

# 一个典型庭院式古戏场的音质测试与分析<sup>\*</sup>

刘海生 盛胜我 赵跃英

(同济大学建筑城规学院 上海 200092)

2002年6月3日收到

**摘要** 在脉冲响应测试的基础上,研究了庭院式古戏场三山会馆的庭院、舞台、厢房和堂屋等空间的脉冲响应特征和音质参数的空间分布,对不同的观演区进行了初步的音质分析。结果表明:从清晰度和响度的分布来看,各观演区的音质优劣顺序是:楼上厢房及庭院前部听闻条件最好,楼下厢房及庭院后部居中,堂屋的听闻条件最差。

**关键词** 古戏场,脉冲响应,清晰度指数,相对强感

## Measurement and analysis of the sound quality of a typical Chinese traditional courtyard theatre

LIU Haisheng SHENG Shengwo ZHAO Yueying

(College of Architecture and Urban Planning, Tongji University, Shanghai 200092)

**Abstract** Acoustic measurement has been performed in a typical Chinese courtyard theater, Shanghai Sanshan Guild Hall, to study the subjective parameters in different space, the distributions of clarity factor ( $C_{50}$ ) and the strength factor ( $G_{50}$ ). The sound quality is analysed also.

**Key words** Traditional Courtyard Theatre, Impulse-response, Clarity factor, Strength factor

### 1 引言

分布在全国各地的古戏场,历史悠久,种类繁多。按照戏场空间封闭程度来分类,其基本的建筑类型大致有:室内戏场、庭院式戏场、以及广场式戏场。其中庭院式古戏场数量居多,分布广泛,是一种主要的古戏场类型,不但以其精美的建筑艺术形象激起了建筑史学界的研究热情,而且以其良好的戏曲欣赏环境引起建

筑声学界的浓厚兴趣。位于上海市中山南路的三山会馆即是一处典型的庭院式古戏场,始建于清宣统元年(1909年),至今保存完好。戏场部分由古戏台,庭院和周围的二层厢房、堂屋组成,总长38.9m,宽17.4m,建筑总平面见图1,各组成空间的概况见表1。

近年来,已对一些古戏场进行了声学测试研究,但是大多数仅限于混响时间和声压级分布的测量<sup>[1]</sup>。由于庭院式古戏场在空间形式上

<sup>\*</sup> 国家自然科学基金资助项目(50078038)。



2000Hz 的倍频程测试。

### 3 声学测试系统与测点布置

测试以脉冲响应技术为主。考虑到测试时外界环境噪声干扰较强,为了尽可能提高信噪比,我们采用自编的数字调制脉冲信号,中心频率分别为 250 Hz、500 Hz、1000Hz、2000Hz,其脉冲头部两个周期的宽度分别为 8.0、4.0、2.0、1.0 ms,例如图 2。该信号既具有脉冲特征,又保留了频率特性,并有很好的重复性。数字信号由 D/A 转换为模拟信号,经功放放大后馈入 12 面体无指向性扬声器。声信号的接收采用无指向性传声器,接收到的模拟信号经 A/D 被转换为数字文件,然后被储存、处理。本次测试声源布置在舞台上距台口 0.8 m 的地方,以模仿演员演出时的一个主要位置,接收点被分别布置在舞台、厢楼、庭院、堂屋等组成空间内部,以及这些空间相互耦合的界面附近,如门窗、檐下等部位,具体布置见图 1。

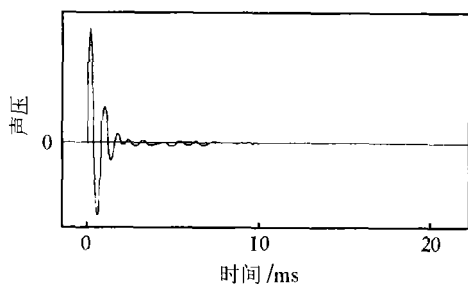


图 2 1000 Hz 数字脉冲信号,  
头部两个周期的宽度是 2 ms

### 4 测试结果与分析

#### 4.1 脉冲响应分析

根据在舞台、厢楼、庭院、堂屋内接收到的脉冲响应图,分别对它们的脉冲响应特征分析如下(以 1000 Hz 倍频程为例):

