

2020 级《传感器原理及应用 C》复习思考题

复习资源：教材、课程网站教学资源，课程作业、教材各章中的例题、应用示例应重点理解掌握。

成绩构成：50%闭卷考试+10%实验成绩+40%平时成绩

其中，平时成绩中 50%由每章作业成绩+随堂作业（考勤）评定，10%为课程网站任务完成度成绩，40%是课程大作业（论文）成绩；

期末考试题型与分值：简答题 5*8 分=40 分；计算题 3*10 分=30 分；

综合应用题 3*10 分=30 分

对下述复习思考题的回答有疑问，或在复习中有其它问题，请到课程网站各章“答疑讨论”栏目下提问发起讨论。

1. 传感器的基本构成可以划分为哪几个部分？各部分的功能？以教材 P98 页图 3.41 为例说明。

传感器的基本构成可以划分为敏感元件、转换元件、信号调理与转换电路三个部分。

敏感元件：直接感受被测量，并输出与被测量成确定关系的某一物理量。

转换元件：以敏感元件的输出为输入，把输入转换成电路参数量（电阻、电感、电容、电压、电流）。

信号调理与转换电路：一是将来自转换元件的电路参数量进一步转换为更易于传输、处理、记录和显示的量（如电压、电流、频率等），二是进行信号的处理，如放大、滤波、调制或解调、运算等。

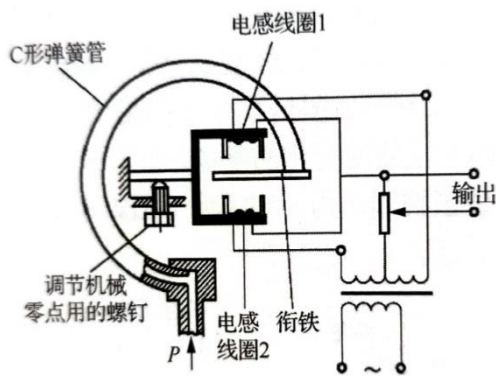


图 3.41 BYM 型电感式压力传感器原理示意

C 形弹簧管是敏感元件，C 形弹簧管将被测压力的作用转换为其自由端的位移。

差动变气隙型电感传感器为转换元件，C 形弹簧管自由端的位移带动衔铁在磁路中移动，从而改变电感线圈的自感。

电桥电路为信号调理与转换电路，将两个线圈的电感变化转换成电压输出。

2. 什么是物性型传感器？什么是结构型传感器？请各举一例。

物性型传感器是指依靠敏感元件材料自身的物理特性变化以实现信号转换的传感器。

如压电式传感器、热敏电阻、光敏电阻。

结构型传感器是基于物理学中场的定律，依靠转换元件结构参数变化以实现信号转换的传感器。如电容式传感器、电感式传感器、电阻应变式传感器。

3. 描述传感器静态特性的常用指标有哪些？

线性度、迟滞、重复性、灵敏度、分辨力和漂移。

线性度：实际特性曲线与拟合直线之间的偏差，以误差最大值与满量程输出值之比的百分数表示。

迟滞：传感器在正向和反向行程中输出-输入特性曲线不重合的程度。

重复性：传感器在相同工作的条件下，对输入量按照同一方向进行全量程连续多次测试时输出与输入特性曲线的不一致程度。

灵敏度：传感器输出量的变化量与输入量的变化量之比。

分辨力：传感器能检测到的最小输入增量。

漂移：在一定的时间间隔内，传感器的输出量存在着与被测输入量无关的、不需要的变化。

4. 某传感器的技术指标为：非线性误差 $<\pm 0.5\%FS$ ；迟滞误差 $<0.5\%FS$ ；重复性误差 $<0.5\%FS$ ；零点温度变化 $<0.04\%FS/^{\circ}C$ ，请解释这些指标的含义是什么？

非线性误差 $<\pm 0.5\%FS$ ：传感器的实际输出曲线与拟合直线之间的最大偏差的绝对值小于理论满量程输出值的 0.5%。

迟滞误差 $<0.5\%FS$ ：传感器在正、反向行程间输出的最大绝对误差小于理论满量程输出值的 0.5%。

重复性误差 $<0.5\%FS$ ：传感器在相同的工作条件下，对输入量按同一方向进行全量程连续多次测试时，各测量点上正、反行程校准数据平均标准差的 3 倍小于理论满量程输出值的 0.5%。

零点温度变化 $<0.04\%FS/^{\circ}C$ ：指传感器处于工作状态，但输入为零时，输出随温度发生微小变化，温度每变化 $1^{\circ}C$ ，输出值变化小于 $0.04\%FS$ （FS：满量程）

5. 传感器实现动态测试不失真的条件是什么？二阶传感器近似满足不失真测试的性能条件？

传感器实现动态测试不失真的条件： $A(\omega)=A_0$ 和 $\phi(\omega)=0$ 或 $\phi(\omega)=-t_0\omega$

二阶传感器近似满足不失真测试的性能条件： $\xi < 1$ 且 $\frac{\omega}{\omega_n} \ll 1$

6. 什么是传感器的静态特性和动态特性？

静态特性是指传感器的输入量不随时间变化或变化缓慢时其输出量与输入量的关系；

动态特性是指传感器的输入量随时间变化时其输出量与输入量的关系。

7. 电阻应变片在工程中的应用可以分为哪两种情况？举例说明。

一是作为敏感元件直接粘贴在构件上，用于测量构件受力情况，例如，应变片在大坝、桥梁、建筑结构、航天飞机、船舶结构、发电设备等工程结构的应力测量和健康监测中应用；、

二是作为转换元件粘贴在弹性元件上，将其他物理量通过弹性元件转换成应变，从而构成称重、压力、位移、扭矩、加速度等各类传感器。例如电子秤。

8. 电阻应变式测力传感器的基本构成包括哪几个部分？简述柱式测力传感器工作原理。

弹性元件、电阻应变片和测量电路。

柱式测力传感器以实心或空心圆形或方形柱体作为弹性元件，利用弹性元件将轴向的拉力或压力转换成应变，粘贴在弹性元件上的应变片将应变转换为电阻变化，再由电桥电路转换为电压，经放大器处理后显示被测力大小。

