

T/JAMIA

江苏省新材料产业协会团体标准

T/JAMIA 003—2023

吸声系数实验室测量：小型混响舱法

Laboratory measurement of sound absorption coefficient: Alpha-Cabin

2023 - 09 - 28 发布

2023 - 09 - 28 实施

目 次

前 言	III
引 言	IV
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 测量原理	2
5 频率范围	2
6 测试安排	3
6.1 测试设备	3
6.2 小型混响舱	3
6.3 声源和声源位置	3
6.4 传声器和传声器位置	3
6.5 传声器和扬声器位置的数量	3
6.6 试样要求	3
6.7 环境条件	4
7 混响时间测量	4
7.1 概述	4
7.2 中断声源法	4
7.3 脉冲响应法	5
7.4 根据衰变曲线的混响时间取值	6
8 结果表述	7
8.1 计算方法	7
8.2 精密度	8
9 测试报告	8
附录 A（规范性） 小型混响舱的关键参数	9
A.1 截止频率	9
A.2 施罗德频率	9
A.3 房间尺寸	9
A.4 简正模式	9
A.5 扩散体	10
A.6 空场小型混响舱吸声	10
附录 B（规范性） 空场小型混响舱传声器位置随衰减率的变化	11
附录 C（规范性） 小型混响舱的设计	13
C.1 概述	13
C.2 A 型安装	13
C.3 E 型安装	13

C.4 含车身覆盖件的模压件	13
C.5 不含车身覆盖件的模压件	14

全国团体标准信息平台

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。

本文件由江苏省新材料产业协会标准化技术委员会提出并归口。

本文件起草单位：江苏省声学产业技术创新中心、比亚迪汽车工业有限公司、申达（上海）科技有限公司、上海材料研究所有限公司、国网智能电网研究院有限公司、南京华秦光声科技有限责任公司、南京大学、广州林骏汽车内饰件有限公司、上海比翱声学技术有限公司、苏州市声学检验检测有限公司、海安南京大学高新技术研究院。

本文件主要起草人：卢明辉、孙亚轩、谢晓龙、李秋彤、聂京凯、钱斯文、黄唯纯、王险峰、庞金祥、鲁强兵、唐少春。

引 言

材料的吸声系数是一项重要的材料声学性能指标，其对分析材料在工业生产及生活中应用有重要指导作用。材料的吸声系数测量方法常见的有混响舱法与驻波管法，采用混响舱法测量声音无规入射时的吸声系数，而采用驻波管法测量声音正入射（声音入射角度为 90° ）时的吸声系数。因在工程及建筑的实际使用过程中声音大多为无规入射，因此实际工程中常使用混响舱法测量材料吸声系数。但在实际需要测量的均为小型不规则试样，不满足标准混响舱法测量所要求的标准试样大小。小型混响舱是声学测量领域的一种专业实验装置，其室内声能密度较为均匀，形成扩散声场，主要用于小型不规则构件（如汽车构件）吸声特性的测量。与标准混响舱相比，具有造价低廉，占地面积较小，方便移动等优点。基于这些优点，小型混响舱能广泛应用于各种小型不规则构件吸声系数的测量。

本标准是针对越来越多的企业（含汽车和非汽车行业）在使用小型混响舱进行声学材料的混响场吸声测试，特制订此标准来规范小型混响舱的测试规程和测试方法。

吸声系数实验室测量：小型混响舱法

1 范围

本文件规定了在小型混响舱内测量形状不规则、几何构造复杂的试样的吸声系数，或诸如家具、人、汽车零配件等空间吸声体吸声量的方法。

本文件适用于测量声负载的吸声系数，可对产品进行及时的反馈与优化。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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 3241—2010 电声学 倍频程和分数倍频程滤波器
- GB/T 3785.1—2023 电声学 声级计 第1部分：规范
- GB/T 3947—1996 声学名词术语
- GB/T 4129—2003 声学 用于声功率级测定的标准声源的性能与校准要求
- GB/T 17247.1—2000 声学 户外声传播衰减 第1部分：大气声吸收的计算
- GB/T 20247—2006 声学 混响室吸声测量
- GB/T 20441.4—2006 测量传声器 第4部分：工作标准传声器规范
- SJ/T 10406—2016 声频功率放大器通用技术条件

3 术语和定义

GB/T 20247—2006 界定的术语和定义适用于本文件。

3.1

衰变曲线 **decay curve**

描述声源停止发声后房间内声压级随时间衰变的图形。

[来源：GB/T 20247—2006 定义 3.1]

3.2

混响时间 **reverberation time**

T

声音已达到稳定后停止声源，平均声能密度自原始值衰变百万分之一（60dB）所需的时间，单位为秒（s）。

注1：可通过对较短的取值范围作线性外推来符合声压级衰变 60dB 的混响时间定义。

注2：该定义建立在假定的理想情况下，即声压级与时间呈线性关系，并且背景噪声足够低。

[来源：GB/T 20247—2006 定义 3.2]

