

# 团 体 标 准

T/SASC 01001-2024

## 有源噪声控制 术语、系统组成 及降噪性能表征

Active noise control system—Concept, constitution, and  
characterization of noise reduction

(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
3.1 有源噪声控制.....	1
3.2 信号的输入输出.....	3
3.3 控制器.....	3
3.4 有源噪声控制系统外围设备.....	4
3.5 次级通路.....	5
4 有源噪声控制系统组成.....	5
4.1 控制器.....	5
4.2 外围设备.....	6
5 有源噪声控制系统降噪性能表征.....	6
5.1 单值评价指标.....	6
5.2 综合评价指标.....	6
5.3 降噪指标的选择.....	7
附录 A（资料性） 降噪性能指标计算示例.....	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、吕亚东、李争光、程明昆、邱小军、毛东兴、俞悟周、方庆川、徐欣。



## 引 言

本文件为有源噪声控制产品系列标准的基础性标准，对有源噪声控制的基本概念、术语、系统构成、降噪效果的定量描述等方面做出规定，目的在于规范有源噪声控制的基本概念、术语、系统构成和降噪效果的定量描述。

本文件是进行有源噪声控制研究、产品研发、测试与交付等相关技术标准的基础，规定了有源噪声控制系统的基本概念和组成。

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，包括多种器件（用于某一特定目的或完成某一特定功能的机件或零件，在本文件中指有源噪声控制系统的硬件部分）和组件（对数据和方法的简单封装，在本文件中指有源噪声控制系统的软件部分）。描述该系统时涉及到不同学科领域的诸多术语和定义，有些可能会引起混淆。因此，本文件就有源噪声控制系统的组成、相关名词术语以及如何定量描述系统的降噪效果做出规定，以规范有源噪声控制产品研发、制造、测试、销售、售后等过程。

# 有源噪声控制 术语、系统组成及降噪性能表征

## 1 范围

本文件规定了有源噪声控制的术语、系统构成、降噪效果的定量描述方法。本文件适用于三维空间自适应有源噪声控制产品的研发、制造、测试、销售、售后中技术要求的表述，其他类似有源控制系统相关技术要求的表述参照执行。

## 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 声学的量和单位

GB/T 3947 声学名词术语

## 3 术语和定义

GB/T 3102.7和GB/T 3947界定的以及下列术语和定义适用于本文件。为了便于使用，以下重复列出了GB/T 3102.7和GB/T 3947中的某些术语和定义。

### 3.1 有源噪声控制

#### 3.1.1

**有源噪声控制** active noise control

**有源降噪** active noise reduction

人为引入幅度和相位可调节的控制源，影响噪声的产生、传播、接收，在关注区域内实现噪声降低的一种控制方法。

注：在某些应用场合，有源噪声控制也被称为主动噪声控制。

#### 3.1.2

**有源噪声控制系统** active noise control system

采用有源噪声控制方法实现噪声降低的一种软硬件及外围设备的实体。

#### 3.1.3

**单通道有源噪声控制系统** single channel active noise control system

只包含一个次级通路的有源噪声控制系统。

注：次级通路定义见3.5.1。

## 3.1.4

**多通道有源噪声控制系统** multi-channel active noise control system

包含两个及以上次级通路的有源噪声控制系统。

注1：多通道有源噪声控制系统通常可描述为“次级信号数×误差信号数”系统，例如，“2×2”系统表示具有2个次级信号和2个误差信号的系统。通常，次级信号数与次级源数相等，误差信号数与误差传感器数相等。

