

## 第3章 电感式传感器及其应用

电感式传感器是以电和磁为媒介,利用电磁感应原理将被测非电量如压力、位移、流量等非电量转换成线圈自感量 $L$ 或互感量 $M$ 的变化,再由测量电路转换为电压或电流的变化量输出的装置。电感式传感器具有结构简单、工作可靠、测量精度高等优点,常用来检测位移、振动、力、加速度、应变、流量等物理量,是应用较广的一类传感器。这种传感器能实现信息的远距离传输、记录、显示和控制,在工业自动控制系统中得到广泛采用。电感式传感器种类很多,本章主要介绍自感式、互感式和电涡流式三种。

### 3.1 自感式传感器

#### 3.1.1 自感式传感器结构与工作原理

自感式传感器结构如图3-1所示。它由线圈、铁芯和衔铁三部分组成,铁芯和衔铁由导磁材料如硅钢片等材料制成,在铁芯和衔铁之间留有空气隙 $\delta$ 。被测物与衔铁相连,当衔铁移动时,气隙厚度 $\delta$ 发生改变而引起磁路中磁阻变化,从而导致电感线圈的电感值变化,只要能测出这种电感量的变化,就能确定衔铁位移量的大小和方向。电感量的变化通过测量电路转换为电压、电流或频率的变化,从而实现对被测物位移的检测。

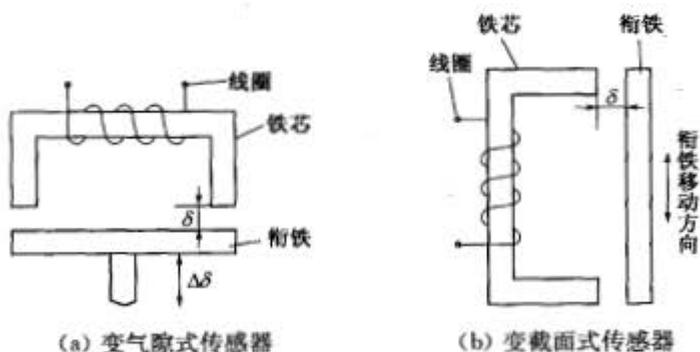


图3-1 自感式传感器结构图

当线圈的匝数为 $N$ ,流过线圈的电流为 $I(A)$ ,磁路磁通为 $\Phi(Wb)$ ,则根据电磁感应原理,可得电感量表达式为

$$L = \frac{\Psi}{I} = \frac{N\Phi}{I} \quad (3-1)$$

式中: $\Psi$ 为线圈总磁链; $I$ 为通过线圈的电流; $N$ 为线圈的匝数; $\Phi$ 为穿过线圈的磁通。

由磁路欧姆定律得 $\Phi = \frac{NI}{R_m}$ , $R_m$ 为磁路总磁阻,因而有

$$L = \frac{N^2}{R_m} \quad (3-2)$$

磁阻  $R_m$  包括铁芯、衔铁和气隙中的磁阻三部分。对于变隙式传感器, 因为气隙很小, 所以可以认为气隙中的磁场是均匀的, 若忽略磁路磁损, 则磁路总磁阻为

$$R_m = \frac{L_1}{\mu_1 A_1} + \frac{L_2}{\mu_2 A_2} + \frac{2\delta}{\mu_0 A} \quad (3-3)$$

式中:  $\mu_1$  为铁芯材料的导磁率;  $\mu_2$  为衔铁材料的导磁率;  $L_1$  为磁通通过铁芯的长度;  $L_2$  为磁通通过衔铁的长度;  $A_1$  为铁芯的截面积;  $A_2$  为衔铁的截面积;  $A$  为气隙的截面积;  $\mu_0$  为空气的导磁率,  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$ ;  $\delta$  为气隙的厚度。

对于一般导磁体, 它的导磁率远大于空气的导磁率, 即有:  $\frac{2\delta}{\mu_0 A} \gg \frac{L_1}{\mu_1 A_1}$ ,  $\frac{2\delta}{\mu_0 A} \gg \frac{L_2}{\mu_2 A_2}$ , 式(3-3)简写为  $R_m = \frac{2\delta}{\mu_0 A}$ , 从而可得

$$L = \frac{N^2 \mu_0 A}{2\delta} \quad (3-4)$$

上式表明当线圈匝数  $N$  为常数时, 电感  $L$  仅仅是磁路中磁阻  $R_m$  的函数。如果  $A$  保持不变, 则  $L$  为  $\delta$  的单值函数, 构成变气隙式自感传感器, 如图 3-1(a) 所示。若保持  $\delta$  不变, 使  $A$  随被测量(如位移)变化, 则构成变截面式自感传感器, 如图 3-1(b) 所示。前者常用来测量线位移, 后者常用于测量角位移。使用最广泛的是变气隙厚度  $\delta$  式电感传感器。

### 3.1.2 自感式传感器灵敏度及特性分析

设自感式传感器初始气隙为  $\delta_0$ , 初始电感量为  $L_0$ , 衔铁位移引起的气隙变化量为  $\Delta\delta$ , 从式(3-4)可知,  $L$  与  $\delta$  之间是非线性关系,  $L$  与  $A$  之间是线性关系, 特性曲线如图 3-2 所示。



图 3-2 电感式传感器的  $L$ - $\delta$  特性

下面对自感式传感器的灵敏度进行讨论。对图 3-1(a) 所示变气隙式传感器, 初始电感量为

$$L_0 = \frac{\mu_0 A N^2}{2\delta_0} \quad (3-5)$$

当衔铁上移  $\Delta\delta$  时, 传感器气隙减小  $\Delta\delta$ , 即  $\delta = \delta_0 - \Delta\delta$ , 则此时输出电感为  $L = L_0 +$