

第0章

❁ 0.1

答：传感器处于研究对象与测试系统的接口位置，即检测与控制之首。传感器是感知、获取与检测信息的窗口，一切科学研究与自动化生产过程要获取的信息都要通过传感器获取并通过它转换成容易传输与处理的电信号，其作用与地位特别重要。

第0章

❁ 0.2

答：①敏感元件：指传感器中直接感受被测量的部分。

②传感器：能感受规定的被测量并按照一定规律转换成可用输出信号的器件或装置，通常由敏感元件和转换元件组成。

③信号调理器：对于输入和输出信号进行转换的装置。

④变送器：能输出标准信号的传感器。

第1章

🌸 1.1

解:

$$k = \frac{\Delta U}{\Delta X} = \frac{300 \times 10^3}{5 \times 10^{-3}} = 60$$

🌸 1.2

解:

$$S = S_1 \times S_2 \times S_3 = 0.2 \times 2.0 \times 5.0 = 2 \text{ mm}/^\circ\text{C}$$

第1章

1.3

解:

$$y = kx + b \quad \Delta_i = y_i - (kx_i + b)$$

$$k = \frac{n\sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

$$b = \frac{(\sum x_i^2 \sum y_i - \sum x_i \sum x_i y_i)}{n\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

带入数据得: $k = 0.68 \quad b = 0.25$

第1章

❁ 1.3

$$\therefore y = 0.68x + 0.25$$

$$\Delta_1 = 0.238 \quad \Delta_2 = -0.35 \quad \Delta_3 = -0.16$$

$$\Delta_4 = -0.11 \quad \Delta_5 = -0.126 \quad \Delta_6 = -0.194$$

$$\gamma_L = \pm \frac{\Delta L_{\max}}{y_{FS}} \times 100\% = \pm \frac{0.35}{5} = \pm 7\%$$

拟合直线灵敏度 0.68, 线性度 $\pm 7\%$

第1章

❁ 1.4

解：设温差为R, 测此温度传感器受幅度为R的阶跃响应为(动态方程不考虑初态)

$$y(t) = R(1 - e^{-t/3})$$

$$\text{当 } y(t) = \frac{R}{3} \text{ 时 } \Rightarrow t = -3 \ln \frac{2}{3} = 1.22$$

$$\text{当 } y(t) = \frac{R}{2} \text{ 时 } \Rightarrow t = -3 \ln \frac{1}{2} = 2.08$$

第1章

❁ 1.5

解：此题与炉温实验的测飞升曲线类似：

$$y(t) = 10 + 90(1 - e^{-t/T}) \quad \text{由} \quad y(5) = 50 \Rightarrow T = -\frac{5}{\ln \frac{5}{9}} = 8.51$$

❁ 1.6

解：

$$\begin{cases} y(t) = 25 - 20(1 - e^{-t/T}) \\ T = 0.5 \end{cases} \quad \begin{aligned} y(1) &= 7.68 \\ y(2) &= 5.36 \end{aligned}$$

第1章

1.7

解:

$$G(j\omega) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2} \Big|_{s=j\omega} = \frac{1}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2 + 2j\xi \frac{\omega}{\omega_n}}$$

$$|G(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right]^2 + \left[2\xi \frac{\omega}{\omega_n}\right]^2}} = \frac{1}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{500}{1000}\right)^2\right]^2 + \left[2 \times 0.5 \times \frac{500}{1000}\right]^2}} = 1.109$$

$$\varphi = -\operatorname{tg}^{-1} \frac{2\xi \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2} = -\operatorname{tg}^{-1} \frac{2 \times 0.5 \times \frac{500}{1000}}{1 - \left(\frac{500}{1000}\right)^2} = -33^\circ 42'$$

所求幅值误差为1.109, 相位滞后 $33^\circ 42'$

第1章

❁ 1.8

答：静特性是当输入量为常数或变化极慢时，传感器的输入输出特性，其主要指标有线性度、迟滞、重复性、分辨力、稳定性、温度稳定性、各种抗干扰稳定性。

❁ 1.9

答：传感器的静特性由静特性曲线反映出来，静特性曲线由实际测绘中获得。

❁ 1.10

答：人们根据传感器的静特性来选择合适的传感器。

第1章

❁ 1.11

解：①理论线性度：
$$\gamma_L = \pm \frac{\Delta L_{\max}}{y_{FS}} \times 100\% = \pm \frac{12.05 - 2 \times 6}{12.05} = \pm 0.4\%$$

②端点线性度：

由两 endpoint 做拟和直线 $y = 1.97x + 0.23$

中间四点与拟合直线误差：0.17 0.16 0.11 0.08

所以，
$$\gamma_L = \pm \frac{\Delta L_{\max}}{y_{FS}} \times 100\% = \pm \frac{0.17}{12.05} = \pm 1.41\%$$

第1章

❁ 1.11

③最小二乘线性度:

$$k = \frac{n\sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} = \frac{6 \times 182.54 - 21 \times 42.23}{6 \times 91 - 21 \times 21} = \frac{208.41}{105} = 1.98$$

$$b = \frac{(\sum x_i^2 \sum y_i - \sum x_i \sum x_i y_i)}{n\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} = \frac{91 \times 42.23 - 21 \times 182.54}{6 \times 91 - 21 \times 21} = \frac{9.59}{105} = 0.09$$

所以, $y = kx + b = 1.98x + 0.09$

第1章

❁ 1.11

$$\Delta_i = y_i - (kx_i + b)$$

$$\Delta_1 = 0.07 \quad \Delta_2 = 0.05 \quad \Delta_3 = 0.05$$

$$\Delta_4 = 0.11 \quad \Delta_5 = -0.11 \quad \Delta_6 = -0.08$$

$$\gamma_L = \pm \frac{\Delta L_{\max}}{y_{FS}} \times 100\% = \pm \frac{0.11}{12.05} = \pm 0.09\%$$

