

第 2 章 电阻式传感器

本章知识点(技能点)

- 1. 弹性敏感元件的作用和基本特性;
- 2. 电阻应变片的结构和工作原理;
- 3. 单臂电桥的线路连接和应变测量原理;
- 4. 应变片在力、压力、位移、加速度、扭矩等物理量测量中的应用;
- 5. 电子秤的结构组成和工作过程;
- 6. 应变片的粘贴工艺、布置方式及电桥接法。

先导案例

图 2-1 (a) 所示为电子秤的外形, 图 2-1 (b) 和图 2-1 (c) 为电子秤内部的主要结构, 它利用电阻应变片作为传感器构建了一个完整的质量检测系统。像这样的一个电子秤, 它到底是怎样将物品质量转化成数字输出的呢? 我们需要先了解一下电阻应变片的基本工作原理。

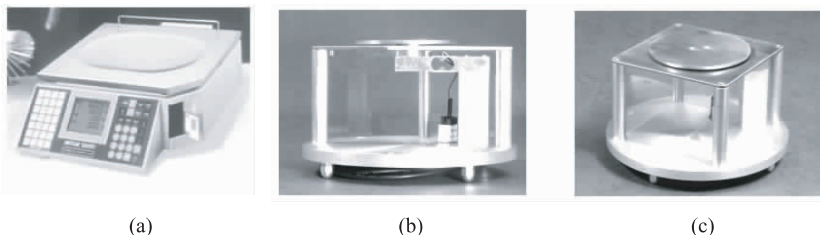


图 2-1 电子秤

(a) 外形; (b) 内部结构 1; (c) 内部结构 2

电阻式传感器是一种将被测量的变化转换成电阻变化的传感器。常用的有电阻应变片、电位器式传感器、电阻温度计、热敏电阻、光敏电阻、湿敏电阻和气敏电阻等。

根据工作原理,电阻式传感器大致可分为两类:电阻应变式和变阻器式。

2.1 电阻应变式传感器

电阻应变式传感器是一种由电阻应变片和弹性敏感元件组合而成,用于测量微小机械变化量的传感器。它是目前测量力、压力、加速度和力矩等物理量应用最为广泛的传感器之一。其优点有以下几点:

- ① 尺寸小,质量轻,工作时对被测物体的工作状态及应力分布影响很小。
- ② 线性度好,电阻变化率与应变可保持很好的线性关系。
- ③ 频率响应好,一般电阻应变式传感器的响应时间为 10^{-7} s, 半导体应变式传感器可达 10^{-11} s;
- ④ 测量范围广,一般可测几个微应变 ($\mu\varepsilon$) 到数千微应变。
- ⑤ 可在有强烈振动、强磁场、化学腐蚀及放射性的恶劣环境下正常工作。

电阻应变式传感器的缺点是在测量大应变时,输出信号较小,抗干扰能力差,不适于在 $1\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上的高温状况下工作等。

2.1.1 弹性敏感元件

电阻应变式传感器不仅要用到电阻应变片,弹性敏感元件也是不可缺少的一部分。

1. 弹性敏感元件的基本概念

某些物体在外力作用下,其尺寸和形状会发生改变,而当外力撤去后,物体又会恢复原有状态,这种变形就称为弹性变形,这种物体就称为弹性元件。根据弹性元件在传感器中的作用,可将其分为弹性敏感元件和弹性支撑。

弹性敏感元件可以感受力、压力和力矩等参数,并将其转换为应变和位移等物理量,直接起到测量的作用。

2. 弹性敏感元件的基本特性

(1) 弹性特性

弹性敏感元件的弹性特性描述了作用在弹性敏感元件上的外力与其引起的相应变形(应变、位移或转角)之间的关系,用刚度或灵敏度来表示。

图2-2为某弹性敏感元件的弹性特性曲线图。刚度是弹性敏感元件在外力 F 作用下变形量 x 大小的量度,一般用 K 表示为

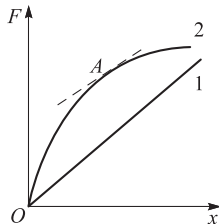


图2-2 弹性特性曲线
1, 2—弹性曲线

$$K = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta F}{\Delta x} \right) = \frac{dF}{dx} \quad (2-1)$$

式中 F ——作用在弹性元件上的力；

x ——弹性元件所产生的变形。

由式(2-1)可知,弹性敏感元件在某一点的刚度就是此点在弹性曲线上切线的斜率,如图2-2中曲线2上点A所示。当弹性曲线为一条直线时,弹性敏感元件的刚度就为一常数,如图2-2中曲线1所示。

灵敏度是刚度的倒数,用 S 来表示,即

$$S = K^{-1} = \frac{dx}{dF} \quad (2-2)$$

由式(2-2)可知,灵敏度 S 就是单位力作用在弹性敏感元件上时元件所产生的变形大小,以相同的力作用在不同的弹性元件上,变形越大,弹性元件就越软,灵敏度就越高,刚度越低。

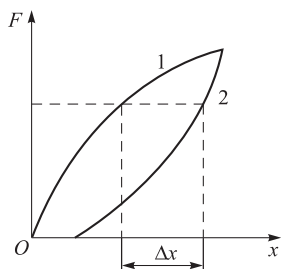


图2-3 弹性滞后
1, 2—弹性曲线

(2) 弹性滞后

弹性元件在弹性变形范围内,弹性特性曲线的加载曲线与卸载曲线不重合的现象称为弹性滞后。如图2-3所示,当外力从零增加至某一大小的力时,弹性曲线如图2-3中曲线1所示,而当作用力从此力减小至零时,弹性曲线如图2-3中曲线2所示,并不与曲线1重合,图中的弹性变形之差就称为滞后误差。

弹性滞后主要是由于弹性元件在工作过程中固体材料内部存在内摩擦引起的,与材料结构、载荷特性和大小以及温度等一系列因素有关。

(3) 弹性后效

弹性后效就是指当载荷从某一数值变化到另一数值时,弹性元件不是立即完成相应的变形,而是在一定的时间间隔内逐渐完成变形的现象。弹性后效的产生原因是弹性敏感元件中的分子间存在内摩擦,由于存在弹性后效,弹性敏感元件的变形始终都不能迅速跟上力的变化,这在动态测量中将引起较为严重的误差。

(4) 固有振动频率

弹性敏感元件的动态特性和变换时的滞后现象,与它的固有频率有关,一般总希望它具有较高的固有频率。固有频率的计算较为复杂,实际中常通过实验确定,也可用下式进行估算

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{m_e}} \quad (2-3)$$

式中 K ——弹性敏感元件的刚度；
 m_e ——弹性敏感元件的等效振动质量。

在实际设计弹性敏感元件时，常遇到线性度、灵敏度和固有频率之间的相互矛盾，提高灵敏度会使线性变差，固有频率降低，不能满足动态测量的要求；相反，提高固有频率又会降低灵敏度。因此，实际设计时应根据具体要求，综合考虑。

3. 弹性敏感元件的材料

弹性敏感元件在传感器中直接参与变换和测量，所以对其材料有着一定的要求。

- ① 弹性滞后和弹性后效要小。
- ② 弹性模量的温度系数要小。
- ③ 线膨胀系数要小并稳定。
- ④ 弹性极限和强度极限要高。
- ⑤ 具有良好的机械加工和热处理性能。
- ⑥ 某些场合要求其耐腐蚀，有高导电性能或良好的绝缘性能。

常用的敏感元件的材料性能见表 2-1。

表 2-1 常用敏感元件的材料性能

参数名称	电阻值/ Ω	灵敏度	电阻温度 系数/ $(1 \cdot ^\circ\text{C}^{-1})$	极限工作 温度/ $^\circ\text{C}$	最大工作 电流/ mA
PZ-120 型	120	1.9~2.1	20×10^{-6}	-10~40	20
PJ-120 型	120	1.9~2.1	20×10^{-6}	-10~40	20
BX-200 型	200	1.9~2.2	—	-30~60	25
BA-120 型	120	1.9~2.2	—	-30~200	25
BB-350 型	350	1.9~2.2	—	-30~170	25
PBD-1K 型	$1\,000 \pm 10\%$	$140 \pm 5\%$	$<0.4\%$	<60	15
PBD-120 型	$120 \pm 10\%$	$120 \pm 5\%$	$<0.2\%$	<60	25

弹性敏感元件可以感受力、压力和力矩等参数，并将其转换为应变和位移等物理量，直接起到测量的作用。

2.1.2 电阻应变片的结构

当弹性敏感元件受到外力、力矩、位移和加速度等参数的作用时，将产生应变，如果将电阻应变片粘贴在弹性敏感元件上，弹性敏感元件所受到的各种参数的作用会通过应变片转换成电阻的变化。电阻应变片分为金属电阻应变片和半导体电阻应变片。金属电阻应变片又

