

团 体 标 准

T/SASC 01002-2024

封闭空间有源噪声控制降噪量的测量

Measurement of noise reduction for active noise control systems
in enclosed spaces

(发布稿)

本电子版为发布稿，请以正式出版的标准文本为准。

2024-06-01 发布

2024-09-01 实施

中国声学学会 发布

目 次

前言.....	II
引言.....	III
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 要求.....	2
5 测量仪器.....	3
6 测量状态.....	3
7 测量频点或频段.....	3
8 测点布置.....	4
9 测试区.....	4
10 测量步骤.....	5
11 降噪指标的计算.....	5
12 测试报告记录内容.....	6
附录 A（资料性）飞机模拟舱室内部声学响应一致性的判定方法示例.....	8

前 言

本文件按照 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国声学学会提出。

本文件由中国声学学会归口。

本文件起草单位：西北工业大学、西安艾科特声学科技有限公司、中国科学院声学研究所、南京大学、同济大学、浙江科技大学、深圳中雅机电实业有限公司。

本文件主要起草人：陈克安、玉昊昕、李晓东、陶建成、叶睿、杨军、李争光、程明昆、邱小军、毛东兴、俞悟周、方庆川、徐欣。



引 言

本文件规定了空间有源噪声控制产品降噪指标的测量要求和具体测量方法。

本文件规定的测量方法适用于产品安装的实际或模拟的声环境。

本文件规定的测量方法要求计算结果按照四舍五入规则保留1位小数，测量报告中呈现的数据应保留1位小数。

有源噪声控制是一种有别于传统噪声控制技术新型降噪技术，有源噪声控制系统构成复杂，降噪效果有多种描述方式，对应多种测量方法。在实践应用过程中，涉及到测试环境、测点布放、测量频段等诸多需规范的问题。因此，本文件对空间有源噪声控制产品降噪量测量方法做出规定，规范测试环境的要求、测量仪器的选择以及测点的布放等问题，有益于有源噪声控制产品开发，规范测试流程。



封闭空间有源噪声控制降噪量的测量

1 范围

1.1 概述

本文件规定了有源噪声控制产品降噪量的测量要求和具体测量方法。本文件适用于应用于封闭空间中的有源噪声控制产品降噪指标的测量，其他类似有源控制系统的降噪指标测量可参照执行。

1.2 测量不确定度

本文件所规定测量方法的测量不确定度符合JJF 1059.1的要求。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 3102.7-1993 声学的量和单位

GB/T 3222.2-2022 声学 环境噪声的描述、测量与评价 第2部分：声压级测定

GB/T 3768-2017 声学 声压法测定噪声源声功率级和声能量级 采用反射面上方包络测量平面的简易法（ISO 3746:2010, IDT）

GB/T 3785.1-2023 电声学 声级计 第1部分：规范（IEC 61672-1:2013, IDT）

GB/T 3947-1996 声学名词术语

GB/T 6881-2023 声学 声压法测定噪声源声功率级和声能量级 混响室精密法（ISO 3741:2010, IDT）

GB/T 6882-2016 声学 声压法测定噪声源声功率级和声能量级 消声室和半消声室精密法（ISO 3745: 2012, IDT）

GB/T 20248-2006 声学 飞行中飞机舱内声压级的测量

GB/T 20441.4 测量传声器 第4部分：工作标准传声器规范

JJF 1059.1-2012 测量不确定度评定与表示

IEC 60942:2017 电声学 声校准器（Electroacoustics—Sound calibrators）

IEC 61183:1994 电声学 声级计的无规入射和扩散场校准（Electroacoustics—Random-incidence and diffuse-field calibration of sound level meters）

