

# 缩尺模型试验中早期侧向反射声测量方法研究

倪其育, 方元, 吴启学, 孙广荣

(南京大学声学研究所、近代声学国家重点实验室, 南京 210093)

摘要: 文章利用半波长干涉的简单原理制作成高频∞字形指向性传声器, 同时应用信号处理技术, 形成简易的早期侧向反射声测试系统, 在缩尺模型试验中实现早期侧向反射声系数的测量, 扩大了缩尺模型试验的功能。

关键词: 室内声学; 缩尺模型试验; 早期侧向反射声

中图分类号: TU112

文献标识码: A

## The measuring method of lateral energy fraction in the scale model experiments

NI Qiyu, FANG Yuan, WU Qixue, SUN Guangrong

(The Institute of Acoustics, Nanjing University, The Modern Acoustics State Key Laboratory, Nanjing 210093, China)

**Abstract:** This paper introduces a measuring method of lateral energy fraction in the scale model experiments. According to the interference principle of half wave length making the high frequency figure 8 directional microphone, which, together with the signal-processing technique, form a receiving and analysing system, and then the measurements of lateral energy fraction in the scale model are realized.

**Key words:** room acoustics; scale model experiments; early lateral reflective sound

### 1 引言

自从 W. C. Sabine 发表著名的“混响”论文<sup>[1]</sup>以来, 对于厅堂音质的研究已有整整 1 个世纪了。50 年代掀起了探索除了混响时间以外决定室内音质的第 2 参量的研究热潮, 但是并没有获得独立于混响时间, 能定量描述室内音质的重新参量。

1967 年, 新西兰声学家 A. H. Marshall<sup>[2]</sup>提出了在音乐厅中早期侧向反射声对于音质的重要性。英国的 M. Barron 对于侧向反射声的延迟时间、反射方向和反射声级等因素对于音质听感的影响做了 10 多年的长期研究<sup>[3]</sup>, 并开始将侧向反射声系数  $L_f$  与空间感建立定量的关系:

$$L_f = \frac{\sum_{5\text{ms}}^{80\text{ms}} r \cos \varphi}{\sum_0^{80\text{ms}} r} \quad (1)$$

式中  $r$  表示某个接收点的声强,  $\varphi$  是声波入射方向与双耳连线之间的夹角。现在作为音乐厅音质的评价, 一般都把早期侧向反射声系数作为与良好音质必须有的“环绕感”或“空间感”相联系的客观参量之一<sup>[4]</sup>, 并且在厅堂物理参数测量中用一个 ∞ 字形指向性传声器接收相当于  $r \cos \varphi$  的侧向反射声,

用全向性传声器接收所有方向来的声能从而求出早期侧向反射声系数  $L_f$ :

$$L_f = \frac{\int_0^{80\text{ms}} p_L^2(t) dt}{\int_0^{80\text{ms}} p^2(t) dt} \quad (2)$$

式中  $p_L(t)$  代表 ∞ 字形指向性传声器接收到的声压,  $p(t)$  是全向性传声器接收到的声压。

通常为了获得较大的侧向反射声系数, 厅堂的侧壁需有较好的声扩散体, 例如有包厢、雕塑或专门与中低频波长相比拟的扩散体。这些形体很难用简单的数学形式表达, 所以对于要求高的音乐厅设计, 往往通过模型试验取得。实验模拟是完善设计的一种重要手段。但在 1/10 左右的模型中, 需要有高频的 ∞ 字形指向性传声器, 这没有现成的产品, 也没有在文献资料中报道这方面的内容。本文就南京艺术学院音乐厅 1/8 缩尺模型试验中的早期侧向反射声系数测量方法的实现作一介绍。

### 2 测试的模型

正在设计建造中的南京艺术学院音乐厅, 是 1 座可容纳 808 座(其中池座 582, 楼座 226)的中型音乐厅。测试模型按 1/8 缩尺建筑, 围护结构全部采用 2cm 厚木工板构建而成(平面形状见图 1), 内壁涂刷油漆。在测试过程中, 没有发现共振、吸声、漏声等不利的现象。

