

5.4 压电式传感器的应用

压电式传感器可测量力、压力、加速度、位移等多种物理量。

5.4.1 压电式传感器对压力、加速度等的测量

例 5-1 压电式加速度传感器

压电式加速度传感器又称压电加速度计或压电加速度表，是目前使用最广泛的测量加速度的传感器。压电式加速度传感器广泛用于检测导弹、飞机、车辆等的冲击和振动。其结构一般

有纵向效应型、横向效应型和剪切效应型三种。纵向效应型(又称压缩式)是最常见的,如图5-18所示。它由质量块、压电元件和基座组成,其中压电元件和质量块为环形。首先要通过螺母对质量块预先加载,使之压紧在压电元件上。测量时将传感器基座与被测物牢牢地紧固在一起。输出信号由电极引出。

当待测物运动时,基座与待测物以同一加速度运动,因为质量块相对被测体质量较小,所以质量块感受与传感器基座相同的振动,并受到与加速度方向相反的惯性力 F 的作用,根据牛顿第二定律有

$$F = ma$$

该惯性力作用在压电元件上产生的电荷为

$$q = d_{33}F = d_{33}ma \quad (5-32)$$

式中: d_{33} 为压电元件的等效压电系数;

m 为质量块的质量;

a 为被测加速度。

上式表明电荷量直接反映加速度的大小。

电荷灵敏度 K_q 为

$$K_q = \frac{q}{a} = d_{33}m \quad (5-33)$$

由(5-33)式可知,压电加速度传感器的电荷灵敏度与压电元件的形状无关,仅与压电材料的压电系数和质量块的质量有关。为了提高传感器灵敏度,一般选择压电系数大的压电陶瓷片。若增加质量块的质量则会影响被测振动,同时会降低振动系统的固有频率,因此一般不用增加质量的方法来提高传感器的灵敏度。此外增加压电片数目和采用合理的连接方法也可提高传感器灵敏度。

因为传感器的输出电压为 $U = \frac{q}{C}$,若传感器的电容量 C 不变,则

$$U = \frac{d_{33}ma}{C}$$

电压灵敏度 K_v 为

$$K_v = \frac{U}{a} = \frac{d_{33}m}{C} \quad (5-34)$$

(5-34)式说明,电压灵敏度 K_v 随压电元件形状的变化而变化。这是因为电容量是由压电元件的形状决定的。

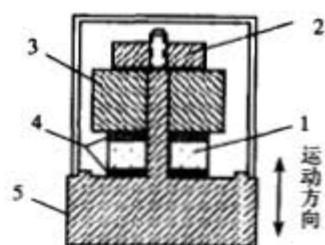
压电式加速度传感器具有一系列的优点,如体积小,质量轻,坚实牢固,振动频率高,加速度的测量范围大 ($10^{-4} \sim 10^{-3} \text{ m/s}^2$),工作温度范围宽等。

例 5-2 压电式压力传感器

根据使用要求不同,压电式压力传感器有各种不同的结构形式,但它们的基本原理相同。

图5-19所示为压电式压力传感器的原理简图。当膜片受到压力 F 作用后,在压电晶片表面上产生电荷。在一个压电片上所产生的电荷 q 为

$$q = d_{11}F = d_{11}Sp$$



1—压电元件; 2—螺母;

3—质量块; 4—电极; 5—基座

图 5-18 压电式加速度传感器的截面图

式中: F 为作用于压电片上的力;

d_{11} 为压电系数;

p 为压强, $p = \frac{F}{S}$;

S 为膜片的有效面积。

由上式可知, 压电式压力传感器的输出电荷 q 与输入压强 p 成正比。

如果压电传感器只由一个压电晶片组成, 则根据灵敏度的定义有:

电荷灵敏度

$$K_q = \frac{q}{p} = \frac{d_{11}F}{\frac{F}{S}} = d_{11}S$$

电压灵敏度

$$K_v = \frac{U_o}{p} = \frac{\frac{q}{C_o}}{p} = \frac{\frac{d_{11}pS}{C_o}}{p} = \frac{d_{11}S}{C_o}$$

式中: U_o 为压电片的输出电压;

