

# 小型高灵敏度气介超声换能器的工艺控制

汤建明 阎玉舜

(同济大学声学研究所)

## 一、前言

以空气为辐射媒质的气介式超声换能器，以往大都采用圆管式、夹心式、弯曲式等几种形式。其中弯曲式换能器由于具有较低的辐射阻抗，容易向气体中辐射超声波，因而常被优先考虑使用。在弯曲式换能器中，由于结构方式及支撑条件的不同，灵敏度的差异相差甚大。结构简单，制作方便的换能器，一般灵敏度不高，而高灵敏度的换能器，则结构工艺、支撑条件不易控制及制作。本文叙述用于超声控制器的一种小型气介换能器，在使用频率为40千赫左右时，其灵敏度比其它形式的换能器都高，而结构合理、工艺简单。适当控制工艺条件，换能器一致性较好。

## 二、换能器的设计及结构

压电弯曲换能器是由压电晶片、支撑架、相位平衡器、电极引出线及保护罩等部分组成。换能器结构如图1所示。换能元件是两片直径为8毫米、厚度为0.3毫米的PZT-5压电陶瓷片按串联方式胶结而成的。压电陶瓷片的谐振频率可由下式确定。

$$f = A \cdot \frac{h}{a^2} \cdot C_r \quad (1)$$

式中：f是晶片的谐振频率，A是系数，h为晶片的单片厚度，a是晶片的半径， $C_r$ 为压电陶瓷的径向声速。其振动模式如图2所示。

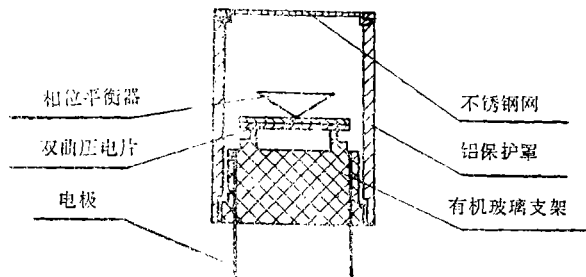


图1 弯曲换能器结构剖面示意图

压电晶片的串联、并联胶结方式，主要取决于使用时对阻抗的要求和工艺条

件。串联时阻抗是单片的一倍，且电场加在两端面上，容易制作。如图3所示。

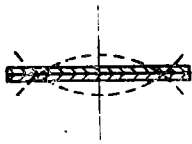


图 2 换能器振动模式

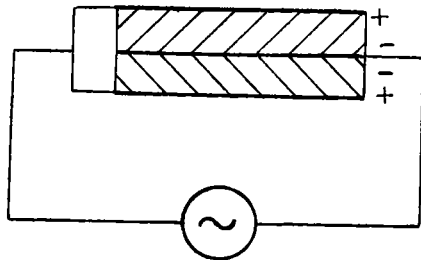
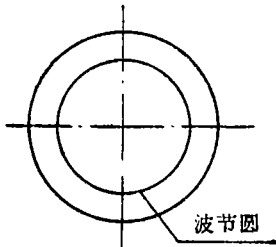


图 3 串联胶结

### 三、工艺控制因素

为了能获得高灵敏度，制作工艺简单，一致性较好的换能器，必须严格掌握以下几个环节。

#### 1. 压电晶片的选择及胶结

晶片的选择，根据使用要求，确定换能器的工作频率，按公式(1)计算晶片的直径、厚度。对每个晶片逐片进行测量，以保证各晶片厚度、直径的一致性。另外还要注意，对单片压电晶片的极性进行判别，切勿粘错。

压电晶片的清洗，为了使晶片胶结时，片与片之间有良好的电接触，必须对晶片的二个电极面用酒精或丙酮清洗干净，然后用电吹风或其它方法加热烘干。

胶结：压电晶片的胶合剂，目前常采用的是环氧树脂加适量的银粉，再加入适量的固化剂。也有不加银粉，直接用环氧树脂。我们采用不加银粉的方法。以免在小型换能器中影响胶结厚度。粘合剂调匀后即可胶结，将胶涂在两个预先确定的胶结面上。用手轻轻压紧两片晶片。再用固定夹具施以适当的压力。实验表明该压力的大小将直接影响压电片的胶结厚度，即工作频率。完成上述步骤后，将带夹具的压电片放入60℃的烘箱内，保温六小时，然后待其自然冷却后取出。

