

# 判别磁异常性质的一种新方法<sup>①</sup>

## ——磁偏角磁倾角法

刘长莽

(华北有色地质勘查局地质研究所)

**提 要** 由于岩矿体剩余磁化强度与感应磁化强度的差异导致岩矿磁异常差异及磁偏角、磁倾角的不同,根据这一特征来判别异常性质。

**关键词** 磁偏角 磁倾角 判别异常性质

在应用磁法勘探寻找各类磁铁矿床(或含铜磁铁矿床)时,特别是寻找磁异常强度较低的接触交代型磁铁矿床(或含铜磁铁矿床)时,存在着如何判别异常性质、区分矿与非矿异常的问题。已有不少学者对此做过很多有益的探讨,并取得了一定的效果。但这些探讨大都是从异常本身特征,如异常强度、形态规模、正负异常的关系及数据处理后场的变化等来进行的,本文试图从一个新的途径来研究这一问题。

### 1 地磁要素——理论依据

在地球表面和它周围空间中的直接观测,都表明地球具有磁场。这个磁场我们称为地磁场。地磁场强度是一个矢量。将一个磁针通过它的重心悬挂起来,使能自由转动,可以发现它在静止时不但有一定的方位,而且还有一定的倾向。这时磁针在空间所指的方向就是它的重心位置所在点的地磁场方向。

我们采用直角坐标系研究空间某一点的地磁场强度矢量。原点 $O$ 选在观测点上, $XOY$ 平面为水平面, $X$ 轴指向地理北(即地理子午面方向) $Y$ 轴指向地理东, $Z$ 轴垂直向下(见图1)

地磁场强度 $\vec{F}$ 在 $X$ 、 $Y$ 和 $Z$ 三个轴上的投影分别称为:北向分量 $X$ 、东向分量 $Y$ 和垂直分量 $Z$ 。 $\vec{F}$ 在 $XOY$ 水平面上的投影称为水平分量 $H$ , $\vec{H}$ 的方向即磁子午线方向(磁北),地磁场各分量的方向与座标轴的方向一致时取为正,反之为负。水平分量 $H$ 与 $X$ 轴的夹角称为磁偏角 $\varphi$ ,磁偏角即磁北方向与地理北方向夹角。当水平分量 $H$ 偏向东时 $\varphi$ 取正值,偏向西时则为负

<sup>①</sup> 收稿日期 1995.5.3 改回日期 1995.7.5

值。总强度  $T$  与水平面  $XOY$  的夹角称为磁倾角  $i_0$ ,  $\vec{T}$  指向  $XOY$  水平面以下时,  $i_0$  取正值, 反之取负值。

上述  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$ 、 $H$ 、 $\varphi$  和  $i_0$  各量统称为地磁要素, 由图 1 可见各要素以及总强度之间有以下关系

$$X = H \cos \varphi$$

$$Y = H \sin \varphi$$

$$Z = T \sin i_0 = H \operatorname{tg} i_0$$

$$H = T \cos i_0$$

$$T^2 = H^2 + Z^2 = X^2 + Y^2 + Z^2$$

在地磁绝对测量中(测量地磁场的绝对值)通常是测定  $i_0$ 、 $\varphi$ 、 $H$  三个要素。

地磁要素在地球表面是按一定规律分布和变化的。在赤道附近, 垂直分量  $Z$  为零, 磁倾角  $i_0$  亦为零, 随着纬度逐渐向两极增加,  $|Z|$  值逐渐增加,  $H$  值逐渐减小,  $i_0$  角也逐渐增加, 我国位于北半球  $\vec{T}$  向下倾,  $i_0$  角为正值。到达地球两极附近某个地方, 磁倾角  $i_0$  达到  $90^\circ$ , 这时水平分量  $H$  为零, 垂直分量  $Z$  最大。

从地球表面磁场分布规律来看, 它和一个均匀磁化球体产生的磁场很接近, 因此可以把地球磁场看成一个均匀磁化球体的磁场。当观测到的地磁场与均匀磁化球体磁场之间有差别时, 这个差别即称磁异常。其中由分布范围较大的深部磁性岩层或区域构造等引起的, 称为区域异常; 而由分布范围较小的浅处磁性岩体、矿体和构造引起的, 称为局部异常。在解决地质问题和找矿时, 通常把均匀磁化球体的磁场加上区域异常称为正常场; 而把区域构造、岩体和矿体等引起的磁场统称为磁异常。

