

## 利用异常平面图和岩矿心标本测定结果确定磁化强度矢量的方法

李 盛 汉

(华东有色地质勘探公司814队)



物探与化探

众所周知,在磁异常的推断解释和正演计算中,常常需要确定磁性体的磁化强度矢量,也就是确定其磁化强度的大小、倾角和偏角。磁化强度矢量主要是由磁性体的感应磁化强度矢量及剩余磁化强度矢量决定的。当感磁大于剩磁,二者方向一致,但磁性均不强,而且不考虑退磁影响时,磁性体磁化强度的大小将为感磁与剩磁之和,其方向也就是地磁场的方向。但在实际工作中常遇到强磁性的地质体,其剩磁大于感磁,方向不一致,此时磁性体的磁化强度矢量主要取决于剩磁矢量。要确定剩磁的大小及方向,需在露头及坑道中采集大量的定向标本,经过精密测定、计算统计后而求得。但露头标本磁性一般并不代表深部磁性体的磁性,在磁性体被掩埋,无坑道标本可采的情况下,笔者提出一种简易的方法,利用在异常验证及矿床勘探阶段采取的半定向岩矿心标本,测定磁化率及剩磁的垂直分量和倾角。如磁性体为等轴状且为均匀斜磁化,则可根据正负异常极值点的连线来确定磁性体磁化强度矢量的偏角。由于各轴向的退磁系数相同,其磁化强度经退磁后,只改变数值,不改变方向,测得标本的磁化强度方向,即磁性体的磁化强度方向。再经计算便可得到磁性体的磁化强度矢量。

## 具 体 方 法

一、利用异常平面等值线图确定磁性体磁化强度水平分量 $\vec{J}_H$ 的偏角 $D$ 

磁性体受倾斜磁化影响,在正磁异常的旁侧一般伴生有负磁异常。理论计算表明<sup>[1]</sup>,当磁性体近似等轴状时,斜磁化引起的正负异常极大值( $\Delta Z_{\max}, \Delta Z_{\min}$ )的中心连线与磁北方向的夹角,即为磁化强度水平分量 $\vec{J}_H$ 的偏角。故在异常等值线平面图上连接正负异常极值点,并量出其与磁北方向的夹角,即得偏角 $D$ 。(图1)

当有区域磁场、岩体和其他干扰异常存在,并叠加有地形影响时,异常形态将变复杂,正负极值不明显或极值点偏移,这时需要设法先将这些干扰异常消除后,再用正负极值点的连线确

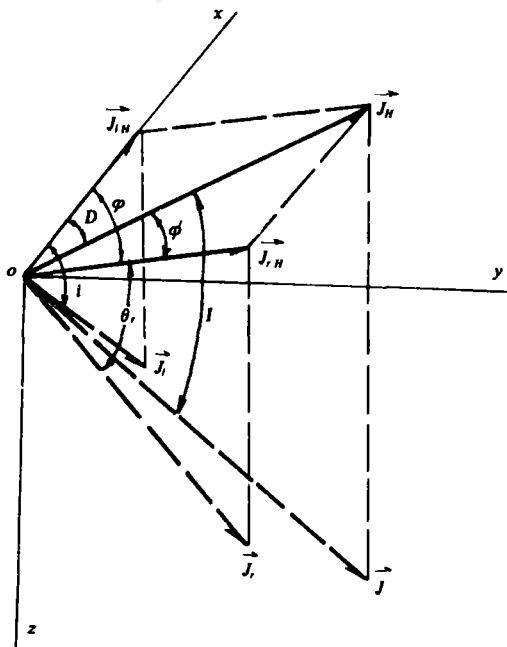


图1 磁性体磁化强度矢量图

定 $D$ 角。

二、采取岩(矿)心进行半定向测定, 取得 $\kappa$ ,  $J_{rz}$ 及 $J_r$ 的倾角 $\theta_r$ 等参数

采取钻孔岩矿心测定磁参数: 如果钻孔为直孔, 岩矿心的中轴线垂直向下, 与地理坐标 $z$ 轴重合, 则剩磁垂直分量 $J_{rz}$ 可测得, 虽然 $x, y$ 轴无法确定, 测得的剩磁水平分量 $J_{rx}$ ,  $J_{ry}$ 的模不是 $x, y$ 轴向的真实数据, 但对于磁性均匀的同一块标本来说,  $x, y$ 轴取不同方向, 其 $(J_{rx}^2 + J_{ry}^2)^{1/2}$ 值是相同的, 故可由下式求得剩磁 $J_r$ 的倾角 $\theta_r$ :

$$\theta_r = \text{tg}^{-1} \left( \frac{J_{rz}}{(J_{rx}^2 + J_{ry}^2)^{1/2}} \right),$$