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 降噪单值指标

3.1.1

测点降噪量 noise reduction at measurement point

$$\Delta L_p$$

在初级声场稳定情况下，有源噪声控制系统开启前后监测传声器位置处噪声声压级之差，单位为dB。若噪声声压级采用计权声压级，单位做出相应更改。

3.1.2

测点平均降噪量 average noise reduction at measurement point

$$\overline{\Delta L_p}$$

测试区内所有测点降噪量的算术平均值，单位为dB。若噪声声压级采用计权声压级，单位做出相应更改。

3.2 降噪综合指标

3.2.1

区域总降噪量 noise reduction in zone

$$N_z$$

测试区大小与该区域内测点平均降噪量的乘积，依据测试区的形状，单位可为dB·m、dB·m²或dB·m³。若噪声声压级采用计权声压级，单位做出相应更改。

3.2.2

降噪空间不均匀度 spatial inhomogeneity of noise reduction

$$\sigma$$

测试区内所有测点的降噪量标准差，单位为dB。若噪声声压级采用计权声压级，单位做出相应更改。

3.3 时间平均声压级 time-averaged sound pressure level

$$L_{p,T}$$

在指定的持续时间段 T （起始于 t_1 ，终止于 t_2 ）内，声压 p 平方的时间均值与基准值平方之比，取以10为底的对数的10倍，用分贝（dB）表示，见公式（1）。

$$L_{p,T} = 10 \lg \left[\frac{\frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} p^2(t) dt}{p_0^2} \right] \quad (1)$$

式中， p_0 为基准声压， $p_0=2 \times 10^{-5}$ Pa。

注1：由于时间平均声压级需在确定的测量持续时间内测定，故一般省略下标“ T ”。

注2：时间平均声压级采用A计权时，可表示为 $L_{pA,T}$ ，通常用符号 L_{pA} 表示。

[来源：GB/T3768—2017，3.3]

4 要求

4.1 试验室测量

4.1.1 测量环境

在试验室中进行的降噪指标的测量在以下环境中进行。

- 气温：(23±5)℃；
- 相对湿度：30%~90%；
- 气压：(96±10)kPa。

4.1.2 测量要求

在试验室进行有源噪声控制系统降噪性能测量时，应使用实际舱室或1:1的模拟舱室进行测量，次级源和误差传感器布局应与实际应用中的布局相同。

注1：舱室是指飞行器座舱、车辆厢体、列车车厢等有源噪声控制系统安装的空间区域。

注2：1:1的模拟舱室是内部尺寸、形状与实际舱室相同，且在有源噪声控制系统工作频段内其声学响应与实际舱室保持一致的舱室结构。声学响应一致性的判断方法见附录A。

4.2 初级声场的现场测量要求

在有源噪声控制系统安装的环境，即在现场进行有源噪声控制系统降噪指标测量时，须等待产生初级噪声的设备工作正常并控制系统稳定运行后开始测量。

为了保证测量的有效性，在测量过程中应保证产生初级噪声的设备在规定工况下稳定运行，单次测量时长不小于20s，测量总时长不小于120s。

5 测量仪器

完整的声学测量系统应包含传声器及其连接系统、数据记录和分析设备以及一个提供全系统声学灵敏度的声校准器。测量系统可以包括多通道仪器，并至少要符合GB/T 3785.1—2023相应的2级性能技术指标。

注1：GB/T 3785.1—2023中规定的2级仪器正常工作温度范围为0℃~40℃。

注2：满足GB/T 3785和GB/T 17181要求的大部分声级计也满足GB/T 3785.1的要求。

按照本文件规定的方法测量降噪指标，选用的传声器为声场型传声器，同时满足GB/T 20441.4的要求。

5.1 仪器校准

在测量开始和结束时，应及时用符合IEC 60942:2017的1级校准器对传声器在一个或多个频率上进行校准，对于2级测量仪器，采用1级或2级校准器。在没有进行任何调试的情况下，连续两次校验的读数之差应不大于0.3 dB，如果超出，那么上一次有效校准之后获得的测量数据无效。

6 测量状态

应在产生初级噪声的设备正常工作时进行测量。测量时环境内的其他设备不应影响待测噪声（包括有源噪声控制系统开启前后的噪声）。有源噪声控制系统开启前后的产生初级噪声的设备工况应保持一致。

7 测量频点或频段

针对不同需求，可选择以下频点或频段进行降噪指标的测量。

- 特定频点：在指定频率上进行的降噪指标测量。

- 指定频段：根据用户的要求进行特定频段的测量，一般在有源噪声控制系统作用频段内。
- 全频段：频率范围为20 Hz~20000 Hz。这是人的可听频率范围，该频段内的测量结果可以反映有源噪声控制系统对总体降噪效果的贡献。

