

声强测量中背景噪声引起的误差

孟子厚 胡章伟 张强

(南京航空学院)

1988年3月7日收到

在声强测量中引起测量误差的主要原因之一是背景噪声的干扰。背景噪声引起的测量误差的大小不但与背景噪声场有关,而且与辐射体表面的吸声特性有关。本文对此问题作了理论分析。为了确定在飞机座舱内测量声强时的误差判据,对不同的材料进行了试验,给出了实用的工程判据及在强背景噪声环境下避免背景干扰的作法。

一、引言

双传声器声强测试技术是近年发展起来的测试技术,它用两点声压梯度的积分来近似空气质点的振动速度,并借助FFT分析技术实现实时的声强测量。声强测量的原理关系式为^[1]

$$I = E[p\dot{u}^*] = \frac{1}{\omega\rho\Delta r} I_m[S_{p,p_1}] \quad (1)$$

其中 I 为声强, p 为声压, \dot{u} 为质点振动速度, r 为测点到声源的距离, Δr 为两个测点的间距, ρ 为介质密度, ω 为频率, $S_{p,p_1}(\omega)$ 是两点声压的互谱密度。由于双传声器声强法可直接测量声强矢量,在做声功率测量时不一定需要严格的声学环境,因此它优于测量声功率的经典混响室法,并且适合于现场测量。声强法本身的测量误差主要是差分近似误差和相位失配误差^[2-3],在现场测量时除了这两类误差外还必须考虑到环境因素,即背景噪声场对测量的干扰。若所测的是单台设备的总辐射声功率,设备表面无严重的吸声面,而且积分面的选取可以将干扰源排除在外,则可以不必特别考虑背景噪声的影响。但在有限体积和强背景噪声条件下进行局部表面的声强测量时,如在飞机座舱内测量飞机舱壁的辐射声强^[4-5],就不得不考虑背景噪声的影响,此时背景噪声引起的误差可

能超出允许的范围。本文对声强测量中背景噪声造成的误差进行了分析。

二、理论分析

背景噪声引起的测量误差的形成参见图1。设所考虑的声场皆为平面波声场,辐射体表面的吸声系数为 α , I_r 为表面的实际辐射声强, I_b 是背景噪声入射到测量表面的声强, I_r 是经过表面反射以后的背景噪声声强, I_N 是实测的净声强。由于声强测量是矢量测量,总声强是各声强分量的矢量和,则

$$I_N = I_r - (I_b - I_r) \quad (2)$$

即实测净声强为实际辐射声强减去背景噪声声强被辐射体表面所吸收的部分。而

$$I_r = \gamma^2 I_b \quad (3)$$

其中 γ 是声压反射系数, $\gamma^2 = 1 - \alpha$,则

$$I_r = (1 - \alpha) I_b \quad (4)$$

可得实测净声强为

$$I_N = I_r - \alpha I_b \quad (5)$$

测量的偏差为

$$\varepsilon = I_r - I_N = \alpha I_b \quad (6)$$

可见测量误差决定于两个因素,一是背景噪声场的强弱,二是被测表面的吸声特性。若被测表面无吸声,即 $\alpha = 0$,则可以不考虑背景噪声的干扰。表面的吸声特性越强,背景噪声引起的测量误差就越严重。定义误差级

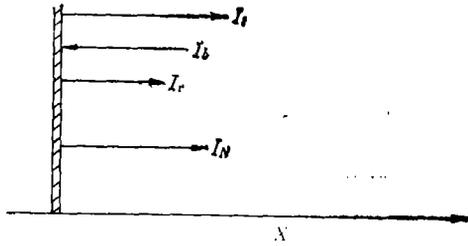


图1 测量误差的形成

$$\begin{aligned}
 EL &= L_{I_i} - L_{I_N} = 10 \lg \frac{I_i}{I_N} \\
 &= 10 \lg \frac{p_i^2}{p_i^2 - \alpha p_b^2} \quad (7)
 \end{aligned}$$