第1章

❁ 1.12

解:

$$\textcircled{1} \gamma_H = \pm 0.5 \frac{\Delta H_{\max}}{y_{FS}} \times 100\%$$

$$\Delta H_{\max 1} = 1.5 \quad \Delta H_{\max 2} = 1.3 \quad \Delta H_{\max 3} = 1.8$$

$$\gamma_{H1} = 0.08\% \quad \gamma_{H2} = 0.07\% \quad \gamma_{H3} = 0.09\%$$

$$\textcircled{2} \gamma_R = \pm \frac{\Delta R_{\max}}{y_{FS}} \times 100\% = \pm \frac{1.1}{965.7} \times 100\% = \pm 0.11\%$$

第1章

❁ 1.13

解：质量块(质量 m)，弹簧(刚度 c)，阻尼器(阻尼系数 b)
根据达朗贝尔原理：

$$F_m + F_c + F_b - F = 0$$

$$m \frac{dv}{dt} + c \int v dt + bv = F$$

第2章

2.1

解: $\because \Delta y = 0.3\text{mm}, R_n = 10.0004\Omega$

$$\therefore S_r = \frac{\Delta y}{\Delta x} \times 100\% = \frac{\Delta y}{\frac{\Delta R_n}{R_n} \times 100\%} = 1\text{mm} / 0.01\%$$

2.2

证: $R_1 = R + \Delta R \quad R_4 = R - \Delta R$

$$U_{cd} = U_{cb} - U_{db} = \frac{R}{R + \Delta R + R} E - \frac{R}{R - \Delta R + R} E = -\frac{2R\Delta R}{4R^2 - \Delta R^2} E$$

略去 ΔR 的第二项, 即可得 $U_{cd} = -\frac{E}{2} \cdot \frac{\Delta R}{R}$

第2章

2.3

答：①金属电阻应变片由四部分组成：敏感栅、基底、盖层、粘结剂、引线。分为金属丝式和箔式。

②其主要特性参数：灵敏系数、横向效应、机械滞后、零漂及蠕变、温度效应、应变极限、疲劳寿命、绝缘电阻、最大工作电流、动态响应特性。

2.4

答：① $m = \frac{R_{\max}}{R_L} \because m < 0.1 \therefore R_L > 10R_{\max}$

$$\text{② } \gamma = \frac{1}{2} \delta = \left[1 - \frac{1}{1 + m\gamma(1 - \gamma)} \times 100\% \right] < 0.1$$

$$\therefore m > 0.4 \therefore R_{\max} > 0.4R_L$$

第2章

✿ 2.5

解：①图 2-32 (c)

②圆桶截面积 $A = \pi(R^2 - r^2) = 59.7 \times 10^{-6}$

应变片 1, 2, 3, 4 感受的是纵向应变, 有

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon_3 = \varepsilon_4 = \varepsilon_x$$

应变片 5, 6, 7, 8 感受的是纵向应变, 有

$$\varepsilon_5 = \varepsilon_6 = \varepsilon_7 = \varepsilon_8 = \varepsilon_y$$

第2章

2.5

$$\begin{aligned}\Delta U &= \frac{U}{4} \left(\frac{\Delta R_1 - \Delta R_5 + \Delta R_2 - \Delta R_6}{R} \right) = \frac{U}{4} K (\varepsilon_1 - \varepsilon_5 + \varepsilon_2 - \varepsilon_6) \\ &= \frac{U}{2} K (\varepsilon_x + \varepsilon_y) = \frac{U}{2} K (1 + \mu) \varepsilon_x = \frac{U}{2} K (1 + \mu) \frac{F}{AE}\end{aligned}$$

其中 A 为圆桶的截面积, μ 为泊桑比, E 为弹性模量, F 为外加负载力, K 为灵敏系数.

第2章

2.5

满量程时: $\Delta R_1 = \Delta R_2 = \Delta R_3 = \Delta R_4 = K \varepsilon_x R = K \frac{F}{AE} R$

$$= 2.0 \times \frac{10 \times 10^3}{59.7 \times 10^{-6} \times 2.1 \times 10^{11}} \times 120 = 0.191 \Omega$$

$$\Delta R_5 = \Delta R_6 = \Delta R_7 = \Delta R_8 = -\mu \Delta R_1 = -0.3 \times 0.191 = 0.057$$

$$\textcircled{3} \Delta U = \frac{U}{2} K (1 + \mu) \frac{F}{AE}$$

$$= \frac{10}{2} \times 2.0 \times (1 + 0.3) \frac{F}{59.7 \times 10^{-6} \times 2.1 \times 10^4} = 1.037 \times 10^{-6} F$$

第2章

✿ 2.6

解：①当 $R_F = 50\Omega$ $m = \frac{R_P}{R_F} = \frac{100}{50} = 2$

$$r_n = \frac{R_{xn}}{R_P} \quad Y_n = \frac{r_n}{1 + r_n m(1 - r_n)} \quad n = [1,10], n \in N$$

$$R_{x1} = 10, R_{x2} = 20, R_{x3} = 30, R_{x4} = 40, R_{x5} = 50,$$

$$R_{x6} = 60, R_{x7} = 70, R_{x8} = 80, R_{x9} = 90, R_{x10} = 100$$

$$r_1 = 0.1, r_2 = 0.2, r_3 = 0.3, r_4 = 0.4, r_5 = 0.5$$

$$r_6 = 0.6, r_7 = 0.7, r_8 = 0.8, r_9 = 0.9, r_{10} = 1.0$$

第2章

2.6

$$Y_1 = \frac{5}{59}, Y_2 = \frac{5}{33}, Y_3 = \frac{15}{71}, Y_4 = \frac{10}{37}, Y_5 = \frac{1}{3},$$

$$Y_6 = \frac{15}{37}, Y_7 = \frac{35}{71}, Y_8 = \frac{20}{33}, Y_9 = \frac{45}{59}, Y_{10} = 1$$

②当 $R_F = 500\Omega$ $m = \frac{R_P}{R_F} = \frac{100}{500} = 0.2$

$$Y_1 = \frac{5}{509}, Y_2 = \frac{25}{129}, Y_3 = \frac{150}{521}, Y_4 = \frac{50}{131}, Y_5 = \frac{10}{21},$$

$$Y_6 = \frac{75}{131}, Y_7 = \frac{350}{521}, Y_8 = \frac{100}{129}, Y_9 = \frac{450}{509}, Y_{10} = 1$$

