

第二章 重力勘探

重力勘探和磁法勘探一样，也是研究地面上的物理场。但它是以研究地壳的岩层所引起的重力场为基础，来说明工作地区的地质构造和矿体分布及其特征的。重力勘探的决定因素是下伏岩层与上复岩层之间，或者矿体与围岩之间存在的密度差。只要密度差有足够大，地形又不是十分复杂的地区，重力勘探都是适用的。由于异常的不同分布情况可以引起相同的重力场，因此，重力异常的解释也是多值的，仅根据重力勘探的结果常常不能够作出单一的地质结论，所以在解释重力异常时，必须综合地考虑地质和其他物探资料。目前重力勘探方法在石油勘探上已占有很重要的地位，不仅在石油的区域普查中起着主要的作用，而且在详查中也发挥了它的重大作用。在对煤、铁、铬、盐等有用矿床的普查和勘探中，重力勘探方法也被广泛的应用。特别是新型的轻便的高精度重力仪的应用及解释方法的改进使重力勘探方法得到了新的发展。

一、重力、重力场和重力异常

所谓重力就是地球引力作用于物体的力。凡是

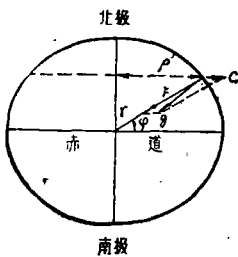


图 1

受到重力作用的地区称为重力场。在地球上观测到的重力场是由两部分组成的，即地球质量所引起的万有引力场和由地球自转所产生的离心力场。重力是有方向和大小的向量。它是地球万有引力 (F) 同离心

力 (C) 的向量和 (g)，如图 1 所示，

地球是一个椭球体，在地球表面某点的地球引力 (F) 是和该点与地心距离 (r) 的平方成反比的，所以在赤道上引力最小，在两极引力最大；而离心力的大小是和该点与旋转轴的距离 (ρ) 成正比的，则在赤道上离心力最大，在两极离心力等于零。由于离心力比地球引力小得多，所以重力是从赤道向两极逐渐增加。

某一物体所受的重力不仅与当地的重力加速度有关，而且还决定于它本身的质量。在重力学中一般测定的不是重力本身，而是重力加速度。为了方便起见，常简称为重力。就是一个单位质量的物体所受的重力。重力加速度的单位称为“伽”，但是平常测定重力时常用千分之一伽为单位，称为毫伽。

物体总是从高处往下落的，我们就说在高处的重力位比低处的高。通常以符号 U 表示重力位。沿着垂直方向在单位距离内重力位的变化就是重力加速度，我们常以符号 U_{zs} (注) 或 g 表示。在与重力 g 相垂直的平面上，其重力位处处都是相等的，即 $U = \text{常数}$ ，这个面称之为等位面。我们可以选择一个等位面同海平面相重合，这个面称为大地水准面，根据大地水准面的形状可以导出理论重力公式，根据理论公式，可以算出任一纬度的理论重力值。这样求得理论重力值，称为正常重力值。由于地壳密度的变化，实际观测值与理论值之间常有偏差的，这种偏差就叫做重力异常。重力异常产生的主要原因是地球内部岩石密度的变化所造成的。单位距离内重力的变化称为重力梯度，以符号 U_{xx} 、 U_{yy} 、 U_{zz} (注) 表示，因重力沿 x 、 y 、 z 三个方向的变化，则 $g_x = U_{xx}$ 、 $g_y = U_{yy}$ 、 $g_z = U_{zz}$ 。前两个称为水平梯度，可用扭秤测得，最后一个称为垂直梯度，目前尚无法用仪器精确测定。

对于地面上两个相距不太远的点，如果知道了它们的重力梯度，则它们之间的重力差的近似值也能计算出来。重力梯度能反映重力变化的大小和方向，其量值用向量 gs 来表示（图2），向量值的大小与梯度值成正比，箭头指的方向反映了重力增加的方向。重力梯度是一个能明显表示地层起伏的物理量。

