

采用反馈随动机构扩大霍尔传感器位移测量范围*

¹ 陈文彦 ² 洪兆祥

¹(厦门大学机电系 厦门 361005) ²(福建出入境检验检疫局 福州 351000)

摘要 霍尔器件可用于微位移测量,但通常只能测 1mm 左右的位移,并在实用时要设计复杂的磁路以保证在测量范围内梯度磁场为均匀的。本文采用反馈随动机构带动霍尔传感器跟踪被测体的位移,从而扩大了测量范围,且不需要在测量中保持均匀梯度磁场。

关键词 霍尔元件 位移测量 随动机构

Using Feedback Servo Mechanism to Scale-up the Measurement Range on the Shift by Hore Sensor

¹Chen Wenxiang ²Hong Zhaoxiang

¹(Dep. of Mechanical Electronic, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

²(Fujian Exit and Entry Inspect Quarantine Bureau, Fuzhou 351000)

Abstract Hore part may be used in measuring tiny shift, but in practice, a complicated magnetic circuit should be designed to assure the uniform gradient magnetic field in the measurement range, which is usually within 1mm. In this paper, a feedback servo mechanism is used to make the Hore sensor tracking the shift of the measured object. In this way the measurement range of shift is extended greatly. And the uniform gradient magnetic field during measurement is not demanded.

Key words Hore part Shift measurement Feedback servo mechanism

1 引 言

磁敏感器件在具有梯度的磁场中移动,其输出可反映出移动的情况。霍尔元件的输出与磁感应强度有线性关系^[1]:

$$V_H = S_H \times B \times I \quad (1)$$

式中 V_H ——霍尔元件的输出电压

S_H ——霍尔器件的乘积灵敏度

B ——磁感应强度

I ——流过霍尔元件的控制电流

当磁场为均匀梯度磁场且控制电流 I 恒定,输出 V_H 就正比于霍尔元件与产生磁场的磁钢之间的位移。因此可以用霍尔元件来测量位移量。它具有惯性小,响

应快,非接触等特点,很适应做现场动态测试。然而,能保持均匀梯度磁场的范围不大,霍尔元件只能小范围(通常仅约 1mm)的测量位移。且要保持测量区域内有均匀梯度的磁场,其磁场设计复杂,这在很大程度上限制了霍尔元件测量位移的应用。由于它惯性小,有非接触的缺点,若能在简单磁场的条件下利用霍尔元件测量位移,增加测量范围,将使它在各种位移与振动的测量中发挥作用,成为一种性能优良的位移传感器。采用反馈随动机构就可达到这一目的。

2 测量原理

图 2 表明了霍尔元件与磁钢之间相对位置变化时,霍尔元件的输出曲线。图中表明,霍尔元件与磁钢的相对位置由 1 点移动到 3 点时,输出电压 V_H 由最小值过渡到最大值,其中在 2 点经过零点。