9. 应用应变片时为什么必须考虑温度误差的影响？例举一种常用温度误差补偿方法并简

述补偿原理。

用应变片测量试件时，由于环境温度变化所引起的电阻变化与试件应变所造成的电阻变化几乎有相同的数量级，从而产生很大的测量误差，必须采取措施以保证测量精度。

方案一：

桥路补偿法。

如图，工作应变片 R_1 安装在被测试件上，另选一个特性与 R_1 相同的应变片 R_B ，安装

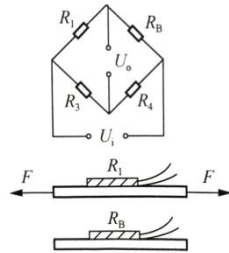


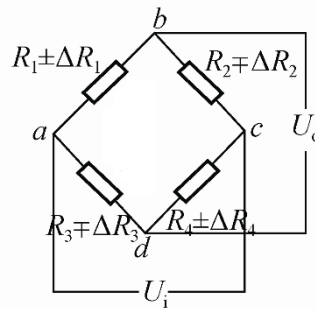
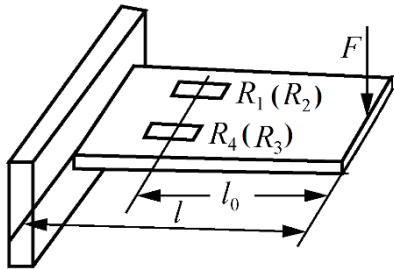
图 2.12 温度补偿片桥路补偿法

在材料与试件相同的补偿片上，补偿片置于与试件相同的环境中，但不承受应变。把 R_1 与 R_B 接入电桥相邻桥臂中，调整电桥参数使 $R_1=R_B=R_3=R_4$ ，电桥处于平衡状态。当温度变化时，引起 R_1 和 R_B 电阻变化量相同，设电阻变化量为 ΔR_t ，电桥输出电压

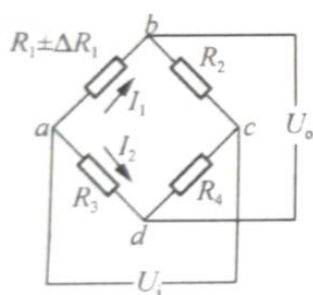
$$U_o = U_i \frac{(R_1 + \Delta R_t)R_4 - (R_B + \Delta R_t)R_3}{[(R_1 + \Delta R_t) + (R_B + \Delta R_t)](R_3 + R_4)} = 0, \text{ 可知，电桥输出电压仍为零，与温度变化无关。}$$

方案二：四臂差动电桥，1,4 应变片贴上表面，2,3 贴对应下表面。接成差动全桥，电桥

$$\text{输出为: } U_o = U_i \cdot \left(\frac{R + \Delta R + \Delta R_t}{2R + 2\Delta R_t} - \frac{R - \Delta R + \Delta R_t}{2R + 2\Delta R_t} \right) = U_i \cdot \frac{2\Delta R}{2R + 2\Delta R_t} \approx U_i \cdot \frac{\Delta R}{R}, \text{ (因为 } \Delta R_t \ll \Delta R \text{)}.$$



10. 单臂、双臂差动、四臂差动应变电桥输入输出表达式及其应用。（作业+例题）

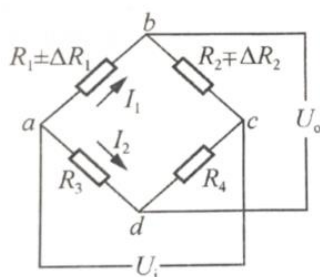


(b) 单臂直流电桥

R_1 为应变片阻值

$R_1 = R_2$ 、 $R_3 = R_4$ 时，对称电桥灵敏度最大； $\Delta R_1 \ll R_1$ 时，输出与输入近似呈线性关系

$$\begin{aligned} U_o &= U_i \left(\frac{R_1 + \Delta R_1}{R_1 + \Delta R_1 + R_2} - \frac{R_3}{R_3 + R_4} \right) \\ &= U_i \frac{\Delta R_1}{2 \Delta R_1 + 4 R_1} \approx \frac{U_i}{4} \cdot \frac{\Delta R_1}{R_1} \\ &= \frac{U_i}{4} K \varepsilon \end{aligned}$$



