

高声强声源及其应用*

谷嘉锦

(南京航空航天大学·210016)

本文介绍了4种高声强声源:(1)单孔旋转阀;(2)带中心杆的哈特曼发声器阵;(3)喷流点声源;(4)喷流反馈旋转发声器。本文还给出这4种声源的用途,即分别应用于:(1)流动管道中有限振幅波的传播研究;(2)进气道吸声内衬的声阻抗测量技术;(3)风洞声学环境的研究;(4)利用高强度声能来清灰除尘。

关键词: 高声强声源, 喷流, 反馈, 波传播, 声阻抗, 吸声内衬

High intensity sound sources and their application

GU Jiajin

(Nanjing Aeronautical and Astronautical University · 210016)

This paper presents four kinds of high intensity sound sources: rotation valve with single hole, Hartmann generator arrangement with centre rods, jet point sound source and jet feedback rotation generator.

These sources are used for the propagation of wave with finite amplitude in flow ducts, the impedance measurement technique of the inlet with acoustic liner, the investigation of acoustic environment in wind tunnel and using high intensity sound power to remove dust respectively.

1 引言

在声学研究中需要使用各种形式的发声器。气动声学面临的是高声压级和宽频带的研究环境。而气流发声器正是提供此类环境的最合适的声源。

气流声源的特点是效率高、功率可以很大、有实用价值^[1]。目前采用的气流发声器有振腔哨(哈特曼发声器)、旋涡哨、喷注边棱哨(簧片哨)、单孔喷注旋转阀^[2]和多孔喷注旋转阀^[3]等等。频率和声压级是发声器设计的两个关键参数。作者在科研工作中,选择和设计了几种新型的高声强发声器以符合不同的试验要求。如在课题“流动管道中有限振幅波

的传播”研究中^[4-5],选用了单孔旋转阀,在课题“带消声内衬的高声强流动管道内声传播”和“消声短舱声阻抗测量技术”研究中,设计了带中心杆的哈特曼发声器阵;^[6-8]在课题“风洞声学环境”的研究中,设计了喷流点声源发声器;在课题“用声能清灰除尘”的研

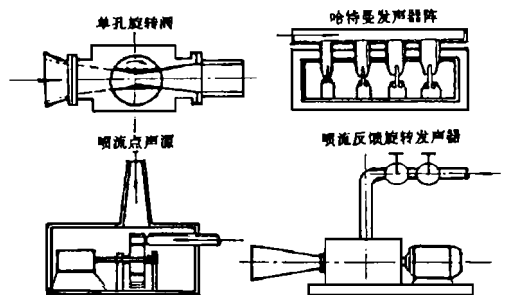


图1 本文所介绍的四种高声强声源

* 收稿日期 96-3-2, 修回日期 1996-4-29

究中,设计了喷流反馈旋转发声器。

研究认为:以上4种高声强声源对研究高声强环境的声学特性是十分有用的。不同的研究对象设计不同的发声器,以满足各种特殊的要求。本文的研究取得了令人满意的结果,理论和实验结果十分相符。图1是本文所介绍的4种高声强声源的示意图。

2 高声强声源

2.1 单孔旋转阀

从原理上分析,单孔旋转阀是一种调制气流声源。其计算模型可看成是由气室、喷管和管道所组成^[9~11]。利用阀的旋转,不断打开和关闭压缩空气运行的通道使之产生压力波。向下游传播的压力波被认为是所需要的试验压力波。阀的旋转速度将决定压力波形的频率。一般地说,单孔旋转阀所提供的频率是非常低的(几10Hz)。在试验管道中和管道外提供的试验声压级较高。作为低频研究,它提供的频率精度是非常高的,且重复性试验十分一致。适合于基本理论的研究和验证。

2.2 哈特曼发声器阵

哈特曼发声器阵的设计思想来自于超声波哈特曼发生器的原理,即利用流体动力系统的喷注现象,且在喷注的下游加一反馈系统使其发声效率大大增加。把超声波哈特曼改成声波哈特曼主要是加大发生器的尺寸,相应地要增加气源储气量。哈特曼发声器的常规形式是由收缩喷管,开口振荡区和共振腔组成。实验证明带中心杆的哈特曼发声器可以得到更高的效率。如果正确选择喷管和共振腔之间的距离,滞留在该区域的激波在位置上变成不稳定的,且强有力地影响其共振腔中的声波。激波运动同共振腔的耦合,引起高强度的声辐射。由于一个哈特曼发生器只提供一个强峰值频率及其谐波,如果要得到一定宽度的频带范围,则可用各种尺寸的哈特曼发声器组成阵。在设计中,该发声器阵的频率愈高愈容易实现。一旦低于300Hz,往往

