物探講座

第一章　磁法勘探

地质人員最熟悉的罗盘，就是一种最簡单的“磁法勘探仪器”。不少强磁性的鉄矿，常是由于“罗盘失灵”的綫索而被找到的。罗盘的指針本来是指北的，但在有强磁性体的地方就不一定再指北，用物探的术語說，这就是有了“磁异常”。“磁异常”是磁法勘探借以完成地质任务的基础。本章着重說明什么是磁异常；磁异常是怎样产生的；怎样推断解释磁异常以及磁法勘探应用的范围等等。

（一）磁場和磁异常

罗盘靠近磁鉄到一定的距离时，磁鉄能使罗盘的指針偏轉。这說明磁鉄对罗盘的指針有一种“作用力”。反过来說，罗盘的指針发生这种偏轉，是表明在这一空間位置上有“磁的作用力”存在，或者說这一空間位置位于該磁鉄的“磁場”的影响范围之內。

磁場有大小和方向。磁場的大小，就是作用在一个单位磁极上磁力的数值，称之为磁場强度；而作用在一个正极（北极）上的磁力的方向，就是磁場方向。

在地面各处，罗盘指針都指向一个确定的方向，說明地面各处都存在磁的作用力的影响。这些磁力影响所构成的磁場，称为地磁場。

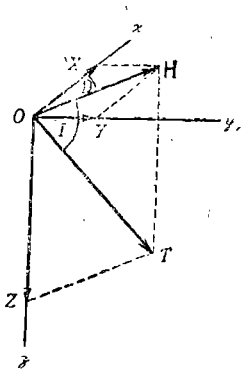

图 1

如果我們的观测点在 O，取地理子午綫的方向为 x 軸，取东西的方向为 y 軸，垂直向下的方向为 z 軸。那么图 1 中，T 所表示的向量就是 O 点的地磁場强度，它在 xOy 平面上的投影称为水平分量（H），它在 z 軸上的投影称为垂直分量（Z），水平分量（H）所在的綫又称磁子午綫，它和地理子午綫間的夹角称为磁偏角（D）。水平分量（H）和地磁場的总磁場强度（T）之間的夹角用（I）表示，称为磁傾角。

这些分量和角度，称为地磁場的要素。在地面上不同地点，地磁場要素的数值有所不同，在赤道附近，磁傾角近于零，T 几乎就在 xOy 平面內。这时，垂直分量（Z）的数值最小，而水平分量（H）的数值最大。緯度越高磁傾角（I）也就越大，在地球的北极附近磁傾角（I）就近于直角，此时 Z 的数值最大，而 H 就接近于零了。

我国地域广大，地磁場要素的这种变化十分明显。例如在黑龙江省的磁傾角約为64°，磁場强度垂直分量 Z 約五万伽瑪（伽瑪是磁法勘探中所用测量磁場强度的单位，常用 γ 表示），水平分量約为二万伽瑪；但是在广东省的磁傾角就只有 32° 左右，H 和 Z 值各約为四万和三万伽瑪。

地磁場要素就整个地球大范围来說，其变化是有規律的。如我国由南向北垂直分量每公里增加十伽瑪左右。由东向西每公里約改变二到三伽瑪。

除了这种逐漸的有变化規律的地磁場正常場以外，还有由于磁性岩石矿物所产生的局部磁場。后者范围比較小，变化也比較急剧，通称为“磁异常”。

磁法勘探是在地面或空中測定地磁場要素的变化，搞清磁异常的范围、大小和形状等等情况，从而推測引起磁异常的地质体的的性质、位置、深度、形状等等的一种地质工作方法。

过去磁法勘探中多使用測量磁傾角的仪器和測量磁偏角的仪器。目前生产中使用的磁力仪，大都是測定总磁場强度（T）或是垂直分量（Z）、水平分量（H）的仪器。測定总磁場强度的仪器多用在航空磁測工作中。地面磁力仪，則分为測定垂直分量（Z）和水平分量（H）的垂直磁力仪和水平磁力仪。或两者均可測定的两用仪器。因为測定垂直分量比較簡单易行，生产中垂直磁力仪用的最多。

* 关于磁力仪的原理、构造、使用等知識，参見 A.A.罗加契夫著“磁力勘探教程”第二篇。地质出版社1958年版。或我国地质院校的相应教材。

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.n

（二）岩石矿物的磁性和磁化

各种岩石的磁性大小是极不相同的。岩石磁性大小主要决定于該岩石的副矿物成分，特别是磁鉄矿的增加和減少。它与各类岩石之間，不是固定的比例关系，因此不能仅根据一般的岩石分类来确定某种岩石的磁性大小。