2.7 略

第2章

2.8

解: $m = \frac{R_P}{R_F} = \frac{1000}{3000} = \frac{1}{3}$ $r_n = \frac{R_{xn}}{R_P}$ $Y_n = \frac{r_n}{1 + r_n m (1 - r_n)}$ $n = [1, 10], n \in N$

$$R_{x1} = 100, R_{x2} = 200, R_{x3} = 300, R_{x4} = 400, R_{x5} = 500,$$

$$R_{x6} = 600, R_{x7} = 700, R_{x8} = 800, R_{x9} = 900, R_{x10} = 1000$$

$$r_1 = 0.1, r_2 = 0.2, r_3 = 0.3, r_4 = 0.4, r_5 = 0.5$$

$$r_6 = 0.6, r_7 = 0.7, r_8 = 0.8, r_9 = 0.9, r_{10} = 1.0$$

$$Y_1 = \frac{10}{103}, Y_2 = \frac{15}{79}, Y_3 = \frac{30}{109}, Y_4 = \frac{10}{27}, Y_5 = \frac{6}{13},$$

$$Y_6 = \frac{5}{9}, Y_7 = \frac{70}{107}, Y_8 = \frac{60}{79}, Y_9 = \frac{90}{103}, Y_{10} = 1$$

第2章

❁ 2.9

答：①在外界温度变化的条件下，由于敏感栅温度系数 α_t 及栅丝与试件膨胀系数（ β_g 与 β_s ）之差异性而产生虚假应变输出有时会产生与真实应变同数量级的误差。

②方法：自补偿法 线路补偿法

第2章

🌸 2.10

解:

$$\varepsilon_x = \frac{6(l-x)F}{WEt^2} = \frac{6 \times (0.25 - \frac{0.25}{2}) \times 0.5}{0.06 \times 70 \times 10^5 \times (0.003)^2} = 0.10$$

$$\Delta R = kR_0 \varepsilon_x = 2.1 \times 120 \times 0.10 = 25.2 \Omega$$

$$R_1 = R_3 = R_0 + \Delta R = 120 + 25.2 = 145.2 \Omega$$

$$R_2 = R_4 = R_0 - \Delta R = 120 - 25.2 = 94.8 \Omega$$

第2章

✿ 2.11

解:

$$\varepsilon = \frac{6(l-x)F}{WEt^2} = \frac{12.5}{0.63}$$

$$\Delta R = kR\varepsilon = 2.1 \times 20 \times \frac{12.5}{0.63} = \frac{350}{0.3}$$

$$\frac{U}{2} = 30\text{mA} \times 120\Omega = 3.6\text{V} \quad , \quad U = 7.2\text{V}$$

$$U = \frac{U}{4} \times \frac{\Delta R}{R} = \frac{7.2}{4} \times \frac{350}{0.3} \times \frac{1}{120} = 17.5\text{V}$$

第3章

3.1

答：①种类：自感式、涡流式、差动式、变压式、压磁式、感应同步器

②原理：自感、互感、涡流、压磁

3.2

答：
$$L_0 = \frac{W^2 \mu_0 S_0}{2l_0}$$

$$\Delta L = L - L_0 = \frac{W^2 \mu_0 S_0}{2(l_0 + \Delta l)} - \frac{W^2 \mu_0 S_0}{2l_0} = \frac{W^2 \mu_0 S_0}{2l_0} \left(\frac{l_0}{l_0 + \Delta l} - 1 \right)$$

差动式灵敏度：
$$S = -\frac{2L_0}{l_0} \left[1 - \frac{\Delta l}{l_0} + \left(\frac{\Delta l}{l_0} \right)^2 + \dots \right]$$

第3章

3.2

单极式传感器灵敏度：
$$S = -\frac{L_0}{l_0} \left[1 - \frac{\Delta l}{l_0} + \left(\frac{\Delta l}{l_0} \right)^2 + \dots \right]$$

比较后可见灵敏度提高一倍，非线性大大减少。

3.3

答：相敏检测电路原理是通过鉴别相位来辨别位移的方向，即差分变压器输出的调幅波经相敏检波后，便能输出既反映位移大小，又反映位移极性的测量信号。经过相敏检波电路，正位移输出正电压，负位移输出负电压，电压值的大小表明位移的大小，电压的正负表明位移的方向。

第3章

✿ 3.4

答：①原因是改变了空气隙长度

②改善方法是让初始空气隙距离尽量小，同时灵敏度的非线性也将增加，这样的话最好使用差动式传感器，

$$S = -\frac{2L_0}{l_0} \left[1 - \frac{\Delta l}{l_0} + \left(\frac{\Delta l}{l_0} \right)^2 + \dots \right]$$

其灵敏度增加非线性减少。

第3章

3.5

解:

$$\Phi = \frac{IW}{R_m}, \quad L = \frac{\Psi}{I} = \frac{W\Phi}{I} = \frac{W^2}{R_m}$$

$$\text{又 } R_m = \sum_{i=1}^n \frac{l_i}{\mu_i S_i} + 2 \frac{l_0}{\mu_0 S_0} = R + R_0$$

$$\begin{aligned} R &= \sum_{i=1}^n \frac{l_i}{\mu_i S_i} \\ &= \frac{0.045}{10^4 \times 0.002 \times 0.003} + \frac{0.016}{10^4 \times 0.015 \times 0.003} + \frac{0.045}{10^4 \times 0.010 \times 0.003} \\ &= 1.256 \Omega \end{aligned}$$

第3章

✿ 3.5

$$R_0 = 2 \frac{l_0}{\mu_0 S_0} = 2 \times \frac{0.002}{4\pi \times 10^{-7} \times 30 \times 15} = 7.07 \Omega$$

