

解释钻孔中强磁异常的特征曲线

引言

在斯堪的纳维亚, 钻孔中磁异常的三分量测量, 最早于1955年在芬兰的奥坦马基矿山进行。从那时起, 尤其在研究磁铁矿的老矿山和新矿体时, 钻孔三分量磁测已成为普遍采用的手段。钻孔中的磁场测量结果, 对于推断磁铁矿体的底部深度和深部矿体是特别有效的。这种手段尤其适用于仅有不大的可利用空间的一些矿山。

根据钻孔磁测来推断矿体的位置和大小, 以往主要是凭肉眼观察, 即把被测磁场矢量的两个分量画在通过所研究的那个钻孔的平面上, 根据这样的磁场矢量图直观地确定矿体的磁极。对钻孔磁测作更精确的推断解释, 要求了解不同矿体引起的磁场的形态和强度。对于可以近似当成点极、两极、球或板状体的矿体, 萨勃曾给出了它们在钻孔中的磁场矢量各分量的公式。钻孔磁测的定量解释必须针对一个个具体情况来进行。提出任何一种一般的解释程序是困难的, 因为根据钻孔磁测提供的磁场资料往往不完整。然而, 计算简单模型的磁场各种特征点的标准曲线, 却是可能的。事实证明, 本文所讨论的这个出发点, 在一定条件下大大有助于钻孔磁测的定量解释。

已有的推断磁性矿体的一些方法, 通常都假设异常场仅仅是由矿体的上端引起的。矿体底部和深部矿体的磁测解释还必须考虑矿体下端的作用。这就是在本文中磁性矿体近似成一对线极和一对点极的原因。对于这类模型的异常场, 计算了磁场垂

直和水平分量零值点的两套曲线。

两条平行的无限长线极

若假设磁异常由一水平无限长线极引起, 则可以立即根据钻孔中异常场垂直分量零值点的位置计算出该线极的深度。同样地, 线极在水平面上的位置, 可以根据磁场水平分量的零值点来求出。在一般情况下, 利用钻孔磁测结果往往能够确定磁场的这些明显的特征点的位置。通过计算一对线极的磁场垂直和水平分量零值点的标准曲线, 上述单线极的情况可以推广到两条平行的无限长线极的情况。

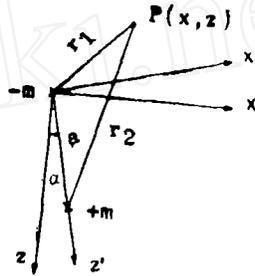


图1 在直角坐标系中一对磁极(-m, +m)的位置

X轴是水平的, a表示磁极间的距离, c是磁极间的连线和垂直方向的夹角。线极平行于y轴。

两条平行的无限长线极置于如图1所示的坐标系中, X轴是水平的, x表示一对线极所在的位置。这样就可求得这对线极的磁场沿z'轴或x'轴的分量:

$$\Delta Z' = -\frac{\partial V}{\partial z'} = 2m \left[\frac{z'-a}{x'^2 + (z'-a)^2} - \frac{z'}{x'^2 + z'^2} \right] \quad (1)$$

$$\Delta X' = -\frac{\partial V}{\partial x'} = 2m \left[\frac{x'}{x'^2 + (z'-a)^2} - \frac{x'}{x'^2 + z'^2} \right] \quad (2)$$

式中m表示磁极的线磁荷密度, V表示磁位。

利用图1所示的两个坐标系之间的变换公式:

$$x' = \cos \alpha x - \sin \alpha z \text{ 和 } z' = \sin \alpha x + \cos \alpha z \quad (3)$$

可以求得磁场垂直分量的公式:

$$\Delta Z = -\frac{\partial V}{\partial z} = -\frac{\partial V}{\partial z'} \cdot \frac{\partial z'}{\partial z} - \frac{\partial V}{\partial x'} \cdot \frac{\partial x'}{\partial z} = 2m \left[\left(\frac{z'-a}{x'^2 + (z'-a)^2} - \frac{z'}{x'^2 + z'^2} \right) \cos \alpha - \left(\frac{x'}{x'^2 + (z'-a)^2} - \frac{x'}{x'^2 + z'^2} \right) \sin \alpha \right] \quad (4)$$