C_o 为压电片的等效电容。

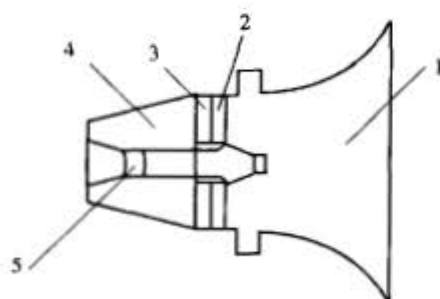
由于压电元件的内阻极高, 须防止表面漏电, 故通常采用两片相同元件, 以图 5-13 (a) 所示的形式并联。此时 $q' = 2q$, $U' = U$, $C' = 2C_o$ 。

例 5-3 压电式声传感器

压电式声传感器常称为换能器, 因为它在工作时是将电场能转换为机械能或将机械能转换为电场能。多数换能器是可逆的, 既可用作发射声信号, 也可用作接收声信号。在空气中, 常将发射换能器称为扬声器, 俗称喇叭, 将接收换能器称为麦克风, 也音译为麦克风, 俗称话筒。在水声中, 常将接收换能器称为水听器。在超声中, 常将换能器称为探头。

压电式声传感器的种类很多, 图 5-20 所示为一种压电声传感器的原理简图, 其核心部分是压电陶瓷片。在压电陶瓷片的前后两表面粘上两块金属组成夹心型振子。头部用轻金属铝做成喇叭形, 中部为压电陶瓷环, 环中间穿过螺钉固定。尾部用重金属做成锥形。这种结构增大了辐射面积, 增强了振子与介质的耦合作用。

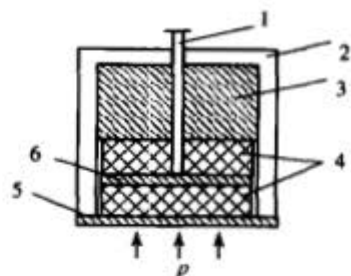
当交变信号加在压电陶瓷片两端面时, 由于压电陶瓷的逆压电效应, 陶瓷片会在电极方向产生周期性的伸长和缩短, 即压电陶瓷片将产生机械振动, 成为声波的波源而发射一定频率的声信号。这时的声传感器就是声频信号发射器。当一定频率的声频信号加在换能器上时, 换能器上的压电陶瓷片受到外力作用而产生压缩变形, 由于压电陶瓷的正压电效应, 压电陶瓷上将出现充、放电现象, 即将声频信号转换成了交变电信号。这时的声传感器就是声频信号接收器。



1—铝头; 2、3 压电陶瓷圆环;

4 黄铜尾部; 5—螺钉

图 5-20 压电声传感器结构图



1—引线; 2—壳体; 3—基座;

4—压电晶片; 5—受压膜片; 6—导电片

图 5-19 压电式压力传感器

如果换能器中压电陶瓷的振荡频率在超声波范围, 则其发射或接收的声频信号即为超声波, 这样的换能器称为压电超声换能器。

5.4.2 压电式传感器应用实例

例 5-4 压电式流量计

压电式流量计是利用超声波在顺流方向和逆流方向的传播速度不同来进行测量的。其测量装置是在管外设置两个相隔一定距离的收、发两用的压电超声换能器, 如图 5-21 所示。

流量计工作时, 压电超声换能器每隔一段时间 (如 0.01s) 发射和接收互换一次。在顺流和逆流的情况下, 发射和接收的相位差与流速成正比。根据这个关系, 可精确测定流速。流速与管道横截面积的乘积等于流量。

该流量计可测量各种液体的流速、中压和低压气体的流速, 并且不受该流体的电导率、黏度、密度、腐蚀性以及成分的影响。其准确度可达 0.5%, 有的可达到 0.01%。

例 5-5 压电式传感器在测漏中的应用

如果地面下一均匀的自来水直管道某处发生漏水, 漏点设为 O。水漏引起的振动从 O 点向管道两端传播, 传播速度设为 v 。在管道上 A、B 两点放两只压电传感器, A、B 距离设为 L (L 已知或可测), 如图 5-22 所示。从 A、B 两个传感器接收到由 O 点传来的 t_0 时刻发出的振动信号所用时间为