8 测点布置

根据实际情况布置测点，分为一般测点和特殊测点两种：

- 一般测点：测试区内的所有测点。
- 特殊测点：测试区之外的指定测点。

注：一般情况下，测点位置宜与障碍物保持一定距离，同时传声器应尽量避免干扰和遮挡，符合GB/T 20248—2006中5.2的规定。

为了保证测点分布的均匀性，测点之间的距离 Δx 宜满足公式（2）的条件。

$$\Delta x \leq \frac{\lambda}{2} \quad (2)$$

式中， λ 为有源噪声控制系统作用的上限频率对应的波长。一般情况下，测点与次级声源之间的距离一般宜大于 $\lambda/10$ ，避免传声器与次级源相互影响；测点与测量环境边界的距离一般宜大于 $\lambda/4$ ，避免边界对测量结果的干扰。

注：当测点无法满足上述要求时，应将该测点视为特殊测点，并在记录文件中加以说明。

9 测试区

9.1 测试区的确定

一般情况下，测试区为用户指定或关注的、期望产生降噪效果的区域。测点排列成线、面和体时，分别构成一维、二维和三维测试区。

测试区原则上宜与测量环境共形。例如，当关注飞行器座舱水平截面的降噪效果时，测试区为与飞行器座舱水平截面形状相同的二维测量面。

原则上，测试区由均匀分布的测试单元组成，其大小不大于测量环境中有源静区的大小。

注：有源静区是指在开启有源噪声控制系统前后，测量环境内噪声被降低的区域。

9.2 测试单元的划分

测试单元一般为规则形状，当测试区为一维、二维和三维时，对应的测试单元为线段、矩形和六面体。测试单元的各个尺寸应满足公式（2）中给出的条件。

测试区形状规则时，测试区内每个测试单元为规则形状（线段、矩形和六面体）；测试区形状不规则时（例如二维曲面或由曲面构成的三维空间），应将测试区边界上的测试单元近似为规则形状。

若近似后测试单元的几何中心在测试区边界外，则舍去此测试单元；若近似后测试单元的几何中心在测试区边界内或测试边界上，则保留此测试单元。

示例：如图1所示，几何中心在测试区边界外的测试单元用虚线框表示，几何中心在测试区边界内的测试单元用实线框表示。近似前的测试区由32个测试单元组成，近似后的测试区只包含28个测试单元。

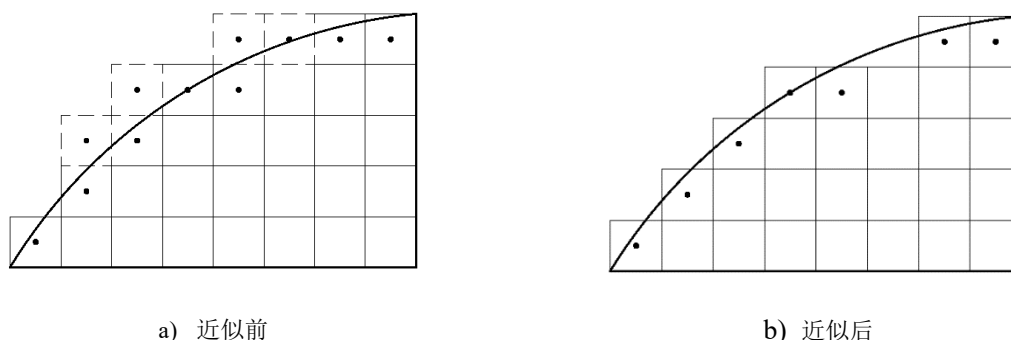


图1 测试单元的取舍

9.3 传声器布置

传声器安装时，其振膜应位于测试单元的几何中心位置。

10 测量步骤

进行有源噪声控制降噪指标测量的一般步骤如下：

- a) 明确测量指标，确定测试工况，确定测试区域，划分测试单元，确定测点位置，选择合适的测量仪器，制定测量方案。
- b) 依据试验方案完成测量系统布置。
- c) 在每个测量日进行测量之前，校准传声器。
在指定工况下进行降噪前的噪声测量。此时有源噪声控制系统处于关闭状态，记录测量数据。
在同一工况下进行降噪后的噪声测量，此时有源噪声控制系统处于稳定工作状态，记录测量数据。
- f) 重复步骤 d)和 e)，完成规定工况下的测量。
- g) 每个测量日结束前，校准传声器。
- h) 下个测量日开始前，对上次测量的数据进行处理和检查。

