

混响室声学特性校准规范

1 范围

本规范适用于混响室声学特性的确定与评价。

2 引用文献

本规范引用下列文献

JJF 1001—1998 《通用计量术语及定义》

JJF 1059—1999 《测量不确定度评定和表示》

JJG 188—2002 《声级计》

JJG 607—2003 《声频信号发生器》

GB/T 3102.7—1993 《声学的量和单位》

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 6881.1—2002 《声学 声压法测定噪声源声功率级 混响室精密法》

GBJ 47—1983 《混响室法吸声系数测量规范》

使用本规范时，应注意使用上述引用文献的现行有效版本。

3 术语和计量单位

本规范采用 JJF 1001—1998 中有关的术语和定义以及 GB/T 3102.7—1993 中规定的量和单位。

4 概述

混响室是混响时间长、声场尽量扩散的房间。混响室常用于噪声声功率精密法测定、材料吸声测试、电声器件的扩散声场特性测量等。混响室主要声学特性有混响时间、声压的均匀性、本底噪声、频率响应的离散程度。按本校准规范测量时，如果混响室装有旋转或振动扩散体，应处于正常运行状态。

5 计量特性

5.1 混响室的混响时间

混响室测量频率范围内，每个 1/3 倍频程的混响时间 T_{60} 。在数值上一般大于 V 比 S ：

$$T_{60} > V/S \quad (1)$$

式中： T_{60} ——混响时间，声音已达到稳态后停止声源，平均声能密度自原始值衰变到其百万分之一（60dB）所需要的时间，单位为秒，s；

V ——混响室有效容积， m^3 ；

S ——混响室内总表面积， m^2 。

5.2 混响室本底噪声

混响室测量频率范围内，所有频带的本底噪声应比该混响室所设计测量噪声的下限声压级一般至少低 12dB。

5.3 混响室声压的均匀性

对用于噪声源声功率级精密测量的混响室，在混响室测量频率范围内，用标准声源校准混响室声压级的均匀性，其声压级均匀性用室内声压级的标准偏差表示，参见表 1。

表 1 混响室室内声压的标准偏差最低要求

1/3 倍频程频率/Hz	标准偏差/dB
100~315	$S_m \leq 3$
≥ 400	$S_m \leq 1.5$

注：以上混响室声学特性的技术要求仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

环境温度：(5~40)℃；

相对湿度：(20~90)%；

气压：(80~106) kPa。

6.2 标准器及其他设备

6.2.1 标准声源

应满足 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》。

6.2.2 测量放大器

测量放大器应满足 JJG 188—2002《声级计检定规程》1 级要求，且应具有 10s 和 30s 平均时间功能。

6.2.3 倍频程和分数倍频程滤波器

应满足 GB/T 3241—1998《倍频程和分数倍频程滤波器》1 级要求。

6.2.4 声频信号发生器

能够产生表 A.1 给出的频率和容差的一个或多个正弦信号，并且在(80~3000) Hz

频率范围内频率稳定度在 $\pm 0.1\text{Hz}$ 之内，总谐波失真小于 0.1% 。其他技术指标应满足JJG 607—2003《声频信号发生器》要求。

6.2.5 混响时间测量装置

声级测量部分，倍频程和分数倍频程滤波器部分，声频信号发生器部分应分别满足6.2.2、6.2.3、6.2.4条要求。混响时间测量范围（1~20）s，用已知衰减斜率的电信号校准混响时间的测量误差应不超过 $\pm 5\%$ 。

