

3. 仿真实例

在考虑到有限字长、防止溢出等问题后,用 TMS320C25 汇编语言仿真出的一个波束与相应的理想波束的比较如图 6 示。两条曲线差异很小,工程实现的效果令人满意。

的波束形成器,着重讨论了设计中的一些软件技巧。这个波束形成系统已经通过原理调试。在研制过程中,我们切实体会到,硬件的合理设计、软件的巧妙构思对于系统的良好性能都至关重要。

四、结 语

本文介绍了一个以 TMS320C25 为 CPU

参 考 文 献

- [1] 马远良,中国造船,4(1984).
- [2] TMS320C25 User's Guide, Texas Instruments Inc., 1986.

完全金属薄膜吸声结构的声学特性

盛 胜 我

(同济大学声学研究所)

1991年6月19日收到

本文研究一种完全由金属薄膜制成的共振吸声结构。着重分析了单层穿孔薄膜的吸声机理,并实验研究了单层与双层金属薄膜共振结构的吸声特性以及结构参数对其性能的影响。

一、引 言

在噪声控制工程中,当遇到多尘烟,强腐蚀,高风速等恶劣环境时,采用多孔性吸声材料的声学设计往往已经失效,而普通穿孔板共振结构的吸声频带又比较狭窄,因此近年来出现一种完全金属薄膜结构组成的吸声单元^[1]。这种结构主要是利用在金属薄膜(铝膜或不锈钢膜)上加以一定间隔的穿孔,组成共振吸声结构,在中、低频能获得较好的吸声效果。由于薄

膜的厚度很小,薄膜自身振动也会引起声学效果,所以它的有效吸声频带将比普通穿孔板共振结构更为宽广。如在穿孔薄膜上再加一层覆盖金属膜,形成全封闭的结构,这样既能防止尘粒渗入结构以致影响性能,又能使气流通过时阻力损失大大降低。特别是在需要高质量卫生要求的医院、宾馆等处,这种结构作为吸声壁面或消声通道,有着更大的优越性。国外已有一些成功的实例证明了它具有推广应用的价值^[1-2]。这种结构的典型单元如图 1。

为了深入研究与掌握这种吸声结构的声学

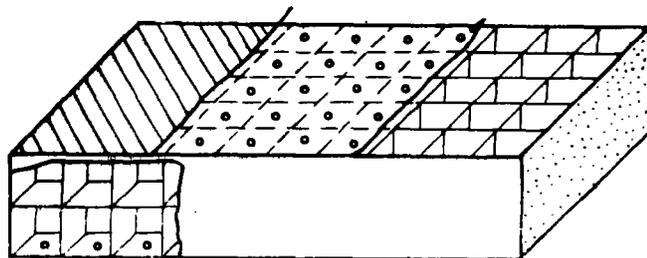


图 1 典型的金属薄膜吸声结构示意图

特性,有必要对单个吸声单元的吸声规律加以分析研究。本文分析了单层穿孔薄膜的吸声机理。根据严格的声学理论,得出穿孔薄膜声阻抗的表示式,其中考虑到薄膜本身的振动以及孔与膜的耦合作用。并且研究了几何参数变化对其声学特性的影响。同时,对于双层金属薄膜结构也进行了实验研究。所得的结论对于设计这种吸声结构有一定的指导意义。

二、单层穿孔金属薄膜结构

通常的穿孔板共振结构,假设板的本身是静止的,仅有孔内的空气以及周围的部分空气参与振动。现在研究的薄膜结构,则当声波入射时,它本身的振动以及孔板耦合的影响都不能忽略。由于薄膜在自然状态下加以固定,因此在线性振动范围内,薄膜张力可以忽略不计,只考虑薄膜具有抗弯劲度,实际上把薄膜作为薄板处理。

首先,我们研究一层穿孔金属薄膜结构。作为单个吸声单元,取一圆形薄膜,中心穿一小孔,四周固定在刚性壁面上。振动时薄膜所需的恢复力主要由自身的抗弯劲度产生。穿孔薄膜结构的吸声特性不但与孔内空气柱振动有关,而且与薄膜的振动阻尼、孔膜之间的耦合影响有关。圆形穿孔薄膜单元如图2。其中薄膜半径为 R 、厚度为 b ,小孔半径为 a 。

