第八章 磁异常的地质解释及应用

第一节 磁异常地质解释的基本方法与步骤

磁测资料解释的内容是由磁测的任务决定的。任务不同，对解释的内容和要求也不同。总体来说，磁测资料的解释过程步骤一般如下：

（1） 磁测资料的预处理和预分析；

（2） 磁异常的定性解释；

（3） 磁异常的定量解释；

（4） 地质结论和地质图示。

一、磁测资料的预处理和预分析

对资料进行预处理和预分析，要使对资料的解释建立在资料完整、可靠和便于解释的基础上。因此，在解释前应分析磁测精度的高低、测网的疏密，系统误差的有无和大小，正常场选择是否正确，图件拼接是否合理，资料是否齐全，是否有干扰影响存在等。若有问题，应改正或处理解决。此外，还应该注意分析磁性地质体的磁性特征和磁性的均匀性、方向性和大小。

为便于解释，在解释大面积磁测资料时，常需对异常进行分区、分带，确定解释单元，并网格化。多数情况下，还需对磁测资料进行必要的转换和处理，如延拓、化极、求导等。

二、磁异常的定性解释

磁异常的定性解释包括两个方面的内容：一是初步解释引起磁异常的地质原因，二是根据实测磁异常的特点，结合地质特征运用磁性体与磁场的对应规律，大体判定磁性体的形状、产状及其分布。

对磁异常进行地质解释的首要任务是判断磁异常的原因。对找矿来讲，就是要区分哪些是矿异常，哪些是非矿异常。实际工作中，由于地质任务和地质条件的不同，定性解释的重点与方法也不同，但一般都从以下几个方面着手。

（1）将磁异常进行分类。根据异常的特点（如极值、梯度、正负伴生关系、走向、形态、分布范围等）和异常分布区的地质情况，并给合物探工作的地质任务进行异常分类。例如，普查时，往往先根据异常分布范围，把异常分为区域异常和局部异常。区域异常往往与大的区域构造或火成岩分布等因素有关；局部异常可能与矿床和矿化、小磁性侵入体等因素有关。为了弄清每个异常的地质原因，对区域异常可结合地质情况，再分为强度大、而又起伏变化的分布范围也大的异常，异常强度较小而又平静的大范围分布的异常等等；对局部性异常，可结合控矿因素等分为有意义异常和非矿异常等。

（2）由“已知”到“未知”。由已知到未知是一种类比方法，这种方法是先从已知地质情况着手，根据岩（矿）石磁性参数，对比磁异常与地质构造或矿体等的关系，找出异常与矿体，岩体或构造的对应规律，确定引起异常的地质原因，并以此确定对应规律，指导条件相同的未知区异常的解释。在推论未知区时，应充分注意某些条件变化（如覆盖、干扰等）对异常的可能影响。

（3）对异常进行详细分析。详细分析研究异常的目的，是为了结合岩石磁性和地质情况确定引起异常的地质原因。在研究异常时，应注意它所处的地理位置，异常的规则程度，叠加特点。同时还应大致判断场源的形状、产状、延深和倾向等。

三、磁异常的定量解释

定量解释通常是在定性解释基础上进行，但其结果常可补充初步地质解释的结果。定性

和定量解释两者是相辅相成的，并无严格的分界。定量解释的目的在于：根据磁性地质体的几何参量和磁性参量的可能数值，结合地质规律，进一步判断场源的性质；提供磁性地层或基底的几何参量（主要是埋深、倾角和厚度）在平面或沿剖面的变化关系，以便于推断地下的地质构造；提供磁性地质体在平面上的投影位置、埋深及倾向等，以便合理布置探矿工程，提高矿产勘探的经济效果。

定量解释方法的选择，应选那些简单、方便、精度高，适用范围广，有抗干扰能力，前提条件少，能自动检验或修正反演结果的方法。

第二节 磁异常在区域与深部地质调查中的应用

一、划分不同岩性区和圈定岩体

由于磁异常是由不同地质体间的磁性差异引起的，所以某种地质体的异常特征，与地质体的空间分布、形状、产状及磁性直接相关。理论和实践表明：①磁异常的位置和轮廓可以大致反映地质体的位置和轮廓；②磁异常的轴向，一般能反映地质体的走向；③在地质体出露和埋深较小的情况下，其磁性不均匀常会使异常发生起伏变化；④磁异常的强度和分布范围会随埋深而变化。除以上几点外，在圈定岩体和划分岩性区时，还应注意不同岩石的地质分布特点，岩石磁性的变化规律及其相应的磁场特点，磁性体的磁化特点等。

（1）基性超基性岩体的磁场特征

基性与超基性侵入岩，一般含有较多的铁磁性矿物。在出露或埋藏较浅时，在地面可引起数千纳特的强磁异常。由于磁性矿物含量的不均匀，曲线有一定程度的的跳跃（图 8-2-1）。有时岩体中含有百分之几到百分之十几的磁铁矿，此时岩体磁异常与磁铁矿磁异常往往难以区分。

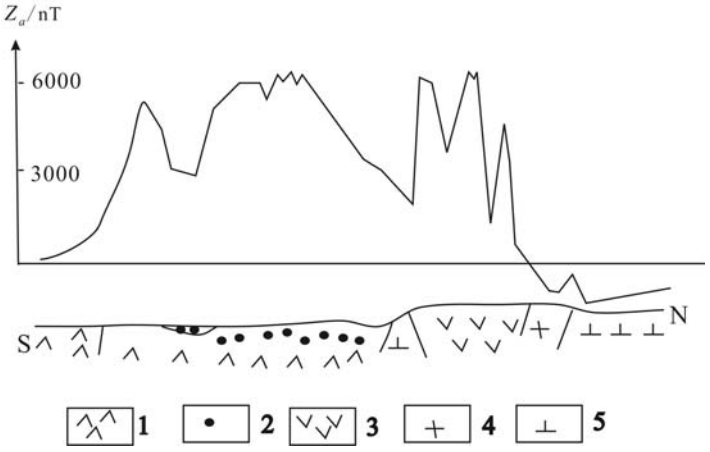


图 8-2-1　基性超基性岩的磁异常

（2）玄武岩等的磁场特征

玄武岩体上的磁异常值变化很大，有数百纳特以下的弱异常，也有数千纳特的强异常，以上千纳特的异常较为常见。这些异常常具有锯齿状剧烈跳跃的特点，与其他岩体有明显的区别。

（3）闪长岩的磁场特征

闪长岩常具有中等强度的磁性，在出露岩体上可以引起 1000～3000nT 磁异常。当磁性不均匀时，异常曲线在一定背景上有不同程度的跳跃变化（图 8-82

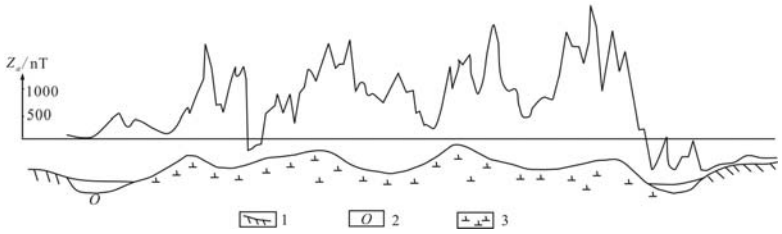


图 8-2-2 磁性不均匀闪长岩的磁异常

（4）花岗岩等的磁场特征

花岗岩类一般磁性较弱，在多数出露岩体上只有数百纳特左右的磁异常，有时甚至在百纳特以下。曲线起伏跳跃较小，少数岩体上也有形成数千纳特异常的。花岗岩体有时有不同的岩相带，常形成不同的磁场特征，且边缘相的磁场强度往往相对较高。花岗闪长岩的磁异常常较花岗岩为高，而与闪长岩相近。

（5）沉积岩类的磁场特征

沉积岩多数只有微弱的磁性，故磁场平静、单调。有些砂岩、页岩或含有磁铁矿的大理岩，因含有少量磁铁矿物而出现磁异常。有的盐丘，因其组成矿物具有反磁性而有数十纳特的负磁异常。

（6）变质岩类的磁场特征

沉积岩形成的变质岩一般磁性微弱，磁场平静。由火山岩形成的变质岩异常与中酸性岩体异常相近。含铁石英岩情况特殊，往往形成有明显走向的强磁异常。

二、推断断裂、破碎带及褶皱

用磁法能圈定断裂带、破碎带，是因为断裂的产生或者改变了岩石的磁性，或者改变了地层的产状，或者沿断裂带伴有后期或同期岩浆活动，或者沿断裂两侧具有不同的构造特点。断裂或断裂带上的磁异常，按其特征可分为以下几种。

沿断裂有磁性岩脉（岩体）充填，这时沿断裂方向会有高值带状异常（或线型异常带）分布。若沿断裂方向因岩浆活动不均匀，可能产生断续的串珠状异常。有些断裂破碎带范围较大，构造应力比较复杂，既有垂直变化也有水平变化和扭转现象。在这种情况下会造成雁行排列的岩浆活动通道，因此在这类构造上就会出现雁行状异常带（见图 8-2-3）。

