



中华人民共和国国家标准

GB/T 21228.1—2007/ISO 17497-1:2004

声学 表面声散射特性 第 1 部分：混响室无规入射 声散射系数测量

Acoustics—Sound-scattering properties of surfaces
Part 1: Measurement of the random-incidence scattering coefficient
in a reverberation room

(ISO 17497-1:2004, IDT)

2007-11-14 发布

2008-05-01 实施



中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会

发布

目 次

前言 I

引言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 原理 2

5 频率范围 3

6 测试安排 3

6.1 混响室 3

6.2 旋转台和底板 3

6.3 试件 4

7 测试步骤 5

7.1 测试信号 5

7.2 声源和接收设备 5

7.3 脉冲响应的测量 5

7.4 温度和相对湿度 6

7.5 衰变曲线的估算 6

8 结果表述 6

8.1 计算方法 6

8.2 准确度 7

8.3 结果表达 7

9 测试报告 7

附录 A（资料性附录） 测量结果的准确度 9

参考文献 10

前 言

GB/T 21228《声学 表面声散射特性》包括以下两部分：

——第 1 部分：混响室无规入射声散射系数测量

——第 2 部分：自由场指向性扩散系数测量

本部分是 GB/T 21228 的第 1 部分，本部分等同采用 ISO 17497-1:2004《声学 表面声散射特性 第 1 部分：混响室无规入射声散射系数测量》(英文版)。

本部分的附录 A 为资料性附录。

本部分由中国科学院提出。

本部分由全国声学标准化技术委员会(SAC/TC 17)归口。

本部分主要起草单位：中国科学院声学研究所、中国建筑科学研究院、同济大学、中广电广播电影电视设计研究院。

本部分主要起草人：吕亚东、谭华、盛胜我、莫方朔、王季卿、陈建华、张明照、尹铤。

引 言

表面声散射程度在室内声学各个方面(如:音乐厅、录音棚、车间和混响室)研究中非常重要。散射不足会导致严重偏离指数型声压衰减规律。另一方面,室内通过强散射表面可以获得近似扩散的声场。室内散射程度是与室内音质相关的一个重要因素。

GB/T 21228 的本部分将声散射系数作为一个新概念引入。声散射系数与吸声系数在室内声学计算、模拟和预测建模中非常有用。表面散射模型的建立对于得到室内声学的可靠预测十分重要。GB/T 21228 的本部分提出定量测量表面散射特性的方法,以代替以前曾经应用但不被广泛接受的估算法。

GB/T 21228 的第2部分将重点介绍指向性扩散系数的测量方法,指向性扩散系数虽不同于无规入射声散射系数,但与其相关。声散射系数是用来粗略描述声散射程度的物理量,扩散系数则是描述声散射的指向性均匀度,即扩散表面的质量。因此两个概念都需要,它们有不同的应用场合。

声学 表面声散射特性

第 1 部分:混响室无规入射 声散射系数测量

1 范围

GB/T 21228 的本部分规定了由表面粗糙度引起的表面无规入射声散射系数的测量方法。应在混响室中以足尺模型或实物缩尺模型进行测量。测量结果可用来描述有多少来自表面的声反射偏离了镜面反射。其结果还可用于与室内声学 and 噪声控制有关的对比和设计计算。

本方法不适用于表征表面声散射的空间均匀分布特性。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过 GB/T 21228 的本部分的引用而成为本部分的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本部分,然而,鼓励根据本部分达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本部分。

GB/T 17247.1 声学 户外声传播衰减 第 1 部分:大气声吸收的计算(GB/T 17247.1—2000, idt ISO 9613-1:1993)

GB/T 20247 声学 混响室吸声测量(GB/T 20247—2006, ISO 354:2003, IDT)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本部分。

