

首都师范大学主楼区立体声场的设计

王立雪

(首都师范大学物理系 北京 100037)

1995 年 1 月 26 日收到

摘要 本文对首都师范大学主楼区立体声广播系统的设计及对实际声场进行的调测进行了总结.

关键词 立体声, 声象, 声吸收, 噪声

Designing the broadcasting system on campus of the capital Normal University,

Wang Lixue

(Department of Physics, Capital Normal University, Beijing 100037)

Abstract The paper summarizes work done in designing the stereophonic broadcasting system and testing the resulting sound field, around the main buildings in the Capital Normal University, Beijing.

Key words Stereophonic system, Sound image, Sound absorption, Noise

1 概况

首都师大的广播主要是单声系统. 为了使师生能身临其境地听到优美的音乐与播音, 我们设计了花园区和主楼区立体声系统.

2 电声系统组成

首都师大有线广播系统是以语言为主兼放音乐节目的, 是由小型播音室、控制室和室外听音区组成的以传声为主的完整的电声系统.

3 主楼区双路强度型立体声场的设计

3.1 主楼区声场分析

3.1.1 声场空间的选择

首都师大主楼座西朝东, 南北两侧是瑰丽的玉兰园, 中间形成 50 m 宽, 70 m 长的小广场. 应用声学

该场地符合声场空间无高大反射建筑物的条件, 使立体声场内避免产生声聚焦及回声.

3.1.2 对传播中声波能量的分析

声波在空气媒质中传输其能量的衰减主要表现在两方面: 一方面由球面波随距离 r 的增加使能量发散. 在距离声源 r 处的球面波直达声声强 I 为^[1]

$$I = \frac{Q_s(\theta) \cdot W_A}{4\pi r^2} \quad (1)$$

$Q_s(\theta)$ 为扬声器指向性因数. 另一方面, 由于粘滞性和热传导形成的声吸收作用也会引起声波能量的衰减. 其声强 I_r 将随距离 r 的增加按指数规律衰减^[2].

$$I_r = I \cdot e^{-mr} \quad (2)$$

m ——空气对声波的吸收系统

从公式(1), (2)可知, 距声源 r 处的声强

I_r 应为^[3]

$$I_r = \frac{Q_s(\theta) \cdot W_A}{4\pi r^2} \cdot e^{-mr} \tag{3}$$

所以欲求声源的声功率须将声吸收计算在内。

3.1.3 环境噪声对声场的影响

环境噪声往往由多个不同方位声源产生的。它们都很宽的噪声频谱。如工业噪声，交通噪声等等。噪声的存在，会使广播的清晰度受到影响。因此要将语言和音乐节目信号提高到大于一个掩蔽值 K_M (dB)。这是聆听者听到的最小声信号时的值。又由于语言和音乐要有一定的动态范围 K_R (dB)，才能使听者感受到语言、音乐节奏、力度等，使听者听到如拾声处声源的声色。因此，要求满足语言和音乐本身的动态范围。这是听者听到的信号最大声功率。若在要求不高的场合，一般可将动态范围适当压缩。

3.2 立体声系统的设计

3.2.1 扬声器的安置

用高质量扬声器组成三分频双列扬声器声柱。在声柱中，高、中、低扬声器分别封在不同容积的闭箱中，致使各频段声波不会互相干扰。在各自的箱体中，分别按不同频段安置吸

声材料，用以吸收扬声器反向辐射的声波能量。左右两路扬声器，悬于 7 m 高处，声柱主轴指向东大门人耳高度处。

3.2.2 放大器功率的确定

扬声器在室外重放，聆听者在声场中主要听的是直达声，几乎没有前期反射声，更无混响声。因此，在双路强度型立体声中，听者处声波状态是由左右两路声柱所发出的直达声形成的。若听者处在声场远端服务区的边缘，听者处声波总声压级 $SPL_{\Sigma} = K_M + K_R$ 。若将声源能量发散及空气对声波的吸收因素考虑在内，双路立体声中其中某一路扬声器所辐射的声功率级可由下式决定^[3](假设双路立体声左右两路扬声器的特性完全一致)：

$$\begin{aligned} SPL_{\Sigma} &= SPL_{\text{右}} = K_M + K_R - 3 \\ &= SWL + 10LgQ_s(\theta) \\ &\quad + 10Lg \frac{1}{4\pi r^2} + 10Lge^{-mr} \tag{4} \end{aligned}$$