当我们根据磁异常推断断裂构造时，一要注意标出异常轴，二是要有理由肯定异常与岩浆活动有关。另一种情况是，磁性岩石断裂无岩浆活动伴随，当其断裂破裂现象显著时，因磁性变化会出现低值或负的异常带，这就是所谓的“干断裂”异常（见图 8-2-4）。

深大断裂是一种特殊的断裂类型。这种断裂常是两个不同大地构造单元的分界线；断裂切割地球的硅铝层，甚至更深；断裂活动和岩浆活动具有多轮回性，它多半是现代地震的活动带。它是一个宽度可达几十千米，长几百千米的复杂断裂束，是一个宽大的岩浆剧烈活动通道。在深大断裂带内，近乎平行的断裂线成组出现，磁异常也是如此。图（8-2-5）是郯城—庐江深大断裂的磁场图，该断裂长约 800km，宽 30～50km，其磁异常以正异常形式出现。

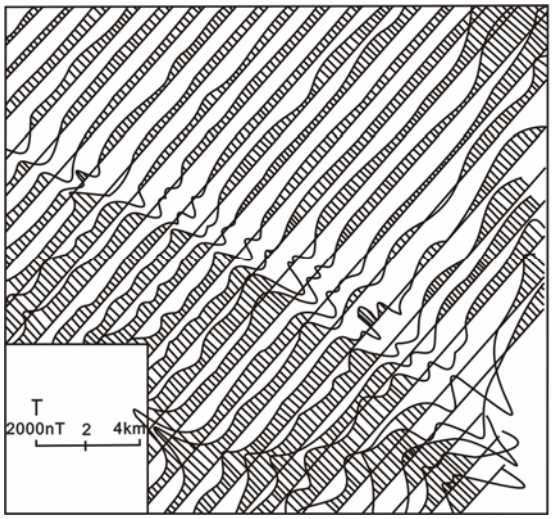


图 8-2-3 断裂带上的航磁异常

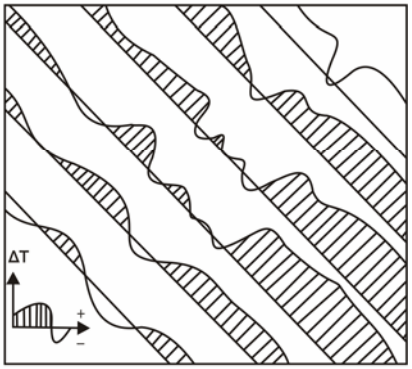


图 8-2-4 “干断裂”上的航磁异常图

深大断裂带常可能是一个巨大的金属成矿带，如长江中下游深大断裂带就是一个金属矿成矿带。

断层也是一种断裂构造。规模较大的断层，沿断层在面两盘发生了明显的相对位移。一个磁性层或磁性体当其为断层错开时，不论是上下错动还是水平错动，当断距较大时都会使磁异常发生明显变化。一般上盘的磁异常强度小，而范围小；下盘的磁异常反映为缓、宽、弱和较平稳。若为水平错动，磁异常等值线会发生扭曲，异常轴向发生明显变化。

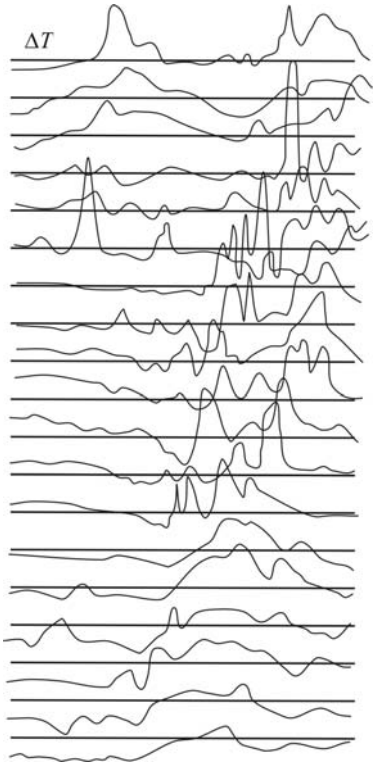


图 8-2-5 郯城—庐江深大断裂中部的磁异常图

三、成矿区的圈定与划分

成矿区的圈定与划分，是一项地质、地球物理资料相结合而进行的一种综合性研究工作。利用磁测资料时，主要应考虑两方面的条件，一是成矿和控矿条件；二是矿与围岩的磁性差异。即要综合考虑地质和地球物理的可能性。

（1）含油气远景区的圈定和划分

根据磁测资料评价含油气远景时，首先要考虑磁性界面深度图，即基底深度图所反映的构造形态（基岩的相对隆起与凹陷）；同时也要研究生油条件、储油条件、构造条件等，其中主要是构造条件。一般来说，只要有比较宽阔的深凹陷存在，就有形成油气藏的可能性；只要在深凹陷内存在着相对隆起，一般应划分为成油气有利地段。

以构造条件为主导的远景评价方法，曾在各个工业油气藏盆地中利用过，一般都是很成功的。如在松辽盆地划分出的大庆长垣，以及在渤海地区、江汉地区都得到了肯定的效果。

（2）金属成矿区的圈定

在评价金属矿成矿远景区时，要研究岩浆控制条件、构造控制条件、地层和岩性控制条件、地球化学条件和地貌条件等。其中主要是岩浆、构造和地层控制条件，区域地质构造是控制全局的因素。我们知道，与超基性岩密切相关的矿床有铬、铂和金刚石；与基性岩共生的矿床有钛磁铁矿和硫化镍矿；与中酸性火成岩有关的矿床，有钨、锡、钼、铜、铅、锌、金、铀、钛、锂、铍、铌、钽等各种成因类型的绝大多数内生矿床。区域性地质构造控制着成矿区、成矿带、矿田和矿床的位置。断裂带是岩浆活动的通道，在断裂交叉处往往控制着成矿远景区。在评价内生矿床时，岩浆和构造条件是主要的。在评价海相沉积矿床时，地层及构造则是主要的，锰矿、铀矿、铜矿、铝土矿等沉积型矿床都受地层控制。

根据磁测资料可以圈定侵入体，研究侵入体的形状、产状、岩相和蚀变带等；可以确定断裂和褶皱构造、划分不同岩性区。利用磁测资料对控矿因素的分析结果，再结合地质资料和区内的矿点、矿化点、矿化带、矿床等各种找矿标志（包括各种物化探异常在内）进行综合研究，圈定出成矿远景区。

第三节 在固体矿产勘探中的应用

磁测在固体矿产勘查中的作用主要是直接找矿和间接找矿两方面。

磁测是作为找磁铁矿床的方法而产生并长期发展的。随着磁测精度的提高和基本理论的发展，磁测不仅能发现磁铁矿床，而且可能解决勘探方面的问题：确定矿体的深度、产状要素、磁化强度和估算磁铁矿石的储量。在这方面我国已有多个成功实例。

在间接找矿中，主要是用磁测查找在空间上或成因上与成矿有关的地层、构造、岩浆岩、蚀变岩石、矿化带等控矿因素。此外，利用所寻找矿种与磁性矿物的共生关系找矿，也属于间接找矿。目前磁法勘探的间接找矿作用，发挥的作用还很不够。

磁测寻找磁铁矿床的效果最为明显。在寻找其他类型铁矿，以及铜、铅、锌、镍、铬、钼、铝土矿、金刚石、石棉、硼等各种金属与非金属矿床上，虽然大都属于间接找矿，但也起到重要作用。

一、 寻找各类铁矿床

我国铁矿的主要类型有:前震旦纪变质铁矿、碳酸盐类岩石与中酸性侵入体接触带铁矿、火山岩中铁矿、基性侵入岩中铁矿等。

1、变质岩中的铁矿

变质岩中的铁矿通常称为鞍山式铁矿，其磁铁矿石的感应磁化强度达 0.03～0.2A/m，围岩变质岩的磁化率小，两者有明显的差异。当矿体出露地表，磁异常有明显的峰值，异常可达上万纳特。航空和地面磁测异常就成为寻找此类矿床的有效找矿标志。地磁异常多为条带状，具有明显的走向方向。

密云变质铁矿矿石主要有磁铁石英岩、磁铁片麻岩两种，它们均属强磁性矿物。一般磁化强度为 n•10000～n•10000×10^{-3}A/m，在地表一般能引起 n•10000nT 的异常，比围岩大几个级次。围岩为古老片麻岩，磁化强度为 n•1000×10^{-3}A/m，在地表能引起 n•100nT 的异常，故视为弱磁性岩石。磁铁石英岩、磁铁片麻岩与围岩有明显的磁性差异。

密云沙厂矿区变质铁矿的特征：

1、 矿带呈狭长条带状，埋深浅，延伸不大于 400~500 米；
2、 主要受片麻岩岩性控制，而围岩与矿体的磁性差异大；
3、 受斜磁化的影响，在矿体北侧或西北侧往往显示有负异常；
4、 一般强度大，ΔT 在 1000~2000nT 之间，最高达 4000nT，并且梯度大，往往呈多峰、锯齿状跳跃，但曲线有一定规律，沿走向较长。

沙厂矿区由Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ矿带组成(与Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ异常带吻合)，如图 8-3-1 所示，其中以Ⅱ、Ⅲ矿带为主组成了向斜两翼，它们在北端汇合在一起。Ⅱ矿带矿体出露于异常北

