

广东星海音乐厅室内乐厅的声学设计

项端祈

(北京市建筑设计研究院 北京 100045)

1999 年 3 月 8 日收到

摘要 室内乐厅是以演奏室内乐为主、兼供独奏(唱)、音乐讲座、文娱演出和立体电影所用的多功能厅堂。为使各项功能均具有最佳的声学条件,设置了用计算机调控混响时间的装置。本文概要介绍室内乐厅的声学设计、但侧重于计算机调控混响时间所取得的成效。

关键词 多功能厅, 室内乐厅, 声学设计, 可调混响时间

Acoustic design of the chamber music hall of Xing Hai Concert Hall of Guangdong province

Xing Duanqi

(Beijing Institute of Architectural Design and Research, Beijing 100045)

Abstract The chamber music hall of Xing Hao Concert Hall of Guangdong province is a multipurpose hall which is mainly for chamber music, and also for solo, ensemble and vocal solo, music lecture, the performance of entertainment and stereoscopic film. To achieve optimum acoustic condition for various functions, adjustable reverberation time device controlled by computer is installed in the hall. A brief description of the acoustic design is presented in this paper, paying particular attention to the achievement in controlling reverberation time with computer.

Key words Multi-purpose hall, Chamber music hall, Acoustic design, Adjustable reverberation time

1 引言

星海音乐厅室内乐厅是以室内乐为主的多功能大厅。容纳 461 名听众,有效容积 3400m^3 , 每座占容积 7.4m^3 。大厅采用不对称的扇形平面,右侧设厢座;左侧为二层挑廊,后部设有三排座席的小楼座。舞台配置在尽端。台上设有活动的音乐罩和 11 个音栓的练习用

管风琴。室内乐厅的平、剖面见图 1。

室内乐厅的声学设计指标的确定,考虑到自然声演奏室内乐和用扩声系统演出其它剧目两种演出方式。混响时间采用可调吸声装置,其它指标则偏重以清晰为主。各项设计指标见表 1 所示。

