

应用重力法找铁矿

前言

重力法用于铁矿勘探对有磁性的和无磁性的矿体都能进行定量研究, 可以作为找无磁性矿体的一种手段; 还可以用来寻找和研究有利于生成铁矿的地质构造。它主要是和其它地球物理方法一起配合地质工作综合使用。重力法曾用来找富铁矿, 对寻找和研究含铁燧岩型铁矿也非常有用。

在重力法中是测量垂向重力加速度的微小变化。观测的重力变化与根据地球重力场计算出来的理论重力值之间的差称为重力异常。观测的数据与测点所在的纬度、高度、基准面上下包括的质量以及当地的地形都有关系。异常值表示与计算时所假定的质量分布有差别, 差别是由于密度的横向变化, 这是重力异常的来源。水平层的纵向密度变化, 对所有观测结果的影响程度相同, 所以对异常无影响。

在重力勘探铁矿的工作中具有特殊意义的是铁矿层与围岩之间的密度差, 或是矿层与伴生的岩层之间的密度差。由于矿石与围岩之间的密度差为正值, 所以铁矿一般产生的是正重力异常。这是因为与形成围岩的矿物的密度相比, 铁矿物的密度大。铁矿物中的主要铁矿物(磁铁矿和赤铁矿), 其密度为5.1左右, 而围岩矿物的密度其范围大约在2.6到3.0之间。在自然状态下铁矿与围岩之间的密度差实际上并没有这样大, 因为矿石里面有杂质, 主要杂质为氧化硅(石英或燧石)或者是与铁结合的硅酸盐, 这些杂质使矿石的密度减小。

矿石的密度取决于所含的矿物或矿物之

密度, 克/厘米³

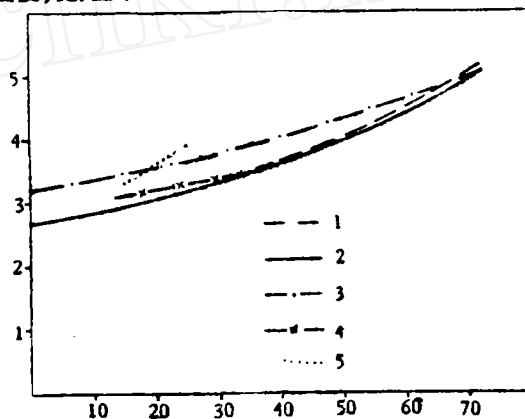


图1 人造的和天然的铁矿石的密度与可溶性铁含量(重量百分数)的关系

1—赤铁矿—石英(人造岩石); 2—磁铁矿—石英(人造岩石); 3—磁铁矿—石英(1/2)—石榴石(1/2)(人造岩石); 4—磁铁矿(安大略波斯顿天然矿石); 5—磁铁矿(威斯康辛阿干达天然矿石)

间的比例。图1表示磁铁矿石英岩和赤铁矿石英岩里面铁的重量百分数与密度之间的理论关系。这种关系对于一级近似地分析重力资料是有用的, 如果矿石的孔隙度高, 或所含的矿物不是石英, 而是别的密度大的矿物组合时, 利用图1的关系曲线会导致严重的误差。

石榴石就是这样一种矿物, 常常以很大的比例出现在某些铁矿石中, 影响密度与Fe%的关系。图1中有一条理论曲线表示石榴石对磁铁矿石英岩的密度的影响。石榴石的密度假定为4.0, 石英的密度假定为2.65, 假定二者以同样的重量比例组成矿石里面的基质, 将此曲线与只有磁铁矿和石英的曲线

相比,显然,由于有石榴石使密度-Fe% 曲线发生很大的变化。磁铁矿-石英-石榴石的曲线斜率比磁铁矿-石英曲线的斜率小,表示在岩石基质中有石榴石存在时,区分不同铁含量的岩石更为困难。对安大略波士顿镇的磁性铁燧石(含可溶性铁13~37%)的52块标本进行了密度测定,利用“最小二乘法”给出的最佳拟合曲线也示于图1。矿石由磁铁矿与石英组成,在某些区段的矿石中经常伴生有石榴石。可能是石榴石的存在,该曲线反映了在所研究的大部分地区内其密度比理论的磁铁矿-石英曲线所显示的密度要大。