3.3

中断声源法 **interrupted noise method**

激励房间的宽带或窄带声源中断发声后，直接记录声压级的衰变来获取衰变曲线的方法。

[来源：GB/T 20247—2006 定义 3.3]

3.4

脉冲响应积分法 **integrated impulse response method**

通过把脉冲响应的平方对时间反向积分来获取衰变曲线的方法。

[来源：GB/T 20247—2006 定义 3.4]

3.5

脉冲响应 **impulse response**

房间内某一点发出的 Dirac 脉冲声在另一点形成的声压瞬时状况。

注：现实中不可能产生并辐射出真正的 Dirac delta 函数脉冲。但在实际测量中，可以采用足够近似的瞬时声（比如射击声）。另一种可选的测量技术是使用一段最大长度序列信号（MLS），或其他确定平直频谱特性的信号，并将测得的响应变换回脉冲响应。

[来源：GB/T 20247-2006定义3.5]

3.6

房间吸声量 equivalent sound absorption area of a room

房间内各表面和物体的总吸声量加上房间内媒质中的损耗。

注1：单位为 m^2 。

注2：空场小型混响舱的房间吸声量用 A_1 表示，有试样小型混响舱的房间吸声量用 A_2 表示。

[来源：GB/T 20247-2006 定义 3.6]

3.7

试样吸声量 equivalent sound absorption area of the test specimen

A_T

小型混响舱在有和没有试样情况下的吸声量的差值。

注：单位为 m^2 。

[来源：GB/T 20247-2006 定义 3.7]

3.8

试样面积 area of the test specimen

S

被试样覆盖的地面或墙壁的面积。

注1：单位为 m^2 。

注2：在试样被构造包围的情况（见附录 C），试样面积为构造所包围的面积。

[来源：GB/T 20247-2006 定义 3.8]

3.9

吸声系数 sound absorption coefficient

α_s

试样吸声量与试样面积的比值。

注1：对于两面暴露的吸声体，吸声系数为试样吸声量与试样两面总面积的比值。

注2：通过测量混响时间得出的吸声系数 α_s ，可能大于 1.0（比如由于衍射影响），故 α_s 不用百分数来表示。

注3：下标 s 是为避免与定义成非反射声能与入射声能之比的吸声系数相混淆，比如平面波以特定角入射到平面墙体的情况。这种“几何的”吸声系数总是小于 1.0，故可用百分数表示。

[来源：GB/T 20247-2006 定义 3.9]

4 测量原理

分别测试空场和试样安装后小型混响舱的平均混响时间，应用赛宾(Sabine)公式计算试样吸声量，进而计算试样在各频带的吸声系数。

5 频率范围

小型混响舱一般用于体积较小试样的检查，而因受到其本身容积 V 的限制，可测量的下限频率较高，在低频范围内测量误差较大。其一般测量频率范围在 250Hz 至 8000Hz 之间，其测量下限频率由小型混响舱内部容积 V 决定，如表 1 所示。

表1 容积 V 和下限截止频率的关系

房间容积 V/m^3	1/3倍频程截止频率/Hz
6	400
10	315
15	250
25	250

6 测试安排

6.1 测试设备

测试装置包含但不限于以下部分：小型混响舱、声源、传声器、功率放大器、数据采集卡和控制记录系统。

6.2 小型混响舱

6.2.1 小型混响室建造

混响室可以用大量的砖石、混凝土材料、钢板以及轻质建筑材料建造。墙壁应该刷漆以封堵任何孔洞并增强房间内的扩散。此外，为了使房间内静止和瞬态声音信号的充分扩散，需要安装外部声音反射板或反射装置（通常称为扩散体）。另外，为了保证足够的扩散，需要注意房间内表面的吸声系数应当足够低，详细讨论见附录 A。

6.2.2 小型混响舱容积

小型混响舱的容积 V 控制在 $6\text{m}^3 \sim 25\text{m}^3$ 。

6.2.3 小型混响舱的形状尺寸

为减少室内特征频率的简并，小型混响舱的长、宽、高一般满足一个类似调和级数的比例关系： $1: 2^{1/3}: 4^{1/3}$ 。为保证小型混响舱内声场更加趋近扩散声场，对小型混响舱的尺寸进行以下限制：

