

## 厅堂声学测量中不同激励声源的比较

孟子厚<sup>†</sup>

(中国传媒大学传播声学研究所 北京 100024)

**摘要** 基于脉冲响应积分的音乐厅和剧院观众厅声学特性的测量目前有三种使用不同激励声源的测试方法: 人工脉冲声源、伪随机噪声序列 (MLS)、以及用正弦扫频信号。这些技术各有其优缺点, 在实际应用中为了方便根据具体情况选择不同的激励声源, 通过在一个音乐厅现场的实测数据比较了三种声源的实测结果, 发现对混响时间测量三种不同的激励声源给出的结果基本一致, 但是对明晰度和一些其他的指标, 脉冲声源给出的结果与用 MLS 和扫频信号给出的结果有较明显的差别。对实际中如何选择具体的技术也做了建议。

**关键词** 音乐厅, 声学测量, 脉冲声源, 伪随机噪声, 扫频信号

## Comparison of acoustic measurements with different sound sources in a concert hall

MENG Zi-Hou

(Communication Acoustics Laboratory, Communication University of China, Beijing 100024)

**Abstract** There are three types of sound source for acoustic test in theater and concert hall for the integration of sound impulse response. The sound sources used are the true impulse source, the pseudo random white noise and the sine sweep signal. These techniques are compared, based on our measured data in a multi-purpose concert theater. It was observed that for the reverberation time, the results are the same for the three techniques. But for the clarity and other parameters, the result given by the true impulse source is different from that given by LMS and the sine sweep techniques. Suggestion is made for selecting which of the test techniques.

**Key words** Concert Hall, Acoustic Measurement, Impulse Sound Source, Pseudo Random Noise, Sine Sweep Signal

2003-09-26 收稿; 2004-11-04 定稿

作者简介: 孟子厚 (1962-), 1993 年同济大学声学所获博士学位, 现任职于中国传媒大学 (北京广播学院) 传播声学研究所。研究员, 主要从事音乐环境声学, 声信号与声场信息处理研究。

<sup>†</sup> 通讯联系人 Email: mzh@cuc.edu.cn

## 1 引言

自从 Schroeder 提出基于室内冲击响应函数的反向积分来计算室内能量衰减的方法后<sup>[1]</sup>, 随着数字信号处理技术的进步, 目前室内声学特性的测量基本上倾向于采取通过室内冲击响应函数来计算的方法。这种方法已经作为通用的方法在国际标准中做了规定<sup>[2]</sup>。

虽然用室内冲击响应函数来计算室内声学参数已经得到一致的认可, 但是如何获得室内冲击响应函数却有着不同的技术, 这些不同技术的区别反映在所采用的声源和后续的信号处理技术上。目前比较实用的方法有三类:

(1) 声源采用真实的脉冲声源, 如气球爆破、发令枪、夹板发声、电火花等。对测量点处测得的信号直接进行积分运算, 计算各类声学参数。这种方法用开路测量, 而且不要求对信号做实时处理;

(2) 声源用多面体全指向性扬声器, 激励信号为伪随机噪声 (MLS), 对测得的信号用激励信号做同步信号进行 Hademada 变换求得冲击响应函数<sup>[3]</sup>。然后根据此冲击响应函数计算室内声学参数。由于此种方法对系统噪声和误差特别敏感, 所以一般要求闭路测量实时处理;

(3) 声源用多面体全指向性扬声器, 激励信号为正弦扫频信号, 用激励信号的反转信号对测得的信号做卷积而得到冲击响应函数<sup>[4,5]</sup>, 然后根据此冲击响应函数计算室内声学参数。这种方法可以开路测量, 也可以闭路测量, 而且并不一定要求对信号进行实时处理。

从系统的组成和信号处理方法的不同来看, 这些方法各有其优缺点, 但是对室内声学测量更有意义的问题是: 不同的声源和测试方法对同一个声场是否会给出一致的结果。Fausti 和 Farina 曾经对不同测试技术的优缺点做过一个试验比较<sup>[6]</sup>, 虽然他们对不同技术测量同一声场的一致性也做过一个初步的评述, 但对不同声源的影响的评述并不十分明确, 由这个初步的评述来确定和选择实际测量时用何种技术

仍然不是十分有把握。

为了考察采用不同的激励声源对同一声场进行测量时所可能产生的误差, 本文在一个音乐厅内用三种不同的声源对室内声学参数进行了测量, 并对测试结果进行了比较。这项工作 是作者曾经承担的一个大型音乐厅声学测量工作的一部分前期工作, 其目的是对在正式测量工作中如何选择测试方法提供依据, 并验证在音乐厅的调试阶段中用不同的测试技术所测得的声学参数的可靠性。