(c) 两臂差动电桥

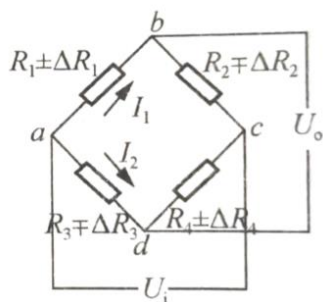
设初始时 $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$,

$$\begin{aligned} U_o &= U_i \left(\frac{R_1 + \Delta R_1}{R_1 + \Delta R_1 + R_2 + \Delta R_2} - \frac{R_3}{R_3 + R_4} \right) \\ &= \frac{U_i}{2} \cdot \frac{\Delta R_1 - \Delta R_2}{2 R + \Delta R_1 + \Delta R_2} \end{aligned}$$

工作时一片应变片受拉，另一片应变片受压，且满足 $\Delta R_1 = -\Delta R_2 = \Delta R$ 时，

电桥输出电压为 $U_o = \frac{U_i}{2} \cdot \frac{\Delta R}{R} = \frac{U_i}{2} K \varepsilon$,

可见 U_o 与 $\frac{\Delta R}{R}$ 呈严格线性关系，且电桥灵敏度比单臂电桥工作时提高一倍。



(d) 四臂差动电桥

设初始时 $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$,

工作时各个桥臂应变片电阻的变化为 ΔR_1 、 ΔR_2 、 ΔR_3 、 ΔR_4 ,

$$\begin{aligned} U_o &= U_i \left(\frac{R_1 + \Delta R_1}{(R_1 + \Delta R_1) + (R_2 + \Delta R_2)} - \frac{R_3 + \Delta R_3}{(R_3 + \Delta R_3) + (R_4 + \Delta R_4)} \right) \\ \text{由于 } \Delta R_i \ll R, U_o &= \frac{U_i}{4} \left(\frac{\Delta R_1}{R} - \frac{\Delta R_2}{R} - \frac{\Delta R_3}{R} + \frac{\Delta R_4}{R} \right) \\ &= \frac{K U_i}{4} (\varepsilon_1 - \varepsilon_2 - \varepsilon_3 + \varepsilon_4) \end{aligned}$$

若工作时满足 $\Delta R_1 = \Delta R_4 = -\Delta R_2 = -\Delta R_3 = \Delta R$ ，则

$$U_o = \frac{\Delta R}{R} \cdot U_i = K \varepsilon U_i$$

在此条件下，四臂差动电桥不仅完全消除了非线性误差，而且电桥的灵敏度是单臂电桥的 4 倍。

11. 电容式传感器可以分为哪几类？它们各自适合测量什么物理量？

变极距型电容式传感器，适合测量微小的线位移；

变面积型电容式传感器，适合测量较大的线位移或角位移、液位；

变介质型电容式传感器，适合测量液位、湿度、纸张和绝缘薄膜厚度等物理量。

12. 变极距型电容传感器有哪些主要特点？差动型与单个相比在性能上有哪些改进？

特点：

(1) 极距变化与电容变化之间为非线性，仅当 $|d/d_0| \ll 1$ 时，才有近似的线性输出，故此传感器量程极小；

(2) 灵敏度与初始极距成反比，减小初始极距可以提高灵敏度；

(3) 非线性误差随着 $|\Delta d|$ 的增加而增加，减小 d_0 相应地增大了非线性。

改进：(1) 非线性误差大大降低，(2) 灵敏度比单极距电容式传感器提高了一倍，

(3) (提高了抗干扰能力) 能减小静电引力给测量带来的影响，并能有效地改善某些外界条件（如电源电压、环境温度变化）的影响所造成的的误差。

13. 为减小变极距型电容传感器的非线性，可以采取哪些措施？

(1) 采用差动结构；

(2) 限制在较小的极距变化范围内工作；

(3) 采用运算放大器式测量电路。（运算放大器式测量电路的输出电压与极距成正比关系）

14. 什么是差动变压器的零点残余电压？如何消除？ ‘’

零点残余电压：当差动变压器的铁心处于中间平衡位置时，存在的微小电压输出值。

消除零点残余电压的方法：

(1) 尽可能保证传感器几何尺寸、线圈电气参数及磁路的对称。磁性材料要经过处理，消除内部的残余应力，使其性能均匀稳定。

(2) 选用合适的测量电路。如采用相敏检波电路不仅可以鉴别衔铁的移动方向，而且可以把衔铁在中间平衡位置时因高次谐波引起的零点残余电压消除。

(3) 采用补偿电路。

(4) 采用软件自动补偿技术。

15. 差动变压器的灵敏度是怎么定义的？如何提高其灵敏度？

差动变压器的灵敏度是指在单位电压激励下，铁心移动单位距离时的输出电压，其单位为 $V/(mm/V)$ 。

提高灵敏度：

(1) 提高电感的品质因数 Q 值。

(2) 增大铁心直径，使其值接近绕组骨架内径，但不触及绕组骨架；适当增加铁心长度；铁心采用磁导率高、铁损小、涡流损耗小的材料。

(3) 选择较高的激励频率，同时在不使初原边绕组过热的条件下尽量提高激励电压。

16. 变气隙型自感传感器设计成差动型式后与单个相比，在性能上有哪些改进？

差动变隙型自感式传感器的灵敏度较非差动变隙型自感式传感器提高了一倍；非线性误差减小了一个数量级；且差动变隙型自感式传感器能抵消温度变化、电源波动、外界干扰、电磁吸力等因素对传感器的影响。

17. 利用差动变压器可以测量压强（压力）吗？简述测量方法和原理。

可以。将差动变压器和弹性敏感元件（膜片、膜盒和弹簧管等）相结合，可以组成各

种形式的压力传感器。被测压力作用时，弹性元件的自由端产生位移，从而带动与弹性元件自由端相连的差动变压器衔铁，通过差动变压器将位移即被测压力变化转换成相应的电压输出。差动变压器输出的电压通过检波、滤波后在仪表上显示。