(1) 舞台(ST1 点,距声源 3.3 m): 50 ms 以内约有 5-6 次反射声,初始时延小于 1 ms,

50 ms 之外的反射声衰变时间  $RT_{60}$  为 0.8 s。

(2) 厢楼(UP2 点,距声源 9.2 m): 50 ms 以内约有 8-10 次反射声,初始时延为 1-2 ms, 50 ms 之外的反射声衰变时间  $RT_{60}$  为 1.1 s。

(3) 庭院(6 点,距声源 8.4 m): 50 ms 以内约有 6-8 次反射声,初始时延为 10 ms。50 ms 之外的反射声衰变时间  $RT_{60}$  为 1.0 s。

(4) 堂屋(N2 点,距声源 25.6 m): 50 ms 以内约有 9-12 次反射声,初始时延为 5 ms。50 ms 之外的反射声衰变时间  $RT_{60}$  为 1.4 s。

总之,由于边界条件的不同,各空间的脉冲衰变过程差别较大,特别表现在前 300 ms 之内的衰变过程。堂屋、厢房由于空间围合程度较好,早期反射声丰富,声音衰变时间长,庭院和舞台空间围合程度差,早期反射声较少,声音衰变时间短暂。将各接收点能量脉冲响应幅值除以各自的最大幅值(用 A 表示),进行归一化处理,可以比较各点声能衰减的速度,见图 3。

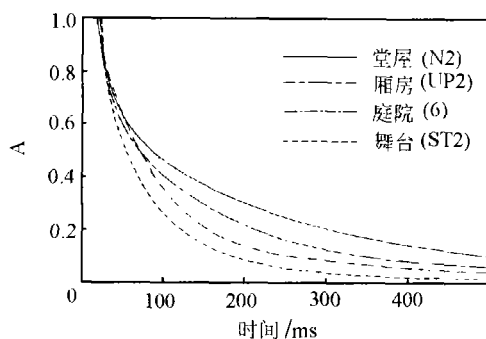


图 3 不同空间内各接收点能量脉冲  
响应包络曲线(归一化)比较(1000 Hz)

#### 4.2 音质参数的空间分布与变化分析

戏场内各空间  $C_{50}$ 、 $G_{50}$  测试结果见表 2,以下我们对各观演区的音质参数分布与变化趋势加以分析:

(1) 庭院:  $C_{50}$ 、 $G_{50}$  取值范围见表 2,空间分布见图 4。从图中可以看出:在各频段下  $C_{50}$ 、 $G_{50}$  基本上随测点与声源距离的增加而减少。但因各点位置不同,又各具特点:点 5 位

表 2 戏场内各空间 C<sub>50</sub>、G<sub>50</sub> 测试结果一览表

|                         |    |    | 频 率 (Hz)    |             |             |              |             |
|-------------------------|----|----|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|
|                         |    |    | 250         | 500         | 1000        | 2000         | 平均值         |
| C <sub>50</sub><br>(dB) | 庭院 |    | -3.61--0.1  | -2.18--2.67 | -2.18-0.98  | -1.92-2.33   | -2.47-1.50  |
|                         | 厢房 | 楼上 | 2.95-3.88   | 2.32-3.84   | 1.36-2.22   | 1.32-1.86    | 1.90-2.95   |
|                         |    | 楼下 | -1.96--0.52 | -3.38-2.37  | -2.46-0.27  | -1.90--0.70  | -2.43-0.97  |
|                         | 堂屋 |    | -4.60--2.66 | -3.80--0.37 | -6.49--0.69 | -7.11--0.22  | -5.50--0.99 |
| G <sub>50</sub><br>(dB) | 庭院 |    | -0.25-6.47  | -2.57-3.54  | 0.50-4.75   | -1.79-3.74   | -1.03-4.62  |
|                         | 厢房 | 楼上 | 6.34-6.65   | 3.88-4.39   | 4.81-4.88   | 3.44-3.67    | 4.62-4.91   |
|                         |    | 楼下 | -0.52-3.07  | -4.05-1.84  | 0.26-4.15   | -1.57-0.67   | -1.45-2.43  |
|                         | 堂屋 |    | -6.41--1.91 | -7.81--1.48 | -9.05-0.41  | -11.78--1.95 | -8.76--1.23 |