①空气气隙为零时:

$$L = \frac{W^2}{R} = \frac{(200)^2}{1.256} = 3.2 \times 10^4 H$$

②空气气隙为2mm时:

$$L = \frac{W^2}{R + R_0} = \frac{(200)^2}{1.256 + 7.07} = 4.8 \times 10^3 H$$

第3章

3.6

解：设 $y = bx + a$ 又有 $f = e^{ax+b} + f_{\infty}, f_{\infty} = 2.333$

重写表格如下：

x	0.3	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
f	2.523	2.502	2.461	2.432	2.410	2.380	2.362	2.351	2.343
y	-1.66	-1.78	-2.06	-2.31	-2.56	-3.06	-3.54	-4.02	-4.61

最小二乘法做直线拟和：

$$k = a = \frac{n\sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} = \frac{9 \times (-83.133) - 23.3 \times (-25.6)}{9 \times 93.59 - 542.89} = -0.51$$

$$b = \frac{(\sum x_i^2 \sum y_i - \sum x_i \sum x_i y_i)}{n\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} = \frac{93.59 \times (-25.6) - 23.3 \times (-83.133)}{9 \times 93.59 - 542.89} = -1.53$$

第3章

3.6

$$y = ax + b = -0.51x - 1.53$$

$$\Delta_i = y_i - (kx_i + b)$$

$$\Delta_1 = 0.023 \quad \Delta_2 = 0.005 \quad \Delta_3 = -0.02 \quad \Delta_4 = -0.015$$

$$\Delta_5 = -0.01 \quad \Delta_6 = 0.00 \quad \Delta_7 = 0.03 \quad \Delta_8 = 0.06 \quad \Delta_9 = -0.02$$

$$\therefore \gamma_L = \pm \frac{\Delta L_{\max}}{y_{FS}} \times 100\% = \pm \frac{0.06}{2.95} = \pm 0.02\%$$

工作特性方程: $f = e^{-0.51x - 1.53} + 2.333$

第3章

❁ 3.7

答：应用场合有低频透射涡流测厚仪，探伤，描述转轴运动轨迹仪。

❁ 3.8

答：①压磁效应：某些铁磁物质在外界机械力的作用下，其内部产生机械应力，从而引起磁导率的改变的现象。只有在一定条件下压磁效应才有单位特性，但不是线性关系。

②应变效应：导体产生机械变形时，它的电阻值相应发生变化。在电阻丝拉伸比例极限内，电阻的相对变化与应变成正比。

第4章

4.1

解：差动式电容传感器的灵敏度：

$$\begin{aligned} \Delta C &= C_+ - C_- = \frac{\varepsilon S}{d_0 - \Delta d} - \frac{\varepsilon S}{d_0 + \Delta d} = \frac{\varepsilon S}{d_0 \left(1 - \frac{\Delta d}{d_0}\right)} - \frac{\varepsilon S}{d_0 \left(1 + \frac{\Delta d}{d_0}\right)} \\ &= \frac{\varepsilon S}{d_0} \left\{ \left[\left(1 + \frac{\Delta d}{d_0} + \left(\frac{\Delta d}{d_0}\right)^2 + \left(\frac{\Delta d}{d_0}\right)^3 + \dots\right) \right] - \left[\left(1 - \frac{\Delta d}{d_0} + \left(\frac{\Delta d}{d_0}\right)^2 - \left(\frac{\Delta d}{d_0}\right)^3 + \dots\right) \right] \right\} \\ &= \frac{2\varepsilon S}{d_0} \left[\frac{\Delta d}{d_0} + \left(\frac{\Delta d}{d_0}\right)^3 + \left(\frac{\Delta d}{d_0}\right)^5 + \dots \right] \\ k_e &= \frac{\Delta C}{\Delta d} = \frac{2\varepsilon S}{d_0^2} \left[\left(1 + \left(\frac{\Delta d}{d_0}\right)^2 + \left(\frac{\Delta d}{d_0}\right)^4 + \dots\right) \right] = \frac{2c_0}{d_0} \left[\left(1 + \left(\frac{\Delta d}{d_0}\right)^2 + \left(\frac{\Delta d}{d_0}\right)^4 + \dots\right) \right] \end{aligned}$$

单极式电容传感器： $k_e = \frac{\Delta C}{\Delta d} = \frac{c_0}{d_0} \left[\left(1 + \left(\frac{\Delta d}{d_0}\right)^2 + \left(\frac{\Delta d}{d_0}\right)^4 + \dots\right) \right]$

可见差动式电容传感器的灵敏度比单极式提高一倍，而且非线性也大为减小。

第4章

4.2

答：原理：由物理学知，两个平行金属极板组成的电容器。如果不考虑其边缘效应，其电容为 $C = \epsilon S/D$ 式中 ϵ 为两个极板间介质的介电常数， S 为两个极板对有效面积， D 为两个极板间的距离。由此式知，改变电容 C 的方法有三：

其一为改变介质的介电常数；其二为改变形成电容的有效面积；其三为改变各极板间的距离，而得到的电参数的输出为电容值的增量 这就组成了电容式传感器。

第4章

4.2

类型：变极距型电容传感器、变面积型电容传感器、变介电常数型电容传感器。

电容传感器可用来测量直线位移、角位移、振动振幅。尤其适合测温、高频振动振幅、精密轴系回转精度、加速度等机械量。还可用来测量压力、差压力、液位、料面、粮食中的水分含量、非金属材料的涂层、油膜厚度、测量电介质的湿度、密度、厚度等

第4章

4.3

答：可选用差分式电容压力传感器，通过测量筒内水的重力，来控制注水数量。或者选用应变片式液径传感器。

4.4

答：①优点：a温度稳定性好

b结构简单、适应性强

c动响应好

②缺点：a可以实现非接触测量，具有平均效应

b输出阻抗高、负载能力差

c寄生电容影响大

第4章

4.4

③输出特性非线性:

电容传感器作为频响宽、应用广、非接触测量的一种传感器，在位移、压力、厚度、物位、湿度、振动、转速、流量及成分分析的测量等方面得到了广泛的应用。

使用时要注意保护绝缘材料的的绝缘性能；消除和减小边缘效应；消除和减小寄生电容的影响；防止和减小外界的干扰。

4.5

解:

$$C = \frac{\varepsilon_0^2 \varepsilon_1 \varepsilon_2 (l-x)w}{(\delta-d)\varepsilon_0 \varepsilon_1 + \varepsilon_0 \varepsilon_2 d} + \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_1 xw}{\delta}$$