- 小型混响舱内部任意两个面都必须相互不平行；
- 小型混响舱舱内任意两条棱边都应不一样长；
- 小型混响舱内部需安装扩散体来进一步趋近扩散声场；
- 小型混响舱的最大线度应满足式（1）的要求：

$$l_{\max} < 1.9V^{1/3} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

l_{\max} —房间最大线度（比如矩形房间最大线度为主对角线），单位为米（m）；

V —房间容积，单位为立方米（ m^3 ）。

为达到简正频率（特别在低频段）的均匀分布，房间任意两个边的尺寸不应呈小整数比。

6.3 声源和声源位置

声源应为一个或多个扬声器，最好具有全方位辐射模式，这样小型混响舱可根据规范的要求确保房间内的扩散。如果使用多个声源，它们之间的距离应至少为声波波长的 $1/4$ 。在有声源运行的房间内测量的声压级应至少比该房间在每个测量频带内的背景噪声高 45dB 。背景噪声包括小型混响舱的环境噪声和测量系统的电气噪声。

6.4 传声器和传声器位置

用于测量的传声器应具备全指向性特征，在任何 $1/3$ 倍频程频率范围和所测量的声压级内，其平坦随机入射振幅响应在 $\pm 1\text{dB}$ 范围内，该实验中应设置至少 4 个传声器位置进行测量，距墙至少 $1/4$ 波长，距声源和其他传声器至少 $1/2$ 波长。

6.5 传声器和扬声器位置的数量

应设置至少为 10 个传声器和扬声器位置进行测量。

6.6 试样要求

6.6.1 形状要求

试样通常是非矩形和非平面件。试样面积需控制在 $1\text{m}^2 \sim 1.2\text{m}^2$ ，且不超过地板面积的 30% 。

6.6.2 摆放要求

测量试样应放置在地板上，避免与地板长度和宽度具有任何对称性，即试样的任何侧面均不得与房间的墙壁平行，且距离墙壁超过测试频带最低频率对应波长的 1/4。

6.6.3 密封要求

试样的边缘应屏蔽撞击声。用来密封边缘的部分通常被称为框架，可以由钢或铝角或木框架制成。它们本身不能有明显的吸音效果，也就是说，将它们放置在空混响室测量应该没有可测量的效果。此外，它们的质量必须足够大，以便在测量范围内阻挡声能。框架必须至少延伸到被测试样的顶表面；但不要高过试样上表面以上 3mm。框架必须与测试室的地板平齐，误差不超过 0.5mm。从上面观察时，边缘框架与试样边缘之间的任何间隙必须小于或等于 1.0mm。在边缘框架与地板之间的缝隙、边缘框架和超过上述值的试样边缘之间，应用胶带、填缝剂或类似产品密封。

6.6.4 试样安装

试样的安装应尽可能地模拟实际应用情况，并记录在报告中。附录 C 提供了更多关于此测试方法的安装信息。本测试方法适用于：

- 平面试样测试时在试样与坚硬表面之间无空气间隙。在测试中，这通常是模拟直接将试样放在地板上的测试。
- 平面试样测试时在试样与坚硬表面之间存在空气间隙。这通常是模拟将试样放在地板上，而在试样和地板之间有一个空气间隙的测试。空气间隙可以通过使用块状障碍物(试样被放置在块上)或将试样放置在网状泡沫上来产生。块或泡沫或其他此类装置的厚度应与预期的气隙相同。
- 块状障碍可以是金属的，也可以是硬的或压缩的木块。网状泡沫必须不会对空气运动造成阻碍，因此它对试样的吸收性能没有贡献。此外，网状泡沫不应被放置在顶部的试样压缩。块状障碍或网状泡沫对吸收系数性能的影响不应超过 5%。

6.7 环境条件

所有测量过程中，平均试验温度应不低于 15℃，室内平均相对湿度应至少为 50%，建议在 6.3kHz 以上的连续测量中有 60%的相对湿度。

空场小型混响舱与放试样后的小型混响舱温度变化应不大于 ±1℃，相对湿度变化应不大于 ±5%，大气压力变化应不大于 ±30kPa。

7 混响时间测量

7.1 概述

本标准阐述了两种测量衰变曲线的方法：中断声源法和脉冲响应积分法。中断声源法测出的衰变曲线是一个统计过程的结果，为获取合适的可重复性数据，必须把在某一传声器/扬声器位置测得的数条衰变曲线或数个混响时间值进行平均。而房间的脉冲响应积分是一个确定函数，不会有统计偏差，所以不必平均。可是，脉冲响应积分法比中断声源法要求有更高级的仪器和数据处理功能。

7.2 中断声源法

7.2.1 房间声激励

使用扬声器作为声源，馈给扬声器的信号为具有连续频谱的宽带或窄带噪声信号。当使用宽带噪声信号和实时分析仪时，该噪声信号的频谱应使小型混响舱内两个相邻的 1/3 倍频程声压级的差值不超过 6dB。当使用窄带噪声信号时，其带宽应至少为 1/3 倍频程。

