

# 钻井连续测斜仪的磁通门型式 和计算机处理技术<sup>①</sup>

张学宇

(湖南广播电视大学, 长沙 410004)

## 摘 要

从分析磁罗盘式测斜仪的缺陷入手, 指出了采用磁通门型式和计算机处理技术的必要性。然后介绍这项专利方案的技术要素, 并论述其实用价值。

**关键词:** 钻井连续测斜仪 磁通门罗盘 磁罗盘式测斜仪 磁通门式测斜仪

## 1 磁罗盘式测斜仪的缺陷和改进方法

迄今国内使用的钻井测斜仪大部分仍属前苏联 50 年代的陈旧型式, 其定向传感器是由电位器作为角位移传感器输出方位信号的磁罗盘。由于磁棒磁矩不足以克服电位器电刷的摩擦力矩, 只能使电刷经常处于与电位器不接触状态, 待仪器被提升到预定位置再由电磁铁驱使电刷与电位器接触, 人工记录钻井倾斜方位和倾斜度。这种逐点测量方式效率极低, 延误钻井、测井工程, 而且带有人为干预因素, 以至发生假造数据的事件。

80 年代从美国引进的类似测斜仪令电位器电刷常接触。国内参照研制了第一代连续测斜仪。但其定向精度, 与美式仪器一样, 由于摩擦迟滞而只有 10° 水平, 且时常出现卡滞失灵; 后来加装了振动电机, 但在使用中极易损伤而经常返修, 终于未能普遍推广。

在磁罗盘式测斜仪中, 由于磁棒尺寸受钻井孔径限制, 显然难以彻底避免卡滞现象。最好的改进方法是采用无需转动的定向传感器, 这就是磁通门罗盘。磁通门罗盘将由计算机解

算方位, 可同时实现连续测斜仪的数字化。

## 2 磁通门罗盘式测斜仪的优点和构成型式

根据上述思路, 我们制定了采用磁通门的摆式测斜仪的专利方案<sup>[1]</sup>并研制了新一代连续测斜仪。其主要优点是磁通门探头方位固联而无需转动, 并能直接提供与方位有关的信号。这样不但可省却电位器, 而且彻底避免了卡滞失灵, 精度可达 0.2°<sup>[2]</sup>。

磁通门信号还便于与计算机交联, 可利用计算机进行各种修正, 并与井上数字系统兼容。

磁罗盘式测斜仪转动时, 借助于磁棒相对转动指北, 还存在迟后现象。而磁通门罗盘方位跟踪迅速灵敏, 可视为无惯性仪表。

磁棒转动型式结构复杂, 水平平衡困难。采用磁通门探头不但简化了结构和工艺, 而且便于与倾斜传感器共用平衡系统。图 1 示出了已批准为中国专利<sup>[1]</sup>的适用于钻井连续测斜的结构型式。图中将磁通门罗盘的方位敏感元件 1 直接固定在倾斜度传感器的摆锤 2 上, 并调

① 收稿日期: 1994 年 5 月 3 日; 修回日期: 1994 年 6 月 10 日

整到平行于倾斜度摆轴 3。当测斜仪倾斜时，偏心摆 7 驱动偏心摆轴 5，直至前者转动至指向倾斜方向，从而使安装倾斜度电位器 4 的摆轴处于水平状态，亦即方位敏感元件水平悬置，并直接确定倾斜方位，不仅实现倾斜方位、倾斜度和磁方位传感器三表合一，且省略了偏心摆轴上原有的倾斜方位电位器 6。