分为丝式和箔式两种。

图2-4(a)所示为金属丝式电阻应变片的结构图。金属丝式电阻应变片由基底、敏感栅、覆盖片和引线组成。用高电阻率的细金属丝制成敏感栅，并将其固定在绝缘基底和覆盖片之间，并由引线引出。工作时，基底把应变传递给敏感栅，敏感栅将应变转换为电阻的变化，引线在敏感栅和测量电路之间起着引导和过渡的作用。

金属丝式电阻应变片又可分为圆角丝式和直角丝式两种，如图2-4(b)和图2-4(c)所示。圆角丝式电阻应变片横向应变灵敏度高，耐疲劳性好，一般用于动态测量；直角丝式电阻应变片横向应变灵敏度低，因而精度高，但耐疲劳性差，一般用于静态测量。

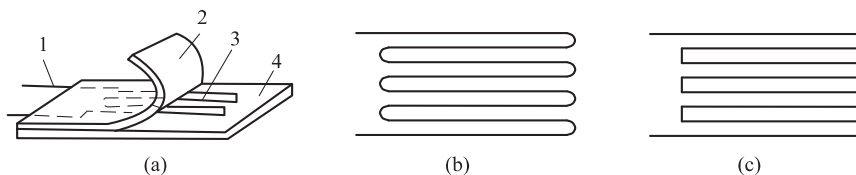


图2-4 金属丝式电阻应变片

(a) 金属丝式电阻应变片；(b) 圆角丝式电阻应变片；(c) 直角丝式电阻应变片

1—基底；2—敏感栅；3—覆盖片；4—引线

图2-5为金属箔式电阻应变片，其结构与丝式类似。金属箔式应变片采用光刻技术将康铜或镍铬合金箔腐蚀成栅状而成，线条均匀，尺寸精准，阻值一致性好，且粘贴性能和散热性能均优于丝式，允许通过较大的电流。

图2-6为半导体电阻应变片的结构图。常见的是用锗和硅等半导体材料作为敏感栅，一般为单根状。

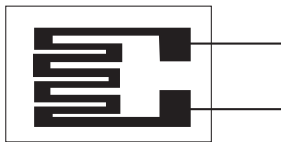


图2-5 金属箔式电阻应变片

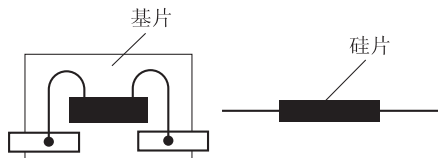


图2-6 半导体电阻应变片

2.1.3 金属电阻应变片的工作原理

金属电阻应变片的工作原理基于金属导线的电阻应变效应。当金属导线发生机械变形时，电阻值也会随之发生相应的变化。

设有一圆截面导线，如图2-7所示，其电阻与电阻率 ρ 、长度 L 和截面积 A 之间存在着如下关系式

$$R = \frac{\rho L}{A} \quad (2-4)$$

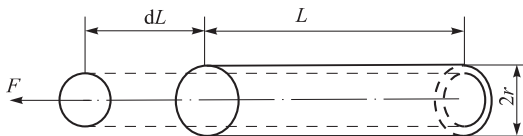


图 2-7 金属圆截面导线

当此导线受到轴向拉力后, 将沿轴向长度被拉长, 截面半径会随之减小, 同时, 电阻率随着晶格的变化也将产生变化, 因此, ρ 、 L 、 A 同时产生了增量 $d\rho$ 、 dL 、 dA , 由高等数学多元微分知识, 可得

$$\frac{dR}{R} = \varepsilon_x + 2\mu\varepsilon_x + \frac{d\rho}{\rho} = (1 + 2\nu)\varepsilon_x + \frac{d\rho}{\rho} \quad (2-5)$$

式中, $\varepsilon_x = \frac{dL}{L}$, 表示导线单位长度的伸长量, 称为轴向应变, 无量纲, 且值很小, 通常以微应变 $\mu\varepsilon$ (10^{-6}) 来表示。比如, $\varepsilon = 0.01 = 10\,000 \times 10^{-6}$ 即表示应变大小为 $10\,000\mu\varepsilon$ 。

$\varepsilon_y = \frac{dr}{r}$, 表示导线横向尺寸单位长度的伸长量, 称为径向应变, 与轴向应变之间存在着如下关系式

$$\varepsilon_y = -\mu\varepsilon_x \quad (2-6)$$

式中 ν ——泊松比。

对式 (2-6) 两端同时除以 ε_x , 并令 $S = \frac{\frac{dR}{R}}{\varepsilon_x}$, 可得

$$S = \frac{\frac{dR}{R}}{\varepsilon_x} = (1 + 2\nu) + \frac{d\rho}{\rho\varepsilon_x} \quad (2-7)$$

S 为金属电阻丝的灵敏度系数, 表示金属丝产生单位变形时, 电阻相对变化率的大小。显然, S 越大, 单位变形引起的电阻变化率越大, 故越灵敏。

由式 (2-7) 可以看出, 金属电阻丝的灵敏度系数受两个因素的影响: 一个是受力后由于材料的几何形状变化引起的, 即 $(1 + 2\nu)$ 项; 另一个是由于材料的电阻率发生变化引起的, 即 $\frac{d\rho}{\rho\varepsilon_x}$ 项。

制作应变片的电阻材料有很多, 主要有: 康铜、铜镍合金、镍铬铝合金、铁铬铝合金和贵金属等。其中, 以铜质量百分数为 55%、镍质量百分数为 45% 的康铜应用最广。因为康铜有一个突出的优点, 就是灵敏度对应变的稳定性非常高, 不但在变形的弹性范围内保持常

数,在进入塑性变形区时仍可以基本保持常数,因此可用于测量高达22%的应变;康铜的另一个优点是它的电阻温度系数可以控制在 $\pm 2 \times 10^{-6}$ 范围之内。表(2-2)给出了常用的金属电阻丝材料的性能数据。

表2-2 常用金属电阻丝材料的性能

材料	牌号及成分	$\rho /$ ($\Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$)	$\alpha /$ ($10^{-6} \Omega \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$)	K_S	$\beta_s /$ ($10^{-6} \text{mm} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$)	最高使用温度/ $^\circ\text{C}$
康铜	Ni45Cu55	0.45 ~ 0.52	± 20	1.9 ~ 2.1	15	300 (静态) 400 (动态)
镍铬合金	Cr20Ni80	1.0 ~ 1.1	110 ~ 130	2.1 ~ 2.3	14	450 (静态) 800 (动态)
卡玛	6J22 Ni74Cu20Fe3Al3	1.24 ~ 1.42	± 20	2.4 ~ 2.6	13.3	450 (静态) 800 (动态)
伊文	6J23 Ni75Cr20Al3Cu2	1.24 ~ 1.42	± 20	2.4 ~ 2.6	13.3	450 (静态) 800 (动态)
铁铝铬合金	Fe70Cr25Al5	1.3 ~ 1.5	19 ~ 40	2.3 ~ 2.8	14	550 (静态) 1 000 (动态)
贵金属	Pt Pt92W8	0.09 ~ 0.11 0.68	3 900 227	46 ~ 3.5	8.9 8.3 ~ 9.2	800 (静态) 1 000 (动态)

2.1.4 半导体应变片的工作原理

以半导体材料制成的应变片称为半导体应变片。其工作原理是基于半导体的“压阻效应”,即半导体材料的电阻率会随着作用应力而发生变化。所有材料都有“压阻效应”,但半导体材料的“压阻效应”非常显著,可以直接反映出很微小的应变。

半导体应变片受轴向拉力时电阻变化率的大小为

$$\frac{dR}{R} = (1 + 2\nu)\varepsilon_x + \frac{d\rho}{\rho} = (1 + 2\nu)\varepsilon_x + \lambda E\varepsilon_x \quad (2-8)$$

由于 $\lambda E\varepsilon_x$ 随着电阻率而变,($1 + 2\nu)\varepsilon_x$ 随着半导体几何尺寸而变,所以, $\lambda E\varepsilon_x$ 比($1 + 2\nu)\varepsilon_x$ 要大近百倍,因此($1 + 2\nu)\varepsilon_x$ 可以忽略不计,则式(2-8)变为

$$\frac{dR}{R} = \lambda E\varepsilon_x \quad (2-9)$$

所以,半导体应变片的灵敏度系数为

$$S = \frac{\frac{dR}{R}}{\varepsilon_x} = \lambda E \quad (2-10)$$

该数值比金属应变片的灵敏度值要大 50 ~ 70 倍。半导体应变片在测量时是利用材料电阻率的变化来引起电阻的变化,而金属应变片是利用导体的形变来引起电阻的变化,这是两者工作原理上本质的不同。

半导体应变片的优点是尺寸、横向效应和机械滞后小,灵敏度高,输出无须放大器就可直接与记录仪器连接,简化了测试系统。缺点是电阻值和灵敏系数的温度稳定性差;测量较大应变时非线性误差很大;灵敏系数随受拉或受压而变,分散度大,一般在 3% ~ 5% 之间,所以测量结果会有 $\pm 3\% \sim \pm 5\%$ 的误差。