在实测时,难以直接判断测量误差的大小,必须由其它的测量参数间接判断. 由于实际的辐射声信号和背景噪声信号一般都是随机的,所以暂不考虑各声波之间的干涉,声场中的总声压为

$$\begin{aligned}
 p &= [p_i^2 + p_b^2 + p_r^2]^{1/2} \\
 &= [p_i^2 + (1 + \gamma^2)p_b^2]^{1/2} \quad (8)
 \end{aligned}$$

测量点处声场的抗性指数反映了这点的信噪比,定义为

$$\begin{aligned}
 L_k &= L_p - L_{I_N} \\
 &\approx 10 \lg \frac{p_i^2 + p_b^2(2 - \alpha)}{p_i^2 - \alpha p_b^2} \\
 &= 10 \lg \frac{(p_i/p_b)^2 + (2 - \alpha)}{(p_i/p_b)^2 - \alpha} \quad (9)
 \end{aligned}$$

可见 $(p_i/p_b)^2$ 越大 L_k 越小, L_k 越大反映了信噪比 $(p_i/p_b)^2$ 越低. 由(7)和(9)式可推得

$$L_k = EL + 10 \lg \left[1 + \frac{2 - \alpha}{\alpha} (1 - 10^{-EL/10}) \right] \quad (10)$$

可见,当表面吸声系数一定时,背景噪声引起的测量误差级 EL 和抗性指数 L_k 之间存在着单值的对应关系,因此可通过抗性指数的变化来判断背景噪声引起的测量误差. 对于类似于飞机舱壁这样的板状结构,其表面的吸声来自两个方面,一是声能耗散吸收,二是结构的声能透射损失. 图2是不同吸声系数下的抗性指数与背景噪声引起的测量误差级的关系曲线.

在以上的分析中,由于假设了平面波声场,

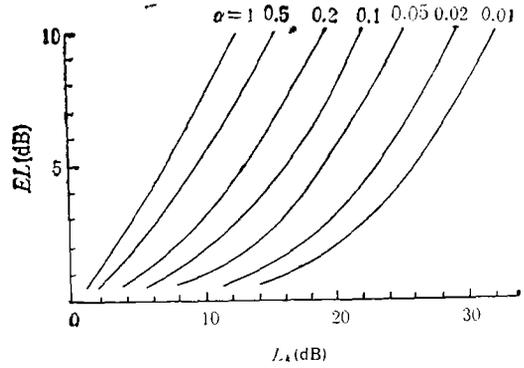


图2 不同吸声系数下抗性指数与测量误差的关系曲线

因此抗性指数与误差级的关系式(9)和测距 x 无关,和频率 f 的关系也只隐含在吸声系数 α 中. 但实际的声场结构要复杂的多,因此抗性指数与误差级的关系与频率和测距有关. 考虑图3的模型. 辐射源是平板上的一点源,背景噪声仍为平面波声场,并考虑声波的相互干涉,可以导出抗性指数与误差级的关系为^[4]

$$\begin{aligned}
 L_k &= EL + 10 \lg \\
 &\cdot \left[1 + \frac{x^2(2 - \alpha + 2\sqrt{1 - \alpha \cos(2kx)})}{\alpha} \right. \\
 &\cdot (1 - 10^{-EL/10}) + 2x \sin(2kx) \\
 &\cdot \left. \left(\frac{1 - 10^{-EL/10}}{\alpha} \right)^{1/2} \right] \quad (11)
 \end{aligned}$$

可见,在相同的误差级下, L_k 随 x 和 f 非单调地变化,这给误差判断造成一定的困难,在实测中要注意这一点,应从平均和保守的角度出发确定误差判据.