室内乐厅经一次调试即达到设计要求,并于 1998 年 2 月 20 日启用,首场演出是广东省少

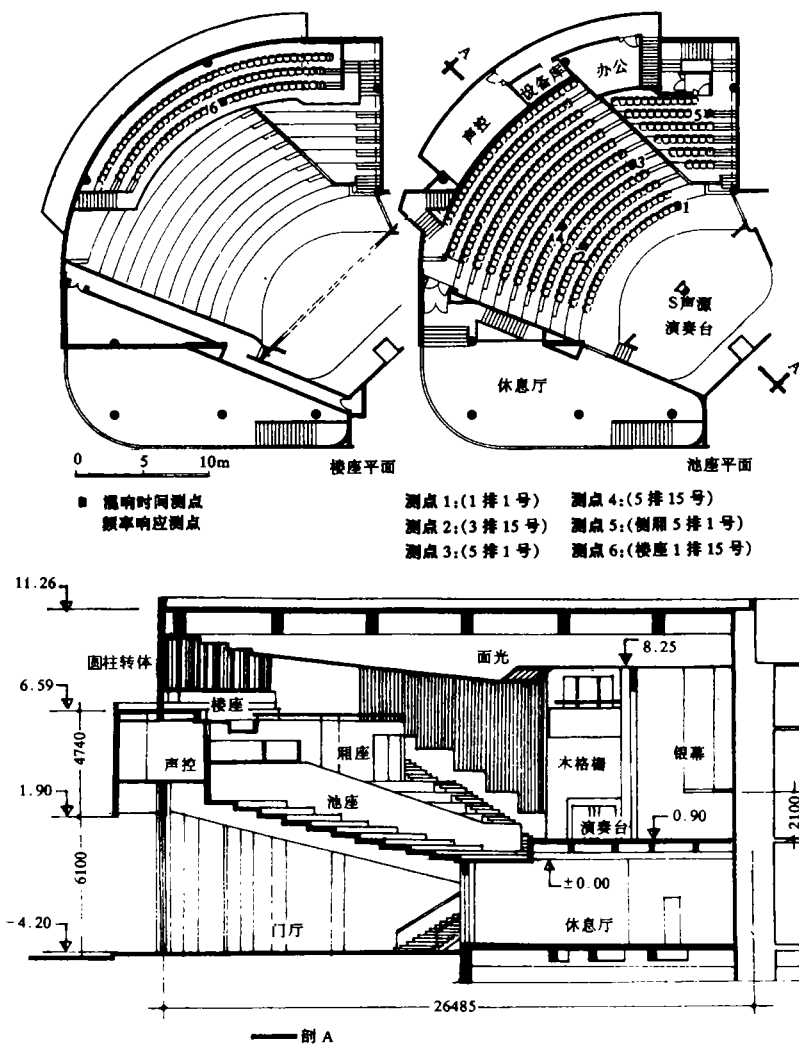


表 1 室内乐厅的声学设计指标

编号	声学设计指标名称	设计指标	竣工调试后的测定结果 *
1	响度: L 声压级 (dB)	后排座席 >75	75-94
2	混响时间: $RT(s)$	0.8-1.3 可调	0.79-1.31 可调
3	低音比: BR	1.05-1.10	1.10
4	声场分布: $\Delta P(dB)$	≤ 6.0	5.2
5	频率响应: $F(dB)$	100-4000Hz <10	<8.0
6	早期反射声时延间隙 $t_1(ms)$	<10	2-9
7	明晰度: $C_{80}(3)(dB)$	0-4.0	3.77(平均值)
8	噪声级: $N(dBA)$	25-28 开空调时	26.0
9	音质缺陷	无	无

* 为了压缩篇幅, 将竣工调试后实测的各项指标, 简述于表内。

年钢琴比赛, 相继演出的是古筝独奏会。无论是乐师或听众, 均反映厅内音质效果极佳。

2 室内乐厅的声学设计

厅内的不规则室形和侧墙、后墙上的圆柱形可调结构(音乐会时为圆柱形反射面),有助于厅内的声扩散。池座有左侧墙和厢座矮墙提供早期侧向反射声;厢座和楼座的听众主要由吊顶供给早期反射声。

为控制厅内的混响时间,使之有尽可能大的可调混响幅度,采取了如下措施:

(1)除可调混响结构中的吸声构造以外,均为反射面;硬木地板;轻钢龙骨石膏板吊顶;25mm厚硬木板墙,外贴榉木三合板。

(2)可调响结构的反射面为:圆柱体的反射面为25mm厚松木板,外贴双层三合板;帘幕反射面为墙面抹灰粉光。

(3)座椅选用澳大利亚“西贝(Sebel)”公司特制的低吸声塑料软垫椅。

(4)可调结构的吸声面,采用宽频带吸声构造和材料。

室内乐厅的噪声控制同样包括围护结构的隔声和空调系统的消声两部分。厅内的周墙均为内隔墙,且采用重墙(240mm厚砖墙和200mm厚钢筋混凝土墙),屋顶为双层结构,故不存在空气声和冲击声的隔声问题;空调系统采用顶送、下回的传统送风方式,消声采取了配置消声器、限止气流速度和确定送、回风量的比例等三项措施。所有的空调设备分别采用橡胶隔振器(扰动频率 f_0 较大时)和弹簧隔振装置(扰动频率 f_0 较低时)。确保大厅达到允许噪声级。

3 可调混响时间的设计

为满足多功能的使用要求,使每种功能均达到“最佳”的混响时间,故采用计算机调控的可调混响装置。可调混响的上限值取1.3s,供室内乐演奏使用;下限值是根据立体声电影的要求确定为0.8s,故可调混响的最大幅度为0.5s(1.3-0.8s),并要求125Hz-4000Hz的覆盖