磁鉄矿是所有矿物中磁性最强的矿物。它由FeO及Fe_2O_3两种成份組成。其中，FeO是沒有磁性的。Fe_2O_3又分两种：一种为α-Fe_2O_3，或称赤鉄矿，也是沒有磁性的，另一种为γ-Fe_2O_3，或称磁赤鉄矿，具有强磁性。鈦鉄矿单矿物（FeO、TiO_2）磁性很弱，但当它和磁鉄矿形成固溶体，即鈦磁鉄矿〔$FeO\ (FeTi)_2O_3$〕时就具有很强的磁性。此外，磁黃鉄矿也是具有較强磁性的矿物。

磁性矿物，特别是磁鉄矿，虽然是决定岩石磁性的重要因素，但是岩石的磁性和磁鉄矿含量之間，并不是正比关系；岩石以及岩石中的磁鉄矿物构造的不同，常直接影响岩石磁性的大小。

岩石矿石的磁性，有下列較普遍的規律：

（1）沉积岩一般都沒有磁性或磁性很弱。

（2）变质岩一般也都沒有磁性或者磁性很弱。但是有些含磁鉄矿的变质岩，磁性很强。

（3）岩浆岩一般都有較强的磁性。但磁性的变化范围很大：超基性岩石磁性最大，越趋酸性就越小。从时代来說，老的岩浆岩的磁性小而新的岩浆岩磁性較大。

（4）高溫矿床一般都会有較多的磁鉄矿、磁黃鉄矿等磁性矿物，因而具有較强的磁性；中溫矿床磁性較弱；低溫矿床一般都是弱磁性或无磁性的。

物体具有磁性，是由于該物体被“磁化”的結果。磁化分为两种：一种是永久磁化，或称为剩余磁化。例如一块磁鉄能吸引小鉄針，就是因为磁鉄具有剩余磁性的緣故。另一种是感应磁化。小鉄針能被磁鉄吸引，就是因为在磁鉄这外加的磁場中被感应而磁化为具南极、北极的磁針的結果。当将磁鉄这外加磁場拿走时，小鉄針就又失去磁性，成为一支普通的鉄針（鉄針也有一些残余剩余磁性，但不久即又消失）。

岩石矿物不仅具有剩余磁性，而且由于地磁場的感应磁化作用，也具有感应磁性。感应磁性的大小，和下列三个因素有关：

（1）磁性体本身的性质。例如鉄、鈷、鎳等物质的感应磁性大，而木头和其它物质的感应磁性就小。代表这种性质大小的是“磁化率”（K）。不同物体有不同的磁化率。磁化率大的物体，感应磁性也大。

（2）外加的磁場。通常是磁場的磁化强度越大，感应磁性也越大。

（3）磁性体的形状以及它在磁場中的位置。如图2，当矿体产状直立，地磁場的方向又是垂直向下时，矿体上端受感应，产生了負磁极（南极），矿体下端成为一个正磁极（北极），矿体的两侧是不具磁性的（如图2，a）但当地磁場T的方向不是垂直向下，而是傾斜时，那么不仅是矿体的上下两端，就是矿体两侧也都有了磁性（見图2，b）。由此可見，这显然是两个不同的“磁性体”。因此它所产生的磁异常，也就完全不同。前一种情况，称为“垂直磁化”；后一种情况称为“傾斜磁化”。前面已經說过，我国磁傾角在30°—60°之間，因此都是傾斜磁化。

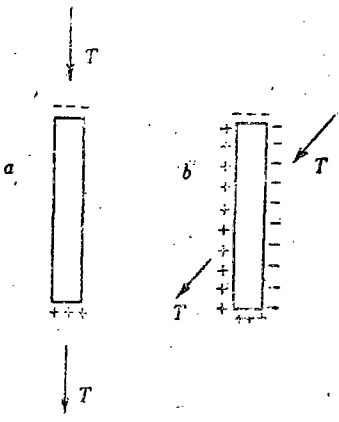

图2

剩余磁化强度（I_r）和磁化率（K）的单位都是CGSM（克厘米电磁单位）。因为一般岩石矿物的磁性很弱，测得的数值小，故用百万分之一的CGSM单位来表示（10^{-6}CGSM）。岩石矿物的剩余磁化强度（I_r）和磁化率（K）是磁法勘探工作必須測定的数值，它对推断解释很有用处。例如已測知剩余磁化强度是$I_r(10)^{-6}$CGSM，那么这个地质体能产生的最大磁异常（即当地质体出露地表时）約为$\Delta Z \simeq 0.6 \times I_r$（伽瑪）。如果磁性体的磁化率是$K(10)^{-6}$CGSM，那么此磁性体所能产生的最大磁异常約为$\Delta Z \simeq (0.2—0.3)\ K$（伽瑪）或者它的平均值$\Delta Z \simeq 0.25K$（伽瑪）。如果磁性体同时具有剩余磁化强度$I_r\ (10)^{-6}$CGSM，和磁

