

# 压电超声换能器在气体中的应用

朱圣钦

(中国科学院东海研究站)

无论研究超声在气体中的行为,还是开拓超声在气体中的应用,都离不开超声换能器。利用压电陶瓷制作换能器,因加工简便、成本低、品种多样、适应性广而得到了广泛的应用。压电超声换能器不仅可以用作接收器,还可以用作发射器,更可收发兼用。这是某些其它种类换能器(例如压电聚合物薄膜PVDF、PTFE、FEP换能器等)所不能比拟的。诚然,压电陶瓷(例如PZT陶瓷)的声阻抗率比气体要大四个数量级,因声阻抗失配会给研制带来较大的困难。特别是设计高性能气体用超声发射换能器,难度则更大。大量的社会需求促进了气体中超声技术的发展,气体中的超声需求又促进了气体中压电超声换能器的发展。目前,气体中的超声技术已经得到下列应用:工业遥测遥控,催化气体化学反应,生物超声行为,除尘,消毒,干燥,消除泡沫,喷雾加湿,报警,导盲,交通状态检测,定位,测距,测漏,测气体流量等等。

目前研制的气体用压电超声换能器有下列特点:电声效率高,用途广,可靠性好,低成本,制造方便等。尽管种类繁多,但本文撇开换能器制做中的次要问题(例如外壳密封、阻尼材料、减振等等),仅就其声—电换能的主要特征来加以讨论,并且对其中某些换能器及其应用作一介绍。更详细的内容读者可查阅所列参考文献。

## 一、厚度振动压电圆板 (或矩形板)

结构最简单,成本低,但电声率效低。为提高其发射效率,可在其表面粘贴 $\pm$ 波长匹配层,选择匹配层的声阻抗率为压电板和气体的声阻抗率的几何平均值。这样做,实验证明,灵敏度可提高32分贝〔1〕。为加宽使用频带,可在相对于辐射面的另一面施加阻尼吸声材料。应用举例:报警、物位测量、管道煤气流量计〔1〕。其特点为:声束指向性很尖锐,近场声压不均匀,作用距离不大,受环境噪声的干扰较小。使用频率范围为 $10^5 \sim 10^6$ 赫。

## 二、径向振动压电圆管

结构简单,成本适中,电声效率低,声束指向性很宽。为使其指向性尖锐,常采用开角为 $90^\circ$ 的圆锥反声罩与圆管同轴安放构成线一锥换能器。故其适应性较好,已用于遥测管道泄漏,检查电缆外护套破损、遥测高压输电线路漏电部位,交通车辆检测〔2〕等。使用频率范围: $10^4 \sim 10^5$ 赫。为增加其发射声功率,可在压电圆管外侧套以预应力金属薄圆管。

## 三、压电弯曲板换能器

常用形状有圆片和矩形板。常采用双压电陶瓷片粘合双叠片而成。必须特别注意压电陶瓷的“极性”。可以有两种联结方式:一种为“并联”馈电,另一种为串联馈电(图1)。前者电阻抗较低,适合于低频或低电压工作;后者电阻抗较高,适合于高频(或高电

压)工作。也可采用“三块板”形式,这时中间层为金属板,通常三块板的厚度相同、馈电形式也有上述两种方式。也可以把“双叠片”和“三夹板”中的任一片电压陶瓷换成同尺寸的金属片,仍能工作,这时只有一种馈电形式。所有上述方式均需注意把支撑架的尖端,与弯曲板的“节线”(指质点速度为零的地方)相吻合,可以收到较好的使用效果,(在圆心上支撑或圆周上支撑都是允许的方式)。其特点有:电阻抗低,机械阻抗也低,既易于和电路匹配,又便于和气体匹配;成本低,结构简单,适应性强;施加阻尼材料容易收到好的效果,既可以工作在谐振状态或非谐振连续波状态,也可以工作在脉冲状态。使用频率范围:  $10^3 \sim 10^5$  赫。但谐振工作时,因有“反相区”而降低了声—电转换效率。机械强度也不够理想。发射声功率也不大。适合于近距离遥测遥控,例如交通车辆检测[2],超声导盲[3][4],声遥控开关[5],报警等。