上式使我们得到下列方程:

$$\cos\alpha z^2 + (2\sin\alpha x - a)z - \cos\alpha x^2 = 0 \quad (5)$$

此即描述磁场垂直分量零值点的曲线方程。当角 $\alpha = 0$ 时, 方程变为

$$x^2 = Z(Z - a) \quad (6)$$

该曲线就是以点 $(0, a/2)$ 为其原点的双曲线。

由变换公式(3)导出磁场水平分量的公式:

$$\Delta X = -\frac{\partial V}{\partial x} = -\frac{\partial V}{\partial x'} \cdot \frac{\partial x'}{\partial x} - \frac{\partial V}{\partial z'} \cdot \frac{\partial z'}{\partial x} = Z m \left[\left(\frac{x'}{x'^2 + (z' - a)^2} - \frac{x'}{x'^2 + z'^2} \right) \cos\alpha + \left(\frac{z' - a}{x'^2 + (z' - a)^2} - \frac{z'}{x'^2 + z'^2} \right) \sin\alpha \right] \quad (7)$$

水平分量零值点的曲线方程为:

$$\sin\alpha z^2 - (2\cos\alpha z - a) - \sin\alpha x^2 = 0 \quad (8)$$

对于九个不同值的 α 角, 方程(5)和(8)所给出的标准曲线示于图2。线极间的距离 $a = 1.0$, 作为图中的量度单位。

双 极

两个点极所组成的双极置于图1的坐标系中, x 轴是水平的, 这时 x 表示点极的位置。跟上一节一样, 计算了磁场垂直和水平分量零值点的标准曲线。在 $x'z'$ 坐标系中, 磁位可用下式表示:

$$V(x', z') = \frac{-m}{\gamma_1} + \frac{m}{\gamma_2} = \left\{ \frac{m}{[x'^2 + (z' - a)^2]^{1/2}} - \frac{m}{(x'^2 + z'^2)^{1/2}} \right\} \quad (9)$$

式中 m 表示磁荷量。由上式求出磁场矢量沿 z' 轴式 x' 轴分量的公式:

$$\Delta Z' = -\frac{\partial V}{\partial z'} = m \left\{ \frac{z' - a}{[x'^2 + (z' - a)^2]^{3/2}} - \frac{z'}{(x'^2 + z'^2)^{3/2}} \right\} \quad (10)$$

$$\Delta X' = -\frac{\partial V}{\partial x'} = m \left\{ \frac{x'}{[x'^2 + (z' - a)^2]^{3/2}} - \frac{x'}{(x'^2 + z'^2)^{3/2}} \right\} \quad (11)$$

利用图1中两个坐标系之间的变换公式(3), 求得磁场垂直分量的公式:

$$\Delta Z = -\frac{\partial V}{\partial z} = -\frac{\partial V}{\partial z'} \cdot \frac{\partial z'}{\partial z} - \frac{\partial V}{\partial x'} \cdot \frac{\partial x'}{\partial z} = \cos\alpha \Delta Z' - \sin\alpha \Delta X' \quad (12)$$

由式(12)得到下列方程:

$$\frac{z - a \cos\alpha}{[x^2 + z^2 - 2a(\sin\alpha x + \cos\alpha z) + a^2]^{3/2}} - \frac{z}{(x^2 + z^2)^{3/2}} = 0 \quad (13)$$

该式描述的是磁场垂直分量零值点的曲线。

对于磁场的水平分量, 我们得到相应的公式:

$$\Delta X = -\frac{\partial V}{\partial x} = -\frac{\partial V}{\partial x'} \cdot \frac{\partial x'}{\partial x} - \frac{\partial V}{\partial z'} \cdot \frac{\partial z'}{\partial x} = \cos\alpha \Delta X' + \sin\alpha \Delta Z' \quad (14)$$