部和南部，中间有 400 米覆盖区，磁异常中间相连，推断为一完整的矿带，全长千余米。III 矿带全长 1200 多米，矿带南部被断层切断。

关于沙厂地区的构造，磁法解释认为Ⅱ、Ⅲ矿带组成向南倾伏的向斜构造。根据磁异常的特征，在Ⅱ、Ⅲ矿带中间出现 1000~3000nT 宽大的平缓正异常，而两侧出现负异常的特点是典型的向斜构造的理论曲线形态，如图 8-3-2 所示。故认为Ⅱ、Ⅲ矿带即为此向斜的两翼。矿体北部汇合处为倾伏向斜的轴部转析端，推断深部应有矿体存在，而这个矿体属Ⅱ、Ⅲ矿带相连的部位。但由于钻孔较浅，孔中所控制的Ⅱ、Ⅲ矿带向东倾，曾认为Ⅱ、Ⅲ矿带北部汇合处，是挤压作用的结果，矿区的构造不是向斜构造，而是向东倾斜的单斜构造。

究竟是向斜构造，还是单斜构造，涉及到Ⅱ、Ⅲ矿带中低缓异常是否是深部盲矿引起，为此对磁异常进行了定量计算，计算结果说明存在较大的剩余异常，推断剩余异常为磁铁矿引起，在Ⅱ、Ⅲ矿带于深部汇合，组成一向斜构造。由于向斜核部铁矿的厚度加大，这一解释结果使密云沙厂铁矿储量大增 (据北京市地质研究所物化探室，1975 年航检工作会议（南宁）材料) 。

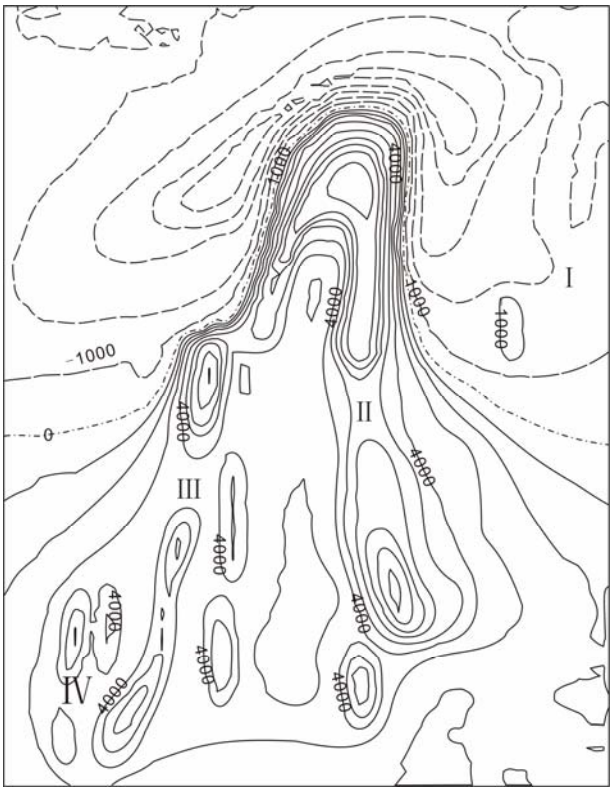


图 8-3-1 沙厂铁矿区铁山头磁异常平面图（等值线单位 nT）

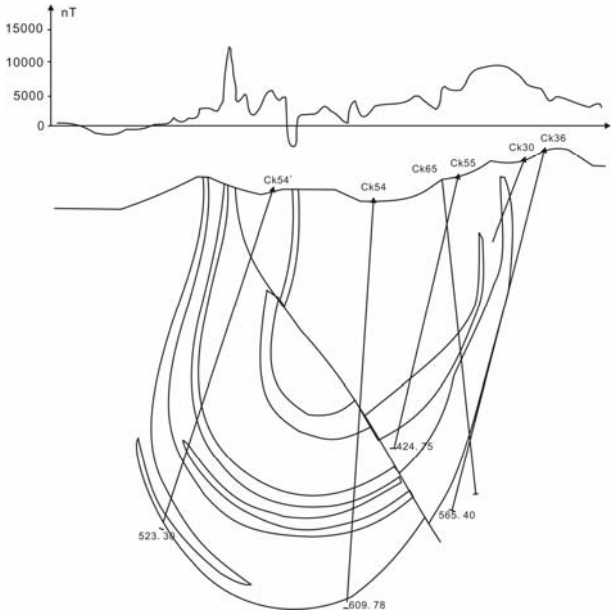


图 8-3-2 III剖面矿体剖面示意图

2、中酸性侵入体与碳酸盐岩的接触带中的铁矿

此种铁矿产于中酸性侵入体，如闪长岩、花岗闪长岩与石灰岩、泥质灰岩、钙质粉砂岩等碳酸盐岩石的接触带及其附近，在矿体附近往往可见矽卡岩。中酸性侵入体具有磁性，可观测到明显的磁异常。碳酸盐岩石不具磁性，铁矿产于接触带及其附近，在碳酸盐岩石的平静磁场与侵入体磁场的过渡带上叠加的次级磁异常就成为磁测找此类铁矿的标志。

例如图 8-3-3 是河北某地 1：10 万航磁图，图中有一个以 30nT 为接触带异常背景的弧立异常。由于异常位于某铁矿区外围，有必要查明异常的地质原因。磁异常分布区出露有中奥陶统马家沟灰岩，此种灰岩在该区为成矿围岩；在航磁图上异常处于 30nT 背景边部，说明异常位于接触带上，处于成矿有利地段。物探人员据此，初步判定可能是矿异常。为查明该异常，又布置了 1：5000 比例尺的地面磁测，圈定了这个最大值只有 350nT 的低缓异常，见图 8-3-4。

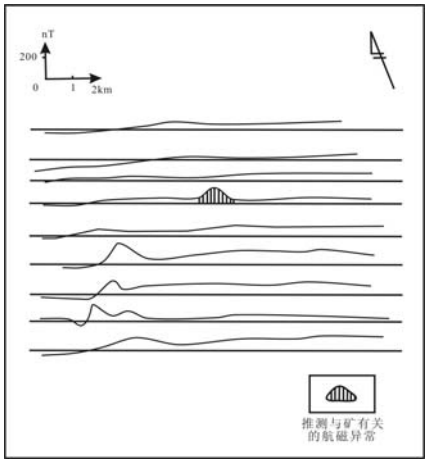


图 3-3-3　河北某地磁铁矿上的航磁异常

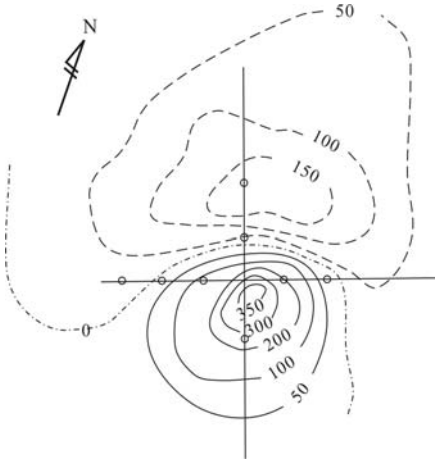


图 8-3-4 河北某地磁异常平面图
（等值线单位 nT）

对上述异常经定性分析、定量计算，并研究了磁异常的空间分布和变化特点；根据当地矿体磁性参数和定量计算出的参数作了正演计算后，进一步确定了该异常为矿异常。经钻探验证证实了异常由磁性铁矿所引起。矿体为多层密集排列，而并非球形矿体。因其埋藏较深，故可近似看作球体。

大冶式铁矿产于中酸性侵入体，如闪长岩与大理岩的接触带。图 8-3-5　是大冶铁矿 12 线剖面图，其中实线是观测值，虚线是铁矿体及具磁性的黑云母闪长岩、矿化矽卡岩正演计算的结果。

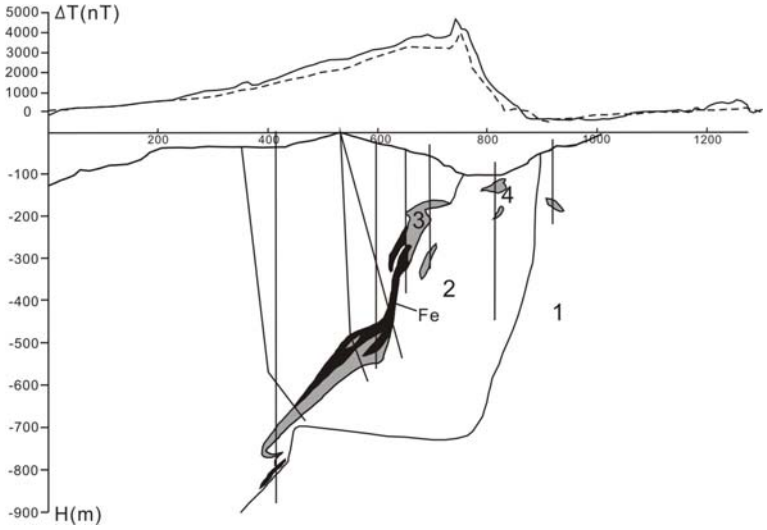


图 8-3-5　大冶铁矿 12 线剖面图

1-闪长岩　2-黑云母辉石闪长岩 3，4-矿化矽卡岩　实线 –观测值　虚线-正演计算理论值

3、火山岩中的铁矿

此类铁矿在我国统称为梅山式铁矿，可以分成两类。一是玢岩侵入火山岩中，分布在火山岩断陷盆地中间，以磁铁矿石为主；另一是玢岩侵入盆地基底层中，主要分布于火山岩断陷盆地边部或隆起断块中，以假象赤铁矿矿石为主。火山岩磁性比磁铁矿通常要小。考虑到火山岩磁场的干扰，用 1：5 万或 1：2.5 万比例尺航磁可发现铁矿异常。

