

# 螺桨飞机舱内噪声的主动控制

吴亚锋, 任 辉, 李江红

(西北工业大学数据处理中心, 西安 710072)

摘要: 文章讨论主动噪声控制技术在螺桨飞机舱内降噪中的应用。一实用的多通道自适应控制系统被开发, 并被应用于国产运七螺桨飞机的舱内噪声控制, 取得了满意的降噪效果。

关键词: 主动噪声控制; 自适应控制; 螺桨飞机

中图分类号: TB535 文献标识码: A

## Active control of propeller induced aircraft cabin noise

WU Ya-feng, REN Hui, LI Jiang-hong

(Data Processing Centre of Northwestern Polytechnical University, Xian 710072, China)

Abstract: An experiment using active control technique to attenuate propeller aircraft cabin noise is presented in this paper. A multi-channel adaptive active noise control (ANC) system is developed. A control experiment is fulfilled in chinese Y7 aircraft and satisfied results is obtained.

Key words: active noise control; adaptive control; propeller aircraft

### 1 前 言

60 多年前, P. Leug 就提出了主动噪声控制(active noise control-ANC)的概念, 即通过人为产生同频、等幅、反相的二次声场与原声场相互干涉来实现噪声的降低。但只有到了 80 年代末, 由于电子技术的飞速发展, 才使得这一技术有可能被应用于工业实际<sup>[1]</sup>。而且一开始, 便是针对螺桨飞机舱内噪声的控制。

1988 年初, 英宇航第一个在 BAe748 飞机上由剑桥大学的 TCL 和南安普敦大学的声振研究所分别进行的验证性飞行试验, 取得了非常接近的结果。进入九十年代, 几乎全世界所有大的飞机制造厂都参与了主动噪声控制(ANC)的研究。如麦道在超高涵(UHB)验证机 MG-80 上的研究, 波音对 Boeing-727 飞机内部低频噪声的评估。SAAB 也许诺采用被动和主动噪声控制措施使其螺桨飞机 Saab 2000 及 Saab 340Plus 舱内噪声达到 76dB(A), ANC 技术也为 Aerospatiale/Alenia ATR-42-500, Bombardier s de Havilland Dash-8Q 接受。

收稿日期: 2000-06-19; 修回日期: 2000-10-30

作者简介: 吴亚锋(1961-), 男, 陕西华县人, 副教授, 主要从事现代数字信号处理、振动与噪声控制的教学与研究。

从 1988 年开始, 西安飞机工业公司与西北工业大学数据处理中心开始合作, 开展主动噪声控制在运七飞机舱内降噪的研究。并于 1996 年 5 月成功地进行了首次飞行试验。本文即是对这一研究中的部分工作——主动控制系统及其控制实验应用的总结。

### 2 主动控制系统的组成和算法

#### 2.1 控制系统的组成

图 1 给出了一个 ANC 系统的组成框图。



图 1 主动噪声控制系统框图

该系统由传声器系统, 自适应控制器, 扬声器等组成。

系统的工作过程是这样的: 置于原声场的传声器阵列将感受到的噪声信号输入具有实时特性的控制器, 完成对与原噪声有关的参考输入信号的滤波, 并输出到扬声器阵列, 产生抵消声场。两声场干涉的结果再由传声器输入处理系统进行滤波器系数刷新和滤波, 产生新的抵消输出。

传感器系统由传声器阵列及其前置放大器构

成, 执行机构由扬声器及其功率放大器构成, 参考输入来自与被控声场相关的信号, 注意到对于由旋转机械诱发的噪声, 可以用转速信号作为参考输入信号。

控制器是一实时自适应数字信号处理系统。该系统执行噪声抵消的信号滤波, 以及自适应滤波器权系数的刷新等任务。它由四个主要部分组成: 管理系统的主控计算机; 对输入信号进行放大和抗混滤波的调理器; 将模拟输入数字化的 A/D 转换器; 完成自适应算法的高性能处理器; 转换数字信号成模拟信号的 D/A 转换器以及信号重构滤波器等。

## 2.2 自适应控制算法<sup>[2]</sup>

ANC 系统的自适应控制能力是通过执行相应算法完成的。其过程可简要描述如下:

对于一个具有  $L$  个次声源和  $M$  个传感器 ( $M > L$ ) 的系统, 有  $L \sim M$  个次级传声通道。设次声源到传声器的声通道为  $C$ , 参考信号为向量  $X_n$ 。

