

第3章

电容式传感器

电容式传感器是将被测非电量的变化转换为电容量变化的一种传感器。它结构简单、体积小、分辨力高,可非接触式测量,并能在高温、高辐射和强烈振动等恶劣条件下工作,广泛应用于压力、差压、液位、振动、位移、加速度、成分含量等多方面测量。随着材料、工艺、电子技术,特别是集成技术的发展,电容式传感器的优点得到发扬而缺点不断得到克服,正逐渐成为一种高灵敏度、高精度,在动态、低压及一些特殊测量方面大有发展前途的传感器。

3.1 电容式传感器的工作原理及类型

电容式传感器是一个具有可变参数的电容器。由绝缘介质分开的两个平行金属板组成平板电容器,当忽略边缘效应影响时,其电容量与真空介电常数 ϵ_0 ($8.854 \times 10^{-12} \text{ F/m}$)、极板间介质的相对介电常数 ϵ_r 、极板的有效面积 A 以及两极板间的距离 d 有关,即

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

式中 d ——两平行极板之间的距离;

A ——两平行极板的正对覆盖面积;

ϵ_r ——介质材料的相对介电常数;

ϵ_0 ——真空介电常数;

C ——电容量。

当被测量使得式(3-1)中的 d 、 A 或 ϵ_r 三个参数中任意一个发生变化时,都会引起电容量的变化,再通过测量电路就可转换为电量输出。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。

1. 变极距型电容式传感器

图 3-1 为变极距型电容传感器的原理图。当传感器的 ϵ_r 和 A 为常数,初始极距为 d_0 ,由式(3-1)可知其初始电容量 C_0 为

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

当动极板因被测量变化而向上移动使 d_0 减小 Δd 时,电容量增大 ΔC ,则有

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

可见,传感器输出特性 $C=f(d)$ 是非线性的,如图 3-2 所示。电容相对变化量为

$$\frac{\Delta C}{C_0} = \frac{\Delta d}{d_0} \left(1 - \frac{\Delta d}{d_0}\right)^{-1} \quad (3-4)$$

如果满足条件 $(\Delta d/d_0) \ll 1$, 式(3-4)可按级数展开成

$$\frac{\Delta C}{C_0} = \frac{\Delta d}{d_0} \left(1 + \frac{\Delta d}{d_0} + \left(\frac{\Delta d}{d_0}\right)^2 + \left(\frac{\Delta d}{d_0}\right)^3 + \dots\right) \quad (3-5)$$

略去高次项(非线性), 可得近似的线性关系和灵敏度 k_g 分别为

$$\frac{\Delta C}{C_0} \approx \frac{\Delta d}{d_0} \quad (3-6)$$

和

$$k_g = \frac{\Delta C}{\Delta d} = \frac{C_0}{d_0} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{d_0^2} \quad (3-7)$$

如果考虑式(3-5)中的线性项及二次项, 则

$$\frac{\Delta C}{C_0} = \frac{\Delta d}{d_0} \left(1 + \frac{\Delta d}{d_0}\right) \quad (3-8)$$

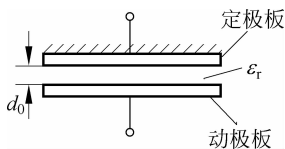


图 3-1 变极距型电容传感器原理图

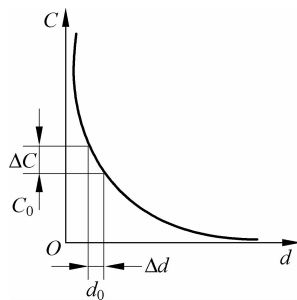


图 3-2 $C=f(d)$ 特性曲线

式(3-6)的特性如图 3-3 中的直线 a , 而式(3-8)的特性如曲线 b 。因此, 以式(3-6)作为传感器的特性使用时, 其相对非线性误差 e_f 为

$$e_f = \frac{\left| \left(\frac{\Delta d}{d_0} \right)^2 \right|}{\left| \frac{\Delta d}{d_0} \right|} \times 100\% = \left| \frac{\Delta d}{d_0} \right| \times 100\% \quad (3-9)$$

