

对磁感应强度、磁通等磁场参量敏感,通过磁电作用,把振动、位移、转速等被测量转换为电信号的器件或装置,称为磁电式传感器。磁电作用分为电磁感应和霍尔效应,相应地,磁电式传感器分为电磁感应式传感器和霍尔式传感器。

5.1 电磁感应式传感器

5.1.1 电磁感应式传感器的工作原理

电磁感应式传感器是利用电磁感应原理,将振动、位移、转速等被测量转换为电信号的一种传感器。

1. 电磁感应

因通过导体的磁通量变化而产生感应电动势的现象称为电磁感应。当导体在均匀稳定的磁场中沿着垂直于磁场方向作切割磁力线运动时,穿过导体的磁通量发生变化,导体内将产生感应电动势。

设一个线圈的匝数为 N ,穿过线圈的磁通为 ϕ ,根据法拉第电磁感应定律,线圈的感应电动势为

$$E = N \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \quad (5.1)$$

其中, $\Delta\phi/\Delta t$ 为磁通量的变化率。

基于电磁感应原理的传感器称为电磁感应式传感器。电磁感应式传感器分为恒磁场强度电磁感应式传感器与变磁场强度电磁感应式传感器两种。

1) 恒磁场强度电磁感应式传感器

恒磁场强度电磁感应式传感器的结构如图 5.1 所示。线圈所在磁场的磁感应强度 B 为恒定值。当线圈与磁场产生相对运动时,穿过线圈的磁通量将发生变化,从而使线圈产生感应电动势。

根据运动部件的不同,恒磁场强度电磁感应式传感器分为动铁式和动圈式两种。动铁式传感器如图 5.1(a)所示。永久磁铁固定在传感器壳体上,磁铁随着传感器壳体一起运动,因此,运动部件是磁铁;线圈与金属骨架用软弹簧支撑,作为惯性部件,在测量过程中,

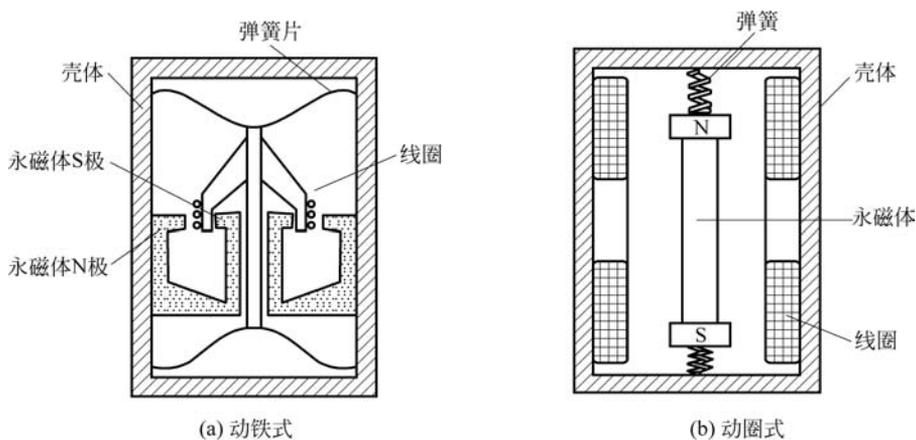


图 5.1 恒磁场强度电磁感应式传感器的结构

由于惯性而保持静止。动圈式传感器如图 5.1(b)所示。线圈与金属骨架固定传感器壳体上,线圈随着传感器壳体一起运动,因此,运动部件是线圈;永久磁铁用软弹簧支撑,作为惯性部件,在测量过程中,由于惯性而保持静止。

动铁式传感器和动圈式传感器的工作原理完全相同。将传感器与被测振动物体固定在一起,当壳体随被测物体一起振动时,由于弹簧较软,而惯性部件质量相对较大,惯性较大,当振动频率远大于传感器的固有频率时,运动部件来不及随振动体一起振动,几乎处于静止状态,这样,永久磁铁与线圈之间就产生相对运动,线圈切割磁力线,从而产生感应电动势。

设 B 是线圈所在磁场的磁感应强度, L 是每匝线圈的平均长度,线圈相对于磁场运动的线速度为 v ,根据式(5.1)计算得

$$E = NBLv \quad (5.2)$$

式(5.2)表明,如果线圈的结构参数 N 、 B 、 L 等均为确定值,那么,感应电动势 E 就只与线圈相对于磁场的运动速度 v 有关。因此,恒磁场强度电磁感应式传感器可以用于测量与运动速度相关的物理量,例如,物体的线位移、线速度、线加速度等。

2) 变磁场强度电磁感应式传感器

变磁场强度电磁感应式传感器,通过改变磁路中气隙的大小来改变磁路的磁阻,从而改变磁路的磁场强度,进而改变磁路的磁通量。变磁场强度电磁感应式传感器主要用于测量旋转物体的角速度。