注2：次级信号的定义见3.2.4。

注3：误差信号的定义见3.2.3。

## 3.1.5

**前馈[有源噪声控制]系统** feedforward[active noise control] system

计算控制输出的过程中含有参考信号的有源噪声控制系统，其降噪性能在很大程度上取决于参考信号与初级噪声的相干性。

注：参考信号的定义见3.2.2。

## 3.1.6

**反馈[有源噪声控制]系统** feedback [active noise control] system

仅由误差信号（无参考信号）计算次级信号的有源噪声控制系统。

## 3.1.7

**空间有源噪声控制系统** active noise control system in enclosed space

用于降低特定物理场景下（如飞行器座舱、车辆厢体、列车车厢等）一定空间区域内噪声的有源噪声控制系统。

注：降噪区域的最小尺寸大于有源噪声控制系统工作上限频率对应波长的1/4。

## 3.1.8

**初级源** primary source

发出待控制噪声的主体。

## 3.1.9

**初级噪声** primary noise

待控制的噪声，是有源噪声控制针对的原始噪声，也是有源噪声控制系统开启前的噪声。

## 3.1.10

**初级声场** primary sound field

有源噪声控制系统开启前的噪声场。

## 3.1.11

**次级源** secondary source

产生用于抵消初级噪声声波或振动波的主体，包括物体、器件或设备等。产生声波的主体叫做次级声源，产生振动波的主体叫做次级力源。

## 3.1.12

**次级噪声** secondary noise

由次级源产生的、用于抵消初级噪声的声音。

## 3.1.13

**次级声场 secondary sound field**

次级源产生的、用于抵消初级噪声而形成的声场。

## 3.1.14

**自适应系统 adaptive system**

“自适应”一般是指系统按照环境的变化，调整其自身使得其行为在新的或者已经改变了的环境下达到最好的或者至少是容许的特性和功能，这种对环境变化具有自适应能力的系统称为自适应系统。在反馈控制和最优控制中，通常假定被控对象或过程的数学模型已知且具有线性定常的特性。

## 3.1.15

**自适应有源噪声控制系统 adaptive active noise control system**

能够自动追踪初级噪声特性和次级通路特性，控制器自身特性可自适应调节以达到设计性能的有源噪声控制系统。

注：控制器定义见3.3.1。

## 3.2 信号的输入输出

## 3.2.1

**监测信号 monitoring signal**

由传感器拾取，用于监测空间中某点声信息的信号。

注：在有源噪声控制中，监测信号通常用于表征有源控制系统启动后声场某处或某区域内的降噪效果指标。

## 3.2.2

**参考信号 reference signal**

自适应有源噪声控制系统中用于计算次级声源输出信号的一种输入信号。

## 3.2.3

**误差信号 error signal**

自适应有源噪声控制系统中用于调节次级源强度的残差信号。

注1：残差信号通常来自于初级噪声和次级噪声的叠加，由误差传感器拾取，或进一步通过某种修正或变换得到。

注2：误差传感器的定义见3.4.4。

## 3.2.4

**次级信号 secondary signal**

自适应有源噪声控制系统输出给次级源的信号，通常次级信号与次级源一一对应，次级源之间通道独立。实际应用中，也存在根据需要由2个及以上次级源输出同1个次级信号，扩大降噪范围。

## 3.3 控制器

## 3.3.1

**有源噪声控制器[有源控制器] active noise controller**

有源噪声控制系统的核心装置，包括有源噪声控制软件、硬件及围护结构，主要功能是接收误差信号和参考信号（对前馈系统而言），然后进行实时计算，并将计算结果通过次级源输出。