流量太大,在一般实验中不易实现。

2.3 喷流点声源

喷流点声源,实现上是调制原理和反馈原理的综合效果。为了进行某种吸声衬垫的性能试验,往往对声源提出如下的要求:①频率较低(200Hz以下),声压级较高(100dB以上)。②声源尺寸不要太大,最好呈点声源性质,以研究球面波的传播。喷流点声源正是根据这样的要求设计的。它的结构外形呈长方体,外固定一收缩喷管为出声口(出声口较小,使其有点声源性质)。长方体的壳体用厚钢板焊成,确保不漏声。腔体内有电机,发声盘,支架及喷管等。该发声器在低频时提供的强的发声,是一般电发声器较难做到的。

2.4 射流反馈旋转发声器

射流反馈旋转发声器的原理也是属于调制和反馈的综合应用,其特点也是提供低频条件下的高声强。不同的是该发声器装置了导声管(声号筒)。通过号筒“放大”声音,使低频时的峰值频率的声压级达到140dB左右。

除以上4种发声器外,还有多孔旋转阀(该阀可提供中高频时高达170dB的声压级),由于超音速喷流混合区的加强而形成的高声强(高频时可达150dB以上的声压级)^[12];往复阀发声器^[13](这是一种按调制原理的低频发声器),以及其它各种发声器。

3 应用

3.1 流动管道中有限振幅波传播的研究

有限振幅声波在管道中传播问题,对于非线性声学的基础研究具有重要的意义^[14]。它在噪声控制、声疲劳以及改善压力波传播特性方面也有重要的现实意义,它属于非线性声学的范畴。波在行进时,将发生畸变现象。本研究选用了单孔喷注旋转阀作为声源。相应的试验装置见图2。

该研究的思路是:①目的是研究流动管道中有限振幅波的传播。②如果知道管道某位置的压力和速度的同步时间历程,利用特

征线方法,就能计算管道任何位置的的压力和速度的时间历程。③由于速度时间历程的测量难度很大,故使用管道上相邻两点的压力同步时间历程来计算该两点的速度时间历程。④速度的初值可以用控制流量多次迭代计算得到。⑤用二级近似计算模型代替文献[2]的一级近似计算模型。⑥本研究可计算出压力波的传播以及管端反射参数 λ 和 β

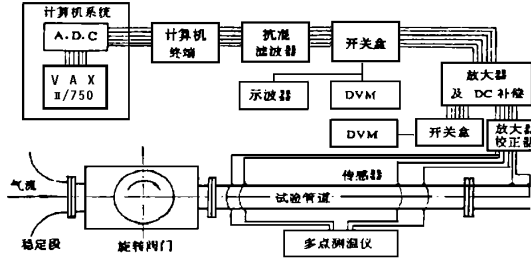


图2 有限振幅波传播的试验框图

为了验证方法,在计算和实验中一共取了5个试验点,A点和B点是一对测量点。用传感器测出其压力时间历程,并输入计算机。C点和D点是下游的校核点,该两点的计算值必须同实测值一致,以校核计算方法的正确性,并找到压力波传播的特性。E点是管道末端点,以校核反射特性。图3是本研究的结

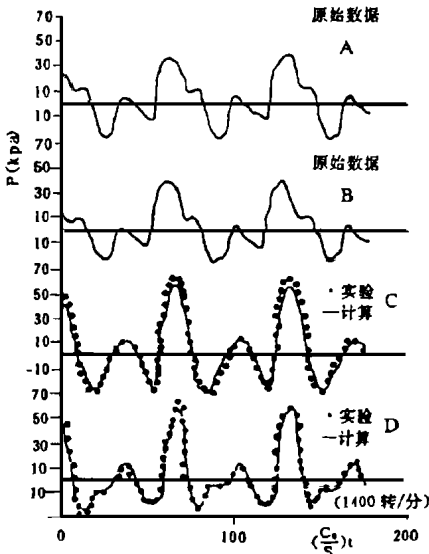


图3 波传播的压力时间历程
果之一。理论计算和实验测定非常一致。

3.2 带消声内衬的高声强流动管道内声传播的研究

在飞行器进气道,涵道和喷管壁上安装吸声内衬是降低噪声的一种有效方法。目前,在先进的客机上已广泛使用了各种参数的吸声内衬。内衬声阻抗是决定降噪量的关键参数。为了预估飞机短舱的消声量,须知吸声内衬的声阻抗。目前较现实的方法是用实验法测出在各种马赫数和声压级下的短舱吸声内衬的声阻抗。研究思路是:①设计一个能模拟进气道状态的真空吸式风洞。②设计一种大大高于流动管道背景噪声的可变频率的哈特曼发声器阵。③在试验段获得所需的马赫数 ($M = 0 \sim 0.6$) 和所需的声压级 (SPL 130dB)。④选用的内衬试件是表面为穿孔板,中间为蜂窝,背壁为刚性壁。⑤用双麦克风方法测量此类宽带阻性共振器的声阻抗。

