

## 仅供参考

### 习题 1

#### 1-1 衡量传感器静态特性的主要指标有哪些？说说它们的含义。

答：

- 1、线性度：表征传感器输出-输入校准曲线与所选定的拟合直线之间的吻合(或偏离)程度的指标。
- 2、灵敏度：传感器输出量增量与被测输入量增量之比。
- 3、分辨力：传感器在规定测量范围内所能检测出的被测输入量的最小变化量。
- 4、回差：反映传感器在正(输入量增大)反(输入量减小)行程过程中对应于同一输入量，输出量曲线的不重合程度指标。
- 5、重复性：衡量传感器在同一工作条件下，输入量按同一方向作全程连续多次变动时，所得特性曲线间一致程度的指标。
- 6、阈值：是能使传感器输出端产生可测变化量的最小被测输入量值，即零位附近的分辨力。
- 7、稳定性：传感器在相当长时间内仍保持其性能的能力。
- 8、漂移：指在一定时间间隔内，传感器输出量存在着与被测输入量无关的、不需要的变化。
- 9、静态误差(精度)：指传感器在满量程内任一点输出值相对其理论值的可能偏离(逼近)程度。它表示采用该传感器进行静态测量时所得数值的不确定度。

#### 1-2 计算传感器线性度的方法有哪几种？差别何在？

答：

- 1、理论直线法：以传感器的理论特性线作为拟合直线，与实际测试值无关。
- 2、端点直线法：以传感器校准曲线两端点间的连线作为拟合直线。两端误差为零，中间大。
- 3、“最佳直线”法：以“最佳直线”作为拟合直线，该直线能保证传感器正行程校准曲线对它的正负偏差相等并且最小。这种方法的拟合精度最高，但只可用图解法或计算法得。
- 4、最小二乘法：按最小二乘原理求取拟合直线，该直线能保证传感器校准数

据的残差平方和最小但拟合出的直线与标定曲线的最大偏差绝对值不一定最小，最大正负偏差的绝对值也不一定相等。

#### 1-4 怎样评价传感器的综合静态特性和动态特性？？！

答：传感器的综合静态特性和动态特性的评价主要从它的线性度、回差、重复性、灵敏度、分辨力，频率响应特性和阶跃响应特性指标进行。

#### 1-5 为什么要对传感器进行标定和校准？举例说明传感器静态标定和动态标定的方法（能说出一般标定的基本方法则更好！）。

答：因为新研制或生产的传感器需对其技术性能进行全面的检定；经过一段时间储存或使用的传感器也需对其性能进行复测。

**静态标定：**静态标定主要用于检测、测试传感器(或传感器系统)的静态特性指标，如静态灵敏度、非线性、回差、重复性等。进行静态标定首先要建立静态标定系统。

**基本方法：**利用标准仪器产生已知非电量(如标准力、压力、位移)作为输入量，输入到待标定的传感器中，然后将传感器输出量与输入标准量比较，获得一系列标准数据或曲线。有时输入的标准量是利用标准传感器检测得到，这时标定实质上是待标定传感器与标准传感器之间的比较。

##### 标定步骤

- (a)将传感器全量程（测量范围）分成若干等间距点；
- (b)根据传感器量程分点情况，由小到大逐渐一点一点的输入标准量值，并记录各输入值相对应的输出值；
- (c)将输入值由大到小逐步减少，同时记录与各输入值相对应的输出值；
- (d)按（b），（c）所述过程，对传感器进行正、反行程往复多次测试，将得到的输出—输入测试数据用表格列出或画成曲线；
- (e)对测试数据进行必要的处理，根据处理结果就可确定传感器的线性度、灵敏度、滞后和重复性等静态特性指标。

**例如**应变式测力传感器静态标定系统。测力机产生标准力，高精度稳压电源经精密电阻箱衰减后向传感器提供稳定的供桥电压，其值由数字电压表读取，

传感器的输出电压由另一数字电压表指示。

**动态标定：**主要用于检验、测试传感器(或传感器系统)的动态特性，如动态灵敏度、频率响应和固有频率等。对传感器进行动态标定，需要对它输入一标准激励信号。

**例如**测振传感器的动态标定常采用振动台(通常为电磁振动台)产生简谐振动作传感器的输入量。振动的振幅由读数显微镜读得，振动频率由频率计指示。若测得传感器的输出电量，即可通过计算得到位移传感器、速度传感器、加速度传感器的动态灵敏度。若改变振动频率，设法保持振幅、速度或加速度幅值不变，可相应获得上述各种传感器的频率响应。

1-8

用公式计算

$$A(\omega) = \frac{K}{\sqrt{[1 - (\omega/\omega_n)^2]^2 + [2\xi\omega/\omega_n]^2}}$$
$$\varphi(\omega) = -\arctan \frac{2\xi\omega/\omega_n}{1 - (\omega/\omega_n)^2}$$