11 降噪指标的计算

11.1 数据处理

若测量数据单段时长不小于120s，计算测量时长的时间平均声压级。

若测量数据单段时长小于120s，按照公式（3）对多段数据进行时间加权。

$$L_T = 10 \lg \left(\frac{\sum_i^{N_T} T_i \cdot 10^{0.1L_{p,T_i}}}{T} \right) \quad (3)$$

式中：

N_T ——多段时域数据的个数；

L_{p,T_i} ——每段测量数据的时间平均声压级，单位为dB，若进行声压级计权，单位做出相应修改；

T_i ——每段测量数据对应的时长， $T_i \geq 20s$ ；

T ——测量总时长, $T = \sum_i^{N_t} T_i$, $T \geq 120\text{s}$ 。

频点声压级也按照同样的时间计权方法进行计算。

11.2 区域总降噪量的计算

测试区的大小是近似为规则形状后的测试单元大小的总和, 每个测点所在测试单元的大小记为 S_i , 应用公式 (4) 计算测试区内的区域总降噪量。

$$N_z = \Delta L_{p_i} \cdot \sum_{i=1}^N S_i \quad (4)$$

式中, N 为测点的个数。

11.3 降噪空间不均匀度的计算

降噪空间均匀度由公式 (5) 计算。

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\Delta L_{p_i} - \overline{\Delta L_p})^2}{N}} \quad (5)$$

式中:

ΔL_{p_i} ——每个测点的降噪量, 单位为dB。若采用计权声级, 单位做出相应修改;

$\overline{\Delta L_p}$ ——测试区内的测点平均降噪量, 单位为dB。若采用计权声级, 单位做出相应修改;

N ——测点的个数。

12 测试报告记录内容

12.1 概述

对于所有基于本文件的测量都应对12.2~12.6的内容进行收集整理并记录。

12.2 测量说明

记录本次测量试验的任务来源和目的。

记录本次测量试验的时间、地点、测量人员、数据分析人员、校对人员和审核人员。

12.3 大气环境

空气温度 (°C)、空气相对湿度 (%) 和大气压 (kPa)。

12.4 仪器

整理记录以下内容:

- a) 用于测量的仪器, 包括仪器的名称、型号、序列号、灵敏度、使用数量和生产厂商等;
- b) 按照第6章, 对测量仪器及其附属设备进行校准和检定的时间和方法。

12.5 测点布局

应记录以下内容:

- a) 试验环境的布局, 明确试验环境的边界、障碍物以及为了还原产品应用环境的物品布置等;

- b) 实际测量时测点的布放图，描述测点的位置以及测点周边的试验环境。测点编号应标示清楚，与测量系统相匹配。

12.6 试验数据

应记录以下内容：

- a) 有源噪声控制系统开启前后，各个测点的频谱和总声级；
- b) 每次测量的起止时间和对应工况。

SA

附录 A

(资料性)

飞机模拟舱室内部声学响应一致性的判定方法示例

飞机模拟舱室的内部声学响应与实际舱室的一致性主要包含谱特性、能量占比和总声级三方面的要求。

A.1 谱特性

模拟舱室的内部声场，在有源噪声控制系统工作的频率范围内，按照1/12倍频程划分，模拟舱室内部声场在各频率处的声压级与实际舱室声场之间的误差用归一化均方误差 σ_{sp} 表示，定义为模拟舱室内部声场与实际舱室声场对应频率之间声压级差值的和与实际舱室声场各频率处声压级的和之间的比值，由公式（A.1）计算。

$$\sigma_{sp} = \frac{\sum_{i=1}^N \hat{L}_{p_i} - L_{p_i}}{\sum_{i=1}^N L_{p_i}} \times 100\% \quad (\text{A.1})$$