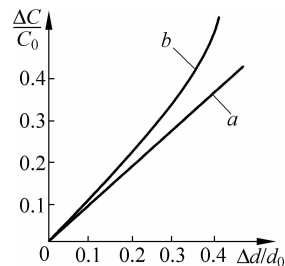


图 3-3 变极距型电容传感器的非线性特性

由以上讨论可知: ①变极距型电容传感器只有在 $|\Delta d/d_0|$ 很小(小测量范围)时, 才有近似的线性输出; ②灵敏度 S 与初始极距 d_0 的平方成反比, 故可用减少 d_0 的办法来提高灵敏度。

例如在电容式压力传感器中, 常取 $d_0 = 0.1 \sim 0.2 \text{ mm}$, $C_0 = 20 \sim 100 \text{ pF}$ 。由于变极距型的分辨力可达 $0.001 \mu\text{m}$ 、误差小于 $0.01 \mu\text{m}$, 故多应用在微位移检测中。

由式(3-9)可见, d_0 的减小会导致非线性误差增大; d_0 过小还可能引起电容器击穿或短路。为此, 极板间可采用高介电常数的材料(云母、塑料膜等)作介质, 如图 3-4 所示。设两种介质的相对介电常数分别为 ϵ_{r1} 、 ϵ_{r2} (对于空气: $\epsilon_{r1} = 1$), 相应的介质厚度分别为 d_1 、 d_2 , 则有

$$C = \frac{\epsilon_0 A}{d_1 + d_2/\epsilon_{r2}} \quad (3-10)$$

图 3-5 所示为差动结构,动极板置于两定极板之间。初始位置时, $d_1 = d_2 = d_0$, 两边初始电容相等。当动极板向上有位移 Δd 时, 两边极距为 $d_1 = d_0 - \Delta d$, $d_2 = d_0 + \Delta d$; 两组电容一增一减。与差动式自感传感器的解析方法相同, 由式(3-4)和式(3-5)可得电容总的相对变化量为

$$\frac{\Delta C}{C_0} = \frac{\Delta C_1 - \Delta C_2}{C_0} = 2 \frac{\Delta d}{d_0} \left[1 + \left(\frac{\Delta d}{d_0} \right)^2 + \left(\frac{\Delta d}{d_0} \right)^4 + \dots \right] \quad (3-11)$$

略去高次项, 可得近似的线性关系

$$\frac{\Delta C}{C_0} = 2 \frac{\Delta d}{d_0} \quad (3-12)$$

相对非线性误差 e'_f 为

$$e'_f = \frac{\left| 2 \left(\frac{\Delta d}{d_0} \right)^3 \right|}{\left| 2 \left(\frac{\Delta d}{d_0} \right) \right|} \times 100\% = \left(\frac{\Delta d}{d_0} \right)^2 \times 100\% \quad (3-13)$$

式(3-13)与式(3-6)及式(3-9)相比可知, 差动式比单极式灵敏度提高一倍, 且非线性误差大为减小。由于结构上的对称性, 它还能有效地补偿温度变化所造成的误差。

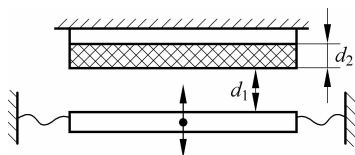


图 3-4 具有固体介质的变极距型电容传感器

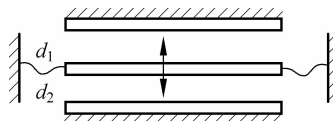


图 3-5 变极距型差动式结构

例如, 有一只变极距电容传感元件, 两极板重叠有效面积为 $8 \times 10^{-4} \text{ m}^2$, 两极板间的距离为 1 mm , 已知空气的相对介电常数为 1.0006 , 试计算该传感器的灵敏度。

求变极距型电容传感器的灵敏度时利用下式

$$k_g = \frac{\Delta C}{\Delta d} = \frac{C_0}{d_0} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{d_0^2}$$

