

小口径五分量磁测井仪和井斜计算公式

吴 鲁 沂

40毫米五分量磁测井仪用于小口径金刚石钻孔,能同时完成三分量磁测和孔斜测量(方位和顶角)双重任务,野外实践证明效果较好。目前已有好几个勘探队自己动手制作这类仪器,并在生产中使用,例如湖北冶勘609队,山西第一地质队等。

该仪器包括地面仪器和井下仪器两部分,所采用的辅助设备有:测井电缆(三芯)、绞车、井口滑轮等,将地面仪器和井下仪器连接起来,并将井下仪器放到钻孔中,按一定的点距(通常10米或5米)逐点测出按一定坐标系统安置的五个不同方位上的地磁场的绝对值。其中垂向系统的X,Y,Z三个分量类似重庆地质仪器厂三分量磁测井系统,利用所测得的资料可以推断磁性矿体的空间分布、规模、产状等参数,其水平分量X,Y还可以用来计算钻孔的方位角。另外距离垂向系统约4厘米处安置了一个轴向系统,可测Y',Z'两个分量,利用这两个分量和垂向系统中Y,Z两个分量一起可以计算钻孔的顶角。

地面仪器可以自己设计制作,也可以将重庆地质仪器厂生产的井中三分量磁测井仪

稍加修改,调整,因此,关键是制作井下仪。

有关井中三分量的测磁原理和应用等问题可以参阅有关书籍和资料,这里不再赘述。本文只是简要地介绍一下井下仪主体部分的结构以及计算钻孔方位角和顶角的公式。

一 井下仪器主体部分的结构

井下仪器主体部分见图1,它是一个偏心框架结构,大偏摆(25)安置在上下座(9)(27)的小型轴承(12)和(28)上。在大偏摆中间有一长方形的槽,其空间用玛瑙轴承安装一个三分量磁敏元件主体(1),为一立方体的有机玻璃框架,上面打有三个相互垂直的孔,孔中相应地安置X、Y、Z三个磁敏元件。在有机玻璃方块下面装有扇形的垂向重锤,因此三分量磁敏元件主体除了能灵活自如地绕井下仪主体轴转动外,还可以绕垂直于主体轴的水平轴(18)转动。在顶角大于 5° 的钻孔中,凭借大偏摆和垂直重锤的作用,使Z元件始终保持垂直向下,另外两个元件保持水平,其中Y元

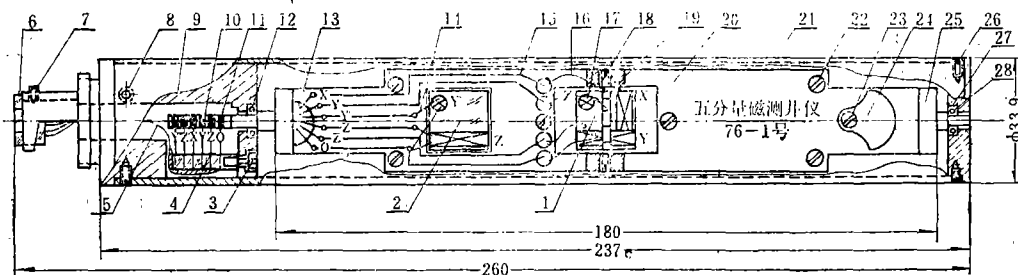


图 1

- 1—垂向系统 2—轴向系统 3—固定螺丝 4—接触刷座 5—引线 6—六角插座 7—固定螺栓
8—固定螺栓 9—上座 10—接触刷 11—微型轴承 12—集电环 13—集电环引线 14—磁敏元件引线
15—印刷电路 16—导线线 17—磁敏元件 18—轴尖 19—垂向系统限位柱 20—印刷电路板 21—灵敏
元件套筒 22—印刷板固定螺丝 23—固定螺栓 24—调偏块 25—大偏摆 26—固定螺栓 27—下座
28—微型轴承

件位于井轴倾斜面内, X元件垂直于井轴倾斜面。我们称该主体为垂向系统。距离垂向系统上端 4 厘米处的同一大偏摆上, 固定着由两个互相垂直的磁敏元件 Y' , Z' 所组成的有机玻璃立方体。 Z' 元件平行于井下仪器轴, Y' 元件垂直大偏摆。该系统只能环绕井下仪主体轴 (12) 旋转。由于大偏摆的重锤作用, 使 Y' , Z' 两元件所组成的平面与井下仪器倾斜面相重合, 我们称之为轴向系统。井下仪五个磁敏元件通过导流丝、印刷电路、集电环及接触刷与步进继电器的分路器相接, 再经过电缆与地面仪器相通。