如能定出岩矿心的上下端, 则 $\theta_r > 0$ 表示 $J_r$ 向下, 倾角为正;  $\theta_r < 0$ , 则 $J_r$ 向上, 倾角为负。如岩矿心上下端不能确定, 一般情况下, 可根据异常的平面特征判断, 例如, 与正异常伴生的负值大于正值, 则可能 $\theta_r < 0$ 。

当钻孔为斜孔时, 由于标本的 $x, y$ 轴取任意方向,  $(J_{rx} + J_{ry})^{1/2}$ 值不同, 故不能求得 $\theta_r$ 的真实数值。

标本测定时, 还要测定标本的视磁化率 $\kappa'$ 和视剩磁的垂直分量 $J_{rz}$ , 对于强磁性标本还要根据标本的形状选择退磁系数 $N$ 值, 按照公式:  $\kappa = \frac{\kappa'}{1 - N\kappa'}$  和  $J_{rz} = \frac{J_{rz}}{1 - N\kappa}$  分轴进行退磁改正, 计算每块标本的真磁化率 $\kappa$ 和真剩磁的垂直分量 $J_{rz}$ 值。并根据大量标本的测定结果进行统计, 求得 $\theta_r, K, J_{rz}$ 的平均值。

三、计算 $J_r$ 的偏角 $\varphi$ 及其沿 $x, y$ 轴的分量 $J_{rx}, J_{ry}$ 值

虽然每块标本剩磁的偏角 $\varphi$ 不能测得, 但根据 $\kappa, J_{rz}, D, \theta_r$ 和当地地磁场强度 $T_0$ 及其倾角 $I_0$ 值, 便可计算整个磁性体 $J_r$ 的偏角 $\varphi$ 。

设感磁和剩磁的水平分量分别为 $J_{iH}, J_{rH}$ , 则由图1得:

$$J_{iH} = J_i \cos I_0 = \kappa T_0 \cos I_0$$

$$J_{rH} = J_{rz} \text{ctg} \theta_r$$

由正弦定理即可求得 $J_{rH}$ 与 $J_{iH}$ 之间的夹角 $\varphi'$ :

$$\begin{aligned} \therefore \frac{J_{rH}}{\sin D} &= \frac{J_{iH}}{\sin \varphi'} \\ \therefore \sin \varphi' &= \frac{J_{iH} \sin D}{J_{rH}} = \frac{\kappa T_0 \cos I_0 \sin D}{J_{rz} \text{ctg} \theta_r} \end{aligned}$$

即

$$\varphi' = \sin^{-1} \left( \frac{\kappa T_0 \cos I_0 \sin D}{J_{rz} \text{ctg} \theta_r} \right)$$

由此即可求得剩磁的偏角 $\varphi$

$$\varphi = D + \varphi'$$

根据 $\varphi$ 角还可求得剩磁沿 $x, y$ 轴分量的模:

$$J_{rx} = J_{rH} \sin \varphi = J_{rz} \text{ctg} \theta_r \sin \varphi$$

$$J_{ry} = J_{rH} \cos \varphi = J_{rz} \text{ctg} \theta_r \cos \varphi$$

四、计算磁性体磁化强度 $J$ 及其倾角 $I$

有两种计算方法。

方法1: 设感磁 $J_i$ 及剩磁 $J_r$ 在磁化强度 $J$ 的铅垂面上的倾角分别为 $i_j, \theta_j$ , 由图2、图3得:

$$\operatorname{tg} i_J = J_{iz} / J_{iHJ} = J_{iz} / J_{iH} \cos D = \operatorname{tg} I_0 / \cos D$$

$$\operatorname{tg} \theta_J = J_{rz} / J_{rHJ} = J_{rz} / J_{rH} \cos \varphi' = \operatorname{tg} \theta_r / \cos \varphi'$$

即:

$$i_J = \operatorname{tg}^{-1} (\operatorname{tg} I_0 / \cos D) ; \quad \theta_J = \operatorname{tg}^{-1} (\operatorname{tg} \theta_r / \cos \varphi')$$