近年来,已研制出集成电阻应变组件,在传感器小型化和特性改善方面有了很大的进展。

2.1.5 电阻应变的测量电路

由于机械应变范围一般为 $10^{-6} \sim 10^{-3}$,而常规电阻应变片的灵敏系数 k 值很小 ($k \approx 2$),所以其电阻变化范围也很小,约 $10^{-4} \sim 10^{-1} \Omega$ (数量级,因此要求测量电路能精确地测量出这些微小的电阻变化。最常用的测量电路是直流电桥电路。图 2-8 是简单的单臂电桥,

输出电压 $U = \frac{R_2 R_4 - R_1 R_3}{(R_1 + R_4)(R_2 + R_3)} E$ 。电阻应变片 R_4 作为其中的一个桥臂接入电桥,当

应变片发生形变而导致桥臂电阻 R_4 发生变化时,输出电压 U 也会随之改变。如果,在电阻应变片 R_4 发生形变前令四个桥臂电阻阻值相等,那么电阻应变片的应变 ε_x 与 E 就呈线性关系。所以,可以通过测量出的电压 U 值来推算出电阻应变片的应变大小 ε_x 。

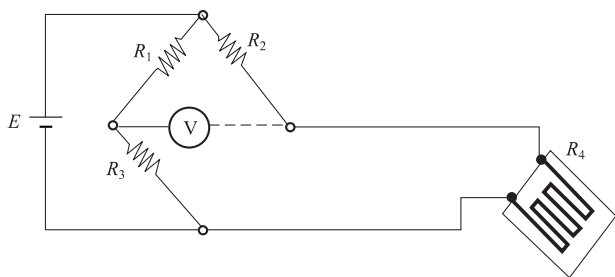


图 2-8 电阻应变的测量

2.1.6 电阻应变片的应用

应变片能够将应变直接转换成电阻的变化,所以就有了电阻应变片的直接应用。电阻应变片的直接应用主要用于构件应力、应变的测量。将不同形状的应变片粘贴在材料的特定部位,可以测得构件所受的拉、压应力。主要用于研究机械、桥梁、建筑物等构件在工作状态下的受力、变形情况。图 2-9 为电阻应变片直接应用的例子。

电阻应变片可以直接感受应变,如果将力、压力、位移、加速度、扭矩等物理量转换为

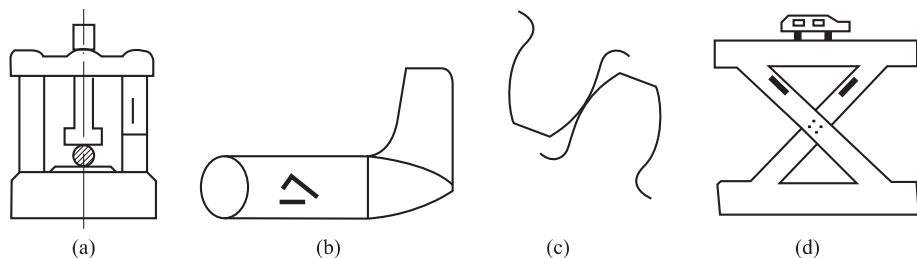


图 2-9 电阻应变片的直接应用

(a) 压机立柱变形测量；(b) 飞机机身应力测量；(c) 齿轮齿根应力测量；(d) 桥梁构架应力测量

应变，那么我们就能够测定这些物理量，其中非应变物理量到应变的转换是通过弹性敏感元件完成的。弹性敏感元件、电阻应变片及一些附加元件（补偿元件、保护罩等）就构成了电阻应变式传感器。图 2-10 为电阻应变式力、位移、加速度和扭矩传感器。

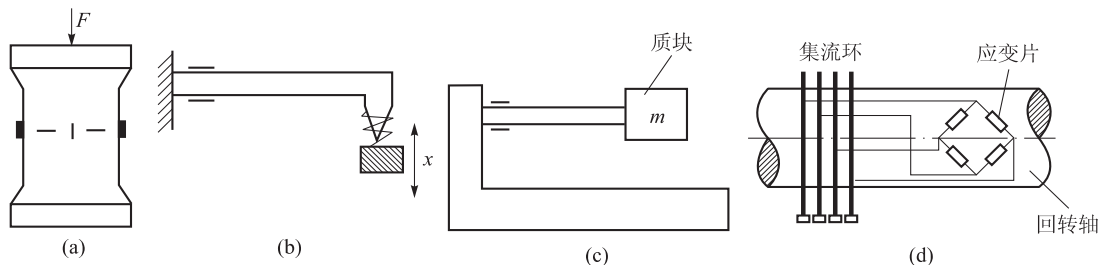


图 2-10 电阻应变式传感器的应用

(a) 力传感器；(b) 位移传感器；(c) 加速度传感器；(d) 扭矩传感器

1. 电阻应变式力传感器

常用的电阻应变式力传感器有柱式力传感器、梁式力传感器、薄壁圆环式力传感器和轮辐式力传感器，如图 2-11 所示。

图 2-11 (a) 所示为柱式力传感器，分为实心式和空心式两种。实心式可以承担较大的负荷，常用于测量大的拉力或压力等，空心式常用于可以增大柱的曲率半径，便于粘贴应变片以抵抗由于载荷偏心引起弯曲而影响精度。

图 2-11 (b) 所示为薄壁圆环式力传感器，灵敏度较高，稳定性好，适于测量 500 kg 以下的载荷，最小可测几十牛顿力。

图 2-11 (c) 所示为双端固定梁式力传感器。梁式力传感器有悬臂梁、固定梁和铰支梁等形式，具有结构简单、易于加工、贴片方便和灵敏度较高等特点。它具有正负极性输出，可接差动电桥以获得最大输出。梁式力传感器主要用于小载荷、高准确度的拉力和压力的测量。

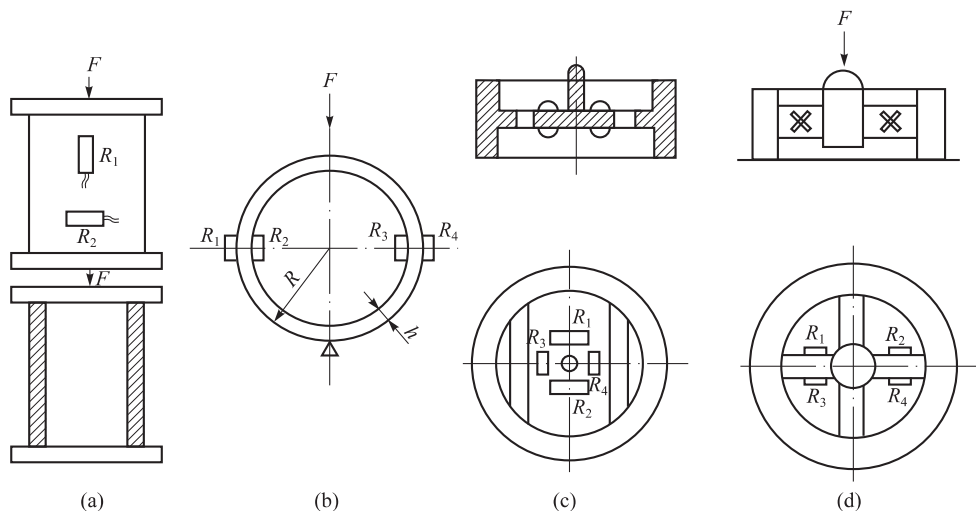


图 2-11 电阻应变式力传感器

(a) 柱式力传感器；(b) 薄壁圆环式力传感器；(c) 双端固定梁式力传感器；(d) 轮辐式力传感器

图 2-11 (d) 所示为轮辐式力传感器，可承受大载荷，固有频率很高，常用于重型载荷的电子秤中。它的测量灵敏度不高，但抗偏心载荷和抗侧向载荷能力强。应变片粘贴在轮辐侧面上，且 45° 斜线交叉成直角的两应变大小相等、符号相反，便于桥接法。

2. 电阻应变式压力传感器

主要用于液体、气体动态和静态压力的测量，如内燃机管道和动力设备管道的进气口、出气口气体和液体压力测量，以及发动机喷口的压力、枪管、炮管内部压力的测量等，测量范围为 $10^4 \sim 10^7$ Pa。这类传感器主要有板式、筒式、组合式和膜片式等。

板式压力传感器如图 2-12 所示，圆薄板 1 和壳体 3 制作在一起，引线 4 从壳体的上端引出。工作时，传感器的下端选入管壁，压力均匀分布作用在薄板的一面，圆板的另一面粘贴应