收稿日期: 2000-02-02; 修回日期: 2000-04-28

作者简介: 倪其育(1964), 男, 江苏阜宁人, 讲师, 从事电声技术的教学与研究。

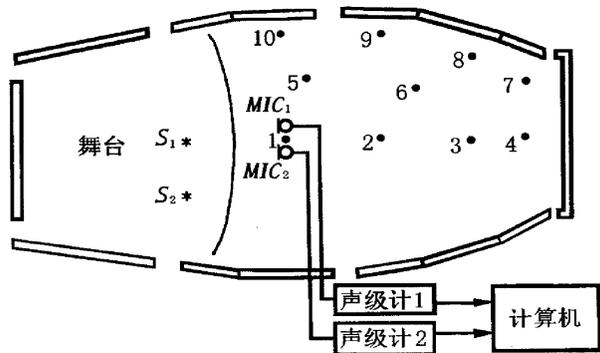


图 1 模型平面及脉冲声测量系统框图

模型试验重点对音乐厅的中频段进行混响时间、声场分布、声场力度以及早期侧向反射声系数的测量。对于模型中的座椅(连人)、乐队、合唱队以及可变吸声体等,预先在一个特地建造的  $88\text{cm} \times 64\text{cm} \times 75\text{cm}$  的小混响室中,进行多种材料的测试后挑选决定。

### 3 早期侧向反射声系数的测试系统

图 1 中也表示出早期侧向反射声系数的测试系统,考虑该系数对空间感起主要作用的频率范围为  $300\text{Hz} \sim 1500\text{Hz}$ ,故在模型试验中选择  $4000\text{Hz}$  和  $8000\text{Hz}$  进行测试。

#### 3.1 脉冲信号源

脉冲信号源是一个专门装配的倍压整流式高压放电火花发生器,电路图见图 2 所示。产生的声脉冲宽度为 100 多  $\mu\text{s}$ ,其声压级、频谱均满足模型测试的要求(累计发声已 1 万多次无故障,稳定性较好)。声脉冲采样波形及频谱如图 3 所示(模型中直达声的采样波形)。

#### 3.2 $\infty$ 字形指向性传声器

在试验准备中,曾经考虑用两个性能相同的微型传声器(特别是在所测频率范围内相位差极小),沿直达声方向在测点上距离半波长放置,使之在这 1 频率附近成为 1 只  $\infty$ 字形指向性的传声器。由于未能挑选到 1 对这样的传声器,便另辟蹊径在 B& K4155 型传声器上装 1 双管探头,见图 4 所示,管端相距半波长,当声波方向与两管端连线垂直时,

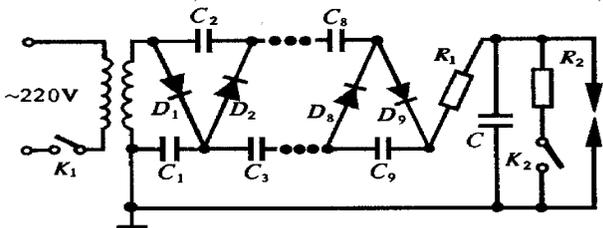


图 2 高压火花发生器电路图

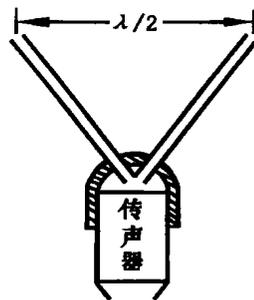
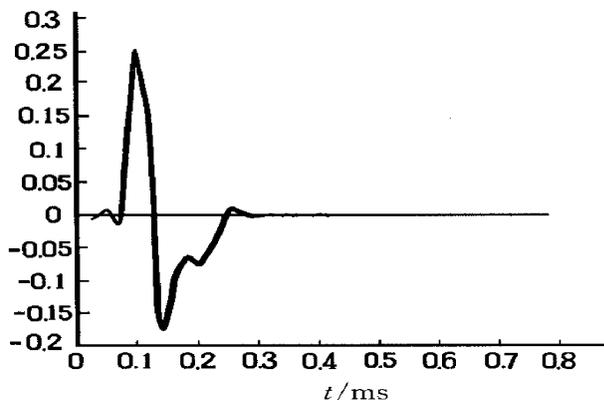
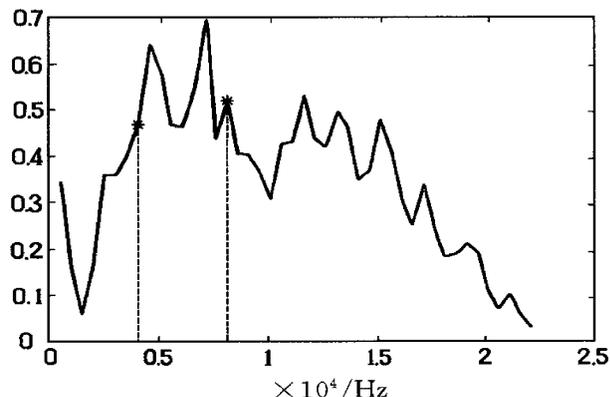