变磁场强度电磁感应式传感器的结构如图 5.2 所示。变磁场强度电磁感应式传感器包括开磁路和闭磁路两种。

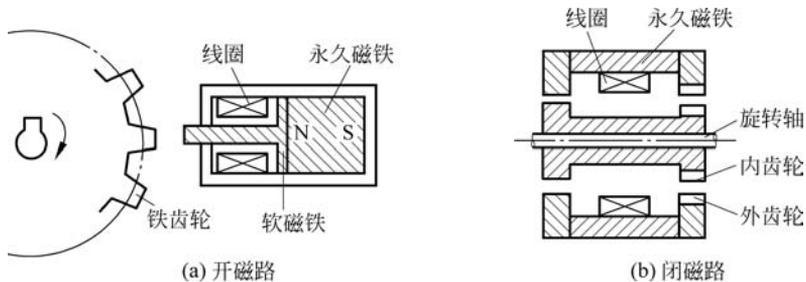


图 5.2 变磁场强度电磁式传感器的结构

开磁路变磁通电磁感应式传感器如图 5.2(a)所示,线圈、永久磁铁静止不动,测量齿轮安装在被测旋转体上,随被测旋转体一起转动。旋转体每转动一个齿,齿的凹凸都引起磁路磁阻变化一次,磁通量随之变化一次,线圈中的感应电动势也变化一次。感应电动势的变化频率 f 等于被测体的转速 r 与测量齿轮上齿数 n 的乘积,即

$$f = rn \quad (5.3)$$

在测量时,通过数字信号处理,把感应电动势转换为数字脉冲,然后对数字脉冲进行采样。设在时间 t 内采样的脉冲数为 C ,则

$$f = \frac{C}{t} \quad (5.4)$$

结合式(5.3)和式(5.4),得

$$rn = \frac{C}{t} \quad (5.5)$$

从而得到被测体的转速为

$$r = \frac{C}{tn} \quad (5.6)$$

开磁路变磁场强度电磁感应式传感器的结构简单,但是,传感器的输出信号较弱。另外,在高速旋转的轴上加装齿轮比较危险,所以,不宜进行高转速的测量。

闭磁路变磁场强度电磁感应式传感器如图 5.2(b)所示,由内齿轮、外齿轮、永久磁铁和线圈组成,内外齿轮的齿数相同。内齿轮连接到被测转轴上,外齿轮不动,内齿轮随被测轴转动,内外齿轮的相对转动使气隙、磁阻、磁场强度产生周期性的变化,从而引起磁路中磁通量的变化,使线圈内产生周期性变化的感应电动势。

闭磁路变磁场强度电磁感应式传感器与开磁路变磁场强度电磁感应式传感器的工作原理完全相同,不再赘述。

2. 电磁感应式传感器的基本特性

当电磁感应式传感器接入测量电路时,其等效电路如图 5.3 所示。图中, R 为传感器线圈的等效电阻, R_f 为测量电路的输入电阻。

对于恒磁场强度电磁感应式传感器,线圈的感应电动势由式(5.2)表示。由图 5.3 可知,传感器的输出电流为

$$I_o = \frac{E}{R + R_f} = \frac{NBLv}{R + R_f} \quad (5.7)$$

传感器的输出电压为

$$U_o = I_o R_f = \frac{NBLvR_f}{R + R_f} \quad (5.8)$$

传感器输出电流灵敏度定义为

$$S_I = \frac{I_o}{v} = \frac{NBL}{R + R_f} \quad (5.9)$$

传感器输出电压的灵敏度定义为

$$S_U = \frac{U_o}{v} = \frac{NBLR_f}{R + R_f} \quad (5.10)$$

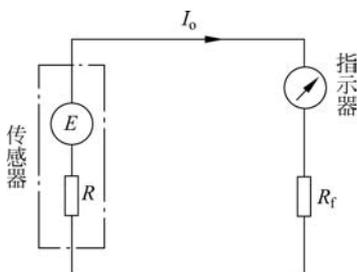


图 5.3 电磁感应式传感器的等效电路

从式(5.9)和式(5.10)可以看出,传感器输出电流和输出电压的灵敏度与磁感应强度 B 成正比,因此,在设计恒磁场强度电磁感应式传感器时,要选用磁感应强度大的永磁材料。

从式(5.9)和式(5.10)还可以看出,传感器输出电流和输出电压的灵敏度与线圈的长度 NL 成正比,因此,在设计恒磁通电磁感应式传感器时,可以考虑增加线圈的长度。但是,增加线圈的长度是有约束的,必须考虑下面三个问题。

(1) 传感器线圈电阻与指示器电阻的匹配问题。电磁感应式传感器相当于一个电压源,为了使指示器从传感器获得最大功率,必须使传感器线圈的电阻等于指示器的电阻,而过分增加线圈的长度会导致传感器线圈电阻与指示器电阻不匹配。

(2) 传感器线圈的发热问题。传感器线圈产生感应电动势,接上负载后,线圈中有电流流过而发热,而过分增加线圈的长度会导致线圈过热。

(3) 传感器的尺寸问题。随着现代电子技术的进步,几乎所有电子器件的几何尺寸都在向微型化方向发展,与之相适应,传感器的尺寸也不能太大,而增加线圈的长度会导致传感器的尺寸增大。

5.1.2 电磁感应式传感器的测量电路

电磁感应式传感器能够直接输出感应电动势,而且灵敏度较高,因此,不需要高增益放大器。它不需要辅助电源就能把被测对象的机械量转换为易于测量的电信号,属于有源传感器。电磁感应式传感器的测量电路示意图如图 5.3 所示。

