

第3章

电容式传感器

【本章要点】

电容式传感器的工作原理；变极距、变面积和变介质电容传感器的工作特点；电容式传感器的检测电路；电容式传感器的应用。

【学习要求】

掌握常用电容式传感器的工作原理；掌握变极距、变面积和变介质电容传感器的工作特性和典型应用；熟悉电容式传感器的常用检测电路及特点；掌握电容式传感器创新应用的基本要领。

电子技术中的三大类无源元件是电阻、电容和电感。前面介绍的电阻应变计是将非电量转化为电阻的变化，再利用应变电桥电路转化为电流或电压的变化。本章介绍的电容式传感器则是利用电容器的原理，将非电量转化为电容量的变化，进而实现由非电量到电量的转换。

电容式传感器技术近年来有了很大进展，不但广泛应用于位移、振动、角度、加速度等机械量的精密测量，而且，还逐步扩大到压力、差压、液面、料面、成分含量等方面的测量。由于电容式传感器具有一系列突出的优点，如结构简单、体积小、分辨率高、动态特性好、可非接触测量等，使电容式传感器在非电测量和自动检测中得到了广泛的应用。

3.1 电容式传感器的工作原理

3.1.1

电容式传感器的定义

电容式传感器是把被测非电量的变化转换为电容量变化的一种传感器，在测量过程中，被测量通过改变影响传感器电容量的参数而实现其转换的，如图 3-1 所示。

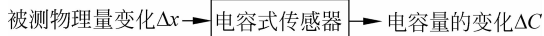


图 3-1 电容式传感器示意图

3.1.2

电容式传感器的工作原理

电容式传感器可用任何类型的电容器作为传感器，但最常用的是平行板电容器和圆柱

形电容器。

下面以最普遍的平行板电容器为例说明电容式传感器的基本工作原理。两块相互平行的金属极板,当不考虑其边缘效应(两个极板边缘处的电力线分布不均匀引起电容量的变化)时,图 3-2 所示平板电容器的电容为

$$C = \frac{\epsilon S}{d} = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 S}{d} \quad (3-1)$$

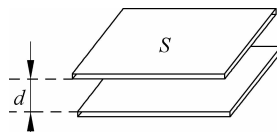


图 3-2 平板电容器

式中, ϵ 为极板间介质的介电常数(F/m); ϵ_0 为真空的介电常数, $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}$ (F/m); ϵ_r 为极板间介质的相对介电常数, $\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$, 对于空气介质 $\epsilon_r \approx 1$; S 为两平行板覆盖的面积(m^2); d 为极板间的距离(m); C 为输出电容(F)。

显然, C 是 S 、 d 、 ϵ 的函数, 如果保持其中两个参数不变, 只改变另一个参数, 就可将参数变化转换成电容量的变化, 构成电容式传感器。因此, 电容式传感器可分为变极距型、变面积型和变介质型三种类型。

3.2 电容式传感器的工作特性

3.2.1

变极距型电容传感器

1. 基本特性

变极距型电容传感器是通过改变电容极板间距来反映被测参数变化的传感器。由式(3-1)可知, 电容量 C 与极板间距 d 成双曲线关系。如图 3-3 所示, 极板间距变化 Δd 时, 电容量的变化为

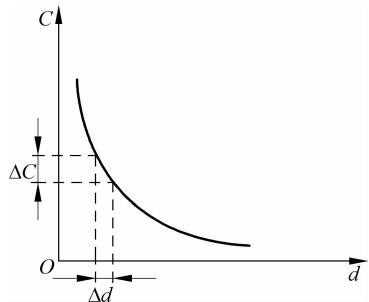


图 3-3 极距与电容量的关系

$$\Delta C = -\frac{\epsilon S}{d^2} \Delta d$$

由图 3-3 所示, 当间隙变化范围 Δd 限制在远小于极板间距 d 的区间内, 即当 $\Delta d \ll d$ 时, 可把 ΔC 与 Δd 的关系近似地看成是线性关系。

下面对电容量与极板间距的关系做定量分析。

假设电容器的初始极距为 d_0 , 则初始电容量 C_0 为

$$C_0 = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 S}{d_0} \quad (3-2)$$