#### 2. 支撑架

弯曲振动的压电元件的支撑方式，有边缘固定、中间固定、也有在节圆处采取三点固定等等。我们则采取整个节圆固定方式，这种固定方式具有胶结方便以及灵敏度和频率容易控制的优点。图4所示的是用有机玻璃制作的换能器支架环，圆环内腔高度设计成 $\frac{\lambda}{4}$ ，圆环平均直径应等于 $0.552\phi$ ， $\phi = 2a$ 是晶片直径，压电晶片与支撑环架的胶结，用环氧树脂或用502胶水均可。为保证晶片与支架胶结的牢固性以及安装方便，在圆环外侧设计了一个高差1mm的小台阶。小台阶上应填满硅胶，以使节圆外侧部分保持弹性。

#### 3. 相位平衡器的设计

节圆固定的换能器，在节圆处位移振幅为零，压电圆片的边缘部分和中心处振幅都为最大，但相位相反。为了提高换能

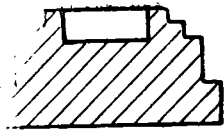


图 4 换能器的支架示意图

器的灵敏度，采取了相位补偿措施，这可用一个空心锥形相位平衡器来达到。锥形相位平衡器的直径与晶片基频共振时的节圆的直径相对应，锥形顶点的高度为 $\lambda/4$ ，锥顶开角为 $33^\circ-34^\circ$ ，用0.1毫米铜片一次冲压成形。结构如图5所示。实验表明，采用这种结构后，不但克服了中心部分与边缘部分的相位差问题，而且也改善了晶片与空气的耦合。实测数据表明，这种相位平衡器可以使灵敏度提高10倍以上。

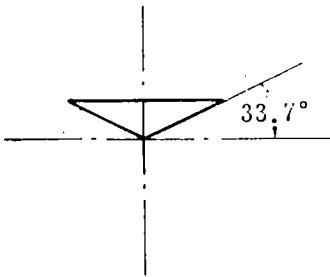


图 5 相位平衡器示意图

#### 4. 换能器保护罩

为了使换能器坚固耐用，选用了铝管材作换能器的保护罩，保护罩前面选用不锈钢丝网。选择一定大小的保护罩空腔，对换能器灵敏度也略有提高。

#### 5. 换能器的装配

在装配换能器时，压电晶片与支撑架的胶结以及相位平衡器与压电晶片的胶结工艺尤为重要。压电晶片与支撑架胶结时，涂在支撑架上的胶接剂，既要保证粘

牢，又不能把胶水涂得太多，否则将会导致振动系统的阻尼增大，影响灵敏度的提高。相位平衡器与压电晶片的胶结，可以有二种途经，一种是用一根细的金属丝，连同相位平衡器，涂上少量的胶水，直接插入在中心打有小孔的压电晶片上，但是由于在压电片中心处打孔，加工颇感不便。因此采用了第二种胶结方法，即将相位平衡器锥顶直接粘在晶片中心处，这种方式安装简便又容易控制。



图 6 小型高灵敏度超声空气换能器

最后，将晶片上的二根引线从底座上引出，装好保护罩后而完成整个换能器的装配。

### 四、性能指标及应用结果

对12个换能器用相对比较法进行发射和接收灵敏度测定。实验结果表明，这种结构的换能器发射电压灵敏度不小于 $0.15 \text{ p}_a \cdot \text{m/v}$ （相当于 $98.2 \text{ dB}$ ）。自由场电压接收灵敏度达 $20-40 \text{ mV/p}_a$ ，这比丹麦4133型电容传声器的灵敏度还高 $10 \text{ dB}$ 左右。发射与接收灵敏度响应曲线如图7、图8所示。

我们把这一换能器应用于双通道超声遥控器上<sup>[1]</sup>，获得了满意的结果。在消声室中测量，最大控制距离为15米。指向性开角为 $210^\circ$ ，如图9所示。