磁场水平分量零值点的曲线可用下面的方程描述:

$$\frac{x - a \sin\alpha}{[x^2 + z^2 - 2a(\sin\alpha x + \cos\alpha z) + a^2]^{3/2}} - \frac{x}{(x^2 + z^2)^{3/2}} = 0 \quad (15)$$

对于九个不同值的 α 角, 方程(13)和(15)所给出的标准曲线示于图3。双极之间的距离 $a = 1.0$, 表示作图单位。通过照相的方法, 不难将图2和图3的标准曲线放大到相应于推断解释时所用的比例尺。

应用实例

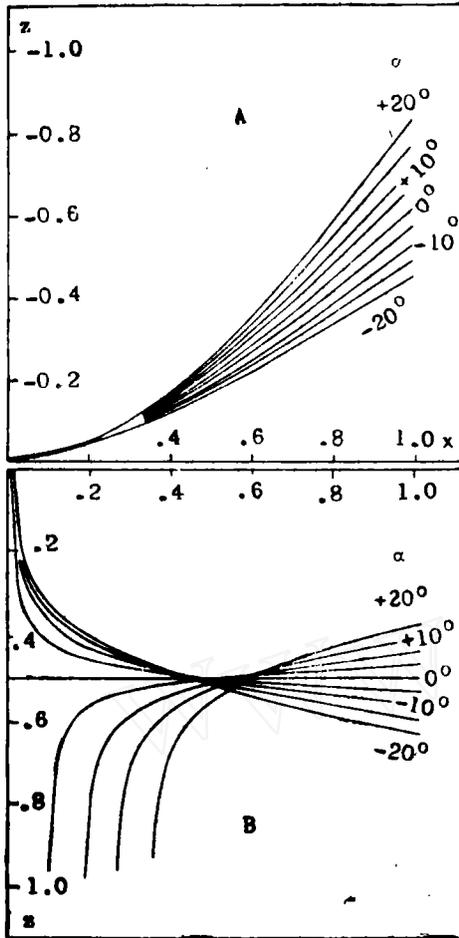


图2 方程(5)和(8) (两条平行的无限长线极) 所给定的标准曲线A和B
两极间的距离=1.0, 作为图中的量度单位。

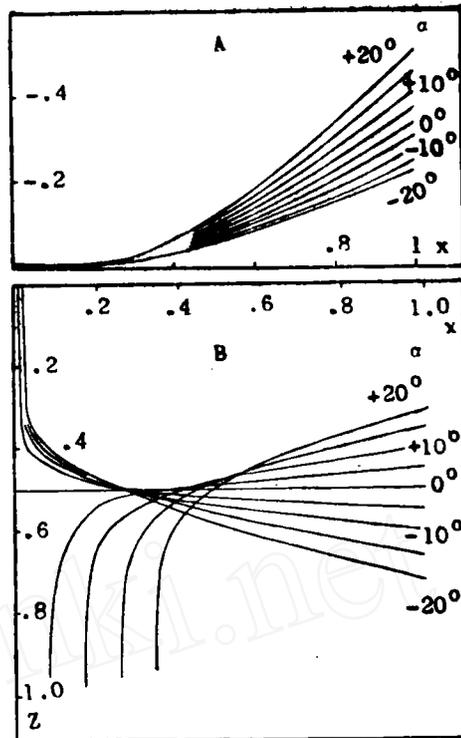


图3 方程(13)和(15) (双极) 所给定的标准曲线A和B
(单位同图2)