18. 利用涡流传感器可以实现对振动物体小幅振动的测试吗？简述测量方法和原理

可以。

测量方法和工作原理：利用高频反射式涡流传感器。将线圈垂直于被测振动体（要求被测体是金属）表面固定，之间留一定距离。根据涡流效应，当线圈通交流激励电流后，将产生交变磁场，因此在被测振动体中感应出涡流。当被测振动体产生振动时，线圈与其之间距离发生变化，则涡流大小随之改变，这将引起线圈阻抗变化，通过测量电路（调幅测量电路）将线圈阻抗变化转换成电压变化，电压信号则反映了被测振动的变化情况。这种测振动方法实质是测位移（距离），所以放置涡流传感器时要注意保证传感器轴向与振动方向一致。如果是未知方向的振动测量，则需要根据需求放置 2 个测量方向互相垂直的涡流传感器，甚至多个涡流传感器。

19. 教材图 4.34 所示的低频透射式涡流传感器测金属板厚的原理是什么？有何特点？测量范围（量程）与哪些主要因素有关？怎么增大板厚测量范围？

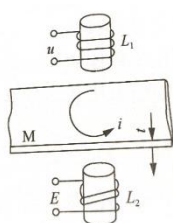


图 4.34 低频透射型涡流式传感器工作原理示意


原理：发射线圈 L_1 和接收线圈 L_2 分别位于被测金属板 M 的上方和下方。由振荡器产生的音频电压 u 加载到 L_1 两端后，线圈中流过一个同频的交流电流，并在其周围产生一个交变磁场。如果该两个线圈之间不存在被测金属板 M ，线圈 L_1 的磁场就能直接贯穿线圈 L_2 。于是，线圈 L_2 两端就会感生出一个交变电动势，即感应电动势 E 。在线圈 L_1 与线圈 L_2 之间放置一块金属板 M 后，线

圈 L_1 产生的磁力线必然切割金属板 M ，并在金属板 M 中产生涡流 i 。这个涡流损耗了部分磁场能量，使到达 L_2 的磁力线减少，从而引起 E 值的下降。 M 的厚度 t 越大，涡流损耗也越大， E 就越小。由此可知， E 的大小间接反映了 M 的厚度 t ，据此可用于涡流测厚的应用。

特点：非接触测量、但测量范围有限。

测量范围与激励频率、金属材料的电阻率，板材材料变化、温度有关。

增大测量范围：（1）对不同的化学成分的材料分别进行校正（2）要求被测材料温度恒定（3）选用较低的频率对于同一种材料来说，适当的降低交变电磁场的频率可以增大测量范围。对于同一种测试频率来说，在一定的范围内，测量材料电阻率越低，测量范围越大。

20.  简述教材 P138 页“应用示例 3”中电容测厚仪测量原理、信号转换、处理的主要流程，以及测量方法的特点。试提出一种采用其它种类传感器完成板厚检测的方法，简述测量原理、信号转换、处理主要流程，以及测量方法的优缺点。

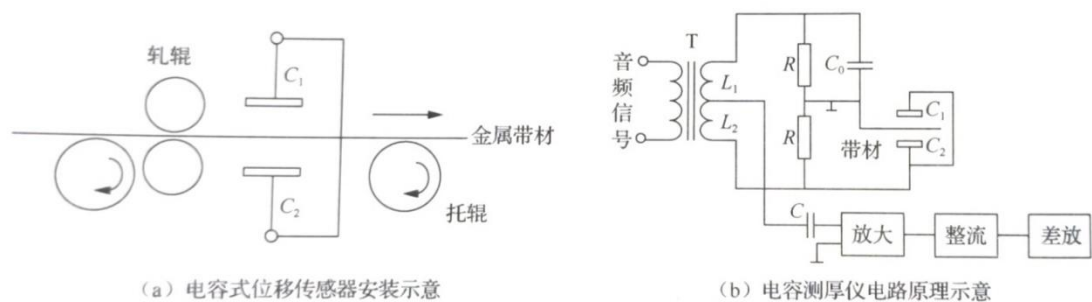


图 4.47 电容测厚仪的应用

在被测带材的上下两侧各放置一块面积相等、与带材距离相等的极板作为电容 C_1 、 C_2 的定极板，带材是电容的动极板。总电容 $C_x = C_1 + C_2$ ，作为一个桥臂； C_x 与固定电容 C_0 、变压器 T 的次级线圈 L_1 和 L_2 构成电桥。音频信号经变压器耦合为电桥提供交流电源。如果带材只是上下波动，那么电容的增量一个减少、一个增加，总电容量不变；如果带材的厚度发生变化，那么总电容 C_x 将随之变化，电桥将该信号的变化转化为电压的变化，经放大、整流、差放电路处理后，输出直流信号送到显示器，显示厚度变化值。