感磁或剩磁在磁化强度 $\vec{J}$ 的铅垂面上的投影值 $J_{iJ}$ ,  $J_{rJ}$ 由下式求得:

$$J_{iJ} = J_{iHJ} / \cos i_J = J_{iH} \cos D / \cos i_J = \kappa T_0 \cos I_0 \cos D / \cos i_J$$

$$J_{rJ} = J_{rHJ} / \cos \theta_J = J_{rH} \cos \varphi' / \cos \theta_J = J_{rz} \operatorname{ctg} \theta_r \cos \varphi' / \cos \theta_J$$

必须指出, 对于强磁性的地质体, 要进行退磁改正, 即将 $J_{iJ}$ ,  $J_{rJ}$ 乘上 $\frac{1}{1+N\kappa}$ , 对于球体 $N = \frac{4\pi}{3}$ 。

根据 $i_J$ ,  $\theta_J$ ,  $J_{iJ}$ ,  $J_{rJ}$ 值用矢量合成法即可求得磁性体的磁化强度 $J$ 及倾角 $I$ 。

方法2: 感磁 $\vec{J}_i$ 在磁化强度 $\vec{J}$ 的铅垂面上的

水平、垂直分量为:

$$J_{iHJ} = J_{iH} \cos D = \kappa T_0 \cos I_0 \cos D$$

$$J_{iz} = \kappa T_0 \sin I_0$$

$$J_{rHJ} = J_{rH} \cos \varphi' = J_{rz} \operatorname{ctg} \theta_r \cos \varphi'$$

$J_{rz}$ 为已知, 将 $J_{iHJ}$ ,  $J_{iz}$ ,  $J_{rHJ}$ ,  $J_{rz}$ 分别

乘上 $\frac{1}{1+N\kappa}$ 进行退磁改正, 然后作出 $\vec{J}_{iJ}$ ,  $\vec{J}_{rJ}$

矢量, 再由 $\vec{J}_{iJ}$ 和 $\vec{J}_{rJ}$ 作矢量和, 便求得 $J$ 及其倾角 $I$ 。

五、计算剖面上的磁化强度 $J_s$ 及有效磁倾角 $I_s$ 。

设剖面与磁化强度水平分量 $\vec{J}_H$ 的夹角为 $A'$ ,

感磁、剩磁在剖面上的磁化强度分别为 $J_{is}$ ,  $J_{rs}$ , 其倾角分别为 $i_s$ ,  $r_s$ , 则由经退磁改正后的 $J_{iHJ}$ ,  $J_{iz}$ ,  $J_{rHJ}$ ,  $J_{rz}$ 值便可求得:

$$J_{is} = [(J_{iHJ} \cos A')^2 + J_{iz}^2]^{1/2}, \quad i_s = \operatorname{tg}^{-1} (J_{iz} / J_{iHJ} \cos A')$$

$$J_{rs} = [(J_{rHJ} \cos A')^2 + J_{rz}^2]^{1/2}, \quad r_s = \operatorname{tg}^{-1} (J_{rz} / J_{rHJ} \cos A')$$

再由 $\vec{J}_{is}$ ,  $\vec{J}_{rs}$ 及 $i_s$ ,  $r_s$ 值作矢量和即求得计算剖面上的磁化强度 $J_s$ 及 $I_s$ 。

$I_s$ 还可由下式计算得:

$$I_s = \operatorname{tg}^{-1} (\operatorname{tg} I / \cos A')$$

## 应用范围讨论

上述方法是从斜磁化等轴状磁性体出发考虑的, 但实际上完全等轴状的矿体或磁性岩石是很少见的, 它是否适用于非等轴磁性体呢? 为了探讨本方法的应用范围, 选择旋转椭球体作理论模型进行对比计算。