铁闪石是某些铁燧石铁矿中常见的另一种矿物。对威斯康辛铁燧石铁矿的6块标本(总重量43公斤),测量了密度,利用最小二乘法得到的密度-Fe(%)曲线也表示在图1。该地区的磁铁矿层在某些层位含硅酸铁很多(特别是铁闪石)。石墨和硫化铁有时也少量出现在矿石中,所试验的标本含可溶性的铁15~25%,其密度变化比单纯的磁铁石英岩的标准密度高0.4到0.7。

对于含铁建造和富矿,密度差常为正值,所产生的重力异常也是正的。如果围岩的密度大于含铁岩石的密度,也可以产生负重力异常,在明尼苏达州的维密林铁山就有这样的情况。在那里苏旦含铁建造与伊利绿岩成互层产出。该区东端的含铁建造含有磁铁矿和石英,局部含有硅酸铁。磁铁矿富集的含铁建造其密度为3.2,而贫磁铁矿层的密度为2.8。绿岩的平均密度为2.95。于是经济上有意义的铁矿相对于绿岩具有正的密度差,而贫矿则是负的密度差。虽然负异常与贫矿有关,没有直接的经济意义,但是在追索铁矿层走向以及在确定区域构造时是有帮助的。

富铁矿也可能产生负异常。例如在拉布拉多地槽地区,硅酸铁铁矿建造由于铁氧化和氧化硅被淋滤造成铁矿富集,这种过程导致岩石孔隙度增大,于是使密度变小,结果铁矿与含铁建造之间或与围岩之间形成负密

密度,克/厘米³

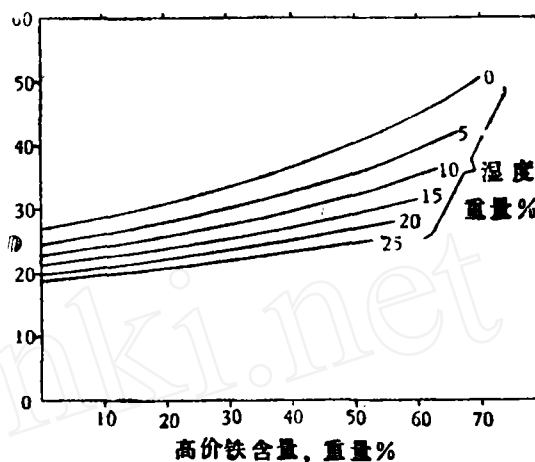


图2 不同孔隙度的赤铁矿-石英建造的密度与高价铁含量百分比的理论关系

度差,获得负的重力异常。密度与赤铁矿石英岩含铁重量百分数之间在不同孔隙度的情况下的理论关系曲线示于图2。因为假定所有孔隙的空间均充填有水,孔隙度是以水分的重量百分数表示的。虽然在使用这些关系曲线可能产生很大的误差(因为它们是在简化的矿物组合情况下得出的),作为近似的参考还是很有用的。

这些曲线表明产在孔隙度为零的含高价铁20%(均以重量计)的含铁建造中的富铁矿(含高价铁50%以上),其密度可能与含铁建造的密度一样,也可小于或大于(3.1)。含铁建造的密度,密度差的大小和符号取决于铁矿石的孔隙度。产在没有经济价值的含铁建造中的富矿,在某种孔隙度条件下可能不产生重力异常,甚至可以产生负异常。除非有足够的地质资料限制重力结果解释的多解性,否则是很难运用重力法成功地找到这种类型矿床的。另外经常有这样的情况,矿石被压紧或是下陷,使得上述情况更复杂化,结果矿石的体积与孔隙空间却减小,因而密度增大。所以一个矿体本身的密度也有可能上下不一样,下端由于压紧的缘故,密度大,上端压力小比较疏松,密度小。这种可能性大大地使重力解释复杂化。不过,如

