**JJF**

**中华人民共和国国家计量技术规范**

**JJF XXXX—202X**

法向反射系数测试技术规范（半自由场传递函数法）

Test Specification for Reflection Coefficient at Normal Incidence（Half Free Sound Field Transfer Function Method）

（征求意见稿）

2023.XX－XX－XX发布 202X－XX－XX实施

**国家市场监督管理总局**发布

|  |  |
| --- | --- |
| 法向反射系数测试技术规范（半自由场传递函数法）  Test Specification for Reflection Coefficient at Normal Incidence（Half Free Sound Field Transfer Function Method） | JJF XXXX－202X |

归口单位：全国声学计量技术委员会

主要起草单位：湖北省计量测试技术研究院

参加起草单位：中国计量科学研究院

杭州爱华智能科技有限公司

上海声望科技有限公司

本规范委托全国声学计量技术委员会负责解释

本规范起草人：

王 飞 （湖北省计量测试技术研究院）

姚秋平 （湖北省计量测试技术研究院）

李 旭 （中国计量科学研究院）

熊文波 （杭州爱华智能科技有限公司）

许 昊 （湖北省计量测试技术研究院）

罗 伟 （上海声望科技有限公司）

目 录

[引 言 II](#_Toc5855)

[1 范围 1](#_Toc19886)

[2 引用文件 1](#_Toc9960)

[3 术语和计量单位 1](#_Toc11577)

[4 概述 2](#_Toc890)

[5 计量特性 2](#_Toc10118)

[5.1 法向反射系数 2](#_Toc24486)

[6 测试条件 2](#_Toc16489)

[6.1 环境条件： 2](#_Toc24809)

[6.2 测量标准器及其他设备 2](#_Toc23674)

[7 测试项目和测试方法 3](#_Toc8775)

[7.1 测试项目 3](#_Toc30801)

[7.2 测试方法 3](#_Toc19727)

[7.2.1 法向反射系数 3](#_Toc8884)

[8 测试结果的表达 5](#_Toc23771)

[8.1 测试数据处理 5](#_Toc6418)

[8.2 测试结果的测量不确定度 5](#_Toc4245)

[附录A测试证书的内容和格式 6](#_Toc8454)

[附录B测量不确定度评定示例 7](#_Toc22651)

[附录C测量理论背景 10](#_Toc21514)