主要优点：非接触测量，速度快；灵敏度、精度高；

主要缺点：抗干扰能力较差

- (1) 利用电容测厚仪（电容式位移传感器）进行测量，若薄板（带材）只是上下波动，那么总的容量不会发生变化，若薄板的厚度发生变化，则电容将随之改变，电桥将该信号转换为电压，经放大、整流等电路处理后，输出的直流信号输送到仪器并显示。利用高频反射式涡流传感器，与这个类似。板材上下一定距离处各放一个高频反射式涡流传感器，通过检测距离来检测板材厚度
- (2) 采用低频透射式涡流传感器。将传感器的发射线圈探头和接收线圈探头分别置于金属板上下两侧，金属板产生涡流会消耗发射线圈输出的部分磁场能量，使到达接收线圈的磁力线减少，引起感生电动势的下降。接收线圈输出的感应电压大小与板厚相关，该电压经过检波、滤波处理后，输出直流信号送到显示器，显示厚度变化值。

优点：非接触测量；缺点：测量范围有限

21. 正、逆压电效应？石英晶体压电效应产生的方向和纵向压电效应计算公式。（例题和计算题）

正压电效应：当沿一定方向对某些电介质施加压力或拉力时，其会产生变形，内部发生极化而使其上下两个表面出现正、负电荷聚集的现象；当外力去除后，又恢复到不带电的状态，这种机械能转变为电能的物理现象称为正压电效应。

逆压电效应：在某些电介质的极化方向上施加电场，在一定方向上将产生应力和机械变形，去掉外电场后，应力和变形随之消失，这种电能转变为机械能的物理现象称为逆压电效应。

天然结构石英晶体的理想外形是一个正六面体，在晶体学中用三根互相垂直的轴来表示：纵向对称轴 $Z-Z$ 称为光轴；平行于正六面体棱线，并垂直于光轴的 $X-X$ 轴称为电轴；与 $X-X$ 轴和 $Z-Z$ 轴同时垂直的 $Y-Y$ 轴（垂直于正六面体的棱面）称为机械

轴。通常把沿 X 轴施加作用力并在垂直于 X 轴的晶体表面上产生电荷的现象称为“纵向压电效应”，而把沿 Y 轴施加作用力却在垂直于 X 轴的晶体表面上产生电荷的现象称为“横向压电效应”，沿光轴方向受力则不产生压电效应。

$$Q_x = d_{11}F_x$$

【例 5-1】某压电式传感器由两片石英压电晶片并联而成，每片石英压电晶片的尺寸为 $(50 \times 4 \times 0.3) \text{ mm}^3$ 。以大小为 1 MPa 的压力沿电轴垂直作用在该石英压电晶片上，求此时传感器输出的电荷量和极间电压值。

解：两片石英压电晶片并联时输出的电荷量是单片的 2 倍，因此，根据式（5-8）求得该传感器输出的电荷量，即

$$Q = 2d_{11}F_x = 2d_{11}pS = 2 \times 2.31 \times 10^{-12} \times 1 \times 10^6 \times 50 \times 4 \times 10^{-6} = 924 \times 10^{-12} (\text{C}) = 924 (\text{pC})$$

根据两片石英压电晶片的并联电容是单片电容的 2 倍，则有

$$C = 2 \frac{\epsilon_0 \epsilon_r S}{d} = \frac{2 \times 8.85 \times 10^{-12} \times 4.5 \times 50 \times 4 \times 10^{-6}}{0.3 \times 10^{-3}} = 5.31 \times 10^{-12} (\text{F}) = 5.31 (\text{pF})$$

由计算结果可知，压电元件的电容量很小。

极间电压为

$$U = Q/C = 924/5.31 = 174 (\text{V})$$

22. 石英晶体与压电陶瓷相比有哪些主要优、劣势？

石英晶体：优点：机械性能好；温度稳定性好；居里温度点高；

缺点：压电常数小（比压电陶瓷小很多），因此转换性能差（灵敏度低）；价格贵；

压电陶瓷：缺点：性能不稳定，压电性能有退变；

优点：价格便宜；压电常数大，转换性能好，灵敏度高；频响范围大；

优势：（1）时间和温度稳定性极好。（2）机械强度和品质因素高，刚度大、固有频率高，动态特性好。（3）居里点很高，无热释电性并且绝缘性、重复性均好。适用于高精度场合和标准传感器的制作。

劣势：（1）压电常数小，因此转化性能差；（2）价格贵；（3）频响范围比压电陶瓷小

转换性能：压电陶瓷的压电常数比石英晶体大，压电陶瓷的转换性能比石英晶体好；

机械性能：石英晶体的机械性能比压电陶瓷的好；

频响范围：压电陶瓷的频响范围比石英晶体的大；

稳定性：压电陶瓷的温度稳定性和压电常数稳定性比石英晶体的好；

环境温度适应：石英晶体的工作温度范围大，它的环境温度适应性能比压电陶瓷好。

23. 压电传感器的低频、高频响应特性主要由什么因素决定的？为何压电传感器不能测量静态量？

压电传感器的低频响应特性与时间常数有关，而输入内阻越大，测量回路的时间常数越大，则传感器低频响应也越好。

压电传感器的高频响应特性由传感器机械系统的固有频率 ω_n 决定。

(1) 压电元件本身不是理想的绝缘体，即漏电阻不是无穷大；(2) 输出端外电路负载阻抗不是无穷大（即不满足理想的开路条件），故压电元件受力后产生的电荷（或电压）不能长期保持而不产生泄漏，因此压电传感器不能测量静态量。