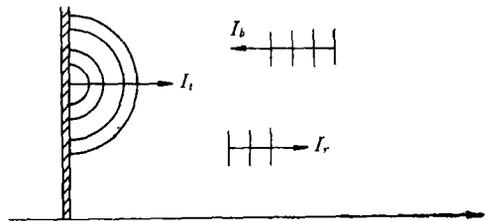


图3 另一种声源模型下测量误差的形成

三、实 验

为了确定在飞机座舱内进行声强测量时背

景噪声的误差判据,对几种吸声性能不同的试件进行了试验分析。试件包括 2mm 厚铝板、高发泡墙纸贴面硬纸纤维板、聚乙烯塑料贴面硬纸纤维板及丙纶地毯等。实验装置如图 4 所示,所形成的背景声场近似为平面波声场。首先测得无背景干扰时试件的初始辐射声强和测点的声压,然后逐渐增加背景噪声,观察辐射声强的变化。由于辐射体的近场特性对实验有影响^[4],除定点测量外还应考虑平均效果。图 5 是铝板表面 20cm 处的空间扫描平均试验结果,给出了三个倍频程上 L_k 与 EL 的关系。图 6 是同一试件表面 1000Hz 三分之一倍频程上三个不同测距的试验结果。对各种试件的试验分析可归纳出以下特点。

1. 无背景噪声时存在初始抗性指数, $L_{k0} \approx 4-8\text{dB}$ 。
2. 背景噪声引起的测量误差随抗性指数单

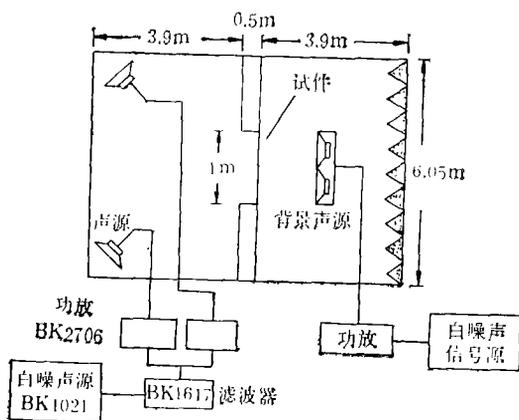


图 4 实验装置

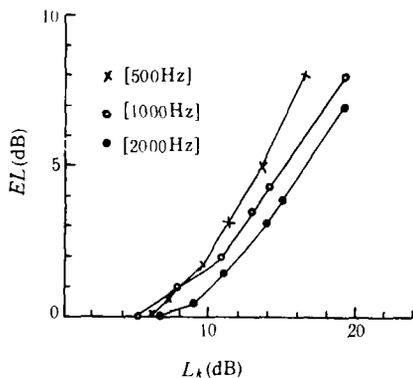


图 5 铝板表面 20cm 处空间扫描平均试验结果

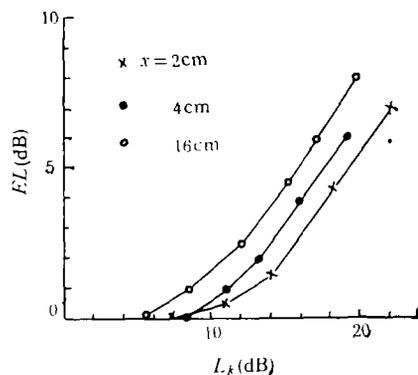


图 6 测距对试验结果的影响

调上升。

3. 误差级与抗性指数的关系与频率和测距有关。

以上的特点与理论分析定性相符。铝板的吸声作用主要来自透声损失,且 $\alpha(500\text{Hz}) > \alpha(1000\text{Hz}) > \alpha(2000\text{Hz})$, 所以 EL 一定时一般都有 $L_k(500\text{Hz}) < L_k(1000\text{Hz}) < L_k(2000\text{Hz})$ 。当 $EL = 3\text{dB}$ 时,由图 5 可知,在三个频率上的 L_k 分别为 11dB、12dB、13.5dB。