6.2.6 电压表

电压表的最大允差应优于 $\pm 1\%$ 。

6.2.7 频率计

频率计在所需频率上的最大允差为 1×10^{-5} 。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

混响室声学特性的校准项目见表2。

表2 混响室声学特性校准项目一览表

序 号	项 目 名 称
1	混响时间
2	本底噪声
3	室内声压均匀性

7.2 校准方法

7.2.1 混响室描述

混响室在设计建成后应有包括名称、设计者、建造者、建成时间的明确标识。混响室还应给出以下明确信息：

- a) 混响室容积（容积决定混响室测量频率下限，见表3）；
- b) 混响室内总表面积；
- c) 扩散体的描述及数量；
- d) 适用的范围。

表3 作为所考虑最低频带函数的测试室最小容积

最低的 1/3 倍频程中心频率/Hz	混响室最小容积/ m^2
100	200
125	150
160	100
200 及更高	70

7.2.2 混响时间

7.2.2.1 测量仪器的连接如图 1。

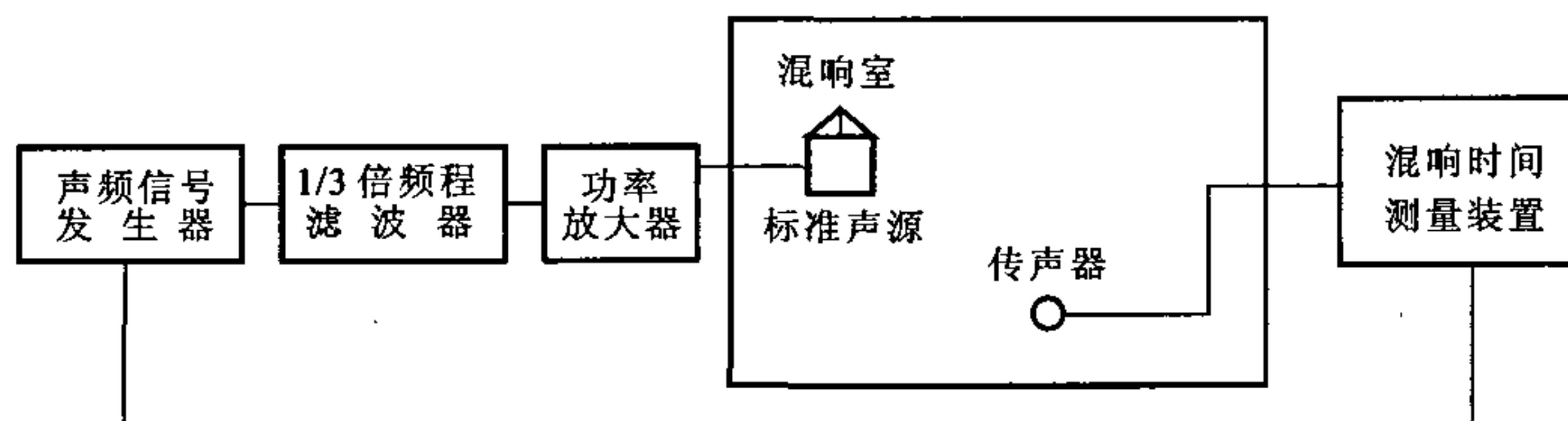


图 1 混响时间测量框图

7.2.2.2 混响室的混响时间测量频率范围，根据混响室的容积由表 3 确定测量频率下限，由频率下限开始按 1/3 倍频程步进，测量至 8000Hz 中心频率。

7.2.2.3 音频信号发生器输出粉红噪声信号，通过 1/3 倍频程带通滤波器变为窄带噪声，经功率放大器输出到无指向性声源（标准声源）在混响室内发声，混响时间测量装置控制音频信号发生器用突然中断法进行混响时间测量。混响时间测量装置如带有 1/3 倍频程带通滤波器，则直接用粉红噪声激励混响室完成混响时间测量，当用粉红噪声测量的混响时间与窄带噪声测量的值有差异时，应以窄带噪声测量的值为准。

7.2.2.4 混响时间的测量应至少有四个测点，每个测点之间的距离大于所测频段最低中心频率的波长 (λ) 的 1/2。每个传声器测点都应远离声源、被测试件和边界面（包括扩散板），这些距离的最小值应分别为：2m, 1m, 1m。

7.2.2.5 混响时间测量装置记录计算混响时间的衰变曲线，应在稳态声级以下（5~25）dB 范围内近似成直线。混响时间应为该线段之平均斜率。所取线段的底端应比本底噪声至少高 15dB。

