

第2章 电阻应变式传感器及其应用

电阻式传感器的基本原理是将被测的非电量转变成电阻值,通过测量电阻值达到测量非电量的目的。这类传感器的种类很多,大致可分为电阻应变式、压阻式和热电阻式传感器。利用电阻式传感器可以测量形变、压力、力、位移、加速度和温度等非电量参数。本章介绍电阻应变片和压阻式传感器的原理和应用,热电阻式传感器在第7章介绍。

2.1 应变式传感器

2.1.1 金属电阻应变片工作原理

电阻应变片的工作原理是基于金属的应变效应。金属丝的电阻值随着它所受的机械形变(拉伸或压缩)的大小而发生相应变化的现象称为金属的电阻应变效应。

1. 金属电阻应变效应

长为 l 、截面积为 A 、电阻率为 ρ 的金属或半导体丝,电阻 $R = \rho \frac{l}{A}$,如图2-1。若导电丝在轴向受到应力的作用,其阻值将发生变化。假设其长度变化 Δl ,截面积变化 ΔA ,电阻率变化 $\Delta \rho$,而引起电阻变化 ΔR ,对 $R = \rho \frac{l}{A}$ 作全微分,则

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta l}{l} - \frac{\Delta A}{A} + \frac{\Delta \rho}{\rho} \quad (2-1)$$



图2-1 金属导线的电阻应变效应

设电阻丝为圆形截面,直径为 d ,则

$$\frac{\Delta A}{A} = \frac{2\Delta d}{d} \quad (2-2)$$

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta l}{l}(1 + 2\mu) + \frac{\Delta \rho}{\rho} = k_0 \frac{\Delta l}{l} \quad (2-3)$$

$$\mu = -\frac{\Delta d/d}{\Delta l/l} \text{ (材料的泊松系数)} \quad (2-4)$$

式中:

$$k_0 = \frac{\Delta R/R}{\Delta l/l} = 1 + 2\mu + \frac{\Delta \rho/\rho}{\Delta l/l} \quad (2-5)$$

k_0 为单根导电丝的灵敏系数,表示当发生应变时,其电阻变化率与其应变的比值。 k_0 的大小由两个因素引起:一个是由于导电丝的几何尺寸的改变所引起,由 $(1+2\mu)$ 项表示;另一个是导电丝受力后,材料的电阻率 ρ 发生变化而引起,由 $(\Delta\rho/\rho)/(\Delta l/l)$ 项表示。

引用 $\frac{\Delta\rho}{\rho} = \pi T$,其中应力 $T = E\varepsilon = E\frac{\Delta l}{l}$, π 表示压阻系数, $\varepsilon = \Delta l/l$ 为应变,则有

$$k_0 = \frac{\Delta R/R}{\varepsilon} = 1 + 2\mu + \pi E \quad (2-6)$$

对金属来说, πE 很小,可忽略不计, $\mu = 0.25 \sim 0.5$,故 $k_0 = 1 + 2\mu \approx 1.5 \sim 2$ 。对半导体而言, πE 比 $1 + 2\mu$ 大得多,压阻系数 $\pi = (40 \sim 50) \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{N}$,杨氏模量 $E = 1.67 \times 10^{11} \text{ Pa}$,则 $\pi E \approx 50 \sim 100$,故 $(1 + 2\mu)$ 可以忽略不计。可见,半导体灵敏度要比金属大50~100倍。

2. 应变计的结构与分类

电阻应变片种类繁多,但基本构造大体相同,如图2-2所示,图中 l 称为应变计的标距,也称(基)栅长, a 称为(基)栅宽, $l \times a$ 称为应变计的使用面积。

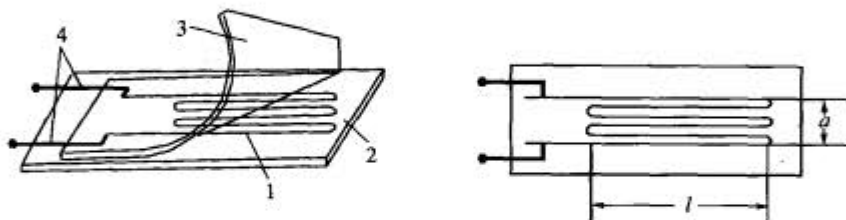


图 2-2 电阻应变计构造简图

1—敏感栅;2—基片;3—盖片(即保护片);4—引线

敏感栅是应变片的核心部分,它粘贴在绝缘的基片上,其上再粘贴起保护作用的覆盖层,两端焊接引出导线。常用金属应变片的敏感栅有丝式、箔式、薄膜式等。

(1) 丝式应变计

丝式应变计是最早应用的品种。金属丝弯曲部分可做成圆弧、锐角或直角,如图2-3所示。弯曲部分做成圆弧(U)型是最早常用的一种形式,制作简单但横向效应较大。直角(H)型两端用较粗的镀银铜线焊接,横向效应相对较小,但制作工艺复杂,将逐渐被横向效应小、其他方面性能更优越的箔式应变计所代替。

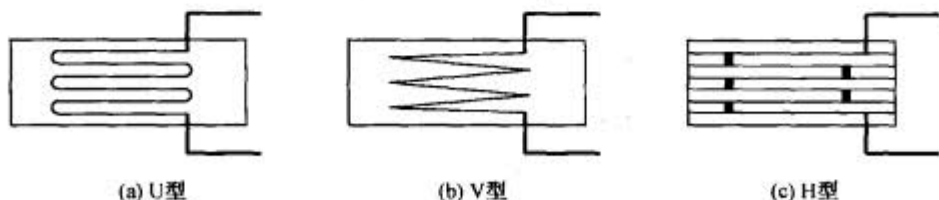


图 2-3 金属丝式应变计常见形式

(2) 箔式应变计

箔式应变计的线栅是通过光刻、腐蚀等工艺制成很薄的金属薄栅(厚度一般在 $0.003 \sim 0.01 \text{ mm}$)。图2-4画出了几种箔式应变计。