##### 引 言

本规范参照JJF 1071—2010《国家计量校准规范编写规则》的要求和格式编写。

测量不确定度按照JJF 1059.1—2012《测量不确定度的评定与表示》的要求评定和表示。

本规范为首次发布。

法向反射系数测试技术规范（半自由场传递函数法）

1. 范围

本规范适用于均匀平面声学材料在频率范围为 125 Hz～4000 Hz内的法向反射系数的测试。

1. 引用文件

本规范引用下列文件：

JJF 1001－2011　通用计量术语及定义

JJF 1034－2020　声学计量名词术语及定义

GB/T 3102.7-1993　声学的量和单位

GB/T 3947-1996　声学名词术语

GB/T 14369 2011 声学 水声材料样品插入损失、回声降低和吸声系数的测量方法

GB/T 18696.2-2002 声学 阻抗管中吸声系数和声阻抗的测量 第2部分：传递函数法

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

1. 术语和计量单位

本规范采用GB/T 3102.7—1993中规定的量和单位。

JJF 1001—2011、JJF 1034—2020和GB/T 3947—1996中界定的及以下术语和定义适用于本规范。

3.1 反射系数 reflection coefficient

给定频率和环境下，自分界面（表面）反射的声功率与入射声功率之比。

注：一般应说明测量条件和频率。

3.2 法向反射系数 reflection coefficient at normal incidence

法向入射声波在基准面上反射波振幅与入射波振幅之比。

3.3 基准面 reference plane

用来测定法向反射系数的平面。

注：基准面假设在处。

3.4 互谱cross spectrum

两个传声器位置1和位置2处复声压、确定的乘积。

注：表示复声压的共轭。

3.5 自谱 auto spectrum

传声器位置1处复声压确定的乘积。

3.6 传递函数transfer function

传声器位置1到位置2的传递函数，定义为复数比值。

1. **概述**

法向反射系数是在给定频率下，声波沿着无限大板状样品表面正入射，其法向反射波声压与入射波声压之比。入射声波与声学材料表面之间的入射角度对声压反射系数有较大影响，通常测量的条件是法向入射。同一种声学材料在高、中、低不同频率可能表现出不同法向反射系数，一般在倍频程中心频率125 Hz、250 Hz、500 Hz、1000 Hz、2000 Hz、4000 Hz 处测量法向反射系数的频率特性。

1. 计量特性
   1. 法向反射系数

在125 Hz~ 4000 Hz的频率范围内，声学材料的法向反射系数应符合制造厂商的要求。（待确定如何修改）

1. 测试条件
   1. 环境条件：

——温度：（15-35）℃；

——相对湿度：（30～80）%；

——静压：（80～103）kPa。

* 1. 测量标准器及其他设备

1. 声源：在125 Hz~ 4000 Hz的频率范围内，30 min内声源声压稳定性一般不大于0.2 dB，声信号总失真不大于3 %。
2. 半消声室：截止频率不高于100 Hz。自由场半径大于2.0 m。
3. 测量传声器：满足JJG 1172-2019或JJG 175-2015 中对1级自由场工作标准传声器的要求。
4. 声分析仪：在125 Hz~ 4000 Hz的频率范围内，频率响应误差不应超过±0.2 dB；示值误差不应超过±0.2 dB。
5. 卷尺：量程不小于3 米，最大允许误差应不超过±0.1 mm。
6. 温度计：在校准环境条件内，最大允许误差应优于±0.2℃。
7. 测试项目和测试方法
   1. 测试项目

法向反射系数的测试项目见表1。

表3 测试项目一览表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 项目名称 | 计量特性要求的条款号 | 测试方法的条款号 |
| 1 | 法向反射系数 | 5.1 | 7.2.1 |

* 1. 测试方法
     1. 法向反射系数

7.2.1.1测试示意图参见图1。将声学材料铺满半消声室的反射面。声源距离半消声室的反射面1.2 米~2.2米，位于反射面的几何中心处，声传播方向与反射面垂直。测量半消声室中的空气温度*T*，按照公式（1）计算波数。

 （1）

式中：——声波的波数；

——声波的频率， Hz；

——声场环境中的温度，摄氏度。

7.2.1.2在声源和声学材料之间，沿着两者中心的连线分别布置测量传声器1和测量传声器2。测量传声器1与声学材料之间相距0.75 米，两个传声器之间相距0.2 米。声源产生声压级不低于65 dB的声信号，每个频带内的声信号声压级应比背景噪声高至少10 dB，声分析仪分别记录传声器1和传声器2的声压，计算得到传递函数。交换测量传声器1和2的位置，再次测量得到传递函数。传递函数按式（2）计算。