于庭院中轴线上，早期反射声较少且强度小，因此 2000 Hz C<sub>50</sub>、G<sub>50</sub> 偏低；点 6 靠近西厢房，早期反射声较多且强度大，因此 2000 Hz 的 C<sub>50</sub>、G<sub>50</sub> 偏高；点 3、4 靠近堂屋，由于耦合作用的影响，250 Hz 的 C<sub>50</sub>、G<sub>50</sub> 偏高。

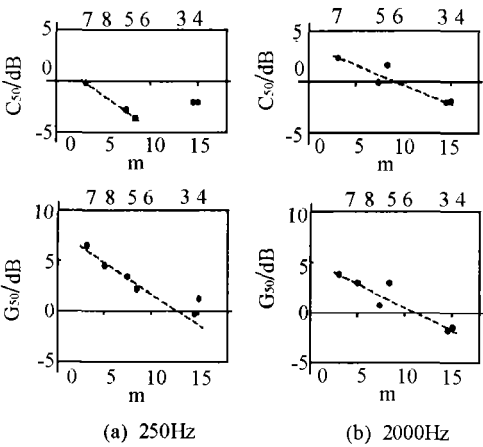


图 4 庭院中 C<sub>50</sub>、G<sub>50</sub> 空间分布

(2) 厢房：C<sub>50</sub>、G<sub>50</sub> 空间分布见图 5，由于门扇的遮挡，厢房内各点的 C<sub>50</sub>、G<sub>50</sub> 与门外相应各点相比稍小 1-2 dB(或接近)。因为低频声波比高频声波衍射能力强，厢房内各点 250 Hz 的 G<sub>50</sub> 比 2000 Hz 的 G<sub>50</sub> 值大。楼上厢房地面与舞台台面高度接近，能从舞台上接收更多的早期反射声，因此，其 C<sub>50</sub>、G<sub>50</sub> 值比楼下厢房的大 4-7 dB。

(3) 堂屋：C<sub>50</sub>、G<sub>50</sub> 空间分布见图 6，点 1

代表堂屋与庭院分界面处的参数值。从中可以看出：堂屋内的 C<sub>50</sub>、G<sub>50</sub> 分布十分不均匀，愈往堂屋内部去，C<sub>50</sub>、G<sub>50</sub> 愈低，随测点与声源距离的增加，下降的幅度很大。

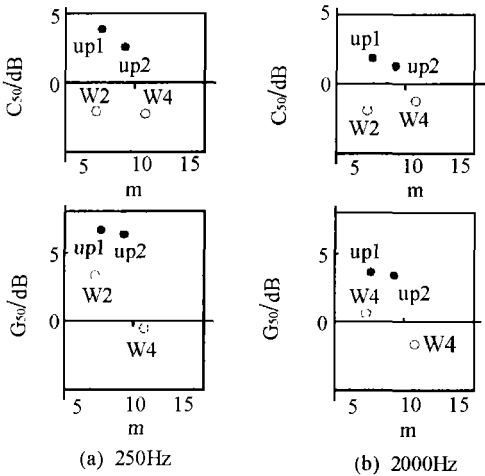
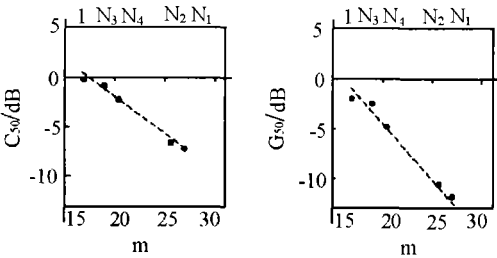


图 5 楼上、楼下厢房 C<sub>50</sub>、G<sub>50</sub> 比较



横轴代表测点与声源的距离

图 6 堂屋内 C<sub>50</sub>、G<sub>50</sub> 空间分布 (2000 Hz)