当动极板上移使极板间距减小 Δd 时, 电容量增大为

$$C = C_0 + \Delta C = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 S}{d_0 - \Delta d} = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 S}{d_0 (1 - \Delta d / d_0)} = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 S (1 + \Delta d / d_0)}{d_0 (1 - \Delta d^2 / d_0^2)} \quad (3-3)$$

当 $\Delta d \ll d_0$ 时, $1 - \Delta d^2 / d_0^2 \approx 1$, 则式(3-3)可简化为

$$C = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 S (1 + \Delta d / d_0)}{d_0} = C_0 + C_0 \frac{\Delta d}{d_0} \quad (3-4)$$

这时, C 与 Δd 呈近似线性关系, 所以改变极板间距的变间隙型电容传感器, 往往是设计成 Δd 在极小的范围内变化。

由式(3-3)得电容相对变化量为

$$\frac{\Delta C}{C_0} = \frac{\Delta d}{d_0} \left(1 - \frac{\Delta d}{d_0}\right)^{-1} \quad (3-5)$$

当 $\Delta d/d_0 \ll 1$ 时, 将 $\left(1 - \frac{\Delta d}{d_0}\right)^{-1}$ 按级数展开得

$$\frac{\Delta C}{C_0} = \frac{\Delta d}{d_0} \left[1 + \frac{\Delta d}{d_0} + \left(\frac{\Delta d}{d_0}\right)^2 + \left(\frac{\Delta d}{d_0}\right)^3 + \dots\right] \quad (3-6)$$

讨论:

(1) 略去高次项, 得

$$\frac{\Delta C}{C_0} = \frac{\Delta d}{d_0} \quad (3-7)$$

则灵敏度为

$$S = \frac{\Delta C}{\Delta d} = \frac{C_0}{d_0} = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 S}{d_0^2} \propto \frac{1}{d_0^2} \quad (3-8)$$

由此可见, 灵敏度 S 与初始极距 d_0 的平方成反比, 因此, 在设计时可通过减小 d_0 的办法提高灵敏度。一般电容式传感器的起始电容在 $20 \sim 30 \text{ pF}$ 之间, 极板间距离在 $25 \sim 200 \mu\text{m}$ 的范围内, 最大位移 ($\Delta d_{\max}$) 应小于极板间距的 $1/10$ 。

(2) 考虑线性项和二次项(即略去式(3-6)中 $\Delta d/d_0$ 的二次方以上各项), 则有

$$\frac{\Delta C}{C_0} = \frac{\Delta d}{d_0} \left(1 + \frac{\Delta d}{d_0}\right) \quad (3-9)$$

按式(3-7)得到的特性为直线 1, 按式(3-9)得到的则为非线性曲线 2(见图 3-4)。当以曲线 2 作为传感器的特性曲线使用时, 其相对曲线 1 的非线性误差为

$$e_f = \frac{\left| \frac{(\Delta d/d_0)^2}{\Delta d/d_0} \right|}{\left| \Delta d/d_0 \right|} \times 100\% = \left| \Delta d/d_0 \right| \times 100\% \quad (3-10)$$

因此, $|\Delta d/d_0|$ 越小, 则 e_f 越小, 即只有在 $\Delta d/d_0$ 很小时(小测量范围), 才有近似的线性输出。

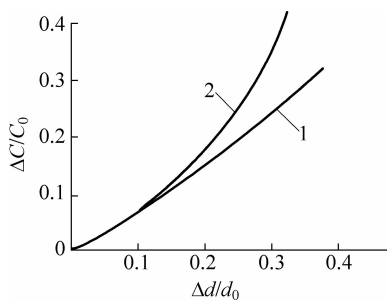


图 3-4 变间隙电容传感器的非线性特性

由以上分析看出, 要提高传感器的灵敏度, 就需减小极板初始极距 d_0 。但 d_0 的减小, 一方面会导致非线性误差 e_f 增大; 另一方面 d_0 过小还容易引起电容器击穿(受电容器击穿电压限制), 而且增加装配工作的困难。改善电容器击穿条件的方法是在极板间放置云母片或塑料膜, 构成有介电层的变间隙型电容传感器。