3.1

镜面反射 specular reflection

遵循斯奈尔(Snell)定律的反射,即:反射角等于入射角。

注:镜面反射可通过远大于入射声波长的刚性平面来近似得到。

3.2

扩散声场 diffuse sound field

能量密度均匀,在各个传播方向为无规分布的声场。

3.3

声散射系数 scattering coefficient

s_θ

总反射声能减去镜面反射声能之后与总反射声能的比值。

注:理论上, s_θ 可在 0 和 1 之间取值,其中:0 表示完全镜面反射表面,1 则表示完全散射的表面。下标 θ 用来表示相对表面法向的入射角度。若无下标,则表示无规入射。

3.4

无规入射声散射系数 random-incidence scattering coefficient

s

总反射声能减去扩散声场中表面镜面反射声能之后与总反射声能的比值。

3.5

无规入射吸声系数 random-incidence absorption coefficient

α_r

入射声能减去扩散声场中表面总反射声能之后与入射声能的比值。

3.6

无规入射镜面吸声系数 random-incidence specular absorption coefficient

α_{spec}

入射声能减去扩散声场中表面上镜面反射声能之后与入射声能的比值。

注：当损失包含散射声能和被吸收的声能时，这是表观吸声系数。 α_{spec} 可在 α_r 和1之间取值。

3.7

实物缩尺比例 physical scale ratio

1 : N

实物缩尺模型的任一线性尺度与足尺实物任一线性尺度之比。

注：用于声学测量的缩尺模型中的声波波长遵循同样的实物缩尺比例。因此，如果缩尺模型与足尺实物采用同样的声速，则模型测量所用的频率应是足尺实物所用频率的N倍。

4 原理

本方法的原理可以通过观察时域反射和散射效果来进行阐释。图1表示自由场中从试件不同方位凹凸表面反射引起的3个带通脉冲。

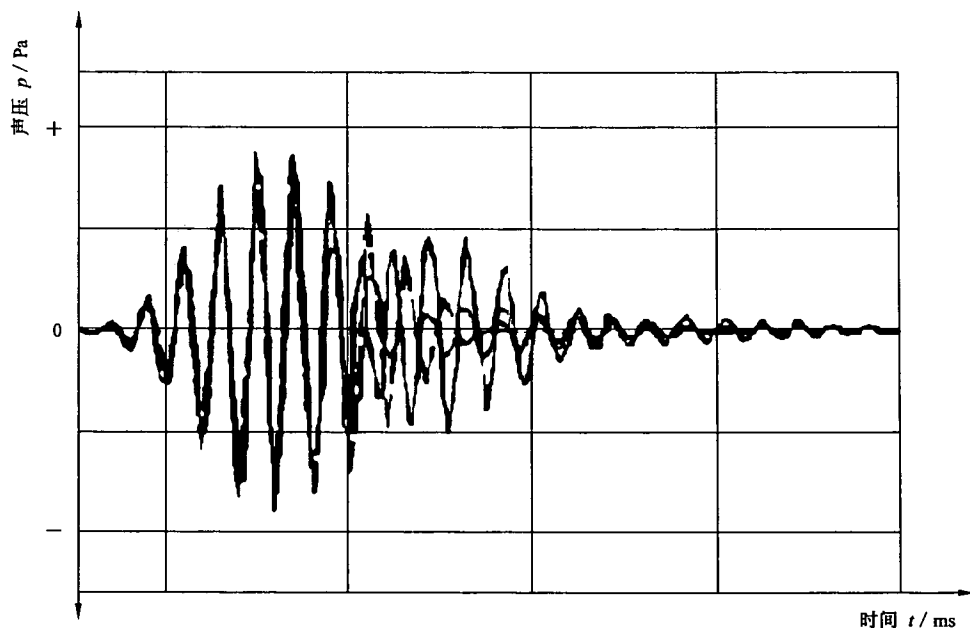


图1 在试件3个不同位置测得的带通脉冲响应示例

显然,早期反射部分是高度相关的,该相关部分等同于镜面反射分量。相反,后期部分相位不同并且取决于特定方位,反射脉冲的“尾部”能量包括了散射部分。

测量方法原理是从反射脉冲中提取镜面能量,即:可以通过不同试件方位获得的脉冲响应同步(锁相)平均得到。

该原理可以直接应用于混响室测量。除常规吸声系数测量外,可将(圆形)试件放置在旋转台上测量不同试件方位的脉冲响应。通过声压脉冲响应的同步平均,镜面分量得到同相相加,而散射声则干涉相消。