## 习题 2

2-1 金属应变计与半导体应变计在工作原理上有何异同？试比较应变计各种灵敏系数（指材料的和应变片的）概念的不同物理意义。

答：相同点，两者都由外力作用产生形变而使得电阻变化。

不同点，金属材料的应变效应以机械形变为主；而半导体材料的应变效应以机械形变导致的电阻率的相对变化为主。

对于金属材料，灵敏系数  $K_0=K_m=(1+2\mu)+C(1-2\mu)$ 。前部分为受力后金属几何尺寸变化，一般  $\mu \approx 0.3$ ，因此  $(1+2\mu)=1.6$ ；后部分为电阻率随应变而变的部分。

对于半导体材料，灵敏系数  $K_0=K_s=(1+2\mu)+\pi E$ 。前部分同样为尺寸变化，后部分为半导体材料的压阻效应所致，而  $\pi E \gg (1+2\mu)$ ，因此  $K_0=K_s=\pi E$ 。

$$K = \frac{\Delta R/R}{\varepsilon_t}$$

应变片的灵敏系数  $K$  表示安装在被测试件上的应变片在其轴向受单向应力时，引起的电阻相对变化  $\Delta R/R$  与其单向应力引起的试件表面轴向应变  $\varepsilon_t$  之比。应变片  $K$  值的准确性直接关系应变测量精度，其误差大小是衡量质量优劣的重要标志。

2-3 简述电阻应变计产生热输出（温度误差）的原因及其补偿办法。

答：电阻应变计的温度效应及其热输出由两部分组成：前部分为热阻效应所造成；后部分为敏感栅与试件热膨胀失配所引起。在工作温度变化较大时，会产生温度误差。

补偿办法：

1、温度自补偿法

(1) 单丝自补偿应变计

(2) 双丝自补偿应变计

2、桥路补偿法

(1) 双丝半桥式

## (2) 补偿块法

### 2-4 试述应变电桥产生非线性的原因及消减非线性误差的措施。

**答：**因为电桥的输出无论是输出电压还是电流，实际上都与  $\Delta R_i/R_i$  呈非线性关系。

措施：

#### (1) 差动电桥补偿法

利用差动电桥呈现相对臂“和”，相邻臂“差”的特征，通过应变计合理布片达到补偿目的。常用的有半桥差动电路和全桥差动电路。

#### (2) 恒流源补偿法

误差主要由于应变电阻  $\Delta R_i$  的变化引起工作臂电流的变化所致。采用恒流源，可减小误差。

### 2-5 如何用电阻应变计构成应变式传感器？对其各组成部分有何要求？

**答：**(1) 是作为传感器的敏感元件

(2) 作为转换元件，通过弹性敏感元件构成传感器。

要求：作为传感器的敏感元件时，测量范围要广，分辨力和灵敏度要高，非线性误差要小，结构轻小，对试件影响小。

作为转换元件，通过弹性敏感元件构成传感器时要注意弹性体型式的选择与计算、应变计的合理布片与桥接。

### 2-9 试推导图 2-16 所示四等臂平衡差动电桥的输出特性： $U_o=f(\Delta R/R)$ 。从导出的结果说明用电阻应变计进行非电量测量时为什么要采用差动电桥？

**答：**全桥差动电路， $R_1, R_3$  受拉， $R_2, R_4$  受压，代入，得

$$\Delta U_o = \frac{U}{4} \left( \frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right) \bigg/ 1 + \frac{1}{2} \left( \frac{\Delta R_1}{R_1} + \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} + \frac{\Delta R_4}{R_4} \right)$$

由全等桥臂，得

$$\Delta U_o = \frac{U}{4} \left( \frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{-\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{-\Delta R_4}{R_4} \right) \bigg/ 1 + \frac{1}{2} \left( \frac{\Delta R_1}{R_1} + \frac{-\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} + \frac{-\Delta R_4}{R_4} \right)$$

$$= \frac{U}{4} \frac{4\Delta R_1}{R_1} = U \frac{\Delta R_1}{R_1}$$

可见输出电压  $U_o$  与  $\Delta R_i/R_i$  成严格的线性关系，没有非线性误差。即  $U_o=f(\Delta R/R)$ 。因为四臂差动工作，不仅消除了非线性误差，而且输出比单臂工作提高了 4 倍，故常采用此方法。

## 2-12 何谓压阻效应？扩散硅压阻式传感器与贴片型应变式传感器相比有何优缺点？如何克服？

**答：**压阻效应，半导体单晶硅、锗等材料在外力的作用下电阻率发生变化的现象。

**优点：**尺寸、横向效应、机械滞后都很小，灵敏系数比金属电阻应变片大几十倍，因而输出也大，可以不需放大器直接与记录仪连接，使得测量系统简化。扩散硅式适合做小量程传感器，精度更高，电阻应变片适合做大量程传感器

**缺点：**

- 1) 温度稳定性差(电阻值随温度变化)；
- 2) 灵敏度的非线性较大，可造成  $\pm 3\% \sim 5\%$  的测量误差

**措施：**在使用时需采用温度补偿和非线性补偿等措施。

## 习题 3

3-1 比较差动式自感传感器和差动变压器在结构上及工作原理上的异同。

答：相同点：都应用电磁感应原理，都有差动过程。

不同点：差动变气隙式自感传感器由两个电气参数和磁路完全相同的线圈组成衔铁 3 上下移动时，一个线圈自感增加，另一个自感减少，形成差动。

差动变压器初级线圈作为差动变压器的激励，相当于变压器原边，次级线圈由结构尺寸和参数相同的两个线圈反相串接而成，相当于变压器的副边。

3-3 用变磁阻式传感器进行测量时，在什么情况下应采用与校正时相同的电缆？为什么？

答：当传感器工作在较高的激励频率下时应采用校正时相同的电缆。因为传感器存在并联电容  $C$ ，它会使得灵敏度提高，如果更换电缆，在较高的激励频率下总电容  $C$  会发生变化，从而对测量结果产生影响。