二 方位角和顶角的计算公式

图 2 为五分量仪在顶角为 D 时, 垂向系统和轴向系统之间的相互关系示意图。

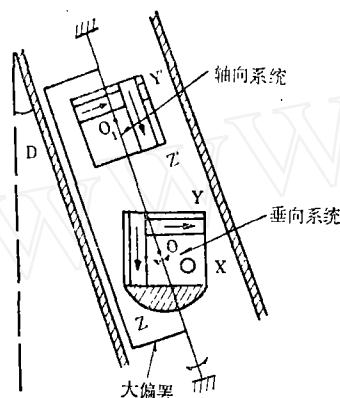


图 2

为了确定测点磁场的方向, 必须知道由 X、Y、Z 三个磁敏元件组成的垂向系统直角坐标系以及由 Y' , Z' 组成的轴向系统的直角坐标系在空间的位置和正负方向。根据仪器的设计, 当井下仪直立时 (顶角为 0°), 五个磁敏元件的方向符合左手定则。如图 3 所示, 设食指所指方向为 Y 和 Y' 两元件的正方向, 拇指所指方向为 X 元件的正方向, 中指垂直向下, 就是 Z 和 Z' 两元件的正方向, 这三者总是固定不变的。

1. 方位角的计算公式 根据上述垂向系统的结构和左手定则, 显然, 在斜井情况

下, Y 元件永远指向井斜方位, 而地磁水平分量 $\vec{H}$ 矢量与元件指向的夹角 A (即从 $\vec{H}$ 顺时针转到 Y 元件指向的角度, 图 4), 可以根

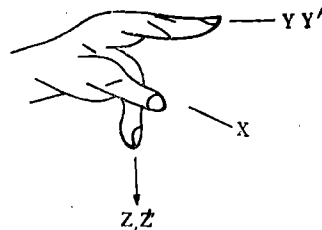


图 3

据垂向系统的 X、Y 两元件测得的磁场数据 X、Y 按下式求得:

$$A = \tan^{-1} \left| \frac{X}{Y} \right| \quad (X \text{ 负, } Y \text{ 正时})$$

$$A = \pi - \tan^{-1} \left| \frac{X}{Y} \right| \quad (X \text{ 负, } Y \text{ 负时})$$

$$A = \pi + \tan^{-1} \left| \frac{X}{Y} \right| \quad (X \text{ 正, } Y \text{ 负时})$$

$$A = 2\pi - \tan^{-1} \left| \frac{X}{Y} \right| \quad (X \text{ 正, } Y \text{ 正时})$$

注意: 各式中 $\tan^{-1} \left| \frac{X}{Y} \right|$ 均取脱角。因为

$$\vec{H} = \vec{H}_0 + \Delta\vec{H}, \quad (H_0 \text{ 为正常场水平分量,}$$

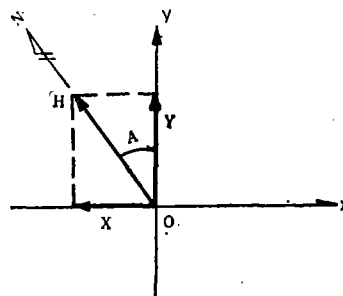


图 4

ΔH 为异常场水平分量), 所以当 $\Delta\vec{H}$ 很小, 且与 H_0 相比可以忽略时, $\vec{H} \approx \vec{H}_0$, 当远离磁性体时, $\Delta\vec{H}$ 满足该条件。另一种情况 $\Delta\vec{H}$ 虽大, 但与 $\vec{H}_0$ 方向几乎平行, 这时 $\vec{H}$ 矢

量的指向就可以看成是磁北方位, 上述 $\vec{H}$ 的指向与 y 元件指向的夹角 A 就是钻孔方位角。这就是本方法测方位角的基本原理。

2. 顶角的计算公式 计算顶角需测出 y 、 z 、 y' 、 z' 四个量, 用图 5a 表示图 2 情况下磁场在 y 、 z 、 y' 、 z' 四个矢量的大小和方向(此时, 钻孔倾向北)。

由于 o' 、 o , 间距只有 40 毫米, 当磁场梯度不是特别大时, 可假设 $\vec{T}'' = \vec{T}'$, 于是图 5a 可简化如图 5b。

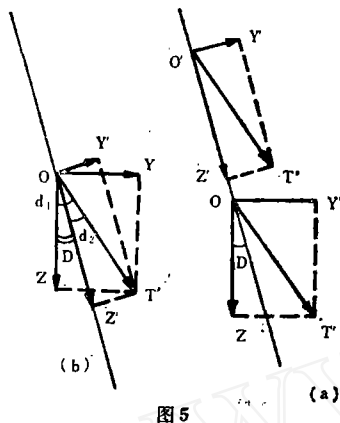


图 5

在钻孔的倾斜面内, 钻孔井斜线与地磁场在倾斜面内投影的矢量之间变化关系, 可以出现下列四种类型:

(1) 钻孔倾向北, 倾角大于磁场在钻孔倾斜面上投影矢量的倾角时, 如图 5b。由图解可得出顶角公式:

$$D = d_1 - d_2 = \operatorname{tg}^{-1} \frac{y}{z} - \operatorname{tg}^{-1} \frac{y'}{z'} \dots \dots (1)$$