电磁感应式传感器电路简单,性能稳定,输出功率大,输出阻抗小,具有一定的工作带宽(10~1000Hz),只能用于测量动态量,可以直接测量振动物体的线速度,或测量旋转体的角速度。如果在测量电路中接入积分电路,就可以测量位移。如果在测量电路中接入微分电路,就可以测量加速度。

5.1.3 电磁感应式传感器应用举例

1. 振动速度测量

图 5.4 是动铁式恒磁通电磁感应式振动速度传感器结构示意图。外壳由圆形钢制成,

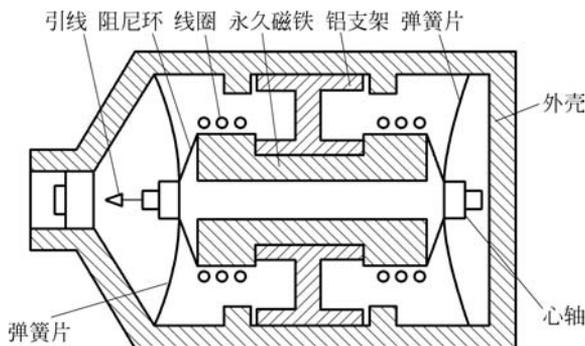


图 5.4 振动速度传感器结构示意图

内部用铝支架把圆柱形永久磁铁与外壳固定在一起,永久磁铁中间有一个小孔,穿过小孔的心轴支撑起线圈和阻尼环,在心轴两端,用圆形薄弹簧片把心轴架空,并与外壳相连。

测量时,传感器与被测物体刚性相连,当被测物体振动时,传感器外壳和永久磁铁随之振动,而架空的心轴、线圈、阻尼环因惯性保持不动。这样,磁路气隙中的线圈切割磁力线,产生正比于振动速度的感应电动势,线圈的输出通过引线送到测量电路。

该传感器直接用于测量物体的振动速度。如果在测量电路中接入积分电路,就可以测量位移。如果在测量电路中接入微分电路,就可以测量加速度。

电磁感应式振动速度传感器的种类和型号比较多,市场常见的型号有 CD-1 型、CD-6 型、ZI-A 型、CD-21SZ-6XT-1 型等。CD-21SZ-6XT-1 型振动速度传感器如图 5.5 所示。

2. 电磁流量计

基于电磁感应式传感器,可以构造电磁流量计,用于测量具有一定电导率的流体的流量。电磁流量计的工作原理示意图如图 5.6 所示。它由匀强磁场、非导磁管道与置于管道截面的电极构成,要求磁场方向、管道轴线和电极连线三者相互垂直。



图 5.5 CD-21SZ-6XT-1 型振动速度传感器

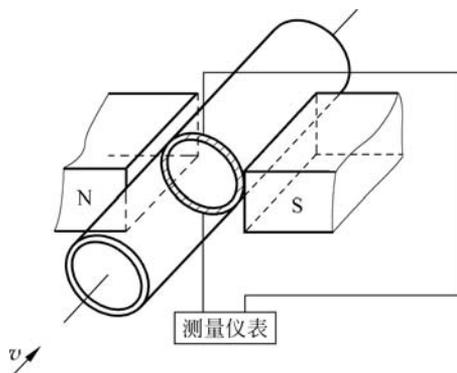


图 5.6 电磁流量计的工作原理示意图

当被测导电液体流过管道时,切割磁力线,产生感应电动势,在磁场方向、管道轴线都垂直的方向上产生感应电动势 E ,其值为

$$E = BDv \quad (5.11)$$

其中, B 为磁感应强度; D 为管道内直径; v 为流体的平均速度。

根据式(5.11),可以求出流体的平均速度 v ,从而计算出流体的平均流量为

$$q = \frac{\pi D^2}{4} v = \frac{\pi DE}{4B} = KE \quad (5.12)$$

其中, $K = \frac{\pi D}{4B}$,对于一个确定的电磁流量计而言, K 为定值,称为仪表常数。

电磁流量计的感应电动势与被测流体的密度、温度、黏度、电导率等无关,因此,用途非常广泛。它可以用于测量酸、碱、盐等腐蚀性介质的流速,或测量有悬浮颗粒的浆流的流速。但是,电磁流量计要求被测流体的电导率在 $0.002 \sim 0.005 \text{ S/m}$ 范围内,因此,它不能用于测量有机溶剂、石油制品、气体、蒸汽和含有较大气泡液体的流速。

图 5.7 所示为一款一体式电磁流量计,由传感器和转换器两部分构成。它是基于法拉

第电磁感应定律工作的,用来测量电导率大于 0.001S/m 导电液体的平均流量。

除了可以测量一般导电液体的平均流量外,还可以测量强酸、强碱等强腐蚀液体和泥浆、矿浆、纸浆等有悬浮颗粒液体的平均流量。它广泛应用于石油、化工、冶金、轻纺、造纸、环保、食品等工业部门,以及市政管理、水利建设、河流疏浚等领域的流量计量。

3. 扭矩测量

测量转轴的扭矩时,需要两个同型号的电流感应式传感器,并把它们分别固定在被测轴的两端。图 5.8 是电流感应式扭矩传感器结构示意图。在安装时,传感器的线圈、磁铁保持不动,测量齿轮安装在被测旋转体上,随被测体一起转动,并且使两个传感器的齿形圆盘错位一定的角度。