## 2 测试系统

在此项工作中我们使用了一套多通道的室内声学测量系统, 这套系统由以下设备组成:

- 多面体全指向性扬声器; 声功率放大器;
- 测量传声器; Millennia HV-3D 8-通道传声放大器;
- Layla24 8-通道 AD/DA 转换器; HP 便携式电脑;
- Cool Edit Pro 2.0 录音编辑软件; Aurora 声学参数计算软件。

数据处理和参数计算是在实验室用 Cool Edit, Aurora 实现的。Aurora 具有生成伪随机噪声、扫频信号的功能, 也具有对这些信号进行后续处理的功能。所以这里所要比较的使用三种不同声源的测量方法都是以 Aurora 为基本的数据处理和运算平台的。所采用的真实脉冲声源为气球爆破声, 因为安全原因发令枪和电火花在现场不允许使用, 并且它们的声音强度在大的厅堂里显得太弱, 低频信噪比不够。

试验是在一大型的多功能音乐厅里进行的, 这个音乐厅有三层挑台, 舞台口的上方设置有控制舞台声学条件和挑台上早期反射声的声学反射板。测量点有四个, 两个点布置在正厅, 另两个点分别布置在第一层和第三层挑台。声源的位置选择在靠近指挥台的第一小提琴的位置上。试验为空场测量, 舞台上按音乐会的配

置有乐队座椅、乐谱架、钢琴以及一些大型的打击乐器。

试验时, 每种声源重复试验多次, 在每个测点上测得的数据, 经过数据处理后所得到的声学参数进行平均作为在此测点上用特定声源测得的声学参数。对应于每种特定的声源, 将四个测点上的平均结果再进行空间平均, 得到的空间平均的声学参数作为反映此厅堂的声学参数, 虽然按 ISO 的标准, 测点的数目作为反映大厅整体的声学特性来说过少, 但是作为比较不同的测试方法和激励声源所产生的差别来说, 在不同的位置上所布置的四个测点应该是可以的。

进行比较的主要参数有明晰度  $C_{50}$ 、 $C_{80}$ , 早期衰减时间 EDT, 以及混响时间  $T_{10}$ 、 $T_{20}$ 、 $T_{30}$ 。其它的反映侧向反射声的参数因为强烈

依赖于测点的位置, 所以只做了初步的考察, 并不用来作为主要的比较参数。

### 3 测试结果比较

表 1、表 2、表 3 分别是用三种不同的激励声源和信号处理方法得到的被测厅堂的平均声学参数。表 1 是用气球爆破声做为真实的冲击声源由 Aurora 直接计算得到的平均声学参数。表 2 是用伪随机噪声 (MLS) 激励多面体全指向性扬声器, 首先对实测的信号进行变换求得脉冲响应函数, 然后由此脉冲响应函数计算得到的平均声学参数。表 3 是用正弦扫频信号激励全指向性扬声器, 对实测信号解卷积求得脉冲响应函数, 然后由此函数计算得到的平均声学参数。

表 1 用气球爆破声做为真实脉冲声源时测得的平均声学参数

Freq.	[Hz]	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz
$C_{50}$	[dB]	-5.13	-6.43	-5.14	-3.52	-0.33	0.04	0.48	4.08
$C_{80}$	[dB]	-2.04	-2.73	-2.07	-0.47	1.46	2.28	2.88	6.43
EDT	[s]	2.07	1.81	1.53	1.57	1.66	1.64	1.39	0.91
$T_{10}$	[s]	3.48	2.17	1.93	1.83	1.89	1.76	1.64	1.13
$T_{20}$	[s]		2.18	2.06	1.94	1.92	1.84	1.64	1.16
$T_{30}$	[s]		2.10	1.99	2.00	1.94	1.89	1.65	1.18

表 2 用伪随机噪声 (MLS) 激励全指向性扬声器时测得的平均参数

Freq.	[Hz]	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz
$C_{50}$	[dB]	-2.00	-5.78	-1.90	-1.60	-1.44	-1.45	0.86	1.81
$C_{80}$	[dB]	0.22	-2.78	-0.04	0.32	0.99	1.14	3.34	4.74
EDT	[s]	1.34	1.79	1.81	1.69	1.69	1.63	1.35	0.92
$T_{10}$	[s]	1.38	2.03	1.95	1.87	1.97	1.79	1.56	0.99
$T_{20}$	[s]		2.14	1.92	1.94	1.92	1.82	1.61	1.10
$T_{30}$	[s]		2.22	2.01	1.99	1.94	1.87	1.65	1.16