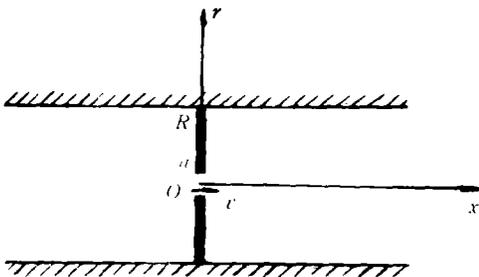


图2 单个圆形穿孔薄膜结构

穿孔薄膜的吸声特性主要取决于它的表面声阻抗率。要建立声波入射后薄膜运动的基本

方程,必须根据严格的声学理论,考虑到孔内的空气与薄膜同时参与振动。薄膜(实际上是薄板)的振动方程形式为

$$\frac{B}{j\omega} \nabla^4 v + j\sigma\omega v = 0 \quad (1)$$

式中 B 为抗弯劲度、 σ 为面密度,如圆膜中心穿孔,其周界钳定,假设薄膜处的振速分布取某一适当的试探函数 $\Phi(s)$, 其中

$$s = \left(\frac{r}{R}\right)^2.$$

函数 Φ 的形式取为

$$\Phi(s) = (1-s)^2(1 + E_1s + E_2s^2) \quad (2)$$

式中 E_1 、 E_2 由边界条件确定。当引入泛函,并取其变分为零,可得圆膜振动的基频 ω_r 为

$$\omega_r = \frac{4}{R^2} \sqrt{\frac{BI_1}{\sigma I_2}} \quad (3)$$

式中

$$I_1 = \int_{s_0}^1 \left(\frac{\partial}{\partial s} s \frac{\partial}{\partial s} \Phi \right)^2 ds,$$

$$I_2 = \int_{s_0}^1 \Phi^2 ds,$$

其中

$$s_0 = \left(\frac{a}{R}\right)^2.$$

现在来研究穿孔薄膜的声阻抗特性。若设入射波声压幅值为 p_0 , 可得薄膜的基本介为

$$p_0 = A_0 - jkR \sum_{n=1}^{\infty} \frac{A_n}{\alpha_n} \frac{J_0\left(\alpha_n \frac{r}{R}\right)}{J_0(\alpha_n)}$$

$$= \begin{cases} \frac{j}{2} \sigma \omega \left(1 - \frac{\omega^2}{\omega^2}\right) v & (r > a) \\ 0 & (r < a) \end{cases} \quad (4)$$

式中 k 为波矢, α_n 为一阶贝塞尔函数的零点, $J_0(\alpha_n)$ 为归一化因子, $\{A_n\}$ 为待定系数。

假如设孔内的振速恒定,则整个穿孔薄膜的振速分布可写为

$$\rho_0 c_0 v = \begin{cases} F\Phi(s) & (s > s_0) \\ G & (s < s_0) \end{cases} \quad (5)$$

若记 $A_n = Ff_n + Gg_n$, 则可得

$$\begin{cases} f_n = \frac{2}{R^2} \int_0^R \frac{J_0(\alpha_n \frac{r}{R})}{J_0(\alpha_n)} \phi r dr \\ g_n = \frac{2}{R^2} \int_0^R \frac{J_0(\alpha_n \frac{r}{R})}{J_0(\alpha_n)} r dr \end{cases} \quad (6)$$

现分别在 $s > s_0$ 与 $s < s_0$ 区域取变分, 经简单运算可得 F 与 G 的表示式如下

$$\begin{cases} F = (f_0 S_{22} - g_0 S_{12}) S \\ G = [g_0 (M + S_{11}) - f_0 S_{12}] S / \Delta \end{cases} \quad (7)$$

式中

$$\begin{cases} S = (\rho_0 - A_0) / jkR \\ S_{11} = \sum_{n=1}^{\infty} f_n^2 / \alpha_n \\ S_{12} = \sum_{n=1}^{\infty} f_n g_n / \alpha_n \\ S_{22} = \sum_{n=1}^{\infty} g_n^2 / \alpha_n \end{cases} \quad (8)$$