图 4  $\infty$ 字形指向性传声器示意图



(a) 电火花发生器的时间波形



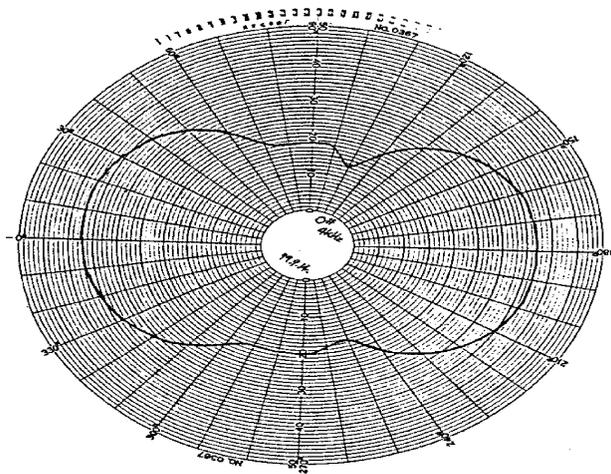
(b) 电火花发生器声波的频谱

图 3

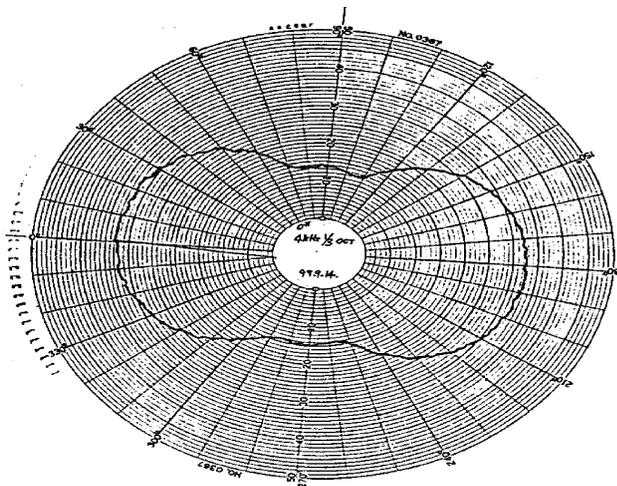
两个信号到达传声器同位相相加;当声波方向与两管连线一致时,两个信号到达传声器的位相相反而抵消。这样在对应半波长的频率附近便成为一只  $\infty$  字形指向性的传声器。在消声室中分别测量  $4000\text{Hz}$  和  $8000\text{Hz}$  两只传声器的指向特性图形见图 5 和图 6,图中 a 图为纯音的指向性, b 图为  $1/3$  倍频程的指向特性,后者是我们在实验室中所使用的指向性图形,基本满足了要求。

#### 3.3 分析设备

当声源位于舞台中心线上  $S_1$  位置时,座位上声场特性是左右对称的,这样  $\infty$ 字形指向性的传声器与全向传声器置于左右对称的测量点上。两只传声