为了保证一定的线性度, 应限制动极片的最大相对位移量。如取最大 $\Delta d/d_0 = 0.1 \sim 0.2$, 此时线性度为 $2\% \sim 5\%$ 。为了改善非线性, 可以采用差动式结构(见图 3-5), 当一个电容增加时, 其特性方程如式(3-6), 另一个电容则减小, 此时其特性方程与式(3-6)相似, 但其奇次项均为负号。这时, 如差动结构的两电容器并联, 两电容相加。总输出为两式相加, 即得

$$\frac{\Delta C}{C_0} = 2 \frac{\Delta d}{d_0} \left[1 + \left(\frac{\Delta d}{d_0} \right)^2 + \left(\frac{\Delta d}{d_0} \right)^4 + \dots \right] \quad (3-11)$$

式中只含有偶次项,因此,差动式电容传感器比单一式结构的灵敏度提高了一倍,非线性误差也大为减小。

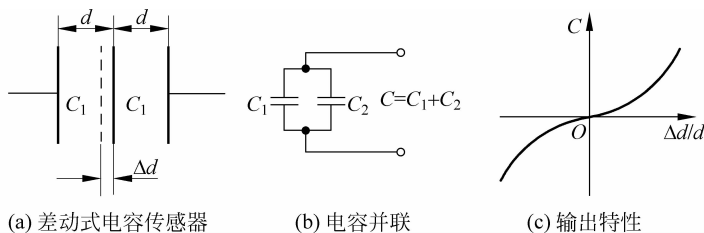


图 3-5 差动式电容传感器及输出特性

2. 应用技巧

在实际应用中,为提高灵敏度,减小非线性,克服环境温度等外界因素对检测精度的影响,常把电容式传感器接成差动方式,如图 3-5 所示。

思考问题

(1) 在图 3-5 所示的差动电容器中,如果两个电容串联,输出特性如何? 灵敏度是否增大?

(2) 若按照应变电阻传感器的差动连接方式,将图 3-5 所示的差动电容器中的两个电容作为电桥的两臂,另外两臂采用标准电容,且在初始状态下桥臂电容值相等,即将其接成全对称电桥,此时输出特性如何?

3. 有介电层的变极距型电容传感器

在电容器的两极板之间增加一层云母片等高介电常数的材料作介电层,以改善电容器的工作条件,提高传感器的灵敏度。

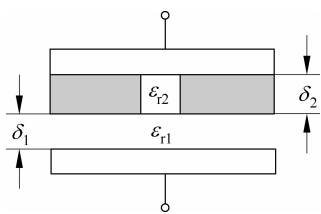


图 3-6 放置云母片的变极距电容器

如图 3-6 所示,设两种介质的相对介电系数分别为 ϵ_{r1} 和 ϵ_{r2} ,通常 $\epsilon_{r1}=1$,为空气介质,相应的两种介质的厚度为 δ_1 和 δ_2 ,此时电容 C 变为

$$C = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}} = \frac{1}{\frac{\delta_1}{\epsilon_0 \epsilon_{r1} S} + \frac{\delta_2}{\epsilon_0 \epsilon_{r2} S}} = \frac{\epsilon_0 S}{\delta_1 / \epsilon_{r1} + \delta_2 / \epsilon_{r2}} \quad (3-12)$$

由于 $\epsilon_{r1}=1$,则有

$$C = \frac{\epsilon_0 S}{\delta_1 + \delta_2 / \epsilon_{r2}} \quad (3-13)$$

对于云母片, $\epsilon_{r2}=7$,即,其相对介电系数为空气的 7 倍,击穿电压不小于 10^3 kV,而空气的击穿电压为 3kV,即使厚度为 0.01mm 的云母片,它的击穿电压也不小于 10kV。因此,有了云母片,极板之间的起始距离可以大大减小。同时,式(3-13)中的分母项 δ_2 / ϵ_{r2} 是恒定

值,它能使传感器输出特性的线性度得到改善,只要云母片的厚度选取得当,就能获得较好的线性关系。

3.2.2

变面积型电容传感器

变面积型电容传感器是将被测参数转化为极板面积的变化,从而使电容量发生变化。根据结构形式的不同,变面积型电容传感器可分为三种类型,即板状线位移变面积型、角位移变面积型和筒状线位移变面积型。