声激励时间应足够长，在停止之前应能在需测的所有频带里产生稳态的声压级。为此，声激励时间至少是混响时间预估值的一半。

激励信号的声压级在衰变之前应足够高，以使衰变曲线中取值范围下限处的声压级至少高于背景噪声声压级 10dB。

如果信号的带宽大于 1/3 倍频程，相邻频带的混响时间差别会影响衰变曲线中较低的部分。如果相邻频带的混响时间相差超过 1.5 倍，则应用 1/3 倍频程声源单独测量其中最短混响时间的频带的衰变曲线。

7.2.2 平均

在 7.1 中已经阐述，必须将在某一传声器/扬声器位置测得的多个数据进行平均，以减小因统计偏差引起的测量不确定度。至少应有 3 个数据的平均。如果希望中断声源法的可重复性与脉冲响应积分法的可重复性处于同一范围，则至少应有 10 个数据的平均。有两种平均方法，第一种是用式 (2) 对某一传声器/扬声器位置记录下的衰变曲线进行平均。

$$L_p(t) = 10 \lg \left[\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N 10^{\frac{L_{pn}(t)}{10}} \right] \dots\dots\dots (2)$$

式中：

$L_p(t)$ ——总数为 N 个衰变计算的在 t 时刻的平均声压级，单位为分贝 (dB)；

$L_{pn}(t)$ ——第 n 个衰变在 t 时刻的声压级，单位为分贝 (dB)。

这种方法一般称为“集合平均法”。

第二种平均方法适用于集合平均法不能应用的情况，先对单个衰变曲线进行混响时间取值，再将取得的混响时间值进行算术平均。在不同传声器/扬声器位置记录下的衰变曲线不应进行平均。

注：理论上，实验室测量中，对混响时间值进行平均能得到与集合平均法相似的结果。使用计算机控制仪器时，总是运用集合平均法。平均多个衰变得到的衰变曲线通常会比单个衰变曲线更加平滑，这样会更可靠地定位出衰变曲线中的取值范围（大部分情况下是自动完成的）。

7.2.3 记录系统

记录系统应是一个电平记录仪或其他合适的用来确定与混响时间对应的衰变曲线平均斜度的系统，包括必要的放大器和滤波器。

记录（显示和/或取值）声压级衰变的仪器可能会运用：

- a) 指数平均，输出连续曲线，或
- b) 指数平均，输出连续平均得出的逐次离散的样点，或
- c) 线性平均，输出逐次离散的线性平均，某些情况下在确定平均值时有相当长的暂停时间。

指数平均仪器（或类似设备，见注 2）的时间常数应低于，并尽可能接近 $T/20$ 。

线性平均仪器的平均时间应低于 $T/12$ 。

对于将衰变记录成一系列离散点的仪器，记录的采样时间间隔应低于仪器的平均时间 ($\leq T/12$)。在衰变记录必须直观取值的情况下，宜调整显示图的时间刻度以使衰变曲线的斜度尽可能接近 45° 。

注1：以图形方式记录作为时间函数的声压级的商用电平记录仪近似等效于指数平均仪器。

注2：使用指数平均仪器时，把平均时间设定成远低于 $T/20$ 优点很少；使用线性平均仪器时，把采样时间间隔设定成远低于 $T/12$ 没有优点，系列测量过程中，可针对各个频带设定相应合适的平均时间。上述做法不可行的测量过程中，建议根据最短混响时间依上述要求确定所有频带的平均时间或采样时间间隔。

接收设备里的 1/3 倍频程滤波器应符合 GB/T 3241 的规定。

7.3 脉冲响应法

7.3.1 直接方法

脉冲响应可用脉冲声源比如手枪射击、气球爆破、电火花或其他能产生足够频率宽度和能量（符合 7.2.1 的要求）的声源直接进行测量。

注：扬声器通常不适合于产生足够能量的宽频脉冲信号，而只可能产生滤波脉冲。一种行之有效的做法是把带通滤波器（如 1/3 倍频程滤波器）的逆时脉冲响应信号馈送给扬声器系统。

7.3.2 间接方法

可用一种特殊声信号，只需对传声器信号作特殊处理即可得到脉冲响应。这样会改善信噪比。如果声源频谱特性满足要求，就可使用扫频或伪随机噪声（比如最大长度序列 MLS）。由于信噪比的改善，声源的动态范围比 7.3.1 要求的低得多。如果进行同步时间平均（比如为了提高信噪比），则必须确认在整个测量过程中脉冲响应始终保持不变。声信号可由外置的硬软件或测量仪器的一个构成部分发出。

声信号带宽应大于 1/3 倍频程。待测的 1/3 倍频程的频谱宜比较平直。另外，也可对宽带噪声频谱进行调整来提供从 100 Hz 至 5000Hz 1/3 倍频程中心频率范围的近似粉红噪声频谱，用以同时测量出各个 1/3 倍频程的混响时间。声信号应使各个频带的衰变曲线能满足 7.2.1 中对声压级的要求。