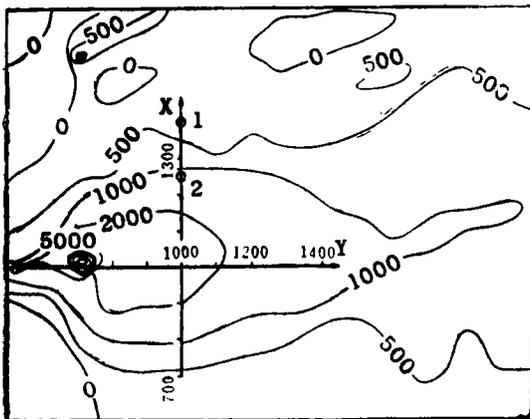


图4 洪卡马基区地面异常垂直分量图
数字表示伽马值。坐标系中所用的单位是米。小圆圈1和2分别表示钻孔1和2 (图5) 的开孔位置。

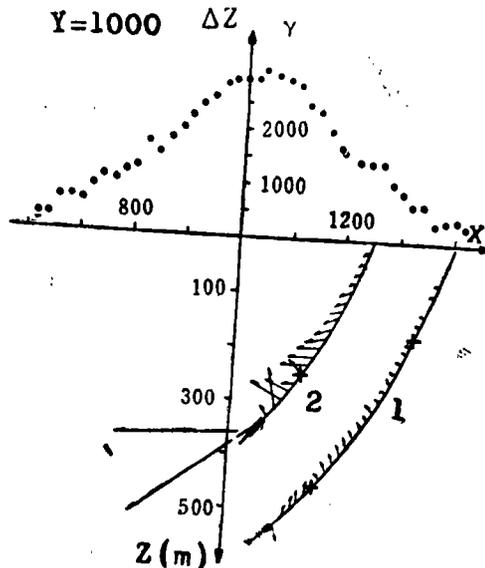


图5 在 $y=1000$ (图4) 的线上, 在钻孔1和2中所测之洪卡马基磁异常矢量, 以及在地面所测的异常垂直分量
(·) (+) 表示异常场垂直或水平分量零值点的位置。钻孔末端的交叉线表示钻孔见到铁矿的位置。

对查明芬兰北部洪卡马基铁矿床的位置，特别是确定它的底部深度，可以作为上述方法的一个应用实例。该区地面磁测垂直分量的平面图示于图4。在 $y=1000$ （按图4的坐标系）的线上，钻孔1和2中所测的异常矢量示于图5。在 $y=1000$ 的线上，地面所测异常的垂直分量也绘于该图上。根据图4，可以将矿体假定为有一定延伸的，这表明有可能应用线极的理论和盖伊所给出的长板状体的标准曲线。最初我们设想矿体为一无限延深的薄板（在盖伊的理论中，参数 $R=0$ ），在这种情况下，根据盖伊的曲线，矿体上端的座标为 $x=1030$ 和 $Z=200$ ，并且，磁化强度方向与板的倾向接近一致。

根据图5上钻孔2的磁场矢量，可以立即看出，将矿体上端的深度估计成200米，那是太小了。因为所研究的矿体是一个深部矿体，在推断解释中忽略了其下端的影响，所以，结果当然只是深度的一个粗略的最小界限。

因此，对矿体位置作较精确的估计，就需要同时考虑矿体的上端和下端。由于推断磁化强度与所设想的板状体的方向接近一致，于是，可以将这种情况近似地看成是两条平行的无限长线极。现在就可图2所示的曲线来进行解释。图5中几个有标记（+）的点，表示该处钻孔磁场矢量的垂直或水平分量为零。借助于标准曲线确定的线极位于图6