图 8-3-6 ，8-3-7 梅山铁矿是以富磁铁矿为主的陆相火山岩型铁矿床磁异常：由于磁铁矿石磁性比围岩高得多，磁类型铁矿床异常明显，形态规则。

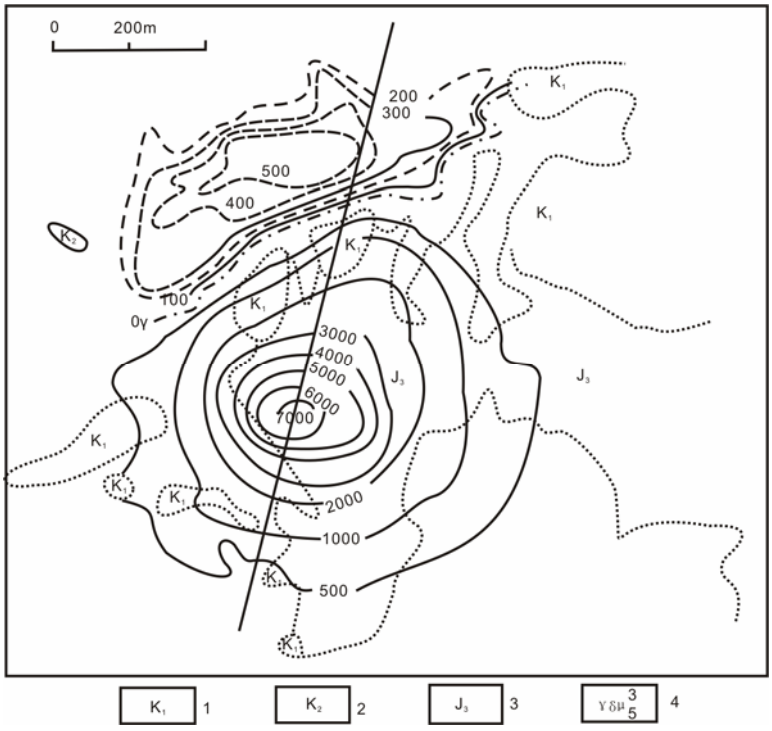


图 8-3-6 梅山铁矿综合平面图（等值线单位 nT）

1-火山碎屑岩夹凝灰角砾岩；2-浦口组砂砾岩；3-龙王组硅化高岭土安山岩；

4-辉长闪长玢岩

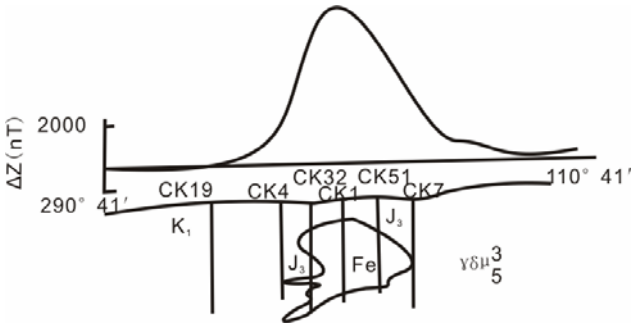


图 8-3-7 梅山铁矿磁异常剖面

4、基性岩中的铁矿

当地槽褶皱期后或地台活化时，基性岩沿深大断裂侵入，生成钒钛磁铁矿。基性侵入岩是各类岩石类型最强的一类，而钒钛磁铁矿产又直接地赋存在基性岩体之中。因此，无论是基性岩体还是钒钛磁铁矿体都以强磁异常为其特征。基性岩体及钒钛磁铁矿引起的异常强度与岩体和矿体中磁铁矿、钛磁铁矿等铁磁性矿物的含量密切相关。同时，钒钛磁铁矿床引起的磁异常往往叠加在基性岩体异常之上，组成了岩体和矿体的复杂叠加异常。

太和钒钛磁铁矿东西长 3.7km，南北宽 3.5km，面积 12.95km^2，海西早期含矿辉长岩体呈北东东-南西西向展布，倾角南东。含矿流层状辉长岩相带是矿区主要矿体的赋存部位，每个矿组由数个似层状、透镜状矿体组成（如图 8-3-8）。



图 8-3-8 太和钒钛磁铁矿磁异常平面图（等值线单位 nT，据李色篆，1988）

二、寻找其他金属矿与非金属矿

1、铜矿和铜镍矿

利用磁测找铜矿，一般分两种情况：一是含铜磁铁矿床；另一种是铜矿床中局部含有磁铁矿或磁黄铁矿。

对于含铜磁铁矿床，铜与铁共生，利用磁测找铁间接找铜。如湖北某地在进行 1：20 万比例尺航磁测量时，曾在一条测线上发现强度较大的磁异常。开始按铁矿勘探，后来在强磁异常旁侧的次级低缓磁异常找到了深部含铜磁铁矿，才肯定了该矿床的工业价值。

对于矽卡岩型铜矿和超基性岩中的铜镍矿，往往局部含有磁铁矿或磁黄铁矿。这时磁测仍是找这两种矿的有效手段。由于铜矿体的范围往往超过磁性矿物范围，所以磁测不能用来圈定矿体范围。超基性岩中的铜镍矿，磁异常除作为找矿的标志外，还用来圈定超基性岩体。如甘肃某铜镍矿产于二辉橄榄岩—辉石橄榄岩的超基性岩中，矿石中含有大量磁黄铁矿，磁化率比超基性岩大 4 倍左右。经 1：10 万航磁发现异常，地磁检查后发现在矿区外围两个 1000nT 左右的异常。（见图 8-3-9）。根据异常的错动，推测有平推断层。经钻探后在异常 50～100m 深处见到了岩体和矿体，现已成为我国大型的铜镍矿产地之一。

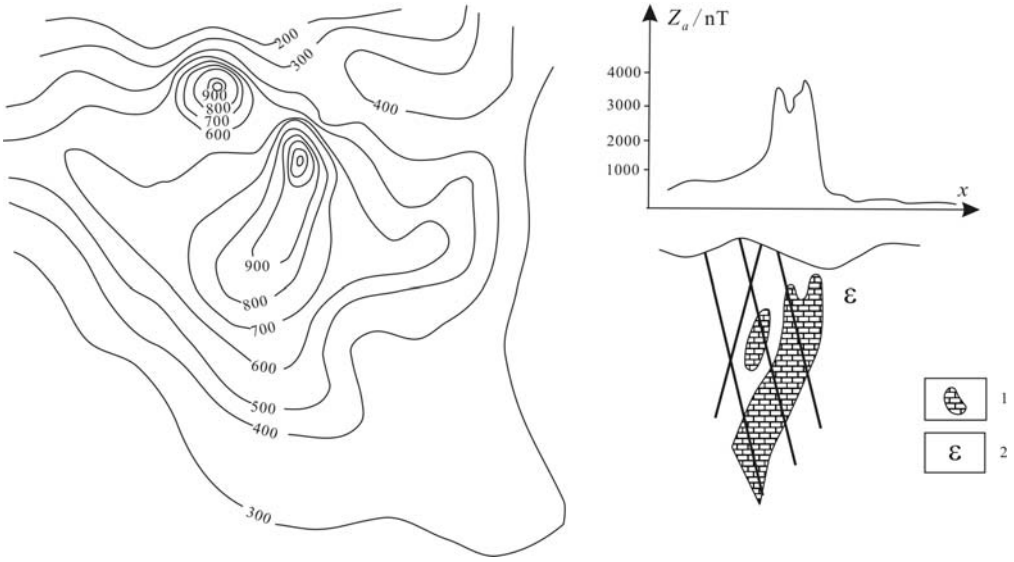


图 8-3-9　甘肃某铜镍矿区磁异常剖面图（等值线单位 nT）

1-镍矿体；2-超基性岩

2、多金属矿与锡矿

多金属矿中的矽卡岩型矿床，往往含有磁铁矿或磁黄铁矿，使用磁测较为有效。如河北某地的多金属矿，产于石英斑岩与震旦纪的外接触带。航磁异常反映为 250～500nT 的局部异常。经地面工作证实，强磁异常由磁铁矿化矽卡岩引起；而其低缓磁异常系由深达 100m 以下的以钼为主的铁、铜、锌、钼多金属隐伏矿床所引起。

在许多锡矿区，往往有磁黄铁矿化；且其范围比锡矿化的范围大，发育更广泛。在这种矿床发育地段一般均有磁异常，我国广西大厂锡矿床上就有这种特点。如大厂长坡矿区的地质—磁性模型，该模型浅部为陡产状体而深部为平缓层状体，反映了该区地质构造控制的特点。基于这样的模式指导进一步磁异常的解释，定量建立了大厂长坡及大福楼磁异常与锡矿推断关系图。利用这些推断结果而设计的钻孔，发现了新的矿床，其规模属于大中型（熊光楚，1986）。