7.3.3 记录系统

记录系统应包括：满足 6.4 和 7.2.3 要求的传声器和放大器；能对记录的信号进行数字化处理，并能完成包括对脉冲响应进行积分和对衰变曲线进行取值等所有必要的数据处理的数据处理的附加仪器。在 7.3.2 情况下，记录系统还会包括一些必要的硬软件，来处理由记录的信号得出的脉冲响应，以及产生测试信号。

脉冲响应应进行 1/3 倍频程滤波。滤波过程可在脉冲响应数字化之前或之后进行，但不管怎样都必须在积分过程之前。模拟滤波器或者数字滤波器都是可以使用的。滤波器应符合 GB/T 3241 的规定。

注：使用特殊测试信号比如最大长度序列 MLS，要获得适当的结果，不仅需要更复杂的数据处理，而且需要更深的理论知识。这个技术具体细节已超过本标准范围，使用者可查阅相关资料。

7.3.4 脉冲响应的积分

对经滤波的脉冲响应进行反向积分。理论上其结果等效于通过中断声源法获取的无穷个衰变的平均结果。已有许多商用系统将反向积分过程集成化，使用者一般不必自己去计算积分。基本运算过程如下：

通过对脉冲响应的平方进行反向积分得出各个频带的衰变曲线。在没有背景噪声的理想情况下，从脉冲响应的终点（ $t \rightarrow \infty$ ）开始，至脉冲响应的起点，对脉冲响应的平方进行积分。这样，作为时间函数的衰变见式（3）：

$$E(t) = \int_0^{\infty} p^2(\tau) d\tau - \int_0^t p^2(\tau) d\tau = \int_0^{\infty} p^2(\tau) d\tau = \int_{\infty}^t p^2(\tau) d(-\tau) \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中：

$E(t)$ ——空场小型混响舱容积，单位为立方米（ m^3 ）；

$p(\tau)$ ——声音在空气中的传播速度，单位为米每秒（ m/s ）。

为使背景噪声对脉冲响应的后期的影响降低到最小，运用下面方法来修正：

如果背景噪声声压级已知。则积分下限 t_1 为下面两条线的交点：一条是背景噪声水平线；一条是能代表脉冲响应平方衰变曲线的斜线。积分上限仍为脉冲响应的起点，通过式（4）计算衰变曲线：

$$E(t) = \int_{t_1}^t p^2(\tau) d(-\tau) + C \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中：

$t < t_1$ ， C 为脉冲响应平方在 t_1 至 ∞ 间积分的可选修正值。

在假定声能量指数衰变曲线与 t 。至 t 间脉冲响应平方衰变曲线的斜率相同的前提下计算 C 值，得出的结果是最可靠的。 t_0 为比 t_1 时刻的声压级高出 10dB 处所对应的时刻。

如果 C 取为零，有限的积分起始点会导致混响时间的系统性低估。为使混响时间的低估不大于 5%，反向积分起始点的声压级应低于脉冲响应平方最大值至少 15dB，加上混响时间 T 估值的动态范围。

7.4 根据衰变曲线的混响时间取值

7.4.1 取值范围

第 5 章中规定的各个频带衰变曲线的取值应在低于起始声压级 5dB 的地方开始。取值范围应为 20 dB，其下限应比测量系统的整体背景噪声至少高出 10dB。

7.4.2 取值方法

当使用计算机控制的记录系统时，计算出整个取值范围的最小二乘法拟合直线是确定混响时间的一个便利的方法。运用其他算法也可得到类似的结果。当使用电平记录仪直接记录时，应手工画出尽可能靠近衰变曲线的一条直线。在对离散点取值的情况下，点的数量应足够多，以便应用最小二乘拟合法。

8 结果表述

8.1 计算方法

8.1.1 混响时间 T_1 和 T_2 的计算

小型混响舱各个频带的混响时间由在该频带测得的所有混响时间的算术平均值表达。

空场小型混响舱和有试样情况下分别测得的各个频带混响时间的平均值 T_1 和 T_2 ，结果应保留小数点后两位有效数字计算和表达。

8.1.2 声强衰减系数

空场与安装试样后小型混响舱条件下声强衰减系数 m_1 ， m_2 ，可根据测试过程中空场和安装试样后空气条件，按 GB/T 17247.1—2000 中第 5 章应用纯音衰减系数 α ，按式 (5) 计算。

$$m_i = \frac{\alpha}{10 \times \lg(e)} \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中：

m_i —— $i=1$ ，即 m_1 ，小型混响舱空场声强衰减系数，单位为每米 (m^{-1})；

$i=2$ ，即 m_2 ，小型混响舱安装试样后声强衰减系数，单位为每米 (m^{-1})；

α ——见 GB/T 17247.1—2000 中表 1。

8.1.3 声音在空气中的传播速度

空场与安装试样后小型混响舱测试舱内声音在空气中传播速度，可根据测试过程中空场和安装试样后空气条件，按式 (6) 计算。

$$c_i = 343.2 \times (t_i / t_0)^{1/2} \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中：