#### 四、“相位平衡式”弯曲圆板换能器

为了提高声—电转换效率,克服“反相区”引起的灵敏度下降,也为了拓宽指向性开角,设计了这种换能器[6]。简图如图1。在弯曲振动压电片的中心处,倒放了一只圆锥状薄膜相位平衡器。该膜用厚0.1毫米铜片制成,锥顶开角约为 $147^\circ$ ,锥高为 $\frac{1}{4}$ 波

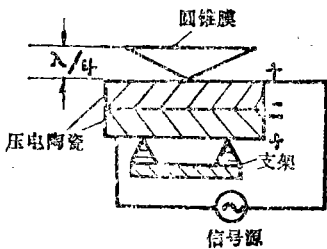


图1 带有“相位平衡器”的弯曲板换能器简图

长,压电圆片的背面留有深度为 $\frac{1}{4}$ 波长的空气腔。谐振频率40千赫,指向性-3分贝开角 $210^\circ$ ,共振发射电压灵敏度不小于 $0.15 \text{ Pa}\cdot\text{m}/\text{v}$ ,共振接收电压灵敏度不小于 $20\text{mv}/\text{Pa}$ 。因机械Q值较高,故适用于工作在窄带连续波状态。发射声功率不大,故适合在近距离工作。例如多通道超声遥控器,交通信号灯自动控制,报警,自动门等[7]。

#### 五、复合棒换能器

通常由铝喇叭(前盖板,辐射端)一压电陶瓷一钢后盖组成。中心用螺栓施加预应力。工作频率范围 $10^4 \sim 10^5$ 千赫。尽管在体积、重量、成本电声效率等方面存在竞争劣势,但其结构牢靠,可以承受较大电功率为其优点。主要用于测位控制、报警等方面。

#### 六、“复合棒—圆盘”换能器

既巧妙地利用了复合棒换能器的机械强度,可承受较大电功率的优点,又充分发挥了圆盘弯曲与气体声阻抗匹配良好的特性。目前已研制出电功率达200瓦,电声效率达75%气体用换能器[8](图2)。在圆盘的正后方 $\frac{1}{4}$ 波长(或其奇数倍)处平行放置反声圆盘,这样可使电声效率提高30%。圆盘挖有许多凹坑,可减小同振质量,既加大了振速,又提高了工作频率[9]。复合棒换能器

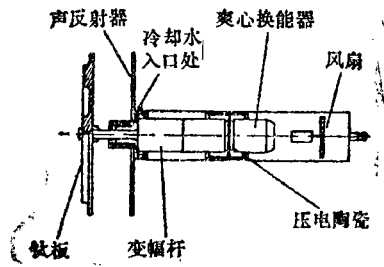


图2 “复合棒—圆盘”换能器构造图

的末端为阶梯式变幅焊，可以获得较大的振速，去推动圆盘获得更大的体积速度，从而提高了电声效率。它可以根据需要做成大功率、中功率或小功率形式。目前正在研制新的该类型换能器[12]，其电声效率可达90%，-3分贝束宽为2°，电功率容量可以达到500

瓦。辐射圆板采用钛合金，结构也有改进，直径增大至335毫米，从而改善了性能它适应性好，可靠性高、效率高，是一种很有发展前途的用于气体的压电超声换能器。性能和用途见表1。

表1 “复合棒—圆板”换能器参数和应用范围

换能器分类	谐振频率 (KHZ)	复合棒结构	圆板材料和直径	冷却系统	输入电功率(瓦)	电声效率 (%)	半功率波束宽度	自由场声压级(dB)(一米处, 20μPa为odB)	应用范围
大功率	20	钢—压电陶瓷—钢—钛变幅杆	钛 20厘米	水冷及风冷	200	75	5°	150	气体除尘、干燥、消除泡沫、消毒
中功率	20	铝—压电陶瓷—铝	铝 15厘米	自然冷却	30	50	8°	141	消毒、遥控
			铝 20厘米	风冷	70	55	5°	145	
小功率	41	铝—压电陶瓷—铝	铝 8厘米	自然冷却	2	28	5°	134	控制和检测系统

## 七、宽频带、高灵敏度、高稳定性换能器(10)

实用构造见图3。铝圆锥膜四周经阻尼层与外壳相连，其锥顶与压电陶瓷双圆片相连，再经吸声材料与外壳相连。可脉冲工作，也可连续波工作，低频响应平坦，发射声功率不大。压电材料为PCM—5，性能见