SWL ——是以 10^{-12} w 为参考声功率的声功率级。按此方法计算出的声功率为功率放大器(指一路)应发出的最大声功率。若选定的声场环境安静且在声场的边缘要求不高时可降低节目的动态范围，得到适当的声功率。

表 1 单路扬声器测试点坐标测点

测点	1	2	3	4	5	6	7	8	9
坐标 X, Y(m)	0, 13	-7, 13	7, 13	-17, 24	17, 24	-21, 35	21, 35	0, 53	0, 67

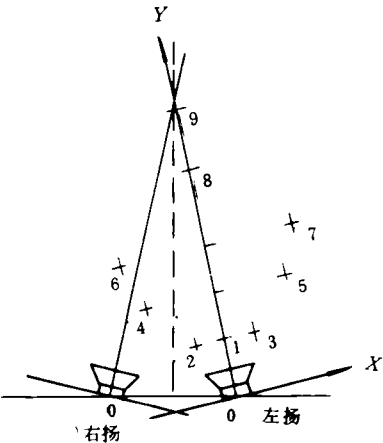


图 1 左路声柱开启时的 9 个测点分布

4 测试结果

测试点分布：由于左右两路扬声器及箱体的各种性能一致，单路扬声器辐射声场的情况相差很小，故我们就以一组数据反映两路扬声器分别开启时的情况。每路扬声器九个测点。

以声柱轴向为 Y 轴，以各扬声策动单元为原点，垂直 Y 轴右方为 X 轴方向，九个测点坐标如表 1 所示，测点分布如图 1 所示。

4.1 声场分布：

开启立体声左路(右路)声柱时 9 个测点，5 个频率的声场分布。如图 2 所示。

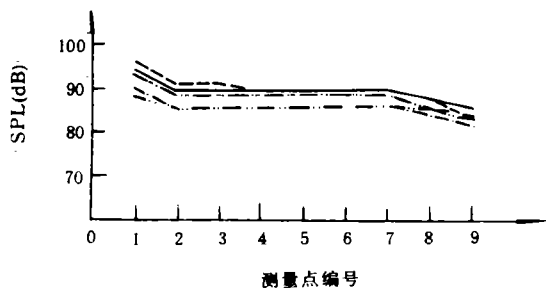


图2 左右两路声柱分别开启时9个测点的声场分布

—— 125 Hz, —— 500 Hz, — · — 1 k Hz,
— · · — 2 k Hz, — · · · — 4 k Hz

4.2 传声频响

左右两路声柱分别开启时轴向传声频响及范围如表2、图3所示。

4.3 最大声压级如表3所示

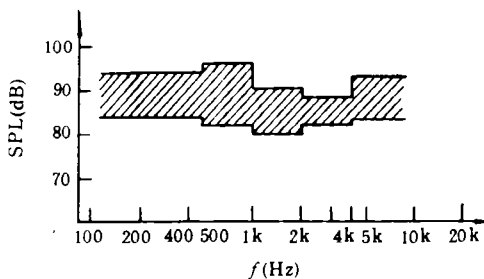


图3 左右两路声柱分别开启时9个测试点传声频响范围值

表2 单路扬声器开启时轴向传声频响数据

$f(\text{Hz})$	63	125	500	1 k	2 k	4 k	8 k	16 k
$SPL(\text{dB})$	85	91	90.5	91	91	91	87	82

4.4 立体声重放区偏离中轴线声压级1 dB 差别声场分布

以左右两路声柱连线中点为原点，频率为

表4 双路扬声器开启时各对应测试点的声压级

测试点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
座标 $X, Y(\text{m})$	0, 11	0, 15	-1, 15	1, 15	0, 35	-14, 35	14, 35	0, 40	-24, 40	24, 40
$SPL(\text{dB})$	86	85	84	84	80	79	79	79	78	78

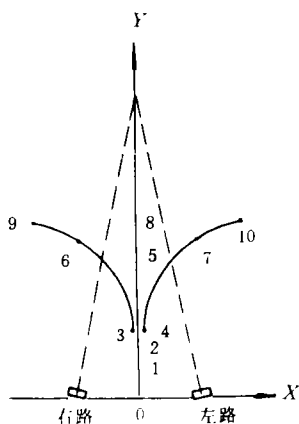


图4 立体声重放区偏离中轴线声压级1 dB 差别之声场分布

1 kHz 的10个点的声场分布如表4、图4所示。

5 测试分析

5.1 声场不均匀度

分别开启左右两路声柱，在18个测试点

表3 单路扬声器开启时测试点的最大声压级

测试点	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$SPL(\text{dB})$	96	91	91	89	89	89	89	86	82