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.n

化率 K（10）$^{-6}$CGSM，并且剩余磁化的方向和地磁場一致，它能产生的最大磁异常約为 $\Delta Z \simeq 0.6\,\mathrm{I}, +0.25K$（伽瑪）。

（三）磁異常的解释

1.磁异常的特点：

在解释磁异常时，必須首先了解异常有那些特点。通过对异常的特点的研究，才能够得到正确的結論。磁异常的特点可有七个方面：

（1）强度：一个异常的强度常常是指磁异常的最大值。它的单位是伽瑪。

（2）范围：通常最易把磁場强度是零伽瑪等值綫当作异常的范围。实际上，与岩体、矿体范围有关的，在岩体、矿体对其埋藏深度来說較大时，磁异常最大值的二分之一的等值綫約与岩体矿体的范围相当。如图3中有两个正异常，作为它們的范围的是1500γ及500γ的两条等值綫。

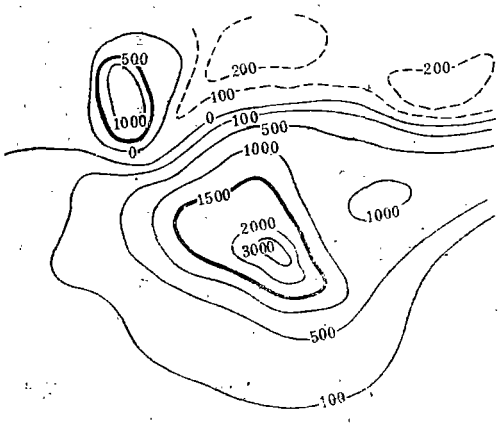

图3

（3）正负异常：在解释时，要注意正负异常是否同时存在，以及两者間强度大小的比值。这里是指局部异常，不是指正常場选择不合适所出現的大片的“負”或“正”异常。例如图4本来沒有負异常（图4，a）。由于正常場选得太高或太低就出現了大片的“負”异常或“正”异常（图4，b和c）。为了避免正常場选择的不合适而引起的这种誤解，我們有时用“磁力高”和“磁力低”来相对地說明这种局部异常。

（4）圓滑程度：曲綫的圓滑和跳动除了和地质体的埋藏深度以及磁性是否均匀等都有关系外，測点稀，有时也影响曲綫的圓滑。在后一种情况下，我們适当加密測点后，曲綫仍可趋于圓滑。

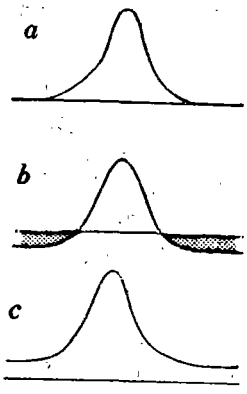

图4

（5）对称：曲綫相对于极大或极小点来說，是不是对称？哪边陡，哪边緩？是不是两边都有异常？

（6）形状：有的曲綫有两个极大值，有的曲綫上面尖下面寬，有的曲綫成鋸齿状等等。

（7）Z和H的关系：有的地区同时測定了垂直磁异常（Z）和水平磁异常（H）。这就需要特别分析Z曲綫和H曲綫在形状、相互位置、大小等各方面的关系。

只有掌握了上述异常的特点，才有可能正确的解释异常。

2．异常体的产状：

（1）走向：确定异常体的走向，最好研究平面图。异常的走向往往也就是岩体矿体的走向。如果异常值最大的等值綫不是很长，一般应該以异常最大值的二分之一等值綫来确定异常的走向。在磁測图上，能否看出岩体或矿体的走向，只能是当岩体或矿体的走向长度大于其埋藏深度时，才有可能。走向长度小于埋藏深度的地质体所造成的异常等值綫近乎圓形。

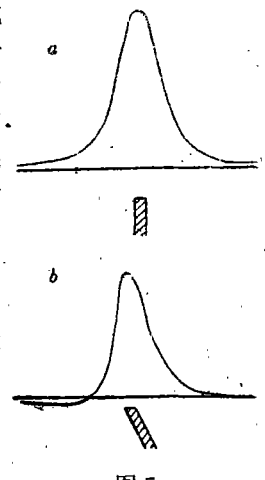

图5

（2）傾向：垂直磁化的岩体、矿体，其延深长度大于它頂板埋藏深度四、五倍时，曲綫是对称的。极大值在岩体的頂部，沒有負异常（图5，a）。当岩体或矿体傾斜时，

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.n

曲綫是不对称的。沿岩体傾斜方向的曲綫緩，而和岩体傾斜相反方向的曲綫陡，极大值向岩层傾斜方向移动，岩体傾角越大移动越多。并且在和傾斜相反的方向出現負异常（图5，*b*）。

