

北京红塔礼堂的音质设计

项端祈 苏 纹

(北京市建筑设计院)

1982年9月6日收到

北京红塔礼堂是一个以音乐演奏为主的多功能厅堂,可容纳2010名听众。有效容积 7800m^3 。建成于1978年。为了适应自然声演出的需要,同年作了音质改善和调试工作,经几年的使用表明,音质良好。

本文主要介绍在大型厅堂内实现自然声音乐演出的设计要求和具体措施。

对大厅的音质设计和评价也作了概要介绍。

一、概 述

北京红塔礼堂是一个以自然声音乐演出为主的多功能厅堂。近几年来,已有二十多个国家和地区的音乐家们在这里进行了80余场演出,国内音乐团体也演出了约180余场。

大厅可容2010名听众,有效容积 7800m^3 ,每座占容积 3.9m^3 。总表面积为 3200m^2 ,平均自由程为9.5m。

大厅的平面呈钟形,从台口线至最后排的距离为36m,最大宽度24m,平均高度为11m。大厅的平、剖面见图1

大厅平、剖面形式的确定主要考虑了如下几点:

1. 台口附近的墙面和吊顶形式,是根据增加正厅前座50ms以内的反射声和补救后座声强不足而确定的;

2. 整个吊顶的形式,除了建筑装修要求外,主要为加强楼厅后座的声强,从而使大厅有比较均匀的声场分布;

3. 悬挑的耳光槽和挑台拦板的形式,除了功能上的要求以外,还作为增加大厅声扩散的一部分。

为使大厅能在自然声条件下演出各类音乐,特别是满足演出室内乐、小乐队、重奏和独

奏(唱)时的要求,充分地利用演员或乐器有限的自然声能,在舞台上配置了活动的舞台音乐罩和升降乐池。

为了满足音乐以外各种功能(如会议、戏剧和歌舞演出等)的需要,在大厅台口上配置了三组声柱,为了改善前排听众的方位感,在台口两侧增设了辅助声柱。

红塔礼堂就其容量,可以列入近年来新建的大型厅堂的行列,但从建筑投资、室内外装修和陈设上看,只能算是一个低标准厅堂,相当于县一级影剧院的标准。但这并不妨害在声学设计上采取各种有效措施,为自然声音乐演出创造必要和充分的条件,从而获得良好的听闻效果的可能性,红塔礼堂声学设计的实践证明了一点。图2为红塔礼堂的内景。

二、大厅有效容积的选择

大厅的有效容积是按每个听众所占的容积确定的,不同用途的厅堂对每座容积有不同的要求。

在自然声条件下演出音乐的厅堂,每座容积的最佳值多数认为在 7m^3 左右,其理由是:

1. 富有空间感,有气势,这对某些交响乐(或个别乐章)的演出是很需要的;2. 容易获得较长的混响时间,特别是低频混响时间,从而使声音丰

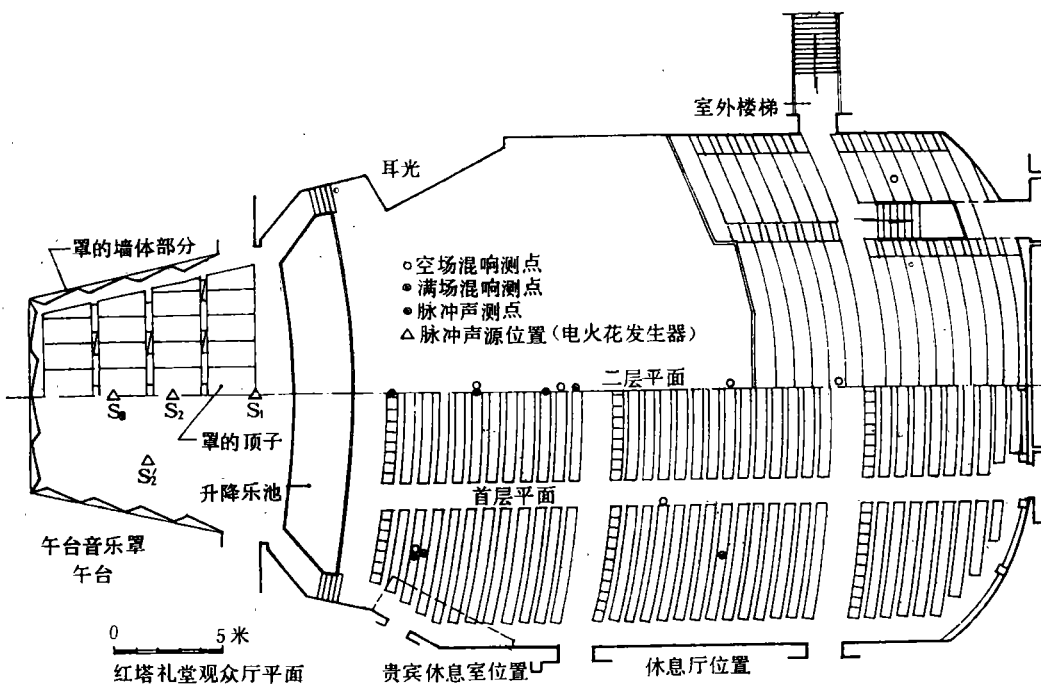
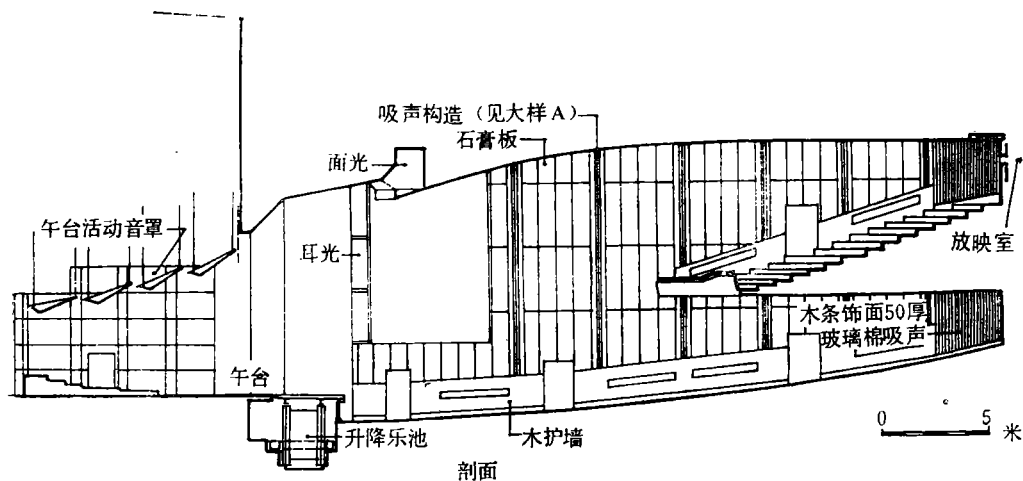


图1 北京红塔礼堂的平、剖面

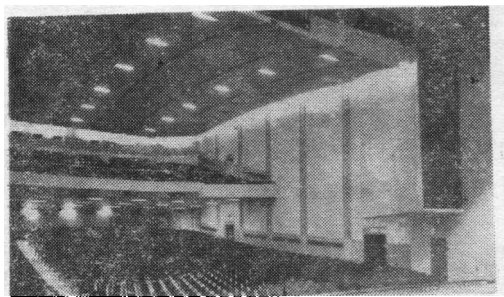


图2 北京红塔礼堂内景

满和浑厚。当然还可以提出大容积对演奏古典交响乐所带来的种种好处，这些似乎是无可非

议的。问题在于所设计的厅堂是单一的交响乐大厅呢？还是能演奏各类音乐的多用途大厅。前者应选择较大的容积，但究竟应取多大的值也还得进一步研究；后者则应根据主要用途和演出场次的多少去确定。

北京缺少一个容量较大的音乐演出的厅堂，因此，要求红塔礼堂能在自然声条件下演出包括大型交响乐，室内乐，合唱，小乐队演奏，重奏(唱)和独奏(唱)等内容。如果按国外推荐的“最佳”值(每座 7m^3) 确定容积，则 2010 名听众

的大厅容积应为 14070m^3 。在这样大的厅堂内，如果演出大型交响乐是适宜的话，那么在自然声条件下演奏室内乐和合唱就很困难，而重奏(唱)，独奏(唱)则不可能获得好的效果。