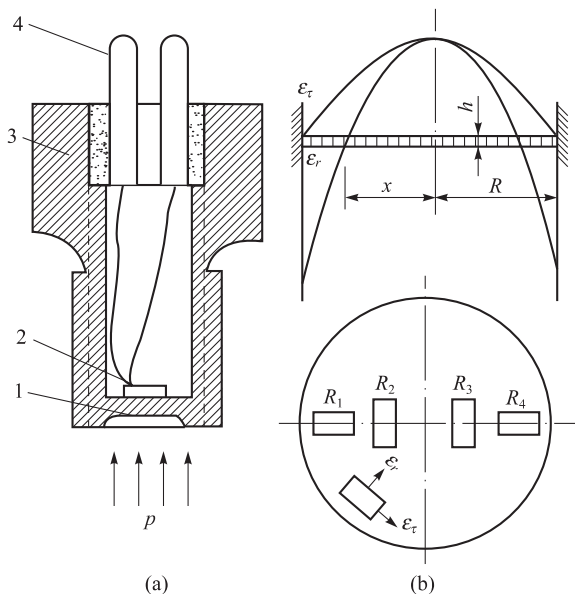


图 2-12 板式压力传感器

(a) 结构图；(b) 应变片的粘贴位置图

1—弹性薄板；2—应变片；3—壳体；4—引线

变片，通过应变片求得压力的大小。

筒式压力传感器如图 2-13 所示，主要用于测较大的压力。圆柱体内有一盲孔，一端有法兰盘与被测系统连接。被测压力进入应变筒的腔内，使筒发生变形。在筒壁和端部沿圆周方向各贴一片应变片 R_1 和 R_2 ，端部在圆筒内有压力时并不产生变形，所以 R_2 只作温度补偿用。这种类型的传感器主要用于测量机床液压系统的压力（几十公斤/厘米²^① 到几百公斤/厘米²）和枪、炮筒腔内的压力（几千公斤/厘米²），其动态特性和灵敏度主要由材料的 E 值和尺寸决定。

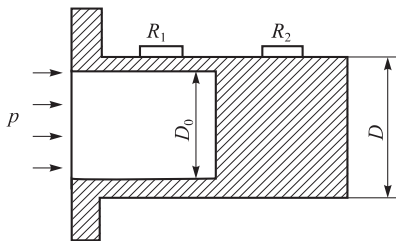


图 2-13 筒式压力传感器

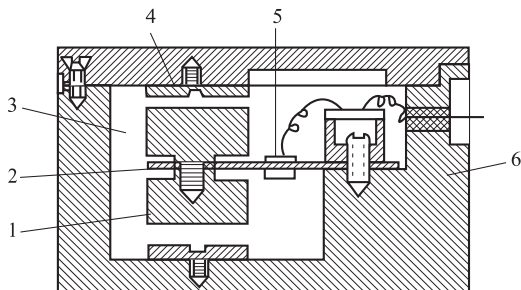


图 2-14 电阻应变式加速度传感器

- 1—质量块；2—等强度梁；3—阻尼液；
4—限位块；5—应变片；6—壳体

3. 电阻应变式加速度传感器

电阻应变式加速度传感器的结构如图 2-14 所示。在等强度梁的一端固定惯性质量块，梁的另一端用螺钉固定在壳体上，在梁的上下两面粘贴应变片，梁和惯性块的周围充满阻尼液（硅油），用于产生必要的阻尼。测量加速度时，将传感器壳体和被测对象刚性连接，当有加速度作用在壳体上时，由于梁的刚度很大，惯性质量也以同样的加速度运动，其产生的惯性力正比于加速度的大小。惯性力作用在梁的

端部使梁产生变形。限位块保护传感器在过载时不被破坏。这种传感器在低频振动测量中得到广泛的应用。

2.2 变阻器式（电位器式）传感器

变阻器式传感器也称为电位器式传感器，主要是作为一种把机械线位移或角位移转换为与其呈一定函数关系的电阻或电压的传感元件来应用。除了用于线位移和角位移测量外，还可以用于测量压力和加速度等参数。

① 1 公斤/厘米² = 9.806 65 × 10⁴ 帕。

2.2.1 电位器式传感器的结构原理

电位器式传感器实际上是一个金属电阻丝或一个绕线电阻与一个电刷组成的可变电阻,电阻体可以做成各种形状。常用的电位器式传感器因结构形式的不同有直线位移型、角位移型和非线性型等,如图2-15所示。

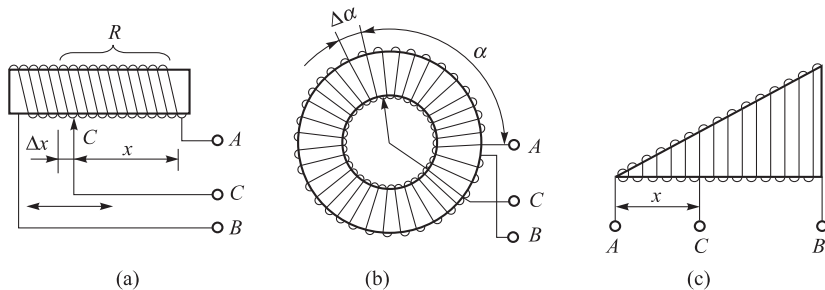


图2-15 电位器式传感器

(a) 直线位移型; (b) 角位移型; (c) 非线性型

图2-15(a)为直线位移型,电刷C沿变阻器直线运动。假设骨架截面处处相等,导线均匀绕制在A、B两点之间,那么电位器单位长度上的电阻值应是相等的。由电工学知识可知,电刷C与A点之间的电阻应为

$$R = k_l x \quad (2-11)$$

式中 k_l ——电刷C单位直线位移的输出电阻值,为一常数。

当电刷C有位移增量 dx 时,有输出电阻的增量 dR

$$dR = k_l(x + \Delta x) - k_l x = k_l \Delta x \quad (2-12)$$

则灵敏度为

$$S = \frac{dR}{dx} = k_l \quad (2-13)$$

式(2-13)表明传感器的输出电阻R与输入的线位移x成正比。

图2-15(b)为角位移型,电刷C沿圆周运动。同理可得,电刷C与A点之间的电阻应为

$$R = k_\alpha \alpha \quad (2-14)$$

式中 k_α ——电刷C单位角位移的输出电阻值,为一常数。

则灵敏度为

$$S = \frac{dR}{d\alpha} = k_\alpha \quad (2-15)$$

式(2-15)表明传感器的输出电阻R与输入的角位移α成正比。

图2-15(c)为非线性型,当被测量与位移x呈某种函数关系,想要获得与被测量呈线

性关系的输出电阻,就要应用这种非线性型变阻器式传感器。这种传感器的骨架形状要根据所要求的输出函数确定。例如当被测量为 $f(x) = kx^2$ 时,要想使输出电阻与 $f(x)$ 呈线性关系,那么变阻器的骨架就要做成直角三角形。如果 $f(x) = kx^3$,就要采用抛物线形骨架。

电位器式传感器中使用的电阻丝,要求电阻系数高,温度系数小,有较高的工作温度,足够的强度和延伸性。常用的材料有康铜、锰铜或镍铬铁合金,在要求接触表面耐磨性特别高时,可采用铂、铱合金等。

2.2.2 电位器式传感器的应用

1. 电位器式压力传感器

电位器式压力传感器的工作原理如图2-16所示。弹性敏感元件膜盒的内腔通入被测气体或流体,在压力的作用下,膜盒中心产生弹性位移,推动连杆上移,使曲柄轴带动电位器的电刷在变阻器上滑动,因此输出的信号就是与被测压力成比例的电压信号。

2. 电位器式加速度传感器

电位器式加速度传感器的结构如图2-17所示。弹性敏感质量块在被测加速度的作用下,使弹簧片产生正比于被测加速度的位移,从而引起电刷在电位器上滑动,输出与加速度成比例的电压信号。