3-4 变间隙式、变截面式和螺管式三种电感式传感器各适用什么场合？优缺点？

答：变气隙式灵敏度较高，但输出非线性，测量范围小，一般用于测量几微米到几百微米的位移。

变面积式灵敏度较低，但线性范围较大，除 E 型与四极型外，还常做成八极、十六极型，一般可分辨零点几角秒以下的微小角位移，线性范围达  $\pm 10^\circ$ 。

螺管式可测量几纳米到一米的位移，线性范围大，但灵敏度较前两种低。

3-6 差动式电感传感器为什么常采用相敏检波电路？分析原理。

答：因为测量电路不具有判别信号相位和频率的能力，抗干扰能力弱。而相敏检波电路可以起到判别作用。

原理：使高频调幅信号与高频载波信号相乘，经滤波后输出低频解调信号。

3-7 电感传感器产生零位电压的原因和减小零位电压的措施。

**答：**差动自感式传感器当衔铁位于中间位置时，电桥输出理论上应为零，但实际上总存在零位不平衡电压输出(零位电压)，造成零位误差。

**原因：**零位电压包含基波和高次谐波。

**产生基波分量的原因：**传感器两线圈的电气参数和几何尺寸的不对称，以及构成电桥另外两臂的电气参数不一致；

**产生高次谐波分量的原因：**磁性材料磁化曲线的非线性。

**措施：**1、合理选择磁性材料与激励电流；2、一般常用方法是采用补偿电路，其原理为：(1)串联电阻消除基波零位电压；(2)并联电阻消除高次谐波零位电压；(3)加并联电容消除基波正交分量或高次谐波分量。3、另一种有效的方法是采用外接测量电路来减小零位电压。如前述的相敏检波电路，它能有效地消除基波正交分量与偶次谐波分量，减小奇次谐波分量，使传感器零位电压减至极小。4、此外还可采用磁路调节机构(如可调端盖)保证磁路的对称性，来减小零位电压。Ok！

### 3-9 造成自感式传感器和差动变压器温度误差的原因及其减小措施。

**答：原因：**(1)材料的线膨胀系数引起零件尺寸的变化 (2)材料的电阻率温度系数引起线圈铜阻的变化 (3)磁性材料磁导率温度系数、绕组绝缘材料的介质温度系数和线圈几何尺寸变化引起线圈电感量及寄生电容的改变等造成。

**措施：**其材料除满足磁性能要求外，还应注意线膨胀系数的大小与匹配。传感器采用陶瓷、聚矾、夹布胶木、弱磁不锈钢等材料作线圈骨架，或采用脱胎线圈。还可采取稳定激励电流的方法。Ok！

### 3-10 差动变压器式传感器采用恒流激励有什么好处？

**答：**差动变压器初级线圈在低频激励时品质因数低，温度误差大，采用恒流激励可以提高线圈的品质因数，减小温度误差。

### 3-11 电源频率波动对电感式传感器的灵敏度有何影响？如何确定传感器的电源频率？

**答：**电源频率的波动会使线圈感抗发生变化，从而使得灵敏度发生变化，造成误差。应该按照传感器的精度要求去确定电源的频率。(应该根据尽可能使灵敏



度与频率无关的原则)

### 3-12 试从电涡流式传感器的原理简要说明它的各种应用。

**答：**1. 测位移 电涡流式传感器的主要用途之一是可用来测量金属件的静态或动态位移，最大量程达数百毫米，分辨率为 0.1%。

2. 测厚度 金属板材厚度的变化相当于线圈与金属表面间距离的改变，根据输出电压的变化即可知线圈与金属表面间距离的变化，即板厚的变化。

3. 测温度 若保持电涡流式传感器的机、电、磁各参数不变，使传感器的输出只随被测导体电阻率而变，就可测得温度的变化。

### 3-13 用反射式电涡流传感器测量位移或振幅时对被测体要考虑哪些因素？为什么？

**答：**1、被测体的电导率、磁导率对传感器的灵敏度的影响。当被测体为磁性时，灵敏度较非磁性低。

2、被测物体表面有镀层，镀层的性质和厚度不均匀也会影响精度，当测量转动或移动的被测体时，这种不均匀将形成干扰信号。

3、大小和形状，为了能够充分利用电涡流效应。

4、当被测体为圆柱体时，只有其直径为线圈的 3.5 倍以上才不影响测量结果。

5、厚度。

## 习题 4

### 4-1 电容式传感器可分为哪几类？各自的主要用途是什么？

**答：**1、**变极距型电容传感器：**差动式比单极式灵敏度提高一倍，且非线性误差大为减小。由于结构上的对称性，它还能有效地补偿温度变化所造成的误差。由于变极距型的分辨力极高，可测小至  $0.01\text{ }\mu\text{m}$  的线位移，故在微位移检测中应用最广。