由此可见, 极距越小, 灵敏度就越高。

把已知数据代入上式, 得灵敏度为

$$\begin{aligned} k_g &= \frac{\Delta C}{\Delta d} = \frac{C_0}{d_0} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{d_0^2} \\ &= \frac{8.85 \times 10^{-12} \times 1.0006 \times 8 \times 10^{-4}}{(1 \times 10^{-3})^2} \text{ F/m} = 70 \times 10^{-10} \text{ F/m} = 7 \text{ nF/m} \end{aligned}$$

2. 变面积型电容式传感器

变面积型电容传感器原理结构如图 3-6 所示。它与变极距型不同的是, 被测量通过动极板移动, 引起两极板有效覆盖面积 A 改变, 从而得到电容的变化。设动极板相对定极板沿长度 l_0 方向平移 Δl 时, 则电容为

$$C = C_0 - \Delta C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r (l_0 - \Delta l) b_0}{d_0} \quad (3-14)$$

式中 l_0 —— 极板长度;

b_0 ——极板宽度；

d_0 ——极板之间的距离；

$C_0 = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r l_0 b_0}{d_0}$ ——初始电容。

电容的相对变化量为

$$\frac{\Delta C}{C_0} = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (3-15)$$

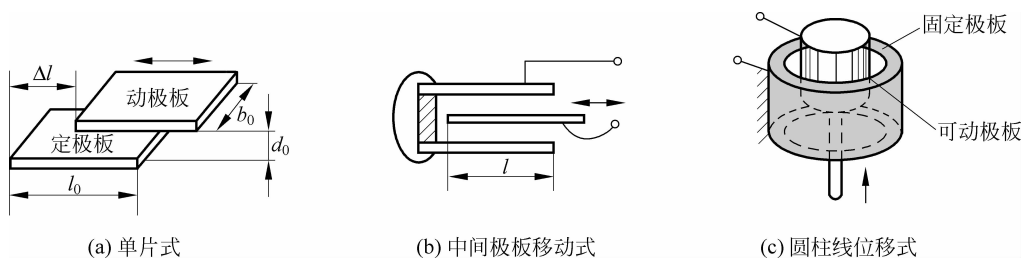


图 3-6 变面积型电容传感器原理图

显然,这种传感器的输出特性呈线性。因而其量程不受线性范围的限制,适合于测量较大的直线位移和角位移。它的灵敏度为

$$k_g = \frac{\Delta C}{\Delta l} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r b_0}{d_0} \quad (3-16)$$

必须指出,上述讨论只在初始极距 d_0 精确且保持不变时成立,否则将导致测量误差。为减小这种影响,可以使用图 3-6(b)所示中间极板移动的结构。图 3-6(c)所示为圆柱线位移变面积型电容式传感器,当覆盖长度 l 变化时,电容量也随之变化,其初始电容量为

$$C_0 = \frac{2\pi\epsilon l}{\ln(r_2/r_1)} \quad (3-17)$$

式中 l ——外圆筒与内圆筒覆盖部分长度；

r_1, r_2 ——外圆筒内半径与内圆筒(或内圆柱)外半径,即它们的工作半径。

电容的变化量为

$$\Delta C = \frac{2\pi\epsilon \Delta l}{\ln(r_2/r_1)} \quad (3-18)$$

变面积型电容传感器与变极距型相比,其灵敏度较低。因此,在实际应用中,常采用差动式结构,以提高灵敏度。角位移测量用的差动式典型结构如图 3-7 所示。图中 A、B 为同一平(柱)面而形状和尺寸均相同且互相绝缘的定极板。动极板 C 平行于 A、B,并在自身平(柱)面内绕 O 点摆动,从而改变极板间覆盖的有效面积,传感器电容随之改变。C 的初始位置必须保证与 A、B 的初始电容值相同。

对图 3-7(a)有

$$C_{AC0} = C_{BC0} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r (R^2 - r^2) \alpha}{2d_0} \quad (3-19)$$

对图 3-7(b)有

$$C_{AC0} = C_{BC0} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r l r \alpha}{d_0} \quad (3-20)$$