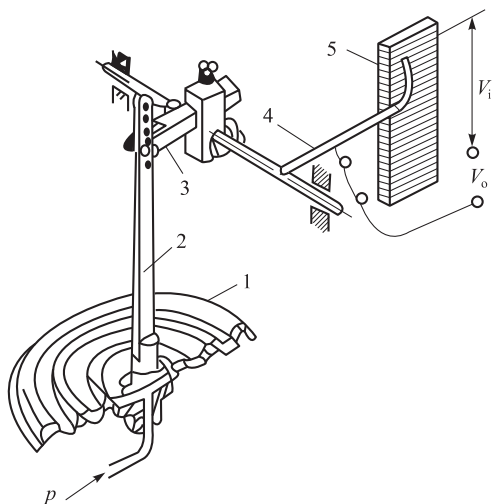


图 2-16 电位器式压力传感器

1—膜盒；2—连杆；3—曲柄；4—电刷；5—电阻元件

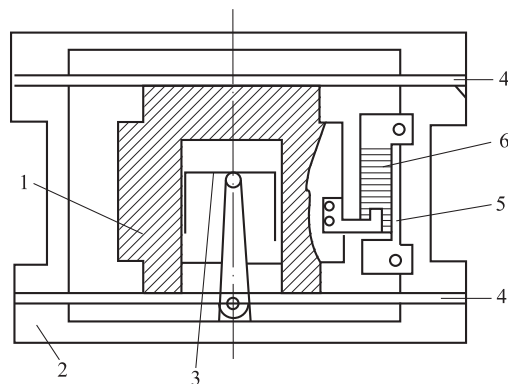


图 2-17 电位器式加速度传感器

1—惯性敏感质量块；2—壳体；3—活塞阻尼器；
4—片弹簧；5—电刷；6—电阻元件

3. 电位器式位移传感器

图2-18所示为电位器式位移传感器。被测位移使测量轴沿导轨轴向移动时,带动电刷

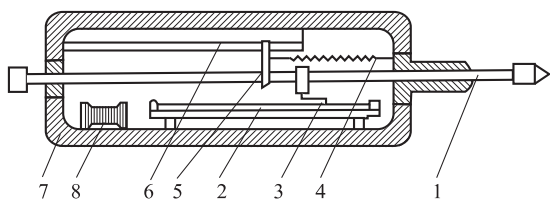


图 2-18 电位器式位移传感器

1—测量轴；2—滑线电阻；3—触头；4—弹簧；
5—滑块；6—导轨；7—外壳；8—无感电阻

在滑线电阻上产生相同的位移，从而改变电位器的输出电阻。由精密电阻与电位器的电阻可作为两个桥臂，构成此传感器的电桥测量电路。

另外，由于电位器式传感器可以测量油量、高度、空速、舵面角和压力等参数，所以，在航空飞行器中也得到了广泛应用。

2.3 电阻应变片的使用

2.3.1 电阻应变片的选择

要想正确选择应变片就必须对影响应变片工作特性的主要技术参数进行了解。

1. 初始电阻

指未安装的电阻应变片，在不受外力的情况下，于室温条件下测定的阻值，单位为 Ω ，有 60 Ω 、120 Ω 、350 Ω 、600 Ω 和 1 000 Ω 等。

2. 绝缘电阻

指敏感栅与基底之间的电阻，一般应大于 $10^{10} \Omega$ ，应防止应变片与试件间的漏电造成误差。

3. 灵敏系数

灵敏系数指应变片安装于试件表面，在轴向单位应力作用下，阻值相对变化与试件表面上应变片区域的轴向应变之比。灵敏系数是衡量应变片性能优劣的主要标志，要求灵敏系数尽量大且稳定。

4. 允许工作电流和逸散功率

允许工作电流指不因电流产生热量而影响测试精度时，应变片允许通过的最大电流，与应变片本身、试件、黏合剂和环境等因素有关。静态测量时，允许工作电流应小于 25 mA，动态测量时，可高一些，可达 75 ~ 100 mA。逸散功率指电流通过应变片时，在温度允许范围内，单位时间内传给周围介质的热量。

以上因素仅是选用应变片时应考虑的诸多因素中的一部分，还有许多因素需要结合传感器的具体情况加以考虑。

2.3.2 电阻应变片的粘贴

正确的粘贴工艺对保证粘贴质量，提高测试精度有着很大的影响。粘贴主要包含以下

步骤:

第一步,在粘贴之前首先要对应变片作外观检查和阻值检查。外观检查主要是检查丝栅或箔栅有否短路、断路,引出线路焊接是否牢固,上下基底有否破损;阻值检查主要是要求阻值误差不超过 $0.05\ \Omega$ 。

第二步,试件的表面处理。为了使应变片牢固地粘贴在试件表面,必须在粘贴之前将应变片表面处理干净,清除杂质、油污、氧化层、锈斑等,使其平整光洁。

第三步,确定应变片的定位线。为了使应变片粘贴定位准确,应指定应变片的定位线,粘贴时方便定位。

第四步,粘贴。在试件表面的粘贴位置和应变片基底各涂抹一层薄而均匀的黏合剂,将应变片根据定位线粘贴在预定位置,然后在应变片上盖一层玻璃纸,并挤压出多余的黏合剂和气泡,使黏合层尽量薄。

第五步,固化。根据所使用的黏合剂固化要求对应变片作固化处理。

第六步,粘贴质量检查。检查粘贴位置是否正确,黏合层是否有气泡和漏贴,敏感栅是否有断路和短路现象,以及敏感栅的绝缘性能等。

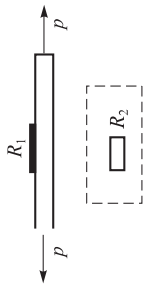
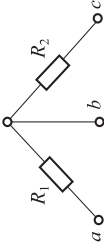
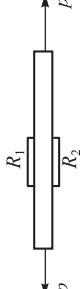
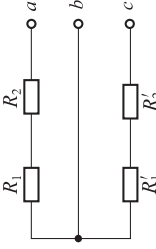
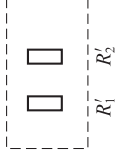
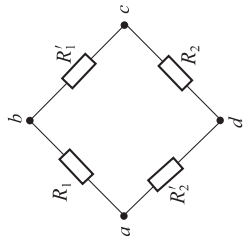
2.3.3 电阻应变片的温度误差

电阻应变片由于温度变化所引起的电阻变化与试件应变所造成电阻变化几乎有着相同的数量级,如果不采取必要措施克服温度的影响,测量精度将无法保证。温度误差的产生原因主要有两个方面:一是敏感栅的电阻温度效应,随着环境温度的变化,电阻丝的电阻率也将随之产生变化。因此在环境温度发生改变时,即使电阻应变片的应变或应力保持不变,输出电阻也会发生变化。二是被测物体因为温度改变而产生的附加力对应变片的影响。由于电阻应变片与粘贴在一起的被测物体具有不同的线膨胀系数,当它们经历同样的温度变化时,会产生不相等的变形,从而给电阻丝附加了拉伸或压缩的应变。即便在被测物体不受力时,这种应变的发生也会使应变片产生输出电阻的变化。因此在使用应变片式传感器时,必须采用一定的方法来补偿电阻应变片输出的温度误差,实际应用中常采用桥路补偿法和应变片自补偿法。

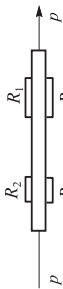
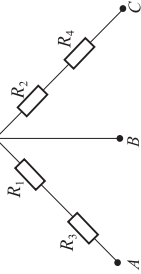
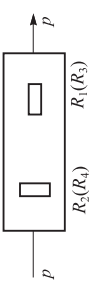
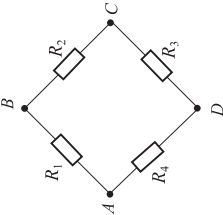
2.3.4 应变片的布置及电桥接法

构件在工作时,通常会受到多种载荷的作用,比如既有拉力,又伴有弯矩,因此,其表面的应变是由几种载荷共同引起的,如果想测量其中一种载荷引起的应变,就需要排除掉其他几种载荷的影响。但是,应变片本身并不具有分辨载荷的能力,所以必须找到一种方法来解决这个问题。实验分析证明:只要合理选择贴片位置和方位、选择合适的电桥作为测量电路,并将其合理地接入电桥,就能利用电桥的性质,从比较复杂的组合应变中测出指定成分而排除其他成分的影响。表2-3给出了轴向拉伸(压缩)载荷下应变的几种测量方法,

表 2-3 轴向拉伸(压缩)载荷下布片、接桥组合图例

序 号	受力状态简图	应变片的数量	电桥组合形式		温度补偿情况	电桥输出电压	测量项目及应变值	特 点
			电桥形式	电 桥 接 法				
1		2	半桥式		另设补偿片	$e_y = \frac{1}{4} e_0 S \varepsilon$	拉(压)应变 $\varepsilon = \varepsilon_i$	不能消除弯矩的影响
		2			互为补偿	$e_y = \frac{1}{4} e_0 S \varepsilon (1 + \nu)$	拉(压)应变 $\varepsilon = \frac{\varepsilon_i}{(1 + \nu)}$	输出电压提高到(1 + ν)倍,不能消除弯矩影响
3		4	半桥式			$e_y = \frac{1}{4} e_0 S \varepsilon$	拉(压)应变 $\varepsilon = \varepsilon_i$	可以消除弯矩的影响
4		4	全桥式		另设补偿片	$e_y = \frac{1}{2} e_0 S \varepsilon$	拉(压)应变 $\varepsilon = \frac{\varepsilon_i}{2}$	输出电压提高1倍,且可消除弯矩的影响

续表

序号	受力状态简图	应变片的数量	电桥组合形式		温度补偿情况	电桥输出电压	测量项目及应变值	特点
			电桥形式	电桥接法				
5		4	半桥式		互为补偿	$e_y = \frac{1}{4}e_0S\varepsilon(1+\nu)$	拉(压)应变 $\varepsilon = \frac{\varepsilon_i}{1+\nu}$	输出电压提高到 $(1+\nu)$ 倍,且能消除变矩影响
6		4	全桥式			$e_y = \frac{1}{2}e_0S\varepsilon(1+\nu)$	拉(压)应变 $\varepsilon = \frac{\varepsilon_i}{2(1+\nu)}$	输出电压提高到 $2(1+\nu)$ 倍,能消除变矩影响