2、**变面积型电容传感器：**变面积型电容传感器与变极距型相比，其灵敏度较低。这种传感器的输出特性呈线性。因而其量程不受线性范围的限制，适合于测量较大的直线位移和角位移。在实际应用中，也采用差动式结构，以提高灵敏度。

3、**变介质型电容传感器：**可用于非导电散材物料的物位测量。可以用来测量纸张、绝缘薄膜等的厚度，也可用来测量粮食、纺织品、木材或煤等非导电固体物质的湿度。Ok！

### 4-2 变极距型电容传感器产生非线性误差的原因及如何减小？

**答：原因：**灵敏度与初始极距的平方成反比，用减少初始极距的办法来提高灵敏度，但初始极距的减小会导致非线性误差增大。

**采用差动式，**可比单极式灵敏度提高一倍，且非线性误差大为减小。由于结构上的对称性，它还能有效地补偿温度变化所造成的误差。Ok！

### 4-3 为什么电容式传感器的绝缘、屏蔽和电缆问题特别重要？如何解决？

**答：原因：**电容式传感器由于受结构与尺寸的限制，其电容量都很小，属于小功率、高阻抗器，因此极易受外界干扰，尤其是受大于它几倍、几十倍的、且具有随机性的电缆寄生电容的干扰，它与传感器电容相并联，严重影响传感器的输出特性，甚至会淹没有用信号而不能使用。

**解决：**驱动电缆法、整体屏蔽法、采用组合式与集成技术。Ok！

### 4-5 为什么高频工作的电容式传感器连接电缆的长度不能随意变

动？

**答：** 电缆在低频状态下的电阻极小，而在高频状态下，它自身的寄生参数比如寄生电容，寄生电感就不得不考虑，长度变化后，这些参数也会跟着变化，进而影响高频信号的质量。Ok！

## 习题 5

### 5-12 何谓霍尔效应？利用霍尔效应可以进行哪些参数的测量？

**答：**（1）霍尔效应指由导电材料（金属导体或半导体）中电流与外磁场相互作用而产生电势的物理现象。

（2）利用霍尔效应可以测量大电流、微气隙磁场、微位移、转速、加速度、震动、压力、流量、和液位等可以与敏感元件转换成位移关系的参数。

### 5-13 霍尔元件的不等位电势和温度影响是如何产生的？可采取哪些方式来减小之？

**答：**（1）不等位电势产生原因：

- ① 霍尔电极安装位置不对称或不在同一等电位面上；
- ② 半导体材料不均匀造成了电阻率不均匀或是几何尺寸不均匀；
- ③ 激励电极接触不良造成激励电流不均匀分布等。

**措施：**控制电流为直流时，将霍尔元件看成电阻电桥，利用调节电桥平衡的外接电路来补偿不等位电势。

控制电流为交流时，要同时进行幅值和相位的补偿。

（2）温度误差**原因：**霍尔元件的霍尔系数、电阻率、和载流子迁移率、 $U_H$ 、输入电阻、输出电阻都是温度的函数，所以温度变化会引起误差。

**减小措施：**使用温度系数小的元件，并根据精度要求进行补偿。补偿时采用桥路补偿器法。还有电流控制方法

### 5-14 磁敏传感器有哪几种？它们各有什么特点？可用来测哪些参数？

**答：**（1）霍尔传感器

**特点：**结构简单、工艺成熟、体积小、工作可靠、寿命长、线性好、频带宽。

**可用来测量：**大电流、微气隙磁场、微位移、转速、加速度、震动、压力、流量、和液位等参数。

（2）磁敏电阻器

**特点：**磁检测灵敏度高；  
输出信号幅值大；  
抗电磁干扰能力强；  
分辨力高。

磁敏电阻器主要用来检测磁场强度及其分布，测位移。

### （3）磁敏二极管

**特点：**体积小，灵敏度高。

磁敏二极管主要用于测量磁场的变化，比较适合应用在精度要求不高，能获得较大电压输出的场合；可用于电键、转速计、无刷电机、无触点开关和简易高斯计、磁探伤等。

## 习题 6

### 6-1 何谓压电效应？何谓纵向压电效应和横向压电效应？

**答：**某些电介质，当沿一定方向对其施力而使它变形时，其内部产生极化现象，同时在两个相应表面上产生极性相反的电荷，当外力拆除后，又重新恢复到不带电状态的现象。且作用力方向改变时，电荷极性也随着改变。这种现象称为正压电效应，或简称**压电效应**。

当在电介质的极化方向施加电场时，这些电介质就在相应方向上产生机械变形或机械压力，当外加电场撤去时，这些变形或应力也随之消失的现象。这种现象称为**逆压电效应**，或称电致伸缩。