式中, α 为初始位置时一组极板相互覆盖有效面积所对应的角度(或所对应的圆心角); d_0 、 ϵ_0 同前。

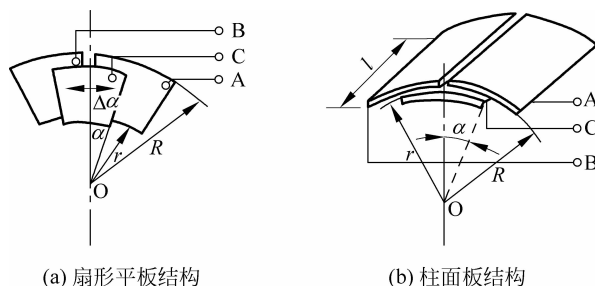


图 3-7 变面积型差动式结构

当动极板 C 随角度改变而摆动时两组电容值一增一减, 差动输出。

3. 变介质型电容传感器

变介质型电容传感器有较多的结构形式, 可以用来测量纸张、绝缘薄膜等的厚度, 也可用来测量粮食、纺织品、木材或煤等非金属固体物质的湿度。

图 3-8 为其原理结构。图 3-8(a) 中两平行极板固定不动, 极距为 d_0 , 相对介电常数为 ϵ_{r2} 的电介质以不同深度插入电容器中, 从而改变两种介质的极板覆盖面积。传感器的总电容 C 为两个电容 C_1 和 C_2 的并联结果。由式(3-1)可知

$$C = C_1 + C_2 = \frac{\epsilon_0 b_0}{d_0} [\epsilon_{r1} (l_0 - l) + \epsilon_{r2} l] \quad (3-21)$$

式中 l_0 、 b_0 ——极板长度和宽度;

l ——第二种电介质进入极间的长度。

若电介质 l_0 为空气($\epsilon_{r1} = 1$), 当 $l = 0$ 时传感器的初始电容 $C_0 = \epsilon_0 l_0 b_0 / d_0$; 当电介质 2 进入极间 l 后引起电容的相对变化为

$$\frac{\Delta C}{C_0} = \frac{C - C_0}{C_0} = \frac{\epsilon_{r2} - 1}{l_0} l \quad (3-22)$$

可见, 电容的变化量与电介质 2 的移动量 l 呈线性关系。

上述原理可用于非导电材料的物位测量。如图 3-8(b) 所示, 将电容器极板插入被监测的介质中, 随着灌装量的增加, 其极板覆盖面积增大。由式(3-21)可知, 测出的电容量即反映灌装高度 l 。

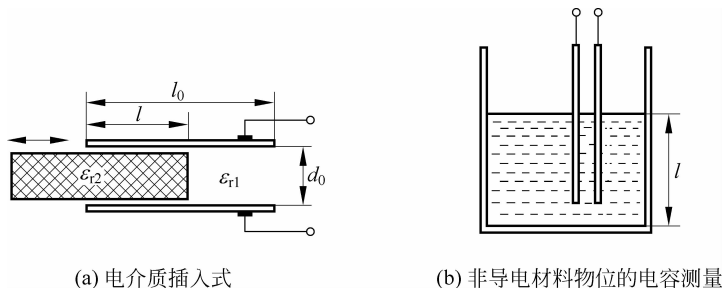


图 3-8 变介质型电容传感器

3.2 电容式传感器的主要性能及特点

3.2.1

电容式传感器的主要性能

1. 静态灵敏度

静态灵敏度是被测量缓慢变化时传感器电容变化量与引起其变化的被测量变化之比。对于变极距型,由式(3-4)可知,其静态灵敏度 k_g 为

$$k_g = \frac{\Delta C}{\Delta d} = \frac{C_0}{d} \left(\frac{1}{1 - \Delta d/d} \right) \quad (3-23)$$

因为 $\Delta d/d \ll 1$, 将上式展开成泰勒级数得

$$k_g = \frac{C_0}{d} \left[1 + \frac{\Delta d}{d} + \left(\frac{\Delta d}{d} \right)^2 + \left(\frac{\Delta d}{d} \right)^3 + \left(\frac{\Delta d}{d} \right)^4 + \dots \right] \quad (3-24)$$