岩体和矿体均能引起磁异常, 使该处的地磁要素偏离了正常值, 但岩体与矿体对地磁要素即磁化强度  $J$ 、磁偏角  $\varphi$ 、磁倾角  $i_0$  的影响是不同的, 这主要是因为岩、矿体的剩余磁化强度矢量  $\vec{J}_r$  与感应磁化强度矢量  $\vec{J}_i$  及其比值  $Q (Q = J_r/J_i)$  存在着明显的差异。笔者通过研究  $Q$  值, 即可推测出该处地磁要素的最大变化值, 因岩、矿体  $Q$  值存在明显差异, 则可利用此差异进行判别异常性质的尝试。

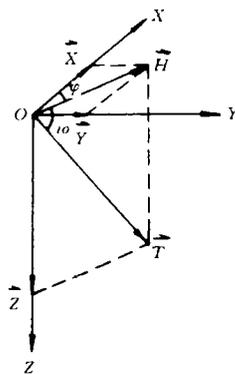


图 1 地磁要素图

Fig. 1 Geomagnetic elements

## 2 剩余磁化强度方向对总磁化强度方向的影响

在成岩成矿过程中保存下来的剩余磁化强度, 因与现代地磁场无关, 故其可指向三度空间的任意方向。由于总磁化强度的方向是剩余磁化强度矢量与感应磁化强度矢量和的方向, 当剩余磁化强度与感应磁化强度方向一致时, 则总磁化强度的方向就是正常地磁场的方向。若剩余磁化强度的方向偏离了感应磁化强度的方向, 则总磁化强度的方向也发生偏离。当剩余磁化强度的方向与总磁化强度的方向垂直, 且均在磁子午面内时, 则总磁化强度的方向偏离感应磁

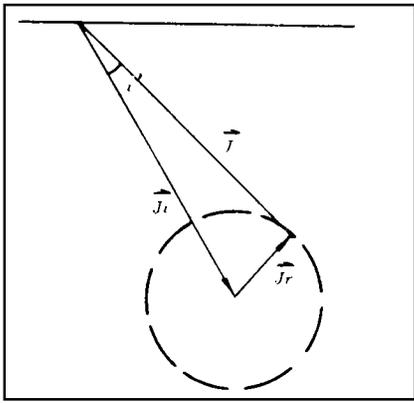


图2 磁化强度矢量图

Fig. 2 Vector diagram of magnetization

化强度的方向最大,此时磁倾角取得极大值  $i_{\max}$ ,  $i_{\max} = \arcsin \frac{J_r}{J_i}$  (图2)。总磁化强度与感应磁化强度在水平面投影之夹角,即磁偏角  $\varphi$ ,最大可能达到值  $\varphi_{\max}$  也与  $i_{\max}$  值相等。

### 3 磁偏角、磁倾角对磁异常形态特征的影响

影响磁性体磁异常形态特征的主要因素是磁性体的形态产状、埋深及磁化强度的方向和大小。而磁偏角不影响磁异常的基本形态特征,但它决定了正负异常的关系。当磁偏角较小时负异常出现在正常北侧,随着磁偏角的加大负异常逐渐向正异常的东侧(或西侧)移动,最大移动到正异常的南侧。磁倾

角是决定磁异常形态特征的主要因素,下面以球体为例加以讨论。

倾斜磁化球体的磁场表达式:

$$\Delta Z = \frac{M}{(X^2 + R^2)^{5/2}} [(2R^2 - X^2)\sin i - 3RX \cos i] \quad (1)$$

$$\Delta H = \frac{M}{(X^2 + R^2)^{5/2}} [(2X^2 - R^2)\cos i - 3RX \sin i] \quad (2)$$

式中,  $M$ : 磁矩,  $M = JV$ ,  $J$ : 磁化强度,  $V$ : 体积,  $R$ : 中心埋深,  $i$ : 有效磁倾角。

从(1)式知,  $\Delta Z$  的符号取决于  $[(2R^2 - X^2)\sin i - 3RX \cos i]$ , 令  $(2R^2 - X^2)\sin i = 3RX \cos i$  则:

$X_{1,2} = \frac{1}{2\sin i} (-3R \cos i \pm \sqrt{9R^2 \cos^2 i + 8R^2 \sin^2 i})$ ,  $X_{1,2}$  是  $\Delta Z = 0$  点的坐标。当  $X_2 < X < X_1$  时,  $\Delta Z$  为正磁场, 当  $X > X_1$  或  $X < X_2$  时,  $\Delta Z$  为负磁场。所以当  $X_{1,2}$  大时,  $\Delta Z$  正磁场的范围就大, 反之则小。故异常的形状取决于  $X_{1,2}$  的大小, 而  $X_{1,2}$  的大小又取决于埋深  $R$  及有效磁倾角  $i$ 。当磁性体埋深一定时, 则异常形态完全取决于  $i$ 。

从(1)(2)式知, 当  $X = 0$  时,  $\Delta Z_{(0)} = \frac{2M}{R^3} \sin i$ ,  $\Delta H = \frac{-M}{R^3} \cos i$  故  $\text{tgi} = \frac{-\Delta Z_{(0)}}{2\Delta H_{(0)}}$ 。所以有效磁倾角  $i$  可由  $X = 0$  点磁场垂直及水平分量的比值求得。

同理可证: 倾斜磁化水平圆柱体, 水平层具有  $\text{tgi} = \frac{-\Delta Z_{(0)}}{\Delta H_{(0)}}$  的规律。向下无限延深倾斜磁化薄板及厚板, 具有  $\text{ctgr} = -\frac{\Delta Z}{\Delta H}$  的规律 ( $r$  为磁性体产状与磁化方向间夹角)。

通过上述讨论可知, 磁偏角影响着正负磁异常的关系, 磁倾角决定异常的形态特征, 我们通过对正负异常关系及异常形态特征的研究, 计算出磁偏角、磁倾角的数值, 利用此值进行判断矿体异常性质的尝试。

#### 4 利用磁偏角、磁倾角判别矿异常的方法

由于剩余磁化强度的影响,使矿体和岩体磁化强度方向偏离了现代地磁场磁化强度的方向,即磁偏角、磁倾角偏离了现代地磁场角度,这种偏离决定了剩余磁化强度与感应磁化强度之比。比值大,则可能偏离的范围就大,反之则小。因为在我们研究的一些矿区矿体剩感磁比值比岩体剩感磁比值大得多,我们就以这一差异为主要依据来判别矿与非矿异常。

河北接触交代型磁铁矿床(或含铜磁铁矿床)成矿岩体为中酸—中偏碱性侵入岩,其岩体及矿体磁性特征见表1、表2。

表1 岩体磁性特性统计表

Table 1 Statistical results of magnetic features of rocks

岩石名称	地区	块数	$\bar{K}'$ $\times 10^{-3}\text{SI}$	$\bar{J}'_i$ $\times 10^{-3}\text{SI}$	$\bar{J}'_r$ $\times 10^{-3}\text{SI}$	$Q = \frac{\bar{J}'_r}{\bar{J}'_i}$
闪长岩	冀南	1773	1180	620	170	0.27
二长岩	冀南	390	1840	960	110	0.11
花岗闪长岩	冀中	376	2250	1220	350	0.21
花岗闪长岩	冀北	740	2830	1530	360	0.24
闪长岩	冀北	162	5430	2930	770	0.26

测试:刘长莽等

表2 磁铁矿磁性特性统计表

Table 2 Statistical results of magnetic features of magnetite ores

岩石名称	地区	块数	$\bar{K}$ $\times 10^{-4}\text{SI}$	$\bar{J}_i$ $\times 10^{-3}\text{SI}$	$\bar{J}_r$ $\times 10^{-3}\text{SI}$	$Q = \frac{\bar{J}_r}{\bar{J}_i}$
磁铁矿	冀南	707	330000	115000	67500	0.59
磁铁矿	冀中	236	145000	78300	52300	0.67
含铜磁铁矿	冀中	196	132000	71280	51000	0.71
磁铁矿	冀北	181	76000	41000	39000	0.95
含铜磁铁矿	冀北	124	168800	91150	46830	0.51