石英晶体沿电轴 X-X 方向的力作用下产生电荷的压电效应称为“**纵向压电效应**”；把沿机械轴 Y-Y 方向的力作用下产生电荷的压电效应称为“**横向压电效应**”。

### 6-2 压电材料的主要特性参数有哪些？比较三类压电材料的应用特点。

**答：主要特性参数：**压电常数、弹性常数、介电常数、机电耦合系数、电阻、居里点。

**压电单晶：**时间稳定性好，居里点高，在高温、强幅射条件下，仍具有良好的压电性，且机械性能，如机电耦合系数、介电常数、频率常数等均保持不变。此外，还在光电、微声和激光等器件方面都有重要应用。不足之处是质地脆、抗机械和热冲击性差。

**压电陶瓷：**压电常数大，灵敏度高，制造工艺成熟，成形工艺性好，成本低廉，利于广泛应用，还具有热释电性。

**新型压电材料：**既具有压电特性又具有半导体特性。因此既可用其压电性研制传感器，又可用其半导体特性制作电子器件；也可以两者合一，集元件与线路于一体，研制成新型集成压电传感器测试系统。

### 6-4 为了提高压电式传感器的灵敏度，设计中常采用双晶片和多晶片组合，试说明其组合的方式和适用的场合。

**答：（1）并联：**特点是输出电容大，输出电荷大，所以时间常数，适合于测量缓变信号，且以电荷作为输出的场合。

**（2）串联：**特点是输出电压大，本身电容小，适合于以电压作为输出信号，且测量电路输出阻抗很高的场合。Ok！

**6-6 原理上，压电式传感器不能用于静态测量，但实用中，压电式传感器可能用来测量准静态量，为什么？**

**答：**由于外力作用在压电元件上产生的电荷只有在无泄漏的情况下才能保存，即需要测量回路具有无限大的输入阻抗，这实际上是不可能的，而且压电元件易受电缆和接地回路噪声影响，故不适合静态测量。在实际应用中可采取措施（如极高阻抗负载等）防止电荷经测量电路的漏失或使之减小到最低程度这样可以用来测量准静态量。

**6-7 简述压电式传感器前置放大器的作用，两种形式各自的优缺点及其如何合理选择回路参数。**

**答：电压放大器**

作用：把压电期间的高输出阻抗变换为传感器的低输出阻抗，并保持输出电压与输入电压成正比；

优点：电路简单、成本低、工作稳定可靠；

缺点：低频特性差

**电荷放大器**

作用：把压电器件高内阻的电荷源变换为传感器低内阻的电压源，以实现阻抗匹配，并使其输出电压与输入电荷成正比；

优点：电路线性较好，无接长和变动电缆的后顾之忧；

缺点：有零漂现象。

## 习题 7

### 7-1 热电式传感器有哪几类？它们各有什么特点？

答：热电式传感器可分为两大类：热电阻传感器和热电偶传感器。

**热电阻传感器的特点：**(1) 高温度系数、高电阻率。(2) 化学、物理性能稳定。(3) 良好的输出特性。(4) 良好的工艺性，以便于批量生产、降低成本。

**热电偶传感器的特点：**(1) 结构简单 (2) 制造方便 (3) 测温范围宽 (4) 热惯性小 (5) 准确度高 (6) 输出信号便于远传。

缺点: 测量准确度难以超过  $0.2^{\circ}\text{C}$ ，必须有参考端，并且温度要保持恒定。• 在高温或长期使用时，因受被测介质影响或气氛腐蚀作用（如氧化、还原）等而发生劣化

### 7-2 常用的热电阻有哪几种，适用范围如何？

答：常用的热电阻有铂热电阻和铜电阻。

铂热电阻适用范围： $0\sim 660^{\circ}\text{C}$  和  $-190\sim 0^{\circ}\text{C}$ 。

铜热电阻适用范围： $-50\sim +150^{\circ}\text{C}$ 。

### 7-3 热敏电阻与热电阻相比较有什么优缺点？用热敏电阻进行线性温度测量时必须注意什么问题？

答：优点：(1) 电阻温度系数大，灵敏度高，约为热电阻的 10 倍；(2) 结构简单，体积小，可以测量点温度；(3) 电阻率高，热惯性小，适宜动态测量；(4) 易于维护和进行远距离控制 (5) 制造简单，使用寿命长。阻值大，可以不考虑引线电阻影响。

