

燕山剧院的音质

叶素娟 叶恒健 崔顺生

(中国建筑科学研究院)

北京燕山影剧院是一座多功能厅堂,观众厅的平面为钟形,长33.5M、宽24.4M、池座平均高度12M,体积约9234M³,能容纳观众2100人,平均每座占体积为4.4M³。

该剧院于1980年初动工兴建,1982年3月完工交付使用,观众厅内部装饰处理比较简洁大方,施工精细,给听众具有一种明快舒适的感觉。半年多来,经过放映电影、集会和举行音乐舞蹈演出,观众反映剧院的音质效果比较好,具有较高的语言清晰度,在欣赏音乐时也觉得较为丰满。

一、音质设计

观众厅的平剖面如图1所示。

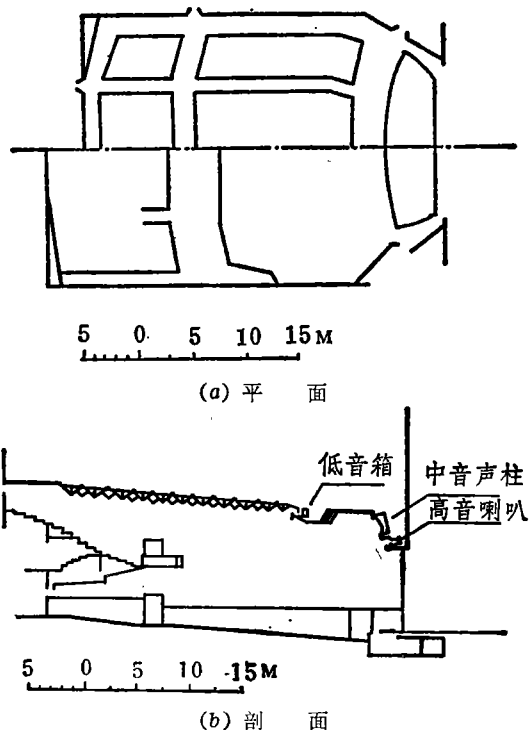


图1 观众厅的平剖面图

该剧院的使用是以放映电影为主,因此在音质设计中,考虑混响时间不宜过长,以确保有较高的语言清晰度,同时也考虑作为音乐演出时,应具有适当的混响时间,使观众听起来不致很干涩,因此确定满场的中频混响时间为1.3~1.5秒,低频提升25%,高频与中频平直。在观众厅侧厅上方,设置一个70M³的人工混响室,以备若混响过短时,适当增加一些人工混响。

从经济角度考虑,在设计时定每座占体积为4.4M³,要达到上述混响时间,观众厅内尽量少布置吸声材料。为此,除在后墙装置宽频带吸收的木条子(后面填玻璃棉)吸声构造以防止产生回声外,其余部分采用吸收较小的材料。侧墙为小圆弧条形粉刷,在建筑上比较美观,也有利于对声波的反射。观众厅平顶的周边和挑台下的平顶布置半穿孔纤维板,这种构造对低频声波吸收较大,而对中高频吸收较小,结合后墙的吸声构造,以调节整个观众厅的混响频率特性。挑台天花前部作成15度斜角,有利于声波的反射。

观众厅的平顶,由于它的面积占整个大厅内表面的1/3以上,因此它的建筑装饰和声学处理效果,很大程度上影响着人们对大厅的评价。它还集中了灯光、空调风管风口布置、结构布置、施工及经济指标等综合矛盾。在设计过程中,经过反复比较,最后选用钢丝网水泥“船形”扩散体形式,整个平顶由117只扩散体组合而成。这些扩散体的特点(1)厚度为1.6cm,容重较大(2400kg/M³),这种多面壳体形式的刚性好,对声波的扩散作用效果显著;(2)防火性能好,可节约大量木材;(3)可在工厂预制,现场施工、安装