我们选择偏低的每座容积值，即每座 4m^3 左右，其理由如下：

1. 大厅要满足多种音乐节目自然声演出的需要；

2. 北京、上海和哈尔滨等地过去建造的、以表 1 自然声演出效果较好的几个老厅堂

厅堂名称	演出主要内容	观众数(名)	大厅容积(m^3)	每座所占容积($\text{m}^3/\text{座}$)
长安戏院(北京)	京剧	1279	3300	2.6
大众剧场(北京)	评剧	1130	4410	3.9
人民艺术剧院(上海)	话剧	880	4000	4.5
哈尔滨话剧院(哈尔滨)	话剧	1207	4300	3.5
上海音院旧址(上海)	音乐	1060	4150	3.8
中央音院礼堂(北京)	音乐	1040	4870	4.8

自然声演出效果较好的厅堂，其每座容积都很小，见表 1 所列的值。

3. 希望通过实践来检验，小容积的厅堂演出各类音乐究竟效果如何？会出现什么问题？以便为今后音乐厅的设计提供依据。

红塔礼堂交付使用至今的两年多时间内，国内、外音乐家们已在这里进行过 260 多场自然声音乐演出，其中包括电子音乐以外的各种音乐节目，演出的效果都很好。它不仅能使小提琴、琵琶和古筝等声功率很小的乐器独奏获得满意的效果，同时，对大型交响乐(120 名乐师和合唱队)演奏也得到好评。如世界著名小提琴家耶胡迪·梅纽因，美国小提琴家艾萨克·斯特恩，琵琶演奏家刘德海，美国波士顿交响乐团，法国里昂交响乐团，日本广播交响乐团等都在这里进行了成功的演出，对大厅的音质给予较高的评价。