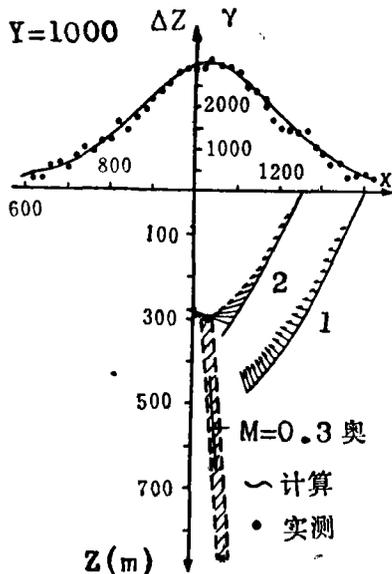


图6 两条平行于 y 轴的无限长线极（ \times ）在钻孔1和2中引起的磁异常矢量以及地面垂直分量的计算结果

这对线极所描述的假想薄板（///）的厚度，是在假设磁化强度 $=0.3$ 奥，其方向与薄板一致的前提下求得的。

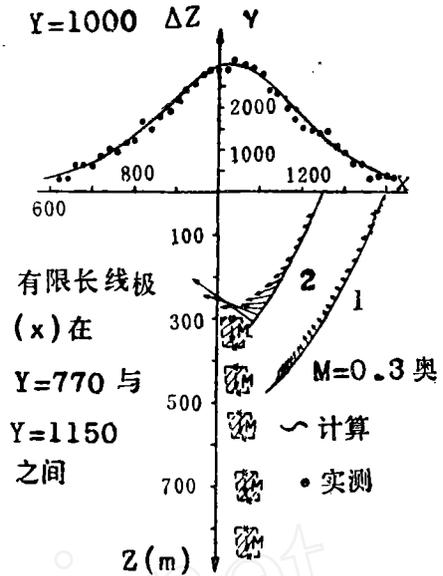


图7 五对平行于 y 轴、长为380米的线极（ \times ）所引起的磁异常矢量以及地面异常场垂直分量的计算结果

五个假设板的厚度的求解方法同图6

所示的点上（ \times ）。所指出的这对线极在两个钻孔中引起的磁场矢量及其在地面的磁场垂直分量也都表示在该图上。当与图5中的实测结果对比时，这些计算值全都吻合得不错。假定取磁化强度的数值为 0.3 奥（这是当地的平均值），则求得所设想的板状体的厚度约为 $20\sim 25$ 米。

更细致地对比磁场矢量的实测值和计算值，尤其是它们在钻孔2中的值，我们可以推想矿体并不连续。事实上，推断解释也有点不合理，因为实际矿体是有限长的。在图7中检验了这两种因素的影响，将矿体看成长度均为380米的五对线极。根据图4，可以确定这些有限长线极位于 $y=770$ 和 $y=1150$ （按该图的坐标系）的范围之间。于是，在这种情况下，磁场的计算值与在地面和几乎在整个1号钻孔中的磁场观测值都很吻合了。

在图6和图7中，所估算的矿体底部深度几乎是一样的。一般地说，当利用图2的曲线来推断矿体的底部深度时，矿体的不连续和其有限的长度所引起的误差可以相互抵消。

结 论

在上述实例中，先从钻孔磁测的结果中找出特征点，然后利用图2的曲线可以很快地确定出薄板矿体的线极。通过计算该线极在地面的异常，并将

（下转第75页）

的是构成胶状、带状矿石的细粒玉髓状石英。此外，片状、骨架状、梳状与角砾状构造的石英也发育较广。由于硫化物的细散矿染，石英常被染成灰色。形成矿石的近地表条件对多阶段的成矿堆积过程特别有利，因此在矿体中有时可以见到具有不同结构、构造特征的几个世代的石英。具有条带构造的胶状石英，主要是在含矿阶段析出的。

石英之外最有特征性的近地表金矿床的矿物则是冰长石。这种矿物不仅在矿石中（胶状条带石英及其他变种中），而且在矿田广泛发育的热液蚀变岩中均可见到。除冰长石之外，个别情况下还可见到通常是在矿化最早阶段形成的正长石，以及在成矿的最初阶段或最晚阶段生成的水云母。

对某些矿床或矿体来说，碳酸盐类（方解石、铁白云石、菱锰矿）是极常见的。大量的粗晶白色方解石的存在，说明成矿堆积过程中含金程度低的几个晚期阶段发育。有时见到的萤石与紫水晶也是形成于成矿堆积过程的晚期阶段。矿体中见有沸石，可以证明侵蚀剥蚀不大。近地表金矿床最主要的伴生组分为银、铅、锌、铜、铋、砷、汞。锰对某些矿床也有特征性。根据光谱金属量测量确定的上述元素晕，可以判定矿床的矿物类型，进一步明确矿田范围及单个矿体的位置。