用扭秤测量的还有其他三个重力位二次导数： U_{xx} 、 U_{yy} 、 U_{xy} （注）。前两个又以符号 $U_{\Delta} = U_{xx} - U_{yy}$ 表示，它们提供等位面形状方面的详细资料。因为地球的形状并不是平滑的，地壳密度的分布也不是均匀的，所以等位面的形状是有变化的，它们互相不平行，具有不同曲率（即不同弯曲程度）的曲面。根据等位面的不平行性和曲率的大小可以推测地壳密度的分布情况。任何一个曲面都可以划分成两个成正交的具有最大曲率和具有最小曲率的截面。最大曲率和最小曲率的差值以及最小曲率的方向可以反映出异常体的特征。

根据 U_{Δ} 和 U_{xy} 可以计算出曲率向量 R 的大小和方向。 R 是和最大曲率和最小曲率的差值成比例的一个数量， λ 为最小曲率与 x 轴的夹角。曲率向量以向量图表示，如图2。

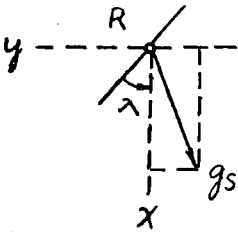


图2

从梯度和曲率向量图可以看出重力的变化方向和大小以及等位面的弯曲程度，提供出异常体的完整概念。

重力位二次导数的单位称为“埃维”，以符号“E”表示，1E相当重力在1厘米的水平距离内改变0.000001毫伽。

二、岩石矿物的密度

岩石矿物的密度主要决定于下面的地质因素：

- 1) 岩石矿物的成份；
- 2) 岩石的孔隙度。

大多数的侵入岩和变质岩的密度主要决定于第一个因素。这种岩石的孔隙度很小，几乎不会影响

密度值。侵入岩和变质岩的密度在某种程度上也决定于它的结构。

从酸性到基性和超基性岩，密度是随着较重的磁铁矿物的含量增加而增加。

超基性岩（橄榄岩、辉岩）在热液变质的过程中，加入了大量的水而形成所谓的蛇纹岩，它的密度也随之变小（2.5—2.6）。

含铁石英岩和某些其他类型的结晶片岩的密度在很大程度上决定于含铁矿物的含量和铁的总含量。

具有较重矿物成份的矿体密度是相当高的，一般为3.5到5.0；而硫化矿体，虽然孔隙率不大，但密度较小，变化范围很大（1.5到2.0，有时更小）。

沉积岩的密度比侵入岩和变质岩要小，因为它缺少较重的矿物成份，同时又具有较大的孔隙率，这一类沉积岩石的密度，在很大程度上决定于它的孔隙率，很少决定于它的岩性成份。沉积岩特别是砂页岩的孔隙率和密度，从褶皱带到地台区变化很剧烈，一般是孔隙率增加，密度减小。未经变位的砂页岩层在近地表处，孔隙率大，密度小，随着埋藏深度的增加，密度值也逐渐增加，这是由于它的孔隙率随着压力的增加而减小的缘故。

同样的疏松岩石，含水的要比干燥的密度大5—15%。

岩石成份对沉积岩的密度值的影响是不大的，但是对于某些化学沉积岩的影响还是很大的，如：硬石膏（ $\sigma=2.9$ ），石膏（ $\sigma=2.3$ ）、岩盐（ $\sigma=2.1$ ）。

三、重力观测及重力观测值的校正

在重力勘探中，目前主要使用的两种仪器是重力仪和扭秤。前者只能测定测点间的相对重力值 Δg ，其测量精度可达到0.1毫伽；后者主要测量重力梯度和曲率，也就是 U_{xx} 、 U_{yy} 、 U_{Δ} 、 U_{xy} 四个重力位二次导数，测量时采用自动记录。上述四个二次导数值再加上仪器本身的零点值共有五个未知数，需要五个方程式来求解，所以必须在五个不同的方位上进行观测；如果只需求得梯度，在三个方位上观测就可以了。由于扭秤的构造是两个相对称

的扭秤同时记录的,这样就可以减少观测方位数,原来要在五个方位观测的,只要三个方位就够了,其测量精确度达 1μ 。重力仪观测一点的时间约三到五分钟;扭秤记录一个方位需要四十分鐘,完成一个测点的时间至少要二小时。但两种仪器各具不同特点。