在高速流动的管道中,背景噪声是很高的,如下吹式跨音速风洞中,其内部背景噪声可达 140dB。在真空吸式风洞中,内部背景噪声约在 120dB 左右。根据试验声源的要求:①必须超过背景噪声 10dB 以上,②发动机试验频率为 500Hz ~ 4000Hz。所以,研制了相应频率的 130dB ~ 170dB 的高声强声源。通过理论设计以及发声实验证明带中心杆的哈特曼发声器阵是此类试验较合适的声源。本文对 5 种类型的吸声内衬试件进行了声阻抗的测定。其参数见下表:

表1 吸声内衬试件的主要尺寸

模型编号	盖板			蕊		底壁	
	穿孔率	孔径	排列	形状	深度		格尺寸 (mm)
No. 1	22%	ϕ_m mm	三角形	方形	25.4mm	18 × 18	2mm 铝板
No. 2	7%	ϕ_m mm	三角形	方形	25.4mm	18 × 18	2mm 铝板
No. 3	7%	$\phi_{1.5}$ mm	三角形	方形	37.4mm	18 × 18	2mm 铝板
No95-001	5.09%	$\phi_{0.9}$ mm	三角形	方形	25.5mm	16 × 16	2mm 铝板
No95-002	2.45%	ϕ_m mm	三角形	方形	25.5mm	16 × 16	2mm 铝板

实验结果证明这类内衬在低流速和低声压级时,呈现的是一般共振器性质,反映在谱上的带宽是十分窄的。然而在高声压级时,呈

现出一个很宽的宽带衰减。这种宽带阻性共振器在航空领域中得到了广泛的应用。图4是本文测得的声阻抗抗图。

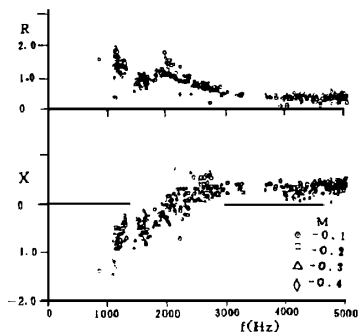


图4 No.95-001模型的声阻抗抗曲线

3.3 风洞声学环境的研究

风洞是进行空气动力学研究的重要试验装置。随着航空的发展,对风洞的品质提出了更高的要求。其中风洞声学品质已成为风洞设计的一项主要内容。国外正在为气动声学和非定常空气动力学的高质量的研究而建造和改建许多风洞(声学风洞)。实验证明:声学风洞是气动声学研究的最合适的试验装置^[15]。另一方面,如何在常规风洞中开拓声学实验技术,则又是许多风洞声学工作者正在研究的问题。

为了在常规风洞中进行风洞试验,惯用的方法是在试验段的壁面上加吸声衬垫以提高风洞的霍尔数。

本研究对声源的要求是:①在低频时,仍具有100dB以上的声压级。②声源尺寸比较小,近似可认为声波以球面波传播。为此设计了喷流点声源。

通过研究得到:①风洞试验段壁上敷贴内衬是降低风洞声压级的一种办法。本研究在南京航空航天大学所属的NH-2风洞中获得了10dB的降噪量。②加内衬增加了风洞试验段的霍尔数,从原来的0.7m增加到2m。③喷流点声源是低速风洞声环境研究的有效声源,该声源超过风洞本底噪声10dB以上。

3.4 用声能来清灰除尘

用声能来清灰除尘是噪声控制的一个新领域,其关键是设计出一种既具有高声强,又具有低频率的发声器。

作为清灰除尘系统的高声强声源,应满足下列要求:高声强(135dB),低频率(25Hz)。工程上的具体应用还应考虑气源压力不能太高和平均流量不能太大的要求。

本研究所用的喷流反馈旋转发声器,是一种典型的旋转阀气动发声器。旋转的目的是周期性的开启管路中的流动,造成压力波。由变频控制器来调节所需之频率。为了增强发声效率,在喷管下游加了反馈体,利用空气动力学中的加强涡系来达到增强声能的目的。导声管的目的是增加低频声,使低频声成为峰值频率,以达到所需的工作频率以及相应的声压级。图5是该发声器的频谱图。

