



微穿孔板消声器及其在高速气流下的消声性能*

方丹群 孙家其

(北京市劳动保护科学研究所)

冯瑀正

(中国科学院物理研究所)

《物理》杂志 1974 年第 4 期报导了降低噪声的新手段——微穿孔板吸声结构。本文介绍新型消声器——微穿孔板消声器及其在高速气流下的消声性能。

一、消声器和微穿孔板消声器

随着近代工业和科学技术的发展,空气动力机械得到越来越广泛的应用,它已经成为国民经济和国防事业中不可缺少的设备。但任何空气动力过程都伴随着噪声的发生。这种由于气体的非稳定过程,或者说由于气体的扰动而产生的噪声,叫做空气动力性噪声。如航空发动机喷气噪声、内燃机和燃气轮机噪声、压缩气体和大流量蒸汽排汽放空噪声、大型鼓风机和压缩机噪声……等等,皆属空气动力性噪声,其声功率级已高达 120—160 分贝,严重地污染着环境,直接危害人们的身心健康。

如何控制空气动力性噪声呢?最有效的技术措施之一是采用消声器。消声器是一个阻止声音传播而允许气流通过的装置,把消声器装设在某空气动力设备的气流通道上,就可以使该设备的噪声得到降低。

消声器的种类很多,但主要可以分为三类:阻性消声器、抗性消声器、阻抗复合消声器。

阻性消声器主要是利用吸声材料消声,把吸声材料固定在气流流动的管道内壁,或把吸声材料按一定的方式在管道中排列组合起来,就构成阻性消声器。阻性消声器的优点是能在较宽的中高频范围内消声,特别是对刺耳的高频声波有显著的消声作用,缺点是在高温、水蒸汽下使用寿命短,对低频噪声消声效果差。

抗性消声器又称声学滤波器,它是根据声学滤波原理制造出来的。如共振消声器、扩张室式消声器等,它的优点是具有良好的低频消声性能、构造简单、耐高温、耐气体浸蚀和冲击腐蚀。缺点是消声频带窄,对高频消声效果差。

有的空气动力性噪声具有很宽的频率范围,单靠阻性或抗性消声器不能解决问题,于是,人们又综合了上述两种消声器的特点,作成阻抗复合消声器,它在一个很宽的频率范围之内都具有良好的消声效果。但是,由于阻抗复合消声器中采用了吸声材料,故它对于高温(特别是有火时)、蒸汽浸蚀和高速气体冲击腐蚀下使用寿命短。

为了在一个较宽的频率范围内消除空气动力性噪声,同时又使消声器具有耐高温、耐蒸汽浸蚀和冲击腐蚀的作用,近年来噪声控制工作者一直在探索用纯金属结构制造的宽频带消声器,金属微穿孔板消声器就是我国在这方面的一个新成果。

微穿孔板吸声结构是同时具有声阻和声质量的声学元件,微穿孔板结构的腔又具有声顺的作用,它与微穿孔板共同组成一个共振系统,由于微穿孔板的孔很小(小于 1 毫米),故它的声阻比一般的穿孔板大得多。而吸声带宽(即吸声系数高于 0.50 的频带宽度)又与声阻成正比,因此,微穿孔板吸声结构的吸声带宽比一般的穿孔板吸声结构大得多。1974 年第 4 期《物理》和 1975 年第 1 期《中国科学》对该吸声结构已经作了专题介绍。理论研究和实验结果^[1,2]证明了单层微穿孔板吸声结构具有 6 个以上 1/3 倍频程的带宽,而双层微穿孔板具有 10—12 个以上 1/3 倍频程的带宽,将微穿孔板吸声结构经适当的组合作成的消声器,既具有阻性消声器又具有共振消声器的特点,它在一个较宽的频率范围内具有良好的消声效果。

实践证明,微穿孔板消声器在普通条件下使用,通常比一般的抗性消声器消声频带宽得多,而且由于微穿孔板的穿孔率低(一般在 0.5—5%),孔细而密,摩擦系数很小,因此阻损很小,在一些对消声器空气动力性能要求较严格的情况下,微穿孔板的这种性能,具有

* 1973 年 12 月 21 日收到。

特别的意义,例如,在通风空洞系统,微穿孔板消声器就取得很好的效果。

在特殊条件下,微穿孔板消声器能够耐高温和气流冲击,不怕油雾和水蒸汽。就是在有水的情况下,亦有好的消声性能;有火焰喷射也不会损坏。这对于蒸汽排气放空系统、内燃机、燃气轮机以及发动机试验站的排气系统消声是很有意义的。事实上,微穿孔板消声器或微穿孔板复合消声器在这些特殊条件下已经获得良好的使用效果。