其中, S ——应变片的灵敏度;
 ν ——被测件的泊松比;
 ε ——所要测量的机械应变值;
 e_0 ——供电电压;
 ε_i ——应变仪测读的应变值,即指示应用。

可以看到不同的贴片布置和接桥方法对消除弯矩、灵敏度以及温度补偿情况的影响是不同的。一般应优先选用输出信号大、可实现温度补偿、便于分析和应变片粘贴方便的方案,实际的测量情况要比表中的复杂许多,需要时可参考应力分析等有关资料。

先导案例解决

经过前面的学习,我们再来看看电子秤的工作过程。当物体放在秤盘上时,物品质量通过悬臂梁转化为结构变形,从而使应变片阻抗发生变化,同时使激励电压发生变化,输出一个变化的模拟信号。该信号经放大电路放大输出到模数转换器。转换成便于处理的数字信号输出到CPU运算控制系统。CPU根据键盘命令以及程序将这种结果输出到显示器。直至显示这种结果。

生产学习经验

1. 学生可结合电阻应变片、压阻式、气敏电阻等,通过某一具体的电阻传感器测量电路(如电阻应变片测量应变)的演示在操作中学习。
2. 应重视电桥的调零技巧及电压表、频率计的使用等基本操作技能。
3. 重在培养自身查阅器件手册、了解查找器件的常用途径、器件的使用方法等实际操作技能和设计应用能力。

本章小结

BENZHANGXIAOJIE

本章介绍了的基本特性,讨论了电阻式传感器和变阻器式传感器的结构和工作原理,分析了电桥电路用于测量应变的原理,重点论述了应变片在力、压力、位移、加速度、扭矩等物理量测量中的应用,以及变阻器式传感器在位移、压力、加速度等物理量测量中的应用。

弹性敏感元件可以感受力、压力和力矩等参数,并将其转换为应变和位移等物理量。基本特性有刚度(灵敏度)、弹性滞后、弹性后效和固有振动频率。

金属电阻应变片由基底、敏感栅、覆盖片和引线组成。金属电阻应变片的工作原理基于金属导线的电阻应变效应,即金属导线发生机械变形时,电阻值也会随之发生相应的变化。半导体应变片的工作原理是基于半导体的“压阻效应”,即半导体材料的电阻率会随着作用应力而发生变化。

变阻器式传感器在结构上就是一个金属电阻丝或一个绕线电阻与一个电刷组成的可变电阻,主要是作为一种把机械线位移或角位移转换为与其呈一定函数关系的电阻或电压的传感元件来应用。

电阻应变的测量电路常采用电桥，电桥的输出电压与被测应变的大小成正比。在实际应用中，最常采用的是双臂电桥或全桥，相比于单臂电桥，其灵敏度更高。

应变片在力、压力、位移、加速度、扭矩等物理量的测量中发挥了巨大作用。将不同形状的应变片粘贴在材料的特定部位，可以测得构件所受的拉、压应力。将弹性敏感元件、电阻应变片及一些附加元件（补偿元件、保护罩等）组合在一起可以测量力、位移、加速度和扭矩。

变阻器式传感器除了用于线位移和角位移测量外，还可以用于测量压力和加速度等参数。



思考题与习题

1. 电阻应变式传感器由哪几部分组成？各组成部分有何功能？可用于测量哪些物理量？
2. 什么是电阻应变效应？金属丝式应变片与半导体应变片在工作原理上有何区别？
3. 电阻应变最常采用的测量电路是什么电路？它是怎样将电阻应变片的应变大小 ε_x 测量出来的？

4. 一电位计式位移传感器及接线图如图 2-19 所示，变阻器有效长度为 L ，总电阻 $R = 200\ \Omega$ ，读数仪表电阻 $R_L = 500\ \Omega$ ，活动触点位置 $x = L/5$ 。求：读数仪表的指示值 U_a 。

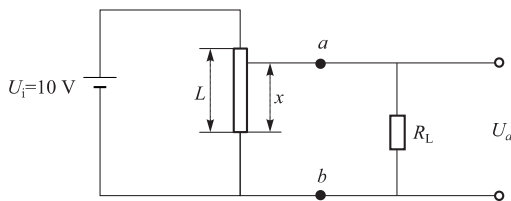


图 2-19 电位计式位移传感器及接线图

第 3 章 电容式传感器

本章知识点(技能点)

1. 电容传感器的分类；
2. 电容传感器的结构原理；
3. 电容传感器测位移的原理；
4. 电容传感器测液位的原理；
5. 电容传感器测量电路的使用；
6. 电容接近开关的设计方法；
7. 电容式传感器的应用情况。

先导案例

图 3-1 为电容式接近开关的结构图。当被测物体移向感应电极时，振荡电路可控制后续开关的接通和关断。那么，这个检测系统利用了电容式传感器的什么特性呢？为什么只要被测物体有位移，开关状态就会发生切换呢？这中间存在着怎样的物理量的转换关系呢？要搞清这个问题，就必须先了解电容式传感器。

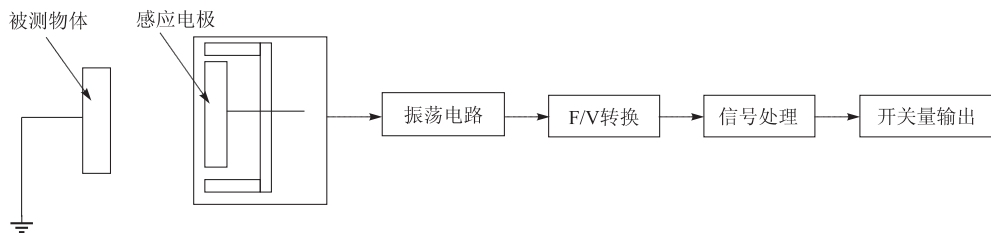


图 3-1 电容式接近开关结构图

3.1 电容式传感器的工作原理

电容式传感器的工作原理可以平行极板电容器来进行说明,如图3-2所示。一平行极板电容器,由物理学知识可知,当忽略边缘效应时,平行极板电容器的电容量为

$$C = \frac{\varepsilon A}{d} \quad (3-1)$$

式中 ε ——极板间介质的介电常数;

A ——极板间有效面积;

d ——极板间距。

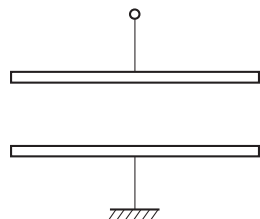


图3-2 平行极板式电容器

由式(3-1)可以看出,平行极板电容器的电容量 C 与 ε 、 A 、 d 三个参数有关,当其中任一参数发生改变时,都会引起电容量的变化。因此,只要将被测量的变化转换为电容器中任一参数的变化,使得 C 发生变化,再通过测量电路将 C 的变化转换为电压或电流信号输出,我们就可以测出被测量的大小,这就是电容式传感器的工作原理。 ε 的变化可以反映液位、湿度的变化; A 的变化可以直接反映出角度的变化; d 的变化可以直接反映出线位移的变化; A 和 d 的变化还可以间接反映出压力和弹力的变化。

在实际应用中,通过保持其中两个参数不变,而使另一个参数发生改变,可以制成变极板间距型、变有效面积型和变极板间介质型三种不同类型的电容传感器。

3.1.1 变极板间距型电容传感器

变极板间距型电容传感器结构及特性曲线,如图3-3所示。

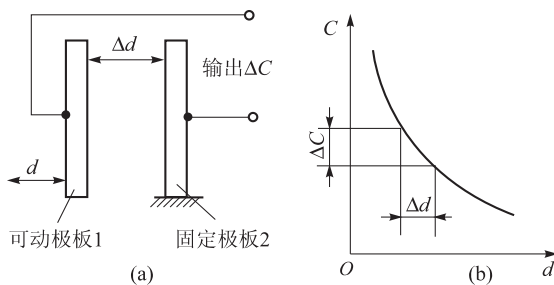


图3-3 变极板间距型电容传感器及特性曲线

(a) 变极板间距型电容传感器结构;

(b) 变极板间距型电容传感器特性曲线

变极板间距型电容传感器结构如图3-3(a)所示,极板1为可动极板,极板2为固定极板。移动极板1即可改变两极板的间距,从而改变电容量的大小。图3-3(b)为其特性曲线,可以看出, C 与 d 之间不是线性关系,而是双曲线关系。但是,当极板1的位移量 Δd 很小时,可近似认为是线性关系,且可以证明

$$\frac{\Delta C}{C_0} = \frac{\Delta d}{d_0} \quad (3-2)$$

式中 C_0 ——初始电容量;

d_0 ——初始间距。

由式 (3-2) 可得变极板间距型电容传感器的灵敏度为

$$S = \frac{\Delta C}{\Delta d} = \frac{\varepsilon A}{d_0^2} \quad (3-3)$$

S 表示了可动极板有单位位移时电容量的变化。由式 (3-3) 可以看出, 要想提高灵敏度, 就要降低 d_0 , 但 d_0 过小, 会导致电容器击穿, 且会增大非线性。实际应用中, 常将传感器做成差动式, 不仅可以提高灵敏度, 且大大降低非线性, 还能减小静电引力带来的影响, 有效改善温度误差。