果有正确的地质资料证据,合理的重力解释还是能够得到的。含矿岩层垮塌造成沉降洼地,再被冲积物覆盖,由于覆盖层与岩石突出部之间的密度差为负值,在矿体地下露头上也可能出现负的重力异常。

重力法的优缺点

重力勘探的优点有下面几个:

1.可以用来找无磁性的铁矿床。因为密度在许多情况下是隐伏地下的无磁性铁矿最明显的地球物理特征参数之一。不过正如上面指出的,矿石的密度不是普遍地都有差别。

重力找无磁性铁矿通常是在有限的地区范围内进行,这些地区是根据地质资料,或是由于磁铁矿与无磁性铁矿伴生而在磁测资料中反映出来的。普查无磁性铁矿通常不像磁法区测那样搞区域性重力测量,原因是有关岩石的密度差并不一定能引起足够明显的重力异常。

无磁性的富矿偶而大量地与磁铁燧石铁矿共生,寻找这种矿床用重力法最为合适。

2.虽然磁法寻找磁性矿,甚致寻找含少量磁性矿的无磁性矿都非常有效,但在有些情况下定量研究这些矿床,重力法比磁法更为有用。定量地研究一个矿体的物理参数(大小、形状、铁含量)在某些地质情况下利用重力测量成果比利用磁测结果更合适。因为:

(1)一个磁性物体有两个符号相反的磁极,物体产生的磁力是这两个极(一个排斥、一个吸引)产生的磁力的叠加,所以使磁异常的解释工作复杂化,定量分析的精度降低。相比起来,重力异常的解释比较简单,重力场来源于物体的质量,所有各个质点的重力场具有同样的符号。

(2)主要的铁矿物赤铁矿和磁铁矿,具有一定的密度,含有同样基质矿物的矿石其密度直接与这些铁矿物的含量有关。孔隙度是使这种关系复杂化的唯一因素,但孔隙度只对碳酸盐被淋滤掉的某些富铁矿以及磁铁矿已氧化的铁燧岩矿石才关紧要。一般铁

燧岩矿石的孔隙空间非常小。密度与铁矿物含量之间的直接关系和磁化率(磁性变化的来源)与磁性矿物含量之间的关系极不相同。由于磁铁矿石形成的环境和历史过程、颗粒大小、形状及其分布等因素的不同,使后者的关系复杂化。因为这些因素既不容易测定也不容易估计,所以磁法的推断解释通常带有很大程度的不确定性。

(3)重力结果比磁力结果能给出更好的整个异常体的图象,这是因为磁异常受近地表干扰物质的影响比重力异常大。

3.磁异常偏离磁性体轴部位移,位移大小取决于地磁正常场和异常体的形状。而这两种因素又难于估计,给推断解释带来困难。这种位移影响对于研究低磁纬区的磁测结果或者研究深埋的铁矿特别重要。而重力法异常不会由于这种影响而变复杂。

4.重力法所依据的物性参数(密度)是很容易测量的,测量时也不需要象测量磁化率所需要的那样高精度仪器。而且一般地讲,密度并不象磁化率那样受各种条件变化的影响。

5.重力测量不象磁测那样容易受人为干扰体的影响(例如高压线、铁丝网等)。

重力勘探也受到某些限制,要使方法应用有效必须对它的不足之处要有一定的理解,其缺点如下:

1.铁矿的密度很少超过围岩密度值的1.5倍。可是铁矿的磁化率往往是围岩磁化率的25倍以上。这就是为什么重力法作为寻找磁性矿的一种手段不能与磁法并驾齐驱的一个主要原因。

进行磁法推断解释时,一般为保险计,假设围岩含的磁性物质非常少,其磁性可以忽略,但是在作重力资料解释的时候,当然要知道围岩的密度,以便确定密度差。正确估计围岩的密度是定量分析重力成果所必需的。由于铁矿床和含铁建造的围岩其密度范围很宽,而且一般都不知道,所以估计围岩的密度很困难。围岩的密度之所以不清楚,是因为圈定铁矿所布置的钻探穿过围岩不深