表 3 用正弦扫频信号激励全指向性扬声器时测得的平均参数

Freq.	[Hz]	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz
$C_{50}$	[dB]	-1.86	-5.29	-2.24	-1.71	-1.27	-1.35	0.46	1.62
$C_{80}$	[dB]	0.58	-2.64	-0.26	0.29	1.21	1.19	2.98	4.35
EDT	[s]	1.62	1.81	1.81	1.72	1.69	1.64	1.40	0.96
$T_{10}$	[s]	2.32	1.95	2.00	1.84	2.01	1.81	1.62	1.06
$T_{20}$	[s]	2.81	2.12	1.95	1.93	1.93	1.86	1.66	1.15
$T_{30}$	[s]	2.16	2.19	2.02	1.97	1.93	1.89	1.70	1.17

图1到图3给出了用三种不同的声源所测得的主要声学参数的比较。图1是明晰度  $C_{80}$  的比较; 图2是早期延迟时间 EDT 的比较; 图3是混响时间  $T_{30}$  的比较。

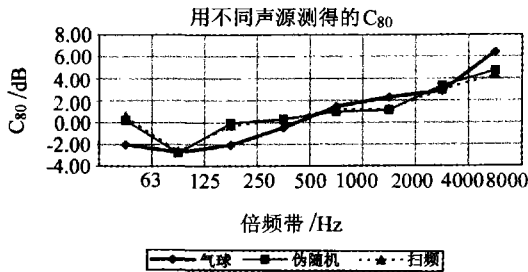


图1 用不同声源所测得的明晰度  $C_{80}$  的比较

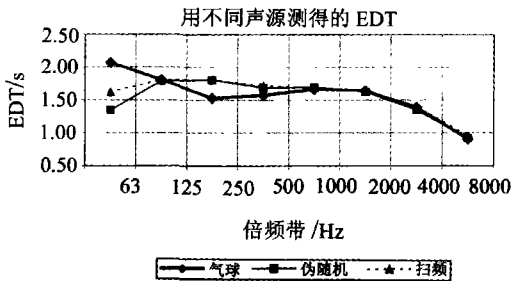


图2 用不同声源所测得的早期衰减时间 EDT 的比较

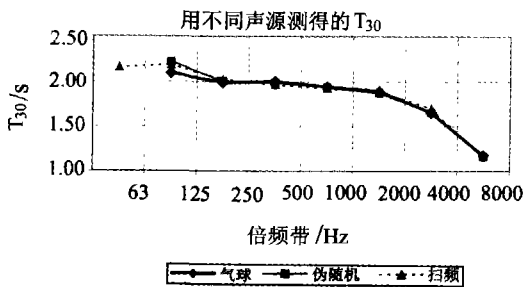


图3 用不同声源所测得的混响时间  $T_{30}$  的比较

通过对以上图表以及所测得的原始信号的比较和观察, 可以发现以下的现象:

(1) 对时间参数 EDT 和  $T_{XX}$  来说, 用伪随机噪声源和正弦扫频声源所测得的结果是一致的, 可以说基本上没有差别;

(2) 用气球爆破声做为真实脉冲声源所测得的时间参数 EDT 和  $T_{XX}$  在中高频段与用

其它两种方法测得的结果是一致的, 但是在低频端有可以观察到的差别, 这种差别可能是由气球爆破声的低频信噪比不够引起的, 也可能是由气球爆破声在低频端的指向性不均匀所引起的;

(3) 对明晰度  $C_{50}$  和  $C_{80}$  来说, 用伪随机噪声源和正弦扫频声源所测得的结果是一致的, 但是它们与用气球爆破声源所测得的结果有不可忽视的差别。这种差别可能是由气球爆破声源与多面体全指向性扬声器的指向性不同所引起的;

在试验中还观察到由气球爆破做为真实脉冲声源所测得的空间声学参数 (IACC、LF 等) 也与用多面体全指向性扬声器做为声源所测得的空间声学参数有不可忽视的差别。虽然伪随机噪声源和扫频声源所给出的测试结果是一致的, 但在相同的激励信号的长度下, 扫频声源所给出的结果要比伪随机噪声源所给出的结果来得好, 因为它更稳定并有较好的信噪比。

#### 4 小结

本文对采用不同的激励声源测量厅堂声学参数的结果做了对比分析。从对比分析的结果可以认为, 在实际测量中, 如果只关心混响时间, 则用气球爆破声等真实脉冲声源做为激励声源就可以了。采用真实脉冲声源的好处是比较简单易行, 在现场不一定需要复杂的设备, 受现场供电条件等因素的制约很小。但是如果测量明晰度和其它的空间听觉的参数, 则建议使用由正弦扫频信号激励的全指向性多面体扬声器做为激励声源, 在采用正弦扫频信号时要注意扬声器的畸变和数字处理设备采样率的失配所引起的误差。