当转轴以一定的角速度旋转时,如果被测轴无扭矩,扭转角为零,那么,两个传感器输出相位差为 90° 的两个近似正弦波的感应电动势,参见图 5.8 中的 u_1 、 u_2 波形。如果被测轴有扭矩,转轴两端产生扭转角 β ,此时,两个传感器输出的感应电动势将产生附加相位差 β_0 。

设传感器测量齿轮的齿数为 n ,那么,当被测轴转动一周时,传感器输出的感应电动势将变化 n 个周期,即传感器输出感应电动势的相位变化速率是被测轴旋转角变化速率的 n 倍。因此,两个传感器输出的感应电动势相位差 β_0 与扭转角 β 的关系为

$$\beta_0 = n\beta \quad (5.13)$$

根据式(5.13),可以求出扭转角 β 。经过测量电路,把相位差转换为时间差,就可以计算出转轴的扭矩。

图 5.9 是 TL-303 型扭矩传感器在直线电机轨道交通模拟实验装置中的成功应用。

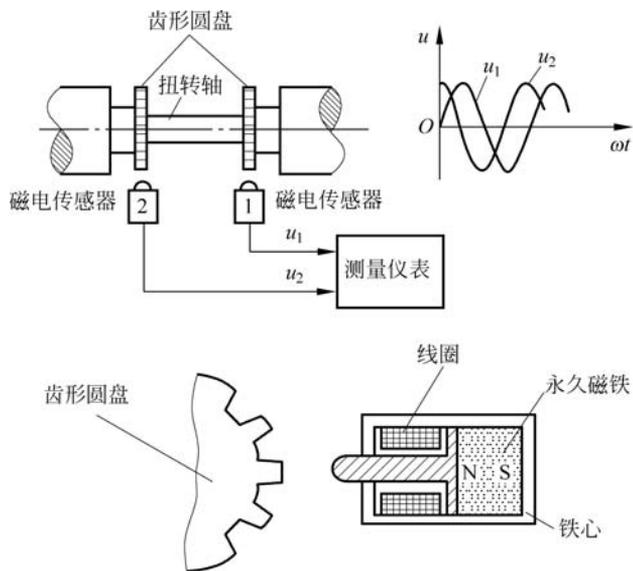


图 5.8 电流感应式扭矩传感器结构示意图



图 5.7 一体式电磁流量计

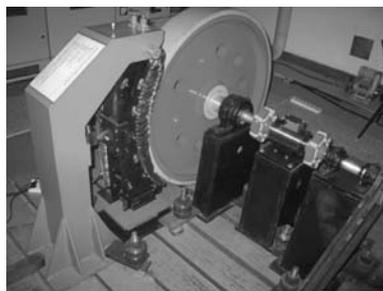


图 5.9 TL-303 型扭矩传感器的应用

5.2 霍尔式传感器

5.2.1 霍尔式传感器的工作原理

1. 霍尔效应

霍尔式传感器的物理基础是霍尔效应。如图 5.10 所示,在一块长度为 l 、宽度为 b 、厚度为 d 的长方体导电板上,左、右、前、后侧面都安装上电极。在长度方向上通入电流 I ,在厚度方向施加磁感应强度为 B 的磁场。

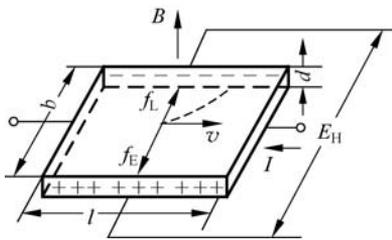


图 5.10 霍尔效应示意图

导电板中的自由电子沿电流反方向做定向移动,平均速度为 v 。在磁场的作用下,电子受到洛伦兹力的作用。每个电子受到洛伦兹力 f_L 的大小为

$$f_L = evB \quad (5.14)$$

其中, e 是一个电子的电荷量, $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{C}$ 。根据左手定则,可以判断出洛伦兹力 f_L 的方向为由外向里。

电子除了做定向移动外,还在洛伦兹力的作用下向里漂移,结果在导电板的里表面积累了电子,在外表面积累了正电荷,这样,导电板中就形成了附加电场 E_H ,称为霍尔电场。

在霍尔电场的作用下,电子将受到一个与洛伦兹力方向相反的电场力 $f_E = eE_H$ 的作用,这个力阻止电荷的继续积聚。当导电板中电子积累达到动态平衡时,电荷不再增加,电子所受的洛伦兹力和电场力大小相等,即

$$eE_H = evB \quad (5.15)$$

化简得

$$E_H = vB \quad (5.16)$$

这时,在导电板的外表面与里表面就产生电势差,大小为

$$U_H = E_H b \quad (5.17)$$

把式(5.16)代入式(5.17),得

$$U_H = vBb \quad (5.18)$$

当载流导体或半导体处在与电流垂直的磁场时,在其与电流方向、磁场方向都垂直的两端将产生电位差,这一现象称为霍尔效应,霍尔效应产生的电动势称为霍尔电动势,长方体导电板称为霍尔片。霍尔效应是运动电荷受磁场中洛伦兹力作用的结果,基于霍尔效应的传感器称为霍尔式传感器。