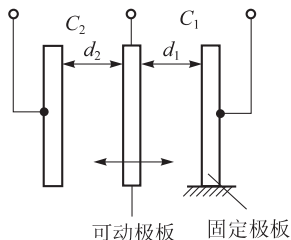


图 3-4 差动变极板间距式电容传感器

图 3-4 所示为差动变极板间距式电容传感器的结构图, 其中一个电容器的电容量增加时, 另一个电容器的电容量会减小。可以证明, 当可动极板的位移 Δd 很小时, C 与 d 为近似的线性关系, 且灵敏度为

$$S = \frac{\Delta C}{\Delta d} = \frac{2\varepsilon A}{d_0^2} \quad (3-4)$$

3.1.2 变有效面积型电容传感器

变有效面积型电容传感器通过改变极板间的有效面积 A 来改变电容量 C 的大小。常见的有平板式、扇形平板式、柱面板式和筒面板式, 如图 3-5 所示。

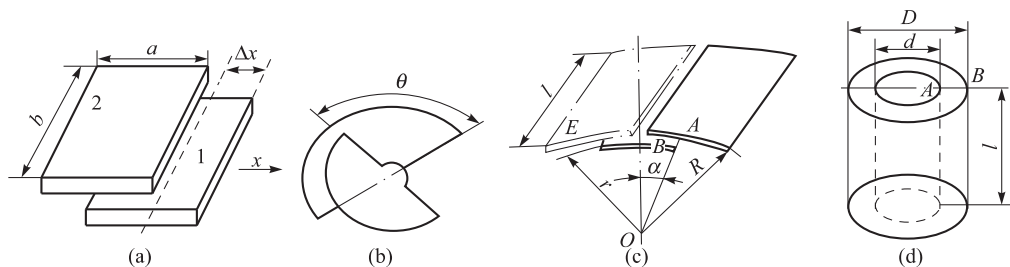


图 3-5 变有效面积型传感器

(a) 平板式; (b) 扇形平板式; (c) 柱面板式; (d) 筒面板式

1—可动极板; 2—固定极板

我们以平板式为例来说明变有效面积型电容传感器的工作原理。当可动极板 1 移动 Δx 后, 有效面积 A 会发生改变, 电容量 C 也会随之改变, 若忽略边缘效应, 则极板移动 Δx 后, 电容器的电容量为

$$C_x = \frac{\varepsilon A_x}{d} = \frac{\varepsilon b(a - \Delta x)}{d} = C_0 - \frac{\varepsilon b}{d} \Delta x \quad (3-5)$$

电容增量为

$$\Delta C = C_x - C_0 = -\frac{\varepsilon b}{d} \Delta x \quad (3-6)$$

灵敏度为

$$S = \frac{\Delta C}{\Delta x} = -\frac{\varepsilon b}{d} \quad (3-7)$$

S 表示了可动极板单位线位移所引起的电容量的变化。要想提高灵敏度,就要增大 b , 减小 d 。

3.3.3 变极板间介质型电容传感器

电容式液面计如图 3-6 所示。

如果改变电容器极板间的介质,就会改变介电常数 ε ,从而使电容量发生改变,这就是变极板间介质型电容传感器的基本工作原理,我们以电容式液面计为例来进行说明。

图 3-6 (a) 所示为电容式液面计的结构原理图。在被测介质中放入两个同心圆柱状极板 1 和 2,容器内介质的介电常数为 ε_1 ,介质上气体的介电常数为 ε_2 ,传感器总高度为 H ,内筒外径为 d ,外筒内径为 D ,当介质浸没电容极板一定高度 h 时,总电容量为气体介质与液体介质电容量之和,因此,通过电容器总电容量的改变可以判别电容器内液位的高度。可以证明,总电容量为

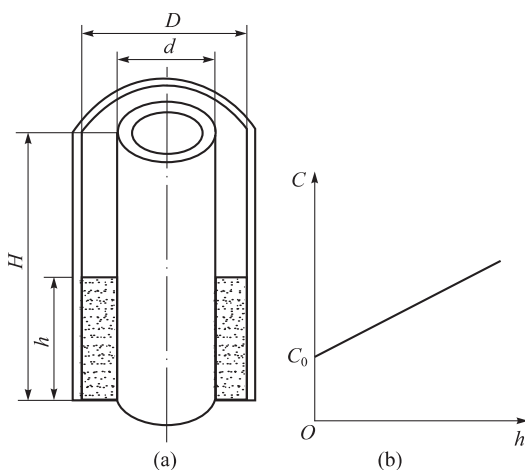


图 3-6 电容式液面计

(a) 电容式液面计的结构; (b) 电容式液面计的输出特性

$$C = C_0 + \Delta C = C_0 + \frac{k(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)}{\ln \frac{D}{d}} h \quad (3-8)$$

式中 ΔC ——电容量增量;

C_0 ——初始电容量。

$$\Delta C = \frac{k(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)}{\ln \frac{D}{d}} h \quad (3-9)$$

$$C_0 = \frac{k\varepsilon_2 H}{\ln \frac{D}{d}} \quad (3-10)$$

由于, C_0 、 k 、 ε_1 、 ε_2 、 D 、 d 都为固定参数, 所以电容量的增量与被测液位高度 h 成正比, 图 3-6 (b) 即为电容式液面计的输出特性图。

3.2 电容式传感器的测量电路

电容式传感器的测量电路可将电容量转换成电压或电流, 较常用的有电桥电路、谐振电路、调频电路及运算放大器电路等。

3.2.1 电桥电路

在电容式传感器的电桥测量电路中, 电容传感器作为电桥的一部分。利用传感器的电容 C_1 、 C_2 与电感组成交流电桥, 将电容的变化转换为电桥的电压输出, 经放大、相敏检波、滤波后, 输出电压 U_o 推动显示记录仪器, 如图 3-7 所示。

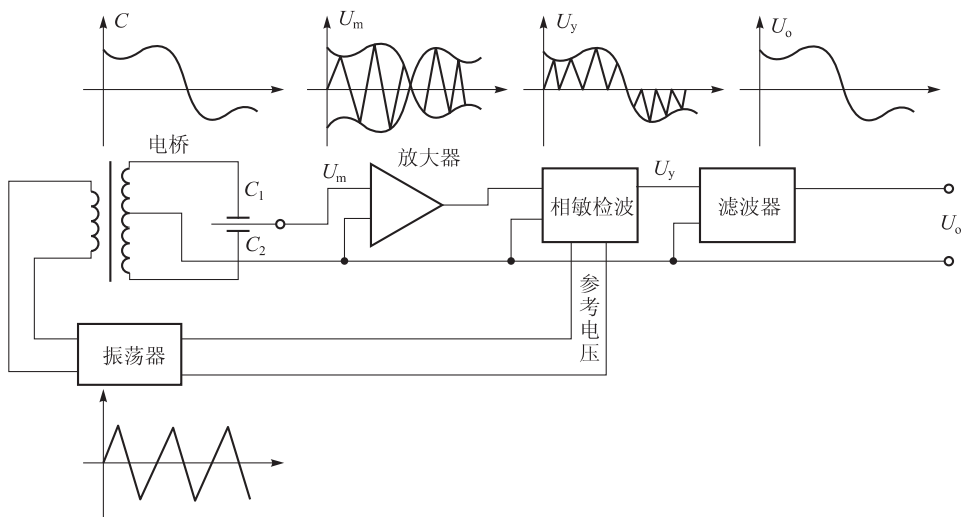


图 3-7 电容式传感器的输出电桥电路

3.2.2 谐振电路

图3-8为谐振电路的原理框图,电容传感器的电容 C_3 作为谐振回路(L_2 、 C_2 、 C_3)调谐电容的一部分。谐振回路通过电感耦合,从稳定的高频振荡器取得振荡电压。当传感器电容发生变化时,使得谐振回路的阻抗发生相应的变化,而这个变化被转换为电压或电流,再经过放大、检波即可得到相应的输出。

为了获得较好的线性关系,谐振电路的工作点一般选在谐振曲线的线性区域内最大振幅70%附近的地方,且工作范围选在BC段内。

这种电路的优点是比较灵活,缺点是工作点不易选好,变化范围也较窄,传感器连接电缆的杂散电容对电路的影响较大,同时为了提高测量精度,要求振荡器的频率具有很高的稳定性。