测试:刘长莽等

另安徽省宁芜南段当涂—大桥主要铁矿磁参数也具有这一特征(表3)。

表3 当涂一大桥主要铁矿磁参数一览表

Table 3 Schedule of magnetic parameters of major magnetite ores in Dangtu-Daqiao Area

航磁异常编号	地磁异常编号	块数	$\bar{K}$ $\times 10^{-3}\text{SI}$	$\bar{J}_r$ $\times 10^{-3}\text{SI}$	$Q = \frac{\bar{J}_r}{\bar{J}_i}$
M21—128	M <sub>1</sub>	206	1900	650	0.72
M20—95	M12	221	97000	18000	0.54
M21—124	M4、M5	524	140000	14000	0.73
M21—127	M27	752	130000	19000	0.66
M20—100	M14	30	140000	28000	0.53
M20—95	M10	66	63000	18000	0.62

资料来源:《冶金地质科技情报》,1980,1

由表1、表2、表3得知,各类岩体  $Q$  均小于0.3,一般为0.2;各类矿体  $Q$  均大于0.5。

因为  $i'_{\max} = \arcsin J_r/J_i = \arcsin 0.3 = 17^\circ 30'$ 。故各类岩体由于剩磁的影响使磁倾角(含磁偏角)最大偏离小于  $17^\circ 30'$ 。达到或接近这种偏离是极少的,因为只有剩余磁化强度的方向与总磁化强度的方向垂直,而且剩余磁化强度与总磁化强度及感应磁化强度同在一个平面内,即磁子午面内时才可能达到这种偏离。通常由于剩磁的影响使磁偏角、磁倾角偏离一般小于  $i' = \arcsin 0.2 = 11^\circ 30'$ 。

矿体由于剩磁大,其对磁倾角、磁偏角的影响则可大大超过此范围。

由于岩体剩磁的影响,使磁偏角、磁倾角变化范围如表4。

表4 岩体磁倾角、磁偏角变化范围表

Table 4 Magnetic declination and inclination of intrusive rock

地区	磁偏角 $\varphi$			磁倾角 $i$		
	正常	一般变化范围	最大变化范围	正常	一般变化范围	最大变化范围
冀南	$-4^\circ$	$-15^\circ 30' \sim 7^\circ 30'$	$-21^\circ 30' \sim 13^\circ 30'$	$53^\circ$	$41^\circ 30' \sim 54^\circ 30'$	$35^\circ 30' \sim 70^\circ 30'$
冀中	$-5^\circ$	$-16^\circ 30' \sim 6^\circ 30'$	$-22^\circ 30' \sim 12^\circ 30'$	$57^\circ$	$45^\circ 30' \sim 58^\circ 30'$	$39^\circ 30' \sim 74^\circ 30'$
冀北	$-6^\circ$	$-17^\circ 30' \sim 5^\circ 30'$	$-23^\circ 30' \sim 11^\circ 30'$	$58^\circ$	$46^\circ 30' \sim 59^\circ 30'$	$40^\circ 30' \sim 75^\circ 30'$

由表4可看出,各岩体异常的磁偏角,磁倾角必须在一定的范围内变化,而矿体异常则不受此限制,我们利用岩体与矿体磁偏角,磁倾角变化的这一差异判别矿体与岩体异常。

判别标准如下:

- (1)磁偏角或磁倾角之一超出最大变化范围的,为矿异常。
- (2)磁偏角和磁倾角都在一般变化之外,最大变化范围之内的为矿异常。
- (3)磁偏角和磁倾角都在一般变化之内的为岩体异常。

(4)其它情况为性质不明异常(磁偏角或磁倾角之一在一般变化之外,最大变化之内,另一个在一般变化范围之内的)。

上述变化区间仅为河北的特征,各地可视具体情况而定。

## 5 磁偏角、磁倾角的计算方法

利用磁偏角、磁倾角判别异常性质,首先要解决磁偏角、磁倾角的计算方法,许多材料对此已有介绍,现仅讨论几种较简便的方法。

### (1)磁偏角的计算方法

在磁异常平面等值线图上,选择两条或数条正、负异常等值线,连接等值线上直线距离最大的两点,即该等值线的长轴,连接不同等值线长轴的中点,则该直线由正异常指向负异常的方向,即磁北强度矢量在水平面上投影的方向,该方向与磁北方向间的夹角即为磁偏角(图3)。顺时针为正,逆时针为负。