可见其灵敏度是初始极板间距 d 的函数,同时还随被测量而变化。减小 d 可以提高灵敏度。但 d 过小易导致电容器击穿(空气的击穿电压为 3kV/mm)。可在极间加一层云母片(其击穿电压大于 10^3kV/mm)或塑料膜来改善电容器的耐压性能。

对于圆柱形变面积型电容式传感器,由式(3-18)可知其静态灵敏度为常数,即

$$k_g = \frac{\Delta C}{\Delta l} = \frac{C_0}{l} = \frac{2\pi\epsilon}{\ln(r_2/r_1)} \quad (3-25)$$

灵敏度取决于 r_2/r_1 , r_2 与 r_1 越接近,灵敏度越高。虽然内外极筒原始覆盖长度 l 与灵敏度无关,但 l 不可太小,否则边缘效应将影响到传感器的线性。

另外,变极距型和变面积型电容式传感器还可采用差动结构形式来提高静态灵敏度,一般能提高一倍。例如,对图 3-7 中变面积型差动式线位移式电容传感器,由式(3-17)和式(3-18)可得其静态灵敏度为

$$k_g = \frac{\Delta C}{\Delta l} = \left[\frac{2\pi\epsilon(l + \Delta l)}{\ln(r_2/r_1)} - \frac{2\pi\epsilon(l - \Delta l)}{\ln(r_2/r_1)} \right] / \Delta l = \frac{4\pi\epsilon}{\ln(r_2/r_1)} \quad (3-26)$$

可见比相应单组式的灵敏度提高一倍。

由 3.1 节分析可知:变面积型和变介电常数型电容式传感器在忽略边缘效应时,其输入被测量与输出电容量一般呈线性关系,因而其静态灵敏度为常数。

2. 非线性

对变极距型电容式传感器而言,当极板间距 d 变化 $\pm \Delta d$ 时,其电容量随之变化,根据式(3-2)有

$$\Delta C = C_0 \frac{\Delta d}{d \pm \Delta d} = C_0 \frac{\Delta d}{d} \left(\frac{1}{1 \pm \Delta d/d} \right) \quad (3-27)$$

因 $\Delta d/d \ll 1$, 所以

$$\Delta C = C_0 \frac{\Delta d}{d} \left[1 \mp \frac{\Delta d}{d} + \left(\frac{\Delta d}{d} \right)^2 \mp \left(\frac{\Delta d}{d} \right)^3 + \dots \right] \quad (3-28)$$

显然,输出电容 ΔC 与被测量 Δd 之间是非线性关系。只有当 $\Delta d/d \ll 1$ 时,略去各非线性项后才能得到近似线性关系为 $\Delta C = C_0(\Delta d/d)$ 。由于 d 取值不能大,否则将降低灵敏度,因此变极距型电容式传感器常工作在一个较小的范围内(零点几毫米至 10 毫米),而且最大 Δd 应小于极板间距 d 的 $1/5 \sim 1/10$ 。采用差动形式,并取两电容之差为输出量 ΔC ,容易得到

$$\Delta C = 2C_0 \frac{\Delta d}{d} \left[1 + \left(\frac{\Delta d}{d} \right)^2 + \left(\frac{\Delta d}{d} \right)^4 + \dots \right] \quad (3-29)$$

相比之下,差动式的非线性得到了很大的改善,灵敏度也提高了一倍。

如果采用容抗 $X_C = 1/(\omega C)$ 作为电容式传感器输出量,那么被测量 Δd 就与 ΔX_C 呈线性关系,不一定要满足 $\Delta d \ll d$ 这一要求了。

变面积型和变介电常数型(测厚度除外)电容式传感器具有很好的线性,但这是以忽略边缘效应为前提条件的。实际上由于边缘效应引起极板(或极筒)间电场分布不均匀,导致非线性问题仍然存在,且灵敏度下降,但比变极距型好得多。

3.2.2

电容式传感器的特点

电容式传感器与电阻式、电感式等传感器相比具有以下优点:

(1) 测量范围大。金属应变丝由于应变极限的限制, $\Delta R/R$ 一般低于 1%, 而半导体应变片可达 20%, 电容传感器相对变化量可大于 100%。