24. 为何压电传感器需要前置放大器电路？电压前置放大器、电荷前置放大器各有何优缺点？

压电元件作为有源电容器，存在着高内阻，小功率等缺陷，必须进行前置放大。前置放大器的作用一是能将传感器的微弱信号放大，二是将传感器的高输出阻抗变换为低输出阻抗。

电压前置放大器：优点：电路简单，元件少，价格便宜，工作可靠。缺点：线路的电缆长度对传感器测量精度的影响比较大，在一定程度上限制了压电传感器的应用场合。

电荷前置放大器：优点：在一定条件下，传感器的灵敏度与电缆长度无关。性能较好，适于远距离传输。缺点：电路较复杂，调整也较困难，价格也比电压放大器高。

25. 现需要对某机器运转过程中的振动情况进行监测，假设只需监测机器在 z 方向（垂直地面方向）的振动情况，试提供两种监测方案（采用不同传感器），简述检测原理、信号转换处理主要过程、以及测量方法的优缺点。

1. 电容式加速度传感器：测量时，将传感器基座与试件刚性固定在一起，当传感器受到振动时，传感器内部的质量块在惯性力的作用下偏离中心平衡位置，上、下两个平板电容器的极距产生差动变化，从而使它们的电容产生差动变化，电容变化量与加速度成正比，再通过变压器式交流电桥将电容变化转化为电压变化，再经放大、检波、滤波后可测出试件的加速度，从而检测试件的振动情况。

优点：灵敏度高、零频响应、动态特性好、环境适应性好、受温度影响比较小

缺点：量程有限、易受电缆分布电容的影响、阻抗高

2. 采用压电式加速度传感器（压缩型）：测量时，将传感器基座与试件刚性固定在一起，当传感器受到振动时，可认为传感器内部的质量块与基座共同振动，并受到与加速度方向相反的惯性力作用，质量块就有一个正比于加速度的交变力作用在压电片上，在交变片的两个表面产生交变电荷，当振动频率远低于传感器固有频率时，传感器的输出电荷与作用力成正比，即与加速度成正比。输出电量由传感器输出端引出，再输入前置放大器进一步放大、处理，可测出试件的加速度，从而检测试件的振动情况。

优点：有较好的高频响应特性、重复性和稳定性好、体积小、质量小

缺点：输出阻抗高，输出信号弱，必须经过放大。

3. 采用压阻式加速度传感器：基于半导体材料的压阻效应。测量时，梁的自由端的质量块受到惯性力的作用，悬臂梁将受到弯矩和应力，使电阻值发生变化，电阻的相对变化量和加速度成正比。由四个电阻组成的电桥将产生与加速度成正比的电压输出，再经过放大，即可测出试件的加速度，从而检测试件的振动情况。

优点：

- a. 对底座应变和热瞬变不敏感，在承受大冲击加速度时零漂很小。
 - b. 工作频带很宽，频率响应范围广，可以用于低频振动的测量和持续时间长的冲击测量
- 缺点：输出阻抗高，输出信号弱，必须经过放大。且温度效应严重，灵敏度低

26. 光电效应具体分哪几种？各种光电效应的定义？各自包括哪些常用光电传感元件？

光电效应分为外光电效应和内光电效应两大类。内光电效应根据工作原理的不同可分为光电导效应和光生伏特效应两类。光生伏特效应又可以分为结光电效应和横向光电效应。

光电效应：指光能被物体吸收后转换为该物体中某些电子的能量从而产生的电效应。

外光电效应：在光照射下，物体内的电子逸出物体表面向外发射的现象。

基于外光电效应的光电器件主要有光电管、光倍增管

内光电效应：光照射在物体上，使物体的电阻率 ρ 发生变化，或产生光生电动势的现象。

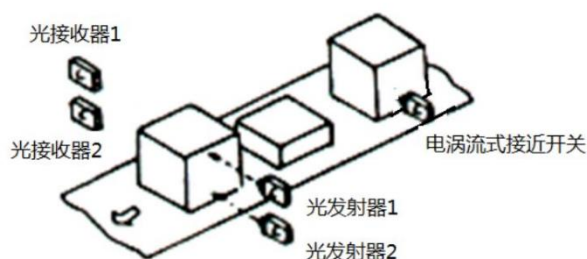
光电导效应：在光照射下，半导体材料中的电子吸收了光子的能量，从键合状态过渡到自由状态，从而引起材料电导率的变化。

基于光电导效应的光电器件主要有光敏电阻。

光生伏特效应：在光照射下，物体内部产生一定方向电动势的现象。

基于光生伏特效应的光电器件主要有光电池、光敏二极管、光敏晶体管、位置敏感探测器和（PSD）象限式光电器件。

27. 现需要对传送带上高度、材质不同的工件进行在线自动分选计数。工件材质包括金属、非金属两种，高度也有两种。请选择合适的传感器，实现对不同高度、材质的工件分选计数。简述检测分选原理和信号转换处理主要过程。



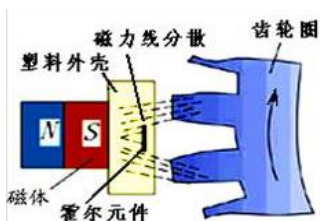
如图所示，采用两个对射式光电接近开关传感器和一个涡流接近开关传感器。涡流接近开关只对金属产生响应，当金属材质物品通过时，涡流接近开关输出计数脉冲，计数1次，累计设为 N_1 ，对应了金属物品的数量。光电对射式接近开关2对高、低物品通过时均产生计数脉冲，累计设为 N_2 ，则 $(N_2 - N_1)$ 值对应了非金属物品数量；光电对射式接近开关1只当高的物品通过时产生光的遮挡，输出计数脉冲，累计设为 N_3 ，此即为高物品数量；而低的物品数量则为 $(N_2 - N_3)$ 。