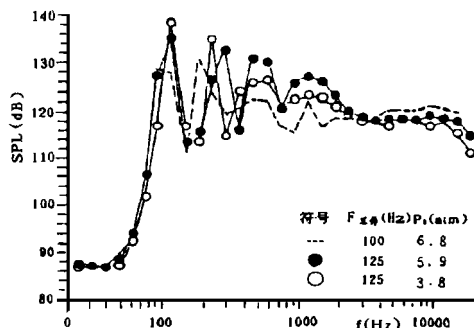


图5 喷流反馈旋转发声器的频谱图

实验发现:当声压级大于135dB时,在低频声的作用下,大型电厂锅炉的壁上和其它地方的积灰明显地掉;还发现存在一明显的有效区范围,该范围的大小同声压级和频率有关。当距离增大,声压级减少,当低于130dB左右时,声能对积灰无明显影响。

4 结论

- (1) 本文研究的发声器归纳如表2:
- (2) 高声强声源在气动声学基础理论研究中有十分广泛的用途。尤其是非线性声传播的研究。

表 2 本文研究的发声器及其特点

发声器	本文用途	特点
单孔旋转阀	非线性声传播	低频 高声强
哈特曼发声器阵	吸声内衬声阻抗测定	中高频高声强
喷流点声源	风洞声环境	低频 高声强
喷流反馈旋转发声器	声能清灰除尘	低频 高声强

(3) 高声强声源在工程上应用很广泛, 例如在声疲劳, 噪声控制, 消声器设计, 声能清灰除尘等等。

(4) 高声强声源的高效和小型化是需要继续研究的内容。

参考文献

- 1 马大猷, 调制气流声源的原理, 物理学报, 1974; 23: 1
- 2 Yaseen E A A. High intensity sound propagation in flow ducts. 1987. PhD Thesis, University of Southampton.
- 3 Bauer A B. Simulation of propfan noise impact on a fuselage. American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., 1983
- 4 Davies P O A L, Gu JJ. Finite amplitude wave reflection of an open exhaust. Journal of Sound and Vibration, 1990; 14: 1
- 5 谷嘉锦. 流动管道中有限振幅波的传播. 气

动实验与测量控制, 1993; 4: 3

- 6 谷嘉锦, 张强. 哈特曼发声器的实验研究. 应用声学, 1993; 12: 5
- 7 谷嘉锦, 张强. 进气道降噪的实验研究. 噪声与振动控制, 1995, 11
- 8 谷嘉锦. 在风洞中测定吸声衬垫声阻抗的方法. 第 11 届全国风洞实验会议, 1995
- 9 Chapman C J, Glendinning A G. A theoretical analysis of a compressed air loudspeaker. Journal of Sound and Vibration, 1990; 138: 3
- 10 Hooder R J, Rumble R H. Noise characteristics of a pulsed jet. Noise Control Engineering, 1981, 17: 3
- 11 Davies P O A L, Yaseen E A A. High intensity sound propagation in flow ducts. Journal of Sound and Vibration, 1987; 114: 1
- 12 Raman G, Rice E J. Supersonic jet mixing enhancement using impingement tones from obstacles of various geometries AIAA paper, 1995; 33: 3
- 13 Li Peizi, Dai Genhua. Experiment and formulation of pulsed jet noise. Noise Control Engineering Journal, 1991; 36: 1
- 14 陈建峰, 赵松龄. 有限振幅脉冲波在管道中的传播. 声学学报, 1990; 15: 1
- 15 谷嘉锦. 声学风洞的设计理论. 第 11 届全国风洞实验会议, 1995

会议消息

“1997 年物理声学学术交流会”通知

经商定, 中国声学学会物理声学分会、上海市声学学会、江苏省声学学会将于 1997 年在上海联合召开“物理声学学术交流会”。现将有关事项通知如下:

1. 主题内容: 物理声学(包括声学各分支领域及声学技术中的物理声学问题)。
 2. 时间: 1997 年 9 月下旬或 10 月上旬, 会期 3 天。
 3. 报名截止日期: 1997 年 3 月 10 日。
 4. 凡在会上提出报告的论文, 经审查通过后, 将在《声学技术》出版的“物理声学专辑”上刊登。
 5. 第一轮通知的回执请于 3 月 10 日前寄“210093 南京市南京大学声学研究所缪国庆收”
- (注: 此通知已于春节前发至各有关单位)

中国声学学会物理声学分会(代章)
上海市声学学会
江苏省声学学会

1977 年 1 月 28 日