对于要求清洁干净的场所,由于微穿孔板消声器没有玻璃棉一类纤维材料,它可以不必担心粉屑吹入房间,同时,施工和维修都方便得多。

微穿孔板消声器在高速气流下还有其特殊的消声性能,下面专门介绍在高速气流下的微穿孔板消声器的消声性能。

二、微穿孔板消声器在高速气流下的消声性能

当高速气流通过消声器,对消声器的消声性能产生很大的影响,当高速气流流过时,一个在静态和低速下消声效果很好的消声器可能会使消声性能大大变坏,有时,如若设计不当或加工制造不良,不仅不起消声作用,甚至还会使消声器成为某些频率的噪声放大器。即不但不消声,而且还会使噪声得到加强。对于高速气流下消声器的消声性能,国外已有一些研究结果^[2,3,4],但关于微穿孔板消声器在高速气流下的消声性能却还未见到。

为了探讨高速气流对微穿孔板消声器消声性能的影响,我们选取了一种最简单形式的微穿孔板消声器——管式双层微穿孔板消声器作为试验样品,对它进行流速 10—120 米/秒范围内的消声性能试验。同时

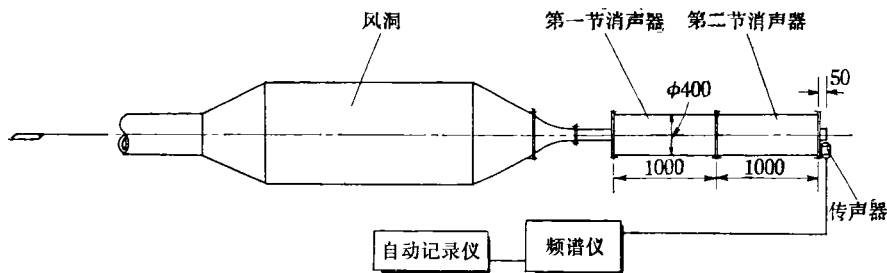


图3 消声器试验装置示意图

选用相同长度、相同截面的玻璃棉加护面板的管式消声器作比较试验,这两种消声器的结构示意图见图1、2。

微穿孔板消声器所用微穿孔板的规格是:板厚 0.5 毫米,孔径 $\phi 0.5$ 毫米,穿孔率 2.7%,前腔 10 厘米,后腔 4 厘米;玻璃棉加护面板的管式消声器的规格:超细玻璃棉的密度为 30 公斤/米³,厚度 14 厘米,护面穿

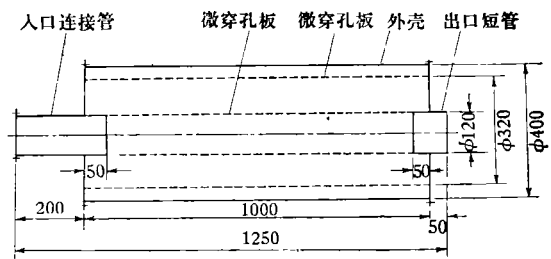


图1 微穿孔板型消声器结构示意图

表1 吸声系数表(管测法)

材 料	频率(赫)				
	125	250	500	1K	2K
微穿孔板	55	81	86	82	75
玻璃棉	81	59	77	88	95

孔钢板孔径 $\phi 8$ 毫米,板厚 1 毫米,穿孔率 20%。它们的管测法(垂直入射)吸声系数列于表 1。

试验用消声器长两米,分为两节,每米一节。

试验是在风洞上进行的,风洞及试验装置如图 3 所示。

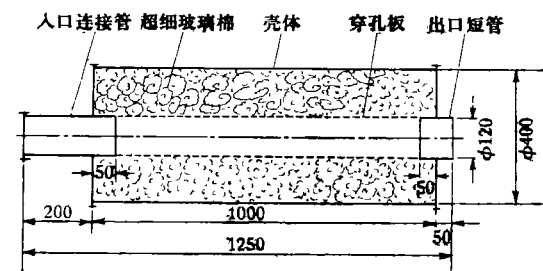


图2 玻璃棉加护面板型消声器结构示意图

测点选择在出风口近场,在风洞出风口平面上距外径 5 厘米处在没装消声器时,测得风洞噪声值,装上消声器后,再在距消声器出风口 5 厘米处测得消声后的噪声值,两者的差值即为消声器的消声量。

测点选在消声器之外,是为了排除高速气流对传声器的干扰,同时也符合现场实际情况。也曾经试图于半混响场插入损失法以及其他的方法,但发现由于风洞壳体辐射噪声的影响,这些方法测不准,故采用了前面的测法。