由式(5.18)可见,霍尔电动势 U_H 与磁感应强度 B 呈线性关系,因此,通过测量 U_H 可以得到 B 。这就是霍尔传感器的工作原理。

1879年,美国物理学家霍尔(Edwin H. Hall, 1855—1938)在研究金属导电机理时发现了霍尔效应,但是,由于金属材料的霍尔效应太弱,霍尔效应没有得到应用。随着半导体技

术、材料科学和电子技术的发展,使用半导体材料制作的霍尔片具有明显的霍尔效应,并且出现了高强度的恒定磁体以及工作于小电压输出的信号调节电路,霍尔式传感器迅速发展起来了。霍尔式传感器用于测量电磁、电力、加速度、振动等物理量,应用非常广泛。例如,汽车上就使用了多种霍尔式传感器。

2. 霍尔灵敏度

设导电板中自由电子浓度为 n , 电子定向运动的平均速度为 v , 则电流的大小为

$$I = nevbd \quad (5.19)$$

霍尔片在单位控制电流和单位磁感应强度时产生的霍尔电动势,称为霍尔灵敏度,记为 K_H , 即

$$K_H = \frac{U_H}{IB} \quad (5.20)$$

把式(5.18)、式(5.19)代入式(5.20),得

$$K_H = \frac{1}{ned} \quad (5.21)$$

从式(5.21)可见,霍尔灵敏度与霍尔片的厚度 d 成反比,因此,常把霍尔片做成薄片状,其厚度一般为 $0.1 \sim 0.2\text{mm}$ 。另外,霍尔灵敏度还与自由电子浓度 n 成反比。因为金属的自由电子浓度过高,所以金属不适合用于制作霍尔片。

在使用霍尔传感器进行测量时,常用恒压源提供激励电流,电源电压是一个常量, $U = EI$ 。设霍尔片材料的迁移率为 μ , 则电子在电场中的平均迁移速度为 $v = \mu E$, 从而有

$$v = \frac{\mu U}{l} \quad (5.22)$$

结合式(5.19)、式(5.20)、式(5.22),得

$$K_H = \frac{\mu b U}{l I} \quad (5.23)$$

从式(5.123)可见,霍尔灵敏度与载流子的迁移率 μ 成正比。因为电子迁移率远大于空穴,所以,常用 N 型半导体材料制作霍尔片。

3. 霍尔元件

霍尔元件的结构如图 5.11 所示,由霍尔片、四根引线 and 壳体组成。在霍尔片长度方向的两侧焊有两根控制电流引线“输入 1”和“输入 2”,它们在薄片上的焊点称为激励电极。在

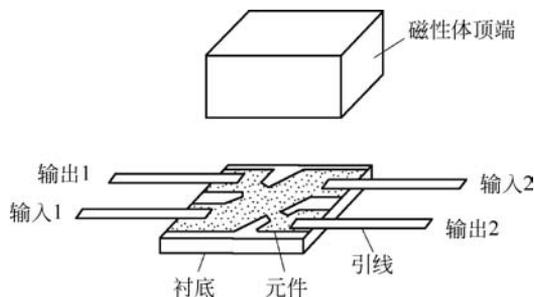


图 5.11 霍尔元件的结构

霍尔片宽度方向的两侧焊有两根输出引线“输出 1”和“输出 2”，它们在薄片上的焊点称为霍尔电极。霍尔元件的壳体用非导磁金属、陶瓷或环氧树脂封装而成。

霍尔元件的外形和符号如图 5.12 所示，其中，a、b 是激励电极，c、d 是霍尔电极。

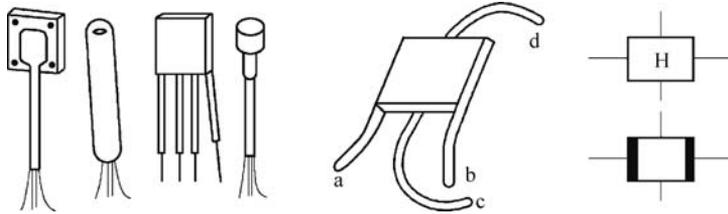


图 5.12 霍尔元件的外形和符号

4. 霍尔元件的基本特性

1) 输出特性

某些霍尔元件在恒流源的驱动下，其霍尔电动势 U_H 与磁感应强度 B 呈线性关系，输出为模拟量，如图 5.13(a) 所示。具有线性特性的霍尔元件称为霍尔线性器件。磁通计中的传感器大多采用具有线性特性的霍尔元件。

有些霍尔元件在恒压源的驱动下，其霍尔电动势 U_H 在一定区域内随 B 的增加而迅速增加，如图 5.13(b) 所示。通过数据处理，可以使输出转换为数字量，使其具有开关特性，相应的霍尔元件称为霍尔开关器件。开关特性随磁体本身材料及形状的不同而不同，低磁场时，磁通饱和。对直流无刷电动机的控制，一般采用霍尔开关器件。