均方便。

挑台的栏板因建筑上的需要呈弧形，为了防止声聚焦和声音反射回舞台，把它作成向前倾斜5度，使声波反射至观众席。

二、扩声系统的设计

因观众厅的体积较大，容纳观众比较多，一般情况下均要使用扩声系统，在设计时对扩声系统作了以下几点考虑：

(1) 在失真很小的情况下，能发出足够的声功率，使听众获得合适的响度。

(2) 厅内声场不均匀度要求小于8dB。

整个扩声系统的频率响应，要求达到 $80\sim 8000\text{Hz} \pm 10\text{dB}$ 。

(4) 尽量减少谐波失真和互调失真。

(5) 具有真实的声源方位感。

扬声器组的布置是采取集中式。在舞台口上方装置了四组北京797厂生产高低音组合声柱(见图2)，每组20瓦，它是由多格高音号筒与曲面线列扬声器组成，调节合适角度，使扬声器的声束基本上能复盖整个观众厅。在面光后面装置四个低音箱(每个20瓦)，因离舞台较远，不致引起低频反馈，这些低音单元在集会时是关闭的，以提高清晰度，而在音乐演出时使用，则可形成低音的衬托作用，增加音质的丰满度。

在舞台台唇安装五个 $6\frac{1}{2}$ 英寸纸盆扬声器，适当控制它的输出功率，以平衡舞台口上

方声源，使声象移至舞台演出区，同时也适当增加了池座前区的响度，这种方法，在杭州剧院实践中证明是有效的。

三、声学参数的测试

剧院建成后，进行了音质参数的测定，其中包括有：

(1) 混响时间

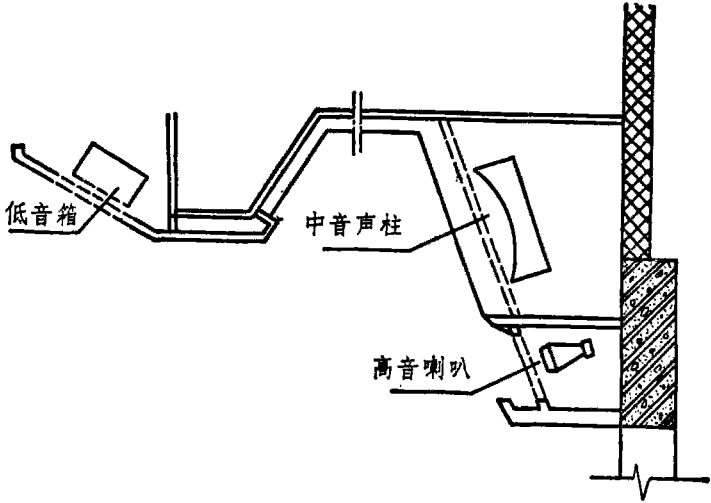


图2 扬声器的位置图

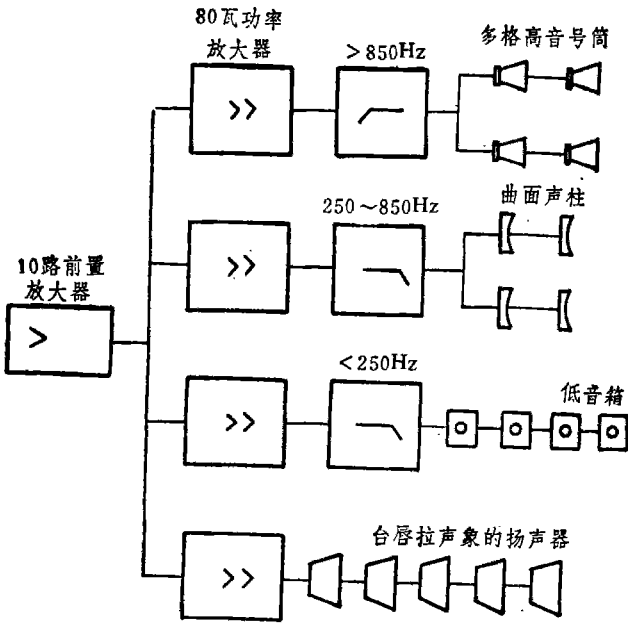


图3 扩声系统原理图

观众厅的混响时间测量值如表 1 所示。

表 1 观众厅的混响时间

频率 (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
混响 时间(s)						
空 场	2.48	2.65	2.26	2.35	2.45	2.00
满 场	2.00	1.80	1.53	1.46	1.27	1.40