附：方启文同志协助部分测试工作。

#### 参考文献

- (1) 双通道超声控制器（本期第35页）

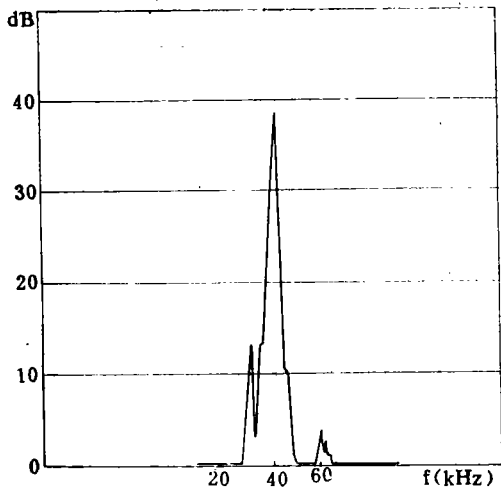


图 7 换能器发射电压灵敏度曲线

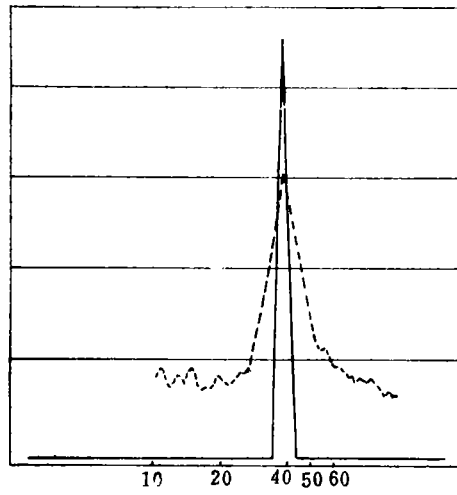


图 8 实线为自制换能器接收电压灵敏度曲线  
虚线为丹麦4133型电容传声器接收灵敏度曲线（在40KHz附近）

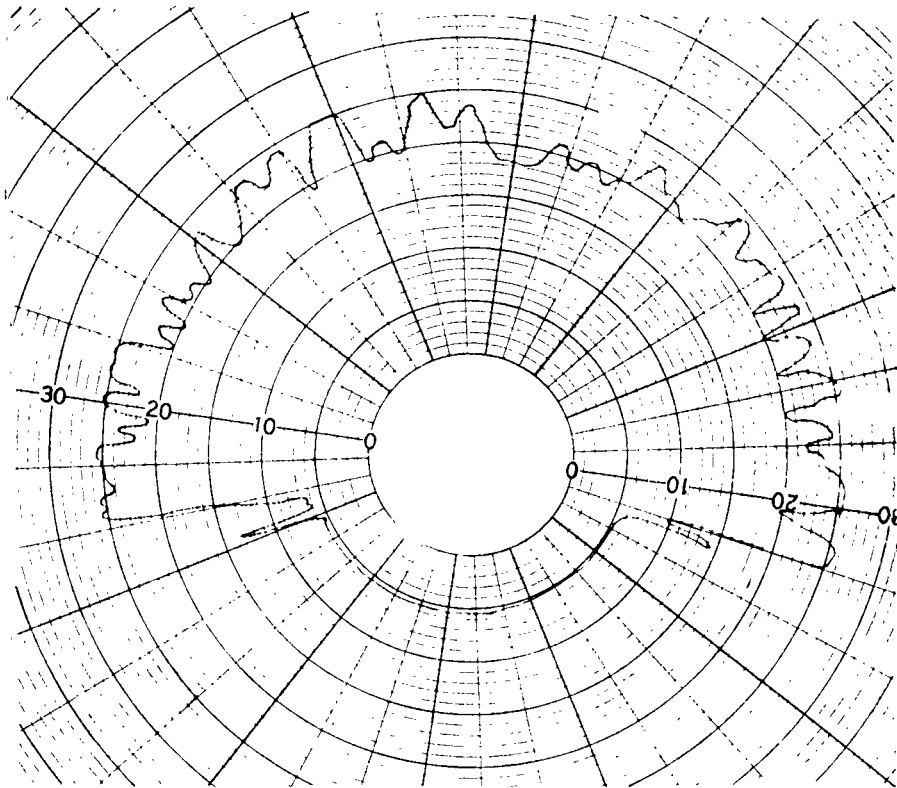


图 9 双通道超声控制器指向性图