式中 d_1 为垂直分量 z 与总磁场投影 T' 之间的夹角, d_2 为 z' 分量(即井轴)与总磁场投影 T' 之间的夹角。

(2) 钻孔倾向北, 钻孔倾斜角小于磁场在钻孔倾斜面上投影的矢量的倾角时, 如图 6。由图解可得出顶角公式:

$$D = |d_1| + |d_2| = \operatorname{tg}^{-1} \left| \frac{y}{z} \right| + \operatorname{tg}^{-1} \left| \frac{y'}{z'} \right| \dots \dots (2)^*$$

在这种情况下, 磁场分量 y' 与磁敏元件规定的指向相反, 即测量数据是负的, 故 d_2 是负值, 若考虑读数的符号, 可将(2)式变为

$$D = d_1 - d_2 = \operatorname{tg}^{-1} \frac{y}{z} - \operatorname{tg}^{-1} \frac{y'}{z'} \dots \dots (3)$$

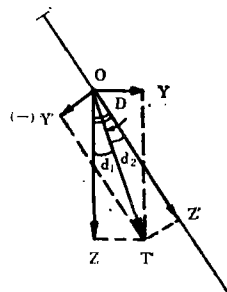


图 6

(3) 钻孔倾向南, 钻孔顶角小于磁场在钻孔倾斜面上投影矢量的倾角时, 如图 7。由图解可得出顶角公式:

$$D = |d_2| - |d_1| = \operatorname{tg}^{-1} \left| \frac{y'}{z'} \right| - \operatorname{tg}^{-1} \left| \frac{y}{z} \right| \dots \dots (4)$$

这种情况下, 磁场分量 y , y' 与磁敏元件所指方向相反, 即它们读数是负值, 故 d_2 、 d_1 都是负的, 同理可将(4)式变为:

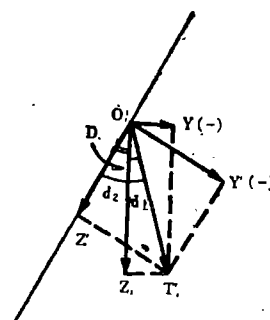


图 7

$$D = |d_2| - |d_1| = -d_2 + d_1 = d_1 - d_2 = \operatorname{tg}^{-1} \frac{y}{z} - \operatorname{tg}^{-1} \frac{y'}{z'} \dots \dots (5)$$

* 不考虑各分量数值的符号。

(4) 钻孔倾向南, 钻孔顶角大于磁场在钻孔倾斜面上投影矢量的倾角时, 如图 8。由图解可得出顶角公式:

$$D = 180^\circ - (|d_1| + |d_2|) = 180^\circ - (tg^{-1} |\frac{y}{z}| + tg^{-1} |\frac{y'}{z'}|) \dots\dots (6)$$

同样, 如果考虑到符号时, (6) 式可变为:

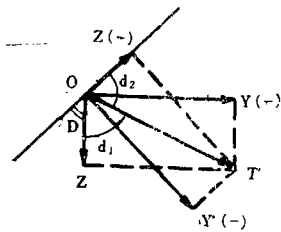


图 8

$$D = 180^\circ + (d_1 - d_2) = 180^\circ + tg^{-1} \frac{y}{z} - tg^{-1} \frac{y'}{z'} \dots\dots (7)$$

综合上述四种情况, 可归结为:

A) 计算时必须考虑读数符号, 当 z' 为正时, 顶角公式为:

$$D = d_1 - d_2 = tg^{-1} \frac{y}{z} - tg^{-1} \frac{y'}{z'}$$

B) 只有当 z' 为负值时, 公式才变为:

$$D = 180^\circ + d_1 - d_2 = 180^\circ + tg^{-1} \frac{y}{z} - tg^{-1} \frac{y'}{z'}$$

后一种情况在中、高纬度地区很少碰到, 在低纬度地区 (如海南岛) 则容易碰

到。

上面所提到的方位角和顶角的计算公式, 都是在理想的直角坐标系条件下得出的, 但实际上, 由于加工和调节井下仪器的精度不够, 就会造成计算的井斜数据与实际井斜有一定误差, 一般情况下可以做到小于 1° 。不过这是常差, 如果有必要, 可以进行校对改正。

三 改为四分量测井仪的优点

所谓四分量, 就是只采用原来五分量中的 x 、 y 、 z 、 y' 四个分量。四分量除了要求调整精度高和相应计算麻烦一点外, 具有下面几个优点:

1) 少测一个分量, 可以节省工作时间。

2) 由于少用一对接触刷, 在顶角较小时, 容易增加大偏摆旋转的灵活性, 有利于定向。

3) 调整元件 y' 比较容易。

因此, 有些单位已开始试制四分量的磁井仪。

根据图 5 b, 不难得出用四分量磁测井仪时计算顶角的公式:

$$1) D = d_1 - d_2 = tg^{-1} \frac{y}{z}$$

$$- \sin^{-1} \frac{y'}{\sqrt{y^2 + z^2}}$$

$$2) D = 180^\circ + d_1 - d_2 = 180^\circ + tg^{-1} \frac{y}{z}$$

$$- \sin^{-1} \frac{y'}{\sqrt{y^2 + z^2}}$$