（2）

式中：——传声器交换位置前的传递函数；

——传声器交换位置后的传递函数；

——双传声器测量系统的传递函数。

7.2.1.3 已知声源球面波从传声器1到传声器2时衰减为，经过声学材料反射后到达传声器2时衰减为，反射波再次到达传声器1的衰减为。此处1>>>。

= （3）

= （4）

（5）

式中：——两个传声器之间的距离，m；

——声源声中心距离反射面的距离，m；

——传声器1到基准面的距离，m；

——声源球面波从传声器1到传声器2时的衰减系数；

——声源球面波经过声学材料反射后到达传声器2时衰减系数；

——声源球面波经过声学材料反射后到达传声器1时衰减系数。

根据两个传声器之间的距离和波数，由公式（6）、公式（7）计算得到，。

（6）

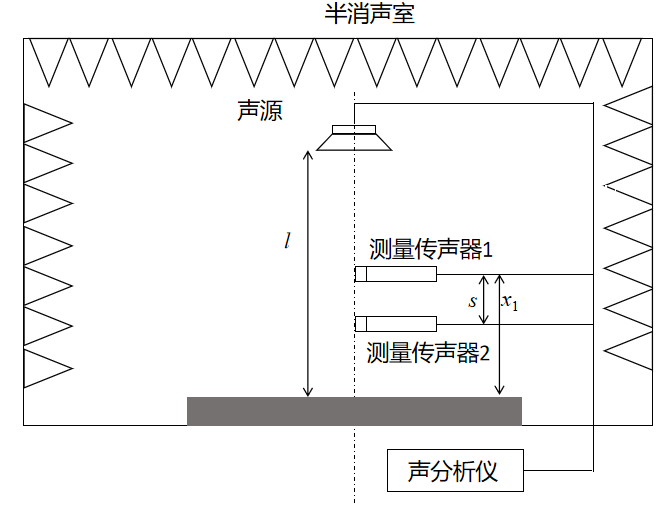
（7）

式中：——两个传声器之间的距离，m；

——入射波传递函数；

——反射波传递函数。

法向反射系数计算如式（8）：

图1 测试原理示意图

1. 测试结果的表达
   1. 测试数据处理

所有数据应先计算，后修约，出具校准结果的数据应修约至小数点后两位。

* 1. 测试结果的测量不确定度

声学材料法向反射系数的测量不确定度按JJF 1059.1的要求评定，不确定度评定的示例见附录B。

* 1. 测试证书

声学材料声压反射系数经过测试，出具测试证书，推荐的测试证书的内页格式见附录A。

附录A测试证书的内容和格式

A.1推荐的测试证书内页格式

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 证书编号 ×××××××  测试结果  一、测试环境：  温度：  二、法向反射系数   |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | 频率/ Hz | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | | 标称值 |  |  |  |  |  |  | | 法向反射系数 |  |  |  |  |  |  |   测量不确定度：  ——————————以下空白—————————— |

图A.1 测试证书内页的格式

附录B测量不确定度评定示例

本附录以500Hz法向反射系数的测量为例，说明声学材料法向反射系数的不确定度评定过程。

B.1 测量模型

声源发出声信号，沿着半消声室反射面法线方向入射，先经过传声器1和传声器2，经过反射后由传声器2和传声器1再次接收。

测量模型如式（1）所示。

= ,= ,

式中：——反射面的法向反射系数；

——双传声器测量系统的传递函数；

——复波数；

——两个传声器之间的距离，m；

——声源声中心距离反射面的距离，m；

——传声器1到基准面的距离，m；

——声源球面波从传声器1到传声器2时的衰减系数；

——声源球面波经过声学材料反射后到达传声器2时衰减系数；

——声源球面波经过声学材料反射后到达传声器1时衰减系数。

B.2 灵敏系数

将、、代入后得到：

各个测量量的灵敏系数分别为：

, , , , 。

B.3测量不确定度分量

1. 测量重复性

半消声室反射面法向反射系数的测量结果见表B.1，在相同条件下对同一消声室的反射面的法向反射系数重复测量6次，以其标准偏差作为测量重复性引入的测量不确定度分量。

**表B.1 法向反射系数的重复性测量结果**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **频率/Hz** | **测量序号** | | | | | | **平均值** | **标准偏差** |
| **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** |
| 500 | 0.9821 | 0.9516 | 1.0075 | 1.0897 | 0.9792 | 0.9723 | 0.9971 | 0.0488 |