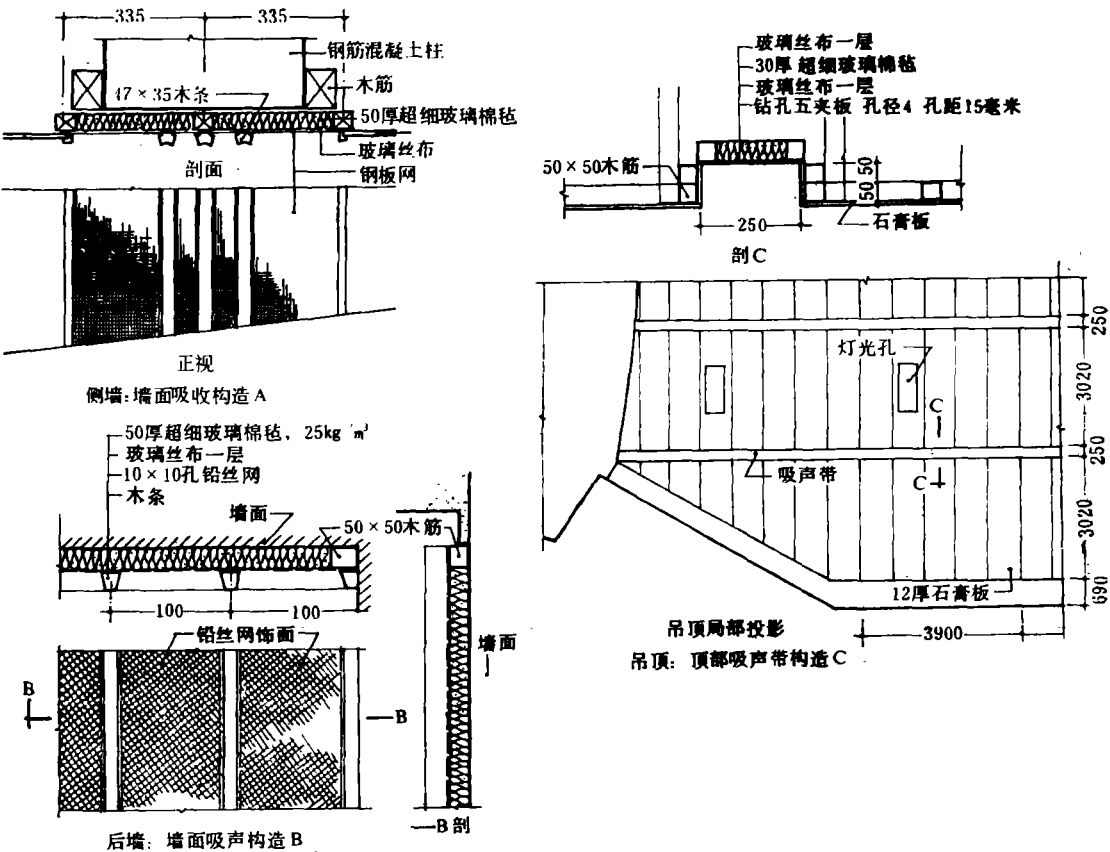


图 3 大厅内后墙、侧墙和吊顶局部吸声结构

对于室内乐,效果较为理想,如西德的斯图伽特室内乐,葡萄牙室内乐和中央乐团室内乐在该厅演出获得了满意的音质效果。

由此,我们认为:多功能音乐演出的厅堂,在其它音质参数设计得当的条件下,其每座容积控制在 4m^3 左右是适宜的,是否是“最佳”值呢?还须通过更多的工程实践去研究和探索。

三、混响时间的确定和调试

根据大厅的有效容积和以音乐演出为主的使用要求,确定中频(500 Hz)混响时间为 1.4s ^[1],高频尽可能与中频保持平直。为了增加音乐的低音感,将低频(125 Hz)混响时间提高,使它为中频的 1.4 倍,即 1.9s 。

控制大厅混响时间,主要靠观众本身的声吸收。观众厅后墙 (87.5m^2)和侧墙上 (55m^2)的局部吸声结构是为消除回声而设置的;顶棚上 (40m^2)的带状五夹板钻孔吸声结构是作为控制中频混响的追加设施。上述三种构造见图 3 内 A、B、C。

作为专门控制低频混响时间的构造是 182.5m^3 的五夹板木护墙,板离开墙面 100—150mm 不等。大厅竣工后的实测混响时间见图 4。由图 4 测定值可见,1000Hz 以下各频率的混响时间均未达到设计值,在 250Hz 出现了“峰值”,对此,不得不进行修改。

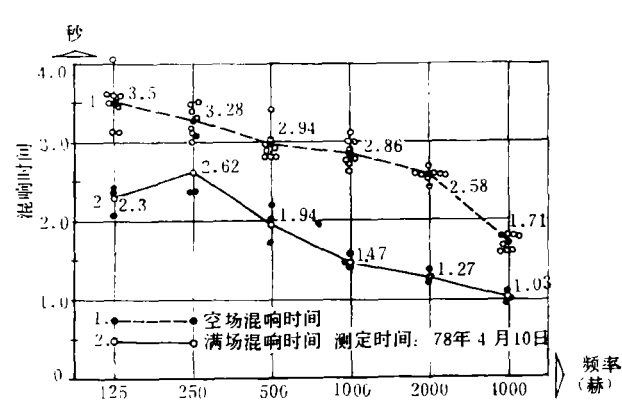


图 4 大厅竣工后空、满场实测混响时间

为了控制大厅 125—500Hz 的混响时间,使之达到设计要求,采用了共振吸声结构,把它们分别配置在侧墙、挑台下吊顶和挑台拦板上。

共振吸声器的共振频率 f_0 由下式求得:

$$f_0 = \frac{c}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{S}{L_K \cdot V}}$$

式中: c 为声速 (34000cm/s); S 为孔的断面积 (cm^2); $L_K = L_0(\text{板厚}) + 1.57R$ (圆孔半径, cm); V 为孔后空腔容积 (cm^3)。共振器的规格、数量及吸声值见表 2。

表 2 内共振器的吸声量是根据几个声学改善工程中,设置共振器前、后,混响时间的差值推算求得的。通过大厅的调试结果表明比较接近实际。

大厅经改建后,又进行了空、满场混响时间的测定,其结果见图 5 表明基本上达到了设计

表 2 共振器的规格、数量及其吸声值

共振频率 f_0 (Hz)	控制混响 的幅度 (s)	所需吸声 量 赛宾(m^2)	共振吸声器规格及部位 (尺寸单位: mm)				每个共振器 的吸声量 (赛宾, m^2)	所需共振器 的数量(个) (计算值) (实际用数)
			部位, 板材	孔径	孔中距	离刚板 距离		
125	0.4 (2.3 降至 1.9)	180	侧墙上, 12 厚石膏板	15	50	550	0.257	$\frac{700}{864}$
250	0.9 (2.7 降至 1.6)	290	挑台顶, 12 厚石膏板	15	40	258	0.173	$\frac{1676}{1800}$
500	0.54 (1.94 降至 1.4)	186	挑台拦板, 5 厚五夹板	10	50	30	0.074	$\frac{2513}{2600}$