7.2.2.6 每个传声器的测点应做 3 次以上测量，取平均值。

7.2.2.7 声源位置至少改变 2 次，并重复上述测量。

7.2.2.8 每个 1/3 倍频程的混响时间应是以上至少十二测量点的平均值。

7.2.3 混响室本底噪声

7.2.3.1 仪器的连接如图 2。

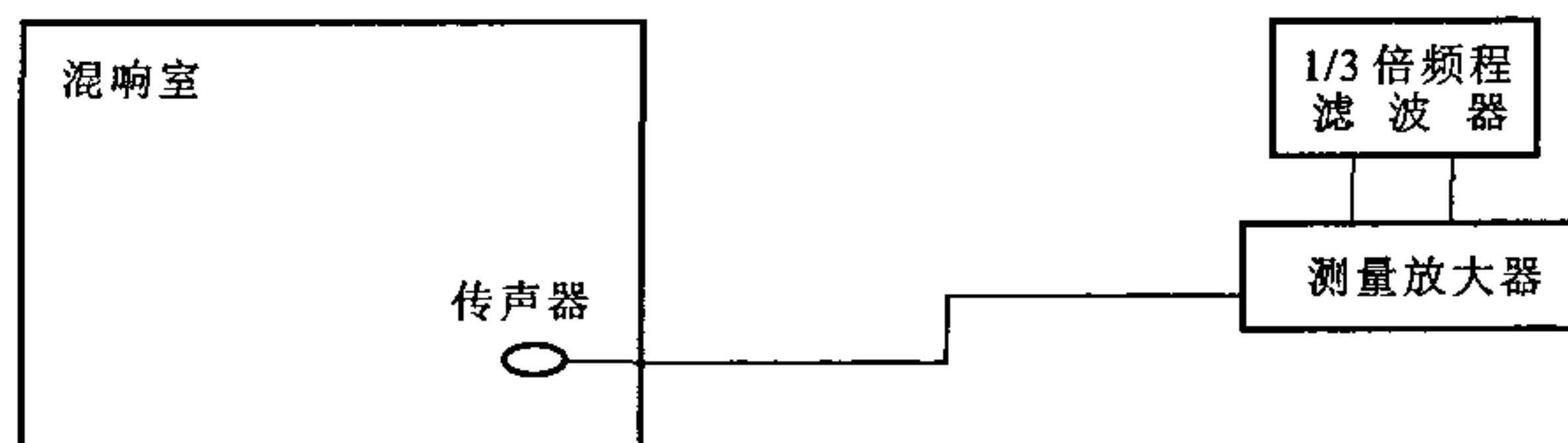


图 2 混响室本底噪声测量框图

7.2.3.2 混响室的本底噪声频率范围，同 7.2.2.2。

7.2.3.3 本底噪声的测量传声器的测点同 7.2.2.4。

7.2.3.4 每个 1/3 倍频程的本底噪声应是以上测量点的平均值。

7.2.4 混响室室内声压的均匀性

7.2.4.1 仪器的连接如图 3

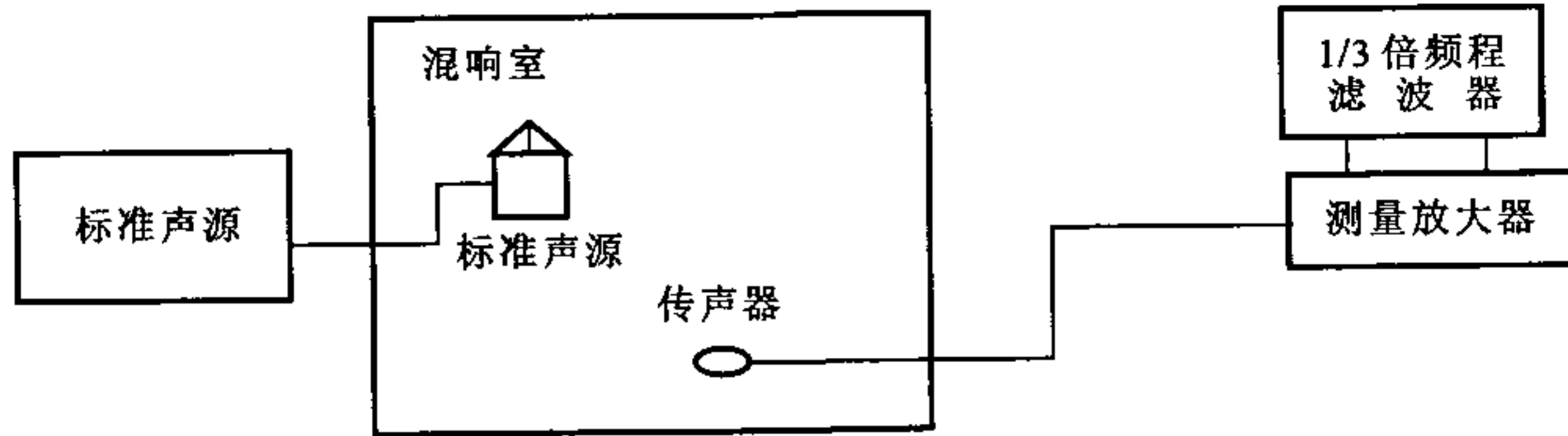


图 3 混响室内声压的均匀性测量框图

7.2.4.2 混响室声压测量的频率范围同 7.2.2.2。声源放置于地板上，距其他反射面的距离至少为 1.5m，且声源应避免放置在混响室的几何中心。标准声源输出宽带白噪声，如果混响室使用了旋转或振动扩散体，则扩散体应在运行状态中。

7.2.4.3 选择六个传声器位置作标准偏差的估计，每个测点之间的距离大于所测频段最低中心频率的波长 (λ) 的 1/2，每个测点都应远离界面（包括扩散板），距离最小为 1m。传声器测点与声源的最小距离对每个所考虑的频率不小于

$$d_{\min} = 0.08 \sqrt{V/T_{\text{rev}}} \quad (2)$$

式中： d_{\min} ——声源与传声器间的最小距离，m；

V ——混响室容积，m³；

T_{rev} ——对应频率的混响时间，s。

7.2.4.4 每个传声器测点测量 7.2.2.2 频率范围内各个 1/3 倍频程的时间平均声压级，对中心频率等于和低于 160Hz 的频带，测量平均时间至少 30s，对中心频率等于和高于 200Hz 的频带，测量平均时间至少 10s。

7.2.4.5 从用 7.2.4.4 条测得的 1/3 倍频程声压级，可由式 (3) 确定每个频带的标准偏差。混响室声压的均匀性用本条款标准偏差表示。

$$s_M = \left[\sum_{i=1}^{N_M} (L_{pi} - L_{pm})^2 / (N_M - 1) \right]^{1/2} \quad (3)$$

式中： s_M ——六个传声器测点声压级的标准偏差，dB；

L_{pi} ——第 i 个传声器测点的时间平均声压级，dB；

L_{pm} ——六个传声器测点测得声压级的算术平均值；

$$N_M = 6$$

7.2.4.6 声源位置至少改变两次，每个声源位置的距离至少大于 $\lambda/4$ ， λ 是房间最低频带的中心频率的波长。并重复上述 7.2.4.2 至 7.2.4.5 条的测量及计算标准偏差。

8 校准结果的表达