本文只讨论了不同的声源和信号处理技术在测量常规的厅堂声学参数时所具有的差别, 这些参数都是通过所测得的厅堂的脉冲响应函数在不同的倍频带内计算得到的。厅堂冲击响应函数的另一个应用是通过把干的音乐信号与

厅堂的脉冲响应函数卷积来模拟厅堂的音质, 由於不同的激励声源和后续处理技术的频响几乎都是不一样的, 所得到的实际的脉冲响应函数也肯定不一样, 因而对音质的模拟效果也不一样。不同激励声源和信号处理技术所测得的脉冲响应函数对音质模拟的效果差别到底如何, 这个问题还需要进一步的听觉试验的对比分析。

### 参 考 文 献

1 Schroeder M R. *J. Acoust. Soc. Am.*, 1965, 37:409~412.

- 2 ISO 3382, Acoustics-Measurement of the Reverberation Time of Rooms with Reference to Other Acoustical Parameters, International Organization for Standardization 1997.
- 3 Chu W T. *Applied Acoustics*, 1990, 29: 193~205.
- 4 Poletti M A. *J. Acoust. Soc. Am.*, 1988, 36(6):457.
- 5 Massarani P, Muller S. *J. Audio Eng. Soc.*, 2000, 443~471.
- 6 Fausti P, Farina A, Pompoli R. Measurements in opera houses: comparison between different techniques and equipment, Proc. of ICA 98 - International Conference on Acoustics, Seattle (WA), June 1998, 26~30.

## 中国声学学会五届三次常务理事扩大会议在深圳召开

中国声学学会五届三次常务理事扩大会议于 2004 年 11 月 21~23 日在深圳大学召开。

会议由田静副理事长主持, 深圳大学邢副校长出席会议并致欢迎词。杨士莪院士代表中国声学学会五届三次常务理事扩大会议的全体代表对深圳大学给予会议的支持表示感谢。16 位常务理事出席了会议(因事未能到会的常务理事委派了代表), 中国声学学会名誉理事长应崇福院士参加了会议。各分会秘书列席了会议。

宗健秘书长传达了中国科协关于加强学术交流活动、提高学术会议质量、认真办好学术刊物和学会改革等有关文件, 与会代表进行了认真地学习和讨论。听取了青年工作委员会关于 2005 年青年学术会议筹备情况的工作汇报。张海澜研究员通报了 2005 年将在中国北京召开的国际超声会议的筹备情况。田静副理事长通报了由中国声学学会牵头申办 2008 年国际噪声会议、2010 年国际声学会议等有关情况。关于申办 2008 年国际噪声会议进展, 经过初选, 目前看来形势较为乐观, 待 2005 年提出正式申请。另与美国声学学会达成初步意见, 拟于 2010 年在上海联合召开中美国际声学会议。

各分会主任委员和秘书对本分会 2004 年度的工作认真做了总结。

会议讨论了 2005 年的工作安排, 明年任务是繁重的, 将面临 2005 年分会换届、2006 年总会换届准

备工作等事宜, 与会代表对此提出了很多很好的意见和建议。大家认为, 换届是新陈代谢, 但是要保持学会活力, 要考虑学会的学术性、权威性、连续性, 还要考虑各单位之间的平衡, 挂靠单位、新老理事的搭配等, 各个声学单位要团结广大声学工作者, 齐心协力, 为办好声学学会, 发展我国的声学事业贡献力量。

常务理事会对 2004 年度申请加入中国声学学会会士、高级会员的会员进行了评审。并对港澳籍会员申报中国声学学会会士和高级会员, 组织了讨论。在现在特定情况下, 同意对符合条件的港澳籍会员前三年申请会士可免去三年高级会员期直接申报会士。2004 年当选会士的 1 名会员是: 成利; 当选高级会员的 9 名会员是: 卢庆普, 陆风华, 邵斌, 李晓东, 初敏, 黄立锡, 余文斌, 杨军, 杨益新。

对南京大学声学研究所提出申请办《近代声学》期刊, 期刊为中国声学学会主办, 挂靠南京大学声学研究所, 常务理事会进行了讨论, 并作出决议。同意由南京大学声学研究所提交书面申请, 中国声学学会办公室协助办理相关报批手续。

中国声学学会副理事长马远良院士在会议结束时代表中国声学学会, 对会议期间深圳大学谢校长、姜忠书记、邢副校长多次给予关照, 校办、外事处和科研处所作的大量的细致工作, 再次表示感谢。本次常务理事扩大会议圆满结束。

(中国声学学会办公室)