3、铬铁矿

铬铁矿是与超基性岩有关的矿床类型。超基性岩是属于强磁性的岩石类型，而铬铁矿则属于弱磁性的矿石类型。因此在多数情况下，矿体和围岩有明显的磁性差异。一般超基性岩

体能引起几千纳特的磁异常。图 8-3-10 为鲸鱼岩体磁异常平面剖面图，异常特征明显地受到磁性岩体磁性特征的控制。超基性岩蛇纹石化以后，磁性普遍增强，碳酸岩化以后磁性降低。因此岩石蚀变后其磁场也发生变化。

铬铁矿的磁性特征是：磁化率小；矿石的剩余磁化强度大；方向变化大；矿石标本中的反极性标本所占的比例很大。这样，超基性岩体内当赋存有铬铁矿时，在矿体上往往出现很多局部的杂乱的负异常。

有时当铬铁矿石磁性(特别是剩磁)比围岩磁性大的多时，则在矿体上出现了明显异常。例如云南某铬铁矿区，其矿石的感应磁化强度 ***Ji*** 为 1000×10^{-3}A/m，剩余磁化强度 ***Jr*** 为 20000×10^{-3}A/m，而围岩磁性很弱，因此在矿体上有 200～400nT 的磁异常（见图 8-3-11）。

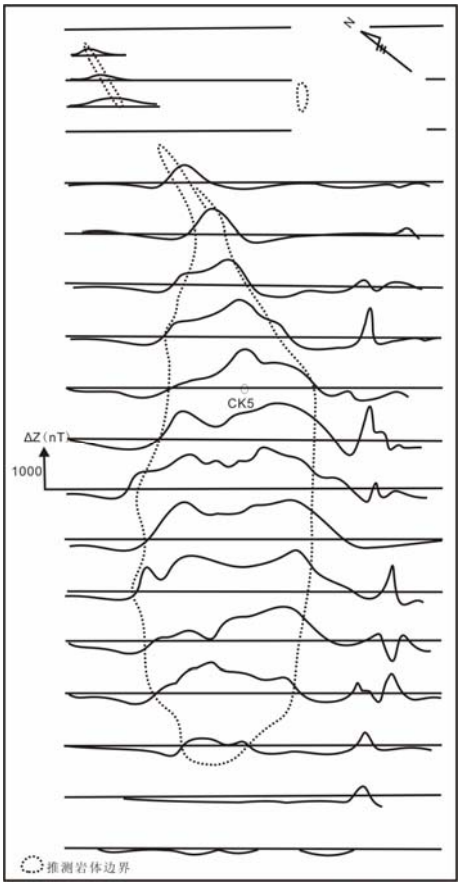


图 8-3-10　鲸鱼岩体磁异常平面剖面图（据李色篆，1988）

4、基性与超基性岩中的石棉矿

由于石棉矿与基性、超基性岩有成因关系，而基性、超基性岩具有磁性，故利用磁测圈定这些岩体间接指出石棉矿的赋存部位。如辽宁某地层区内震旦纪厚层灰岩的平静磁场中出现北西向分布的规则磁异常带，异常强度在150～300nT，呈狭长带状、梯度较大。工区南部构造复杂，Ⅱ号异常走向变化为断层错动所致，见图8-3-12。经多个钻孔控制，

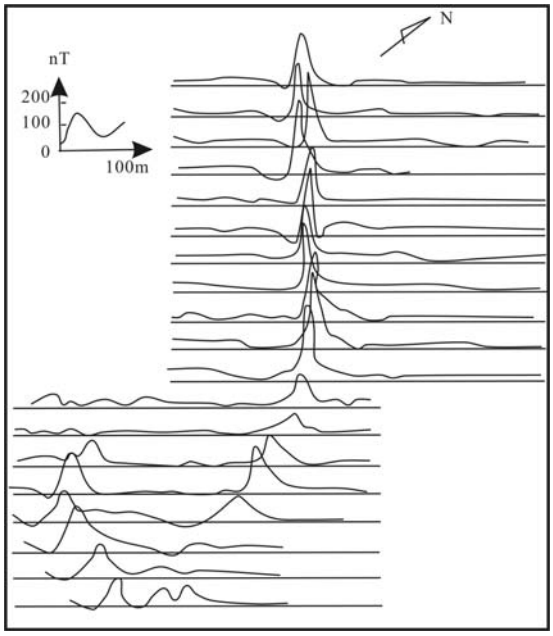


图8-3-12　辽宁某石棉矿区磁异常平剖图

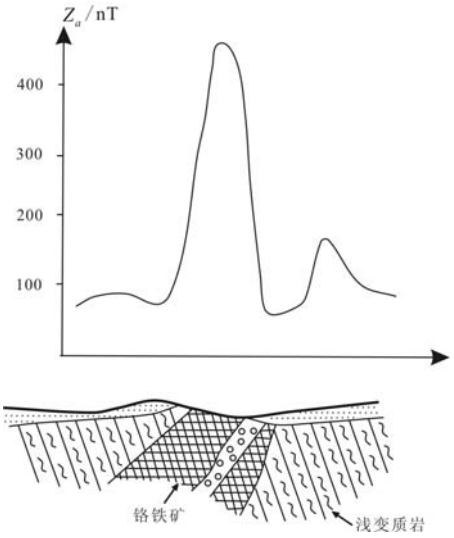


图8-3-11 云南某地铬铁矿区磁异常图

证实此磁异常带为与石棉矿共生的辉绿岩引起。

5、铝土矿

前苏联对铝土矿的磁测进行了较多研究，前苏联本土的铝土矿床可分为：①风化壳型（红土型）；②复成型（红土—沉积型）；③古地台、新地台及地槽褶皱区沉积型（再深积型等类型）。其中地台型磁测效果最好。

（6）硼矿

辽宁某地硼矿产于太古界变粒岩层（深变质岩）所夹大理岩中。有两种类型的矿体，一为硼镁石为主，含有磁铁矿的矿体；另一为硼镁石—硼镁铁矿共同组成的矿体。

磁铁矿—硼镁石矿的磁化率一般为（10000～15000）$\times 4\pi \times 10^{-5}$SI。虽然硼镁石矿体不具磁性，但可利用与硼镁石在成因上有空间关系的磁铁矿，采用磁测来寻找硼镁石矿。由已知矿体得知该区无磁性干扰，因此认为该异常以硼镁石为主的含磁铁矿的矿体所引起。对该异常进行验证。在11～15m深处见到了较大的硼矿体。

（7）金、铂、金刚石、钨等砂矿

在普查这些矿床时，可用地球物理方法圈出隐伏的古河床、河谷、矿囊以及其他在砂矿中堆积有重矿物的地段。这些重矿物富集的地段常有磁铁矿。因此，普查隐伏砂矿时，常用垂向电测深法确定基岩表面起伏。若在基岩埋深最大的地段或古阶地上发现磁场增高，则能推测有磁性矿物。

第四节 在其他方面的应用

一、在煤田火烧区上的应用

在许多煤盆地中，燃烧过的煤层上方有强磁异常。这是由于煤层中的氧化铁和氢氧化铁受高温作用变成磁铁矿的缘故。根据煤层燃烧后的热剩磁特点，我国物探人员在西北三省的

十七个勘探区二十二个测区用磁法和自然电场法探测煤田火区，取得了较好效果。

煤层露头自然发火经历为低温氧化、自热、着火与遍燃、燃烧、降温熄火。按发生发展的进程，则煤层火区可分为五个带：①吸附水蒸发带；②挥发物涌出带；③发火带；④燃烧带；⑤还原熄灭带等。煤层经过燃烧，顶底板及其夹矸受到强烈的高温作用而形成烧变岩。顶底板中的铁质多数是赤铁矿、黄铁矿、菱铁矿、褐铁矿等，随着烧变岩的形成它们大部分转变成磁性矿物。由于这种作用是从$300\sim800^{\circ}C$高温下冷却发生，因而获得热剩磁，且其磁化方向与冷却时的地磁场方向相同。火区观测到的磁异常就是由该温差顽磁性所引起。由此推测：还原带的烧变岩正处于降温阶段，尚未降到正常温度，所以只能得到部分热剩磁；熄灭带比还原带得到更多热剩磁，故推知后者的磁性要强于前者；发火与燃烧带尚未获得热剩磁。存在这样的磁异常特征：熄灭带磁异常最强；从熄灭带到燃烧带磁异常逐渐减弱；在涌出带和水蒸带上观测不到磁异常。

在圈定火区范围时一般根据磁异常特征，以Z_a异常为例，在煤层倾斜一侧的Z_a极小值点可定为下部边界，而在另一侧的Z_a零值点定为上部边界。当多层叠加时则要考虑这些特征点的叠加位移影响。在宁夏汝箕沟煤田应用磁测圈定了火区底界并经钻孔验证，结果和推断吻合（张秀山，1985）。