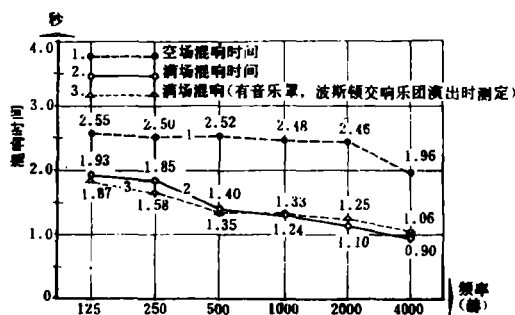


图5 改建后,大厅空、满场实测混响时间要求。

四、舞台活动音乐罩的设计

舞台活动音乐罩对自然声音乐演奏起着极为重要的作用^[2]。目前国内很多大型厅堂不能进行自然声演出的主要原因之一是没有舞台音乐罩。

音乐罩的功能在于: 1. 充分地利用有限的自然声能, 防止声能在巨大的舞台上吸收或逸散; 2. 为演奏(唱)者之间的相互听闻创造条件; 3. 利用音乐罩增加大厅前中部座位的早期反射声。

对此, 在舞台上设计了一个用一种拼装单元组合的舞台音乐罩, 它可按乐队的规模组合成所需要的形式和大小的音乐罩。拼装单元采用 10mm 厚的七夹板, 木龙骨, 组合体的骨架采用型钢。由于组合体重量还比较大, 专门设计了一个搬运车, 方便了组装。拼装单元的构造, 以及为大型交响乐演出而组合的音乐罩平、剖面见图 6。

为了解在舞台音乐罩设置之后, 大厅内的声学状况, 曾作了如下的声学测定:

1. 混响时间的测定

音乐罩通常需用 200—300m² 板材, 由于薄

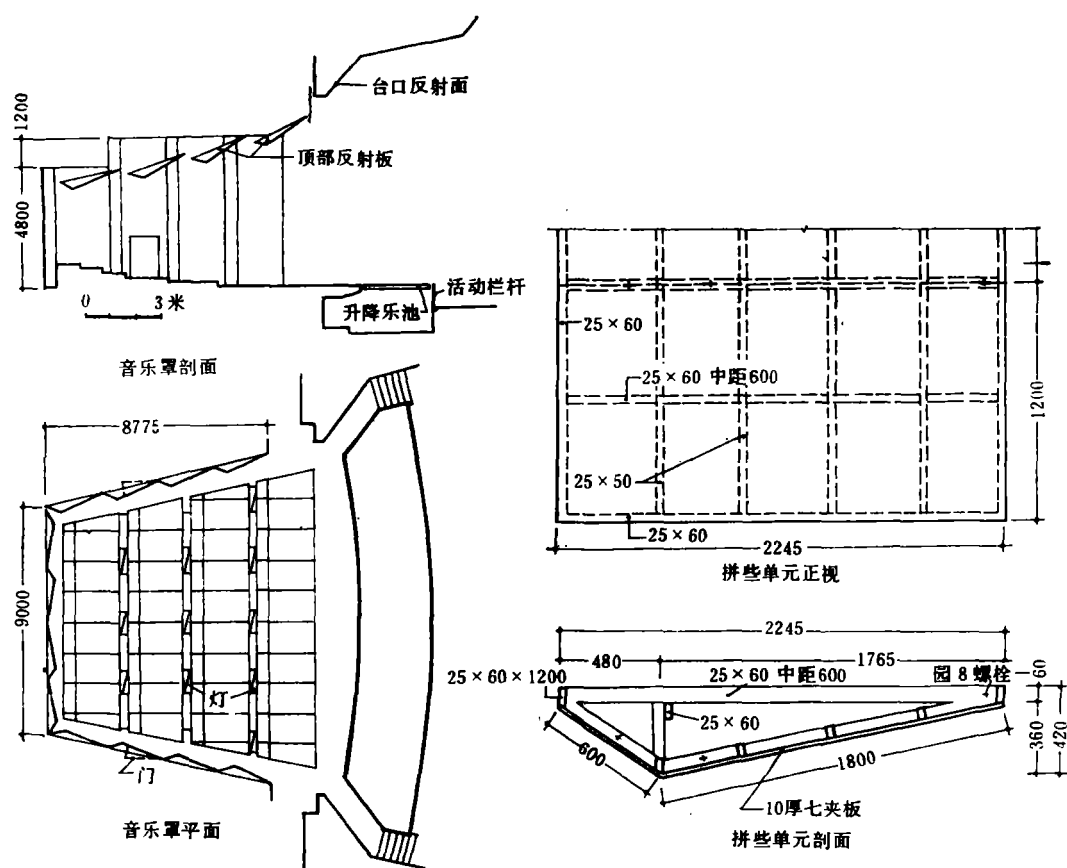


图6 拼装单元构造及组合的音乐罩平剖面

板对低频的声吸收,是否会影响大厅内的低频混响时间呢?为此,在音乐罩设置前、后,在观众厅内相同的测定位置上作了混响时间的对比测定,其结果(见表3)表明:对大厅几乎没有影响。

表3 舞台上有、无音乐罩时,大厅内混响时间的对比测定

舞台上有、 无音乐罩	下述频率(Hz)的 混响时间(s)						注
	125	250	500	1000	2000	4000	
有	2.57	2.63	2.62	2.76	2.40	1.90	五个测点的 平均值
无	2.55	2.50	2.52	2.48	2.46	1.96	

2. 音乐罩板面振动加速度级的测定

为了解音乐罩对低频的吸声状况,还对板面的振动作了测定.测定时声源在音乐罩内,采用噪声和单频声.拾振器分别配置在两种龙骨间距的七夹板面上,其测定结果和测试方法示意图见图7所示。

由图7所见,250Hz出现峰值,这表明音乐罩对250Hz有较大的声吸收.但这一结果并没有在大厅的混响时间测定值中反映出来。这

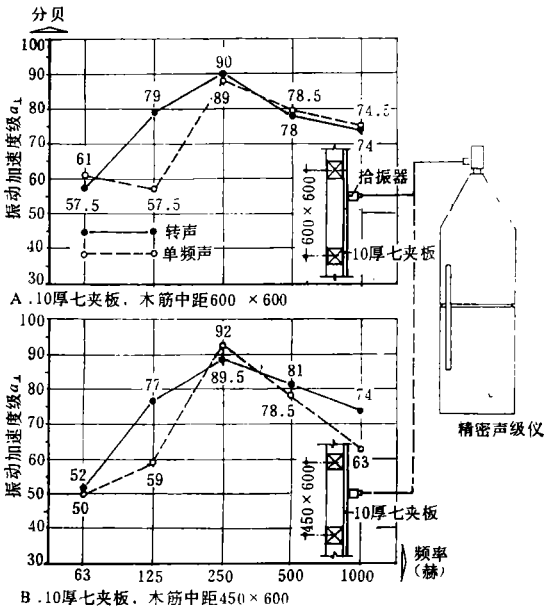


图7 音乐罩板面振动加速度的测定结果及测试方法示意

一问题是否可以这样解释:它是由观众厅与舞台空间耦合状况的改变所造成.当舞台上没有音乐罩时,台口作为观众厅的一个吸声面,而当有音乐罩时,音乐罩内的空间成为观众厅的不可分割的一部分,从而增加了大厅的容积(罩内

