

存在气流的消声扁管道声学特性的实验研究

俞悟周 王佐民

(同济大学声学所, 上海·200092)

本文利用 M 序列相关技术能有效地抑制背景噪声的特点, 对不同气流下的扁消声管道的声学特性做了实验研究。对插入损失和传递损失随气流马赫数的变化, 进行了 M 序列法测量, 并与理论值及传统方法测量值做比较。实验表明, 存在气流时, 消声特性的 M 序列相关技术测量结果, 比传统方法具有更高的可信度。

关键词: 相关技术 声学测量

Measurement of attenuation characteristics in absorbent narrow duct with mean flow of different velocity

YU Wuzhou WANG Zuo min

(Institute of Acoustics, Tongji University, Shanghai · 200092)

Experimental research has been done on the acoustical reduction characteristics of absorbent duct with mean flow of different velocity. Transmission loss and insertion loss are measured by using M -sequence correlation method and traditional method in the duct respectively. Due to the M -sequence correlation technique can effectively suppress the regenerated noise caused by the flow in the duct, therefore the results of M -sequence correlation method are more reliable than those of traditional method.

Keywords: correlation technique, acoustical measurement

1 引言

消声管道的消声效果通常采用插入损失或传递损失来评价。当消声管道内存在气流时, 气流会改变声在管道内的传播, 从而对消声性能有不可忽视的影响。同时, 气流将在管道内产生再生噪声, 当气流流速相当大时, 气流再生噪声构成相当强的背景噪声。这种背景噪声将降低信噪比, 影响测量的精度。若在高流速条件下仍采用声级计直接测量的传统方法, 由于背景噪声的存在, 往往难以进行消

声特性的有效测量。 M 序列相关技术具有抑制背景噪声的特点, 可以减小气流再生噪声的影响, 提高测量信号的信噪比, 从而得到更为可信的结果。本文分别利用传统测试方法和 M 序列相关技术法来测量消声管道不同流速下的传递损失和插入损失。并将测量结果与相应的理论计算值进行了比较。

2 M 序列相关技术简介

根据随机理论, 在白噪声信号激励下, 线性时不变系统的输入输出互相关正比于系统

国家自然科学基金资助项目

收稿日期: 1996-1-30

的脉冲响应。 M 序列信号是由 p 阶移位寄存器产生的长度为 $2^p - 1$, 正负等幅跳变的周期信号、在周期 T 内具随机特性, 自相关近似为 δ 函数。线性系统在 M 序列信号激励下, 系统脉冲响应可简便地由互相关确定:

$$h(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T S_i(t - \tau) S_o(t) dt \quad (1)$$

S_i 为 M 序列信号, S_o 为系统输出信号。据 Schroeder 的推导^[1], 某一声学体系受到随机信号激励, 则接收点处的均方声压为:

$$\langle P^2(t) \rangle = G_0 h^2(\tau) \quad (2)$$

若按 M 序列钟频对输出信号采样则有^[2]:

$$[h] = [M][S_o]/N \quad (3)$$

N 为 M 序列长度, $[h]$ 为脉冲响应矩阵, $[M]$ 是包含有 N 组 M 序列右循环延迟的 $N \times N$ 矩阵。可以找到置换矩阵 $[P]$ 、 $[Q]$ 使得 $[M] = [P][H][Q]$, $[H]$ 为 Hadamard 矩阵, 利用 Hadamard 变换可快速计算系统脉冲响应, 再据(2)式求出测点的声压及声压级。

3 存在气流时插入损失和传递损失的理论计算

3.1 消声管道的传递矩阵

设有一长为 L , 宽为 W 的扁矩形管道, 上下两边铺厚度为 d 的吸声材料, 管道各处截面相等, 管道内气流稳定均匀, 其马赫数为 M (如图 1)。消声管道内对于 x 轴正向传播的声波, 其声压上下对称分布的解可以写成

$$P = P_0 \cos \frac{2y}{W} \exp(-jk_0 gx) \quad (4)$$

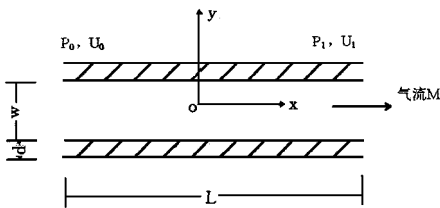


图 1 消声管道示意图

式中, g 为反映声压沿 y 方向的分布参数。 k_0 为空气中的波数, g 为反映声压沿 x 方向传播情况的传播参数。 g 满足:

$$-g^2 = (1 - Mg)^2 - g^2 \quad (5)$$

式中频率参数 $g = \frac{W}{\lambda_0}$, λ_0 为空气中波长

设吸声材料的法向导纳率比为 Y_s 。考虑轴向波的影响, 根据声压和法向声位移连续的边界条件可得特征方程:

$$\tan(K_y d) = j(1 - Mg)^2 Y_s \quad (6)$$

$$K_y = K(1 - g^2 c^2 / c_0^2)^{1/2}$$

式中, K 为材料中的波数, K_y 为 K 的法向分量, c 为材料中声速, c_0 为空气中声速。对于多孔吸声材料有 $Y_s = c/c_0$, 若声源采用宽带噪声, 则有近似式^[3]:

$$Y_s = Y_s(1 - Y_s^2 g^2)^{1/2} \quad (7)$$

由式(5)(6)(7)可求出传播参数 g 。管道两端声学参量(声压 P 和体积速度 U) 之间关系可用矩阵形式表示为^[4]:

$$\begin{bmatrix} P_0 \\ \frac{\rho c_0 U_0}{S_0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \frac{K_0 g L}{1 - M^2} & j \sin \frac{K_0 g L}{1 - M^2} \\ j \sin \frac{K_0 g L}{1 - M^2} & \cos \frac{K_0 g L}{1 - M^2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_1 \\ \frac{\rho c_0 U_1}{S_0} \end{bmatrix} \quad (8)$$

ρc_0 为空气特性阻抗, L 为管道长度。

3.2 消声特性的理论计算

采用传递损失来评价消声器本身的消声性能时, 与消声器本体相对应的传递矩阵可由 3.1 所述方法求出, 记为 $\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}$ 。设入射声为白噪声, 则第 i 个 $1/3$ 倍频程内的传递损失为:

$$TL_i = 10 \log \frac{1}{H_i}$$

$$H_i = \frac{1}{f_i} \frac{f_i^a}{f_i^{1/a}} \frac{4}{A + B + C + D} df$$

f_i 为第 i 个 $1/3$ 倍频程的中心频率, $a = 1.122$ 。

若用插入损失来评价消声器消声性能, 记消声器安装前后管道系统的总传递矩阵分

别为 $\begin{bmatrix} A_1 & B_1 \\ C_1 & D_1 \end{bmatrix}$ 和 $\begin{bmatrix} A_2 & B_2 \\ C_2 & D_2 \end{bmatrix}$, 假设管口声阻抗为 R , 令 α 表示管口声阻抗 R 与主管道特征阻抗 c/S 的相对比值, S 为管口截面积。则对于白噪声声源, 第 i 个 $1/3$ 倍频程内的插入损失如下式, 其中 f_{i1} 的意义同上。

$$IL_i = 10 \log \frac{G_{1i}}{G_{2i}}$$

$$G_{2i} = \frac{f_{i1}^a}{f_{i1}^a} \frac{R}{C_2 + D_2} 2df$$

$$G_{1i} = \frac{f_{i1}^a}{f_{i1}^a} \frac{R}{C_1 + D_1} 2df$$

4 实验装置图

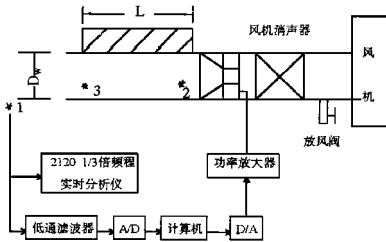


图2 实验装置

实验在如图2所示装置内进行。吸声材料为10cm厚的离心玻璃棉。其容重为24kg/m³。铺设长度为 $L = 4.5\text{m}$ 。管口宽度 $D_w = W/2 = 0.1\text{m}$ 。接收室为半消声室。

首先按照国标 GB4760-84 规定的传统方法, 在选定的 $1/3$ 倍频程内对不同风速测量消声管道的插入损失和传递损失。然后参照该国标进行 M 序列相关法测量, 测点位置与传统方法测量一致。声源为由微机产生经 D/A 输出的 15 阶 M 阶序列信号, 钟频为

15.77kHz。测量插入损失时, 在不同风速下以声源信号的钟频分别对消声器安装前后的测点1采样。采样结果经 $1/3$ 倍频程数字滤波器后进行互相关运算, 得到 $1/3$ 倍频带声压级, 进而求得插入损失。类似地, 测量传递损失时, 在不同风速条件下在消声段前后测点2、3采样, 得出不同风速下的传递损失。

5 实验结果

我们在4种风速条件下进行了消声特性的 M 序列相关法测量及传统测量。气流马赫数分别为 0, 0.05, 0.1, 0.15。采样平均数分别为 10, 10, 50, 100^[5]。此外在平面波范围内由低、中、高频分别选取一个 $1/3$ 倍频程进行理论计算^[6]。首先测量测点1处不同流速下气流再生噪声的声压级及声源声压级图3。

