

Div. 10(1959), 1—10.

[2] Sabin, G. A., *J. Acoust. Soc. Am.*, **40** (1966). 1345.

[3] Cramer, W. S. and K. S. Bonwit., PB-120811.

[4] Technical Specification of The Eledone Sonar,

1982. 3-1—3-4.

[5] Gorman, D. J., *Free Vibration Analysis of Rectangular Plates*, Elsevier, 1982, 239—259.

[6] 吴晓明、王育生, 水声通讯, 1(1984), 1—10.

与阻性消声器结合的自适应管道有源消声器

李毅民

(中国科学院声学研究所)

1990年11月26日收到, 1991年8月27号收到修改稿

本文提出一种与阻性消声器相结合的管道噪声有源抵消系统。其信号处理系统包括一个自适应滤波器和一个辅助滤波器。该系统根据上游传声器检测到的原噪声信号以及下游传声器检测到的残余噪声信号, 通过最小均方算法自动更新其滤波器参数, 产生驱动次级声源的信号。次级声源产生一反相声波, 在下游与原噪声相抵消, 本文介绍了用系统识别的方法确定辅助滤波器的参数, 并给出了有源抵消所产生的降噪效果。

一、引言

管道噪声的有源抵消在近年来越来越受到人们的重视。它不但体积小, 而且在很低的频率下具有很好的消声效果^[1]。但它在中高频范围(500Hz以上)却是无能为力。而传统的消声器在中高频范围消声效果很好, 但在低频范围效果较差。将这两种消声器结合起来, 可以取长补短, 很好地发挥各自的特长。另外, 加进吸声材料可以抑制有源消声系统的声反馈, 并缩短管道系统的冲激响应。这对有源抵消系统的工作都是十分有利的。

实现管道噪声的有源抵消需要一个信号处理系统。它将上游传声器检测到的原噪声信号加工处理, 产生一信号驱动次级声源, 使其辐射一反相声波并在下游与原来的噪声相抵消。早期的有源消声试验, 大都采用模拟信号处理系统, 它很难准确地实现所要求的传递函数特性, 因此消声效果并不理想。随着电子技术的飞速发展, 模拟系统逐步地被数字信号处理系统所取代。一个数字信号处理系统, 可以在很宽的

频率范围实现较复杂的相频特性和幅频特性。当采用固定参数的数字滤波器作信号处理系统时, 滤波器参数需通过一系列的声学测量及计算来确定^[2]。这种测量和计算往往有偏差。如采用自适应滤波器, 则不需要上述的测量和计算过程。滤波器的参数在叠代更新过程中会自动收敛于一组最佳值, 使管道下游的噪声维持极小值。即使管道系统的一些物理参数如温度、气流速度发生变化, 滤波器的系数会自动调整, 使下游的噪声仍保持极小。

这里仅对自适应有源抵消系统进行了试验。整个消声系统的优化工作还在继续进行。

二、管道噪声的自适应抵消系统

这是一个与阻性消声器相结合的自适应有源抵消系统。管道是直径为40cm的圆截面管道。阻性消声器包括用玻璃棉吸声材料制成的圆柱体及圆筒。圆柱体长1m, 安装在管道的轴线上, 如图1所示。次级声源扬声器装在圆柱吸声体的末端。上游检测传声器A装在圆柱体的前端。下游传声器B离次级声源1m远。

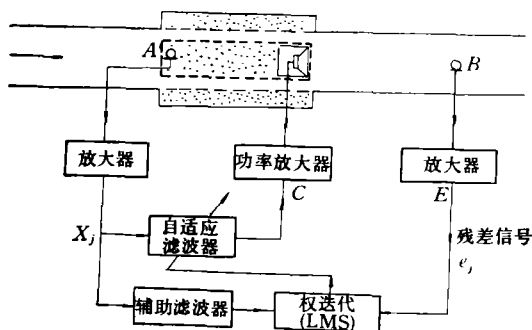


图1 管道噪声自适应有源抵消系统

数字信号处理系统由一台微计算机和一块DSP56001 数字信号处理板组成。该处理板插于微计算机内,亦称作 DSP 系统板。板上设有两路 16 位的 A/D 转换和两路 D/A 转换,最高输入采样率为 200 kHz。DSP 56001 是 MOTOROLA 公司的第四代数字信号处理器。每秒钟可完成 1 千多万条指令 (10.25 MIPS)。字长为 24 位,累加器长 56 位。在单个指令周期可完成乘法、累加和数据传输的功能。因此它十分适合于声频范围实时的信号处理,并具有很高的精度。

在本系统中,上游传声器检测到的噪声信号输入到自适应滤波器中,滤波器的输出信号驱动次级声源产生一反相声波,在下游与原噪声相抵消。滤波器的系数(权矢量)自动迭代更新,以达到一组最佳系数,从而使下游传声器检测到的噪声维持极小。这里采用最小均方算法(LMS) 权矢量由下式迭代更新。

$$W_{i+1} = W_i + 2\mu e_i X_i \quad (1)$$

式中 W_i 和 W_{i+1} 分别为当前及下一个权矢量,其分量数目等于滤波器的阶数; X_i 为输入信号矢量,如图 1 所示。 e_i 为当前的差信号; μ 为收敛因子。