以及

$$M = \frac{\sigma}{2\rho_0 R} f_2 \left(1 - \frac{\omega^2}{\omega^2}\right),$$

$$\Delta = (M + S_{11}) - S_{12}^2.$$

最后可得穿孔薄膜的声抗率为

$$X = 2j\rho_0 c_0 k \Delta [f_0^2 S_{22} - 3f_0 g_0 S_{12} + 2g_0^2 (M + S_{11})]^{-1} \quad (9)$$

声阻部分应包含线性声阻与非线性声阻两项。由于它们来源不同, 因此在分析中宜分别加以处理。线性声阻来源于粘滞损耗。当膜与孔的线性声阻率分别为 r_1 与 r_2 时, 则式(8)

中的 S_{11} 与 S_{22} 应分别增加 $-\frac{j}{2} \frac{f_0^2 r_1}{kR}$ 与 $-\frac{j}{2}$

$\frac{g_0^2 r_2}{kR}$ 项。 r_1 取决于薄膜的损耗因子, r_2 取决于孔的粘滞损耗, 都可由现成的公式中得出^[3]。

一般情况下, 线性声阻的影响比较小。非线性声阻来源于孔上的脱体绕流, 通常在孔径的 3—5 倍距离内起作用, 因此非线性声阻率^[3] 可以单独计入最后的声阻抗表示式中。

通常情况下, 在穿孔薄膜后还留有一定长度的空腔, 组成共振吸声结构。如果将薄膜的声阻抗再加上空腔的声抗, 就得到整个结构的

应用声学

声阻抗。对典型的结构进行计算表明, 在感兴趣的频率范围内存在两个共振频率。采用驻波管测量吸声系数 α 的结果验证了这点。所采用的样本为 0.1mm 厚度的铝膜, 中心有直径为 12.5mm 圆孔, 铝膜后面留有 12cm 的空腔。图 3 给出了理论计算与实测结果。

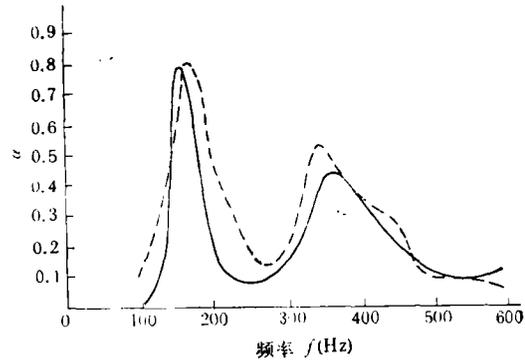


图 3 穿孔薄膜垂直入射吸声系数
(——计算值, - - - 实测值)

穿孔薄膜的两个共振频率可以从上述理论计算中得出。从工程设计的实际出发, 也可以从孔-腔共振系统以及板振动系统加以粗略估计。较低的共振频率, 通常对应于孔-腔亥姆霍兹共振结构, 其共振频率取决于孔径, 膜厚以及腔深度。较高的共振频率, 对应于穿孔膜振动的基频。由于膜中心穿孔, 其振动频率由式(3)决定, 取决于膜的抗弯强度, 面密度以及膜与孔的直径。当穿孔的面积较小时, 可用通常的薄板振动的简正频率加以估计。

我们进一步对三种不同厚度, 三种不同孔径的金属铝膜加以实验研究。实验结果如图 4、图 5。由图 4 可见, 对于一定厚度 (0.47mm) 的薄膜, 当孔径增大时, 第一共振频率将增高, 而第二个共振频率变化不大。这是因为当穿孔面积增大时, 亥姆霍兹共振器的共振频率将增高, 而膜振动的简正频率稍有影响。图 5 是在孔径相同 (12mm) 的情况下, 不同厚度铝膜吸声系数的结果。由图可见, 第一共振频率变化不大, 而第二共振频率随厚度增加而偏高, 这可以解释为, 对于孔-腔共振结果, 由于薄膜厚度很小, 孔的有效长度主要取决于末端修正项, 而与膜

厚度关系不大,因此导致共振频率几乎不变.而第二共振频率主要由薄膜振动(相当于薄板振动)决定,随厚度增加而升高.