首先测量  $L \sim M$  个传递函数, 构造补偿滤波器  $C$ , 由

$$R = CX \quad (1)$$

生成滤波参考信号, 然后利用  $M$  个传感器的误差信号:

$$e_n = d_n + R^T(n) W(n) \quad (2)$$

其中

$$e_n = [e_1(n) \quad e_M(n)]^T$$

$$d_n = [d_1(n) \quad d_M(n)]^T$$

$$W(n) = [w_1^T \quad w_L^T]^T$$

一起通过

$$W(n+1) = W(n) - R(n) e_n \quad (3)$$

来刷新滤波器系数(  $\mu$  是一收敛常数)。

最后产生  $L$  个控制信号

$$y_l(n) = w_l^T(n) x_n, l = 1, 2, \dots, L \quad (4)$$

图 2 为一多通道自适应算法框图。

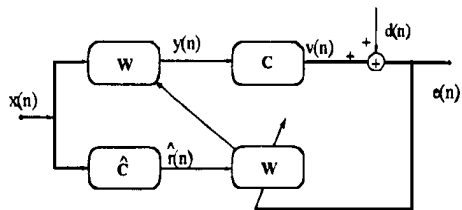


图 2 多通道自适应算法框图

## 3 飞机舱内噪声控制实验

应用上述多通道主动控制系统, 我们对国产运

七螺桨飞机舱内噪声进行了控制实验, 并取得了满意的降噪结果。该飞机舱内噪声主要由螺桨的通过频率( BPF83Hz) 及其高阶谐波( 2BPF, 3BPF ) 产生。本实验的目的是希望通过控制噪声的基频( BPF) 和二阶频( 2BPF) 来达到在舱内前部区域一定高度范围内的噪声降低。系统配置为 8 个作用扬声器和 16 个误差传声器。

### 3.1 舱内主动噪声控制系统

图 3 表示的是螺桨飞机舱内主动噪声控制系统的框图。传声器安装在乘客就座状态下头部高度的位置, 扬声器分别安放于地板和行李架上。

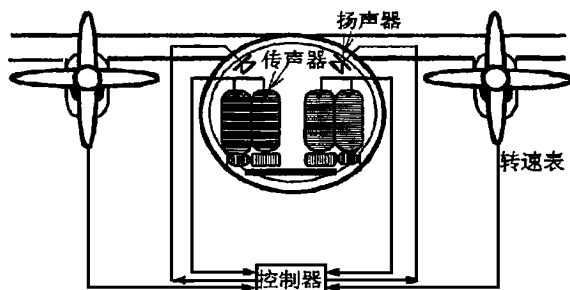


图 3 飞机舱内主动噪声控制系统框图

传声器采用具有良好性能的频率响应和高灵敏度的驻极体传声器。前置放大分为两级, 保证最大不失真放大倍数为 500 倍。扬声器采用 8 英寸的动圈式纸盆扬声器, 其功放为免外围电路的厚膜集成功率放大器, 动态响应 10Hz~ 50kHz, 最大输出功率为 55W。抗混叠滤波器为三阶 Butterworth 低通滤波器, 截止频率为 250Hz。重构滤波器为七阶 Chebyshev 低通滤波器, 截止频率为 250Hz。参考信号来自发动机转速表, 经衰减, 整形, 倍频, 得到满足需要的触发采样脉冲。

控制器有 16 个输入通道 8 路输出通道, 每 1 输入输出通道都有自己的 S/H 来保证多路信号的同步。采用 12 位的 A/D 转换, 提供 70dB, 最高采样为 3.6kHz 的模拟输入通道。输出也采用多路转换方式, D/A 转换器为 12 位。DSP 是 TMS320C30, 32 位的浮点处理器, 指令周期时间为 60ns, 系统的峰值运算能力为 33MFLOPS。DSP 板上具有 512k 字节, 0 等待高速存储器, 它和主机 PC 构成 128k 32 位双寻址存储器, 由于使用了可编程滑动窗, 故只占用主机的 64k 字节的存储空间<sup>[3]</sup>。

系统供电在地面实验采用 220V, 50Hz 的交流电。飞行实验时, 将机上直流电通过逆变器转换为 220V, 50Hz 的交流电提供控制系统, 功率放大器采用直流电池供电。控制系统的总功率为 1100W。

