

井中三分量磁测数据处理

（一）井中三分量磁测测量原理和处理方法

井中磁测是钻孔中磁法勘探的一种方法，它是以研究岩、矿体的磁性为物理基础的。不同磁性的岩、矿体会产生不同形态和强度的磁异常，井中三分量磁测就是测定磁性岩、矿体在它周围所产生的磁场强度的异常。要确定一个空间矢量就要测量它的相互垂直的三个分量，对于井中三分量磁测即是指测量两个水平分量和一个垂直分量，然后对测得的数据进行相应的计算处理，并按照需要绘制成相应的解释图件、进行地质推断解释。

在进行井中磁测资料计算处理前要收集得到如下资料：

- （1）剖面方位角 A ，由钻探设计和测量给出
- （2）钻孔倾斜方位角 Φ ，由陀螺测斜仪实测得到
- （3）工区地磁场正常场垂直分量值 Z_0 和水平分量值 H_0 ，可由地球主磁场模型数据或当地实测数据给出
- （4）五个基本参数：钻孔的顶角 δ （包括 δ_x 、 δ_y ）、磁场的水平分量 X 、 Y 和垂直分量 Z ，由三分量磁力仪在井中测得。这些资料都作为三分量磁测的原始资料，然后我们要对它们进行相应的处理。

进行井中磁测资料处理时，分直孔和斜孔两种情况。过去，要当钻孔的倾斜度达到某一顶角值，一般为 5° 以上时，才能保证井下仪器中磁测元件的定向精度，[JCC3-2 \(A\)](#) 高精度磁三分量测井仪从 0.5° 开始就能进行定向处理。直孔的测量数据，信息量较少，处理比较简单，或者说斜孔比直孔能得到的信息更多，处理更为复杂。以下介绍斜孔磁测资料处理的一般方法。

1、斜孔的定向坐标系

由于历史的原因，井中三分量磁测采用左手定则的直角坐标系。让左手的拇指、食指、中指相互垂直伸直，它们依次分别表示 x 、 y 、 z 三轴。并让 z 轴朝下指向重力矢量方向，并且 y 轴指向钻孔倾向。这样规定的坐标系称作垂向坐标系，历史上还用一种轴向坐标系。

在垂向坐标系下， x 、 y 轴方向的磁场分量，称作水平分量的 x 、 y 分量，记作 X 、 Y ，其合矢量是水平分量 H 。 z 轴方向的分量 Z 称作垂直分量。



2、磁异常垂直分量

在 z 轴方向，实测垂直分量和当地正常场垂直分量的差。

由于 Z 和 Z_0 方向相同，因此将每点所测的 Z 值减去 Z_0 就得到了磁异常的垂直分量：

$$\Delta Z = Z - Z_0 \quad (1)$$

3、磁异常水平分量

磁异常水平分量 ΔH 是一个水平面内的矢量, 可由 H 减去 H_0 求得, 但这是指向量运算。 H 是由实测的 X 、 Y 分量合成的, H_0 方向为磁北, 按这样的思路我们求 ΔH 步骤如下:

(1) 求 H_0 在 x 轴和 y 轴上的投影 H_{0x} 和 H_{0y} (x , y , z 轴是左手定则确定的垂向座标系):

$$H_{0x} = -H_0 \sin \Phi, H_{0y} = H_0 \cos \Phi \quad (2)$$

其中的 Φ 是钻孔的实际倾斜方位角, 由陀螺测斜得到。

(2) 求 H 与 H_0 在 x 轴和 y 轴上的模差值:

$$\Delta X = X - H_{0x}, \quad \Delta Y = Y - H_{0y} \quad (3)$$

(3) 求 ΔH 的模值:

$$\Delta H = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2} \quad (4)$$

(4) 求 ΔH 的方向角 φ , φ 角是指从正北 (N) 开始, 顺时针方向转到 ΔH 的角度:

$$\varphi = \theta + \Phi \quad (5)$$

式中的 θ 角由下列公式算出:

$$\theta = \begin{cases} \operatorname{tg}^{-1} \left| \frac{X}{Y} \right| & (X \geq 0, Y > 0) \\ \pi - \operatorname{tg}^{-1} \left| \frac{X}{Y} \right| & (X > 0, Y \leq 0) \\ \pi + \operatorname{tg}^{-1} \left| \frac{X}{Y} \right| & (X \leq 0, Y < 0) \\ 2\pi - \operatorname{tg}^{-1} \left| \frac{X}{Y} \right| & (X < 0, Y \geq 0) \end{cases} \quad (6)$$