8.1 校准证书

混响室经校准后发给校准证书，校准证书应包括的信息及推荐的校准证书内页格式见附录 B。

8.2 校准结果不确定度的评定

混响室混响时间的测量结果不确定度按 JJF 1059—1999 的要求评定，不确定度评定的实例见附录 C。

9 复校时间间隔

混响室声学特性复校时间间隔建议为五年。但存在下述情况时混响室需重新校准，混响室任一反射面（包括地面）反射情况改变，扩散体数量及角度进行了调整。

附录 A

用于离散频率成分测量的混响室评价方法

A.1 概述

混响室用于测量离散频率成分或窄带声源时可用本附录的方法测量与评价。本附录用于评价混响室指定频带内频率响应的离散程度，该离散程度用指定频带内频率响应标准偏差表示。各指定频带内测量频率见表 A.1，混响室用于测量离散频率声或窄带声时其最大允许标准偏差见表 A.2。

表 A.1 混响室测量离散频率声或窄带声性能的各 1/3 倍频程内测量频率

	—	—	147	—	—	—	361	—	—	—	—	—	1470	—	—
	—	113	148	—	226	—	364	—	—	—	—	1130	1480	—	2260
	—	114	149	—	228	—	367	445	564	712	—	1140	1490	—	2280
	90	115	150	181	230	285	370	450	570	720	900	1150	1500	1800	2300
	91	116	151	182	232	288	373	455	576	728	910	1160	1510	1820	2320
	92	117	152	184	234	291	376	460	582	736	920	1170	1520	1840	2340
下行测量 频率/Hz	93	118	153	186	236	294	379	465	588	744	930	1180	1530	1860	2360
	94	119	154	188	238	297	382	470	594	752	940	1190	1540	1880	2380
	95	120	155	190	240	300	385	475	600	760	950	1200	1550	1900	2400
	96	121	156	192	242	303	388	480	606	768	960	1210	1560	1920	2420
	97	122	157	194	244	306	391	485	612	776	970	1220	1570	1940	2440
	98	123	158	196	246	309	394	490	618	784	980	1230	1580	1960	2460
	99	124	159	198	248	312	397	495	624	792	990	1240	1590	1980	2480
1/3 倍频程 中心频率/Hz	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500