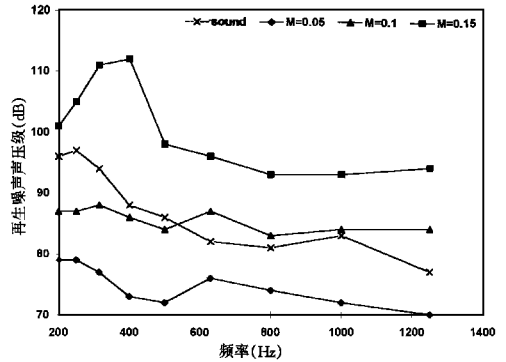


图3 声信号和不同流速下气流再生噪声的声压级。传递损失 TL 、插入损失 IL 随气流马赫数 M 变化的理论计算结果, M 序列法测量结果及传统测量法结果如图4、图5所示。图中 \times 为理论计算值, \diamond 为 M 序列相关法; \square 为传统方法。

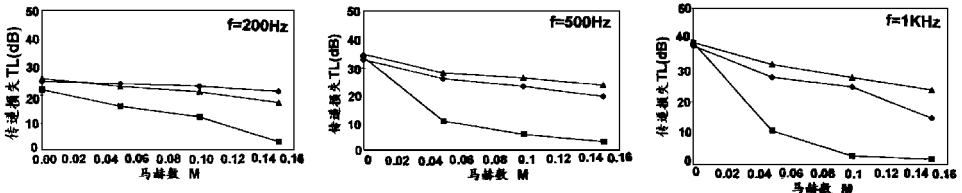


图4 传递损失随流速变化的频谱图

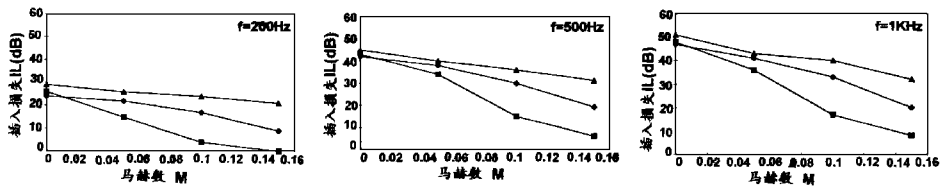


图5 插入损失随流速变化的频谱图

以上实验结果表明,静态(无气流)时,消声特性的 M 序列法测量结果与传统方法所得结果一致,且都与理论计算值符合得很好。对于管道内存在气流的情况,气流再生噪声随流速的增大而增强,如图3所示。从图4、图5结果我们得到以下初步结论:

(1) IL 和 TL 随 M 的增加而降低,其下降速度比一般所采用的近似式 $A_1 = A_0 / (1 + M)^2$ 要快, A_1 为存在气流的消声系数, A_0 为静态消声系数。

(2) IL 和 TL 随 M 的降低与频率有一定的关系,一般地,低频段 IL 和 TL 的降低速度比较慢,中高频段降低速度比较快。

(3) 在目前实验条件下,对于管道内存在气流的情况, M 序列相关法在信噪比 S/N 大于负 10dB 时,能得到令人满意的测量结果,与理论值符合良好。

由此表明 M 序列相关法能有效地抑制消声管道中气流再生噪声的影响,在进行消声特性的测量时,所得测量结果与理论值符

合良好,比传统方法具有更高的可信度。

参考文献

- 1 M. R. Schroeder. New method of measuring reverberation time. J. Acoust. Soc. Am. 1965; 37; 409 ~ 412
- 2 W. T. Chu. Impulse-response and reverberation-decay measurements made by using a periodic pseudorandom sequence. Applied Acoustics, 1990; 29; 193 ~ 205.
- 3 Zhao Songling and Gong Nongbing. Influence of acoustic wave propagating axially within sound absorbing layer in lined ducts. ICA, 12, 1986, C6- 5
- 4 盛胜我,考虑声衰减时抗性消声器的传递矩阵,同济大学学报,1988; 4(12)
- 5 Wang Zuomin, W. T. Chu., Ensemble average requirement for acoustical measurement in noisy environment using the M -sequence correlation technique. J. Acoust. Soc. Am., 1993; 94(3): 1409 ~ 1414.
- 6 赵松龄,复变特征方程求根的系统逼近程序,同济大学学报,1986; 2(6)

“中山一杰斐逊”超声诊断教育中心在沪成立

1996年6月10日上海中山医院与美国费城杰斐逊超声教育研究中心(JUREI)在上海中山医院成立“Zhongshan-Jefferson”Diagnostic Ultrasound Training Center; JUREI 为与 WHO(世界卫生组织)合作的唯一超声诊断教育中心。“Zhongshan-Jefferson”教育中心将与美国及世界超声诊断的教育训练接轨,为上海以及全国培训合格的、高层次的超声诊断人员。

本刊讯