就停止了,很少用费用昂贵的钻探去取围岩岩心标本单纯地去进行密度测定的。从围岩的露头可取样测量密度,但一般露头不多。铁燧岩铁矿区的露头一般都是抗风化的铁矿和含铁建造,而不是和围岩一样的岩石。一般采用辅助的地球物理资料来帮助确定围岩的密度,这使得密度大小的可能范围受到限制。

2.重力法不能鉴别铁矿里面与铁矿石密度差别不大的岩层或无用的矿层。在铁燧石铁矿里常夹有硅酸盐地层或是基性岩脉,它们与铁矿石的密度没有差别,但具有足够大的磁性差,可用磁法来找。

3.基岩起伏的影响特别重要,因为覆盖层与含矿岩层的密度差超过在前寒武纪地区所见到的最大密度差。由于基岩起伏往往受岩性控制,因而岩性的变化与含矿岩层的起伏彼此叠加,所以问题是错综复杂的。

4.在重力测量中的一种常见的误差,是所选用的综合高差改正因数(自由空气与布伽混合改正),此改正因数是参考高度与每个测点之间物质的密度确定的,如所选定的密度没有代表性,会导致很大的误差,异常强度显示出来的误差取决于地形起伏的程度,因为改正因数要乘上各个测点高于或低于基准标高的高差。异常误差的符号与密度误差的符号以及与基准面的高差的符号有关。密度误差 0.1克/厘米^3 时,误差就达到 0.00128毫伽/英尺 ,所以对重力异常解释有很大影响。

5.计算布伽重力异常时假定测站是位于无限延展的水平板块上,在地形切割地区这条假定是无效的,因此需要作地形改正。地形改正的计算工作非常麻烦,要求有测区的精密地形图。

6.在分析重力资料时,往往需要正确地把区域重力异常扣除掉。区域异常主要来源于区域构造与深部的地质特征,它使有意义的矿异常发生歪曲,甚至完全被掩盖。要对区域异常有足够的资料才可把它消除,为此须要把重力测量的围范扩大超出有矿地区以

外的地方。这样使得重力测量的费用增多。

7.同一异常体所产生的重力异常比磁力异常的范围宽。前而在谈到优点时曾经指出,与重力法相比,磁法对近地表的干扰物质反应大,不受深度在物体顶板埋深10倍以下的干扰物质的影响,结果同一物体产生的磁异常比其重力异常明显。这点很关键,因为两个干扰体相距很近,其异常将叠加在一起,在铁矿勘探中常有这种情况。

8.重力勘探的费用是磁法的两三倍。主要原因是要测出各个测点的相对高度,而且测量精度要达到 $2\sim 3\text{厘米}$,不仅需要人力、时间,还需要设备。重力仪器比磁法仪器价钱贵,重力法的计算工作也费时间。

典型实例

下面是应用重力法勘探铁矿的几个典型实例,用来说明方法的用途,并介绍所见到的一些异常类型。几个例子都是在苏必利尔湖地区寻找铁燧石型铁矿的实例。

例1 在美国明尼苏达州维密林山脉的福蒂尔-米尔斯矿山,根据露头已知该区有基威廷含铁建造,为了圈定该建造的地质构造,进行了地球物理工作。用地面磁测圈出有经济意义的地区和进行了初步钻探验证之后,做了少量的重力测量,目的是帮助对矿区作出评价。

该区地层为陡倾斜的绿岩和铁矿的互层。铁矿层含有磁铁矿、石英,局部还有硅酸铁。冰川覆盖的厚度为 $0\sim 50\text{英尺}$,平均厚度为 $10\sim 15\text{英尺}$ 。

根据钻孔岩心的密度测定结果:绿岩的密度(2.95)介于磁铁贫矿(2.80)与磁铁富矿(3.20)之间。磁铁矿富矿含25%左右的铁(以重量百分数计),而磁铁矿贫矿所含铁的百分数为10%(或小于10%)。

重力探测结果对局部的与区域的构造提供了有价值的资料,而且还指出深部并没有钻孔未打到的大富磁铁矿。钻探发现磁铁矿的品位很低,而产生的磁异常很大,二者之间有矛盾,认为可能由于绿岩尖灭,钻孔没有打到主要的富矿层。但是重力资料解释