重力仪测量作为普查方法,由于速度快、费用低廉等优点而获得了顺利发展;扭秤的发展却较慢,但扭秤具有很多优点,首先是测量的准确程度要比重力仪高得多,即使是精确度为 0.01 毫伽的最好的重力仪也不能相比,一些微弱的异常,重力仪往往无能为力,扭秤却能很明显的反映出来。扭秤测量得到的数据也要比重力仪多,可以提供重力梯度和曲率数据。这些数据可以作出地下地质构造更明确更详细的资料。同时根据重力梯度也可以计算 Δg 值,它比重力仪测得的要准确,所以重力仪不能完全代替扭秤。这样我们就要根据不同的条件合理的选择方法。例如要在大面积上研究区域构造,圈定含油气远景地区,则重力仪测量可以在较短的时间内完成任务;寻找大而深的矿体,在地形有起伏的地区,使用重力仪也较扭秤为优越;但是在地形平坦地区要详细了解构造的细部、发现断层以及寻找小而浅的矿体时,重力仪是不能和扭秤相比的。此外扭秤测量的结果可以更精确的进行定量解释。

重力测量通常都是在不同高度、不同位置等各种条件下进行的。在将所得的结果用于解决各种地质问题时,必须将测量结果化成同一地理条件,因此需要进行各种校正。影响重力值的因素主要有以下几方面:

1. 纬度的影响:在地球重力场内重力值在赤道上最小,向两极逐渐增加,在两极达到最大。因此重力值随着纬度而改变就需要把各测点的重力值化到同一纬度的相应数值,这个校正称做纬度校正。一般沿纬度方向改变一公里,重力值变化大约为 0.8 毫伽。

2. 测点高度的影响:重力测量是在高度不同的测点上进行,由于测点的高度不同重力值也就会改变,高度改变一米,重力值相差约 0.3 毫伽。所以必须把各测点化到同一高度,计算各测点在同一高度相应的重力值。选择一个合理的校正面,并假

设通过测点的平面和校正面之间没有任何物质存在,这个校正称为空间(法亚)校正。

但是在测点与校正面之间还存在一个水平的物质层,由它引起的引力必须去掉,这叫布格校正。其校正值决定于测点与校正面之间的高差(h)和密度值(σ)若高度相差一米,平均密度为 2.0 ,则布格校正值为 0.08 毫伽。

通常在计算时把空间校正和布格校正合在一起称为高度校正。根据上面的数据计算出高度校正值为 $0.30-0.08=0.22$ 毫伽/米,所以重力测量对测点高程的要求是很高的,如果要达 0.1 毫伽的精度,则高程的精度要保证 0.2 米。

3. 地形影响:在测点周围地形起伏不平就会影响测点的重力值,不论测点周围存在高山或是低地,都会使测点的重力值减小,因此必须校正测点周围的地形影响,这个影响的大小随着测点的位置和测点周围的地形而改变。计算这种校正是比较复杂的,要把测点周围不同距离的地形测出,并且要测定地表密度值,然后再用特制的图表来计算。

对于重力位的二次导数而言,只需要做1、3两项校正就可以了,这一点也是扭秤测量的优点;与测定重力 g 相比,二次导数的另一优点在于校正公式的分母中,吸引物体的距离以三次方的形式出现,而在重力 g 的校正公式分母中则以距离的二次方形式出现,因此对于梯度值而言,距离测点超过二到三公里的高达数百米的小山的影响,可以忽略不计;对于曲率而言,距离超过十公里的高达数百米小山的影响也可忽略不计。对于精度达到 0.01 毫伽的重力测量,距离必须超过二十五公里时这种山的影响方可忽略不计。但近距离的地形影响对扭秤来说要比重力仪大得多,对于扭秤和高精度重力测量,地表岩层的密度也要求测定得相当准确,否则地形和布格校正都会带来很大误差。