在这里,辅助滤波器的采用是为了保证 LMS 算法的正确收敛。因为从自适应滤波器的输出,到下游传声器的输出信号 e_i 之间经历了一段时间延迟。由于扬声器的特性的影响,与 LMS 算法所要求的差信号相比, e_i 在幅频特性和相频特性上都有所变化。如果不对输入信号作修正,则该算法不能正确收敛。经推导,

图 1 中辅助滤波器的频率响应应当等于从次级声源输入到下游传声器输出的频率响应。要测量这一系统的频率响应,并转换成滤波器的系数是相当麻烦的工作。一种简单而且有效的方法是采用系统识别技术。

三、用系统识别方法确定辅助滤波器参数

系统识别方法可用来确定一个系统的未知参数。图 2 的装置用来识别从功率放大器的输入 C,到下游传声器放大器的输出 E 这样一个系统的参数。该系统包含了从电信号到声信号,再到电信号这样一个过程。用一个白噪声信号同时加到被识别系统的输入端及自适应滤波器的输入端。系统的输出 E 与自适应滤波器的输出信号相减。所得之差作为残差信号,用来调节自适应滤波器的权矢量。

这里亦采用 LMS 算法,权矢量的迭代更新亦采用 (1) 式。当正确收敛后,滤波器的系数即为被识别系统的冲激响应。这一组系数就可以用作图 1 中辅助滤波器的参数。

在系统识别中自适应滤波器的阶数应等于所用的滤波器的阶数,即所识别的冲激响应的长度。

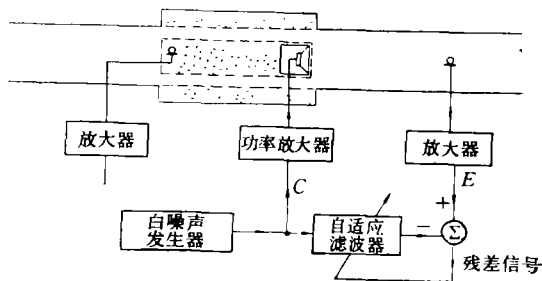


图2 用系统识别方法确定辅助滤波器参数。

四、实验结果

管道噪声由设置在上游的一个扬声器产生。扬声器由一个带宽可调的噪声信号激励。在管口附近测量了自适应抵消系统工作时及不工

作时的 1/3 倍频程声功率谱。在实验中,自适应滤波器与辅助滤波器均为 128 阶。采样频率为 12kHz。自适应时间约 2s 左右。本系统为一个实时处理系统。在一个采样周期内完成全部所需的计算量。