28. 自动罐装线上需要对罐装液体是否达到灌注高度、是否拧装瓶盖进行检测。假设罐装瓶为透明玻璃瓶，瓶盖为金属，罐装液体为不透明溶液，请选择合适传感器设计自动检测方案，完成对不合格品（溶液未达罐装高度、或未装瓶盖）检测，对合格品实现自动计数。

在检测位置上方一定距离处安装涡流式接近开关传感器，在检测未知左、右，与要求的溶液灌注高度相等处安装对射式光电开关传感器。瓶子由传送带传送至检测位置，

涡流式接近开关只对金属有响应，当瓶子装有瓶盖时，涡流式电感接近开关输出为高电平，否则输出低电平；当瓶子内溶液达到灌装高度时，光发射器发出的光被溶液遮挡，对射式光电开关输出为高电平，否则输出低电平。当两个传感器输出信号均为高电平时，计数器自动加一，实现对合格品计数；否则，控制调节装置将不合格品剔除。

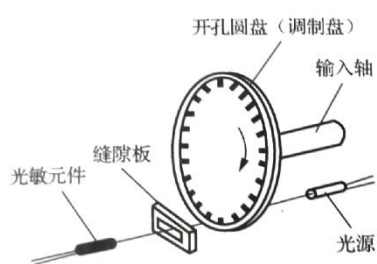
29. 试设计两种转轴转速测量方法，要求选用不同的传感器，简述测量原理、信号转换处理主要过程、以及测量方法的主要优缺点。



1. 采用霍尔片式转速传感器。在被测转速的转轴上安装一个齿盘，将传感器探头靠近齿盘。齿盘的转动使磁路的磁阻随气隙的改变而周期性地变化，霍尔器件感受到的磁场也周期性地变化，其输出的霍尔电势同样周期性地增大减小，将此微小脉冲信号经隔直、放大、整形后可以确定被测物的转速。

优点：输出信号电压幅值不会受到转速的影响；频率响应高；抗电磁波的干扰能力强

缺点：霍尔片式转速传感器的测量必须配合磁场的变化



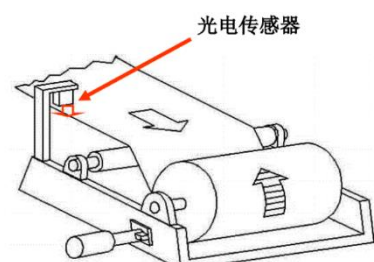
(a) 透射型光电式转速传感器的工作原理示意

2. 采用光电式转速传感器。在被测转速的转轴上安装一个开孔圆盘，光源发出的光通过开孔圆盘和缝隙板照射到光敏元件上，光敏元件将光信号转换为电信号输出。开孔圆盘旋转一周，光敏元件输出的电脉冲个数等于开孔圆盘的孔数。在一定时间内对信号计数便可测出轴的转速值。

优点：非接触测量，不会对被测轴形成额外负载；光电转速传感器的结构紧凑，体积设计小巧。

缺点：光电式转速传感器精度受到光电管体积的限制

30. 简述教材 P202 页“应用示例 3”光电式带材跑偏检测仪测量原理、信号转换处理主要过程、以及测量方法的主要优缺点。试提出另外一种采用其它种类传感器完成带材跑偏检测的方法，简述测量原理、信号转换、处理主要流程，以及测量方法的优缺点。



测量原理：光源发出的光被带材部分或全部遮蔽，使光电传感器接收的光通量发生变化，从而反映出带材的位置特征。当带材处于正确位置时，放大器输出电压为零；当带材跑偏时，遮光面积变化，光电传感器接收的光通量发生改变，光敏电阻的阻值发生改变，电桥失去平衡；光通量增加时，输出电压为正，光通量减小时，输出电压为负；输出信号经功率放大器放大后驱动位置调

节装置，实现带材走偏量的自动纠正。

具有光电传感器普遍的测量优点：非接触、响应快、灵敏度较高。

缺点：环境适应性差

用两个高频反射式涡流传感器，各置于带材两侧，形成差动测量形式。带材位于中间位置时，电桥电路输出的电压为 0。带材跑偏后，一边距离增大、一边减小，两个涡流传感器阻抗发生差动变化，将两个涡流传感器接入差动电桥电路，转换成电压变化。电压幅值反映跑偏量，相位反映跑偏方向。该电压需要放大、相敏检波、滤波，则根据滤波后输出电压的大小、正负去调整传动装置，进行纠偏。

涡流测距大概能测几个毫米变化、精度可以达到零点几微米，精度高，而且也是非接触检测。反射式涡流传感器激励频率一般较高（兆赫数量级），所以动态响应特性好，在带材碰撞传感器之前就可以（而且必须）让系统纠偏。对环境要求低

31. 莫尔条纹有哪些特性？光栅传感器是如何利用莫尔条纹实现测量的？

（1）运动对应关系。莫尔条纹的移动量和移动方向与两块光栅的相对位移量和位移方向有着严格的对应关系。

（2）位移放大作用。莫尔条纹有位移放大作用，放大倍数为 $1/\theta$

（3）误差平均效应。莫尔条纹由光栅的大量刻线形成，对线纹的刻划误差有平均作用。

光栅传感器通过光栅副将光栅的相对位移量转换为莫尔条纹的明暗强弱周期性变化，光电元件将莫尔条纹的明暗强弱变化转换为电量输出。光栅传感器由光源、透镜、主光栅、指示光栅和光电元件构成。光源发出的光线经过透镜后成平行光投向光栅，主光栅与指示光栅在平行光照射下，形成莫尔条纹，光电元件将莫尔条纹的明暗强弱变化转换为电量输出。