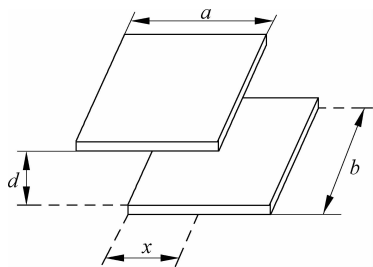


图 3-7 板状线位移变面积电容式传感器

1. 输出灵敏度

变面积型电容传感器是通过改变电容极板间有效面积来反映被测参数的传感器。如图 3-7 所示,当平行板电容的可动极板发生平行位移时,有效面积 $S = bx$,电容量为

$$C_x = \frac{\epsilon b}{d} x \quad \Delta C_x = \frac{\epsilon b}{d} \Delta x$$

输出灵敏度为

$$K = \frac{\Delta C_x}{\Delta x} = \frac{\epsilon b}{d}$$

变面积型电容传感器的输出与输入呈线性关系,其测量量程不受线性范围的限制,适合于测量较大的直线位移,而且,增大极板长度 b 和减小间隙 d 可提高灵敏度,但增大 b 受到传感器体积的限制, d 的减小也受到电容器击穿电压的限制。极板宽度 a 的大小不影响灵敏度,但也不能太小,否则边缘电场影响增大,非线性将增大。需要说明的是,位移 x 不能太大,否则边缘效应也会使传感器的特性产生非线性变化。变面积型电容传感器常用来检测位移等参数。

筒状线位移变面积型电容传感器如图 3-8 所示。其电容量为

$$C_l = \frac{\epsilon l}{2 \ln(D/d)}$$

灵敏度为

$$K_l = \frac{\Delta C_l}{\Delta l} = \frac{\epsilon}{2 \ln(D/d)}$$

显然,筒状线位移变面积电容传感器的输出与输入的关系也呈线性关系。

角位移变面积型电容传感器如图 3-9 所示。其扇形有效面积为

$$S = \frac{1}{2} R^2 \theta$$

所以,电容量为

$$C_\theta = \frac{\epsilon R^2 \theta}{2d} \quad \Delta C_\theta = \frac{\epsilon R^2}{2d} \Delta \theta$$

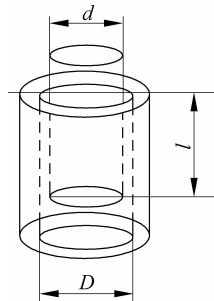


图 3-8 筒状线位移变面积型电容传感器

输出灵敏度为

$$K = \frac{\Delta C_\theta}{\Delta \theta} = \frac{\epsilon R^2}{2d}$$

2. 应用技巧

变面积型电容传感器与变极距式电容传感器相比较,灵敏度较低,为了提高输出灵敏度,变面积型电容传感器常采用差动式结构进行补充,如图 3-10 所示。

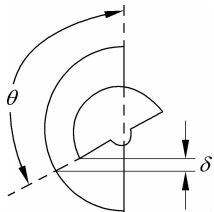


图 3-9 角位移变面积型电容传感器

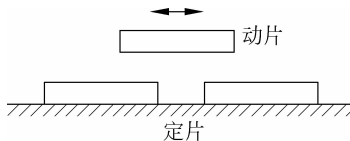


图 3-10 变面积差动式电容传感器

思考问题

- (1) 图 3-10 所示的电容式传感器应如何连线? 输出表达式如何?
- (2) 角位移和筒状线位移电容传感器是否能构成差动方式? 如何构成?

3.2.3

变介质型电容传感器

变介质型电容传感器是通过电容极板间介质的变化来检测物理量的传感器。变介质型电容传感器可用来测试非导电流散物料的灌装量或液位高度,属于力学量传感器的延伸。此外还可测量低温、绝缘膜层的厚度以及粮仓、纺织品、木材等非导电固体物质的湿度等,其最典型的应用是检测液位。

图 3-11 所示是一种改变工作介质的电容式传感器,其电容量为

$$C = C_A + C_B = \frac{bl_1}{\frac{\delta_1}{\epsilon_1} + \frac{\delta_2}{\epsilon_2}} + \frac{b(l_0 - l_1)}{\frac{\delta_1}{\epsilon_1} + \frac{\delta_2}{\epsilon_2}} \quad (3-14)$$

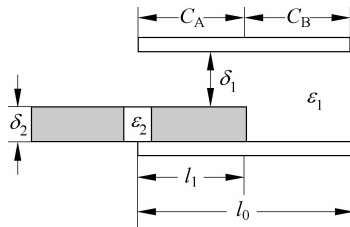
式中, b 为极板宽度。

设在极板中无 ϵ_2 介质时的电容量为 C_0 , 即

$$C_0 = \frac{\epsilon_1 bl_0}{\delta_1 + \delta_2} \quad (3-15)$$

则式(3-14)可写成

$$C = C_0 + C_0 \frac{l_1}{l_0} \frac{1 - \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2}}{\frac{\delta_1}{\delta_2} + \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2}} \quad (3-16)$$