对于三度体及产状较缓的二度体均能取得较好的效果,对于某些产状较陡的二度体,因负异常不明显有一定误差。因我们研究的矿床类型矿体多为有限的三度体,故较易区别判定。

### (2)磁倾角的计算方法

#### ①磁化轴法

根据磁化轴法确定出剖面内磁化强度矢量的方向(详见《地质与勘探》78年第二期),该方向即剖面内有效磁倾角的方向,而后按(3)式换算到

$$\operatorname{tgi} = \operatorname{tgi}_s / \sin A \quad (3)$$

南北剖面上。式中: $i$ 为南北剖面上即所要计算的磁倾角, $i_s$ 为磁化轴剖面内有效磁倾角, $A$ 为矿体走向与磁北间的夹角。

#### ②特征点法

按 $\Delta Z_{(0)} = \Delta Z_{\max} + \Delta Z_{\min}$ 确定原点,在原点处查得对应的 $\Delta Z_{(0)}$ 值、 $\Delta H_{(0)}$ 值。对于水平圆柱体、水平层,按公式 $\operatorname{tgi} = -\frac{\Delta Z}{\Delta H}$ 计算 $i$ 角,再换算到南北剖面上,即得 $i'$ 。

#### ③磁场极值比法

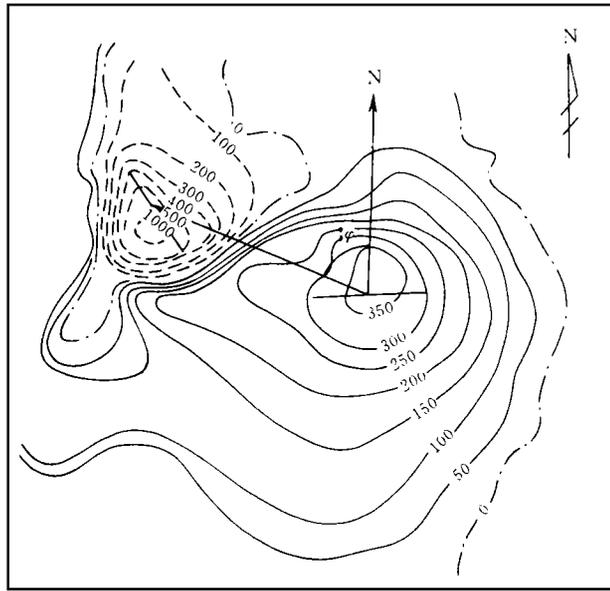


图3 杨一矿异常

Fig. 3 Ore anomaly in Yangyi Mine

从上述讨论知,磁倾角  $i$  的变化影响磁场极值也发生变化,当  $i = 0$  时,  $\Delta Z_{\max} = |\Delta Z_{\min}|$ , 当  $i = 90^\circ$  时,  $\Delta Z_{\max} \gg |\Delta Z_{\min}|$ 。当  $\Delta Z_{\max} / |\Delta Z_{\min}| < 1.3$  时,  $i < 35^\circ 30'$  (根据各规则形状体磁场表达式计算知), 满足矿异常的条件。

④当磁性体近于直立或倾角  $\beta$  已知时,根据  $\Delta Z \sim \Delta H$  参量图确定磁性体倾向与磁化方向间夹角  $r$ ,再计算出磁倾角  $i = \beta - r$ 。

⑤利用极值点间距离与埋深的关系

$$\gamma = \text{arccctg} \frac{d_2 - d_1}{h}$$

式中:  $d_1$  为两极值点间的距离,  $d_2$  为原点至极小点间的距离。

⑥利用磁场面积比

$$\gamma = \text{arctg} \left[ \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \Delta H dx}{\int_{-\infty}^{\infty} \Delta Z dx} \right] = \text{arctg} \left[ \frac{-Q_{\Delta H}}{Q_{\Delta Z}} \right]$$