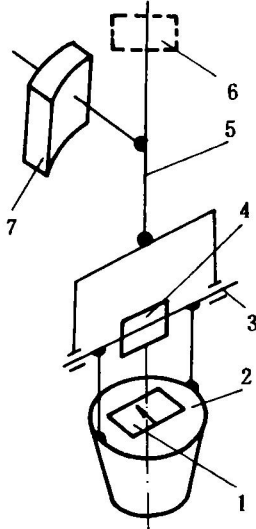


图 1 磁通门探头与倾斜传感器固连的结构示意图

- 1—方位敏感元件；2—倾斜度传感器摆锤；
- 3—倾斜度摆轴；4—倾斜度电位器；5—偏心摆轴；
- 6—省略了的倾斜方位电位器；7—偏心摆

### 3 摆式磁通门罗盘的原理和使用误差

摆式磁通门罗盘的敏感元件与磁罗盘的罗

牌一样，由万向环悬挂在水平面内。但后者中的磁棒还需在方位上自由转动，前者中的磁通门探头则是固连的。

敏感元件一般配置两个正交的探头，若地磁场强度水平分量为  $H$ ，则水平悬挂的两个探头轴向的地磁场强度分量为：

$$H_x = H \cos \psi \tag{1}$$

$$H_y = -H \sin \psi \tag{2}$$

当  $X$  轴探头轴向对准载体纵轴安装时，式中的  $\psi$  即代表载体磁方位。在图 1 所示结构的测斜仪中，令  $X$  轴探头与偏心摆平行安装，则  $\psi$  代表测斜仪的倾斜方位。

磁通门探头一般采用双铁心结构，如图 2 所示，它具有良好的矢量响应性。设探头轴向的被测磁场分量为  $H_0$ ，根据文献[2]，探头感应线圈输出信号的二次谐波分量为：

$$e_2 = E_{2m} \sin 4\pi f_1 t \tag{3}$$

$$E_{2m} = K_M H_0 \tag{4}$$

$$K_M \approx -\frac{16}{3} f_1 \mu S W_2 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{H_s}{H_m}\right)^2} \tag{5}$$

式中  $f_1$  为激磁电源频率； $\mu$  为考虑退磁效应后的铁心磁导率； $S$  为铁心横截面面积； $W_2$  为感应线圈匝数； $H_s$  为铁心饱和磁场强度； $H_m$  为激磁磁场强度幅值

由于探头参数温度稳定性差，电路增益存在温漂和时漂，为提高精度，磁通门罗盘宜用图 2 所示磁场负反馈系统，高温作业的钻井测斜仪更应如此。通过反馈线圈(图示为借用感应线圈)的电流及其在铁心上建立的反馈磁场分别为：