声源风源都来自该风洞,在距风洞出风口 5 厘米

处，测得风洞噪声的总声压级和A声级均为110分贝左右。风洞的供风风机是818型离心鼓风机，其风量为10000米³/时，风压1500毫米水柱。

实验结果如图4、5所示。

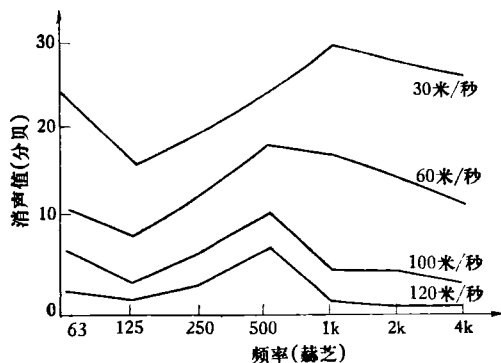


图4 二米长微穿孔板消声器在不同气流速度下的消声曲线

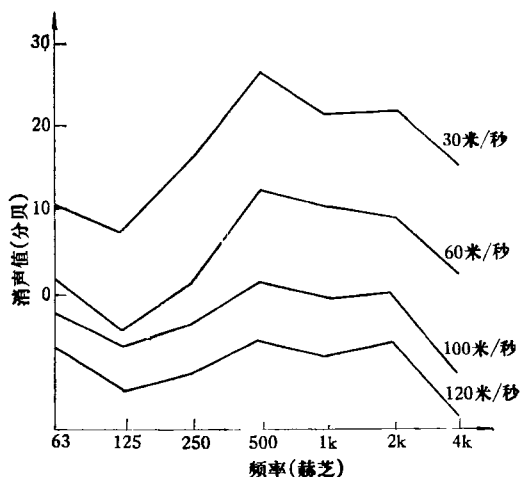


图5 二米长玻璃棉消声器在不同气流速度下的消声曲线

将测量数据进行整理，可以得到这两种消声器平均消声量 ΔL 与 $\lg v$ 的关系曲线，如图6。并可以导出平均消声量 ΔL 与流速 v 的关系的经验公式。

对微穿孔板消声器：

$$\Delta L_p = 75 - 34 \lg v \text{ (分贝)}, 120 \geq v \geq 20 \text{ 米/秒} \quad (1)$$

对玻璃棉加护面板消声器：

$$\Delta L_p = 102 - 54 \lg v \text{ (分贝)}, 120 \geq v \geq 20 \text{ 米/秒} \quad (2)$$

从图4、5、6和式(1)、(2)可以明显地看出，随着流速的增高，微穿孔板消声器(简称“微式”)比玻璃棉加护面板消声器(简称“棉式”)受气流影响小得多。

从公式上看，“微式” $\Delta L - \lg v$ 曲线的斜率 $K = 34$ ，“棉式” $K = 54$ ，显然，“棉式”的消声量随流速的增大，比“微式”下降快得多。

从数字上看，当流速20米/秒时，两种消声器的平均消声量均接近于30分贝；但到了流速50米/秒时，

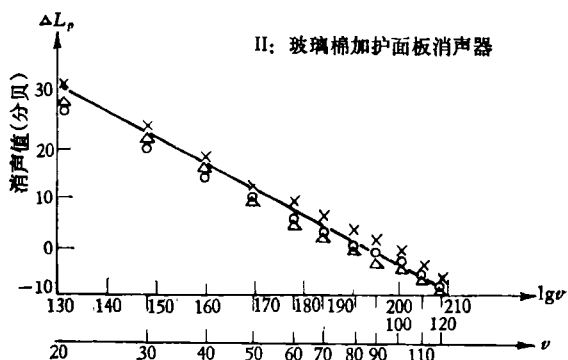
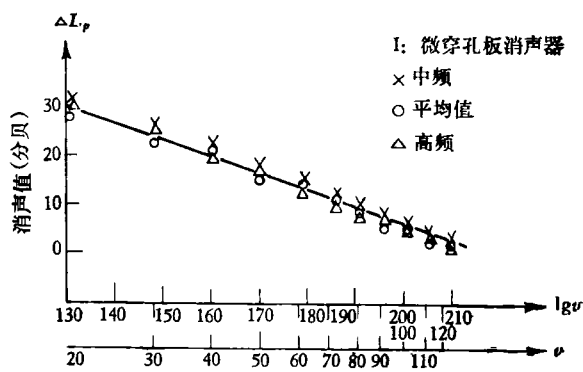


图6 两种消声器平均消声量 ΔL_p 与 $\lg v$ 的关系曲线

“微式”平均消声量仅减少10分贝，而“棉式”平均消声量减少20分贝；到80米/秒时，“微式”平均消声量仅减少20分贝，而“棉式”平均消声量减少30分贝，消声量接近于零；流速在100米/秒时，“微式”还有5分贝的平均消声量，而“棉式”却产生了3—4分贝的平均负消声量；到了100米/秒以上，“微式”还有2—3分贝的平均消声量，而“棉式”却产生了8—9分贝的平均负消声量。