## 3.3.2

**自适应有源噪声控制算法** adaptive active noise control algorithm

在自适应有源噪声控制系统中，用于获得控制器输出的一系列计算步骤。

## 3.3.3

**有源噪声控制软件** active noise control software

在自适应有源噪声控制系统中实现算法和的辅助功能程序、数据和配套文档等，其中的算法用于计算控制器输出，辅助功能包括系统自检、工作状态显示、降噪量展示等。

## 3.3.4

**有源噪声控制硬件** active noise control hardware

在有源噪声控制系统中实现算法和相关功能的模拟或数字设备，主要实现预处理、模数转换、处理器、数模转换、平滑滤波等的功能构件。

## 3.4 有源噪声控制系统外围设备

## 3.4.1

**有源噪声控制盒** active noise control box

有源噪声控制系统的一种可选外围设备，实现有源噪声控制系统的人机交互。

## 3.4.2

**作动器** actuator

可以将电、液压、气压等能量转换成机械动作输出的装置。

注1：在有源噪声控制技术中，作动器分为声源和力源两种。

注2：作动器也称执行器。

## 3.4.3

**传声器** microphone

将声信号转换为电信号的换能器。

注：由于所用换能原理或元件的不同，有碳粒、电容（静电、驻极体），电磁、电动（动圈）、铝带、热线、压电（晶体、陶瓷）、磁致伸缩、电子、半导体等传声器。

## 3.4.4

**误差传感器** error sensor

在有源噪声控制系统中获取误差信号的传感器，如传声器、加速度计等。

注：获取声信号的误差传感器称为误差传声器（error microphone）。

## 3.4.5

**参考传感器** reference sensor

在有源噪声控制系统中采集声信号或振动信号等作为前馈系统参考信号的器件，如传声器、加速度计、转速传感器等。

注：采集声信号的参考传感器称为参考传声器（reference microphone）。



### 3.4.6

#### 监测传感器 monitoring sensor

拾取监测信号的传感器。

注：采集声信号的监测传感器称为监测传声器（monitoring microphone）。

### 3.5 次级通路

#### 3.5.1

#### 次级通路 secondary path

从次级信号到误差信号之间的传递通路，包括声传播和电子线路等在内的声音和信号传递路径。次级通路特性在很大程度上影响有源噪声控制算法和系统性能。

#### 3.5.2

#### 次级通路建模 secondary path modeling

获取次级通路传递特性模型的过程。

#### 3.5.3

#### 离线建模 offline modeling

在有源噪声控制算法运行前获取次级通路传递特性模型的过程。

#### 3.5.4

#### 在线建模 online modeling

在有源噪声控制算法运行中获取次级通路传递特性模型的过程。

## 4 有源噪声控制系统组成

有源噪声控制系统主要包括控制器和外围设备两部分。

### 4.1 控制器

有源噪声控制器包含软件和硬件两部分。

#### 4.1.1 控制软件

控制软件是系统的重要组成部分，其基本功能至少包括开机自检、降噪和周期自检等。

——开机自检：有源噪声控制系统开机后对控制器中的硬件进行自检并在人机交互界面显示自检结果。

——降噪：有源噪声控制系统正常工作状态下具有降噪功能。

——周期自检：有源噪声控制系统正常工作时，检测误差传感器能否正常采集噪声并在人机交互界面显示检测结果。

根据用户方需求，有源噪声控制系统还可实现测量和故障监测功能等其他功能。

——测量功能：有源噪声控制系统正常工作时，误差传感器拾取空间内声信号，计算当前噪声声压级并显示在人机交互界面。

——故障检测：有源噪声控制系统工作不正常时，系统可以检测出误差传声器或次级源故障并显示在人机交互界面。

#### 4.1.2 控制硬件

控制硬件是指承载算法的硬件，主要包括A/D和D/A、处理器、存储器、功率放大器，以及外围电路等。

#### 4.2 外围设备

外围设备主要是指除控制器以外，辅助实现有源噪声控制的电声器件，例如作动器、传感器等。

##### 4.2.1 作动器

根据被控对象为噪声或结构振动，作动器可分为次级声源或次级力源。在本文件中，有源噪声控制系统主要针对噪声，其作动器一般为次级声源，通常为扬声器，其驱动信号是控制器的输出。

##### 4.2.2 传感器

根据系统中传感器的功能，分为误差传感器和参考传感器（如果系统为前馈有源噪声控制则有参考传声器，如果系统为反馈有源噪声控制系统则没有参考传感器）。在前馈和反馈系统中误差传感器用于获取所在位置处的误差信号，从而使控制器不断调整自身参数使得由误差信号构成的目标函数最小。在前馈系统中，参考传感器用于获取所在位置处的信号作为参考信号，输入控制器供有源噪声控制算法计算次级信号。