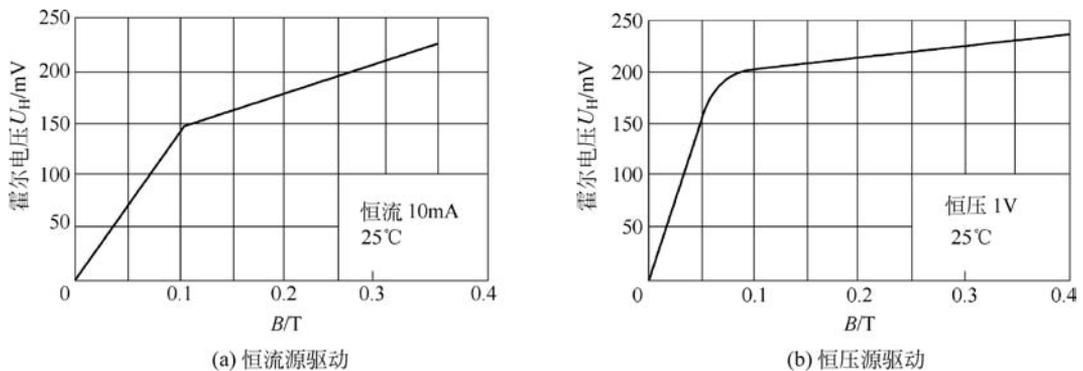


图 5.13 霍尔元件的输出特性

2) 负载特性

前面叙述的霍尔电动势的线性特性是在霍尔电极之间为开路或测量仪表阻抗为无穷大的情况下得到的。当霍尔电极之间接有负载时，就有电流流过内阻，从而产生压降，因此，实际的霍尔电动势将比理论值略小。

3) 不等位电动势

式(5.20)可以改写为

$$U_H = K_H IB \quad (5.24)$$

由式(5.24)可见，当未加磁场时，霍尔电动势 U_H 应该为 0。但是，在实际使用中，由于

霍尔电极安装位置不对称或不在同一个等电位上、半导体材料不均匀造成电阻率不均匀、霍尔片几何尺寸不对称或者激励电极接触不良造成激励电流分配不均匀等原因,霍尔元件存在一定的输出电压,称为不等位电动势。

4) 温度特性

半导体材料受温度影响比较大,因此,用半导体材料制成的霍尔元件也会受温度的影响。温度将影响霍尔元件的霍尔电动势、霍尔灵敏度、输入阻抗和输出阻抗等参数。

5. 霍尔元件的误差补偿

1) 不等位电动势的补偿

不等位电动势与霍尔电动势具有相同的数量级,有时甚至超过霍尔电动势,因此,必须采取措施进行消除。不等位电动势的补偿电路如图 5.14 所示。

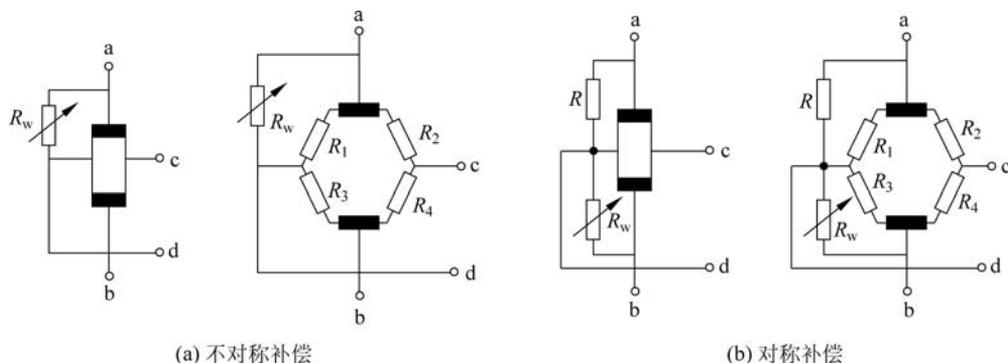


图 5.14 不等位电动势的补偿电路

霍尔元件可以等效为一个四臂电桥,当存在不等位电动势时,说明电桥不平衡,四个电阻值不相等。为了使电桥平衡,可以采用两种补偿方法。第一种方法是在电桥阻值较大的桥臂上并联电阻,称为不对称补偿,这种方法比较简单。第二种方法是在电桥两个桥臂上同时并联电阻,称为对称补偿,补偿后的温度稳定性较好。

采用补偿电阻的方法来消除霍尔元件的不等位电势,补偿电路比较简单,但是,这种方法会影响霍尔元件的霍尔灵敏度和精度。

2) 温度误差补偿

温度变化会引起霍尔元件输入电阻的变化,从而引起激励电流的变化,结果导致霍尔电动势的变化。如果采用恒流源作为激励电流,可以减小温度误差。但是,温度变化也会引起霍尔灵敏度的变化。当温度发生变化时,霍尔灵敏度与温度变化的关系为

$$K_H = K_{H0}(1 + \gamma \cdot \Delta T) \quad (5.25)$$

其中, K_{H0} 为温度 T_0 时的灵敏度; $\Delta T = T - T_0$ 为温度的增量; γ 为霍尔灵敏度的温度系数。此时,霍尔电压将变为

$$U_H = K_{H0}(1 + \gamma \cdot \Delta T)IB \quad (5.26)$$

当温度发生变化时,磁场强度不随温度的变化而变化。因此,为了保持 U_H 不变,可以适当减小激励电流 I 的值。为此,在霍尔元件的输入回路中并联一个电阻 R_p ,起到分流的作用。温度误差的补偿电路如图 5.15 所示。