表2。用于超声测量、精密超声仪表、汽车工业、标准超声换能器等。

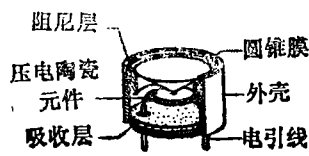


图3 宽频带、高灵敏、高稳定性换能器

表2 宽频带、高灵敏度、高稳定性换能器参数

共振频率	半功率带宽	共振发射灵敏度	共振接收灵敏度	低频接收灵敏度	主瓣半功率束宽	旁瓣级	发射灵敏度随温度变化(-40℃~-80℃)
49KHZ	10KHZ	0.45 Pa·m/v	6.3mv/Pa	1.3mv/Pa	54°	-15dB	±1dB

注：单片压电圆尺寸φ10×0.5毫米，铝锥膜顶角112°锥膜最大直径17毫米，阻尼层内直径13毫米，换能器经+80℃、相对湿度95%试验100小时，各参数变化甚微。

## 八、超声—静电除尘系统(11)

详见图4。把超声除尘器和静电除尘器

结合在一起。对于静电除尘法无法去除的细微尘埃(直径在0.01~0.1微米范围)，超声除尘有显效，除尘率高达90%，处理流量可达160米<sup>3</sup>/小时。换能器属于“复合棒—方板”

形式。在振动方板的对面平行放置相同尺寸的方板作为反声板，以形成驻波场。要求平

均声压级在145分贝(0分贝为20微帕)以上才有显效。

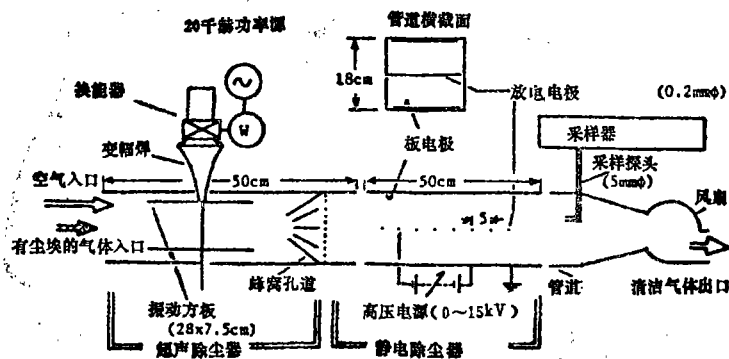


图4

### 参 考 文 献

[1] 陈书洗等“气体超声流量计”《应用声学》3, 3(1984) 8—12

[2] Futsuhara K. “A Pulsed Ultrasonic Radar Vehicle Detector Realization” Proc 3rd Symp Ultrasonic Electronics (Tokyo) (1983) 95—97

[3] Boys J.T. et al “A Prosthetic Aid for a Developing Blind Child” Ultrasonics 17, 1(1979) 37—42

[4] Kay L. “Air Sonar With Acoustical Display of Spatial Information” Animal Sonar Symposium Plenum Press N.Y. 1980) chart 6

[5] 美国专利2, 967, 957

[6] 汤建明等“小型灵敏度气介超声换能器的工艺控制”《声学技术》3, 1984 38—41

[7] 《电子计测》, (1971)No.6, 80—87

[8] Rodriguez G. et al “Ultrasonic Generators for Low and High—power Applications in Gases” Ultrasonics International 81 (Brighton)7—82

[9] Otsuka T. et al “Akrial Ultrasound Source by Stepped Circular Vibrating Plate” Proc.3rd Symp. Ultrasonic Electronics(Tokyo 1982)108—110

[10] Takayama R et al “Ultrasonic Transducer of Piezoelectric Ceramic for Pulse Driving” Proc 2nd Symp Ultrasonic Electronics(Tokyo 1981) 167—169

[11] Nakane T et al “Electrostatic Precipitation with Ultrasound Field” Proc.2nd Symp. Ultrasonic Electronics(Tokyo 1981)196—198

[12] Gallego J.A. et al “New Advances in the Generation of Directional Sonic and Ultrasonic Radiation” Ultrasonics International 83 (Halifax) 295—300