缺点：互换性差，非线性严重。稳定性差

进行线性温度测量时应注意：流过热敏电阻的温度不能太大，应在其额定范围内。或者要先进行非线性校正。

### 7-4 利用热电偶测温度必须具备哪两个条件？

答：(1) 用两种不同材料作热电极 (2) 热电偶两端的温度不能相同

### 7-5 什么是中间导体定律和连接导体定律？它们在利用热电偶测温度



时有什么实际意义？

答：中间导体定律：导体 A、B 组成的热电偶，当引入第三导体时，只要保持第三导体两端温度相同，则第三导体对回路总热电势无影响。

意义：利用这个定律可以将第三导体换成毫伏表，只要保证两个接点温度一致，就可以完成热电势的测量而不影响热电偶的输出。

连接导体定律：回路的总电势等于热电偶电势  $E_{AB}(T, T_0)$  与连接导线电势  $E_{AB}(T_n, T_0)$  的代数和。

意义：连接导体定律是工业上运用补偿导线进行温度测量的理论基础。√

**7-6 什么是中间温度定律和参考电极定律？它们各有什么实际意义？**

答：中间温度定律：回路的总热电势等于热电偶电势与连接导线电势的代数和。

意义：为定制分度表奠定了理论基础。

参考电极定律：参考电极与各种电极配对时的总热电势为两电极配对后的电势之差。

意义：利用参考电极定律可以大大简化热电偶选配工作。

**7-7 用镍铬-镍硅热电偶测得介质温度为  $800^{\circ}\text{C}$ ，若参考端温度为  $25^{\circ}\text{C}$ ，问介质的实际温度为多少？**

答： $t = \text{介质温度} + k * \text{参考温度}$ ， $800 + 1 * 25 = 825^{\circ}\text{C}$  √

**7-8 热电式传感器除了用来测量温度外是否还能用来测量其他量？举例。**

答：测量管道流量，测气体成分，鉴别金属材质。

**7-9 实验室备有铂铑—铂热电偶、铂电阻器和半导体热敏电阻器，今欲测量某设备外壳的温度。已知其温度约为  $300 \sim 400^{\circ}\text{C}$ ，要求精度达到  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ，问应选哪种？为什么？**

答：铂电阻，温度范围  $0 \sim 660^{\circ}\text{C}$ ，测量精度高。

铂铑—铂热电偶，温度范围  $0 \sim 1600^{\circ}\text{C}$ ，主要测非固体。

半导体热敏电阻，温度范围  $-100 \sim +300^{\circ}\text{C}$ ，高温非线性严重。

综合上述条件可知应选铂电阻。

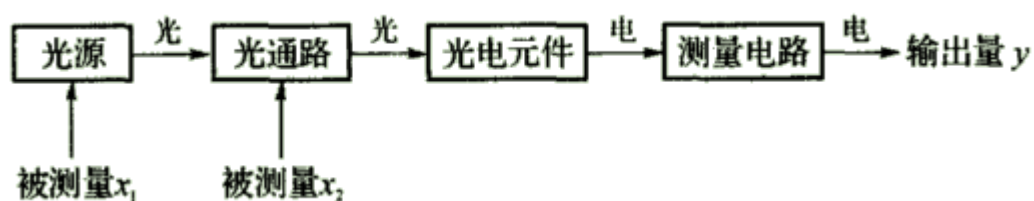
## 习题 8

**8-1 简述光电式传感器的特点和应用场合，用框图表示光电式传感器的组成。**

**答：**特点：非接触、响应快、性能可靠。

应用场合：非接触测量领域，既可以测直接引起光量变化的量，也可测转换为光量变化的量，在国民经济领域和科学技术各个领域得到广泛应用。

组成框图：



(课本截图)