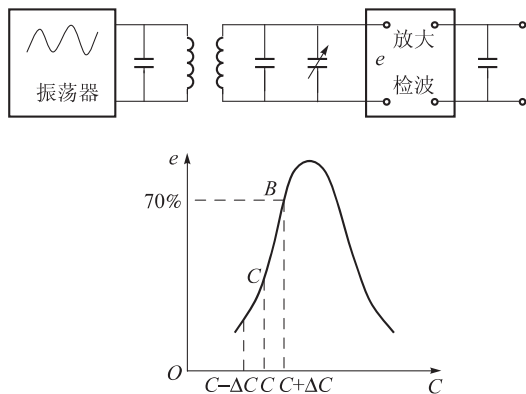


图3-8 谐振电路原理

3.2.3 调频电路

传感器的电容器作为振荡器谐振回路的一部分,当输入量使电容量发生变化时,振荡器的振荡频率将发生变化,频率的变化经过鉴频器转换为电压的变化,经过放大处理后输入显示或记录等仪器。

3.2.4 运算放大器电路

变极距型电容式传感器的极距变化与电容变化量呈非线性关系,而采用比例运算放大器电路,可以使输出电压与位移的关系转换为线性关系。如图3-9所示,反馈回路中的 C_x 为极距变化型电容式传感器的输入电容, C_0 为固定电容, u_0 为稳定的工作电压。由于放大器的高输入阻抗和高增益特性,输出与输入之间的运算关系式为

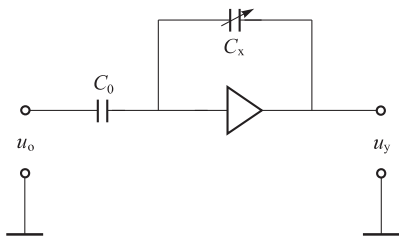


图3-9 运算放大器

$$u_y = -u_0 \frac{Z_{C_x}}{Z_{C_0}} = -u_0 \frac{C_0}{C_x} \quad (3-11)$$

将 $C_x = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon A}{\delta}$ 代入式 (3-11) 得

$$u_y = -u_0 \frac{C_0 \delta}{\varepsilon_0 \varepsilon A} \quad (3-12)$$

3.3 电容式传感器的应用

电容式传感器可以直接测量的非电量为：线位移、角位移和几何尺寸，线位移和角位移可以是静态的，也可以是动态的。电容式传感器用于测量其他物理量时，就需要转换电路将被测参数转换成为 d 、 A 、 ε 的变化，再进行测量。

例如测量加速度时，需要将加速度转换为位移，再利用变面积型电容式传感器进行测量，如图 3-10 所示。在两个固定极板间有一个用弹簧支撑的质量块，此质量块的两个端面经过磨平抛光后作为可动极板。当传感器测量垂直方向上的直线加速度时，质量块在绝对空间中相对静止，而两个固定极板将相对质量块产生位移，此位移大小正比于被测加速度，使 C_1 、 C_2 中一个增大，一个减小。

图 3-11 所示为电容式测厚仪，主要用来测量金属带材在轧制过程中厚度的变化。两个电容极板与被测金属带材之间距离相同，它们与带材共同构成了两个电容器，将两个极板用导线连接起来，就成为了一个极板，那么总电容量为 $C = C_1 + C_2$ 。轧辊在不断旋转的时候，带材也在轧制过程中不断前进，如果厚度发生变化，将会引起总电容量 C 的变化，将 C 作为交流电桥的一个臂，电容 C 的变化会引起电桥的不平衡输出，经放大、滤波后，就可以在仪表上显示出带材的厚度。

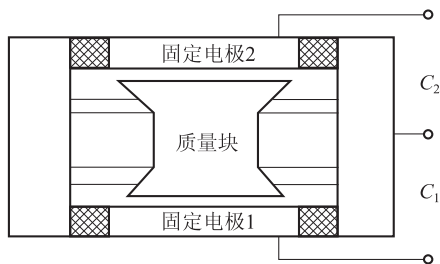


图 3-10 电容式加速度传感器

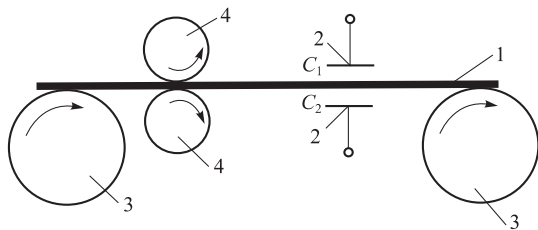


图 3-11 电容式测厚仪

1—带材；2—极板；3—传动辊；4—轧辊

电容式传感器在身份识别领域也得到了应用。传统的身份识别方法在安全性、可靠性方面的不足越来越明显，随着传感器技术的发展，人们利用电容式传感器可以对人体不变的生

物特征如指纹识别,从而识别人的身份,可靠性大大提高,广泛应用于养老金领取、人事工资管理、银行柜员身份确认等很多场合。电容式固态指纹传感器利用指纹中凸起的部分置于传感器电容像素电极时电容量会有所增加,从而通过检测增加的电容来进行图像数据的采集,对指纹进行识别。

近年来,随着科学技术的发展,出现了数字式智能化的电容式传感器。它将测量部件技术与微处理器的计算功能结合为一体,是一种先进的数字式智能化传感器,其综合性能指标、实际测量准确度比传统的传感器提高了很多。

3.4 电容式传感器的使用注意事项

电容式传感器在使用时,应注意以下事项:

① 电容式传感器的电容量一般都很小,易受外界电场的干扰,这样,就要求采用阻抗高、噪声低的前置放大器,引出线应尽量短,采用屏蔽线,而且屏蔽线与壳体及可动电极应有可靠的接地,以尽量减小外电场的干扰。

② 正确选择极板材料。不同材料制成的传感器,具有不同的温度膨胀系数,极板材料易受温度的影响,所以在选择传感器尺寸和材料时应考虑温度的影响。

③ 环境温度误差的补偿。温度的变化对结构尺寸、介电常数都有影响,这会造成附加的温度误差。为减小结构尺寸误差,应尽量选取温度系数小和稳定的材料;为减小介电常数误差,应选择温度系数低的材料作极板。另外,在实际应用中可采用补偿电桥以抵消介电常数随温度的变化引起的误差。

先导案例解决

测量头构成电容器的一个极板,另一个极板是物体本身,当物体移向接近开关时,物体和接近开关的介电常数发生变化,使得和测量头相连的电路状态也随之发生变化。由此便可控制开关的接通和关断;接近开关的检测物体,并不限于金属导体,也可以是绝缘的液体或粉状物体。

● 生产学习经验 ●

1. 可从实际的检测电路出发,理解电容式传感器的检测原理。
2. 在掌握了结构原理的基础上,理解传感器获取信息与进行信号提取的常用电路。
3. 根据结构类型理解各类电容式传感器可以检测的物理量和适用场合。

本章小结

BENZHANGXIAOJIE

本章介绍了电容式传感器的分类,分析了各类电容式传感器的结构原理以及适用场合,讨论了电容式传感器的测量电路,重点讲述了电容式传感器在位移、液位、加速度、厚度等物理量测量中的应用,最后讨论了电容式传感器的使用注意事项。

电容式传感器按照测量原理的不同可以分为变极板间距型、变有效面积型、变极板间介质型。变极板间距型传感器可以直接测量线位移,变有效面积型传感器可以直接测量位移和角度,变极板间介质型传感器可以直接反映液位、湿度的变化。

电容式传感器的测量电路可将电容量转换成电压或电流,较常用的有电桥电路、谐振电路、调频电路及运算放大电路等。

电容式传感器不仅可以用于直接测量线位移、角度、液位和湿度,还可以测量加速度及带材厚度。另外,电容式传感器在身份识别领域也得到了应用。

电容式传感器在使用时要注意选择极板材料,屏蔽干扰,补偿温度误差。



思考题与习题

1. 电容式传感器有哪几种类型?
2. 为什么说变极板间距型电容传感器特性是非线性的?采取什么措施可改善其非线性特征?
3. 试分析变有效面积型和变极板间距型电容传感器的灵敏度。为了提高传感器的灵敏度可采取什么措施?
4. 有一个直径为 2 m、高 5 m 的铁桶,往桶内连续注水,当注水数量达到桶容量的 80% 时就应当停止,试分析用应变片式或电容式传感器系统来解决该问题的途径和方法。
5. 总结电容式传感器的优缺点,主要应用场合以及使用中应注意的问题。
6. 一个圆形极板式电容传感器,极板半径 $r=4\text{ mm}$,工作初始间隙 $\delta_0=0.2\text{ mm}$,请问:
 - (1) 工作时,如果传感器的极板间隙发生改变且 $\Delta\delta=\pm 2\text{ }\mu\text{m}$,则电容变化量是多少?
 - (2) 如果测量电路的灵敏度 $S=100\text{ mV/pF}$,指示仪表的分格常数为 $n=0.2\text{ mV/div}$,那么在 $\Delta\delta=\pm 2\text{ }\mu\text{m}$ 时,读数仪表的指示值将有多少格的变化量?空气的介电常数为 $\varepsilon_0=8.85\times 10^{-15}\text{ F/m}$ 。