图 8-4-1 是宁夏汝箕沟火区的磁异常与自然电位曲线，自电出现台阶形曲线，反映了燃烧与降温熄灭两个大阶段，磁异常反映典型的从熄灭带到燃烧带异常减弱的特征。

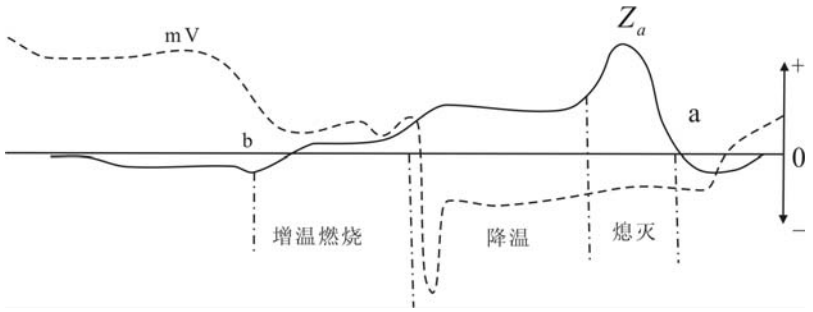


图 8-4-1　宁夏汝箕沟火区一条剖面上的磁异常与自然电位曲线

二、在地热调查中的应用

利用磁测可以勾画出地热区的坳陷和基底构造，寻找控制地下热水资源的构造，如断层和火成岩等。火成岩在正常情况下有一定磁性，在热水活动范围内因热蚀变作用而使磁性降低，这有利于利用磁测圈定热蚀变带。故不同地质成因的地热，调查可得到不同磁异常特征。下面介绍低负磁异常特征的地热田调查。

秦皇岛龙家店热田，地表为第四系覆盖，厚度 50～100m 之间，其下为区域变质的花岗片麻岩。地表水在下部增温后从破碎带上升到第四系中被一层粘土覆盖，形成热田。花岗片麻岩有较强的磁性，由于热退磁作用使受到热水侵蚀的花岗片麻岩磁性减弱。由图 8-4-2 的Z_a曲线可见，Z_a负异常基本上圈定了由于热水而使岩石蚀变产生蚀变带，间接地确定了热水的存在，从而圈定了热水分布范围。视电阻率拟断面图基本上确定了热水分布范围（黄力军，1988）。

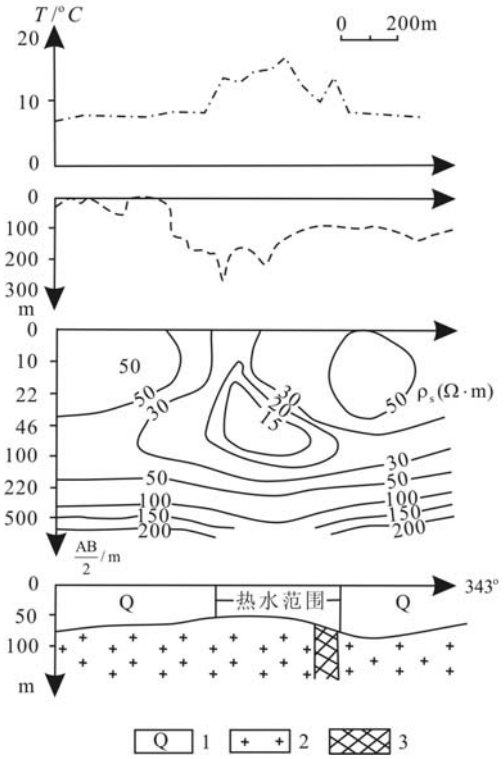


图 8-4-2　秦皇岛龙家店地热田地质物探综合剖面图

1—第四系覆盖　2—花岗片麻岩　3—断裂带

三、在考古与环境磁学中的应用

随着高精度磁测工作的展开，磁法勘探已成为探查古遗存空间分布的主要地球物理方法之一。由于古地磁学的发展，使磁性地层学成为确定古遗存、古人类化石时代的重要手段。随着第四纪沉积物磁性特征深入研究，又为环境磁学提供了新途径。

有史以来、史前期的古遗存（古遗址、墓葬、建筑等）、古人类化石本身、所处地层的磁性与周围环境有所差异，这种差异就构成磁学考古的基础。这种差异的起因如下：

a. 被火烧过的泥土制品、土壤、石块等可获得较强的磁性。这类物质因热作用的化学变化及获得热剩磁，而使磁性增强。火烧过的物质要比一般土壤的磁性高出 1～2 个数量级。

b. 有机质的腐烂使土壤获得较强磁性。这是由于有机质腐烂的过程中氧化还原作用使赤铁矿变为磁铁矿的结果。

c. 人为翻动的土壤或夯土，因土质结构、密度等发生变化，以及掺入人工制品（陶片、烧土等）的残渣、颗粒等都可以使其与周围天然沉积物之间出现磁性差异。如夯土磁化率增大，掩埋沟穴的虚土磁性相对减弱。因而在夯土的墓葬、墙基等上部可观测到明显的正（高）磁异常，其沟、穴上有负（低）异常。

d. 天然沉积物的颗粒在沉积过程中，受重力、水动力及地磁场力的控制，沉积物的磁化率将是各向异性的。其磁化率椭球的长轴 κ_{max} 将平行于水平的沉积面，在河相沉积情况下 κ_{max} 轴向为水流控制。这可以用来研究沉积物在形成时的水流方向。另外，沉积物在沉积及磁性获得的过程中与气候（如温度）环境有关，这种相关性在较厚的沉积剖面上显示出来。

研究对象因以下不同方式获得磁性，这就为实现考古及环境磁学等提出了物理前提。

1、考古

图 8-4-3 为河南新郑某处古墓葬的 ΔT 磁异常图，测网线距 2m，点距 1m。由图可见，在已知墓葬 A 、B、C 及大型陪葬坑上显示出有一定强度、轮廓明显的磁异常。如 A 异常清楚显示该墓有一较长的 南北向墓道，墓室的东南侧有两个小耳室。据其形态，考古工作者判定为汉代“甲”字型砖墓。B 异常的形态表明该墓为典型的“刀”字型砖墓，图中黑粗轮廓线是根据磁异常推断的结果。C 异常较弱，对墓的轮廓显示不清晰，这表明该墓为一土坑墓，非砖结构。E、D 异常反映的是两个新发现的墓葬。陪葬坑的磁异常南、北部分有较大区别，表明坑内有较多的陶器等物品，主要堆放在坑的南半部。该区这些异常推断的遗存埋深地下 1～2m 左右。实际钻探证实了磁测结果的分析。

2、环境磁学

环境磁学起源于沉积物的古地磁研究，但两者在目的和方法上均有所不同。古地磁学旨在研究古地磁场的变化及古地磁信息的应用，关注的是古地磁场对物质的效应，即天然剩磁的方向和强度。而环境磁学则是利用磁性信息来研究环境变化和环境问题，强调物质自身所

固有的磁性特征。

20 世纪 70 年代初期，英国环境生态学家 0ldfield F 教授和物理学博士 Thompson R,在研究北爱尔兰 Lough Neagh 湖时，发现了湖泊沉积物样芯的磁化率曲线与其孢粉组合类型相吻合的现象，进而认识到：有可能通过湖泊沉积物非天然剩磁的磁性测量，结合生物化学指标，提取高分辨率的环境变化信息。

环境磁学的重要特征是简单、快速、无破坏、成本低廉，可解决许多物理和化学方法无法解决的问题。尽管其历史不长，它的发展却非常迅速。

环境磁学应用于古气候与古环境变化方面的研究最广泛，利用磁参数变化曲线可以进行地层划分、样芯对比、突发事件(火山喷发事件、洪水事件、火灾事件)指示、沉积速率和沉积量估算以及物源判别，并很好地指示气候的变迁和环境的演化过程。且能与其他气候指标、分析数据（氧同位素、生物化石等）相互映证，环境磁学可提供大量的关于环境变化及人类活动对环境影响等的重要信息。