四、误差判据

在实测时为了方便快捷地判断测量的可信度,需要有一个统一的误差判据。我们在飞机座舱内实测时^[5]所分析的频率范围为 250Hz—500Hz, 所遇辐射体表面的吸声系数范围为 0.01—0.2, 误差限度为 $EL \leq 3\text{dB}$ 。由理论分析知对应的最大抗性指数为 10.4—23dB, 取其低限 10.4dB。由实验分析知 $EL = 3\text{dB}$ 时各试件三分之一倍频程分析的抗性指数范围为 10.5—18dB, 测距在 10cm 以下。当无背景噪声存在时有初始抗性指数, 此初始抗性是辐射声场本身所固有的, 与辐射体的形状、大小及测距有关^[4], 在本文的实验中初始抗性指数的低限为 4dB。根据理论分析和实验分析的结果, 可以合理选择一个统一的误差判据, 如图 7 所示, 即

$$L_k \leq 4\text{dB}: \text{不考虑背景干扰}$$

$$4\text{dB} \leq L_k \leq 10\text{dB}: EL = (L_k - 4) / 2$$

$L_k \geq 10\text{dB}$; $EL \geq 3\text{dB}$, 测量无效

当抗性指数超过10dB时,认为测量无效,此时必须设法降低背景噪声的干扰。我们在飞机座舱内实测时采用了局部屏蔽的办法,如图8

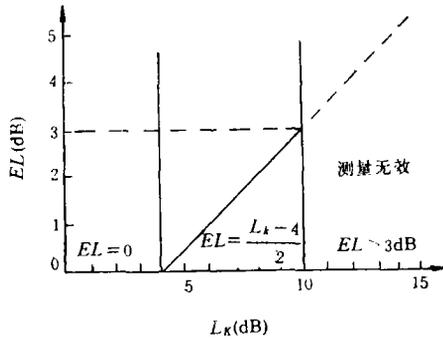


图7 误差判据

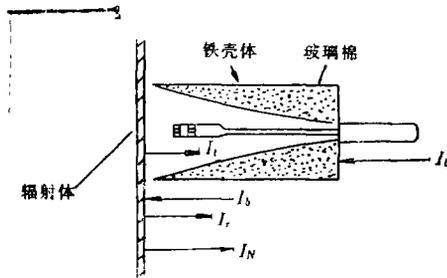


图8 用局部屏蔽降低背景声场的影响

所示。用屏蔽罩将测点、探头与背景声场隔离开来,这样就可明显地减小背景噪声的干扰,但局部屏蔽对辐射体的局部辐射特性有影响,会产生某些系统偏差^[4],因此必须慎重。

五、结 论

为了在飞机座舱这类强背景噪声的有限体积内进行声强测量,对背景噪声所造成的测量误差进行了分析。误差的大小不但与背景声场的强弱有关,而且与辐射体表面的吸声特性有直接关系,在强吸声材料表面进行声强测量时要特别谨慎。误差的大小可由声场的抗性指数来判断。本文给出了在飞机座舱环境下背景噪声引起的测量误差的判据,抗性指数小于10dB时误差不大于3dB,抗性指数大于10dB时测量无效,必须采取其它措施。

参 考 文 献

- [1] Tichy J., Acoustic Intensity Measurements—a Review, AIAA-84-2310, 1984.
- [2] Thompson J. K., *J. Sound Vib.*, **75**-2(1981).
- [3] Seybert A. F., *J. Sound Vib.*, **75**-4(1981).
- [4] 孟子厚,胡章伟等,飞行试验,2(1988).
- [5] 孟子厚,胡章伟等,飞行试验,3(1988)

超声速度与生物组份关系研究*

董彦武 仝杰 孙永臣

(陕西师范大学应用声学研究所)

1988年2月26日收到

本文研究了人和猪的肝、心、脑、肾、肌肉和猪的脂肪等六种组织的声速与组份关系。结果表明: Sarvazyan A. P. 得出的兔肝声速主要由组份决定,组织结构的影响可忽略不计的结论也适用于人肝和猪肝,且它们的声速与水份含量关系,可由蛋白质水溶液的声速理论所描述;生物组织的声速随蛋白质含量增高而增大,随水份和脂肪含量增高而减小。

* 国家自然科学基金资助项目