(2) 温度稳定性好。电容式传感器的电容值一般与电极材料无关, 有利于选择温度系数低的材料, 又因电容器本身功耗非常小, 所以发热极小, 因此传感器具有良好的零点稳定性, 由自身发热而引起的零漂可以认为是不存在的。

(3) 结构简单、适应性强。电容式传感器结构简单, 易于制造, 易于保证较高的精度; 可以做得非常小巧, 以实现某些特殊的测量; 电容式传感器一般用金属作电极、以无机材料(如玻璃、石英、陶瓷等)作绝缘支撑, 因此能在高低温、强辐射及强磁场等恶劣的环境中工作, 可以承受很大的温度变化, 承受高压、高冲击、过载等; 能测超高压和低压差, 也能对带磁工件进行测量。

(4) 动态响应好。电容式传感器由于极板间的静电引力很小(约几个 10^{-5} N), 需要的作用能量极小, 它的可动部分可以做得很小很薄, 即质量很轻, 因此其固有频率很高, 动态响应时间短, 能在几兆赫的频率下工作, 特别适合动态测量。又由于其介质损耗小可以用较高频率供电, 因此系统工作频率高。它可用于测量高速变化的参数, 如测量振动、瞬时压力等, 且具有很高的灵敏度。

(5) 可以实现非接触测量、具有平均效应。回转轴的振动或偏心、小型滚珠轴承的径向间隙等, 当采用非接触测量时, 电容式传感器具有平均效应, 可以减小工件表面粗糙度等对测量的影响。

电容式传感器存在如下缺点:

(1) 输出阻抗高、负载能力差。电容式传感器的电容量受其电极几何尺寸等限制, 一般为几十到几百皮法(pF), 使传感器的输出阻抗很高, 尤其当采用音频范围内的交流电源时, 输出阻抗高达 $10^6 \sim 10^8 \Omega$ 。因此传感器带负载能力差, 易受外界干扰影响而产生不稳定现

象,严重时甚至无法工作,必须采取屏蔽措施,从而给设计和使用带来不便。容抗大还要求传感器绝缘部分的电阻值极高(几十兆欧以上),否则绝缘部分将作为旁路电阻而影响传感器的性能(如灵敏度降低),为此还要特别注意周围环境如温湿度、清洁度等对绝缘性能的影响。高频供电虽然可降低传感器输出阻抗,但放大、传输远比低频时复杂,且寄生电容影响加大,难以保证工作稳定。

(2) 寄生电容影响大。电容式传感器的初始电容量很小,而传感器的引线电缆电容($1\sim 2\text{m}$ 导线可达数十甚至上百 pF)、测量电路的杂散电容以及传感器极板与其周围导体构成的电容等寄生电容却较大,这一方面降低了传感器的灵敏度;另一方面这些电容(如电缆电容)常常是随机变化的,将使传感器工作不稳定,影响测量精度,其变化量甚至超过被测量引起的电容变化量,导致传感器无法工作。因此对电缆的选择、安装、接法都要有要求。

上述不足直接导致电容式传感器测量电路复杂。但随着材料、工艺、电子技术,特别是集成电路的高速发展,已经可以把复杂的测量电路与电容传感器做成一体形成集成式电容传感器,使电容式传感器的优点得到发扬而缺点不断得到克服,成为一种大有发展前途的传感器。

3.2.3

电容式传感器的设计要点

对于电容式传感器,设计时可以从下面几个方面考虑:

1. 减小环境温度、湿度等变化所产生的影响,保证绝缘材料的绝缘性能

温度变化使传感器内各零件的几何尺寸和相互位置及某些介质的介电常数发生变化,从而改变传感器的电容量,产生温度误差。湿度也影响某些介质的介电常数和绝缘电阻值。因此必须从选材、结构、加工工艺等方面来减小温度等误差并保证绝缘材料具有高的绝缘性能。

电容式传感器的金属电极材料以选用温度系数低的铁-镍合金为好,但较难加工。也可采用在陶瓷或石英上喷镀金或银的工艺,这样电极可以做得极薄,对减小边缘效应极为有利。

传感器内电极表面不便经常清洗,应加以密封,用以防尘、防潮。若在电极表面镀以极薄的惰性金属(如铱等)层,则可代替密封件起保护作用,可防尘、防湿、防腐蚀,在高温下可减少表面损耗、降低温度系数,但成本较高。