## 5 庭院式古戏场音质分析

根据上述测试结果,我们以三山会馆为例,对庭院式古戏场进行初步的音质分析。因为在戏曲观赏时,人们的主观印象是在对音乐、唱腔、道白进行综合欣赏后才建立的,所以我们利用  $C_{50,4}$ 、 $G_{50,4}$  的 250 Hz、500 Hz、1000 Hz、2000 Hz 倍频程值的平均:  $C_{50,4}$ 、 $G_{50,4}$  进行音质分析,表3列出了厢房、庭院、堂屋的  $C_{50,4}$ 、 $G_{50,4}$  值,从表中可以看出:

(1) 楼上厢房的  $C_{50,4}$ 、 $G_{50,4}$  分别可达 2dB、4dB 以上,在所有观演区中,参数值是最大的,这说明楼上厢房清晰度高,响度大,且

有“余音绕梁”的韵味,听闻条件是最好的。在古戏场中,厢房楼座经常是贵宾席,也证明了这里是欣赏戏曲音质条件最好的地方。其良好的音质与戏场剖面设计有着直接关系:舞台上演员的嘴与楼上厢房内观众的耳朵几乎处在同一高度上,演员发出的直达声与来自舞台的早期反射声能够以最短路径到达观众,同时厢房的各壁面向观众提供了丰富的早期反射声,加强了响度。楼下厢房  $C_{50,4}$ 、 $G_{50,4}$  值分别为 -3-1 dB、-2-3 dB,说明其清晰度和响度均比楼上差,也比庭院相应各点稍差,听觉环境居中。

表3 楼上、楼下厢房、庭院、堂屋  $C_{50,4}$ 、 $G_{50,4}$  取值范围比较

| 参 数             | 楼上厢房      | 楼下厢房       | 庭 院        | 堂 屋         |
|-----------------|-----------|------------|------------|-------------|
| $C_{50,4}$ (dB) | 1.90-2.95 | -2.43-0.97 | -2.47-1.50 | -5.50--0.99 |
| $G_{50,4}$ (dB) | 4.62-4.91 | -1.45-2.43 | -1.03-4.62 | -8.76--1.23 |

(2) 庭院区域前半部分的  $C_{50,4}$ 、 $G_{50,4}$  分别可达 1dB、4dB 以上,音质环境与楼上厢房接近。庭院后半部分的  $C_{50,4}$ 、 $G_{50,4}$  仅分别为 -2dB、-1dB 左右,清晰度、响度下降许多,听觉环境居中。

(3) 堂屋的  $C_{50,4}$ 、 $G_{50,4}$  分别为 -6--1dB、-9--1 dB,在所有观演区中参数值最小,说明声音浑浊不清,响度太小,音质环境最差,不适合作为观演区。这与堂屋距离声源较远,封闭性强,声衰变时间长有关。在实际使用中堂屋也不是用做观演区的,而是用来会客、商谈事务用的。

从以上的分析可以看出:在庭院式古戏场中,  $C_{50,4}$  为 1-3 dB、 $G_{50,4}$  为 4-5 dB 的区域(如楼上厢房),可被认为是欣赏中国传统戏曲较好的观演空间。  $C_{50,4}$  低于 -1 dB,  $G_{50,4}$  低于 -1 dB 的区域已不适合观演。

## 6 结论

经过上述的分析与讨论,我们得到有关庭

院式古戏场音质分析的结论如下:

(1) 从参数分布上看,楼上厢房、庭院前部拥有较大的  $C_{50,4}$ 、 $G_{50,4}$  值,楼下厢房、庭院后部的  $C_{50,4}$ 、 $G_{50,4}$  值居中,而堂屋的  $C_{50,4}$ 、 $G_{50,4}$  值最小。

(2) 因此,在庭院式古戏场内,观演区音质优劣的顺序是(仅从声学角度而言):楼上厢房及庭院前部听闻条件最好,响度大,清晰度高;楼下厢房及庭院后部听闻条件居中,堂屋的听闻条件最差,响度小,清晰度差,声音浑浊。

(3) 在庭院式古戏场中  $C_{50,4}$  适宜的值为 1-3 dB,不宜低于 -1 dB;  $G_{50,4}$  为 4-5 dB,不宜低于 -1 dB。