表 A.1 (续)

上行测量 频率/Hz	101	126	161	202	252	318	403	505	636	808	1010	1260	1610	2020	2520
	102	127	162	204	254	321	406	510	642	816	1020	1270	1620	2040	2540
	103	128	163	206	256	324	409	515	648	824	1030	1280	1630	2060	2560
	104	129	164	208	258	327	412	520	654	832	1040	1290	1640	2080	2580
	105	130	165	210	260	330	415	525	660	840	1050	1300	1650	2100	2600
	106	131	166	212	262	333	418	530	666	848	1060	1310	1660	2120	2620
	107	132	167	214	264	336	421	535	672	856	1070	1320	1670	2140	2640
	108	133	168	216	266	339	424	540	678	864	1080	1330	1680	2160	2660
	109	134	169	218	268	342	427	545	684	872	1090	1340	1690	2180	2680
	110	135	170	220	270	345	430	550	690	880	1100	1350	1700	2200	2700
	111	136	171	222	272	348	433	555	696	888	1110	1360	1710	2220	2720
	—	137	172	—	274	—	436	—	702	—	—	1370	1720	—	2740
—	138	173	—	276	—	439	—	—	—	—	1380	1730	—	2760	
增量/Hz	1	1	1	2	2	3	3	5	6	8	10	10	10	20	20
增量的容差/Hz	±0.3	±0.3	±0.3	±0.5	±0.5	±1	±1	±1.5	±2	±3	±3	±5	±5	±5	±5
测试频率数 (N_f)	22	26	27	22	26	22	27	23	24	23	22	26	27	22	26

注：需测量的频率范围由混响室容积限制频率下限至 2500Hz，频率下限见表 3。

表 A.2 最大允许采样标准偏差 s_f

1/3 倍频程中心频率/Hz	最大允许标准偏差/dB
100~160	3.0
200~315	2.0
400~630	1.5
800~2500	1.0

A.2 扬声器选择

选直径 200mm 或较小的闭箱扬声器。扬声器测试可以在消声室和半消声室进行，用于驱动扬声器的功放具有适配于扬声器电阻抗的输出阻抗，并且有足够的功率容量。如果是在半消声扬声器进行测试，扬声器应背对半消声室硬的反射地面锥面向上。仪器连接和图 A.1 相同。扬声器的恒定输入电压应合适，即避免过大产生畸变，又要保证在混响室测量中有足够的信噪比。将一个用于混响室声学特性测量中相同厂家相同型号的传声器，膜片水平同轴地置于扬声器边缘平面的上方距离 10mm 和 20mm 处测量声压。使用测量混响室用相同声级测量仪器和频率分析仪器在表 A.1 所示测试频率测量点记录声压级。

应注意扬声器测试是用近场测量来得到扬声器的频率响应，这是基于小型单极源的近场声压级与声功率级的关系基本上与频率无关，因为被视为这种声源的声导纳的实部基本上与频率无关。