第4章

✿ 4.6 略

✿ 4.7

答：工作原理：假设传感器处于初始状态，即 $C_{x1} = C_{x2} = C_0$
且A点为高电平，即 $U_a = U$ ；而B点为低电平，即 $U_b = 0$
差分脉冲调宽型电路的特点就在于它的线性变换特性。

第5章

5.1

答：磁电式传感器是通过磁电作用将被测量转换为电信号的一种传感器。

电感式传感器是利用线圈自感或互感的变化来测量的一种装置。

磁电式传感器具有频响宽、动态范围大的特点。而电感式传感器存在交流零位信号，不宜于高频动态信号检测；其响应速度较慢，也不宜做快速动态测量。

磁电式传感器测量的物理参数有：磁场、电流、位移、压力、振动、转速。

第5章

❁ 5.2

答：霍尔组件可测量磁场、电流、位移、压力、振动、转速等。

霍尔组件的不等位电势是霍尔组件在额定控制电流作用下，在无外加磁场时，两输出电极之间的空载电势，可用输出的电压表示。

温度补偿方法：

a分流电阻法：

- 适用于恒流源供给控制电流的情况。

b电桥补偿法

第5章

5.3

答：一块长为 l 、宽为 d 的半导体薄片置于磁感应强度为 B 的磁场（磁场方向垂直于薄片）中，当有电流 I 流过时，在垂直于电流和磁场的方向上将产生电动势 U_H 。这种现象称为霍尔效应。霍尔组件多用N型半导体材料，且比较薄。

霍尔式传感器转换效率较低，受温度影响大，但其结构简单、体积小、坚固、频率响应宽、动态范围（输出电势变化）大、无触点，使用寿命长、可靠性高、易微型化和集成电路化，因此在测量技术、自动控制、电磁测量、计算装置以及现代军事技术等领域中得到广泛应用。

第6章

6.1

答：某些电介质在沿一定的方向受到外力的作用变形时，由于内部电极化现象同时在两个表面上产生符号相反的电荷，当外力去掉后，恢复到不带电的状态；而当作用力方向改变时，电荷的极性随着改变。晶体受力所产生的电荷量与外力的大小成正比。这种现象称为正压电效应。反之，如对晶体施加一定变电场，晶体本身将产生机械变形，外电场撤离，变形也随之消失，称为逆压电效应。

压电材料有：石英晶体、一系列单晶硅、多晶陶瓷、有机高分子聚合材料

第6章

6.1

结构和应用特点:

在压电式传感器中，为了提高灵敏度，往往采用多片压电芯片构成一个压电组件。其中最常用的是两片结构；根据两片压电芯片的连接关系，可分为串联和并联连接，常用的是并联连接，可以增大输出电荷，提高灵敏度。

使用时，两片压电芯片上必须有一定的预紧力，以保证压电组件在工作中始终受到压力作用，同时可消除两片压电芯片因接触不良而引起的非线性误差，保证输出信号与输入作用力间的线性关系

第6章

❁ 6.1

因此需要测量电路具有无限大的输入阻抗。但实际上这是不可能的，所以压电传感器不宜作静态测量，只能在其上加交变力，电荷才能不断得到补充，并给测量电路一定的电流。故压电传感器只能作动态测量。

❁ 6.2

答：如作用在压电组件上的力是静态力，则电荷会泄露，无法进行测量。所以压电传感器通常都用来测量动态或瞬态参量。

第6章

6.3

答：石英晶体整个晶体是中性的，受外力作用而变形时，没有体积变形压电效应，但它具有良好的厚度变形和长度变形压电效应。压电陶瓷是一种多晶铁电体。原始的压电陶瓷材料并不具有压电性，必须在一定温度下做极化处理，才能使其呈现出压电性。所谓极化，就是以强电场使“电畴”规则排列，而电畴在极化电场除去后基本保持不变，留下了很强的剩余极化。

当极化后的铁电体受到外力作用时，其剩余极化强度将随之发生变化，从而使一定表面分别产生正负电荷。

第6章

❁ 6.3

在极化方向上压电效应最明显。铁电体的参数也会随时间发生变化—老化，铁电体老化将使压电效应减弱。

❁ 6.4

答：基本考虑点是如何更好的改变传感器的频率特性，以使传感器能用于更广泛的领域。

❁ 6.5 略

第7章

7.1

答：当用光照射物体时，物体受到一连串具有能量的光子的轰击，于是物体材料中的电子吸收光子能量而发生相应的电效应（如电阻率变化、发射电子或产生电动势等）。这种现象称为光电效应。

7.2

答：①吸收性损耗：吸收损耗与组成光纤的材料的中子受激和分子共振有关，当光的频率与分子的振动频率接近或相等时，会发生共振，并大量吸收光能量，引起能量损耗。

②散射性损耗：是由于材料密度的微观变化、成

第7章

7.2

分起伏，以及在制造过程中产生的结构上的不均匀性或缺陷引起。一部分光就会散射到各个方向去，不能传输到终点，从而造成散射性损耗。

③辐射性损耗：当光纤受到具有一定曲率半径的弯曲时，就会产生辐射磁粒。

a弯曲半径比光纤直径大很多的弯曲

b微弯曲：当把光纤组合成光缆时，可能使光纤的轴线产生随机性的微曲。

第7章

7.3

答：光导纤维工作的基础是光的全内反射，当射入的光线的入射角大于纤维包层间的临界角时，就会在光纤的接口上产生全内反射，并在光纤内部以后的角度反复逐次反射，直至传递到另一端面。