**8-2 何谓外光电效应，光电导效应和光生伏特效应？**

**答：**外光电效应：在光照条件下电子从物体表面逸出而产生光电子发射的现象。

光电导效应：半导体受到光照时产生光生电子—空穴对，进而使电阻率变化，使导电性能增强的现象。

光生伏特效应：光照引起 PN 结两端产生电动势的效应。Ok！

**8-3 试比较光电池、光敏晶体管、光敏电阻及光电倍增管在使用性能上的差别。**

**答：**光电池：与外电路连接有短路电流输出和开路电压输出两种形式。两种方

式输出不同，使用时应该根据需要选用工作状态。硅光电池简单轻便，不产生气体或热污染，转换效率较低，适宜工作在可见光波段。灵敏度高，适合作开关元件。

**光敏晶体管：**光敏二极管灵敏度和线性度均好，可用作线性转换元件和开关。光敏三极管和三极管在使用时要注意保持光源与光敏管的合适位置。

**光敏电阻：**光照特性呈非线性，需外部电源，有电流时会发热，不适合做线性检测元件，但可作开关元件。

**光电倍增管：**光电流大，灵敏度高，可用来检测和放大微弱光信号。

#### **8-4 通常用哪些主要特性来表征光电器件的性能？它们对正确选用器件有什么作用？**

**答：**光照特性：表征光电器件的灵敏度。

作用：可根据不同的精度要求来选择相应光照特性的光电器件。

**光谱特性：**指相对灵敏度与入射光波长的关系。

作用：包含光源与光电器件的传感器应根据光电器件的光谱特性来选择匹配的光源和光电器件；对于被检测体可作光源的传感器则根据被检测体辐射的光波长选择光电器件。

**响应时间/频率特性：**反映光电器件的动态特性。

作用：为实际应用时对光电器件的动态性能要求提供参考依据。

**峰值探测率：**对噪声的衡量。

作用：峰值探测率大则噪声等功率小，衡量光电器件的性能。

**温度特性，**作用：根据光电器件的温度特性可以知道在实际应用时应该根据环境温度选用合适的光电器件，或者可以知道是否该进行温度补偿。

**伏安特性，**作用：选用时要根据实际选择合适电压和电流参数的光电器件。

#### **8-5 怎样根据光照特性和光谱特性来选择光敏元件？试举例说明。**

**答：**光照特性，例如光敏晶体管的光照特性是灵敏度和线性度都很好，在需要线性度好的应用中就可以选择光敏晶体管。

**光谱特性，**例如由光谱特性可知锗在入射光波长较大的时候相对灵敏度要比硅的相对灵敏度要高，实际应用时要根据被测光的波长来选择光敏元件的材料，

从而在相同的辐射功率下达到较高的灵敏度要求。

**8-9 试指出光电转换电路中减小温度、光源亮度及背景光等因素变动引起输出信号漂移采用的措施。**

**答：**温度影响：恒温控制或进行温度补偿。

光源亮度影响：在调制时选择特定的光进行放大。

背景光影响：电桥补偿法，调制法

**8-10 简述光电传感器的主要形式及应用。**

**答：**按输出量的性质，可分为模拟式和开关式。模拟式中还可分透射式、反射式、遮光式、辐射式。

应用：光电式数字转速表，光电式物位传感器，视觉传感器，细丝类物件的在线检测。

**8-11 举出你熟悉的光电传感器应用实例，画出原理结构图并简单说明原理。**

**答：**光电转速传感器 P195

在待测转速轴上固定一带孔的转速调制盘，在调制盘一边由白炽灯产生恒定光，透过盘上小孔到达光敏二极管组成的光电转换器上，转换成相应的电脉冲信号，经过放大整形电路输出整齐的脉冲信号，转速由该脉冲频率决定。

**8-12 试说明图 8-33 (b) 所示光电式数字测速仪的工作原理。**

**(1) 若采用红外发光器件为光源，虽看不见灯亮但电路却能正常工作，为什么？**

**(2) 当改用小白炽灯作光源后，却不能正常工作，分析原因。**

**答：**图 (b) 工作原理：调制盘上有均匀的六个缺口，当电机转动时，透光与不透光交替出现，光电元件间断地接收到光信号，输出电脉冲。经放大整形电路转换成方波信号，由数字频率计可测得电机的转速。

(1) 因为红外发光器件发出的光（依然可以是方向性好，光束小的光，虽

然)看不见,但是光电器件的波长限大,可以接收波长较长的红外线,所以电路可以正常工作。

(2)是波长不匹配的原因。

**8-14 手头有三种光电元件:硫化铊光敏电阻、硫化铅光敏电阻、硅光敏三极管,用可见光为光源,请按下列条件选用光电元件。**

**(1) 制作光电开关,开关频率约为 10 赫兹;**

**(2) 制作光电开关,开关频率约 10000 赫兹;**

**(3) 作线性测量元件,响应时间 0.1s。**

**答:** 根据光电器件的响应时间特性可知

(1) 应为硫化铊

(2) 选硫化铅

(3) 硅光敏三极管 √

## 习题 9

**9-1 试用折线分析方法，阐明阶跃光纤的导光原理，并解释光纤数值孔径的物理意义。**

答：阶跃光纤的导光原理：根据光的折射原理，光由光密介质射到光疏介质时会产生折射现象，当入射角大于临界角是则会发生全反射。光纤的纤芯为光密介质，包层为光疏介质，由于光的入射角大于这两者界面的临界角，所以光可以在纤芯内连续发生全反射，直到由终端输出。

**数值孔径：**光线从折射率为 1 的空气射入到纤芯时实现全反射的临界角的正弦值 NA，它是衡量光纤集光性能的主要参数，NA 越大，光纤的集光性能越强。

**9-2 有一阶跃光纤，已知  $n_1=1.46$ ,  $n_2=1.45$ , 外部介质为空气  $n_0=1$ 。试求光纤的数值孔径值和最大入射角。**

答： $NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = 0.17$

$$\sin \theta = NA = 0.17, \quad \theta = 9.78^\circ$$

数值孔径值为 0.17，最大入射角为  $9.78^\circ$ 。

**9-4 如图 9-6 所示，反射式光强调制器的输出信号（如电压）与光源的稳定性和被检测表面的反射率有关。试问能否设计一种结构可消除这两种不利影响？**

答：将发射光纤束的发射端和接收光纤束的接收端集合在在一起，构成 Y 型光纤探头。

## 习题 11

### 11-5 如何改善电阻型半导体气体传感器的选择性？灵敏度？

答：参杂，即在基体材料中加入不同的贵金属或金属氧化物催化剂，设置合适的工作温度，利用过滤设备或透气膜外过滤敏感气体。√

### 11-7 什么是绝对湿度，什么是相对湿度？

答：绝对湿度：每立方米空气中所含的水汽的克数。

相对湿度：大气中水汽的饱和度。

### 11-8 电阻型湿敏器件是如何敏感湿度的？

答：有两种机理：（1）离子导电机理，靠离子导电的湿度敏感材料对水汽的吸附量增加时材料内部的离子数增多，电阻减小。

（2）材料吸湿膨胀机理，感湿材料中含有导电性粉末，吸收水分后材料膨胀，导电粉末间距变化，电阻增大。根据阻值大小可以测出湿度大小。√

### 11-9 电容型湿敏器件有什么特点？

答：响应快，温度系数小，但是高温易漂移，抗污染性差。√

## 智能传感器

**国内定义：**将传感器与微处理器赋予智能的结合，兼有信息检测与信息处理功能的传感器称为智能传感器(系统)/Smart Sensor/Intelligent Sensor System。其最大特点就是将传感器检测信息的功能与微处理器的信息处理功能有机融合在一起。