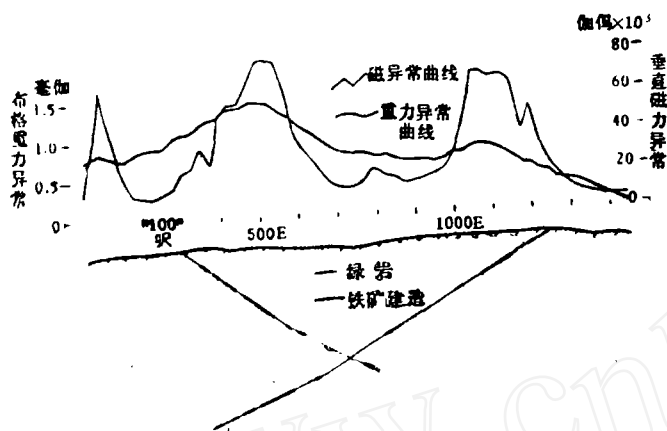


图3 明尼苏达州维密林山福蒂尔—米尔斯矿区含铁建造上的布格重力异常 ($\sigma = 2.67$)

结果指出,并不是像上面讲的那种情况。

与异常走向正交的一条典型剖面示如图3,除布伽重力异常剖面外,还会有垂直磁力异常曲线,钻探结果也标明,以便对比。两个主要铁矿层分别位于500E和1100E两测点处,在这两点重力都有表示。在1100E处的磁异常的幅度只比500E处的主要磁异常的幅度稍小一点。而对应的两个重力异常的幅度相差较大,这表明1100E处的铁矿层随深度加大,而磁铁矿的含量减小,或者铁矿层向下延伸没有500E处的铁矿向下延深大,也可能同时有这两种情况。

例2 为美国威斯康辛州某矿山的例子,铁矿层最大厚度超过1000英尺,向南倾斜,倾角约65°,上下盘均以绿泥石片岩为界。铁矿层好像片岩里面的一个含铁很富的透镜体。铁矿层并没有露头,钻探和地震折射法探测结果指出,冰川覆盖层的平均厚度约70英尺。

由于铁矿层没有出露,探寻矿床位置,指导钻探布置成为地球物理勘探要解决的问题。磁法原先已圈出了远景区,在圈定磁石磁性铁矿层时起了很大的作用,磁石铁矿层在该区有经济价值的铁矿中占主要部分。但是在该矿区进行普查性重力测量,可以帮助对该矿山的地质构造作出分析。重力测量不仅提出了有关铁矿建造分布的区域资

料,而且还提出了特别与钻探所见的无磁性的赤铁矿与菱铁矿型铁矿有关的局部构造的资料。特别是重力测量可以圈定铁矿层的下盘接触带,这如果不使用重力法,则只有采用昂贵的钻探手段穿过没有经济价值的、无磁性的地层才可以找到。根据重力测量结果所确定的富铁矿层的范围也说明,主要的磁异常在面上的分布并不受构造控制,只决定于磁铁矿富集层位在含铁建造中的分布。

图4是该矿山的剩余布格重力异常图,上面绘出根据物探推断结果圈出的主要含铁建造的大致轮廓。钻探结果也充分地证实了物探所作出的推断。图中所示的磁铁矿体外形与重力异常的峰值部分大致吻合,由于矿层向南倾,磁异常的峰值部分离开铁矿层中心而向南位移。

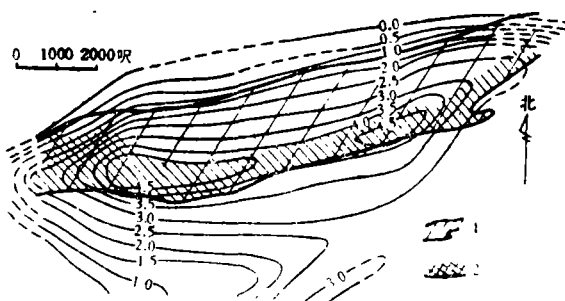


图4 威斯康辛州马伦尼斯科山磁中心矿区剩余布格重力异常 ($\sigma = 1.8$)