**致谢** 本文承同济大学声学研究所王季卿教授在百忙中给予热心指导,作者表示衷心感谢。测试中得到莫方朔同学的帮助,在此一并致谢。

(下转第 5 页)

较大的下陷, 约为 3.7dB, 包含下陷时带宽为 7MHz, 矩形系数为 1.2, 低端和高端的带外抑制均约为 40dB; 结构 2 的带宽约为 5.4MHz, 带内波纹约为 0.9dB, 矩形系数为 1.43, 低端的带外抑制约为 34dB, 高端的带外抑制约为 36dB; 结构 3 在高端有一个较大的下陷, 约为 3.5dB, 包含下陷时带宽约为 5.0MHz, 矩形系数为 1.75, 低端的带外抑制约为 41dB, 高端的带外抑制约为 46dB; 结构 4 的带宽约为 5.5MHz, 带内波纹约为 0.7dB, 矩形系数为 1.5, 低端的带外抑制约为 37dB, 高端的带外抑制约为 34dB; 结构 5 在低端有一个较大的下陷, 约为 3.8dB, 包含下陷时带宽约为 5.2MHz, 矩形系数为 1.75, 低端的带外抑制约为 46dB, 高端的带外抑制约为 42dB。

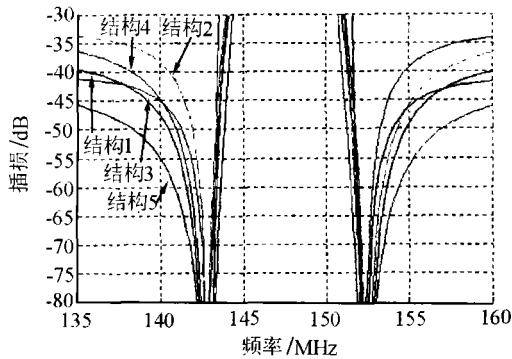


图 7 5 种结构带外抑制特性的比较

可以认为结构 2 和结构 4 相对来说是比较

好的结构, 因为它们的通带没有大的下陷, 只是分别在高端和低端有一个小的起伏, 主要是由于阻抗的不匹配造成的, 已经有相应的方法可以进行改进<sup>[5]</sup>。而且结构 2 和结构 4 的设计比结构 1 要简单, 体积也更小些。但同时它们的带外抑制相对于其它的结构较差。

4 级级联的梯形谐振滤波器有多种不同的级联形式, 本文的下一步工作是进一步分析其它的级联形式, 并对应于相应的结构来制作实际器件, 将其实验性能和理论分析相比较, 从而进一步验证理论的正确性并比较出不同结构器件的性能。

## 参 考 文 献

- 1 Yoshio Satoh, Osamu Ikata. *International Journal of High Speed Electronics and Systems*, 2000, 10(3): 825-865.
- 2 Tseng S C C, Lynch G W. *Proc. of IEEE Ultrasonics Symposium*, 1974: 282-285.
- 3 Satoh Y, Ikata O, Matsuda T, et al. *Proc. Int. Symp. SAW Devices for Mobile Comm*, 1992: 179-185.
- 4 Hikita M, Tabuchi T, Shibagaki N, et al. *Proc. Int. Symp. SAW Devices for Mobile Comm*, 1992: 105-112.
- 5 Ikata O, Miyashita T, Matsuda T, et al. *Proc. of IEEE Ultrasonics Symposium*, 1992: 111-115.
- 6 Toshio TAGAMI, Hisanori EHARA, Kazushige NOGUCHI. *Special Issue on Electronic Components*, 1997, Vol 63.
- 7 OU Hok Huor, Naoto INOSE, Nobuyoshi SAKAMOTO. *Proc. of IEEE Ultrasonics Symposium*, 1998: 97-102.

(上接第 44 页)

## 参 考 文 献

- 1 罗德胤. 中国古戏台之形成与发展及其相关因素. 清华大学建筑学院硕士学位论文. 2000. 50-60.
- 2 吴文科编. 中国曲艺艺术论. 太原: 山西教育出版社, 2000. 332-334.
- 3 王季卿. 声学技术, 2002, (1-2): 74-79.