{Re}H^2 = \mathrm{Re}H_{22}(n^b - 1) \qquad (15)$$

(15) ÷ (14) 得：

$$\frac{\Delta\mathrm{Re}H^{3-2}}{\Delta\mathrm{Re}H^{2-1}} = n^b \qquad (16)$$

由 (16) 式解出b值，代入下列各式，求得各实分量值：

$$\mathrm{Re}H_{21} = \Delta\mathrm{Re}H^{2-1} / (n^b - 1) \qquad (17)$$

$$\mathrm{Re}H_{22} = \Delta\mathrm{Re}H^{2-1} / \left(1 - \frac{1}{n^b}\right) \qquad (18)$$

$$\mathrm{Re}H_{23} = \Delta\mathrm{Re}H^{3-2} / \left(1 - \frac{1}{n^b}\right) \qquad (19)$$

在利用这种方法计算实分量时，首先要判断各实分量值在综合参数曲线上是否具有线性关系。一般说来，在综合参数曲线左半支的低频段，或虽然频率略高，但ω_1，ω_2，ω_3的间隔较小，则易于满足线性关系，这也可通过计算相应的三个虚分量值是否满足线性来进一步判断，由 (10) 得：

$$a = \lg\left(\frac{\mathrm{Im}H_{22}}{\mathrm{Im}H_{21}}\right) / \lg\left(\frac{\omega_2}{\omega_1}\right)$$

$$a_2 = \lg\left(\frac{\mathrm{Im}H_{23}}{\mathrm{Im}H_{22}}\right) / \lg\left(\frac{\omega_3}{\omega_2}\right)$$

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

如果$a_1 = a_2$，这说明虚分量是线性的。在综合参数曲线上，如果虚分量满足线性关系，实分量也一定会满足线性关系。

上述两种计算实分量的方法，一般说来适用于解释孤立导体的异常，但对于有几个导体相叠加的异常，只要高频所对应的综合参数值位于良导性地质体的综合参数曲线的左侧，这些计算方法仍可近似地应用。实际上这一条件常是可以满足的，因为工作中所选用的频率，常在矿体最佳频率的左侧，相叠加的异常往往是导电率略差些的覆盖层所引起。

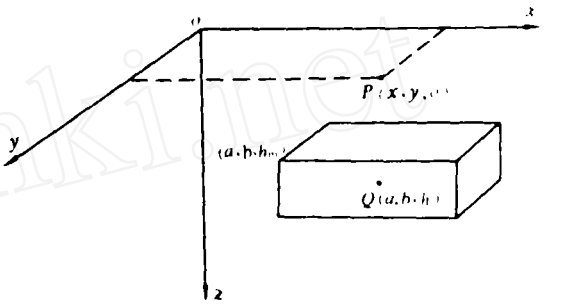
重磁异常快速正演计算的一种方法

左海燕　许　谨

前　言

重磁异常的正演计算以往大多在空间域进行，所用模型的计算公式都比较复杂，计算速度慢，特别是三维情况更是如此。近年来，这种正演计算为普遍地改在频率域进行，计算速度变快，但由于在频谱数字化过程中存在的一些问题，使计算精度受到一定的影响。

我们根据文献[1]中所提供的矩形棱柱体磁异常简化表达式进行了试算，并与原有正演方法作了对比，结果表明，这种方法可以推广到多种重磁异常模型的正演计算，成为位场正、反演快速计算的一种有力的工具。



矩形棱柱体模型示意图

矩形棱柱体模型磁异常的简化表达式

如图所示，取坐标轴平行于棱柱体的各个边，Z 轴垂直向下为正。(a, b, h) 为体中任一点 Q 的坐标，(a_k, b_l, h_m) 是长方体角点的坐标，(x, y, o) 是观测平面上任一点 P 的坐标。

令：$\alpha_k = a_k - x$，$\beta_l = b_l - y$，$\gamma_m = h_m$，$k, l, m = 1, 2$。

并设 (p, q, r) 表示地磁场向量的方向余弦，(P, Q, R) 表示磁化强度向量的方向余弦

利用泊松公式可以很方便地得出该模型磁异常各个分量的解析表达式：

$$Z_a = J\sum_{k=1}^{2}\sum_{l=1}^{2}\sum_{m=1}^{2} S\left\{P\cdot\ln(R_{klm}+\beta_l)+Q\cdot\ln(R_{klm}+\alpha_k)+R\left(\mathrm{tg}^{-1}\frac{\alpha_k\gamma_m}{R_{klm}\beta_l}+\mathrm{tg}^{-1}\frac{\beta_l\gamma_m}{R_{klm}\alpha_k}\right)\right\} \quad (1)$$

$$H_X = J\sum_{k=1}^{2}\sum_{l=1}^{2}\sum_{m=1}^{2} S\left\{-P\cdot\mathrm{tg}^{-1}\frac{\beta_l\gamma_m}{R_{klm}\alpha_k}+Q\cdot\ln(R_{klm}+\gamma_m)+R\ln(R_{klm}+\beta_l)\right\} \quad (2)$$

$$H_Y = J\sum_{k=1}^{2}\sum_{l=1}^{2}\sum_{m=1}^{2} S\left\{P\cdot\ln(R_{klm}+\gamma_m)-Q\cdot\mathrm{tg}^{-1}\frac{\alpha_k\gamma_m}{R_{klm}\beta_l}+R\cdot\ln(R_{klm}+\alpha_k)\right\} \quad (3)$$

$$\Delta T = \sum_{k=1}^{2}\sum_{l=1}^{2}\sum_{m=1}^{2} S\left\{A_1\ln(R_{klm}+\alpha_k)+A_2\ln(R_{klm}+\beta_l)+A_3\ln(R_{klm}+\gamma_m)+A_4\mathrm{tg}^{-1}\frac{\alpha_k\gamma_m}{R_{klm}\beta_l}+A_5\mathrm{tg}^{-1}\frac{\beta_l\gamma_m}{R_{klm}\alpha_k}\right\} \quad (4)$$

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net