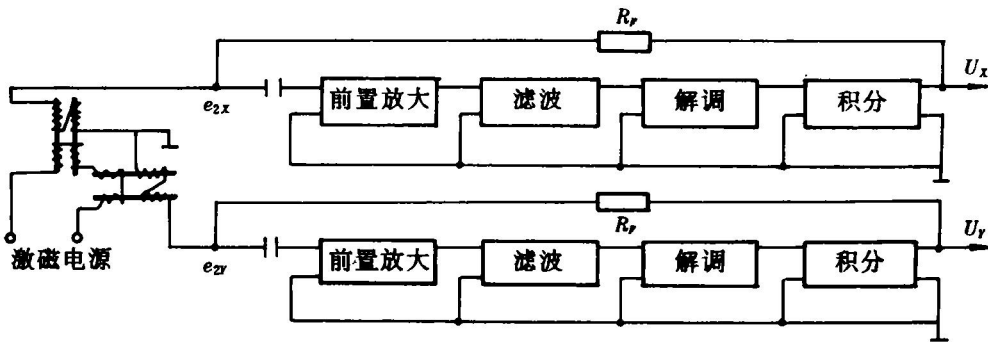


图 2 磁通门探头结构框图

$$I_F = \frac{U_0}{R_F + R_2} \quad (6)$$

$$H_F = \frac{W_2 I_F}{l} = \frac{W_2 U_0}{l(R_F + R_2)} \quad (7)$$

式中  $U_0$  为电路输出模拟信号(即  $U_x$  或  $U_y$ )； $R_2$  为感应线图电阻； $l$  为等效圆环形铁心的周长

图 3 为上述系统在稳态工作时的结构图，其中  $K$  为电路总增益，反馈系数为

$$F = \frac{H_F}{U_0} = \frac{W_2}{l(R_F + R_2)} \quad (8)$$

所以

$$(H_0 - H_F)K_m K/S = U_0 \quad (9)$$

$$\text{由于 } H_F \approx H_0 \quad (10)$$

$$\text{所以 } U_0 = \frac{1}{F} H_F \approx \frac{1}{F} H_0 \quad (11)$$

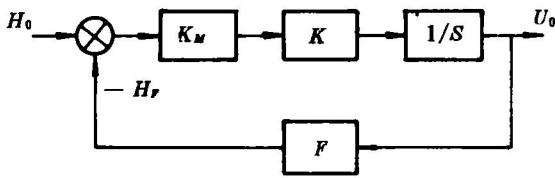


图 3 磁通门罗盘负反馈系统结构图

由式(8)可知，磁场负反馈系统的信号标度因数基本不受探头和电路参数变化的影响，而仅仅取决于反馈系数  $F$ ；由式(8)也知， $F$  易于稳定，为提高磁通门罗盘精度提供了基础。据上所述，二轴电路输出的模拟信号

$$U_x = \frac{1}{F_x} H_x = \frac{H}{F_x} \cos\psi \quad (12)$$

$$U_y = \frac{1}{F_y} H_y = -\frac{H}{F_y} \sin\psi \quad (13)$$

$$\text{所以 } \psi = \text{tg}^{-1}\left(\frac{-H_y}{H_x}\right) = \text{tg}^{-1}\left(\frac{-F_y U_y}{F_x U_x}\right) \quad (14)$$

调整二轴通道的  $R_f$ ，令它们的反馈系数  $F_x = F_y$ ，即可保证二者标度因数一致。可见，只要保证二轴探头轴向之间的垂直度和各自的水平度，便可精确测定  $\psi$ 。航空等领域的应用已证明摆式磁通门罗盘的精度可达  $0.2^\circ \sim 0.5^\circ$  [2]。

但在图 1 所示结构的测斜仪中要达到上述精度，首先要保证偏心摆正确指向倾斜方向，否则不能保证探头水平。而偏心摆的绕轴驱动力矩  $M = Gr \sin\alpha \sin\Delta\psi$  (15)

式中  $G$ 、 $r$  分别为偏心摆重量和质心偏心距； $\alpha$  为倾斜度； $\Delta\psi$  为倾斜方位误差

可见  $\alpha$  越小， $\Delta\psi$  越大。为保证  $\psi$  精度，必须依靠振动消除静摩擦。

摆式测斜仪的下述误差则需借助于计算机处理消除：测斜仪钢铁构件引起的罗差、高温工作误差、摆锤不稳定误差。式(14)的计算已表明磁通门式测斜仪内本应配备计算机。

## 4 计算机修正和处理技术

### 4.1 罗差修正

罗差虽可利用调零电路修正，但它已被密封在测斜仪中，不便调整。载体磁场可分解为纵、横、竖三轴分量  $\Delta H_x$ 、 $\Delta H_y$ 、 $\Delta H_z$ 。如果倾斜度较小，可只修正垂直姿态下的罗差。此时  $\Delta H_z$  影响可忽略，而  $\Delta H_x$ 、 $\Delta H_y$  将分别作用于  $X$ 、 $Y$  二轴探头轴向，亦即迭加在  $H_x$ 、 $H_y$  上，并为不变常量，可测定相隔  $180^\circ$  二方位信号计算(代数和之半)和在计算机中预置其相应数字量，加以修正。如果倾斜度较大并用于测量斜井，则可计算载体磁场的水平分量：

$$\begin{aligned} \Delta H'_x &= \Delta H_x (\cos\alpha \cos^2\psi + \sin^2\psi) \\ &\quad + \Delta H_y (1 - \cos\alpha) \sin\psi \cos\psi \\ &\quad + \Delta H_z \sin\alpha \cos\psi \end{aligned} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} \Delta H'_y &= \Delta H_x (1 - \cos\alpha) \sin\psi \cos\psi \\ &\quad + \Delta H_y (\cos\alpha \sin^2\psi + \cos^2\psi) \\ &\quad + \Delta H_z \sin\alpha \sin\psi \end{aligned} \quad (17)$$