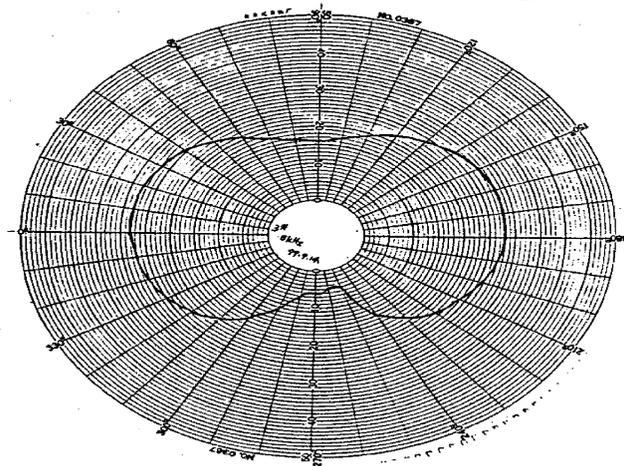


(a) 为纯音

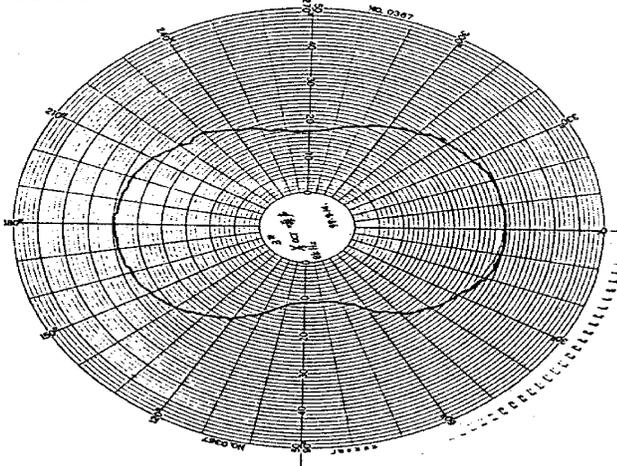


(b) 为 1/3oct 噪声

图 5 4000Hz 指向特性

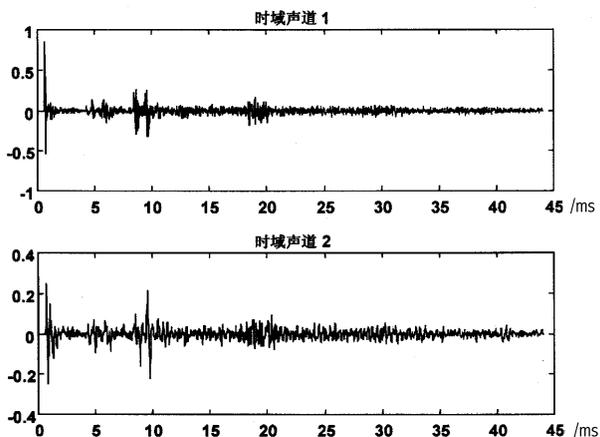


(a) 为纯音

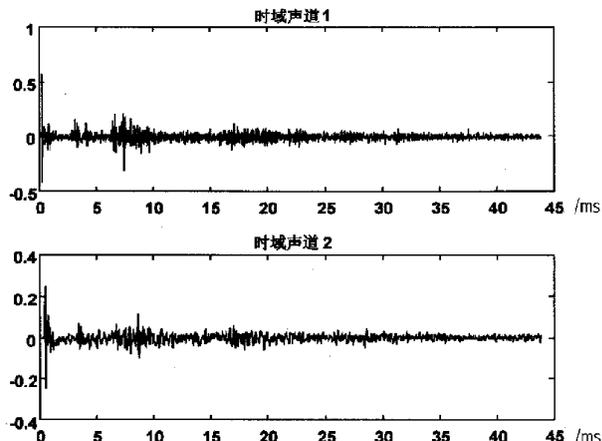


(b) 为 1/3oct 噪声

图 6 8000Hz 指向特性



(上图: 全向传声器接收, 下图:  $\infty$ 字形指向性传声器接收)  
图 7 声源位于  $S_1$  点时两通道的声波图形



(上图: 全向传声器接收, 下图:  $\infty$ 字形指向性传声器接收)  
图 8 声源位于  $S_2$  点时两通道的声波图形

器分别通过 B&K2230 声级计将信号输入配有 Yamaha OPL3SAX 声卡的 P II 计算机系统, 两个接收通道获得的脉冲反射声图形同时显示在屏幕上,

如图 7、图 8 所示。图中上部为全向传声器接收的声波图形, 下部为  $\infty$ 字形指向性传声器接收的声波图形(纵坐标是线性相对标度)。

## 4 测试举例

在模型试验中有一个重要内容,即研究两次剩余系列扩散体(QRD)的扩散效果。我们把舞台上方悬吊反射板、两侧墙局部安装QRD两种情况下测得的早期侧向反射声系数作比较,见表1,通过实验得到,安装了QRD座位上的早期侧向反射声系数并没有提高,甚至有所降低。究其原因,是因为QRD虽然有较好的散射波图形<sup>[5]</sup>,但因本身有较大的吸声系数<sup>[6,7]</sup>,因此散射声的能量极小,反而减弱了侧墙的反射声能量。