可见,电容量 C 与介质 ϵ_2 的移动量 l_1 呈线性关系。

图 3-11 改变工作介质的电容式传感器

变介质型电容传感器的结构形式较多,下面分别通过两种典型应用实例说明。

1. 电容式液位计

图 3-12 所示中,1、2 为两个同心圆柱状极板,设被测液体不导电,介电常数为 ϵ_1 ,两极板构成的电容器的电容为

$$C = \frac{2\pi\epsilon_2(l-l_1)}{\ln\left(\frac{D}{d}\right)} + \frac{2\pi\epsilon_1 l_1}{\ln\left(\frac{D}{d}\right)}$$

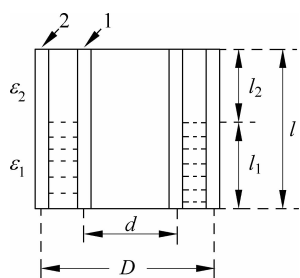


图 3-12 测量液面高度的电容式液位计

式中, ϵ_2 为空气的介电常数(F/m); D 、 d 为两同心圆柱的直径(m); l 为柱体的有效总长度(m); l_1 为浸入液体的实际高度(m)。

$$\text{由 } \Delta C = \frac{2\pi}{\ln\left(\frac{D}{d}\right)} (\epsilon_1 - \epsilon_2) \Delta l_1 \text{ 得输出灵敏度为}$$

$$K = \frac{\Delta C}{\Delta l_1} = \frac{2\pi(\epsilon_1 - \epsilon_2)}{\ln\left(\frac{D}{d}\right)}$$

显然,图 3-12 所示测量液面高度的电容式液位计的输出与输入呈线性关系,输出灵敏度的大小与同心圆柱的直径比有关。

思考问题

如果盛液体的容器是金属圆柱形,则只需要用一根裸导线就可完成液位的检测,它与图 3-12 所示液位测量相比有什么不同?

2. 电容式测厚仪

图 3-13 为一种电容式测厚仪的原理图。两电极的间距为 d ,待测材料厚度为 x ,介电常数为 ϵ_x ,另一种介质的介电常数为 ϵ 。

该电容器的总电容 C 等于两种介质分别组成的两个电容 C_1 与 C_2 的串联,即

$$\begin{aligned} C &= \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = \frac{\frac{\epsilon S}{d-x} \frac{\epsilon_x S}{x}}{\frac{\epsilon S}{d-x} + \frac{\epsilon_x S}{x}} \\ &= \frac{\epsilon \epsilon_x S}{\epsilon x + \epsilon_x d - \epsilon_x x} = \frac{\epsilon \epsilon_x S}{\epsilon_x d + (\epsilon - \epsilon_x) x} \end{aligned}$$

当待测介电材料层的厚度 x 保持不变而介电常数 ϵ_x 改变,如湿度变化,电容量 C 将随 ϵ_x 的改变产生相应的变化,据此可做成介电常数的测试传感器,如湿度传感器用以测量纺织品的含水量等;若介电材料层的介电常数保持不变,则电容量 C 与介电层的厚度 x 有关,从而可进行介电层的厚度测量。

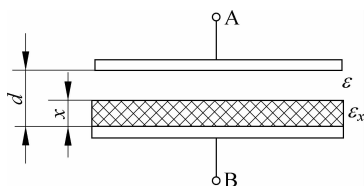


图 3-13 电容式测厚仪

3.2.4

电容式传感器的其他特性

因为电容式传感器是根据静电场有关理论作为基础制成的。这种传感器除了前面讨论的灵敏度和非线性是我们关心的特性外,从静电场角度考虑,影响其工作性能的还有如下几个方面的特性,在设计和应用这类传感器时,需给予考虑。

1. 电容式传感器的等效电路

在应用电容式传感器时,绝大多数情况下可用一等效电容来表示。在高频(如几兆赫)时,即使电容很小,损耗一般也可忽略;在低频时,其中损耗主要是直流漏电阻和电极绝缘基座中的介质损耗以及极板间隙中的介质损耗,可用图 3-14 中的并联电阻 R_p 来表示。对空气介质电容器来说,其损耗一般可忽略;对固体介质电容器,显然与介质性质有关。