四、重力异常

1. 重力异常的特点

1) 重力高和重力低的意义:一般来说,只有在岩层密度比较均匀的情况下高密度地层的隆起和凹陷,能反映出重力值的升高和降低。在我们研究

区域构造时不能简单地把重力高解释为隆起,把重力低解释为凹陷。有时重力高和重力低并不反映构造特征,而是反映岩性的变化。特别是当结晶基底埋藏比较浅的情况下,基岩岩性的变化,往往会引起很强烈的重力异常。有时重力高和重力低反映了相反的情况。例如岩盐穹窿,它的密度比围岩小就反映出来重力低,或者在凹陷中充填比围岩密度大的岩层,如砾岩层就会引起重力高。因此不能仅仅根据重力资料作出地质结论。

90°,所以利用曲率可以很明显的反映断层。

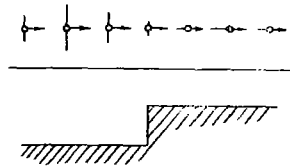


图4

利用梯度图,根据梯度值的大小以及方向的变化可以反映出微小的重力变化,而这些微弱异常在布格异常曲线上往往很难看出有任何反映。

应用重力梯度 U_{xx} 曲线判断矿体的倾斜情况要比重力异常曲线清楚得多,图5是两个不同方向倾斜的脉状矿体上的重力梯度曲线,从图上可以看出梯度值小的那一面就是矿体的倾斜方向。

2) 异常的走向、形状、大小和强度等特点与地质体的关系:重力场是一个比较单纯的物理场,它只决定于物体剩余质量的大小,因此重力异常的某些特点也正好反映了地质体的情况。根据异常的走向往往可以推测地质体的走向;从异常的形状大小可知道地质体是等轴状的还是沿走向延伸的;地质体的范围大致可以从重力异常曲线上两个拐转折点(即曲线最陡的一点)的距离来确定。强度大的异常,同时水平梯度也较大,则反映地质体埋藏比较浅;遇到异常变化剧烈也就是水平梯度很大的地区,往往表示异常体的深度有突然的变化,可能有断层或是台阶式构造。平缓的异常,一般都表示异常体埋藏得比较深。

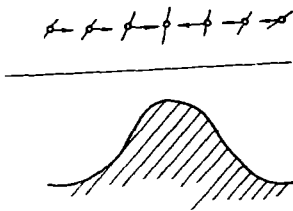


图3

3) 重力梯度和曲率的性质:用扭秤测得的水平梯度和曲率值在平面图上都以向量的形式表示出来。图3表示在一个背斜构造上重力梯度和曲率分布情况。梯度指向背斜的顶部,并在构造的边缘达到最大。最小曲率方向从构造边缘向顶部逐渐偏转,在顶部最小曲率方向与构造面垂直,曲率值在构造顶部达到最大。

图4,是在一个断层上的重力梯度和曲率的分布情况,梯度指向断层上盘,并且在断层处梯度值达到最大,最小曲率方向在断层面的地方几乎偏转

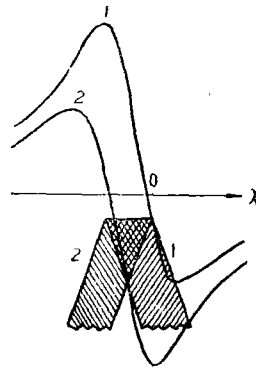


图5

(注)我们通常用符号 A_K 来表示某一物理量 A 在沿 K 方向单位距离内的变化数值。例如 A 代表复盖厚度,如果两个钻孔之间的距离是10米,复盖厚度由10米变为56米,那么在沿钻孔连线的方向(K)单位距离(1米)内,复盖厚度的变化就为4.6米,或 $A_K=4.6$ 米/米。同理, U_z 表示重力位沿 z 方向单位距离内的变化; U_{xz} 表示 U_z 在 x 方向单位距离内的变化。因为 $U_z=g$,所以有 $U_z=U_{zz}$ 。 U_{xx} 、 U_{yy} 、 U_{xy} 表示 U_x 、 U_y 、 U_y 值在 x 、 y 、 x 方向单位距离内的变化值。 U_x 、 U_y 代表重力位在 x 和 y 方向单位距离内的变化值。在数学上,我们称 A_K 为 A 对 K 的一次导数, A_{K^2} 是 A 的二次导数;其中一次是对 K 的,一次是对 θ 的,其余依此类推。