补偿电阻值的计算式为

$$R_p = \frac{\beta R_{IN}}{\alpha} \quad (5.27)$$

其中, α 是 U_H 的温度系数; β 是电阻温度系数; R_{IN} 是霍尔元件的输入电阻。对于一种型号的霍尔元件, 可以通过技术手册, 从其参数表中查出 α 、 β 和 R_{IN} 的值。

5.2.2 霍尔式传感器的测量电路

采用恒压源驱动的霍尔式传感器的测量电路如图 5.16 所示。电源 U 提供激励电流, 可变电阻 R_p 用于调节激励电流 I 的大小, R_L 为输出霍尔电动势 U_H 的负载电阻, 用于表示显示仪、记录器和放大器等的输入阻抗。

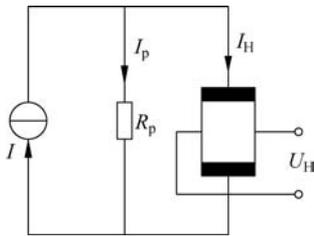


图 5.15 温度误差的补偿电路

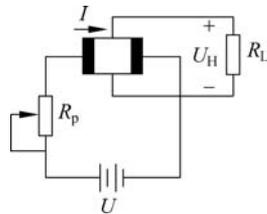


图 5.16 霍尔式传感器的测量电路

5.2.3 霍尔式传感器应用举例

霍尔式传感器结构简单、工艺成熟、寿命长、体积小、线性度好、频带宽, 因此得到了广泛的应用。霍尔式传感器可以用于测量电功率、电能、大电流、微气隙中的磁场, 也可以用于制成磁头、罗盘, 还可以用于制作接近开关、霍尔电键等。经过转换, 霍尔式传感器可以测量微位移、转速、加速度、振动、压力、流量、液位等物理量。

1. 位移测量

霍尔式位移传感器的结构如图 5.17 所示, 两个磁场强度相等的磁铁, 相同极性相对放置, 在两个磁铁中间的空隙放置一个霍尔元件。

当霍尔元件处于正中间时, 霍尔元件受到大小相等、方向相反的磁场的作用, 因此, 磁感应强度 $B=0$, 从而, 霍尔电动势 $U_H=0$ 。当霍尔元件沿着 x 轴方向移动 Δx 时, 磁感应强度 $B \neq 0$, 此时, 霍尔电动势为

$$U_H = K_H IB = K \Delta x \quad (5.28)$$

其中, K 为霍尔式位移传感器的输出灵敏度。

由式(5.28)可见, 霍尔电动势与位移 Δx 呈线性关系, 并且霍尔电动势的极性反映了位移的方向。

霍尔式位移传感器可用来测量 $1 \sim 2\text{mm}$ 的微小位移, 分辨率达到 $1\mu\text{m}$, 输出灵敏度可

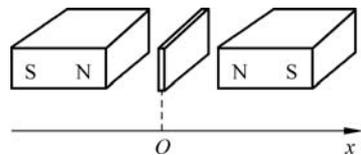


图 5.17 霍尔式位移传感器的结构

达 30mV/mm 以上。

2. 气压测量

霍尔式气压传感器的结构如图 5.18 所示,波登管一端固定,另一端是自由端,安装着霍尔元件。其中,波登管是法国工程师尤金·波登(Eugène Bourdon)发明的一种弹簧管,在这里用作弹性元件。

霍尔式气压传感器利用弹性元件把被测气压转换为位移量,当弹性元件产生位移时,带动霍尔元件,使它在磁场中移动,从而产生霍尔电动势。霍尔电动势与位移成正比,而位移与气压成正比,因此,霍尔电动势与气压成正比。

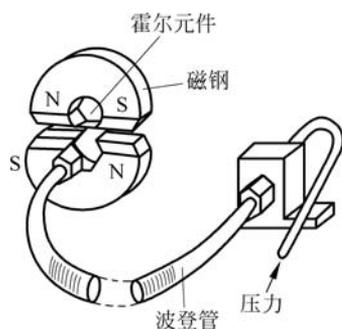


图 5.18 霍尔式气压传感器的结构

3. 转速测量

利用霍尔传感器可以测量转轴的转速。如图 5.19 所示,将永磁体固定在被测轴的一端,霍尔元件置于磁铁的气隙中,当轴转动时,霍尔元件输出的电压就包含有转速的信息,霍尔元件输出电压经测量电路处理,便可得到转轴的转速。