频率范围内均有较为接近的可调幅度。对此采取了如下两条基本的设计准则,即:

(1)可调结构反射面暴露时,低频的声吸收尽可能地低。

(2)吸声面暴露时,低频吸声量尽可能地高。

根据上述准则,旋转圆柱体,反射面采用25mm厚木板,追加6mm厚的双层三合板;吸声面采用6mm阻燃毛毡,在800mm直径的圆柱体内填满32k玻璃棉毡。

帘幕后面为抹灰粉光,帘幕为双层3mm厚阻燃毯。离刚性面350mm。

在可调混响幅度内可根据需要无级调控,但为了工作人员便于操作,把可调幅度设定五个档次,即:

- 用于室内乐演奏: 1.3s
- 用于独奏、独唱: 1.2s
- 文娱节目演出: 1.1s
- 音乐讲座或会议: 1.0s
- 立体声电影: 0.8s

可调混响结构采用旋转圆柱体和平移的帘幕相结合的形式。圆柱体直径为800mm,半面吸声,另半面反射,配置在左侧墙的上、下部位和后墙上,共计29个;可调帘幕分三道配置在厢座侧墙的木格栅内,共计可调面积为:圆柱转体为78.7m²帘幕46m²。总计面积124.7m²,为大厅总表面积(1238m²)的10%。