$$t_A = \frac{L_A}{v}$$

$$t_B = \frac{L_B}{v}$$

两者时间差为

$$\Delta t = t_A - t_B = \frac{(L_A - L_B)}{v}$$

又

$$L = L_A + L_B$$

解以上方程可得

$$L_A = \frac{L + \Delta t \cdot v}{2}$$

$$L_B = \frac{L - \Delta t \cdot v}{2} \quad (5-35)$$

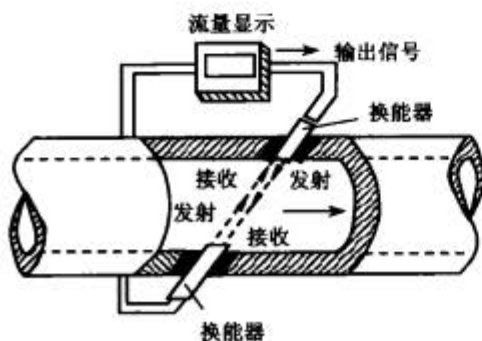


图 5-21 压电式流量计

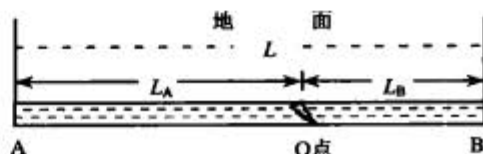


图 5-22 压电式传感器测漏示意图

如果求得了 L_A 或 L_B 的长度, 即可确定 O 点的准确位置。(5-35) 式中 L 和 v 是已知的, 只要确定了 Δt , 就可求出 L_A 或 L_B 的长度。如果从 O 点发出的是一极短的脉冲, 在 A、B 两点用双线扫描同时开始记录, 在示波器上即可得到两脉冲到达的时间差 Δt 。但是, 漏水声是连续不断的, 在 A、B 两处传感器测得的是一片连续不断、幅度杂乱变化的噪声, 因此实际设计检漏仪时要将这两路表面杂乱无章的信号“对齐”, 找出同一时刻发出的脉冲到达 A、B 两处的时间差 Δt 。图 5-23 所示为压电检漏仪的原理框图。

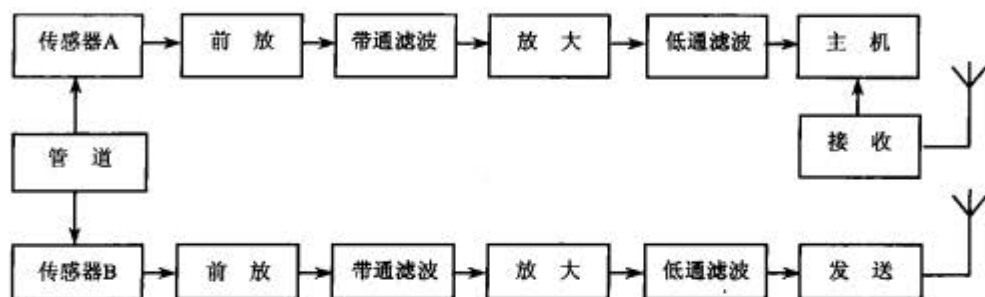


图 5-23 压电检漏仪原理框图

例 5-6 压电声传感器在超声速测量实验中的应用

超声速测量实验的装置如图 5-24 所示。当信号发生器产生的正弦交流信号加在压电陶瓷片的两端面上时, 压电陶瓷片将产生机械振动, 在空气中激发出声波。所以, 换能器 S_1 是声频信号发生器。

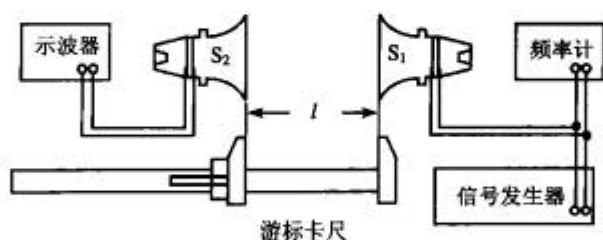


图 5-24 超声速测量实验装置

当 S_1 发出的声波信号经过空气传播到达换能器 S_2 时, 空气振动产生的压力作用在 S_2 的压电陶瓷片上使之出现充、放电现象, 在示波器上就能检测出该交变信号。所以, 换能器 S_2 是声频信号接收器。

本实验中压电陶瓷的振荡频率为 $20 \sim 40 \text{ kHz}$, 相应的声波属超声波范围, 故换能器 S_1 发射的声波属于超声波。根据波长与波速的关系公式

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

式中: λ 为超声波在空气中传播的波长;

v 为超声波在空气中的传播速度;

f 为超声波的频率。

只要求出超声波在空气中传播的波长, 代入上式即可求得超声波在空气中的传播速度。超声波的波长可以利用振幅极值法, 从安装在实验装置上的游标卡尺读出。