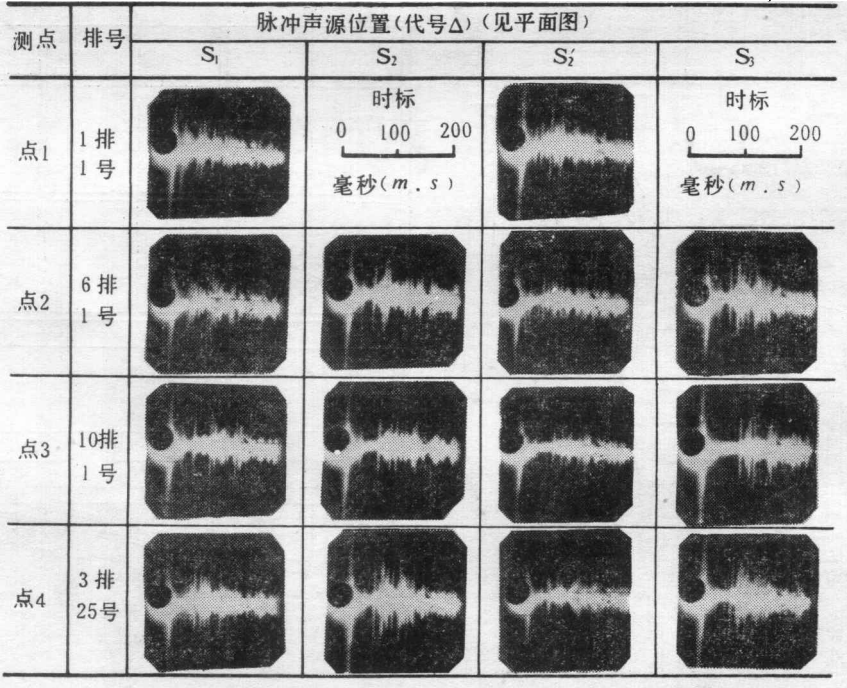


图8 设置音乐罩后,大厅前排测得的早期反射声

容积为 620m³),使大厅混响时间普遍有所提高,因此,音乐罩本身对低频的吸收没有能显示出来。关于这一问题的确切解释还有待今后进一步研究。

3. 声场不均匀度的测定

在设置音乐罩前、后,曾在观众厅内作了声场不均匀度的对比测定。测定结果表明:有音乐罩时,大厅内 125—2000Hz 的不均匀度(平均值)为 4.6dB,而没有音乐罩时则为 5.5dB,这说明,音乐罩的设置对大厅的声场分布也是有利的。

4. 早期反射声的测定

为了弄清舞台音乐罩对增加大厅前排早期反射声的状况,曾作了脉冲声测定^[3]。声源用电火花发声器,测试频率为 2000Hz,倍频程滤波,时标长 200ms,测定结果见图 8。声源和测点位置绘于图 1 的平面内。

由图 8 可见,音乐罩设置后,观众厅前座 50ms 以内的反射声很密集,而在前侧座更为显著。

五、升降乐池

对于自然声音乐演出的厅堂,升降乐池是必不可少的。它的作用在于:1.使演奏(唱)者能深入观众厅内,缩短了演员与听众间的距离,有利于听众得到更强的直达声;2.使舞台演奏区向前移,从而大大减少了音乐罩的深度,使顶部反射板起到加强前排早期反射声的作用。

因此,红塔礼堂已将原有乐池改为升降乐池,它设有三个标高,即乐池,观众厅地面和舞台面,根据需要进行调节。

六、主观评价

为对大厅的音质作出确切的评价,曾在演出过程中用表格的形式听取听众的反映,并统计其反映指数。表 4 即为 56 名听众对大厅音质的评价结果。

由统计结果可见,响度适宜,丰满度较好,

表 4 56 名听众对大厅音的评价结果

统计值	响度			清晰度			丰满度		
	不够	太响	正好	不清晰	较清晰	清晰	差	一般	好
	反映指数			反映指数			反映指数		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
评价统计数	3	10	39	5	36	14	3	19	24
反映指数	2.69			2.16			2.46		

而清晰度一般。还没有请“专业”的音质评价队进行评价。但可以肯定,在一个大型的低标准厅堂内,能在自然声条件下进行各类音乐节目的演出并获得好评。

七、结 语

通过红塔礼堂音质设计的实践,从中可总结如下几点:

1. 在大型厅堂内,建立自然声音乐演出的必要和充分条件是:

- (1) 适当压缩大厅的有效容积;
- (2) 提高低频的混响时间,使相当于中频的 1.4 倍;
- (3) 设置活动的舞台音乐罩和升降乐池;
- (4) 大厅平、剖面形式应有利于加强前中座的早期反射声和后座(正厅和楼座)的声强。

2. 与建筑师密切配合,取得建筑师对声学的了解和重视,从而合理地分配建筑投资,是声学设计取得成效的关键。

本院向斌南工程师参加了声学测定并作了指导;清华大学车世光、李晋奎先生和建筑科学研究院曹孝振工程师参加了满场混响时间的测定;红塔礼堂的齐广泰经理和黄治同志支持和配合,笔者谨致谢意。

参 考 文 献

- [1] 韩磷 王明枢,建筑学报,6(1981)。
- [2] 车世光项端祈,噪声控制与室内声学,工人出版社,1981年,464。
- [3] 马大猷,同济大学学报,4(1960),6。