假定散射分量统计意义上彼此无关,可以看出(见参考文献[1]) n 个室内脉冲响应同步相加后,早期衰变与声吸收和试件声散射引起的表观能量损失的联合效应相关。

5 频率范围

应按1/3倍频程进行测量,其中心频率在100 Hz~5 000 Hz频率范围内。这是针对足尺测量计算而言的。如果采用1:N实物缩尺比例,则中心频率位于 $N \times 100$ Hz~ $N \times 5\,000$ Hz频率范围内。

注1:倘若缩尺模型填充的气体声速不同于空气声速,则测量频率应按波长遵循实物缩尺比例1:N进行选择。

注2:如果空气衰减过大,则测量可忽略高频,详见6.1.3。

6 测试安排

6.1 混响室

6.1.1 概述

GB/T 20247给出了混响室的技术要求。扩散体位置应固定,即运动扩散体(旋转扩散体)不应使用。房间及室内设备尽可能不变。温度和湿度对测量有很大影响,见7.4。任何可能产生空气运动或改变室内空气特性的设备,如通风系统不宜启动。

6.1.2 室内容积

混响室容积 V (单位: m^3)至少为:

$$V \geq 200 \times N^{-3}$$

6.1.3 空室声吸收

空室的吸声量 A_1 ,包括空气衰减不宜超过:

$$A_1 \leq 0.3 \times V^{\frac{2}{3}}$$

注:根据6.3.1试件尺寸要求,导出经验关系 $A_1/S \leq 1$,其中: S 为试件面积。

6.2 旋转台和底板

要求旋转台能够旋转试件。旋转台应具有圆形刚性底板,底板应相对旋转轴对称。底板尺寸应为试件最大尺寸,见6.3。

旋转台的任何部分距室内墙壁的距离不应小于 $N^{-1} \times 1.0$ m,见图2。

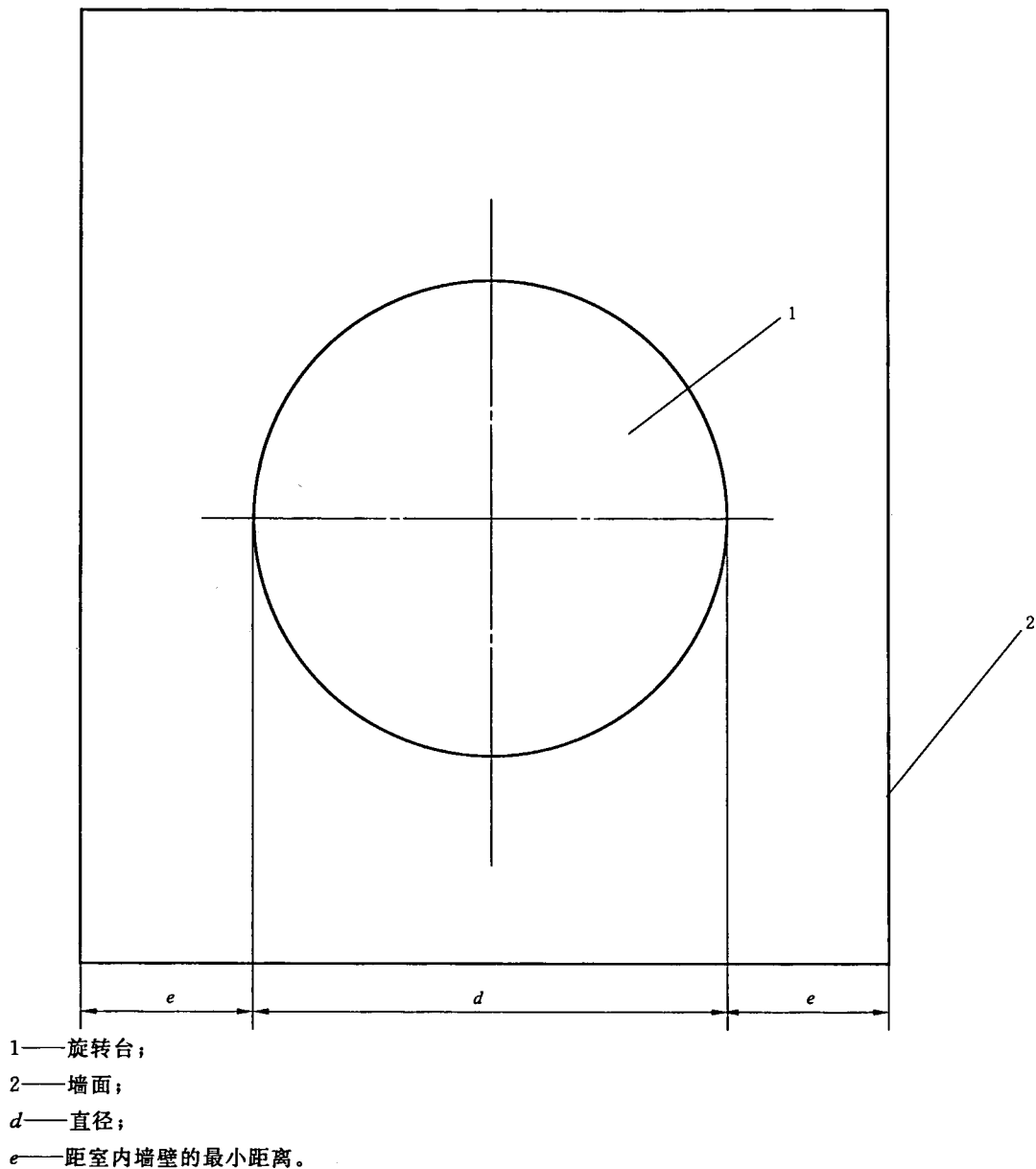


图 2 具有试件旋转台的混响室平面图

应测量底板本身的声散射系数，以便核查测试装置对测试结果的影响，见 8.1.4。不应超过表 1 列出的与频率相关的数值。

表 1 底板本身的最大声散射系数

频率(f / N)/Hz	100	125	160	200	250	315	400	500	630
声散射系数/ S_{base}	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.10
频率(f / N)/Hz	800	1 000	1 250	1 600	2 000	2 500	3 150	4 000	5 000
声散射系数/ S_{base}	0.10	0.10	0.15	0.15	0.15	0.20	0.20	0.20	0.25

6.3 试件

6.3.1 试件面积

试件面积宜尽可能大，以获得良好的测量准确度。试件宜为圆形，其直径至少宜为 $N^{-1} \times 3.0 \text{ m}$ 。
或者试件可为正方形，其边长至少为 $N^{-1} \times 2.65 \text{ m}$ 。这时，底板的直径至少应为 $N^{-1} \times 3.75 \text{ m}$ 。
如果试件不是圆形的，那么试件应齐平安装。

6.3.2 试件结构深度

这里所述测量方法旨在测定表面粗糙度。因此只有当结构深度与试件尺寸相比足够小时,结果才可靠。结构深度(见图 3)宜为:

$$h \leq d/16$$

式中:

d ——旋转台直径。

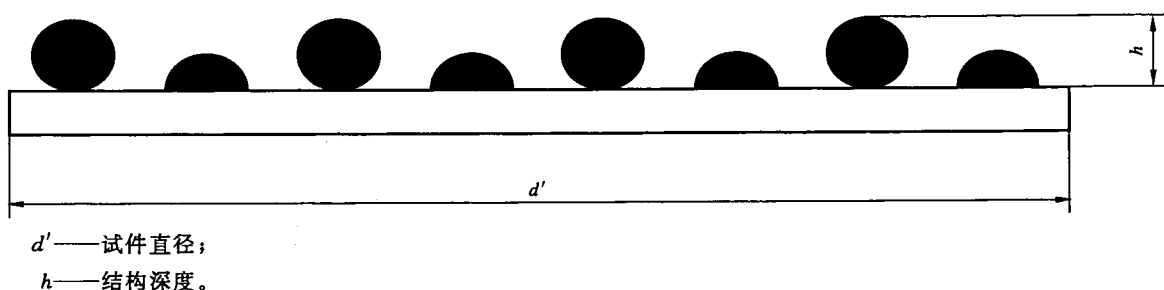


图 3 结构深度的定义

注: 由于沿试件边缘试件高度变化,会出现边缘效应。和同样试件结构无限大表面声散射系数相比,其结果会导致声散射系数很高。边缘效应有时会使测得的声散射系数 $s > 1$ 。

6.3.3 旋转台上试件位置

试件周边表面宜尽可能光滑并具有刚性。不要用固定高度刚性边来覆盖周边表面,沿试件周边表面的开孔应被密封。

如果试件旋转对称,试件应以下述方式放置在旋转台上。对称中心应至少偏离旋转台中心 $d/8$,其中: d 为旋转台直径。

6.3.4 试件声吸收

试件吸声系数不宜超过 $\alpha_s = 0.5$ 。但是,倘若声吸收是声散射结构一部分的话,则试件本身也应具有相应的吸声性能。

注: 具有高吸声系数的试件,本测量不会得出可靠的测量结果,见附录 A。

7 测试步骤

7.1 测试信号

由于估算需要相干平均,所以测试信号应是确定性的信号。应采用脉冲响应积分法。

建议采用周期性伪随机噪声信号如 MLS,以便获得脉冲响应。对于与测试信号相关的其他要求(如正弦扫频、周期长度、谱能密度、滤波等)参照 GB/T 20247。

7.2 声源和接收设备

声源和接收设备的技术要求和位置参见 GB/T 20247。

GB/T 20247 给出的尺度宜按缩尺因子 N 进行缩尺。

7.3 脉冲响应的测量

根据 GB/T 20247 在无试件和有试件情况下测量脉冲响应,分别得到混响时间 T_1 和 T_2 。应至少采用两个声源位置和 3 个传声器位置,共得到 6 个测量结果。混响时间为每个测量位置测定的混响时间的算术平均。

对声源和接收位置的每一种组合,连续发射一组周期性伪随机信号,并在旋转台旋转时接收测量。总测量时间应等于旋转台旋转一周的时间。例如:使用 5 s 测试周期的伪随机信号和转速 1 r/min,必须连续发射 12 个信号周期。或者对于每组声源—接收位置组合可以进行 n 次测量,每次测量试件旋转 $360^\circ/n$ 。相干平均数 n 宜在 $60 \leq n \leq 120$ 之间。 $n=72$ 为优选值,相应的旋转角 $\Delta\phi=5^\circ$ 。

每次测量声源信号应该相同。为获得非时变响应,需要进行 n 次测量的锁相平均。这可以通过在

计算脉冲响应之前,进行声压脉冲响应平均或接收信号平均来得到。

包括底板但不包括试件的步进或连续转动旋转台的测量结果为混响时间 T_3 。旋转试件的测量结果为混响时间 T_4 (见表 2)。

表 2 四种不同混响时间的测量条件

混 响 时 间	试 件	旋 转 台
T_1	无	不旋转
T_2	有	不旋转
T_3	无	旋转
T_4	有	旋转

为避免室内空气运动和其他不稳定条件引起的测量误差,宜在人员离开房间并关门 15/N min 之后再开始进行测量。为最大限度减小温度漂移等产生的影响,应尽快进行测量。

7.4 温度和相对湿度

测量过程中温度和相对湿度变化会对测量结果产生很大影响,尤其是对高频结果。减小空气衰减能够提高测量准确度。四种测量情况(见 7.3)每次测量之前和测量之后,应测量室内温度和相对湿度。取每种测量情况的平均值用于第 8 章所述的校正。

7.5 衰变曲线的估算

采用 GB/T 20247 规定的脉冲响应积分法进行脉冲响应估算。特别是反向积分应限制在脉冲响应级的线性斜率范围内。 T_1 、 T_2 、 T_3 宜线性衰变到背景噪声级,而 T_4 的衰变由两条叠加衰变曲线构成,仅宜估算第 1 条衰变曲线。