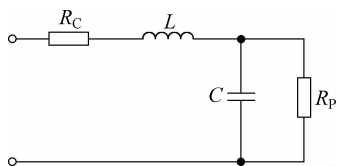


图 3-14 电容式传感器的等效电路

由图 3-14 所示可知,等效电路有一个谐振频率,通常为几十兆赫。当工作频率等于或接近谐振频率时,谐振频率就会破坏电容的正常作用,因此,应该选择低于谐振频率的工作频率,否则电容式传感器不能正常工作。

但在高频时,由于电流的集肤效应,将使导体电阻增加。因此,图 3-14 中所示的 R_C 代表导线电阻和金属支座及极板电阻;而 L 代表传感器本身的电感和外部引线电感,前者与传感器结构形式有关,而引线电感则与引线的长度有关,引线越短,电感越小。

当使用频率超出规定使用频率时,就要考虑电感的影响,如图 3-14 所示中略去了 R_C 和 R_p 的影响。

因为

$$\frac{1}{j\omega C_e} = j\omega L + \frac{1}{j\omega C}$$

所以这时等效电容 C_e 为

$$C_e = \frac{C}{1 - \omega^2 LC}$$

$$\Delta C_e = \frac{\Delta C}{1 - \omega^2 LC} - \frac{\omega^2 LC \Delta C}{(1 - \omega^2 LC)^2} = \frac{\Delta C}{(1 - \omega^2 LC)^2}$$

由上式可知,由于电感的存在使等效电容增大。

电容的相对变化为

$$\frac{\Delta C_e}{C_e} = \frac{\Delta C}{C} \frac{1}{1 - \omega^2 LC}$$

上式表明电容式传感器的实际相对变化量与传感器的固有电感 L 和角频率 ω 有关。因此,在实际应用时必须与标定的条件相同(如电缆长度不能改变)。

2. 电容式传感器的其他特性

(1) 小功率、高阻抗。电容式传感器由于受几何尺寸的限制,其电容量都是很小的,一

般仅在几皮法到几十皮法之间。因 C 太小,故容抗 $X_C = \frac{1}{\omega C}$ 很大,为高阻抗元件,负载能力差;又因为电容式传感器的视在功率 $P = U_0^2 \omega C$,因为电容器自身 C 很小,则 P 也很小。因此,电容式传感器是一个高阻抗、小功率,且电容变化量极小的传感器,这是电容式传感器的一个重要特征。由于这一特征,使它容易受到外界的干扰,且其信号一般需用电子线路加以放大。采取多个并联传感元件以提高总电容量或提高电源频率,都可减小容抗。

(2) 小的静电引力、良好的动态特性。电容式传感器工作时,两极板间存在着静电场,也就是极板上作用着静电力或静电力矩。但这种静电引力是很小的,故对输出影响不大。但在被测力很小时,当动极板受被测量作用而运动时,这种静电引力也作用到动极板上,使动极板产生附加位移,造成测量误差。所以在被测力较小时,要考虑静电引力的影响。

由于电容式传感器的电容小,需要作用的能量也小,可动的质量也小,因而它的固有频率很高。因此它可以保证有良好的动态特性。

(3) 本身发热影响很小。电容式传感器由于功率小,介质损耗也小,本身几乎不发热,所以不存在因自身发热所产生的零漂和热变化。

(4) 结构简单。电容式传感器由两个极板就可组成,结构简单紧凑小巧。极板还可以用玻璃、石英或陶瓷上面镀金属做成。

(5) 初始电容量小,电缆电容,电子线路的杂散电路构成的寄生电容影响大。表 3-1 列出了电容式、压电式、应变式、压阻式传感器之间的特性对比,从表中可以看出电容式传感器在技术特性上比其他传感器有着一系列的优点。

表 3-1 各种传感器特性对比

特 性	压 电 式	应 变 式	压 阻 式	电 容 式
负载影响	高	低	低	高
灵 敏 度	小	中等	中等	高
直流响应	无	有	有	有
阻尼能力	无	有	有	有
温度范围	宽	中等	中等	很宽
振动漂移	有	无	无	无
抗干扰能力	差	好	好	差(不屏蔽时)
环境适应性	差	好	好	好
体积	小	中等	中等	可以很小