可调混响圆柱体的配置、构造和内景分别见图2-图4所示。

调控采用计算机和手动两种方式;调控的方块图见图5所示。调控装置完工后,进行了可调混响时间幅度的测定,其结果达到了设计要求。

4 室内乐厅的声学测量和评价

室内乐厅竣工后曾对设计的八项指标进行了测定。其中响度(L)、低音比(BR)和声场分布(ΔP)等的测定概况见表1,其余几项测

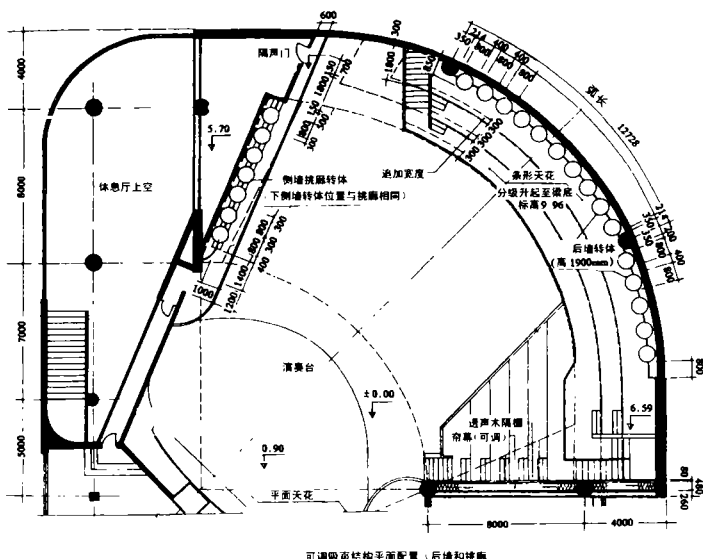


图 2 室内乐厅左侧墙和后墙上的可调圆柱体配置

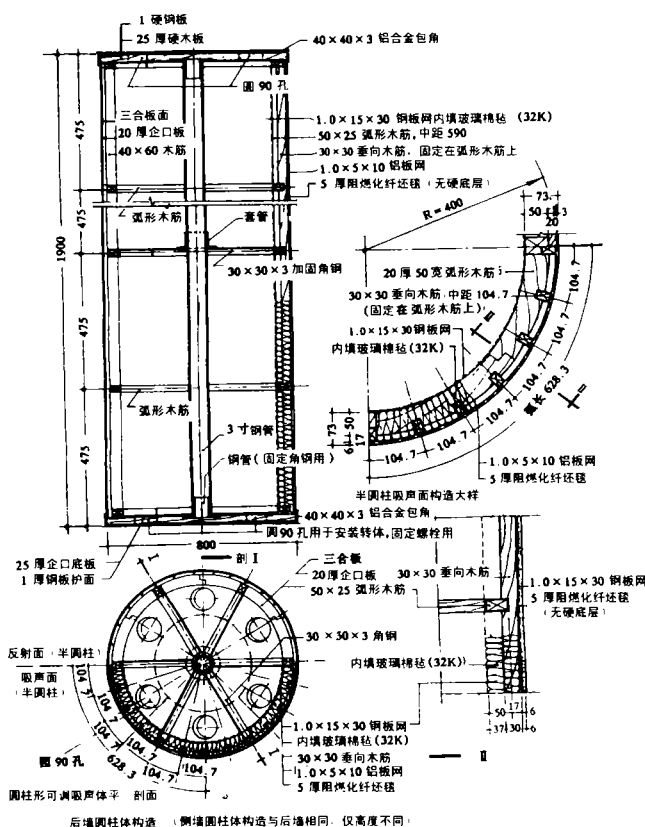


图 3 室内乐厅可调圆柱体的构造

定结果如下:

(1) 混响时间 (RT)

混响时间的测定是按设定的五种可调混响方式中的三种进行的, 即:

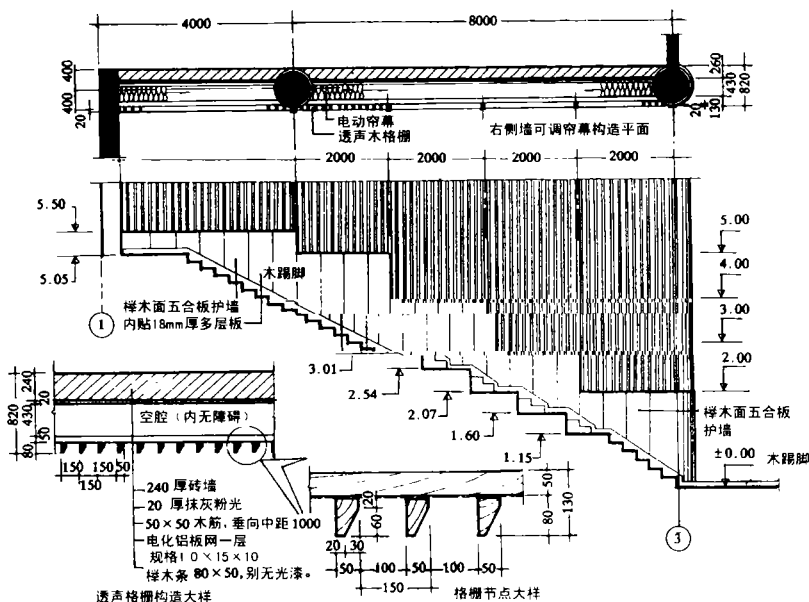


图 4 室内乐厅可调圆柱体的内景

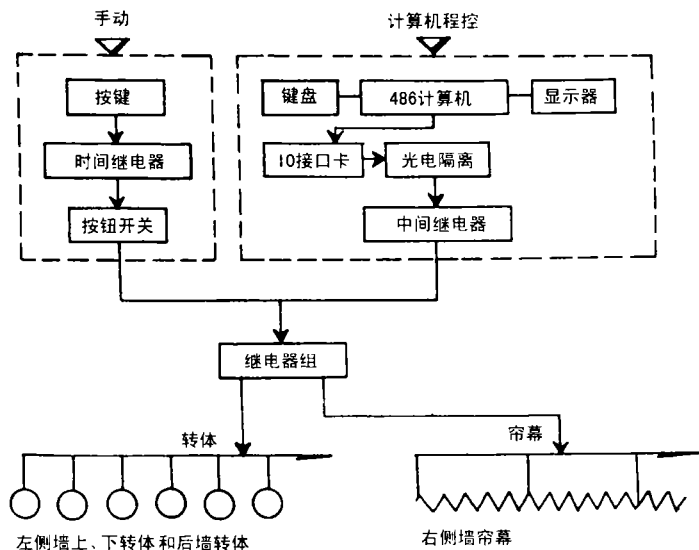


图 5 可调混响装置计算机调控方块图

- A. 转体和帘幕反射面暴露, 这时厅内具有最长的混响;
- C. 转体和帘幕吸声面各暴露一半;
- E. 转体和帘幕吸声面全部暴露, 厅内混响时间处于最短的情况。