设积分范围为 -30 dB,并假定第 1 个衰变处于该范围内,估算 -5 dB 和 -20 dB 之间范围内的混响时间。

按照 GB/T 20247 进行混响时间的空间平均。

8 结果表述

8.1 计算方法

8.1.1 计算无规入射吸声系数 α_i :

利用式(1)计算无规入射吸声系数 α_i :

$$\alpha_i = 55.3 \frac{V}{S} \left(\frac{1}{c_2 T_2} - \frac{1}{c_1 T_1} \right) - \frac{4V}{S} (m_2 - m_1) \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

V ——混响室容积,单位为立方米(m^3);

S ——试件面积,单位为平方米(m^2);

T_1 ——无试件,但有底板时测得的混响时间,单位为秒(s);

T_2 ——有试件时测得的混响时间,单位为秒(s);

c_1 —— T_1 测量期间空气声速,单位为米每秒(m/s);

c_2 —— T_2 测量期间空气声速,单位为米每秒(m/s);

m_1 ——采用 T_1 测量期间的温度和相对湿度;按照 GB/T 17247.1 计算得到的空气声能衰减系数,单位为每米(m^{-1});

m_2 —— T_2 测量期间的空气声能衰减系数,单位为每米(m^{-1})。

测量混响时间 T_1 、 T_2 时,无需旋转转台。根据 GB/T 17247.1,空气声速由式(2)计算:

$$c = 343.2 \sqrt{\frac{273.15 + t}{293.15}} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

t ——空气温度,单位为摄氏度(°C)。

在该标准中,声压衰减系数 α 的单位为分贝每米(dB/m)。声能衰减系数 m 可由式(3)计算:

$$m = \frac{\alpha}{10 \lg(e)} \approx \frac{\alpha}{4.343} \quad \dots\dots\dots (3)$$

8.1.2 计算无规入射镜面吸声系数 α_{spec}

镜面吸声系数 α_{spec} 可由式(4)计算:

$$\alpha_{\text{spec}} = 55.3 \frac{V}{S} \left(\frac{1}{c_4 T_4} - \frac{1}{c_3 T_3} \right) - \frac{4V}{S} (m_4 - m_3) \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中:

T_3 ——无试件旋转底板时测得的混响时间,单位为秒(s);

T_4 ——试件放置在旋转的旋转台上测得的混响时间,单位为秒(s);

c_3 —— T_3 测量期间空气声速,单位为米每秒(m/s);

c_4 —— T_4 测量期间空气声速,单位为米每秒(m/s);

m_3 —— T_3 测量期间空气声能衰减系数,单位为每米(m^{-1});

m_4 —— T_4 测量期间空气声能衰减系数,单位为每米(m^{-1})。

其他符号如 8.1.1 所述。

8.1.3 计算无规入射声散射系数 s

利用式(5)计算无规入射声散射系数 s :

$$s = 1 - \frac{1 - \alpha_{\text{spec}}}{1 - \alpha_s} = \frac{\alpha_{\text{spec}} - \alpha_s}{1 - \alpha_s} \quad \dots\dots\dots (5)$$

8.1.4 计算底板声散射系数 s_{base}

理想情况下,混响时间 T_1 和 T_3 应该相等。但是底板的一些非对称性会导致 T_3 减小。试件存在时也会引起该误差。底板本身的声散射系数(如 6.2 所述)由式(6)计算:

$$s_{\text{base}} = 55.3 \frac{V}{S} \left(\frac{1}{c_3 T_3} - \frac{1}{c_1 T_1} \right) - \frac{4V}{S} (m_3 - m_1) \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中符号如上所述。

8.2 准确度

测量结果的准确度取决于试件大小,试件吸声系数和测试室空室的吸声量,准确度按附录 A 计算。

8.3 结果表达

对于所有测量频率,应以图表形式报告如下内容:

——吸声系数 α_s ;