如图4所示, 设水平旋转椭球体( $a > b = c$ )的长轴方向为NE 45°, 磁性参数为:  $\kappa = 0.2$  CGSM,  $J_{rz} = 0.15$  CGSM,  $\theta_r = 60^\circ$ ,  $\varphi' = 20^\circ$ ,  $D = 20^\circ$ , 当地地磁场强度 $T_0 = 0.45$  CGSM, 倾角 $I_0 = 45^\circ$ , 由于旋转椭球体长轴( $a$ )方向的退磁系数小于短轴( $b$ ,  $c$ )方向的退磁系数(即 $N_a < N_b = N_c$ ), 故在退磁作用下, 感磁和剩磁的方向均偏向 $a$ 轴方向。设感磁、剩磁沿 $a$ ,  $b$ 轴的矢量分别为 $\vec{J}_{ia}$ ,  $\vec{J}_{ib}$ ,  $\vec{J}_{ra}$ ,  $\vec{J}_{rb}$ , 则其模有:

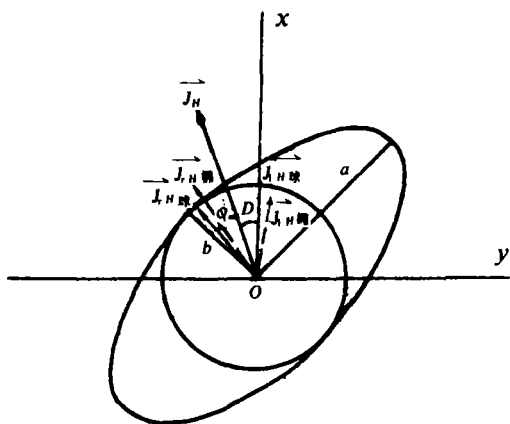


图4 球体和旋转椭球体  
磁化强度矢量俯视图

同时有:

$$J_{iz} = \frac{1}{1 + N_c \kappa} \kappa T_0 \sin 45^\circ$$

对已知的  $J_{rz}$  值乘以  $\frac{1}{1 + N_c \kappa}$  进行退磁改正。将  $J_{iHJ}$ ,  $J_{rHJ}$ ,  $J_{iz}$ ,  $J_{rz}$  代入下式便可求得旋转椭球体的磁化强度  $J$  及其倾角  $I$ 。

$$J = \left[ (J_{iHJ} + J_{rHJ})^2 + (J_{iz} + J_{rz})^2 \right]^{1/2}$$

$$I = \tan^{-1} \frac{J_{iz} + J_{rz}}{J_{iHJ} + J_{rHJ}}$$

分别取旋转椭球体的  $a$  轴为  $b$ ,  $c$  轴长的1.5、2、3、5、10倍,并选取相应的退磁系数值<sup>[2]</sup>,按照上述公式进行计算,结果如下表。旋转椭球体应用本文提出的方法当作球体计算的结果亦列于下表。

旋转椭球体与球体对比计算结果

| 形状    | $a$ | $b$ | $c$ | $J_{iHJ}$ | $J_{iz}$ | $J_{rHJ}$ | $J_{rz}$ | $i_J$  | $\theta_J$ | $J$    | $I$    |
|-------|-----|-----|-----|-----------|----------|-----------|----------|--------|------------|--------|--------|
| 球体    | 1   | 1   | 1   | 0.0325    | 0.0346   | 0.0443    | 0.0816   | 46°00' | 61°00'     | 0.1393 | 56°32' |
| 旋转椭球体 | 1.5 | 1   | 1   | 0.0327    | 0.0324   | 0.0419    | 0.0763   | 44°40' | 61°14'     | 0.1319 | 55°31' |
|       | 2   | 1   | 1   | 0.0333    | 0.0312   | 0.0407    | 0.0736   | 43°07' | 61°04'     | 0.1283 | 54°46' |
|       | 3   | 1   | 1   | 0.0342    | 0.0300   | 0.0394    | 0.0707   | 41°18' | 60°51'     | 0.1247 | 53°50' |
|       | 5   | 1   | 1   | 0.0354    | 0.0291   | 0.0386    | 0.0686   | 39°25' | 60°38'     | 0.1226 | 52°51' |
|       | 7   | 1   | 1   | 0.0361    | 0.0288   | 0.0383    | 0.0678   | 38°32' | 60°31'     | 0.1219 | 52°22' |
|       | 10  | 1   | 1   | 0.0365    | 0.0285   | 0.0381    | 0.0623   | 38°00' | 58°31'     | 0.1175 | 50°57' |