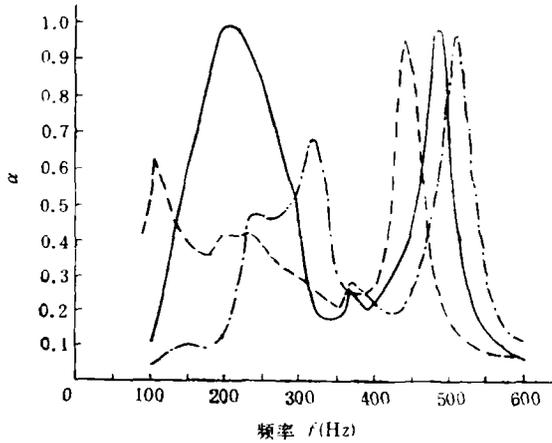


图4 不同孔径的薄膜吸声系数比较
(厚度0.47mm, --- $\phi 6\text{mm}$, — $\phi 12\text{mm}$,
- · - $\phi 25\text{mm}$)

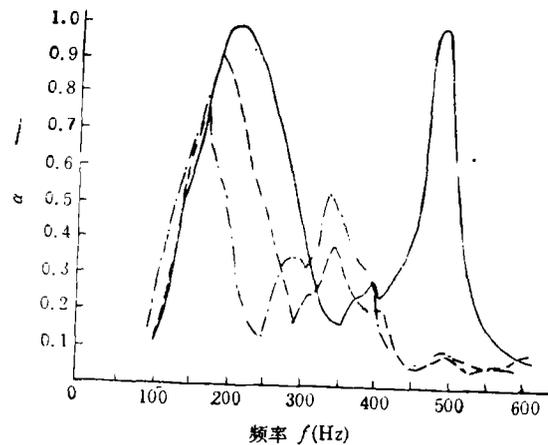


图5 不同厚度的薄膜吸声系数比较
(孔径12mm, —0.1mm,
---0.25mm, - · - 0.47mm)

三、双层金属膜结构

为了避免尘粒落入孔内,同时尽量减小气流通过时的阻力损失,在单层穿孔薄膜上再覆盖一层无孔的金属薄膜.值得注意的是,如果装置适当,这种双层的薄膜结构将进一步改善其声学特性.对于双层膜结构,我们做了一系

列实验研究.典型的例子如图6.穿孔膜厚度为0.3mm,孔径12.5mm,覆盖的一层铝膜厚度为0.1mm,两层膜之间的间隔约1mm,四周用泡沫垫层的细条加以支撑.在图中,将双层膜结构的吸声系数与原来单层穿孔膜作了比较.由图可见,在300Hz与400Hz之间的第二个吸声峰明显增高.另外,在两个峰值之间,吸声性能也普遍提高.这可解释为由于两层膜耦合的影响.在膜之间空气层的摩擦粘滞作用、膜与膜之间耦合振动的损耗,将直接影响双层膜结构的吸声特性.

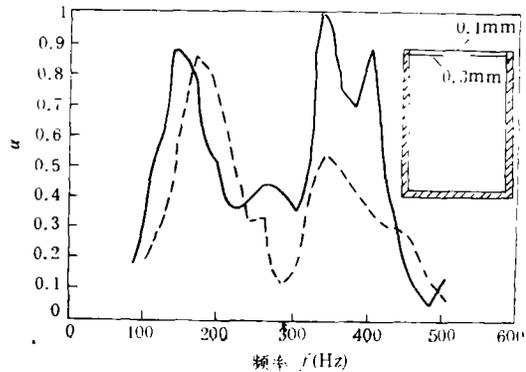


图6 双层膜结构的吸声系数
(虚线对应单层穿孔膜时)

如果用2mm厚的穿孔板代替原来内层的穿孔薄膜,其他条件保持不变,这时穿孔板可视为刚性,板本身不参与振动.从图7中可以看到,在较高频段上的第二吸声峰消失了.其吸声频谱与原来未加覆盖膜时的情况相似,即是