1. 位置测量引入的不确定度分量

传声器位置测量误差由长度测量引入，记为±0.1 mm。考虑为均匀分布，传声器1测量引入标准不确定度为：

= 18.00940.0006=0.0011

传声器2位置测量引入的标准不确定度为：

=0.0011

声源位置测量误差主要由声中心估算偏差引入，记为±0.1m。考虑为均匀分布，引入的标准不确定度为：

138

三个位置测量不确定度分量不相关，因此位置测量引入的不确定度分量为：

139

1. 波数测量误差引入的不确定度分量

波数测量由频率和温度，按正文中式（1）计算得到。

波数对温度的偏导数为

数字式温度计的标准测量不确定度为0.1摄氏度，环境温度25.5摄氏度，500Hz下引入的不确定度分量为：

1. 传递函数测量误差引入的不确定度分量

传递函数测量由传声器和声分析仪的声压测量值计算得到，以0.3dB计算其引入的传递函数数值的相对不确定度为3.5%。本例中500Hz处，传递函数的模值为0.3475，传递函数的不确定分量为：

0.0239

B.4合成标准不确定度

法向反射系数的测量不确定度来源及标准不确定度数值汇总于表B.2中。由于表B.2中各测量不确定度分量互不相关，故500Hz处法向反射系数的合成标准不确定度见表B.2。

B.5扩展不确定度

取包含因子，则法向反射系数的扩展不确定度见表B.2。

**表B.2 法向反射系数的测量不确定度来源及数值**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 来源 | 符号 | 500 Hz |
| 1 | 测量重复性 |  | 0.0488 |
| 2 | 位置 |  | 0.0139 |
| 3 | 波数 |  | 0.0017 |
| 4 | 传递函数 |  | 0.0239 |
| 合成标准不确定度 | |  | 0.0561 |
| 合成相对不确定度 | |  | 6% |
| 扩展不确定度（*k*=2） | |  | 12% |

附录C测量理论背景

参考GB 18696.2 附录D的推导，加入声源的球面波修正，球面波声压与到声源的距离成反比。以声源球面波在传声器1处的声压为参考，从传声器1到传声器2时衰减为，经过声学材料反射后到达传声器2时衰减为，反射波再次到达传声器1的衰减为。

本标准的测量方法建立在这一事实基础之上，即法向反射系数可由在测试材料前两个传声器位置之间测得的传递函数确定。

入射声压 和反射声压分别可写为：

和

式中： ——基准面（）上的幅值；

——基准面（）上的幅值；

——复波数；

——声源声中心距离基准面的距离；

——声源声中心与基准面连线上的点到基准面的距离。

两个传声器位置上的声压和分别为：

，入射波的传递函数为：

式中：，是两个传声器之间的间距。

类似的， ， 反射波的传递函数为：

总声场的传递函数可由上式，并注意到而得到：

改写此式得到：

至此，基准面（）上声反射系数，可从测得的传递函数、距离和波数而确定。

注：重要的一点是，采用双传声器法时，传递函数要对传声器之间的相位失配和幅度失配作补偿。根据GB 18696.2附录E中误差来源分析，采用双传声器法时，传声器之间的相位失配误差时不可避免的，应予以补偿，可由7.2.1.2所述的方法实现。同时可能存在传声器灵敏度失配，可由7.2.1.2所述测量方法基本上得到校正。

球面波情况下，声源声中心到材料反射面之间的距离，在不同频率下均不相同，令其为。通过全消声室和半消声室测量，按以下方法估算同一声源不同频率下的声中心位置。

声源声中心到传声器1之间的距离为

如果已知反射系数为r，

令

可将上式展开为 。三次方程的解析解可以通过卡尔丹公式（Cardano’s formula）获得，实验中可直接用符号计算工具得到数值解。

半消声室吸声系数近似为0，反射系数为 = 1。根据7.2.1.1，由温度和频率计算出波数。根据7.2.1.2中在传声器1和传声器2测量得到的声压值可计算得到，利用上述数值可求得声源在各个频率上的声中心与传声器1之间的距离。