### 智能传感器的功能：

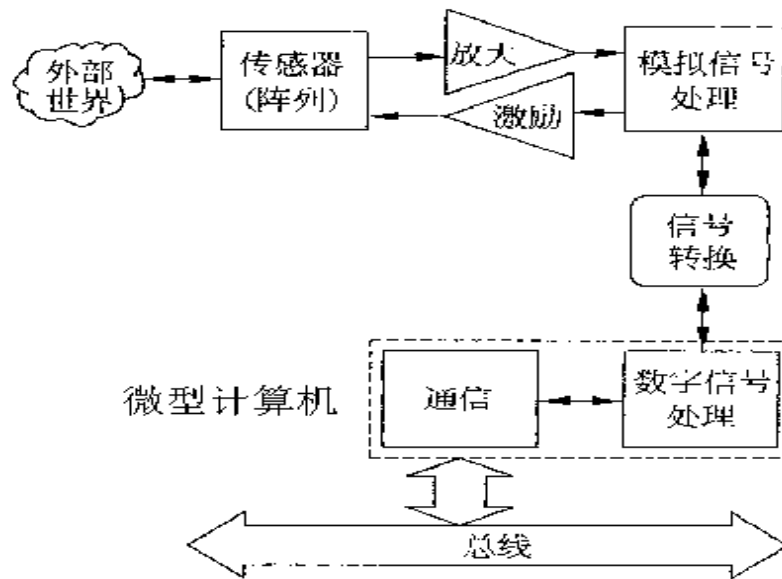
- (1) 自校准和自诊断
- (2) 自补偿
- (3) 数据存储、逻辑判断和信息处理
- (4) 数字量输出或总线式输出
- (5) 双向通信

**特点：**1) 高精度。2) 宽量程。3) 多参数、多功能。4) 自校准、自标定。5) 超小型化、微功耗。

### 一般构成基本单元包括：

- (1) 敏感元件或敏感元件阵列；
- (2) 激励控制单元；
- (3) 放大；
- (4) 模拟滤波；
- (5) 数据转换；
- (6) 补偿；
- (7) 数字信息处理；
- (8) 数字通信。





### 目前可能的三种智能化途径:

- 1) 利用计算机合成, 即智能合成。
- 2) 利用特殊功能材料, 即智能材料
- 3) 利用功能化几何结构, 即智能结构

### 智能传感器设计方法

设计可分为硬件设计和软件设计。按系统组成划分, 包括基本传感器 (传感器本体)、调理电路、接口 (A/D、D/A 等)、处理器系统和应用软件等设计任务。

### 智能传感器中的基本传感器选用、设计原则

- 1) 采用微结构方式
- 2) 选用具有准数字或直接数字输出的传感器
- 3) 优先考虑重复性和稳定性
- 4) 减小材料缺陷和内在特性对长期稳定性的影响
- 5) 改善动态特性

### 软件设计主要包括下列内容。

- 1) 量程切换
- 2) 标度变换
- 3) 数字调零
- 4) 非线性补偿

- 5) 温度补偿
- 6) 数字滤波

## 智能传感器与系统的发展

借助计算机和通信技术使传感器正从传统的分立式，朝集成化、智能化、网络化、系统化的方向发展。

智能传感器可广泛用于工业、农业、商业、交通、环境监测、医疗卫生、军事科研、航空航天、现代办公设备和家用电器等领域。

## 智能传感器技术发展趋势

- 1) 新机理、新材料、新技术、新工艺
- 2) 微型化、多功能化和低功耗以及无源化
- 3) 智能信息处理技术
- 4) 网络化智能传感

## 智能传感器及技术实例

- (1) 智能微尘传感器
- (2) 生物芯片
- (3) 多功能集成传感芯片—ST 的 LSD333D
- (4) 多功能智能机器人传感器
- (5) 总线技术
- (6) 虚拟传感器和网络传感器

**智能家居系统**又称智能住宅或电子家庭、数字家园等，利用计算机控制以及通信技术，将与家居生活有关的各种子系统通过网络连成一体，以满足整个系统的自动化要求，提供更便捷的控制和管理。

## 传感器及其网络系统的作用主要体现在：

- (1)家庭自动化；
- (2)实现智能环境。

**家居安防所需四类主要传感器：** 温湿度、烟雾报警、燃气泄露、家庭防盗