3.3 电容式传感器的结构及抗干扰问题

在本章前面对各类电容式传感器原理性能的分析,均是在理想条件下进行的。实际上由于温度、电场边缘效应、寄生电容等因素的存在,可能使电容式传感器的特性不稳定,严重时甚至使其无法工作。特性不稳定问题曾经长期阻碍了电容式传感器的应用和发展。随着电子技术、材料及工艺技术的发展,上述问题已逐步得到了解决。下面分别进行简单的介绍。

3.3.1

温度变化对结构稳定性的影响

温度变化会引起电容式传感器各组成零件的几何尺寸改变,从而导致电容极板间隙或面积发生改变,产生附加电容变化。这一点对于变间隙电容式传感器来说更显重要,因为一般其间隙都取得很小,为几十微米到几百微米。温度变化使各零件尺寸改变,可能对本来就很小的间隙产生很大的相对变化,从而引起很大的特性温度误差。

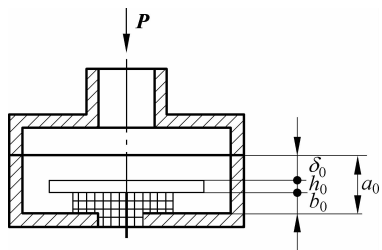


图 3-15 温度变化对结构稳定性的影响

下面以电容式压力传感器的结构为例来讨论这项误差的形成。

如图 3-15 所示,设温度为 t_0 时,极板间的间隙为 δ_0 ,固定极板厚为 h_0 ,绝缘件厚为 b_0 ,膜片至绝缘底部之间的壳体长度为 a_0 ,则

$$\delta_0 = a_0 - b_0 - h_0$$

当温度 t_0 改变 Δt 时,各段尺寸均要膨胀。设其膨胀系数分别为 $\alpha_a, \alpha_b, \alpha_h$,各段尺寸的膨胀最后导致间隙改变为 δ_t ,则有

$$\Delta \delta_t = \delta_t - \delta_0 = (a_0 \alpha_a - b_0 \alpha_b - h_0 \alpha_h) \Delta t$$

因此,由于间隙改变而引起的电容相对变化,即电容式传感器的温度误差为

$$\xi_t = \frac{C_t - C_0}{C_0} = \frac{\frac{\epsilon S}{\delta_t} - \frac{\epsilon S}{\delta_0}}{\frac{\epsilon S}{\delta_0}} = \frac{\delta_0 - \delta_t}{\delta_t} = \frac{-(a_0 \alpha_a - b_0 \alpha_b - h_0 \alpha_h) \Delta t}{\delta_0 + (a_0 \alpha_a - b_0 \alpha_b - h_0 \alpha_h) \Delta t}$$

式中, ϵ 为电容极板间的介电常数(F/m); S 为电容极板间的相对面积(m^2)。

可见,温度误差与组成零件的几何尺寸及零件材料的线膨胀系数有关。因此在传感器结构设计中,应尽量减少热膨胀尺寸链的组成环节数目及其尺寸;另一方面要选用膨胀系数小,几何尺寸稳定的材料。高质量电容式传感器的绝缘材料(电极支架)多采用石英、陶瓷和玻璃等(比塑料或有机玻璃好);而金属材料(电极材料)则选用低膨胀系数的镍铁合金;近年来采用在陶瓷、石英等绝缘材料上蒸镀一层金属薄膜来代替电极,这样既可消除极板尺寸的影响,同时也可减少电容边缘效应。

减少温度误差的另一常用措施,是采用差动对称结构并在测量线路中对温度误差加以补偿。

3.3.2

温度变化对介质介电常数的影响

温度变化还能引起电容极板间介质介电常数的变化,使传感器电容改变,引起测量误差。温度对介电常数的影响随介质不同而异。对于以空气或云母为介质的传感器来说,这项误差很小,一般不需考虑。但在电容式液位计中,煤油的介电常数的温度系数达 $0.07\%/^{\circ}\text{C}$,因此如环境温度变化 100°C ($-50 \sim +50^{\circ}\text{C}$),造成的误差将达 7% ,这样大的误差必须加以补偿。燃油的介电常数 ϵ_t 随温度升高而近似线性地减小,可描述为