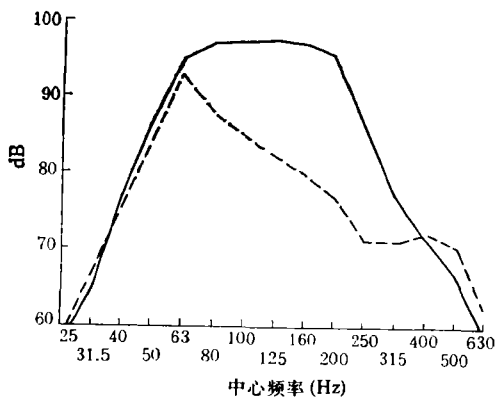


图 3 自适应抵消前后的 1/3 倍频程功率谱——抵消器不工作;-----抵消器工作。

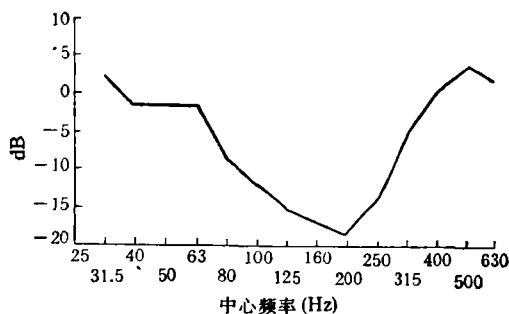


图 4 图 3 降噪量随频率的分布

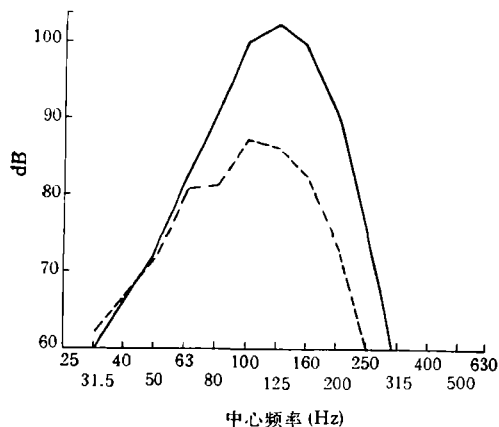


图 5 自适应抵消前后的 1/3 倍频程功率谱(窄带)——抵消器不工作;-----抵消器工作

应用声学

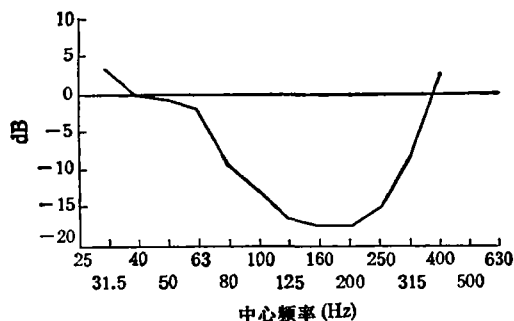


图 6 图 5 降噪量随频率的分布

实验结果如图 3 至图 6 所示。图 3 是频带较宽的情形,图 5 是频带较窄的情形。图 4 与图 6 分别是图 3,图 5 中两条曲线相减的结果,即不同频率下的降噪量。

五、讨 论

1. 考虑到管道中吸声材料的存在,本系统未对声反馈问题作处理。但实际上上级声源辐射的声音仍有部分传到上游传声器而被其接收形成声反馈回路。尤其是低频声被吸收的程度差,反馈较强,从而使所要求的信号处理系统的传递函数变得复杂。对于一定阶数的 FIR 滤波器来说,要求实现的频率响应越复杂,其近似性就越差。一种解决办法是采用自适应的 IIR 滤波器。这方面的工作目前正在进行。

2. 由实验结果可看出,在 400Hz 以上的频率范围,有源抵消系统就不起作用了。甚至噪声还有些少增加。这是因为此时已接近第一阶高次传播方式的截止频率(430Hz)。管道中的声波不再是真正的平面波,截面上的声压分布趋于不均匀,因此有源抵消就无能为力了。但是本系统是一个与阻性消声器结合的有源抵消系统。在接近 400Hz 或更高频率处,阻性消声器有足够好的消声效果。这样也就补足了有源抵消的不足之处。

3. 实验结果表明,在低于 63Hz 的频率范围有源抵消的降噪量很小,这是如下原因所造成的。本实验的管道是一有限长的管道,全长 8m。下游开口;上游封闭,安装了一扬声器作

为初级声源。管道中的声波为驻波。在检测传声器处,在有些频率上是波腹,接收的信号较强;在有些频率处为波节,接收到的信号很弱。在低于 63Hz 附近,传声器位置正好是一个波节,接收到的信号很弱,因此抵消效果很差。在很低的频率处,40Hz 以下,则扬声器的辐射效

率较差。这也是限制有源抵消效果的一个因素。

参考文献

- [1] 李毅民,声学学报,13(1988),336—342.
[2] 李毅民,声学学报,14(1989),370—376.

北京国际会议大厦会议厅的声学设计概要

项端祈 王 峰 陈金京

(北京市建筑设计研究院研究所)

1991 年 4 月 6 日收到

北京国际会议大厦是北京国际会议中心的核心建筑。总建筑面积 45000m²,是我国第一座现代化的、专供国际会议的会议大厦。设有容纳 2500 名听众的大会议厅、652 座的中会议厅,170 座的阶梯会议室(学术报告厅)和 50 座的高级会议室;以及 42 个小会议室和多功能厅;还设有配合会议用的 8000 m²展厅。本文概要介绍会议大厦中四个主要会议厅的声学设计。

一、概 述

北京国际会议大厦与会议中心内的汇宾大厦(写字楼)、五洲大酒店、汇园公寓、康乐宫、汇珍酒楼、购物中心等构成一个完整的举行国际会议的场所。

国际会议大厦配有最先进、齐备的会议展示设施,包括 8 种语言的同声传译系统在内的完善的声像设备、计算机管理系统、现代化的通

讯和办公设备。大厦建成于 1989 年,在亚运会期间作为组委会办公和会议的场所。会后则供各种国际会议所用。

北京国际会议大厦 46 个大、中、小会议厅、室都经声学设计和检测,通过亚运会组委会和数十次国际会议使用表明,音质良好,受到与会者的一致好评。这里仅概要介绍其中 4 个主要会议厅的声学设计和取得的成果。表 1 为会议厅声学设计指标一览表。

表 1 北京国际会议大厦 4 个会议厅的声学设计指标一览表

会议厅名称	容量 (座)	容积 (m ³)	每座容积 (m ³ /座)	中频 (500Hz)		频率响应 125—4000Hz	背景噪声 dBA
				混响 (s)	声场 (dB)		
(1) 大会议厅	2500	16000	6.4	1.4	±3.0	<10dB	<35 (NR-30)
(2) 中会议厅	652	3230	5.0	0.6	±3.0		
(3) 阶梯会议厅(学术报告厅)	170	470	2.8	0.5	±3.5		
(4) 高级会议室	50	436	8.7	0.5	±3.0		

二、会议厅的声学设计

会议厅声学设计的主要任务是确保语言清

晰度、防止音质缺陷而引起的声反馈,以便使厅内声场分布均匀和足够的声级。至于在会议期间即兴演出文艺节目,可通过扩声系统进行“加工”。为语言清晰度的需要,均采用强吸声短混