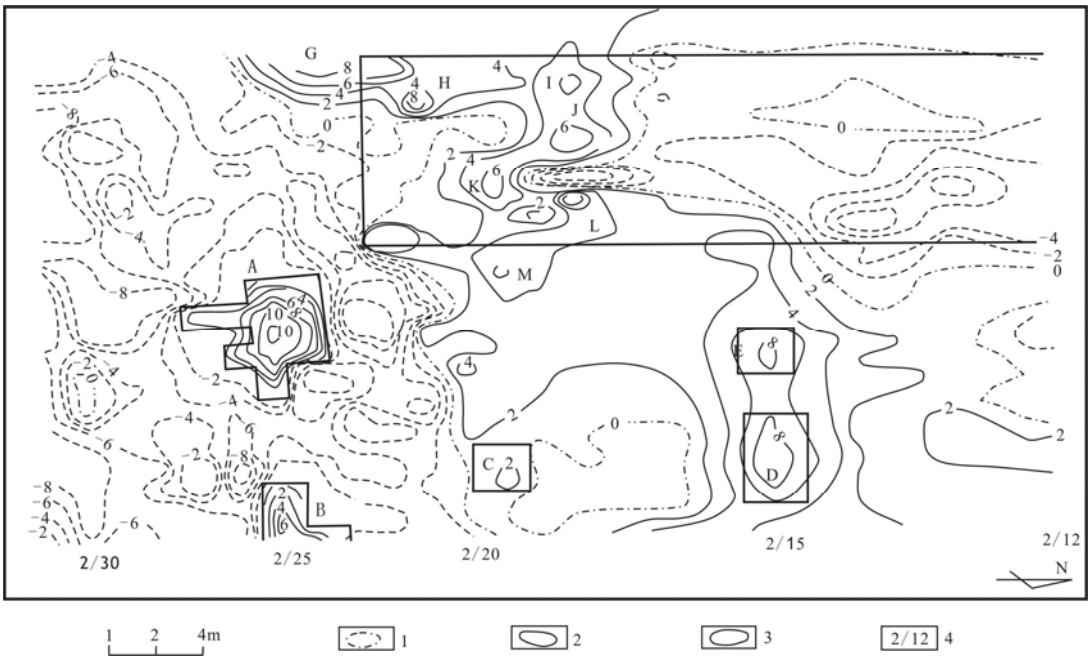


图 8-4-3　河南新郑某处古墓葬的 ΔT 磁异常图

1—零等值线　2-正异常等值线（nT）　3—负异常等值线（nT）　4—点号/线号

四、在城市、工程环境的应用

改革开放以来，随着我国经济的快速发展，高精度磁测在寻找沉船、未爆炸水雷、炸弹等各种人文遗弃物方面发挥重要作用。

长江下游的马当河段位于江西省彭泽县境内，与安徽省交界。抗日战争时期，在江中沉入百余艘船只和水雷。随着时代的变迁，当时的封锁线现在已成为长江航道的主要阻塞区，为了清理航道，在马当阻塞区开展探测沉船的水上高精度磁测（王传雷，2000）。图 8-4-4 是马当阻塞区完成的高精度磁测 ΔT 平面等值线图，图中磁异常正负伴生，形态规则，其中 M_2 异常幅值为 2600 nT，M_4,M_5,M_6 异常幅值为 1200~1600 nT。把沉船当着斜磁化有限延伸水平圆柱体进行解释，得出 M_2 异常可能由 3 条沉船产生，经打捞验证，证实了以上的推断，获得较好的效果。

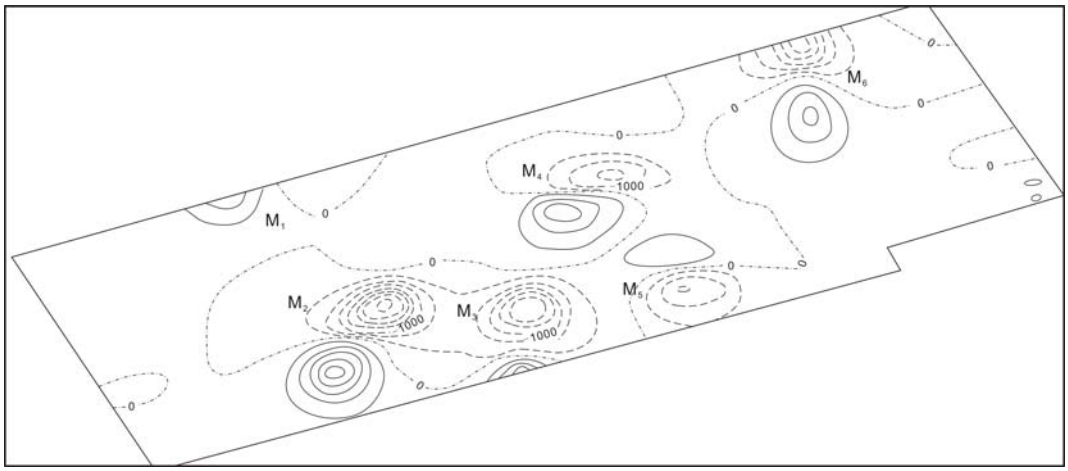


图 8-4-4 马当阻塞区高精度磁测 ΔT 平面等值线图（等值线单位 nT，据王传雷，2000）

第五节 古地磁学在地学中的应用

一、大陆漂移的古地磁证据

1912 年魏格纳提出大陆漂移假说，其后引起很大争议。直至 20 世纪 50 年代初，英国地球物理学家在古地磁研究中定量证明大陆在地质年代中曾发生过漂移，从而使大陆漂移说得到复活。古地磁学是板块学说赖以建立的三大支柱之一。

前已论述，在相当长的地质时期中，地磁场具有轴向地心偶极子场的特征。因此，利用岩石剩余磁化强度的方向计算得到的古地磁极的位置即是当时地理极的位置。既然地球磁场具有轴向地心偶极子磁场的特征，同一时间地球就只有一个地磁极或地理极，就像由各大陆近代熔岩所求出的地磁极坐落在地理极附近一样。反之，各大陆之间在磁极的明显不整合，表明大陆之间发生过平移或旋转。

视极移路线是研究大陆漂移的重要依据，从视极移曲线不仅可以了解大陆的移动和移动的方向，还可以从各大陆的视极移路线了解它们之间原生的相互关系以及分离漂移的时代。

将南美和非洲两大陆的视极移线（南磁极）画在同一张图上。如图 8-5-1 所示，两条视极移路线明显地不重合。但是两条路线的趋势十分相似，都是从赤道附近随着年代由老到新渐渐靠拢，最终相交于南磁极。南美视极移路线始终是在非洲的西部，正像南美大陆位于非洲大陆之西一样。如果将非洲大陆固定不动，按照大陆架的形态，将美洲大陆向东移动，与非洲大陆拟合，它的视极移路线也随之东移，如图 8-5-1 所示；中生代以前两大陆的视极移路线基本吻合，中生代以后的视极移路线却分道扬镳了。这一古地磁研究成果证明，南美大陆在古生代时是连在一起的，当时并不存在大西洋。中生代（侏罗纪）开始分裂，南美大陆向西漂移，并兼有顺时针方向的旋转，形成了现今两大陆的分布状态。

分析欧洲和北美的两条视极移路线图，两者不同但趋势相似。若以北极为中心将北美连同它的视极移路线一起向东旋转则北美和欧洲大陆架相闭合，北太西洋消失。志留纪到二叠一段重叠很好，但是，三叠纪以后，两条视极移路线分开。由此可见，三叠纪以前，欧洲和北美相连组成欧美古陆。侏罗纪后，欧洲和北美分裂，形成了大西洋并漂移到现今的位置。

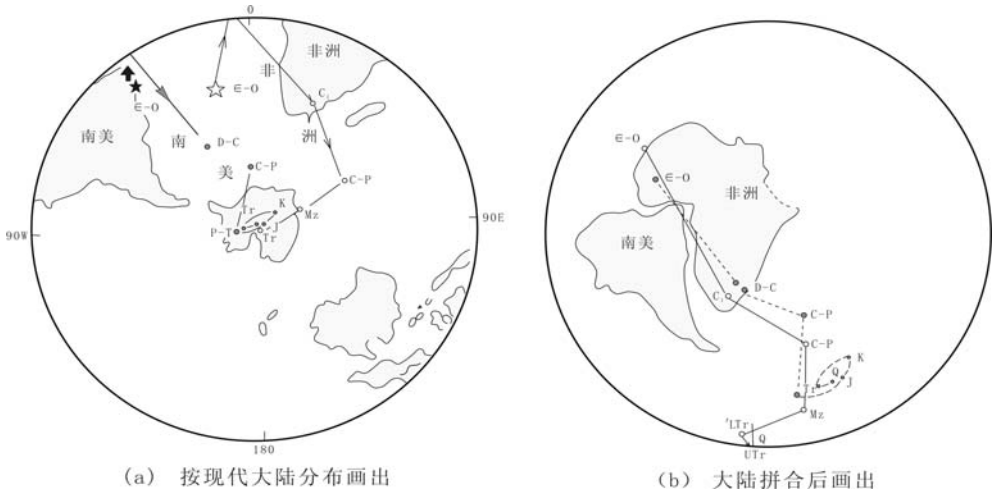


图 8-5-1　南美和非洲大陆的视极移路线（申宁华、管志宁，1985）

∈、S、D、C、P、T、K、T_r、Q 分别为寒武纪、志留纪、泥盆纪、石炭纪、二叠纪、三叠纪、侏罗纪、白垩纪、第三纪、第四纪；Mz 为中生代；L 为下，U 为上

二、海底扩张的古地磁证据

威尔逊利用地幔对流和海底扩张假说全面地说明了大陆漂移的设想，图 8-5-2A 简单地表达出了这种作用。新形成的地壳和覆盖于其上的火山，逐渐被分为两边，往西侧移动 8-5-2B；当一个前进的大陆遇到下降的对流体时，运动必然停止，在较轻的大陆地壳的前沿堆积起来形成山岳；同时，由于洋底受到下降对流体的向下拖曳，便形成深海沟。