### 3.2 实验结果

以下是某次飞行中噪声控制实验的结果。

图 4 为控制前频谱图, 图 5 为控制后频谱图。

图 6 为控制前后 BPF 的声压量级, 各个通道均有降低, 最大降低量为 22.6dB, 平均降低量 13.4dB。

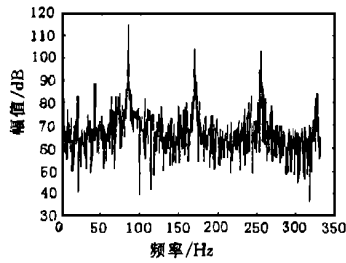


图 4 控制前的舱内噪声频谱

图 7 为控制前后 2 BPF 的声压量级, 最大降低量为 14dB, 平均降低量 5.5dB。其中 13、15、16 通道的声压值增高。从图中可以看出增高的通道出现在原始声场声压级较低的位置, 且其升高的量值与控制后声压最高的通道相比要低许多。

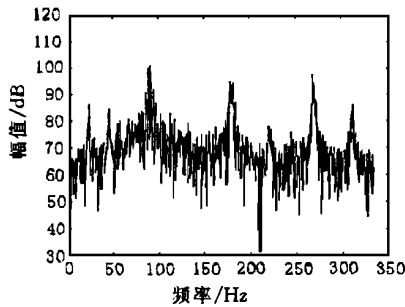


图 5 控制后的舱内噪声频谱

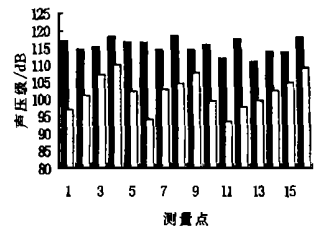


图 6 控制前后各通道声压值(BPF)

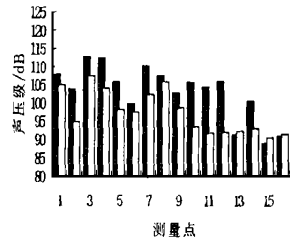


图 7 控制前后各通道声压值(2 BPF)

## 4 结论

噪声主动控制技术对于许多工程实际有着十分广阔的应用前景, 特别是对与螺旋桨飞机舱内噪声有类似性质和声学环境的噪声降低。本文设计完成了具有多个输入和输出通道的自适应控制系统, 并应用于国产螺旋桨飞机舱内噪声控制, 取得了良好的降噪效果。

参考文献:

- [1] J. E. Ffrowcs-williams. Anti-sound. Proc. Roy. Soc. London, 1984, A395: 63-68.
- [2] S. J. Elliot, I. M. Stother, P. A. Nelson. Multiple error LMS algorithm and its application to active control of sound and vibration [J], IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing, Oct. 1987, ASSP-35(1): 1423-1434.
- [3] Texas Instruments, TMS320 C3x user's Guide [M], 1992.

(上接第 19 页)

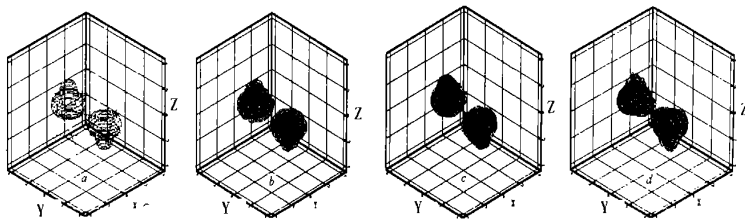


图 1 两个声软橡胶形体及其重构: (a) 原物体; (b)  $\epsilon = 1$ ; (c)  $\epsilon = 2$ ; (d)  $\epsilon = 3$

参考文献:

- [1] D. Colton, R. Kress. Inverse acoustic and electromagnetic scattering theory [M]. Berlin: Springer-Verlag, 1998.
- [2] D. Colton, A. Kirsch. A simple method for solving inverse scattering problems in the resonance region [J]. Inverse problems, 1996, 12: 383-393.
- [3] G. Dassios, G. Kamvyssas. Point source excitation in di-

rect and inverse scattering; the soft and the hard small sphere [J]. IMA J. Appl. Math., 1995, 55: 67-84.

- [4] 尤云祥, 缪国平, 刘应中. 声点源散射三维物形的全孔径和有限孔径近场重构问题 [J]. 上海交通大学学报, 2000, 34(1): 30-35.
- [5] C. W. Groetsch. The theory of Tikhonov regularization for Fredholm equations of the first kind [M]. Research Notes in Mathematics 105. Boston, Pitman, 1984.