上述各种确定磁倾角的方法中,使用时应充分注意各自的应用条件。如特征点法,各特征点要确定准确;磁场极值比法,磁场面积比法中正常场要选择合适的;极值点间距离与埋深的关系中,埋深要确定准确等。

此外,尚有许多确定磁倾角的方法,可视具体情况灵活运用。

## 6 方法应用实例

现选择一批已知矿体、岩体的磁异常分别进行计算,结果如下。

(1) 杨一矿异常

在平面等值线图(图3)上,选择任意两条等值线300nt 和 -400nt,连接等值线上直线距离最大的两点,即长轴,选取两长轴的中点,连接该两点。则由300nt 长轴中点指向-400nt 长轴中点的矢量方向与磁北间的夹角就是磁偏角。 $\varphi = -70^\circ$ , 小于最大变化范围下限  $-21^\circ 30'$ , 符合判别异常性质标准的第一条,故该异常为矿异常,与已知情况相符。

(2) 胡二矿异常

在平面等值线图(图4)上,计算得磁偏角为  $-12^\circ$ , 在一般变化范围之内,根据单一磁偏角不能确定异常性质。因异常呈等轴状磁性体可近似成球体,埋深由多种方法计算为360m,利用多种方法求得磁倾角为  $30^\circ$ , 小于最大变化范围下限  $35^\circ 30'$ , 也符合判别异常性质的第1条标准,故为矿异常,与已知情况相符。

(3) 赵×、铁××等廿十条处异常判别结果列于表5,由表5可以看出:大部分符合判别标准的第1条或第2条,应属矿异常,与验证结果相符,对南×、百××等处已知岩体异常,计算得磁偏角  $\varphi$  及磁倾角  $i$ ,符合判别异常标准的第3条,为岩体异常;灵×、顺×,符合判别标准的第四条,为性质不明异常,实为岩体异常。