* 本文于 1999 年 12 月收到。
福建省自然科学基金资助项目。

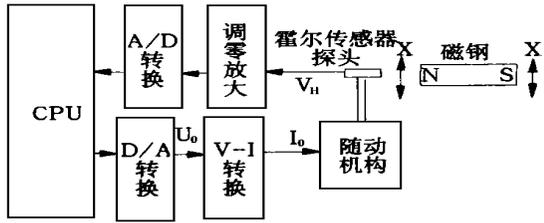


图1 反馈随动机构测量原理图

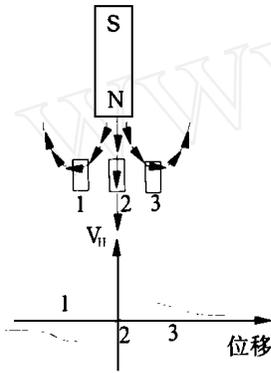


图2 霍尔元件输出特性

图1为霍尔元件与反馈随动机构配合测量位移的基本原理。以80C51单片机为核心组成随动控制电路。输入通道由调零放大级与A/D转换器组成。输出通道由D/A转换器与电压—电流转换器V—A组成。其中输入通道中的前置放大级采用贴片的4558运算放大器与霍尔元件一起组成霍尔传感器探头，装在随动机构的支架上，可随随动机构的移动而移动。测量原理为：静止时，把霍尔元件置于位置2，此时霍尔元件的输出为零。调整调零放大器使其输出为零。CPU在无输入的情况下亦无控制 I_0 的信号输出， $I_0 = 0$ ，机构处于自由平衡状态。当磁钢移动 X 时，与霍尔元件之间有相对位移，霍尔元件产生输出 V_H ，该输出经放大器放大，A/D转换并送CPU处理。根据处理结果，CPU送出推动随动机构运动的驱动电压数据，经D/A转换后得驱动电压 U_0 ，经V—A转换后得驱动电流 I_0 ， I_0 推动随动机构的运动，带动霍尔传感器探头跟随磁钢的移动而移动 X ，直到霍尔元件与磁钢的相对位置又回到位置2，使其输出重新为零。显然，此时霍尔元件的移动量 X 就等于磁钢移动量 X' 。电流 I_0 就可代表磁钢的位移量。同时，V—A转换过程是线性的，即 U_0 可代表电流 I_0 ，即 U_0 可代表磁钢的位移量。由于这种测量方法不是直接把霍尔元件的输出 V_H 作为测量结果，因此就避免使用式(1)，这就意味着在测量过程中并不需要保证在测量区域内保持均匀梯度的磁

场。从图中可看到，只要随动机构能及时带动霍尔元件回到平衡点，测量的精度就可保证。随动机构的动态范围实际上就是测量范围。

随动结构实际上是一种动圈型的位移结构，亦可称为力发生器，如图3所示。它主要由反馈线圈和永久磁铁组成。反馈线圈置于永久磁铁的磁场中并由四条弹簧固定住。霍尔元件则装在反馈线圈上面的支架上，

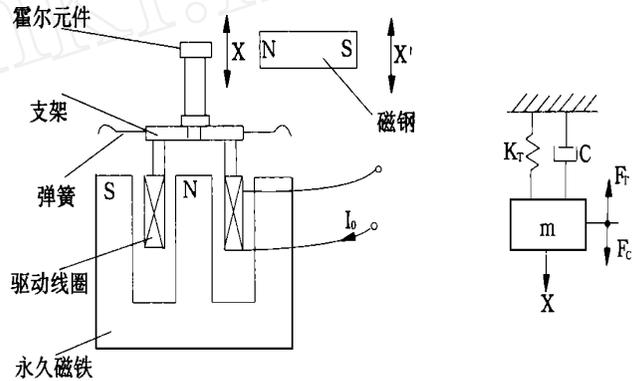


图3 随动结构示意图

当反馈线圈流过电流 I_0 时线圈就要产生电磁力 F_c ， F_c 使得反馈线圈在磁场中运动，并带动霍尔元件相应的移动 X 。而在位移 X 的作用下，弹簧产生一个与 F_c 反向的平衡力 F_T ，该平衡力 F_T 阻止反馈线圈进一步的运动。因此，反馈线圈及霍尔元件就停留在由驱动电流 I_0 产生的电磁力 F_c 和由弹簧产生的平衡力 F_T 所确定的平衡点上。显然，驱动电流 I_0 越大，位移 X 就越大。

为了分析位移 X 与驱动电流 I_0 之间的关系，把反馈线圈、支架等活动部分看成一个钢体，系统的运动可用一个二阶微分方程描述：

$$m \frac{d^2X}{dt^2} + C \frac{dX}{dt} + K_T X = F_c \tag{2}$$

式中 m ——运动部分的质量
 C ——等效阻尼系数
 K ——弹簧的弹性系数

令 $\omega_n = \sqrt{K_T/m}$ ， $\zeta = C/\sqrt{mK_T}$ ；并带入 F_c 与 I_0 的关系：

$$F_c = n\tau BD I_0 = K_c I_0 \tag{3}$$

式(2)可改写为：

$$\frac{d^2X}{dt^2} + 2\zeta\omega_n \frac{dX}{dt} + \omega_n^2 X = \frac{K_c}{K_T} \omega_n^2 I_0 \tag{4}$$