### 5 有源噪声控制系统降噪性能表征

#### 5.1 单值评价指标

##### 5.1.1 测点降噪量

在初级声场稳定的情况下，监测传声器位置处的计权声压级为 $L_{p1}$ ，随后开启有源噪声控制系统，待自适应算法收敛并稳定后，监测传声器位置处的计权声压级为 $L_{p2}$ ，则监测传声器位置处降噪量可由公式（1）计算。

$$\Delta L_p = L_{p1} - L_{p2} \quad (1)$$

式中所有值修约至小数点后1位。声压级单位为dB，采用不同计权方法，单位做出相应更改。

注1：声压级计权方法根据初级声场特性来确定，通常选用A计权声压级。

注2：测点可以有多个，可以随着关注点的变化而移动。

注3：封闭空间的测点选择原则见T/SASC 5《声学 封闭空间有源噪声控制降噪量的测量》。

有源噪声控制系统开启前后，如监测传声器位置处的计权声压级前后差值 $\Delta L_p > 0$ ，则视为取得降噪效果的测点。 $\Delta L_p$ 越大，该测点的降噪效果越好。

##### 5.1.2 测点平均降噪量

测试区是由测点组成的区域，根据需要可以是一维、二维或三维空间。测试区内所有测点的降噪量取算数平均值称为测点平均降噪量，记为 $\overline{\Delta L_p}$ ，见公式（2）。

$$\overline{\Delta L_p} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta L_{pi} \quad (2)$$

#### 5.2 综合评价指标

### 5.2.1 区域总降噪量

区域总降噪量为测试区大小 $S$ （可以是长度、面积或体积，单位分别为 $m$ 、 $m^2$ 或 $m^3$ ）与该区域内测点平均降噪量的乘积，记为 $N_z$ （Noise Reduction in Zone），依据测试区的形状，单位可为 $dB\cdot m$ 、 $dB\cdot m^2$  或  $dB\cdot m^3$ ，见公式（3）。

$$N_z = S \times \overline{\Delta L_p} \quad (3)$$

$N_z$ 的值修约至小数点后1位。采用不同计权方法，单位做出相应更改。

### 5.2.2 降噪量的空间不均匀度

降噪量的空间不均匀度是测试区域内降噪量的起伏程度，为测试区内所有 $N$ 个测点降噪量的标准差，记为 $\sigma$ ，见公式（4）。

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\Delta L_{p_i} - \overline{\Delta L_p})^2}{N}} \quad (4)$$