测定结果见表 2, 测点位置见图 1 平面所示。平均最大可调幅度为 0.48s。

(2) 频率响应 (F)

频率响应按 80Hz-4000Hz 的 1/3 倍频程进行测定。共测 6 个点, 测点位置同混响时间,

表 2 室内乐厅可调混响的五种设定方式和调幅量测定结果

设定方式	适用剧目	可调吸声结构状况	图例: 吸声 反射	下述频率 (Hz) 的混响时间 (S)					
				125	250	500	1000	2000	4000
A	室内乐独奏 (唱)	全反射: 转体反射面暴露 帘幕闭合	转体: 帘幕:	1.44	1.33	1.31	1.37	1.44	1.39
B	合唱,重奏 (唱) 歌舞表演	2/3反射: 转体2/3反射面暴露 帘幕展开1个		1.28	1.20	1.15	1.26	1.29	1.25
C	粤剧、话剧 独幕剧等	半吸声: 转体1/2吸声面暴露 帘幕展开1个		1.13	1.03	1.00	1.14	1.18	1.11
D	会议、讲座 朗诵	2/3吸声: 转体2/3吸声面暴露 帘幕展开2个		1.00	0.90	0.90	1.05	1.06	1.02
E	立体声电影	全吸声: 转体吸声面暴露 帘幕全部展开		0.90	0.78	0.79	0.94	0.98	0.93
半吸声 (半反射) 时的可调幅度, 即A-C				0.31	0.30	0.31	0.23	0.26	0.28
最大可调幅度 (即全反射与全吸声之差值, A-E)				0.54	0.55	0.46	0.43	0.46	0.46

空场平均最大可调幅度: $T_1 = 0.48$ (测定值)

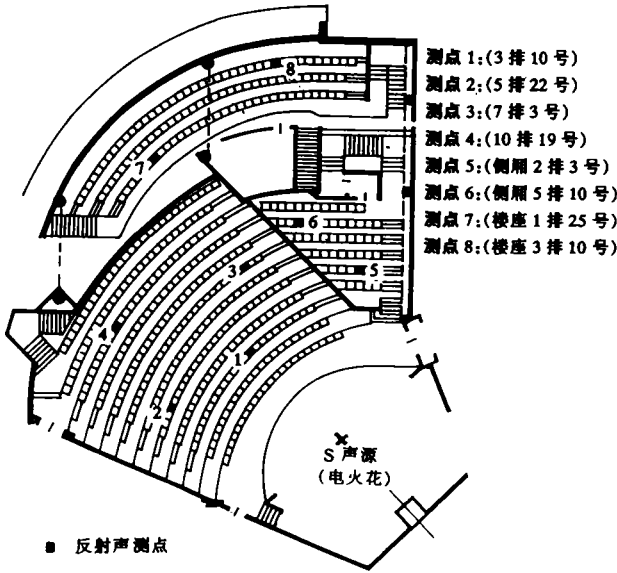


图 6 室内乐厅早期反射声测点配置

见图 1, 测定结果为 125Hz-4000Hz 的频率范围内 F 均小于 8dB。

(3) 早期反射声时延间隙 (t_f)

早期反射声的测点选择在池座、厢座和楼座三个区域内有代表性的座席上, 总计 8 个

点, 见图 6 所示。测定声源采用电火花发生器; 传声器接收后输入计算机。信号处理后, 由打印机绘制出反射声序列图, 时标取 100ms, 见图 7 所示。由反射声序列图可见, 时延间隙为 2-9ms。