优点：

a具有优良的传光性能，传导损耗小

b频带宽，可进行超高速测量，灵敏度和线性度好

c能在恶劣的环境下工作，能进行远距离信号的传

送

第7章

7.3

功能型光纤传感器其光纤不仅作为光传播的波导，而且具有测量的功能。它可以利用外界物理因素改变光纤中光的强度、相位、偏振态或波长，从而对外界因素进行测量和数据传输。

第7章

7.4

答：CCD是一种半导体器件，在N型或P型硅衬底上生长一层很薄的SiO₂，再在SiO₂薄层上依次序沉积金属电极，这种规则排列的MOS电容数组再加上两端的输入及输出二极管就构成了CCD芯片

CCD可以把光信号转换成电脉冲信号。每一个脉冲只反映一个光敏元的受光情况，脉冲幅度的高低反映该光敏元受光的强弱，输出脉冲的顺序可以反映光敏元的位置，这就起到图像传感器的作用。

第8章

8.1

答：热电阻传感器分为以下几种类型：

①铂电阻传感器：特点是精度高、稳定性好、性能可靠。主要作为标准电阻温度计使用，也常被用在工业测量中。此外，还被广泛地应用于温度的基准、标准的传递，是目前测温复现性最好的一种。

②铜电阻传感器：价钱较铂金属便宜。在测温范围比较小的情况下，有很好的稳定性。温度系数比较大，电阻值与温度之间接近线性关系。材料容易提纯，价格便宜。不足之处是测量精度较铂电阻稍低、电阻率小。

第8章

8.1

③铁电阻和镍电阻：铁和镍两种金属的电阻温度系数较高、电阻率较大，故可作成体积小、灵敏度高的电阻温度计，其缺点是容易氧化，化学稳定性差，不易提纯，复制性差，而且电阻值与温度的线性关系差。目前应用不多

第8章

8.2

答：①热电动势：两种不同材料的导体（或半导体）A、B串接成一个闭合回路，并使两个结点处于不同的温度下，那么回路中就会存在热电势。有电流产生相应的热电势称为温差电势或塞贝克电势，通称热电势。

②接触电动势：接触电势是由两种不同导体的自由电子，其密度不同而在接触处形成的热电势。它的大小取决于两导体的性质及接触点的温度，而与导体的形状和尺寸无关。

③温差电动势：是在同一根导体中，由于两端温度不同而产生的一种电势。

第8章

8.2

④热电偶测温原理：热电偶的测温原理基于物理的“热电效应”。所谓热电效应，就是当不同材料的导体组成一个闭合回路时，若两个结点的温度不同，那么在回路中将会产生电动势的现象。

两点间的温差越大，产生的电动势就越大。引入适当的测量电路测量电动势的大小，就可测得温度的大小。

⑤热电偶三定律：

a 中间导体定律：

热电偶测温时，若在回路中插入中间导体，只要中间导体两端的温度相同，则对热电偶回路总的热电势不产生影响。在用热电偶测温时，连接导线及显示一起等均可看成中间导体。

第8章

8.2

b 中间温度定律:

任何两种均匀材料组成的热电偶，热端为 T ，冷端为 T_0 时的热电势等于该热电偶热端为 T 冷端为 T_n 时的热电势与同一热电偶热端为 T_n ，冷端为 T_0 时热电势的代数之和。

应用：对热电偶冷端不为0度时，可用中间温度定律加以修正。热电偶的长度不够时，可根据中间温度定律选用适当的补偿线路。

c参考电极定律:

如果A、B两种导体（热电极）分别与第三种导体C

第8章

8.2

(参考电极)组成的热电偶在结点温度为 (T, T_0) 时分别为 $E_{AC}(T, T_0)$ 和 $E_{BC}(T, T_0)$ 那么受相同温度下,又A、B两热电极配对后的热电势为

$$E_{AB}(T, T_0) = E_{AC}(T, T_0) - E_{BC}(T, T_0)$$

实用价值:可大大简化热电偶的选配工作。在实际工作中,只要获得有关热电极与标准铂电极配对的热电势,那么由这两种热电极配对组成热电偶的热电势便可由上式求得,而不需逐个进行测定。

⑥误差因素:参考端温度受周围环境的影响

第8章

✿ 8.2

减小误差的措施有：

- a 0°C恒温法
- b 计算修正法（冷端温度修正法）
- c 仪表机械零点调整法
- d 热电偶补偿法
- e 电桥补偿法
- f 冷端延长线法

✿ 8.3 见8.2

第8章

8.4

答：电阻温度计利用电阻随温度变化的特性来测量温度。热电偶温度计是根据热电效应原理设计而成的。前者将温度转换为电阻值的大小，后者将温度转换为电势大小。

相同点：都是测温传感器，精度及性能都与传感器材料特性有关。

第8章

8.5

答：在不平衡电桥中，“检流计”改称为“电流计”，其作用而不是检查有无电流而是测量电流的大小。可见，不平衡电桥和平衡电桥的测量原理有原则上的区别。利用电桥除可精确测量电阻外，还可测量一些非电学量。例如，为了测量温度变化，只需用一种“热敏组件”把它转化为电阻的变化，然后用电桥测量。不平衡电桥往往用于测量非电学量，此外还可用于自动控制和远距离联动机构中。

第8章

8.6

答：伏安特性表征热敏电阻在恒温介质下流过的电流 I 与其上电压降 U 之间的关系。当电流很小时不足以引起自身发热，阻值保持恒定，电压降与电流间符合欧姆定律。当电流 $I > I_s$ 时，随着电流增加，功耗增大，产生自热，阻值随电流增加而减小，电压降增加速度逐渐减慢，因而出现非线性的正阻区 ab 。电流增大到 I_s 时，电压降达到最大值 U_m 。此后，电流继续增大时，自热更为强烈，由于热敏电阻的电阻温度系数大，阻值随电流增加而减小的速度大于电压降增加的速度，于是就出现负阻区 bc 段。

第8章

❁ 8.6

研究伏安特性，有助于正确选择热敏电阻的工作状态。对于测温、控温和温度补偿，应工作于伏安特性的线性区，这样就可以忽略自热的影响，使电阻值仅取决于被测温度。对于利用热敏电阻的耗散