1—富铁建造; 2—磁性矿; 等值线间距为0.5毫伽

例3 图5是在安大略省本丁湖铁矿层上观测得到的一个重力剖面。铁矿层产在一片岩系里面,主要由石英和磁铁矿的互层组成。有几种片岩与含铁建造共生,但根据露头 and 钻探资料,主要的有石榴石片岩和石英-黑云母片岩。冰川覆盖层不厚,很少超过15英尺。

根据对露头、钻探资料和磁异常的研究,关于铁矿层的主要构造有两种不同的解

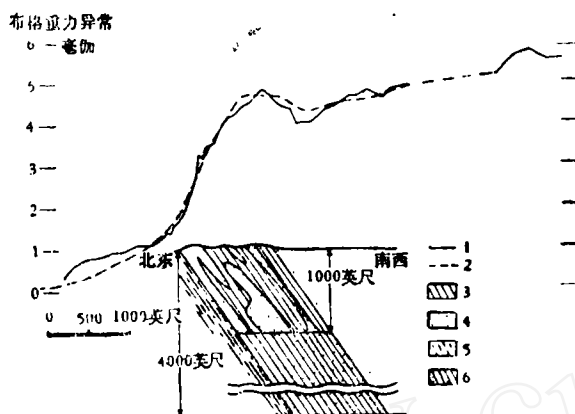


图5 安大略本丁湖实测的与计算的布格重力异常

1—实测的布格重力异常；2—计算的布格重力异常；
3—富铁矿层 ($\sigma=0.45$)；4—上盘片岩 ($\sigma=0.10$)；
5—下盘片岩 ($\sigma=0.00$)；6—未分异的岩石 ($\sigma=0.35$)

释。第一种解释是铁矿层的延深不大，而第二种解释矿层延深相当大。当然，这两种分歧的看法导致对矿石储量的估计也不同。

为了解决铁矿层向下延深问题，在矿山部分地区作了重力测量。图5是在铁矿层上所获得的、经过地形与覆盖层改正后的布格重力剖面，及根据图中所示的假想地质剖面计算得的理论剖面。根据露头、钻探与磁测资料在1000呎深度范围内已将铁矿层详细地划分成各种成分。但从1000到4000呎深度范围内，将铁矿层与所包括的片岩归总在一起，对测量的目的来讲是可以满足的。观测的与计算的异常剖面非常一致，有力地说明，铁矿层下延深度很大，所以同意第二种地质解释。

例4 此例在于说明可用重力法作为一种普查手段，来寻找有利于铁矿形成的区域构造。在威斯康辛州西南部平卧的古生代沉积岩中有一向斜，它是受褶皱的前寒武纪火成岩与部分变质沉积岩的出露层，里面有无磁性富铁矿层。具有潜在铁矿远景的类似向斜可能隐伏在同一地区水平的古生代沉积岩表层的下面。

用重力法寻找向斜可以用在上述地区获得的剩余布伽异常图(图6)来说明。与向斜对应的是明显的重力极小，其幅度达到

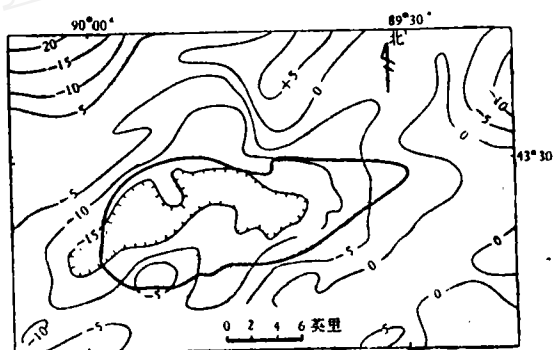


图6 巴拉布向斜的剩余布格重力异常
(等值线间距为0.5毫伽)

-18毫伽。这说明在此地区可根据相似的负重力异常找到与上述相似的其它向斜，从而找到所要找的富铁矿。

摘译自：《Economic Geology》，
1960, Vol.55, No.5, p.465~484

作者：W.J.欣滋

贝庚译，顾振津校