垂直磁化的岩体、矿体，其延深长度不到它的頂板埋藏深度四、五倍时，曲綫也是对称的。但在磁測曲綫两边有負异常，它和图(5,*a*)所討論的情况虽不同，但极大值的位置也正好在岩体的上面（图6,*a*）。在这种情况下，假使岩体呈傾斜时，所得曲綫也是不对称的。沿岩体傾斜方向則陡。极大值也向岩体傾斜方向位移。它和图（5，*b*）不同的是：傾斜岩体两边，都有局部負异常，而靠傾斜方向一侧的負异常，其强度和范圍較之相反一侧的負异常更大一些（图6，*b*）。

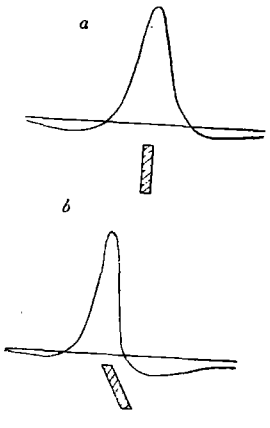

图6

在垂直磁化的垂直接触面上的磁測曲綫，又是另一个样子：在接触带上，磁場强度为零，并在靠磁性岩层一方出現一个极大值；在非磁性岩层一方出現一个极小值。对于零值点来說，曲綫是点对称的(图7，*a*)。

当接触面傾向磁性岩层时，在非磁性岩层面上出現一个很尖銳而較强的极小值。接触带的位置是在零值点和极小点之間(图7，*b*)。

当接触面傾向非磁性岩层时，則在磁性岩层上出現一个尖銳而强的正异常，接触带的位置也在零点值与极大值之間（图7，*c*）。

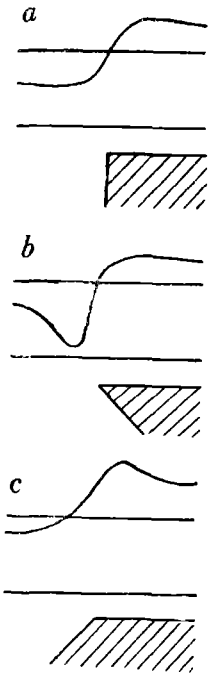

图7

应当着重指出，上面所說的，都是指在“垂直磁化”的假設条件下得到的結論。也就是說，假設地磁傾角近于90°。实际上，我国的地磁傾角不是90°，一般在30°—60°之間，故“傾斜磁化”的影响很大。由于斜傾磁化的关系，在岩体矿体的北面經常会出現負异常，曲綫的其他一些特征也常类似一个向南傾斜的岩体。因此，利用磁測曲綫推断岩体和矿体的傾斜常常只能做为一种参考性資料。只有在充分掌握岩体、矿体磁化方向的前提下，才可以获得較可靠的結論。

（3）延深：大多数情况下，利用磁測曲綫不可能定出岩体或矿体的下部界限。当岩体矿体的延深长度大于它頂板埋藏深度的四、五倍时，測得的磁測曲綫实际上和已知延深是“无限大”的物体沒有差别。在物探書籍中，习慣上将这样的物体称为“无限延深的物体”。在垂直磁化情况下这种物体的磁异常曲綫的特征是沒有負磁异常。如果延深长度不到它的頂板埋藏深度的四、五倍时，就称为“有限延深的物体”。这种物体的异常特点是两边都有負异常，延深越小，負异常也越明显。如果測定*Z*曲綫的同时，还測定了*H*曲綫，就应綜合利用*Z*和*H*曲綫。对于无限延深的物体*H*曲綫的极大值約为*Z*极大值的一半，延深越短，*H*曲綫极大值相对也越大。在水平层的情况下，*H*极大值可以等于甚至超过*Z*极大值（图8）。

在分析异常体的延深情况时，同样要注意区分負异常是不是由于傾斜磁化所引起的，否則很容易造成解释上的誤差。

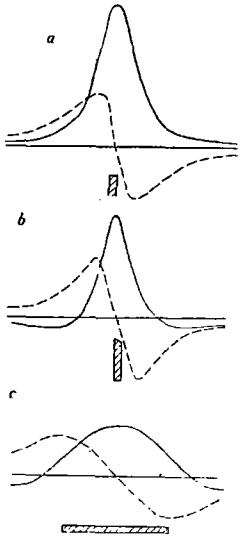

图8

——*Z*曲綫----*H*曲綫
a—无限延伸的岩柱；
b—有限延伸的垂直岩脉；
c—水平产状岩层。

（本章未完）

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.n