传感器内,电极的支架除要有一定的机械强度外还要有稳定的性能。因此选用温度系数小和几何尺寸长期稳定性好,并具有高绝缘电阻、低吸潮性和高表面电阻的材料,例如石英、云母、人造宝石及各种陶瓷等做支架。虽然这些材料较难加工,但性能远高于塑料、有机玻璃等。在温度不太高的环境下,聚四氟乙烯具有良好的绝缘性能,可以考虑选用。

尽量采用空气或云母等作为电容式传感器的电介质,这些电介质的介电常数的温度系数接近为零,而且不受湿度变化的影响。若用某些液体如硅油、煤油等作为电介质,当环境温度、湿度变化时,它们的介电常数随之改变,产生误差。这种误差虽可用后续电路加以补偿,但无法完全消除。

在可能的情况下,传感器内尽量采用差动对称结构,再通过某些类型的测量电路来减小温度等误差。可以用数学关系式来表达温度等变化所产生的误差来作为设计依据。

尽量选用高的电源频率,一般为 50kHz 至几兆赫兹,以降低对传感器绝缘部分的绝缘要求。

传感器内所有的零件应先进行清洗、烘干后再装配。传感器要密封以防止水分侵入内部而引起电容值变化和绝缘性能下降。传感器的壳体刚性要好,以免安装时变形。

2. 消除和减小边缘效应

边缘效应不仅使电容式传感器的灵敏度降低而且产生非线性,应尽量减小和消除。

适当减小极间距,使电极直径或边长与间距比很大,可减小边缘效应的影响,但易产生击穿并有可能限制测量范围。电极应做得极薄使之与极间距相比很小,这样也可减小边缘效应的影响。此外,可在结构上增设等位环来消除边缘效应,如图 3-9 所示。等位环 3 与电极 2 在同一平面上并将电极 2 包围,且与电极 2 绝缘但等电位,这就能使电极 2 的边缘电力线平直,电极 1 和 2 之间的电场基本均匀,而发散的边缘电场发生在等位环 3 外周不影响传感器两极板间电场。

应该指出,边缘效应引起的非线性与变极距型电容式传感器原理上的非线性恰好相反,因此在一定程度上起了补偿作用,但传感器灵敏度同时下降。

3. 减小和消除寄生电容的影响

由前文可知,寄生电容与传感器电容相并联影响传感器灵敏度,而它的变化则为虚假信号,影响传感器的精度。为减小和消除这种影响,可采用如下方法:

(1) 增加传感器原始电容值。采用减小极板或极筒间的间距(平板式间距为 0.2~0.5mm,圆筒式间距为 0.15mm),增加工作面积或工作长度来增加原始电容值,但受加工及装配工艺、精度、示值范围、击穿电压、结构等限制,一般电容值在 $10^{-3} \sim 10^3$ pF 范围内。

(2) 注意传感器的接地和屏蔽。图 3-10 为采用接地屏蔽的圆筒形电容式传感器。图中可动极筒与连杆固定在一起随被测量移动,并与传感器的屏蔽壳(良导体)同为地。因此当可动极筒移动时,它与屏蔽壳之间的电容值将保持不变,从而消除了由此产生的虚假信号。

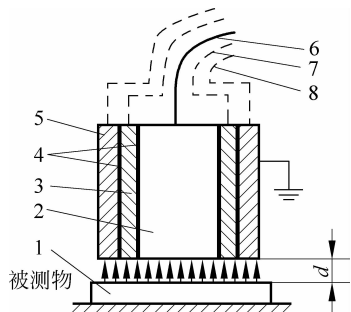


图 3-9 带有等位环的平板电容传感器原理图

1,2—电极; 3—等位环; 4—绝缘层; 5—套筒;