原理工作的场合，例如测量风速、流量、真空等，则应工作于伏安特性的负阻区。

❁ 8.7 略

❁ 8.8 略

第9章

9.1

答：核辐射传感器是基于射线通过物质时产生的电离作用，或利用射线能使某些物质产生荧光，再配以光电组件，将光信号转变为电信号的传感器。

9.2

答：核辐射传感器可以实现气体成分、材料厚度、物质密度、物位、材料内伤等的测量。但是要注意放射性辐射的防护。

9.3

答：可用来检测厚度、液位、物位、转速、材料密度、重量、气体压力、流速、温度及湿度等参数。

第9章

9.4

答：尽量减小辐射强度，也要考虑辐射类型和性质。
在实际工作中要采取多种方式来减少射线的照射强度和照射时间，如采用屏蔽层，利用辅助工具，或是增加与辐射源的距离等各种措施。

第10章

❁ 10.1

答：智能传感器集信息采集，信息的记忆、辨别、存储、处理于一体，是一种将普通传感器与微处理器一体化，兼有检测和信息处理功能的新型传感器，具有一定的自适应能力。

❁ 10.2

答：①功能分为：

a 自补偿功能：如非线性、温度误差响应时间等的补偿

b 自诊断功能：如在接通电源时自检

第10章

❁ 10.2

c 微处理器和基本传感器之间具有双向通信功能，构成一死循环工作系统

d 信息存储和记忆功能

e 数字量输出和显示

②优点有：

a 精度高，可通过软件来修正非线性，补偿温度等系统误差，还可补偿随机误差，从而使精度大为提高。

b 有一定的可编程自动化能力。包括指令和数据存储、自动调零、自检等。

第10章

❁ 10.2

c 功能广。智能传感器可以有多种形式输出，通过串口、并口、面板数字控制数或CRT显示，并配打印机保存资料。

d 功能价格比大。在相同精度条件下，多功能智能传感器比单功能普通传感器性能价格比大。

❁ 10.3

答：三条途径：非集成化实现、集成化实现和混合实现。

第10章

❁ 10.4

答：包括以下内容：

- ①资料收集：汇集所需要的信息
- ②资料转换：把信息转换成适用于微处理器使用的方式
- ③资料分组：按有关信息进行有效的分组
- ④资料组织：整理资料或用其它方法安排资料，以便进行处理和误差修正
- ⑤资料计算：进行各种算术和逻辑运算，以便得到进一步的信息

第10章

❁ 10.4

⑥资料存储：保存原始资料和计算结果，供以后使用

⑦资料搜索：按要求提供有用格式的信息，然后将结果按用户要求输出。

第10章

❁ 10.5

答：①线性参数的标度变换，其变换公式为：

$$y = y_0 + (y_m - y_0) \frac{x - N_0}{N_m - N_0}$$

②非线性参数的标度变换，公式为：

$$y = y_0 + (y_m + y_0) \sqrt{\frac{x - N_0}{N_m - N_0}}$$

③多项式变换法

第10章

❁ 10.6

答：线性温度特性补偿方法：

- ①温度特性曲线拟合法
- ②温度特性查表法

非线性温度特性补偿方法：一般采用分段线性插值法（列表法）

第10章

❁ 10.7

答：硬件设计：

①正确选择微处理器：常用单片机作为智能传感器的中央处理器。

②除了中央处理器CPU外，还必须引入输入输出的各种功能要求。故它又可看成一个微处理器小系统，广泛采用键盘、LED显示器、打印、串并口输出等，一起构成了人机对话的工具。

第11章

❁ 11.1

答：条件：没有加速度、振动、冲击（除非这些参数本身就是被测物理量）及环境温度一般为室温（ $20 \pm 5^\circ\text{C}$ ）相对湿度不大于85%，大气压力为7Kpa的情况。

❁ 11.2

答：对传感器进行标定，是根据试验资料确定传感器的各项性能指针，实际上也是确定传感器的测量精度，所以在标定传感器时，所用的测量仪器的精度至少要比被标定传感器的精度高一个等级。

第11章

❁ 11.3

答：标定方法：首先是创造一个静态标准条件，其次是选择与被标定传感器的精度要求相适应的一定等级的标定用仪器设备。然后开始对传感器进行静态特性标定。

❁ 11.4

答：传感器的动态标定主要是研究传感器的动态响应，而与动态响应有关的参数，一阶传感器为时间常数 τ ，二阶传感器为固有频率 ω_n 和阻尼比 ξ 两个参数。

第11章

❁ 11.5

答：绝对标定法：振动计量基准是采用激光光波长度作为振幅量值的绝对基准。

比较标定法：将被标的传感器和标准传感器相比较。是一种最常用的方法。

第12章

❁ 12.1

答：传感器的可靠性是指传感器在规定条件、规定时间，完成规定功能的能力。

❁ 12.2

答：失效分析的方法：

- ①失效模式、效应及危害度分析
- ②工艺过程FMMEA及质量反馈分析
- ③失效树分析方法

第12章

❁ 12.3

答：可靠性设计程序：

- ①建立系统可靠性模型
- ②可靠性分配
- ③可靠性分析
- ④可靠性预测
- ⑤可靠性设计评审
- ⑥试制品的可靠性试验
- ⑦最终的改进设计

第12章

🌸 12.3

可靠性设计原则:

- ① 尽量简单、组件少、结构简单
- ② 工艺简单
- ③ 使用简单
- ④ 维修简单
- ⑤ 技术上成熟
- ⑥ 选用合乎标准的原材料和组件
- ⑦ 采用保守的设计方案

第12章

❁ 12.4

答：产品丧失完成规定功能能力所有状态及事件的总和叫失效。

失效的分类：

- ①按失效发生场合分：试验失效、现场失效
- ②按失效的程度分：完全失效、局部失效
- ③按失效前功能或参数变化的性质分：突然失效、退化失效
- ④按失效排除的性质分：稳定性失效、间歇失效
- ⑤按失效的外部表现分：明显失效、隐蔽失效