c_i —— $i=1$ ，即 c_1 ，小型混响舱空场声音在空气中传播速度，单位为米每秒 (m/s)；

$i=2$ ，即 c_2 ，小型混响舱安装试样后声音在空气中传播速度，单位为米每秒 (m/s)；

t_0 ——基准大气温度，为 223.15K (20℃)；

t_i —— $i=1$ ，即 t_1 ，小型混响舱空场大气环境温度，单位为每米 (℃)；

$i=2$ ，即 t_2 ，小型混响舱安装试样后大气环境温度，单位为每米 (m^{-1})。

8.1.4 空场小型混响舱的吸声量

空场小型混响舱的吸声量 A_1 (单位： m^2)，应按式 (7) 计算：

$$A_1 = \frac{55.3V}{c_1 T_1} - 4Vm_1 \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中：

V ——空场小型混响舱容积，单位为立方米 (m^3)；

c_1 ——空场小型混响舱条件下声音在空气中的传播速度，单位为米每秒 (m/s)；

T_1 ——空场小型混响舱的混响时间，单位为秒 (s)；

m_1 ——空场小型混响舱条件下的声强衰减系数，单位为每米 (m^{-1})。

8.1.5 放试样后小型混响舱的吸声量

空场小型混响舱的吸声量 A_2 (单位： m^2)，应按式 (8) 计算：

$$A_2 = \frac{55.3V}{c_2 T_2} - 4Vm_2 \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中：

c_2 ——放试样后小型混响舱条件下声音在空气中的传播速度，单位为米每秒 (m/s)；

T_2 ——放试样后小型混响舱的混响时间，单位为秒 (s)；

m_2 ——放试样后小型混响舱条件下的声强衰减系数，单位为每米 (m^{-1})。

8.1.6 试样吸声量

试样吸声量 A_T (单位: m^2), 应按式 (9) 计算:

$$A_T = A_2 - A_1 = 55.3V \left(\frac{1}{c_2 T_2} - \frac{1}{c_1 T_1} \right) - 4V(m_2 - m_1) \quad \dots\dots\dots (9)$$

8.1.7 吸声系数 α_s 的计算

试样吸声系数 α_s , 按式 (10) 计算:

$$\alpha_s = \frac{A_T}{S} \quad \dots\dots\dots (10)$$

式中:

S ——试样面积, 单位为平方米 (m^2)。

8.2 精密度

混响时间测定的精密度按 GB/T 20247—2006 中 8.2 规定进行。空场或安装试样后各频带的混响时间应至少进行三次平行试验。取算术平均值。

9 测试报告

测试报告应包括以下内容:

- a) 测试单位名称;
- b) 测试时间;
- c) 试样描述、试样面积 S 、试样安装及在小型混响舱内的位置, 宜画图表示;
- d) 小型混响舱形状、扩散处理设施 (扩散体的数量和尺寸) 以及传声器和声源的位置数;
- e) 小型混响舱的尺寸、容积 V 及总表面积 S_t (墙壁、地面和天花);
- f) 试验时小型混响舱内温度、相对湿度和大气压;
- g) 各个频带的平均混响时间 T_1 和 T_2 。

附录A
(规范性)
小型混响舱的关键参数

A.1 截止频率

小型混响舱可测频率由小型混响舱的截止频率与房间体积确定

$$V = 4\lambda_{\min}^3 \quad (\text{A.1})$$

上式还可写为

$$f_{\min} = \frac{c}{(V/4)^{1/3}} \quad (\text{A.2})$$

其中

V ——空场小型混响舱容积，单位为立方米 (m^3)；

λ_{\min} ——截止频率对应波长，单位为米 (m)；

f_{\min} ——小型混响舱截止频率或最低频率，单位为赫兹 (Hz)；

c ——声速，单位为米每秒 (m/s)。

A.2 施罗德频率

在这个频率之上，模态开始紧密地聚集在一起，模态不再被视为共振峰，也就是说，房间是扩散的。这个频率是根据房间的体积、表面积和房间的吸收而定的。可由以下公式计算：

其中

$$f_s = \frac{4c}{(\pi A)^{0.5}} - \frac{S}{16V} \quad (\text{A.3})$$

A ——小型混响舱吸声量，单位为 (m^2)；

S ——房间总表面积，单位为平方米 (m^2)。

公式 A3 最终可简化为

$$f_s \geq 2000 \left(\frac{T}{V} \right)^{0.5} \quad (\text{A.4})$$

其中

f_s ——施罗德频率，单位为赫兹 (Hz)；

T ——混响时间，单位为秒 (s)；

V ——房间容积，单位为平方米 (m^3)。

难点在于能够通过增加模态密度，在截止频率和施罗德频率之间进行合理的吸收测量。一个侧边倾斜的房间会有更高的模态密度，但房间仍然不会是扩散的。

在截止频率和施罗德频率之间，只要模态分离良好，且相互误差不超过 $\pm 5\%$ ，就可以进行吸声测量，具有合理的置信度。为了达到这个目的，房间的尺寸和正交模式都要纳入考虑。