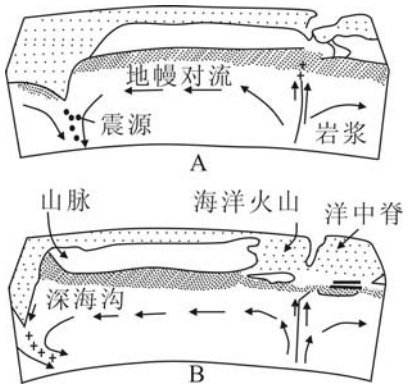


图 8-5-2　地幔对流和海底扩张示意图

海底条带状磁异常的发现和解释，对海底扩张假说是有力的支持。地磁极性翻转定量解释了海洋条带状异常和海底扩张假说。

20 世纪 50 年代以来，大规模的航空磁力测量，发现海洋磁异常具有以下特征：①磁异常呈条带状分布，条带的走向与洋脊平行。②正、负异常相间，正、负异常带宽 20～30km，长几百千米，异常幅值几百纳特。③磁异常对称于洋脊分布。上述这种异常称为海洋条带状磁异常，与大陆上磁异常的形态迥然不同。图 8-5-3（a）冰岛南部的雷克雅奈斯海岭的磁异常图，图上黑色代表正异常，白色代表负异常。图 8-5-3(b)是平面剖面图，图上 *AA* 是雷克雅奈斯海岭的位置，剖面曲线记录着剖面上各点磁场的强弱。强磁场和弱磁场在剖面上对称分布，并在相邻剖面上可连续追踪；把各剖面相应的强磁场用虚线连接成一些条带，与平面图上黑色部分相当。从平面剖面图上看到，海岭两侧磁异常强度也基本对称。

这种对称的、正负相间的海洋条带状磁异常，不仅出现有大西洋的洋脊上，在太平洋、印度洋、南极海的洋脊上也观测到。这种现象可从海底扩张学说和地磁极性翻转现象得到合理的解释。

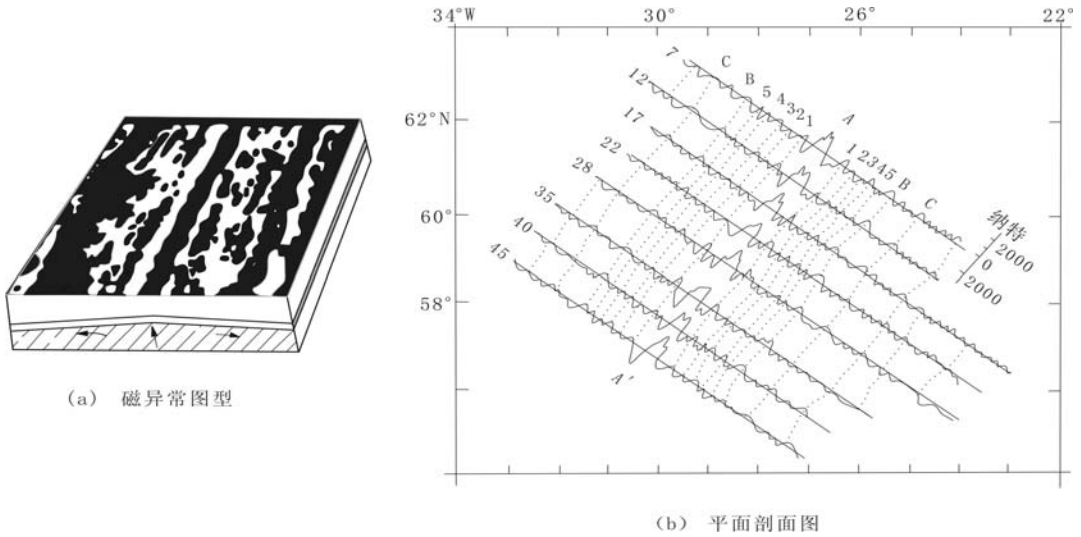


图 8-5-3 雷克雅奈斯海岭的条带磁异常（Heirzler,1966）

1963 年，瓦因和马修期提出一种假设：地幔的炽热物质，以对流方式上升到洋脊，冷却经过居里点时，获得与当时地磁场方向相同的热剩余磁性。对流体不断上涌，推着老海底向两侧扩张，在洋中脊形成新的洋底。海底在扩张过程中，地磁场发生多次翻转，在正常地磁场形成的海底具有正向磁化；在反向地磁场形成的海底具有反向磁化。所以，与海岭距离不同的海底，是由正、反磁化相间的磁性岩层组成。图 8-5-4 是海底扩张与地磁极翻转的示意图。磁异常在海岭两侧的对称性，是海底两侧扩张速度相等的结果。

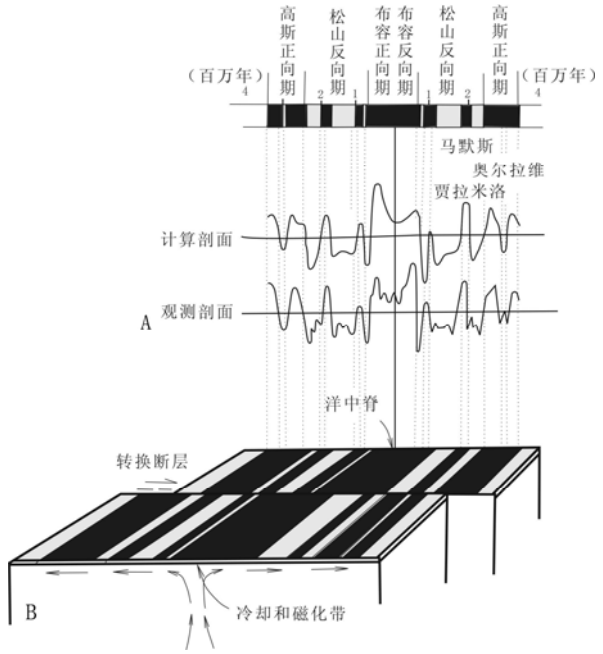


图 8-5-4 海底扩张与地磁翻转年表对比

A-东太平洋隆起处的实测地磁异常剖面与估算剖面的对比

上图水平条带系地磁年表；B-海底扩张示意

三、应用古地磁研究区域地质构造

岩石形成时获得原生剩磁（TRM 或 DRM）以后，如果发生构造运动，致使处于构造不同部位的岩石之间改变了它们生成时期的相对位置。这样，保存在岩石中的稳定的原生剩磁也随着岩石载体一起改变其空间位置。如果我们测定现代处于构造各个不同部位的岩石中的稳定剩磁方向，找出它们之间方向相对变化的规律，就可以反过来推断和验证该构造运动发生的方式和方向。

多数学者认为我国东部著名的郯城—庐江深大断裂是左旋平移断层。但是，对平移的时间和距离，却有不同的看法。国家地震局地质研究所对断裂带东西两侧的寒武纪、侏罗纪地层进行的古地磁测量，为解决上述问题提供了有意义的资料。如图 8-5-5 所示，在断裂带东侧，复县早寒武世磁偏角338°，五莲晚侏罗世磁偏角7°，说明后者相对前者顺时针旋转了29°，断裂带两侧宿县早寒武世磁偏角42°，霍山晚侏罗纪磁偏角17°，则后来较前者逆时针旋转25°。上述资料表明，断裂带两侧地壳各自有着独立的运动方式，至少在侏罗纪前，两侧地层已发生过相对运动。

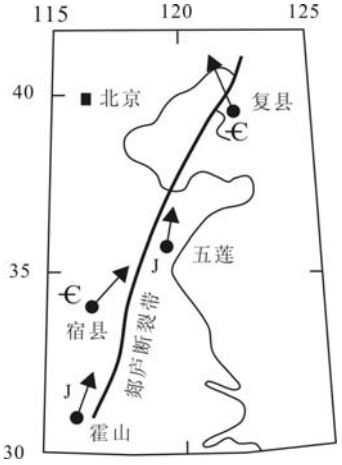


图 8-5-5　郯城—庐江深大断裂两侧古地磁偏角图

由断裂带两侧早寒武世的古纬度资料看，东侧复县地区为39.2°，西侧宿县地区为40.8°，说明该时期两地基本上处于同一纬度。现今，复县的纬度39.5°，宿县34°。对比表明，断裂西侧相对东侧可能向南移了6.8°，约800km；若考虑到确定古纬度中的误差（约5°～6°），则自寒武纪以来，断裂带西侧南移至少 100km。

习 题

1、简述磁法勘探方法在区域与深部地质调查中的应用。

2、简述磁法勘探方法在油气与固体矿产勘探中的应用。

3、简述磁法勘探方法在城市、工程环境勘查中的应用。

发展趋势与本章参考文献

提高磁法勘探方法在危机矿山攻深找盲与外围找矿的效果，特别是寻找 1000~3000 米深部盲矿是磁法勘探新的应用领域；探索磁法勘探方法在环境、气候变迁，以及在减灾防灾方面的应用是磁法勘探新的研究方向。

参考文献

1. 谭承泽，郭绍雍等：磁法勘探教程，地质出版社，1984
2. 管志宁 地磁场与磁力勘探，地质出版社，2005
3. 罗孝宽，郭绍雍等：应用地球物理教程—重力 磁法，地质出版社，1991
4. 武汉地质学院、成都地质学院、河北地质学院、合肥工大合编：应用地球物理学—磁法教程，地质出版社，1980
5. 长春地质学院磁法教研室：磁法勘探，地质出版社，1979
6. 董焕成 磁法勘探教程，地质出版社，1993

王传雷，祁明松等，高精度磁测在长江马当要塞沉船探测中的应用，地质科技情报，Vol.19 no.3,Sep.2000,98~102