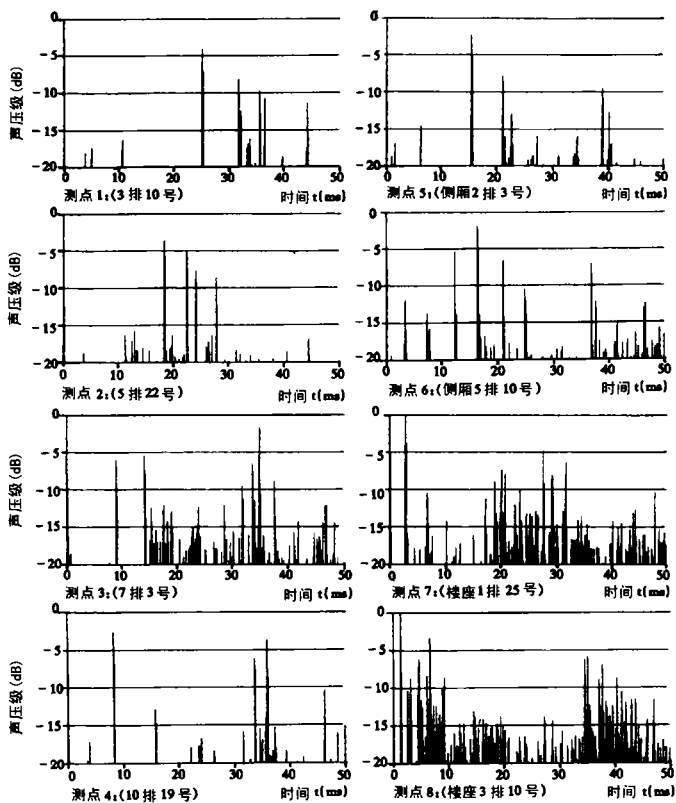


图7 室内乐厅8个点测得的早期反射声序列

(4) 明晰度 ($C_{80}(3)$, $C_{50}(3)$):

由早期反射声的测定结果可用式(1)和(2)求得 500Hz, 1000Hz, 2000Hz 三个频率的 C_{80} 和 C_{50} 值, 然后取其平均值, 即得 $C_{80}(3)$ 和 $C_{50}(3)$ 。

$$C_{80} = 10 \lg \frac{\int_0^{80} P^2(t) dt}{\int_{80}^{\infty} P^2(t) dt} \text{ (dB)} \quad (1)$$

$$C_{50} = 10 \lg \frac{\int_0^{50} P^2(t) dt}{\int_{50}^{\infty} P^2(t) dt} \text{ (dB)} \quad (2)$$

室内乐厅 8 个测点的 $C_{80}(3)$ 值为 2.55~4.93dB, 平均值为 3.77dB; $C_{50}(3)$ 为 -0.02~2.38dB, 平均值为 1.06dB。这表明厅内有较好的清晰度。

(5) 噪声级 (N)

厅内噪声级测定是在空调系统达到使用工况时进行的, 同时还测定了背景噪声。测定结果为 A 声级 26.0dB。

星海音乐厅室内乐厅的 9 项声学指标测定的结果表明, 全部达到设计要求。该厅在试用期间, 多数用于音乐分声部排练和独奏(唱)排练。公开演出仅有两次: 广东省少年钢琴比赛和古筝独奏会。无论是乐师或听众一致反映音质优异, 特别表现在声音清晰、纯真, 乐器的质感和演奏(唱)的亮度都受到音乐家们的赞赏。

此外, 由于采用计算机调控混响时间, 操作人员仅需在 15s 时间内(旋转一圈为 30s)即可调到所需的混响时间, 并在显示屏幕上即可看到调节的状况, 因此, 很受管理人员的欢迎。