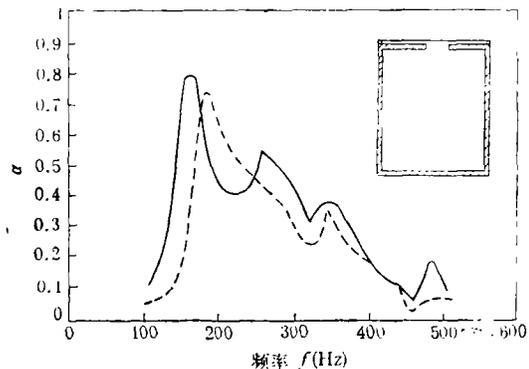


图7 内层为刚性穿孔板时的吸声系数
(虚线对应未加覆盖膜时)

通常穿孔板共振结构的频谱。换言之，如果内层膜用刚性穿孔板代替，则覆盖的金属薄膜已不再能提高其吸声性能。由于增加了声质量，其共振频率将有所偏移。

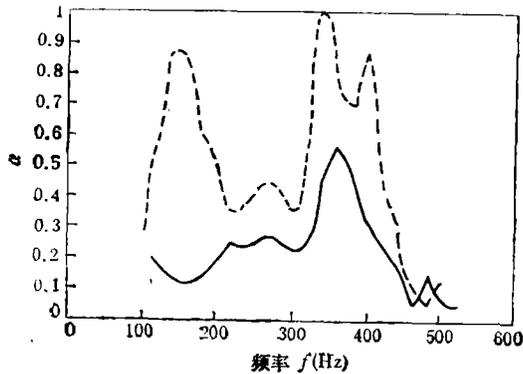


图8 两层膜间用刚性支撑时的吸声系数
(虚线对应柔性连接时)

值得指出的是，两层膜之间的弹性支撑对于吸声效果有着重要作用。如果两层膜之间用刚性的金属细条加以支撑，则吸声系数将明显降低(如图8)。覆盖层的振动受到限制，两层膜之间的耦合作用几乎丧失。当声波入射到外层表面时，很难通过两层膜间的空气层激发内层穿孔膜的振动，显然，在设计双层膜结构时，认真选择适当的支撑(实际上是两层膜之间的粘合处理)是十分重要的。

参 考 文 献

- [1] Ackermann U., Fuchs H.V., Rambauck N., *Applied Acoustics* **25**(1988), 197.
- [2] Ackermann U., Fuchs H.V., *Noise Control Engineering Journal* **33** (1989), 57.
- [3] 赵松龄, 噪声的降低与隔离(上册), 同济大学出版社, 1985, 113.

超声迟延相关合成断面成像检测技术

陶 良 高劭伦 于石声 郭重雄

(哈尔滨工业大学)

1991年5月14日收到

本文从实用性出发，提出了超声波无损检测的一项新技术——由线阵超声换能器的信号迟延相关合成实现的断面成像检测技术。与现有的几种超声成像方法比较，具有装置简单、操作方便、可靠性较好、实用性强等特点，尤其适用于中、大型及复杂表面工件的内部缺陷成像。因其较好的可靠性和重复性，目前已应用于大型轴类的探伤。

一、引 言

目前在生产中广泛应用的超声波探伤技术是A型显示缺陷当量法，即由缺陷的反射波高度与人工平底孔等规则形状人工伤缺陷的反射波高相比较来确定缺陷大小。由于实际缺陷的复杂形状和取向，其检测结果常与真实情况相差甚大，日益不能满足生产实际的需要。为准确有效地重建缺陷，为断裂力学的计算提供可

靠依据，相应产生了B扫、C扫以及较新出现的ALOK、SAFT等成像技术^[1-4]。然而，由于聚焦声束、电子或机械扫查机构及水槽的使用，带来了价格昂贵、设备复杂等问题，特别是对中、大型工件难以广泛应用。

本文所述技术是基于合成孔径聚焦技术(SAFT)的基本原理，为解决实际的需要而提出的，具有以下特点

1. 使用平面换能器覆盖照射探伤区，不使用聚焦换能器和水槽。