A.3 房间尺寸

为了达到合理扩散的声场，一般的想法是房间的两个表面不应该是平行的。然而，如果房间是一个直线的，就像许多小型混响舱一样，有彼此平行的表面。因此，需要遵循一些首选的房间尺寸，这样它们就不会在低频段产生模态频率的均匀分布，主要是在截止频率和施罗德频率之间。实现这一目标的一种方法是确保房间相邻的两边长度不等或不存在整数倍数关系。首选比例为 $1: 2^{1/3}: 4^{1/3}$ 。

A.4 简正模式

可用频率范围的低频端可以根据每个测试信号带宽的简正模式来确定。这是由以下方程给出：

$$f = \left(\frac{c}{2}\right) \sqrt{\left(\frac{m_x}{l_x}\right)^2 + \left(\frac{m_y}{l_y}\right)^2 + \left(\frac{m_z}{l_z}\right)^2} \quad (\text{A. 5})$$

其中:

f ——频率, 单位为赫兹 (Hz);

c ——声速, 单位为米每秒 (m/s);

m_x, m_y, m_z ——模式 (0, 0, 0...);

l_x, l_y, l_z ——房间大小, 单位为米 (m)。

虽然计算是在模态的基础上进行的, 以了解相应的频率, 但最终的信息是根据 1/3 倍频频带频率和每个频带中有多少模态来查看的。房间的尺寸和简正模式共同作用, 使混响房间充分扩散。

A. 5 扩散体

为了确保房间的声场充分扩散, 无论房间的形状如何, 都可能需要扩散体。扩散体有可能破坏房间里的声波, 房间里各处的声场是一样的。这些扩散体可以是静止的或移动的可以反射声音的物体。然而, 考虑到房间的大小和功能行可能, 选用固定式扩散体可能更好。虽然扩散体通常被认为是大的扁平或弯曲的面板, 但它们也可能是其他形状的, 如不同形状的倒置圆顶。扩散体应具有较低的吸声性, 并方向可任意改变。

A. 6 空场小型混响舱吸声

表面混响的吸声系数是至关重要的, 应该低到足以维持房间内的扩散声场。对于房间可用的 1/3 倍频频带中心频率, 房间表面的吸收系数应小于 0.06。吸声系数是用空房间的吸声除以房间表面的面积, 包括房间内所有暴露在声音下的扩散器的表面。

附录B
(规范性)
空场小型混响舱传声器位置随衰减率的变化

对于声音吸收测量，扩散条件还面临一个挑战。这与信号是瞬态而非稳态有关，而稳态通常最好形成扩散条件的。扩散器的物理尺寸对于小房间扩散问题更为关键。为了确保小型混响舱对瞬态信号有足够的扩散，应确定衰减率的变化，每个小型混响舱(裸室)的传声器位置都是固定的。衰减率随传声器位置的变化是所有传声器位置的衰减率标准差与所有传声器位置的平均衰减率之比，即：

$$SD_M = \left(\frac{1}{N_M - 1} \sum_{i=1}^{N_M} (D_{Mi} - D_M)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (\text{B. 1})$$

其中

N_M ——固定传声器位置的数量；

D_{Mi} ——在第 i 个传声器位置的衰减率；

D_M ： $\frac{1}{N_M} \sum_{i=1}^{N_M} (D_{Mi})$ ——所有位置传声器平均衰减率。

衰减率随传声器位置的最大允许变化见表 B1 和图 B1。在这里， x 轴信息是 1/3 个八度频带，第一个频带表示房间的截止频率。因此，只要 x 轴上的波段按比例缩放，使第 1 波段与小型混响舱的截止频率相匹配，不同大小的小型混响舱就可以使用相同的图。