从测量的结果看出,混响时间达到了设计要求。中频在 1.5 秒左右,低频提升 20~30%,高频略短于中频。

(2) 声场分布

在空场的情况下,测量了自然声和扩声的声场分布。前者是在舞台演出区设置一声源发声,后者是通过扩声系统场声器组发声。自然声的声场不均匀度(70个测点),中频为 6db,高频为 5db,扩声的测试结果(38个测点),中频为 5db,高频为 6db。

测试结果表明,这两种情况的声场不均匀度基本相同,都能符合设计的要求。并且也说明观众厅的体形和内部装饰,对声波的扩散是有利的,使声场分布比较均匀。即使以单声源模拟自然声发声,与用扩声系统多声源发声,其声场不均匀度也没有多大差别。

(3) 反射声分布

在观众厅选择 13 个测点,用电火花放置在舞台上作声源,然后在各测点通过示波器拍摄反射声的分布图形。测量结果没有发现延时时间比较长的强反射声。

(4) 语言清晰度

采用南京大学物理系提供的听音划字方法,在空场的情况下,测量自然声和扩声的语言清晰度。测量时男女发音员各一名在舞台朗读字表,在不使用和使用扩声系统情况下,由 25 名听音人员分散在观众厅 5 个区,按字表听音划字,最后统计出语言清晰度。测听结果,自然声清晰度池座为 90%,楼座 85%。在使用扩声系统时。观众

厅各区的清晰度达 95%,试验结果是令人满意的。听众反映,在集会和放映电影时,清晰度比较高,主观感觉与测试结果是相符的。

(5) 方向性扩散

在观众厅选择 3 个测点,利用声透镜测量自然声(2000Hz)的水平方向性扩散,其平均值为 78%,测量结果表明,观众厅声音的扩散是比较充分,这与声场分布较为均匀也是相对应的。

(6) 频率特性

在观众厅测量扩声系统的频率特性,同时也把大厅本身的特性包括在内,这样更为符合使用时的实际情况。测量时用粉红噪声作讯号源,直接输入扩声系统的前置放大器,把多频补偿器调至平直,在整个扩声系统正常使用的情况下,选择 3 个测点进行空场测量,所得结果见图 4,100~8000Hz 的变化范围在 ± 5 db 之内,估计在满场时因有听众,大厅的建声特性会有所改变,但因扬声器组的指向性较强,这种改变不会影响很大。

(7) 传声增益

在调试扩声系统的过程中,还测量了它的传声增益及其频率特性。测量的方法是按经常使用情况在舞台上放置一传声器,接通扩声系统后,调节前置放大器增益(此时多频补偿器放在平直位置)使它达到反馈的临界状态,然后把增益衰减 6db,这时扩声系统处于正常使用的稳定状态。此时,在传声器前 50cm 处放置一扬声器,发出粉红噪声,在传声器和观众厅各测点分别测出各频率讯号