$\sigma$ 的值修约至小数点后1位。

### 5.3 降噪指标的选择

根据实际应用中的需求，降噪效果指标分别适用如下情形：

#### a) 单值评价指标

——测点降噪量：描述某些特殊测点或者用户方关心的测点位置处的单值降噪量，可以具体到某测点处基频及其谐波所在频率的声压级，由表格形式呈现。

——测试区：描述一个或多个单值降噪量达到某个数值的测试区域，由噪声云图表示，噪声云图示例详见附录A。

#### b) 综合评价指标

——区域总降噪量：描述测点平均降噪量和测试区大小两方面的情况，任意一个增大都将导致结果增大，表明降噪效果越好。适用于对整体降噪效果的描述。

——降噪量的空间不均匀度：描述测试区域内各测点降噪量的均匀程度。测试区域内的降噪量标准差越小，表明降噪空间均匀度越大，测试区域内各测点降噪量均匀度越好。

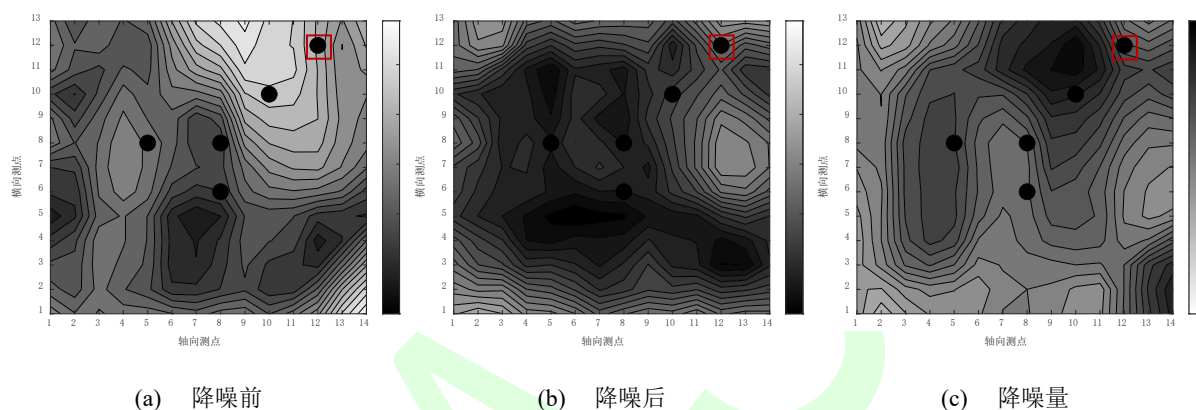
降噪指标一般由用户方根据实际需求指定；用户方未明确其需求时，由设备供应商根据实际情况确定。

附录 A  
(资料性)  
降噪性能指标计算示例

### A.1 单值评价指标

#### A.1.1 测点降噪量云图

当测试区内的测点数量较多时，可将该测试区内测点降噪量之间进行插值，将测试区内多个测点降噪前后声压级以及测点降噪量用图A.1所示的噪声云图表示。



图A.1 噪声云图示例

#### A.1.2 测点降噪量

只关心某个测点或某些测点时，可选用单值评价指标中的测点降噪量，例如图A.1中红色方框标出的点。

——初级声场稳定的情况下，红色方框标示点处的A计权声压级为 $L_{p1} = 84.3\text{dB(A)}$ ；

——开启有源噪声控制系统，自适应算法收敛并稳定后，红色方框标示点处的A计权声压级为 $L_{p2} = 81.6\text{dB(A)}$ ；

则红色方框标示点处的降噪量为

$$\Delta L_p = L_{p1} - L_{p2} = 2.7\text{dB(A)}$$

#### A.1.3 测点平均降噪量

——初级声场稳定的情况下，测试区内5个监测传声器位置处（图A.1中5个示例点）的A计权声压级分别为 $L_{p1} = 84.3\text{dB(A)}$ 、 $L_{p2} = 85.6\text{dB(A)}$ 、 $L_{p3} = 81.7\text{dB(A)}$ 、 $L_{p4} = 79.2\text{dB(A)}$ 和 $L_{p5} = 79.4\text{dB(A)}$ ；

——开启有源噪声控制系统，自适应算法收敛并稳定后，测试区内5个监测传声器位置处的A计权声压级分别为 $L'_{p1} = 81.6\text{dB(A)}$ 、 $L'_{p2} = 79.3\text{dB(A)}$ 、 $L'_{p3} = 77.6\text{dB(A)}$ 、 $L'_{p4} = 77.1\text{dB(A)}$ 和 $L'_{p5} = 78.5\text{dB(A)}$ 。