及125 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 4 kHz 五种频率的测量下，声压级相差不大于10 dB。

立体声左右两路声柱同时开启时10个测试点，频率为1 kHz 的声压级差不大于10 dB。符合设计要求。

5.2 传输频率特性

左、右两路按+2 dB——4 dB 为允许范围，其频率为63 Hz—8 kHz。

5.3 最大声压级

主楼立体声区声柱,在调声控制台预留 12 dB 电平储备条件下,10 个测试点平均值为 89.4 dB,达到设计要求。

5.4 强度型立体声场分析

左右两路声柱共同开启,形成强度型立体声准平衡区声场。在满足听者处声强差和时间差都是最小时,以左右声柱位置为焦点所形成的双曲线围成的面积,在左右两路声柱间距增大时亦增大。因此强度型立体声准平衡区能容纳更多的聆听者。

(上接第 9 页)

并展开的第一回波的波形。由于换能器的机械品质因素 Q_M 的存在,脉冲回波波形的前后沿都呈现瞬态过程,需要一定的上升时间和下降时间。所以确定脉冲持续时间 τ 应从声能量的观点考虑,我们是根据 IEC1102:1991 规定的定义来测定脉冲持续时间 τ 。即以声脉冲波形中声压平方的时间积分函数值从其终值的 0.1 倍上升到终值的 0.9 倍所经历的时间的 1.25 倍作为脉冲持续时间 τ 。

经过计算,本文提出的测量方法,估计的测量不确定度优于 $\pm 20\%$ 。本方法与其它测量方法的比对将由另文发表。

5 结语

本文提出的基于互易校准原理的测量换能

(上接第 42 页)

(2) 由于这种功能材料的机械性能远优于玻璃纤维和泡沫塑料等常用的吸声材料,成型容易,便于安装,不必外加护面板,大大方便了工程应用。若将其制成机电产品的某些零部件(如罩壳、箱体内衬板等)时,可以在不增加产品成本和结构尺寸重量的前提下使噪声降低。这种功能材料的开发具有实用价值。

(3) 研究表明通过改变材料的粒度、结构参数以及配方等因素,可将颗粒微孔结构吸声材料的吸声特性和整体性能进行提高和调整,

致谢 主楼立体声区调测后效果完好。在设计调试过程中,得到校党委副书记李因、团委书记韩颖、保卫处处长李克芳及物理系领导等同志的大力支持,在此一并致以谢意。

参 考 文 献

- [1] 管善群,电声技术基础.北京:人民邮电出版社,1987. 12.
- [2] 马大猷,沈豪,声学手册.北京:科学出版社,1983. 113.
- [3] 王立雪,首都师范大学学报自然科学版,1994. 15(3): 41—44.

器声功率的方法,可用于平面活塞型换能器的辐射声功率的测量。其优点是只要通过电压和电流的测量就可获得声功率。尤其适用占空比很低的猝发纯音脉冲超声功率的测量。对于强超声功率的测量,它受到短路发射电流测量的困难和可能出现的换能器非线性效应的限制,尚待进一步研究。

参 考 文 献

- [1] Kossoff G. *J. Acoust. Soc. Am.*, 1965, **38**: 880—881.
- [2] Haran M E, Cook B D, Stewart H F, *J. Acoust. Soc. Am.*, 1975, **57**, 1436—1440.
- [3] Mikhailov I G, Shutilov V A, *Soviet Phys. Acoust.*, 1957, **3**, 410—411.
- [4] Carstensen E L. *J. Acoust. Soc. Am.*, 1947, **19**, 961.
- [5] Beissner K. *Acustica*, 1980, **46**, 162—167.
- [6] Fay B *Acustica*, 1976/1977, **36**, 209—213.

以满足不同的噪声治理工程要求。

参 考 文 献

- [1] 赵松龄,噪声的降低与隔离,上海:同济大学出版社,1985. 153—169.
- [2] 金卓仁,噪声与振动控制,1993. 6(3). 31—35.
- [3] Zwicker CW. *Sound Absorbing Materials*. New York: Elsevier Publishing Co Inc, 1969, 79—85.
- [4] 穆腊亚马 T 著,谌福特译.聚合物材料的动态力学分析.北京:轻工业出版社,1988. 123—139.
- [5] 何祚镛,赵玉芳.声学理论基础,北京:国防工业出版社,1981. 385—390.