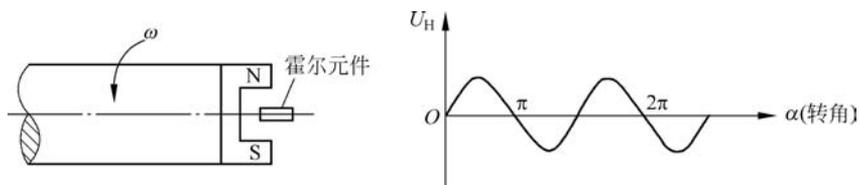


图 5.19 永磁体安装在轴端的转速测量方法

把永磁体固定在被测轴的一侧,也可以测量转轴的转速,如图 5.20 所示。

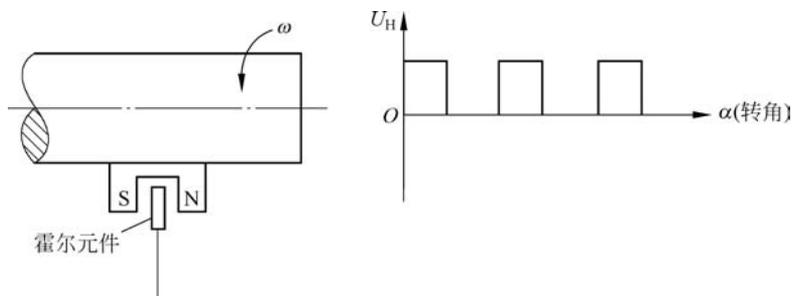


图 5.20 永磁体安装在轴侧的转速测量方法

4. 霍尔开关

霍尔开关是基于霍尔效应,利用集成封装工艺制作而成的,它可方便地把磁输入信号转换为电信号,操作容易,可靠性高,符合工业应用场合的要求。

霍尔开关的输入端是以磁感应强度 B 来控制的,当 B 达到一定的值(如 B_1)时,内部的触发器翻转,输出电平状态也随之翻转。输出端一般有常开型、常闭型、锁存型(双极性)、双

信号输出等。

霍尔开关采用环氧树脂进行封装,能够在各类恶劣环境下工作,应用于接近开关、压力开关、里程表等。作为一种新型的电器配件,霍尔开关具有无触电、低功耗、使用寿命长、响应频率高等特点。图 5.21 是 HK5002C 霍尔式接近开关,用于检测是否有导磁物体接近。



图 5.21 HK5002C 霍尔式接近开关

当有导磁物体接近这个开关时,霍尔元件所处磁场的磁感应强度 B 增大,当 B 达到设定的阈值时,输出电平状态翻转。背后有工作指示灯,平时处于熄灭状态,当检测到导磁物体时,红色 LED 点亮,非常直观。它的直径为 12mm,长度约为 30mm,引线长度为 100mm。可以用埋入方式进行安装,只要在设备外壳上打一个 12mm 的圆孔,就能轻松固定,使用非常方便。

习题 5

1. 填空。

(1) 磁电作用分为电磁感应和_____,相应地,磁电式传感器分为电磁感应式传感器和_____。

(2) 电磁感应式传感器分为_____电磁感应式传感器与_____电磁感应式传感器两种。

(3) 根据运动部件的不同,恒磁场强度电磁感应式传感器分为_____和_____两种。

(4) 变磁场强度电磁感应式传感器,通过改变磁路中气隙的大小来改变磁路的_____,从而改变磁路的_____,进而改变磁路的_____。

(5) 随着半导体技术、材料科学和电子技术的发展,使用_____制作的霍尔片具有明显的霍尔效应,并且出现了高强度的_____以及工作于小电压输出的_____,霍尔式传感器迅速发展起来了。

(6) 某些霍尔元件在恒流源的驱动下,其霍尔电动势 U_H 与磁感应强度 B 呈线性关系,输出为模拟量。具有线性特性的霍尔元件称为_____。磁通计中的传感器大多采用具有线性特性的_____。

(7) 有些霍尔元件在恒压源的驱动下,其霍尔电动势 U_H 在一定区域内随 B 的增加迅速增加。通过数据处理,可以使输出转换为_____,使其具有开关特性,相应的霍尔元件称为_____。开关特性随磁体本身材料及形状的不同而不同,低磁场时,磁通饱和。对_____的控制,一般采用霍尔开关器件。

(8) 半导体材料受温度影响比较大,因此,用半导体材料制成的霍尔元件也会受温度的影响。温度将影响霍尔元件的_____,_____、_____和输出阻抗等参数。

2. 名词解释。

(1) 磁电式传感器

- (2) 电磁感应
 - (3) 电磁感应式传感器
 - (4) 霍尔效应
 - (5) 霍尔片
 - (6) 霍尔灵敏度
 - (7) 霍尔式传感器
 - (8) 霍尔元件
3. 说明恒磁场强度电磁感应式传感器的工作原理。
 4. 说明变磁场强度电磁感应式传感器的工作原理。
 5. 对于恒磁场强度电磁感应式传感器,从理论上来说,增加线圈的长度可以提高传感器输出电流和输出电压的灵敏度。但是,在实际应用中,不能无限制地增加线圈的长度。为什么?
 6. 参考图 5.6,用式说明电磁流量计的工作原理。
 7. 参考图 5.8,用式说明电磁感应式扭矩传感器的工作原理。
 8. 霍尔电动势 U_H 与哪些因素有关? 利用霍尔效应能够对哪些参数进行测量?
 9. 为什么常用半导体材料制作霍尔片而不用金属材料?
 10. 说明霍尔元件的温度特性。如何进行补偿?
 11. 霍尔元件的长度 $l=1.0\text{mm}$,宽度 $b=3.5\text{mm}$,厚度 $d=0.1\text{mm}$,沿长度方向通入控制电流 $I=1.0\text{mA}$,在厚度方向施加磁感应强度 $B=0.3\text{T}$ 的均匀磁场。设霍尔传感器的灵敏度为 $22\text{V}/(\text{A}\cdot\text{T})$,试求:
 - (1) 霍尔传感器输出的霍尔电动势 U_H 。
 - (2) 霍尔元件内部载流子的浓度。
 12. 把永磁体固定在被测轴的一侧,也可以测量转轴的转速。参考图 5.20,说明该测量方法的工作原理。