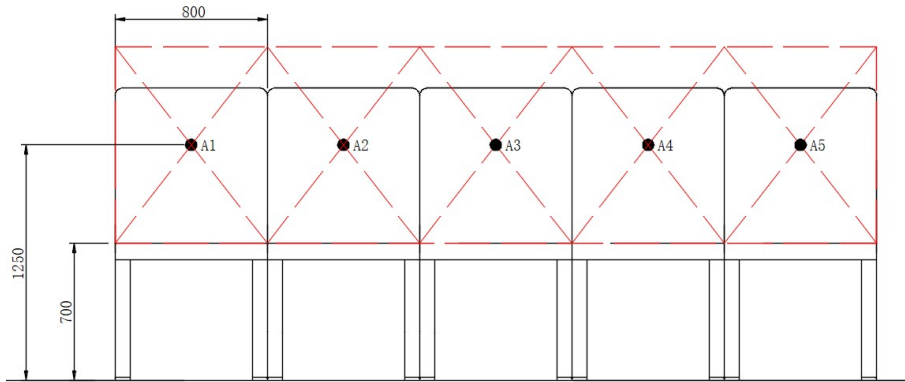
则测试区内的测点平均降噪量为

$$\overline{\Delta L_p} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 (L_{pi} - L'_{pi}) \approx 3.2\text{dB(A)}$$

## A.2 综合评价指标

### A.2.1 区域总降噪量

区域总降噪量考察测试区内的总降噪量，与测试区的划分有关。例如考察某机型舱室内操作人员耳所在平面上的区域总降噪量，测点（A1~A5）位于操作人员耳高度处，将5个工作台面以上划定为测试区（图A.2中红色虚线框），测点位于每个测试单元的中心，如图A.2所示。



图A.2 某机型舱室内测试区示意图

- 初级声场稳定的情况下，测试区内5个监测传声器位置（图A.1中5个示例点）处的A计权声压级分别为 $L_{p1}=84.3\text{dB(A)}$ 、 $L_{p2}=85.6\text{dB(A)}$ 、 $L_{p3}=81.7\text{dB(A)}$ 、 $L_{p4}=79.2\text{dB(A)}$ 和 $L_{p5}=79.4\text{dB(A)}$ ；
- 开启有源噪声控制系统，自适应算法收敛并稳定后，测试区内5个监测传声器位置处的A计权声压级分别为 $L'_{p1}=81.6\text{dB(A)}$ 、 $L'_{p2}=79.3\text{dB(A)}$ 、 $L'_{p3}=77.6\text{dB(A)}$ 、 $L'_{p4}=77.1\text{dB(A)}$ 和 $L'_{p5}=78.5\text{dB(A)}$ 。

该测试区内的测点平均降噪量 $\overline{\Delta L_p}=3.2\text{dB(A)}$ ，测试区的大小 $S=800\text{mm} \times (1250\text{mm} - 700\text{mm}) \times 2 \times 5=4.4\text{m}^2$ ，那么该测试区内的区域总降噪量为

$$N_z = \overline{\Delta L_p} \times S \approx 14.1\text{dB(A)} \cdot \text{m}^2$$

### A.2.2 降噪量的空间不均匀度

- 初级声场稳定的情况下，测试区内5个监测传声器位置处的A计权声压级分别为 $L_{p1}=84.3\text{dB(A)}$ 、 $L_{p2}=85.6\text{dB(A)}$ 、 $L_{p3}=81.7\text{dB(A)}$ 、 $L_{p4}=79.2\text{dB(A)}$ 和 $L_{p5}=79.4\text{dB(A)}$ ；
- 开启有源噪声控制系统，自适应算法收敛并稳定后，测试区内5个监测传声器位置处的A计权声压级分别为 $L'_{p1}=81.6\text{dB(A)}$ 、 $L'_{p2}=79.3\text{dB(A)}$ 、 $L'_{p3}=77.6\text{dB(A)}$ 、 $L'_{p4}=77.1\text{dB(A)}$ 和 $L'_{p5}=78.5\text{dB(A)}$ ；

测试区内的测点平均降噪量 $\overline{\Delta L_p}=3.2\text{dB(A)}$ ，那么该测试区内降噪量的空间不均匀度为

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\Delta L_{pi} - \overline{\Delta L_p})^2}{N}} \approx 1.9\text{dB(A)}$$