只有相邻频率的声压级的差异不超过 1dB 的扬声器是适用的，当一个扬声器不能满足整个频段（100~2500）Hz 时，可以考虑分频段选用扬声器。

A.3 测量步骤

A.3.1 测量方框图如图 A.1。各 1/3 倍频程内测量频率见表 A.1。

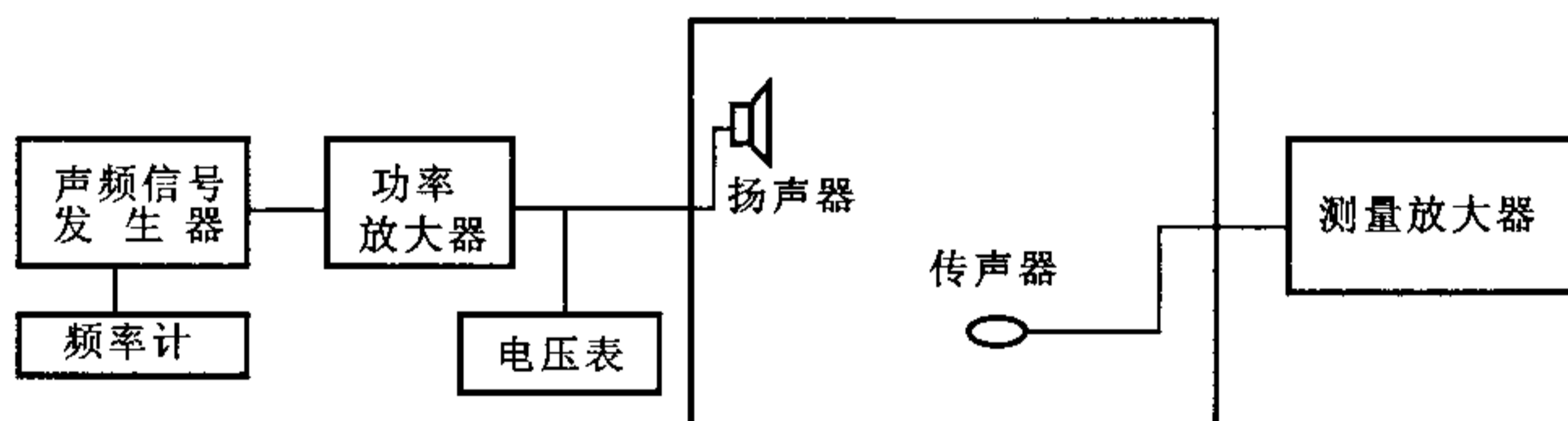


图 A.1 用于离散频率声或窄带声测量混响室测量框图

A.3.2 在声源位置处（包括水平和垂直坐标）放置 A.2 测试过的扬声器，扬声器锥面背向最近的表面（包括地面）。扬声器的输入电压与扬声器测试时相同（见 A.2）。如果混响室使用了旋转或振动扩散体，应处于正常运行状态。

A.3.3 按 7.2.4.3 布置六个测点，调节音频信号发生器，对表 A.1 所列频率测量声压级，测量时每组测量频率变化不超过 $\pm 0.1\text{Hz}$ 。从上述得到的混响室每个频率的平均声压级减去从 A.2 得到的扬声器对应频率的声压级，来消除扬声器频率响应的影响而得到修正的声压级 L_{pi} 。对每个 1/3 倍频程，计算修正过的混响室声压级的算术平均值 L_{pm} ，用修正过的各测试频率点声压级与 1/3 倍频程内平均声压级之差按式 (A.1) 算得标准偏差 s_f ：

$$s_f = \left[\sum_{i=1}^{N_f} (L_{pi} - L_{pm})^2 / (N_f - 1) \right]^{1/2} \quad (\text{A.1})$$

式中： s_f ——频带声压级的标准偏差，dB；

L_{pi} ——扬声器源在第 i 个测试频率激发时测试室产生的平均声压级（对扬声器响应作过修正），dB；

L_{pm} ——在给定 1/3 倍频程内对所有 N_f 个测试频率平均的 L_{pi} 的算术平均值，dB；

N_f ——在给定 1/3 倍频程内测试频率的个数。

对每个特定的 1/3 倍频程，计算出的标准偏差不超过表 A.2 给出的限值。

附录 B

校准证书内容

B.1 校准证书至少应包括以下信息：

- a) 标题，如“校准证书”；
- b) 证书的编号、页码及总页数；
- c) 校准实验室的名称和地址；
- d) 进行校准的日期；
- e) 进行校准的地点（如果不在实验室内进行校准）；
- f) 送检单位的名称及地址；
- g) 被校混响室的描述和明确标识；
- h) 校准所依据的技术规范的名称和代号；
- i) 校准所使用计量标准的名称、技术参数及有效期；
- j) 校准时的环境条件；
- k) 校准结果；
- l) 校准结果的测量不确定度；
- m) 复校时间间隔的建议；
- n) 校准人签名、核验人签名、批准人签名；
- o) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- p) 未经校准实验室书面批准，不得部分复制校准证书的声明。

B.2 推荐的混响室声学特性校准证书的内页格式见表 B.1。

表 B.1 校准证书的内页格式

校准结果

共 页 第 页

一、混响室的混响时间：

频率/Hz	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800
混响时间/s										
频率/Hz	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000
混响时间/s										