磁化强度为单位 CGSM

由表可见,随着  $a$  轴增大,磁化强度  $J$  和倾角  $I$  均有规律地减小,但减小的幅度不大,对于一个长轴为短轴7倍的斜磁化旋转椭球体来说,把它作为球体应用本方法确定磁化强度的平均相对误差不超过15%,倾角误差不超过5°。因为斜磁化旋转椭球体,也可根据正负异常的极值点连线确定磁化强度的偏角,故本文提出的方法除适用于球体、立方体外,在允许误差范围内,也可用于长轴与短轴之比不大的椭球体或走向不长的圆柱体。

## 应用实例

江苏某磁异常经钻探验证为磁铁矿引起, 异常区内表土覆盖达300余米, 无法采集定向标本, 但该区钻孔均为直孔, 可采取岩矿心进行磁参数的半定向测定。经大量标本测定统计, 磁铁矿的  $\kappa = 0.25$  CGSM,  $J_z = 0.15$  CGSM,  $\theta_r = 62^\circ$ 。已知地磁场  $T_0 = 0.4864$  CGSM,  $I_0 = 46^\circ 24'$ ; IV剖面的方位角  $N38^\circ W$ 。在该剖面上, ZK1孔见矿五层, 共14.54米厚, 因事故没打到预定深度。ZK205孔见矿2.31米, 有较强的磁测井旁测异常。2、3号孔均未见矿。

磁异常平面形态成椭圆形, 可近似看作是椭球状或走向有限的椭圆柱状矿体引起。因矿异常叠加在岩体异常之上, 与实测正异常伴生的负值不明显, 且主要分布在正值的北东侧, 经消除岩体异常后, 负值非常明显, 其中心移至北西侧, 连接正负极值点求得矿体磁化强度的偏角  $D$  为  $N20^\circ W$ , 它之所以偏离正常地磁场方向是因为剩磁大于感磁, 且有较大的偏角。利用以上数据和本方法计算, 得  $\varphi = 41^\circ$ ,  $J_s = 0.13$  CGSM,  $I_s = 57^\circ 20'$ 。由IV剖面实测  $Z_a$  值及换算的  $H_a$  值用公式:

$$\operatorname{tg} I_s = \frac{\int_{-x_n}^{x_n} x H_a b x}{\int_{-x_n}^{x_n} x Z_a b x}$$

确定的  $I_s = 62^\circ$ , 两者仅相差  $4^\circ 40'$ 。

根据以上计算结果, 选取  $J_s = 0.13$  CGSM,  $I_s = 57^\circ$  进行理论计算, 理论曲线与实测曲线吻合较好, 与重力的解释结果也一致。推断主矿体的埋深、厚度及范围与后来1线钻探结果大体相同 (图5)。

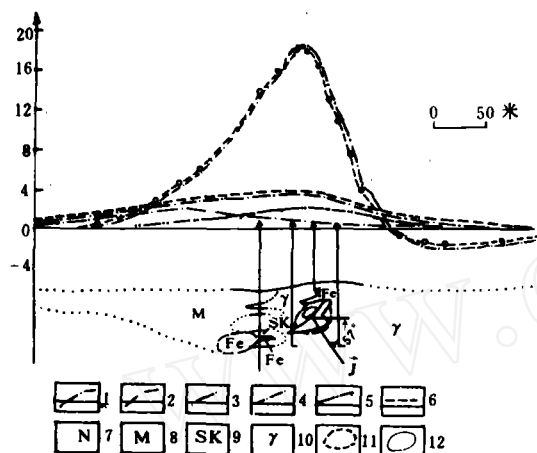


图5 IV剖面重磁异常解释图

1— $\Delta Z$  局部异常曲线; 2—推断的  $\Delta Z$  理论曲线;  
3— $\Delta g$  局部异常曲线; 4—推断的大理岩  $\Delta g$  理论曲线; 5—推断的矿体的  $\Delta g$  理论曲线; 6—矿体 + 大理岩的  $\Delta g$  理论曲线; 7—第三和第四系;  
8—大理岩; 9—夕卡岩; 10—花岗岩; 11—推断矿体; 12—已知矿体

## 参考文献

- [1] 桂林冶金地质研究所、冶金部地球物理探矿公司: 几种规则三度体磁异常垂直分量 ( $\Delta Z$ ) 平面理论曲线图集, 北京, 地质出版社, 1975年
- [2] 《地质磁测资料解释推断手册》编写组: 地面磁测资料解释推断手册, 北京, 地质出版社, 1979年
- [3] 广西冶金地质学校磁法教研组: 地质与勘探, 1978, 第2期, 73~78页