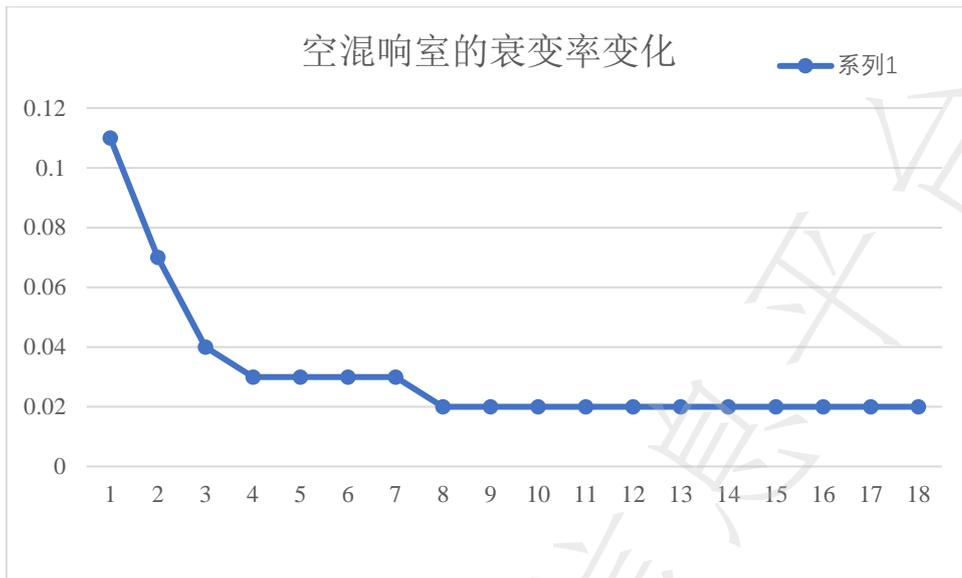
实验需要测量空小型混响舱中各个固定传声器所在位置的衰减率，测量至少需要：

- 根据6.4节有四个传声器位置
- 根据6.4节，测量每个传声器位置的五个衰减率
- 根据6.5节，10个不同的传声器扬声器位置

为了满足衰减率随传声器位置变化的要求，实验室可能必须使用扬声器-传声器-扩散器位置的不同组合，这些组合可能超过上面提到的最小数量。扬声器-传声器-扩散系统的组合可能需要重新定位和/或重新安置以满足测量要求。

表B.1 衰减率随传声器位置变化的最大相对值

1/3倍频频率	裸露房间中衰减率随麦克风位置的变化	频率 (Hz)	
1	0.11	250	400
2	0.07	315	500
3	0.04	400	630
4	0.03	500	800
5	0.03	630	1000
6	0.03	800	1250
7	0.03	1000	1600
8	0.02	1250	2000
9	0.02	1600	2500
10	0.02	2000	3150
11	0.02	2500	4000
12	0.02	3150	5000
13	0.02	4000	6300
14	0.02	5000	8000
15	0.02	6300	
16	0.02	8000	
17	0.02		
18	0.02		



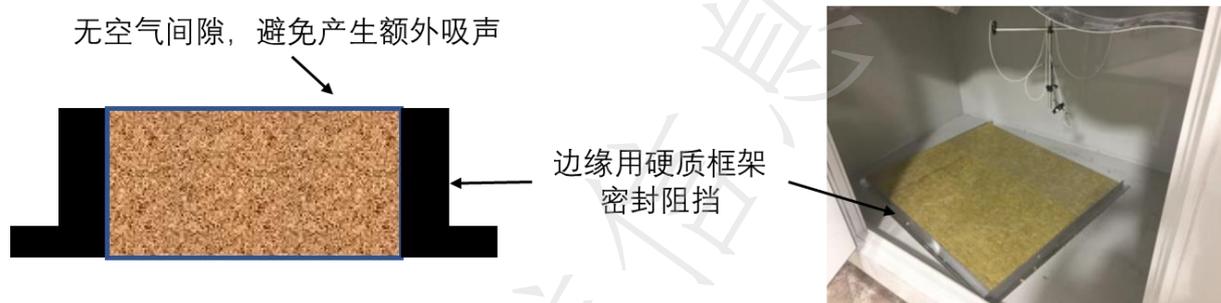
图B.1 空小型混响舱衰减率的最大变化

附录C (规范性) 小型混响舱的设计

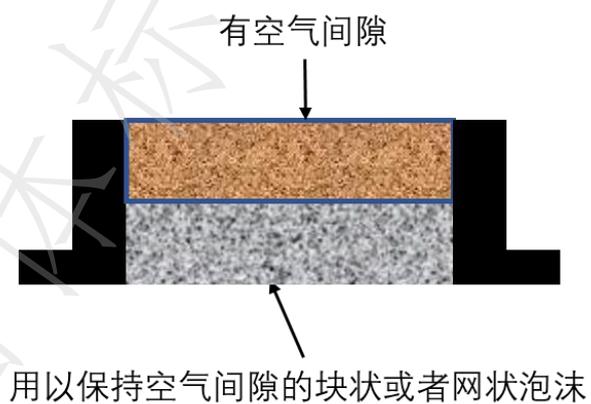
C.1 概述

材料的吸声特性与测试时的安装方式有关。本附录规定吸声测试应采用的几种标准的安装方式。通常一个试样仅采用其中的一种。

C.2 A型安装



C.3 E型安装



C.4 含车身覆盖件的模压件



C.5 不含车身覆盖件的模压件