(5) 由 ΔH 模值和 φ 角即可作出 ΔH 的矢量图。

3、磁异常水平分量在横剖面 and 纵剖面中的投影

磁异常水平分量在横剖面 and 纵剖面中的投影分别以 $\Delta H_{\perp}$ 和 $\Delta H_{//}$ 表示, 计算公式如下:

$$\Delta H_{\perp} = H_{\perp} - H_{0\perp} \quad (7)$$

$$H_{\perp} = Y \cos(\Phi - A) - X \sin(\Phi - A)$$

$$H_{0\perp} = H_0 \cos A$$

$$\Delta H_{//} = H_{//} - H_{0//} \quad (8)$$

$$H_{//} = Y \sin(\Phi - A) + X \cos(\Phi - A)$$

$$H_{0//} = -H_0 \sin A$$

4、磁异常总矢量在横剖面 and 纵剖面中的投影

磁异常总矢量在横剖面 and 纵剖面中的投影分别以 $\Delta T_{\perp}$ 和 $\Delta T_{//}$ 表示。作 $\Delta T_{\perp}$ 和 $\Delta T_{//}$ 矢量图时, 应取在横剖面 and 纵剖面中的投影 $\Delta H_{\perp}$ 、 $\Delta H_{//}$ 和 ΔZ 来合成。

画 $\Delta T_{\perp}$ 矢量线时, 其中 ΔZ 为纵坐标, 向下为正, 向上为负, $\Delta H_{\perp}$ 正值剖面 A 的方

向, 负值为 A 的反向; $\Delta T_{//}$ 为 ΔZ 与 $\Delta H_{//}$ 的合成矢量, 其中 ΔZ 为纵坐标, 向下为正, 向上为负, $\Delta H_{//}$ 正值为纵剖面方向上 ($A+90^\circ$ 的方向), 负值为相反的方向。

5、水平分量模差

水平分量模差是由实测水平分量模值 H 和正常场水平分量模值 H_0 的差计算得到。

$$\Delta H' = H - H_0 = \sqrt{X^2 + Y^2} - H_0 \quad (9)$$

水平分量模差 $\Delta H'$ 由于没考虑水平矢量的方向, 在直孔、斜孔情况下都可以计算得到, 在直孔情况下可得到并可应用的资料只有 ΔZ 、 ΔT 模值和水平分量模差 $\Delta H'$ 三个。