式中 ω_n ——随动机构的固有频率
 ζ ——阻尼比

在 X 变化频率远小于固有频率 ω_n 时，可忽略(4)式中的微分项并将其改写为：

$$X = \frac{K_C}{K_T} I_0 \quad (5)$$

式(5)表明驱动电流 I_0 与霍尔元件位移 X 之间呈线性关系。考虑 U_0 与 I_0 之间亦为线性关系:

$$I_0 = K U_0 \quad (6)$$

式中 K_T ——电压—电流转换器的传递函数
 带入(5)式, 可得最终结果:

$$X = \frac{K_C K}{K_T} U_0 = K U_0 \quad (7)$$

3 实验与结果

主要实验设备: ZCY—I 综合传感器实验仪、Tektronix TDS220 数字式示波器。实验设备的安装如图 4。将磁钢安装在 ZCY—I 综合传感器实验仪试验台应变梁末端, 霍尔元件位移测量系统如图所示装在磁钢旁。

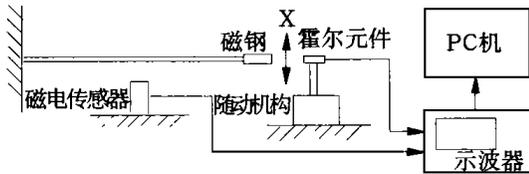


图 4 实验设备安装示意图

实验分为两部分:

3.1 静态实验

利用传感器实验仪配置的千分尺的螺杆推动磁钢移动, 磁钢的位移量 ΔX 由千分尺的刻度读出。该位移由霍尔元件位移测量系统测出, 其测量结果如表 1。

表 1 磁钢位移的测量结果

位移 ΔX (mm)	测量输出 ΔU_0 (mV)	位移 ΔX (mm)	测量输出 ΔU_0 (mV)
0.5	132	5.5	1459
1.0	258	6.0	1592
1.5	393	6.5	1711
2.0	526	7.0	1851
2.5	660	7.5	1979
3.0	789	8.0	2109
3.5	925	8.5	2243
4.0	1051	9.0	2375
4.5	1183	9.5	2502
5.0	1321	10	2637

图 5 是根据表 1 绘出的磁钢位移与霍尔元件位移测量系统测量结果的关系曲线。从图中可看到, 采用反馈随动机构后, 霍尔元件克服了线性不好的缺点, 在较大的范围内线性的进行位移测量。

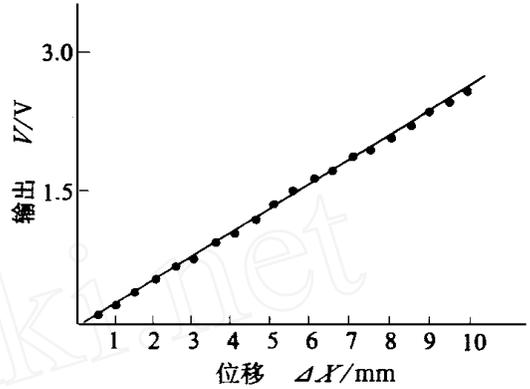
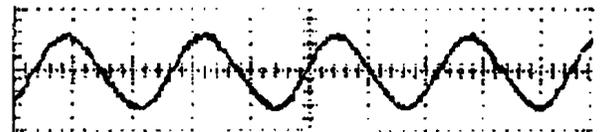


图 5

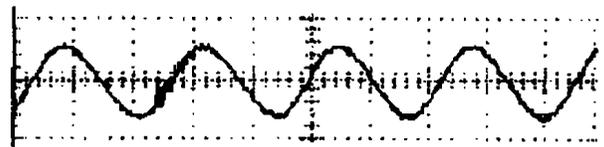
3.2 动态实验

当应变梁在激振器驱动下产生振动时, 磁钢在 X 方向有一个简谐位移, 位移幅值和频率由激振器确定。利用传感器实验仪配置的磁电传感器可测得磁钢的位移, 其输出用作参比信号。应变梁的振动位移 X 可由磁电传感器和霍尔元件位移测量系统分别测出并送示波器显示。

调整激振器使应变梁产生幅度 1cm、频率 16Hz 的简谐位移。磁电传感器和霍尔元件位移测量系统分别测出该位移, 示波器显示的结果如图 6。



磁电传感器测的信号



霍尔元件测的信号

图 6 测量结果

从实验结果可看到霍尔元件测量结果与参比信号很接近, 能比较准确的反映应变梁以正弦规律变化的位移。这表明, 霍尔元件采用随动结构伺服后, 完全可以在简单的磁场条件下大范围地进行位移测量。

参考文献

- 1 黄得星 磁敏感器件及其应用 北京: 科学出版社, 1987.
- 2 黄长艺 机械工程测试技术基础, 北京: 机械工业出版社, 1997.