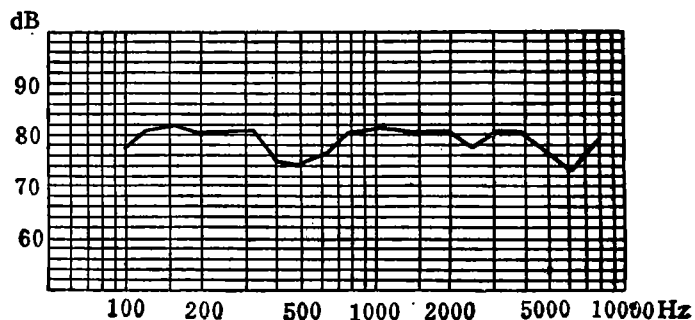


图 4 频率特性图

的声压级, 它们的差值即为扩声系统的传声增益。图 5 为测量的结果。

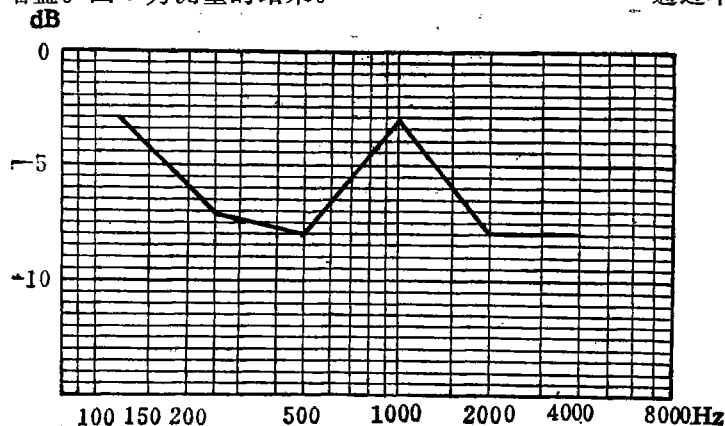


图 5 空场扩声系统的传声增益

从测量的结果看出, 各个频率的传声增益均大于 -8dB , 满足使用的要求。

四 结束语

燕山剧院已竣工半年多, 经过声学测试, 各项指标均达到了设计要求。主管部门对剧院的音质效果反映满意并以认为所已满足了

多功能的使用要求。

通过本项工程的实践, 作为一座多功能厅堂, 从声音角度考虑, 我们感到应注意下列几个方面:

(1) 要具有较为合适的体形, 避免出现声学缺陷。

(2) 应具有适宜的混响时间及其频率特性, 目前我国多功能厅堂, 基本上以放映电影和集会为主, 有时也兼作音乐舞蹈演出, 主要要求清晰度比较高, 也要适当照顾有一定的丰满度, 因此中频混响时间可

控制在 $1.3\sim 1.5$ 秒范围, 低频可提升 25% , 高频争取与中频平直。

(3) 要装置一套质量比较高的扩声系统。把扬声器组安装在舞台口上方, 在台唇再安装几个辅助扬声器, 可解决声象问题。

(4) 如果经济条件允许, 最好在舞台上设置反射罩, 供音乐演出用。但反射罩要轻便灵活, 便于装卸。

(上接第 4 页)

将左、右声道信号反相按比例 K (K 约为 $0.1\sim 0.6$ 左右) 相混, 也可将此反相信号只取 $300\sim 7000\text{Hz}$ 的中频段^[8], 所以展宽效果与 K 值及反相信号的频段等因素有很大关联。

8. 对听音人的要求:

- (1) 具有声频、电声学基本技术知识;
 - (2) 具有音乐常识, 最好本人是音乐爱好者;
 - (3) 能听出 1KHz 信号 3dB 的响度变化;
 - (4) 能听出 1KHz 左右 1% 的音调变化;
 - (5) 无严重听力损伤者;
 - (6) 能正确确定立体声声象重放的位置
- 听音人可男、女各半, 每次听音至少需

7 人。

参 考 文 献

- [1] 李宝善 高保真放声技术 第二章三、四、五节
- [2] 李宝善 音质评价术语技术含义的探讨
《电声技术》1978年第3期
- [3] Lipshitz, S. P. Vanderkooy J The Great Debate: Subjective Evaluate JAES July/Aug. 1981.
- [4] IEC Publication 543 1976 Informative Guide for Subjective Listening Tests
- [5] 包紫薇 电声系统和音质评价的声学原理
《无线电与电视》1982年第1期
- [6] Ojala M. 听音评价专题报告
1982年4月来沪学术交流报告
- [7] 李宝善 立体声应用技术 第四章4.1节
- [8] 蒋玖根 立体声的声象展宽技术
《无线电与电视》1982年第2期