6、总磁异常矢量模差

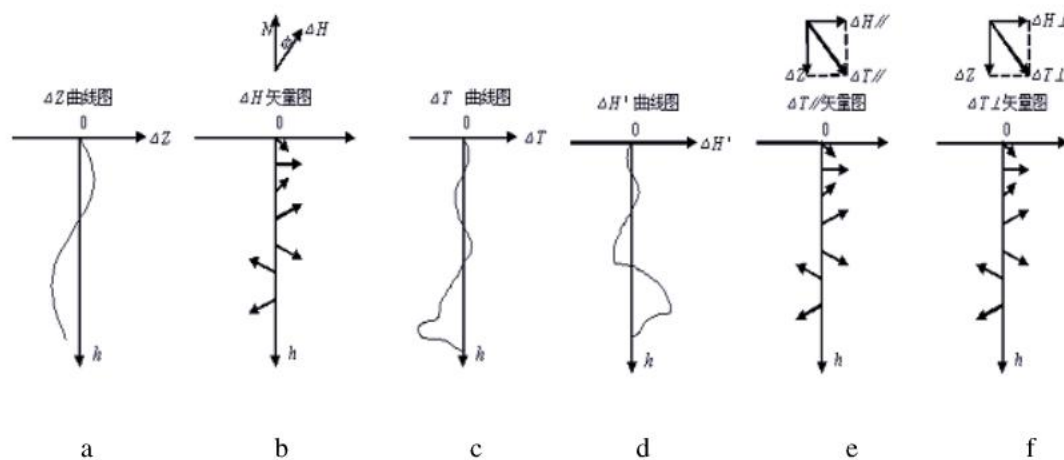
总磁异常矢量模差可以由水平异常和垂直异常做平方和再开方得到。

$$\Delta T = \sqrt{\Delta Z^2 + \Delta H^2}$$

总磁异常矢量模差当地质体是规则形体, 或接近规则形体时, 用来确定地质体离开钻孔的位置和深度位置。

(二) 绘制成果图件

斜孔情况下不仅能算出垂直磁异常分量 ΔZ 和水平磁异常分量 ΔH , 还能算出 ΔH 在横 (纵) 剖面中的投影模值 $\Delta H_{\perp}$ ($\Delta H_{//}$), 而磁异常总矢量在横 (纵) 剖面中的投影 $\Delta T_{\perp}$ ($\Delta T_{//}$) 是由 $\Delta H_{\perp}$ ($\Delta H_{//}$) 和 ΔZ 合成。一般常用到绘制图件有: ΔZ 曲线图、 $\Delta H'$ 曲线图、 ΔT 曲线图和 ΔT 、 ΔH 、 $\Delta T_{\perp}$ 、 $\Delta T_{//}$ 矢量图。



(1) ΔZ 曲线图: 纵坐标为深度 (向下为正), ΔZ 为横坐标 (向右为正), 以正常场垂直分量 Z_0 为 0 线, 把各深度点上测量计算的 ΔZ 值连成曲线。(a)

(2) ΔH 矢量图: 纵坐标为深度 (向下为正), 在各测量深度点上用 ΔH 为模值和 ΔH 方向角 φ 作的矢量。向上为磁北方向, 顺时针转过 φ 角度。(b)

(3) ΔT 总磁异常矢量模差值曲线图: 纵坐标为深度 (向下为正), ΔT 总磁异常矢量模差值为横坐标, 把各深度点上测量计算的 ΔT 总磁异常矢量模差值连成曲线。(c)

(4) $\Delta H'$ 曲线图: 纵坐标为深度 (向下为正), $\Delta H'$ 为横坐标 (向右为正), 正常场水平分量 H_0 为 0 线, 把各深度点上测量计算的 $\Delta H'$ 值连成曲线。(d)

(5) ΔT 、 $\Delta T_{\perp}$ ($\Delta T_{//}$) 矢量图: 纵坐标为深度 (向下为正), 在各测量深度点上用 ΔH 、 $\Delta H_{\perp}$ ($\Delta H_{//}$) 为水平分量, 用 ΔZ 为垂直分量作合成矢量。向右、向下为正。(e)、(f)

（三）井中三分量磁测成果应用

井中三分量磁测成果主要应用在以下方面

- 1、发现井底盲矿、推断井底有无矿体。
- 2、确定矿顶、矿尾深度位置，和地面磁测资料结合判断矿体形状和产状规模。
- 3、根据异常矢量指向，确定矿体在钻孔的哪个方向及估算出距离。

井中三分量磁测成果应用要注意的方面有：

- 1、钻孔穿过矿层时，仪器进入矿体内部，这时异常以磁性体内场为主。
- 2、地面磁测是在近似理想真空的空气中进行，测量点在磁性矿体外，测量环境和矿体有较大的磁性差异，测量的都是外部场。井中三分量磁测是在地下各种磁介质里进行，各种围岩的磁性大小变化都将影响测量结果。这种影响有时会很大，因为仪器和围岩很近。
- 3、地面三分量磁测，在地面可以很精确地给仪器定向，测量结果相对更准确。井中三分量磁测定向是靠仪器自动进行，而且要依赖与陀螺测斜等资料的准确性。
- 4、井中三分量磁测仪器受体积限制，灵敏度较低。
- 5、井中三分量磁测可能在地质体的上部、下部，四周进行（地面磁测只能在地质体上部进行），现在国外承包项目增多，在南半球（磁场与北半球相反）应用的情况已经很普遍，都使得井中三分量磁测资料可能包括更复杂的信息，进行井中三分量磁测成果解释时要格外注意这些。

参考资料：

- 1、《金属矿钻孔地球物理勘探》 武汉地质学院
- 2、《JCC-1 五分量测井仪使用说明书》 上海地质仪器厂
- 3、《[JCC3-2\(A\)](#)高精度磁三分量测井仪使用说明书》 上海地学仪器研究所
- 4、《[JTL-40DT](#)动调陀螺测斜仪使用说明书》 上海地学仪器研究所
- 5、《磁法勘探原理》 长春地质学院