第12章

❁ 12.4

⑥按失效发生的原因分：设计上的失效、工艺上的失效、使用上的失效

⑦按失效的起源分：自然失效、人为失效

⑧按与其它失效的关系分：独立失效、从属失效

⑨按失效浴盆曲线上不同阶段分：早期失效、偶然失效、耗损失效等

第13章

❁ 13.1

答：测量原理是指用什么样的原理去测量被测量。

测量方法：

①按测量手段分类：直接测量、间接测量和联立测量

②按测量方式分类：偏差式测量、零位式测量和微差式测量。

第13章

❁ 13.2

答：当我们对同一物理量进行多次重复测量时，如果误差按照一定的规律性出现，则把这种误差称为系统误差。

系统误差出现的原因有：

①工具误差：指由于测量仪表或仪表组成组件本身不完善所引起的误差。

②方法误差：指由于对测量方法研究不够而引起的误差。

③定义误差：是由于对被测量的定义不够明确而形成的误差。

④理论误差：是由于测量理论本身不够完善而只能进行近似的测量所引起的误差。

第13章

❁ 13.2

⑤环境误差：是由于测量仪表工作的环境（温度、气压、湿度等）不是仪表校验时的标准状态，而是随时间在变化，从而引起的误差。

⑥安装误差：是由于测量仪表的安装或放置不正确所引起的误差。

⑦个人误差：是指由于测量者本人不良习惯或操作不熟练所引起的误差。

减小系统误差的方法：

①引入更正值法：若通过对测量仪表的校准，知道了仪表的更正值，则将测量结果的指示值加上更

第13章

13.2

正值，就可得到被测量的实际值。

②替换法：是用可调的标准量具代替被测量接入测量仪表，然后调整标准量具，使测量仪表的指针与被测量接入时相同，则此时的标准量具的数值即等于被测量。

③差值法：是将标准量与被测量相减，然后测量二者的差值。

④正负误差相消法：是当测量仪表内部存在着固定方向的误差因素时，可以改变被测量的极性，作两次测量，然后取二者的平均值以消除固定方向的

第13章

✿ 13.2

误差因素。

⑤选择最佳测量方案：是指总误差为最小的测量方案，而多数情况下是指选择合适的函数形式及在函数形式确定之后，选择合适的测量点。

✿ 13.3 略

✿ 13.4

解：检测仪表示值绝对误差 δ 与仪表量程 L 之比，称之为仪表示值的引用误差，最大引用误差去掉百分号即为仪表精度。显然此仪表的最大引用误差为：

$$\frac{1.4mA}{100mA} \times 100\% = 1.4\% > 1\%$$

故不合格

第13章

✿ 13.5

解：

150V表的最大误差为： $150V \times 0.5\% = 0.75V$

15V表的最大误差为： $15V \times 2.5\% = 0.375V$

故选择15V表误差较小

第13章

✿ 13.6

解：毫伏表示值的绝对误差为

$$30V \times 2\% = 0.6V$$

测6V电压时示值的相对误差为：

$$\frac{0.6V}{6V} \times 100\% = 10\%$$

测20V电压时示值的相对误差为：

$$\frac{0.6V}{20V} \times 100\% = 3\%$$

第13章

✿ 13.7

解：引用误差：
$$\frac{15\text{KPa}}{1000\text{KPa}} \times 100\% = 1.5\%$$

可能产生的示值相对误差：

$$\frac{15\text{KPa}}{200\text{KPa}} \times 100\% = 7.5\%$$

第13章

✿ 13.8

解：①仪表本身精度造成的相对误差：

$$5V\text{档: } \frac{2.5\% \times 5V}{5V} \times 100\% = 2.5\%$$

$$25V\text{档: } \frac{2.5\% \times 25V}{5V} \times 100\% = 12.5\%$$

②由于仪表内阻对被测电路的影响引起的相对误差：

$$5V\text{档: } \frac{5 - 5 \times \frac{100}{125}}{5} \times 100\% = 20\%$$

$$25V\text{档: } \frac{5 - 5 \times \frac{500}{525}}{5} \times 100\% = 5\%$$

第13章

✿ 13.8

③综合最大相对误差:

$$5V\text{档: } 2.5\% + 20\% = 22.5\%$$

$$25V\text{档: } 12.5\% + 5\% = 17.5\%$$

④仪表的精度和仪器的内阻都会在测量时产生系统误差。

第14章

❁ 14.1

答：传感器信息融合又称资料融合，它是对多种信息的获取、表示及其内在联系进行综合处理和优化的技术，传感器信息融合技术从多信息的视角进行处理及综合，得到各种信息的内在联系和规律，从而剔除无用的和错误的信息，保留正确的和有用的成分，最终实现信息的优化。

第14章

❁ 14.2

答：传感器信息融合技术分为以下四类：

①组合：是由组合成平行或互补方式的多个传感器的多组资料来获得输出的一种处理方法。

②综合：是信息优化处理中的一种获得明确信息的有效方法。

③融合：是将传感器资料组之间进行相关或将传感器资料与系统内部的知识模型进行相关，而产生信息的一个新的表达的处理方法。

④相关：通过相关来进行处理，以便获悉传感器资料组之间的关系，从而得到正确信息，剔除无用和错误的信息。

第14章

🌸 14.3

答：传感器信息融合有以下方法：

①嵌入约束法：其最基本的方法有Bayes估计和卡尔曼滤波

②证据组合法：包括概率统计方法和dempster-Shafer证据推理

③人工神经网络法

第15章

✿ 15.1

解：2.2V可输出： $\frac{2.2V}{0.05V} = 44$
化为二进制数为：101100

✿ 15.2

解： $12 \times 12 \times 1/10 = 14.4 \mu m$
转换时间最大不能超过： $14.4 \mu m$

✿ 15.3

答：略

第15章

❁ 15.4

答：逐次逼近式A/D转换器的工作原理是通过将待转换的模拟输入量 U_i 与一个推测信号 U_R 相比较，根据比较结果调节 U_R 以向 U_i 逼近。该推测信号 U_R 由D/A转换器的输出获得，当 U_R 与 U_i 相等时，D/A转换器的输入数字量即为A/D转换的结果。

❁ 15.5 略