二、混响室本底噪声：

频率/Hz	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800
本底噪声/dB										
频率/Hz	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000
本底噪声/dB										

三、混响室声压的均匀性：

1/3 倍频程中心 频率/Hz	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800
标准偏差 s_M /dB										
1/3 倍频程中心 频率/Hz	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000
标准偏差 s_M /dB										

校准环境条件：

温度：_____℃；相对湿度：_____ %RH；气压：_____ kPa。

校准依据：JJF 1143—2006 《混响室声学特性校准规范》

测量结果不确定度：

使用的测量仪器名称：

说明：

附录 C

混响室混响时间测量结果的不确定度分析

C.1 测量方法

本规范对混响室混响时间的测量，主要是对混响室施加一宽带粉红噪声或窄带噪声激励，然后用突然中断法直接测量混响时间。现以中频 500Hz 测量点为例分析混响室混响时间的测量结果的不确定度。

C.2 数学模型

$$T_{60} = T + \delta \quad (\text{C.1})$$

式中： T_{60} ——混响室混响时间测量结果，s；

T ——混响室理论混响时间，s；

δ ——测量误差，s。

C.3 方差及灵敏系数

由于 $f(\delta, T)$ 中的 δ 、 T 相互独立，所以方差为

$$u_c^2(T_{60}) = c_1^2 u_c^2(T) + c_2^2 u_c^2(\delta) \quad (\text{C.2})$$

式中灵敏度系数为

$$c_1 = \frac{\partial T_{60}}{\partial (T)} = 1$$

$$c_2 = \frac{\partial T_{60}}{\partial (\delta)} = 1$$

(C.2) 中由于 $c_1^2 u_c^2(T) = 0$ ，以下仅对第二项进行分析。

C.4 A类标准不确定度的评定

在相同的测量条件下，对同一混响室独立测量 12 次，计算标准差得到测量数据见表 C.1。

表 C.1

测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
测量值/s	7.41	7.41	7.40	7.46	7.82	7.14	7.26	6.87	7.64	7.18	7.05	7.27

平均值 = 7.33 s 标准差： $u_1 = s_1 = 0.257$ (s)

C.5 B类标准不确定度的评定

C.5.1 混响时间测量装置引入的标准不确定度分量 u_2

混响时间测量装置校准后得测量不确定度为 5%， $k=2$ ，本次测量平均值为 7.33s，

则

$$u_2 = 5\% \times 7.33/2 = 0.18 \text{ (s)}$$

C.5.2 混响时间测量时扩散场电容传声器声压灵敏度线性误差引入的标准不确定度分量 u_3 。

混响时间测量装置是通过测量声压级的衰减时间而计算混响时间，本测量装置电容传声器灵敏度线性误差优于 $\pm 0.2\text{dB}$ ，按均匀分布估计，取 $k = \sqrt{3}$ ，混响时间测量装置测量混响时间一般只测量 (20~40) dB 的衰减，再推算 60dB 的混响时间，显然 20dB 方式推算的混响时间，传声器灵敏度线性误差引入的不确定度最大，本次测量平均值为 7.33s，此分量引入混响时间的极限误差 = $(0.2/20) \times 7.33\text{s}$

所以信号突然中断后混响信号的级线性误差引入的标准不确定度分量 u_3 ：

$$u_3 = (0.2/20) \times 7.33/\sqrt{3} = 0.05 \text{ (s)}$$

C.5.3 混响时间测量装置分辨力引入的标准不确定度分量 u_4

混响时间测量装置分辨力为 0.01s，按均匀分布估计，取 $k = \sqrt{3}$ ，则混响时间测量装置分辨力引入的标准不确定度分量 u_4 ：

$$u_4 = 0.01/\sqrt{3} = 0.006 \text{ (s)}$$

C.6 合成标准不确定度

以上分量独立无关，可以直接进行合成。

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2} \approx 0.32\text{s}$$

C.7 扩展不确定度

取包含因子 $k = 2$ ，则扩展不确定度：

$$U = ku_c = 2 \times 0.32 = 0.64 \text{ (s)}$$

C.8 相对扩展不确定度

$$U_r = \frac{0.64}{7.33} \times 100\% = 8.7\%$$