式中：

\hat{L}_{p_i} ——模拟舱室内部声场中，按照1/12倍频程划分有源噪声控制系统工作的频段，每个频率处的声压级；

L_{p_i} ——实际舱室内部声场对应频率处的声压级；

N ——按照1/12倍频程划分的频率样本点的总数。

σ_{sp} 应不大于 $\pm 1\%$ ，才能保证模拟舱室内部声场的声学响应与实际舱室保持一致。此外，若实际舱室内部声场存在明显的线谱特征，模拟舱室内部声场也应在同样频率处存在线谱，线谱声压级应满足 σ_{sp} 的要求。

A.2 能量占比

模拟舱室内部声场与实际舱室内部声场之间的能量比误差用 σ_E 表示，定义为模拟舱室内部声场与实际舱室内部声场能量比的差值与实际舱室内部声场能量比之间的比值。能量比误差由公式（A.2）和公式（A.3）计算。

$$\sigma_{E_1} = \frac{\hat{\tau}_1 - \tau_1}{\tau_1} \times 100\% \quad (\text{A.2})$$

$$\sigma_{E_2} = \frac{\hat{\tau}_2 - \tau_2}{\tau_2} \times 100\% \quad (\text{A.3})$$

式中：

σ_{E_1} ——宽带噪声的能量比误差；

$\hat{\tau}_1$ ——模拟舱室内部声场的宽带噪声能量比， $\hat{\tau}_1 = \hat{E}_1 / \hat{E}_T$ ，其中 \hat{E}_1 是模拟舱室内部声场宽带噪声的能量， \hat{E}_T 是模拟舱室内部声场的总能量；

τ_1 ——实际舱室内部声场的宽带噪声能量比， $\tau_1 = E_1 / E_T$ ，其中 E_1 是实际舱室内部声场宽带噪声的能量， E_T 是实际舱室内部声场的总能量；

σ_{E_2} ——线谱噪声的能量比误差；

$\hat{\tau}_2$ ——模拟舱室内部声场的线谱噪声能量比, $\hat{\tau}_2 = \hat{E}_2/\hat{E}_T$, 其中 \hat{E}_2 是模拟舱室内部声场线谱噪声的能量, \hat{E}_T 是模拟舱室内部声场的总能量;

τ_2 ——实际舱室内部声场的线谱噪声能量比, $\tau_2 = E_2/E_T$, 其中 E_2 是实际舱室内部声场线谱噪声的能量, E_T 是实际舱室内部声场的总能量。

测试区内所有测点的平均能量比误差 $\bar{\sigma}_E$ 为所有测点能量比误差的均值。单个能量比误差 σ_E 应不大于 $\pm 5\%$, 平均能量比误差 $\bar{\sigma}_E$ 应不大于 $\pm 1\%$, 才能保证模拟舱室内部声场的声学响应与实际舱室保持一致。

A.3 总声级误差

模拟舱室内部声场与实际舱室内部声场之间的总声级误差用总声级的归一化均方误差 σ_{L_p} 表示, 定义为模拟舱室内部声场与实际舱室内部声场总声级的差值与实际舱室内部声场总声级之间的比值, 由公式(A.4)计算。

$$\sigma_{L_p} = \frac{\hat{L}_p - L_p}{L_p} \times 100\% \quad (\text{A.4})$$

式中:

\hat{L}_p ——模拟舱室内部声场的总声级;

L_p ——实际舱室内部声场的总声级。

σ_{L_p} 应宜不大于 $\pm 1\%$, 才能保证模拟舱室内部声场的声学响应与实际舱室保持一致。

A.4 模拟舱室内部声场的调整

原则上模拟舱室内部声场的声学响应与实际内部声场特性保持一致, 即同时满足上述三个方面的要求。若在再现模拟舱室内部声场时有扬声器输出过大的风险, 允许适量下调模拟舱室内部声场特性, 保证扬声器在不损坏的条件下再现模拟舱室内部声场。

对模拟舱室内部声场的相应调整应在试验报告中记录。