32. 如何提高光栅传感器的分辨力？

采用细分技术、减小光栅栅距

33. 热电偶的三个工作定律是什么？它们在热电偶应用中有何实际作用？

（1）均质导体定律：由一种均质导体构成的闭合回路无论导体的截面积和长度如何，也不论各处的温度分布如何，都不会产生热电动势。应用：用于检验热电偶电极丝材质的均匀性。

（2）中间导体定律：在热电偶回路中接入中间导体，只要导体两端温度相同，中间导体的引入对热电偶回路总电势没有影响。应用：为在热电偶回路中接入测量仪表及使用廉价延伸热电极提供了依据。

（3）中间温度定律：热电偶回路两个接点温度分别为 T 、 T_0 的热电偶的电动势等于该热电偶在两个接点温度分别为 T 、 T_n 和 T_n 、 T_0 时的热电动势的代数和。应用：中间温度定律为热电偶冷端温度补偿提供了理论依据，是制定热电偶分度表的理论基础。

34. 用热电偶测温时为什么需要考虑冷端温度补偿？常用消除/补偿误差方法有哪些？简述其中一种补偿原理。

根据热电偶测温原理，要求热电偶参考端温度恒定，一般恒定在 0°C 。同时热电偶分度表又是在参考端温度为 0°C 的条件下制作的，显示仪表按分度表刻度，在使用中应使热电偶参考端温度保持在 0°C ，如果不是 0°C ，甚至是波动的，则必须对参考端温度进行补偿。

常用的方法有：0℃恒温法、温度修正法、补偿系数修正法、补偿电桥法、补偿导线法。

补偿系数修正法：把参考端温度 T_0 乘以系数 k , 再与由热电动势 $E_{AB}(T, T_0)$ 查分度表后所得的温度 T_1 相加，得到被测实际温度 T ： $T=T_1+kT_0$

35. 与热电阻相比，热敏电阻有哪些主要优势和特点？

- (1) 电阻温度系数大，灵敏度高，约为热电阻的十倍；可以测出 0.001~0.005℃ 的微小温度变化；
- (2) 结构简单，体积小，直径可小到 0.5mm，可以测量点温度；
- (3) 电阻率高，热惯性小，响应快，响应时间可短到毫秒级，适宜动态测量；
- (4) 易于维护和进行远距离测控，因为元件本身的电阻值大，其值可达 3~700kΩ，当进行远距离测量时，导线电阻的影响可不考虑。

36. 为何热电阻测温电桥要采用三线制？热敏电阻测温电桥需要吗？

采用三线制是为了消除连接导线电阻引起的测量误差。这是因为测量热电阻的电路一般是不平衡电桥。热电阻作为电桥的一个桥臂电阻，其连接导线（从热电阻到中控室）也成为桥臂电阻的一部分，这一部分电阻是未知的且随环境温度变化，造成测量误差。采用三线制，将导线一根接到电桥的电源端，其余两根分别接到热电阻所在的桥臂及与其相邻的桥臂上，这样消除了导线线路电阻带来的测量误差。

热敏电阻测温电桥不需要。热敏电阻本身的电阻很大，而且其灵敏度高，电阻随温度变化大，引线电阻对热敏电阻电桥影响很小

37. 现欲设计一款大型粮仓温度检测控制系统，要求实现温度多点检测，选用什么温度传感器比较合适？简述选择理由。

比较建议用 AD590 电流式集成温度传感器或 DS18B20 这一类数字温度传感器，原因是：

1. AD590 是电流型温度传感器，线性度好、精度高，满足量程要求，便宜、体积小。而且输出电流，信号可以远距离传输而衰减很小。在系统构成上仍需要设计相关电路，二次开发工作量比较大。
2. DS18B20 这类数字温度传感器输出数字信号，线性度好、精度高，量程满足要求，体积小，价格不算贵。而且与计算机接口方便，基本不需要在电路方面做进一步开发。重要的是，传输距离也比较长，且 DS18B20 每片都有唯一编号，采用 1-wire 总线，可以在一条接口线上挂 N 片 DS18B20，实现多点测量很方便。而且最最方便的是，DS18B20 可以工作在寄生电源方式，是不需要供电电源就可以工作的。

38. 接触测温 and 辐射测温各有什么特点？

接触测温：传感器直接与被测物体接触，通过热交换达到热平衡，传感器对应物理参数的大小反映了温度的高低。由于接触测温时被测物体的热量传递给传感器，降低了被测物体的温度，因此采用接触测温时要求被测物体的热容量必须远大于温度传感器。

辐射测温：利用不同温度的物体产生的热辐射差异实现温度测量，这种测温方法可以远距离测量物体的温度，具有较高的测温上限，并且响应快，便于测量运动物体的温度和快速变化的温度。

39. //（考试不考）智能化传感器具有哪些主要优势？

具有精度高、可靠性与稳定性高、信噪比与分辨力高、自适应性强、性价比高等优点。

40. //（考试不考）什么是传感器的标定？一般采用的标定方法是什么？

传感器的标定就是利用精度高一级的标准器具对传感器进行定度的过程。

静态特性标定：绝对法，比较法

动态特性标定：阶跃响应法，频率响应法