在30—80米/秒的范围内，对“微式”，流速加倍，消声量仅减少约为10分贝，“棉式”则减少15分贝。

至于这两种消声器对风洞的实际减噪效果，可以从表2、3明显地看出：随着气流速度的增加，微穿孔

表2 不同流速下两种消声器的A声级消声量

消声器 A声级 消声量 ΔL_A (分贝)	消声器	
	“微式”	“棉式”
流速 (米/秒)		
10—20	27	27
60	20	12
80—90	14	7
100	12	2
120	5	-8

板消声器比玻璃棉加护面板消声器好得多。

表3 不同流速下两种消声器的(63—4000赫)各倍频程声压级消声量

流速 (米/秒)	消 声 器 63—4000 赫 各倍频程声压级 消声量(分贝)	
	“微 式”	“棉 式”
10—20	20—30	20—30
60	10—20	0—10
80—90	5—10	-7—6
100	4—10	-9—2
120	0—7	-9—1

由以上的和其他的试验研究可以得出一个结论：在高速下，微穿孔板消声器具有比阻性消声器和扩张室消声器更好的消声性能和空气动力性能，这对于高速送风系统，对要求消声器体积小、消声器内流速高的高速空气动力设备（特别是运载工具和军用的空气动力设备）是有益的，由于在很高的流速下，微穿孔板消声器还有一定的消声性能，这对大型空气动力设备的消声器可以较大幅度地减小尺寸，降低造价。

在高速气流下，微穿孔板消声器比玻璃棉加护面板消声器消声性能好的原因主要是微穿孔板穿孔率低，孔细而密，对流场影响小，因而产生的再生噪声低。

高速气流产生的再生噪声主要是湍流噪声，即主要起源于边界层的偶极辐射，以及边界的湍流脉动激起管壁的振动，在消声器内壁，由湍流所产生的噪声声

功率 W 与气流速度 v 的6次方、阻力系数 ξ 的平方、管道直径 D 的平方成正比，即

$$W \propto D^2 \xi^2 v^6 \quad (3)$$

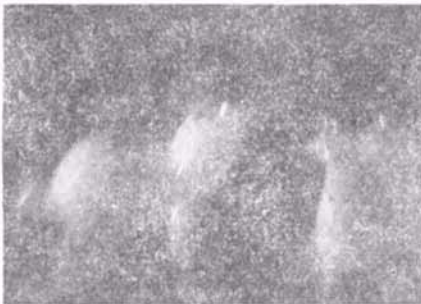
在试验中，所用“微式”和“棉式”消声器的 D 、 v 相同，再生噪声的声功率比 $W_{微}/W_{棉}$ 仅与 $\xi_{微}^2/\xi_{棉}^2$ 有关。低穿孔率细孔的微穿孔板的 ξ ，显然比高穿孔率大孔的护面板加玻璃棉小得多。因此，对于同样型式的消声器，微穿孔板消声器比玻璃棉加护面板消声器的再生噪声应该小得多，这就是在高速下微穿孔板消声器比玻璃棉加护面板消声器性能好的主要原因。

最后，应当指出，由于微穿孔板消声器是近几年发展起来的一种新型消声器，它的许多理论和基础工作还很不完善。比如，该消声器的理论计算或者经验公式还没有建立。本文关于气流对微穿孔板消声器消声性能的影响也是在特定条件下作出的，更深入和更普遍的研究工作还有待今后进一步去做。

参 考 文 献

- [1] 马大猷，《微穿孔板吸声结构的理论和设计》，《中国科学》，1 (1975)，38。
- [2] Meyer, E., Mechel, F., and Kurtze, G., *J. Acoust. Soc. Am.*, 30 (1958), 165.
- [3] Mechel, F., Mertens, P., *Acustica*, 13 (1963), 154—165.
- [4] 平田能睦，伊藤毅，《日本音响学会志》，26 (1970)，16。
- [5] 平田能睦，《日本音响学会志》，27 (1971)，501。
- [6] 中国科学院物理研究所噪声控制组，《降低噪声的新手段——微穿孔板吸声结构》，《物理》3-4 (1974)，195。

(上接 256 页)



(a) 试制教具用白炽灯照明时再现的虚像照片。



(b) 用激光束照明时再现的虚像照片

图 7

全息图的拍摄，一般是在晚上 9—11 时进行，但在上午 10—12 时也试过 3—4 次，没有发现再现不出象的事例。

参 考 文 献

- [1] Smith, H. M., 《全息学原理》，第六章，科学出版社，

- (1972).
- [2] Collier, R. J. 等, *Optical Holography*. 第十七章, Academic Press, New York. (1971).
- [3] Upatnicks, J. 等 *Appl. Opt.*, 8 (1969), 85.