近地表型金矿田分布的基本构造条件是在长时期活动的断裂带范围内存在不稳定的拗陷，而该断裂带一般又被另外两个方向上的若干断裂带所交切。这种结合在一起断裂系统，由于基底的复成构造而使其在火山岩带的不同部分具有不同的走向。在拗陷活动被其他方向的断裂交切的部位，火山构造发育，其中包括火山机构和向其延伸的熔岩、火山碎屑与凝灰熔岩盖层，甚至还有次侵入岩体和侵入岩体。在这个地区的范围内发生一些块段下降、另一些块段隆起的补偿作用。在隆起的块段中，基底岩石局部出露，说明这些块段在垂直距离上的移位是相当大的，同时伴随着裂隙的轻微开放。热液正是通过这种状况的裂隙而贯入，并在近地表的条件下成矿。

（上接封三）

此结果与相应的观测值作对比，有可能来检验这些曲线给出的结果。由于钻孔磁测所提供的有关异常的资料往往不完整，因此，除了利用钻孔的观测值外，还利用地面的观测值来进行推断解释是有益的。

尽管图2和图3中的一对线极和一对点极的特征曲线在总体上有点相似，但在相应的数值上却有着显著的差异。因此，对于每一种具体情况，首先

不同方向的断裂及其伴随的裂隙的发育，导致产生规模大小不一的岩块。岩块大者可以包括若干矿汇，小者容纳个别的矿田。矿汇与矿田的内部构造在大多数情况下决定于平面上为圆形的岩浆体及三角形或梯形岩块的相互搭配，而后二者又由不同方向的断裂破坏所限定。此外，断裂破坏系统中起限定作用两个岩块一般均比第三个更明显。在伴随岩块或由其派生的裂隙中有矿体赋存，而且大多是在矿田的中部。断裂破坏的作用，尤其是在角砾物质充填的许多地段特别大。这是因为成矿堆积过程发生在近地表的条件下，同时上部岩石的静力荷重较小。

认识这些构造要素并进行填图，是火山岩建造发育地区地质构造研究的主要任务。为了在火山岩带广阔的空间内加快完成这个任务，应对大比例尺（1:25000）航空摄影照片广泛使用地质构造判读的方法，同时分析航空磁测、重力测量与伽马测量的资料。

为了确定近地表型金矿床的前景，除矿田的空间分布、规模大小与构造形态之外，同时还应对含金构造的开拓深度进行评价。如果矿田地形起伏剧烈，则说明矿床的开拓深度大，在中生-新生代火山岩组成的区域范围内可达300~500米，甚至更深。这种区域内的矿床勘探，可以既快又省地先使用平窿，然后打水平钻。

评价容矿构造与金矿床本身剥蚀大小的准则，一方面是有利于矿体赋存的火山岩地层的厚度；另一方面是在火山盖层剖面的上部产生有渗透性差的火山岩（凝灰溶岩、玻璃斑岩、凝灰泥岩，等等）屏蔽层，以及基底岩石岩颈的大小与位置。应当指出，关于近地表金矿化前景的研究尚处于开始阶段。本文提出的有关找矿与评价准则的材料完全是参考性的，有待于进一步补充和修正。

译自《Разведка и охрана недр》，

1973, №.8, стр.1-4

作者：Г.П.沃拉洛维奇等

龚昶行译，晋燧校

要利用地面磁测来确定究竟应该用那一组特征曲线。在图2和图3的曲线之间进行内检，甚至还有可能应用于成对的有限长线极的情况。对于不同磁化方向的球、椭球和薄板那样的简单模型体，也可以计算类似的特征曲线。

邵梦林译自《Geoexploration》，

1973年, Vol.11, №.2, P.75-85

作者：维尔霍兰托