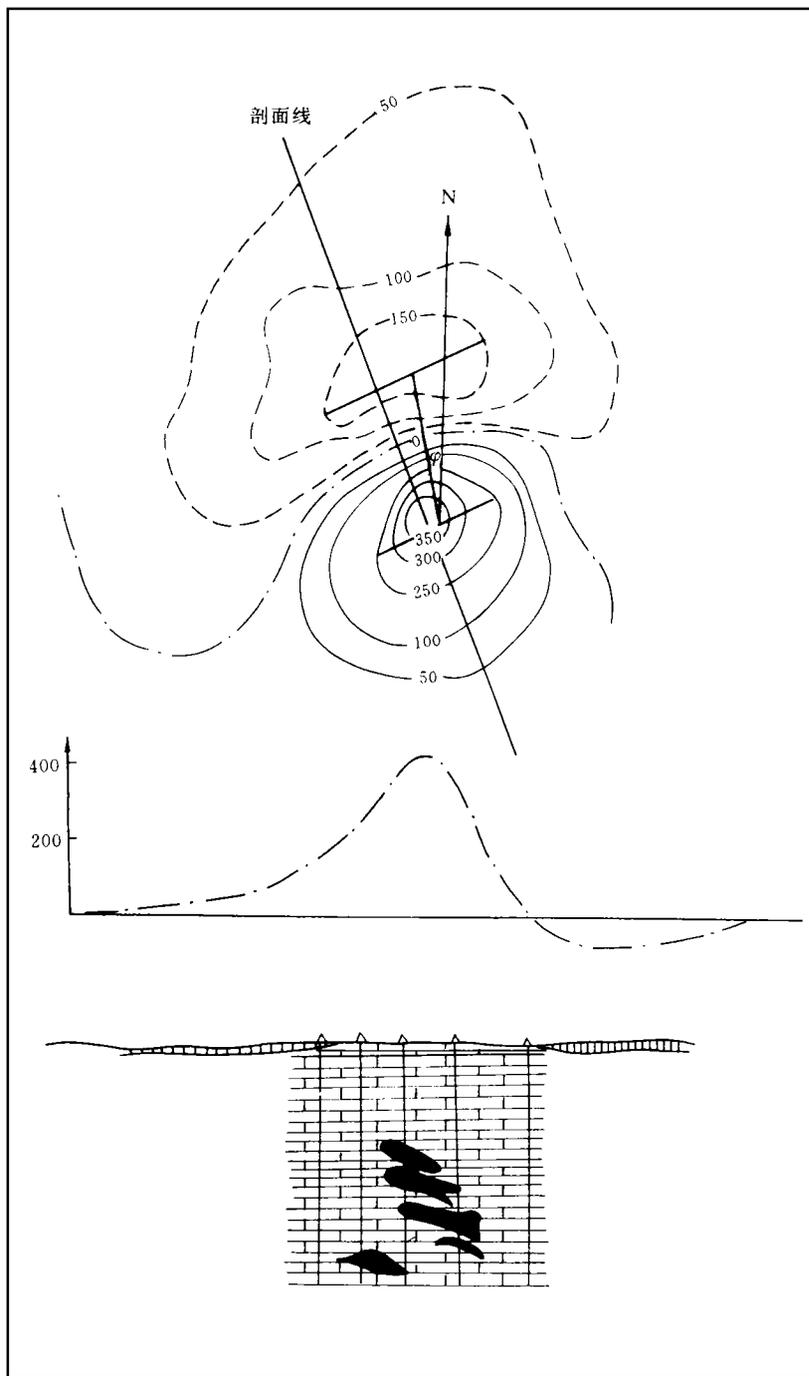


图4 胡二异常  
Fig. 4 Huer anomaly

表5 异常判别实例一览表  
Table 5 Examples of anomaly discrimination

顺序号	异常名称	磁偏角 $\varphi$	磁倾角 $i$	判别结果	验证情况
1	赵×	44°30'	33°40'	矿	矿
2	铁××	-80°20'	72°00'	矿	矿
3	风××	-16°00'	18°30'	矿	矿
4	河×	0°30'	85°00'	矿	矿
5	坦×	5°20'	91°20'	矿	矿
6	崇××	10°00'	88°50'	矿	矿
7	上团×	-38°30'	87°20'	矿	矿
8	北××	8°20'	86°50'	矿	矿
9	刘×	62°10'	38°30'	矿	矿
10	玉泉×	-20°30'	78°40'	矿	矿
11	上白×	78°00'	59°50'	矿	矿
12	河西×	20°00'	69°30'	矿	矿
13	石××	37°20'	57°10'	矿	矿
14	黑石××	38°50'	57°40'	矿	矿
15	玉皇×	-48°00'	71°10'	矿	矿
16	云××	-28°40'	88°00'	矿	矿
17	下水×	21°10'	67°50'	矿	矿
18	锁×	-91°00'	70°50'	矿	矿
19	罗义	13°50'	53°00'	矿	矿
20	西通×	13°00'	57°00'	矿	矿
21	西郝×	-23°50'	71°40'	矿	矿
22	石××	31°20'	57°10'	矿	矿
23	灵×	-13°00'	70°10'	不明	岩体
24	庄××	-5°10'	53°00'	岩体	岩体
25	百××	5°20'	52°40'	岩体	岩体
26	南×	7°10'	52°00'	岩体	岩体
27	顺×	-2°10'	54°20'	不明	岩体
28	裴××	-14°00'	54°10'	岩体	岩体

资料来源:刘长莽.河北省邯邢地区1973~1975年物探综合研究报告.

## 7 结束语

利用磁偏角、磁倾角判别异常性质是一种快速简便的方法,特别在普查找矿阶段更具有实际意义和较好效果。该方法是在研究接触交代型磁铁矿和含铜磁铁矿床过程中总结出来的一点体会,不当之处,敬希斧正。另外,该方法对其它类型矿床是否有此规律,尚待研究。

### 参考文献

- 1 成都地质学院物探系. 金属矿地球物理勘探, 1978
- 2 广西冶金地质学校磁法教研组. 介绍一种确定剖面  $\vec{J}_s$  的方法. 地质与勘探, 1978
- 3 纪英楠, 董焕成. 磁学量单位的换算. 物探与化探, 1987

## A NEW METHOD TO JUDGE MAGNETIC ANOMALY NATURE

*Liu Changmang*

*(Geological Institute of North China Geological Exploration Bureau)*

### Abstract

Rock and ore body are different in their remanent magnetization and induced magnetization leading to different anomaly and different magnetic declination and magnetic inclination. Therefore the difference can be used to judge the anomaly natures.