——无规入射声散射系数 s 。

表格中的结果应修约到 0.01,舍去小于 0 的值,大于 1 的值可能会出现(由边缘效应引起,见 6.3.2)并且应予报告。

在图形表示中,横坐标为对数尺度上的频率,纵坐标为线性尺度上的测量结果。测量点应用直线连接。如果两条曲线能够清楚地标出,其结果可以出现在同一张图中。频率按照等效足尺频率(f/N)给出,并注明缩尺比例 $1:N$ 。

纵坐标从 0 到 1 的距离长度与横坐标 5 个倍频程距离长度之比宜为 2:3。

9 测试报告

测试报告应参考 GB/T 21228 的本部分,并包括下述内容:

a) 测试机构名称;

b) 测试日期;

- c) 试件描述、表面面积、结构深度以及在旋转台上的安装方式,最好给出图示;
- d) 混响室形状、扩散处理方式、传声器和声源位置数量;
- e) 混响室尺寸、容积和总表面积;
- f) 对于四种测量情况,每一情况的温度和相对湿度;
- g) 按照 8.3 报告测量结果;
- h) 测量准确度估算。

附 录 A
(资料性附录)
测量结果的准确度

对于式(1)和式(4)中的每一个混响时间(T_1 、 T_2 、 T_3 及 T_4)的标准偏差(δ_1 、 δ_2 、 δ_3 和 δ_4)可由以下式得出:

$$\delta = \sqrt{\sum_{i=1}^K \frac{(T_i - \bar{T})^2}{K(K-1)}} \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

K ——混响时间测量次数;

\bar{T} ——混响时间 T_i 的空间平均:

$$\bar{T} = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K T_i \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

式(1)和式(4)吸声系数的不确定度:

$$\delta_{a_s} = \frac{55.3V}{cS} \sqrt{\left(\frac{\delta_2}{T_2^2}\right)^2 + \left(\frac{\delta_1}{T_1^2}\right)^2} \quad \dots\dots\dots (A.3)$$

$$\delta_{a_{spec}} = \frac{55.3V}{cS} \sqrt{\left(\frac{\delta_4}{T_4^2}\right)^2 + \left(\frac{\delta_3}{T_3^2}\right)^2} \quad \dots\dots\dots (A.4)$$

最后,声散射系数标准偏差为:

$$\delta_s = \left| \frac{\alpha_{spec} - 1}{1 - \alpha_s} \right| \sqrt{\left(\frac{\delta_{a_{spec}}}{\alpha_{spec} - 1}\right)^2 + \left(\frac{\delta_{a_s}}{1 - \alpha_s}\right)^2} \quad \dots\dots\dots (A.5)$$

声散射系数 95%置信度范围估计为标准偏差的 2 倍。

参 考 文 献

- [1] VORLANDER M. and MOMMERTZ E. Definition and measurement of random-incidence scattering coefficients. *Applied Acoustics*, 60, 2000;187-199.
 - [2] GB/T 3240—1982 声学测量中的常用频率
 - [3] GB/T 3241—1998 倍频程和分数倍频程滤波器
-

中 华 人 民 共 和 国

国 家 标 准

声学 表面声散射特性

第 1 部分:混响室无规入射

声散射系数测量

GB/T 21228.1—2007/ISO 17497-1:2004

*

中国标准出版社出版发行

北京复兴门外三里河北街16号

邮政编码:100045

网址 www.spc.net.cn

电话:68523946 68517548

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

各地新华书店经销

*

开本 880×1230 1/16 印张 1 字数 22 千字

2008年4月第一版 2008年4月第一次印刷

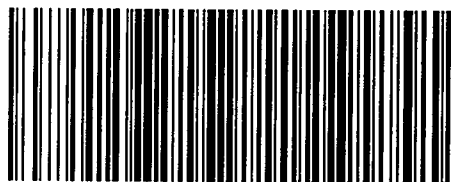
*

书号:155066·1-31032 定价 16.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换

版权专有 侵权必究

举报电话:(010)68533533



GB/T 21228.1-2007