表1 早期侧向反射声系数( $L_f$ )的测试结果

测点	无反射板、无QRD		有反射板、无QRD		有反射板、有QRD	
	4 kHz	8 kHz	4 kHz	8 kHz	4 kHz	8 kHz
1	0.14	0.08	0.09	0.13	0.06	0.06
2	0.18	0.08	0.25	0.08	0.23	0.11
5	0.05	0.10	0.13	0.23	0.09	0.19
平均	0.12	0.09	0.16	0.15	0.13	0.12

## 5 结语

(1) 用电火花声源、半波长 $\infty$ 字形传声器、声级计及软硬件配备齐全的计算机组成的测试系统,对“早期侧向反射声系数( $L_f$ )”的测量,方便灵活,数

据处理计算精确,适应性强。测量时,可通过修改程序来适应实际内容的需要。特别是它能在缩尺模型试验中实现 $L_f$ 参数的测量。在实际厅堂中测量时,也可以用两只性能相同的传声器,距离半波长放置,来实现这一测试。

(2) 在厅堂音质设计时,特别对于有音乐演出功能的厅堂,由于早期侧向反射声系数还不能定量计算,所以缩尺模型试验是有辅助意义的,可以检验某些体形设计和扩散措施对于声场扩散的有效性。

### 参考文献

- [1] W. C. Sabine. Reverberation [J]. The America Architect, 1900; Collected papers on Acoustics [C]. Dover. N. Y., 1964: 43-67.
- [2] A. H. Marshall. A note on the importance of room cross-section in concert halls. [J] J. Sound and vibration, 1967, 5(1): 100-108.
- [3] M. Barron. Saptial impression due to early lateral reflection in concert hall: The derivation of a physical measure [J]. J. Sound and Vibration, 1981, 77(2): 211-225
- [4] L. L. Beranek. Concert and Opera Halls, How They Sound [M]. Acoustical Society of America, 1996: 461-476.
- [5] P. D' Antonio and J. H. Konnert. The reflection phase grating diffuser: Design theory and application [J]. J. Audio Engineering Societ y, 1984, 32(4): 228-238.
- [6] D. Tankahashi. Sound absorption of a QRD [C]. Proceedings of W. C. Sabine Centennial Symposium., 1994, 1pAA4: 149-152.
- [7] 盛胜我, 王毅刚, 赵松龄. 基于二次剩余序列的扩散吸声体的研究 [J]. 应用声学, 1994, 14(3): 6-9.

## 包括本刊在内的 3500 种期刊联合征订暨国际互联网网站开通

本刊已参加“全国非邮发报刊联合征订”,并编入《全国非邮发报刊联合征订目录》。该目录编入了70%以上的非邮发报刊,覆盖了自然科学和社会科学的全部领域,分综合版、社科版、科技版和电脑版四种版本出版。电脑版又称“电子订单”,供计算机采编用,最好从网上下载。综合版即为社科版、科技版之和,需要者请向全国非邮发报刊联订服务部免费函索,一般读者,科技版、社科版择一提供,去信时务请注明之。

联订服务部在国际互联网上的网站现已开通(网址:www.LHZD.com),《联订目录》及本刊均已上网,该网站乃中国期刊的大型超市,集全国展示与统一收订为一体,含3500种期刊。欢迎上网查阅期刊、下载“电子订单”并订阅期刊。

《联订目录》中所列期刊均已全权委托该部收订,所有刊物均不破季订阅。本刊特此通知读者,请直接汇款向该部订阅,不必先索取《联订目录》,须在汇款单附言栏注明即可。本刊全年订价24.00元。该部的地址及银行帐号如下:

户头全称:联合征订服务部

帐号:605248-1046196

开户银行:工商银行天津市尖山分理处

邮政编码:300385

电话:(022)23962479; 传真:23973378

地址:天津市大寺泉集北里别墅17号

网址:www.lhzd.com Email:lhzd@public.tpr.tj.cn

本刊编辑部