6—芯线; 7—内屏蔽层; 8—外屏蔽层

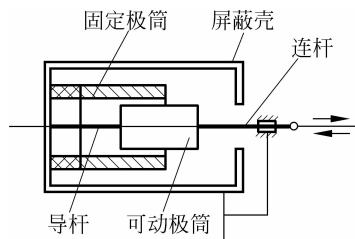


图 3-10 圆筒形电容式传感器的接地屏蔽示意图

引线电缆也必须屏蔽在传感器屏蔽壳内。为减小电缆电容的影响,应尽可能使用短的电缆线,缩短传感器至后续电路前置级的距离。

(3) 集成化。将传感器与测量电路本身或其前置级装在一个壳体内,这样寄生电容大为减小,其变化也小,使传感器工作稳定。但因电子元器件本身的特点而不能在超高温、极低温或环境条件恶劣的场合工作。

(4) 采用驱动电缆技术。当电容式传感器的电容值很小,而因某些原因(如环境温度较高),测量电路必须与传感器分开时,可采用驱动电缆技术,如图 3-11 所示。

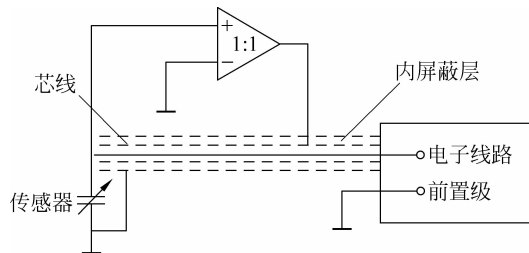


图 3-11 驱动电缆技术原理图

传感器与测量电路前置级间的引线为双屏蔽层电缆,其内屏蔽层与信号传输线(即电缆芯线)通过 1:1 放大器而为等电位,从而消除了芯线与内屏蔽层之间的电容。由于屏蔽线上有随传感器输出信号变化而变化的电压,因此称为驱动电缆。采用这种技术可使电缆线长达 10m 且不至影响传感器的性能。外屏蔽层接大地(或接传感器的接地端)用来防止外界电场的干扰。内外屏蔽层之间的电容是 1:1 放大器的负载。1:1 放大器是一个输入阻抗要求很高、具有容性负载、放大倍数为 1(准确度要求达 1/1000)的同相(要求相移为零)放大器。因此驱动电缆技术对 1:1 放大器要求很高,电路复杂,但能保证电容式传感器的电容值小于 1pF 时,也能正常工作。

(5) 整体屏蔽。将电容式传感器和所采用的转换电路、传输电缆等用同一个屏蔽壳屏蔽起来,正确选取接地点可减小寄生电容的影响和防止外界的干扰。如图 3-12 所示是差动电容式传感器交流电桥采用的整体屏蔽系统,屏蔽层接地点选择在两固定辅助阻抗臂 R_3 和 R_4 中间,使电缆芯线与其屏蔽层之间的寄生电容 C_3 和 C_4 分别与 R_3 和 R_4 相并联。如果 R_3 和 R_4 比 C_3 和 C_4 的容抗小得多,则寄生电容 C_3 和 C_4 对电桥的平衡状态的影响就很小。

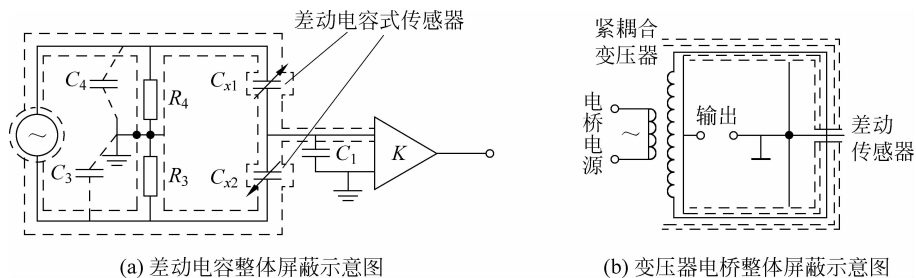


图 3-12 整体屏蔽示意图

最易满足上述要求的是变压器电桥,这时 R_3 和 R_4 是具有中心抽头并相互紧密耦合的两个电感线圈,流过 R_3 和 R_4 的电流大小基本相等但方向相反。因为 R_3 和 R_4 在结构上完