### 4.2 高温工作误差修正

测斜仪工作温度随井深而升高，倾斜度电位器和磁通门罗盘的高温工作误差都可列表进行温度修正。后者应分别修正各轴信号零偏和标度因数。

两轴磁通门探头和电路参数的温度系数较大，但由式(14)可知，只要它们的标度因数一致就不会引起  $\psi$  误差。为此若令两轴探头配同一电路，似乎可减少高温工作误差。但因系统时间常数较大，过渡过程较长，轮番测量两轴信号需经较长时间间隔，难以实现同步采样。摆式测斜仪沿凸凹不平的井壁上提时的摆动很

大,  $U_x$ 、 $U_y$  很不稳定, 不同步采集的数据计算  $\psi$  的误差很大, 当摆动周期接近轮番测量间隔时, 将导致  $\psi$  不可信。

### 4.3 摆锤不稳定误差

这种误差最大可达  $15^\circ$ <sup>[3]</sup>。在航空工程中常靠陀螺滤波稳定; 在测斜仪中则只能依靠计算机处理, 对于不便采用自适应滤波的单片机, 可采用另一专利文献<sup>[4]</sup>介绍的中值滤波、峰谷值寻址和峰谷值之间数据统计、平均的方法。

采用磁通门罗盘的摆式连续测斜仪的研制过程已表明, 其倾斜度精度可保证  $\leq 0.5^\circ$ , 倾斜方位精度可保证  $\leq 2^\circ$ 。

### 参考文献

- 1 张学孚. 中国专利 ZL 93233904. 2. 1993-05-11.
- 2 陆怡良. 中国航空科技文献. 1987.
- 3 陆怡良等. 海洋学报 1991. 3 13(2): 262-270.
- 4 张学孚. 中国专利 ZL 93233903. 4. 1993-05-11.

(上接 18 页)

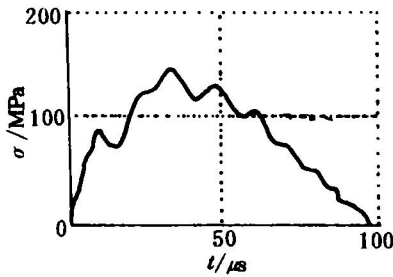


图 8 岩石实际受力随时间的变化

的变化很大, 而锥形冲头所对应的似钟形波加载, 应变率随时间的变化较为平坦。尽管用 SH-PB 法不可能实现恒应变率加载, 但这种加载波形的改变却明显地改善了加载条件, 应变率

的稳定程度明显优于其它形式的冲头加载, 如图 6 所示。因此在用 SHPB 法进行与冲击爆炸破岩相当加载率下的  $\sigma$ - $\epsilon$  关系全图测试时, 宜用图 1(b)所对应的这类锥形冲头冲击加载。

### 参考文献

- 1 Bertholf L D, Karnes C H. J Mech Phys Solids, 1975, 23: 1-9.
- 2 唐志平, 王礼立. 爆炸与冲击, 1986, 6(4): 320-327.
- 3 高磊(编). 见: 矿山岩体力学. 北京: 冶金工业出版社, 1979.
- 4 Gupta R B, Nilsson L. J of Sound and Vibration, 1978, 60(4): 553-56.
- 5 李夕兵等. 爆炸与冲击, 1993, 13(2): 125-130.