

# 厦门大会堂建筑声学设计特点及音质效果

朱茂林

(上海建筑设计研究院 上海 200032)

厦门大会堂座落在厦门市政府办公大楼正前方行政中心广场上,大会堂的心脏部分,是位于2~4层的1500座主会场和4~5层的250座国际会议厅,及10个中型议事厅和若干个小会议室。本文介绍1500座主会场的建筑声学设计特点和音质效果。

## 1 厦门大会堂建筑声学设计特点

厦门大会堂主会场是厦门大会堂建筑设计的核心,主会场观众厅建筑声学设计又是整个厦门大会堂设计的关键。因此,建筑声学设计从厦门大会堂方案竞标阶段就介入,一直贯穿整个设计全过程。

### 1.1 功能定位

厦门大会堂主会场观众厅的功能定位一直是各方面关心的焦点。而功能定位又是观众厅建筑声学设计的前提。

我们认为,大会堂是人民代表开大会的场所,保证“会议”这一功能应为前提,“歌舞剧演出”作为兼顾,不考虑“音乐会”、“歌剧”及“立体声电影”放映,如此的功能定位是科学的,得到厦门市领导的支持。

### 1.2 最佳混响时间的选择

大会堂观众厅最大尺寸长32m,宽30m,高12.5m,近似钟形平面。舞台宽29m,深20m,高20m,并伴有2只宽12m、深12m,高8m的副台。舞台开口为宽16m,高8.5m。见图1。

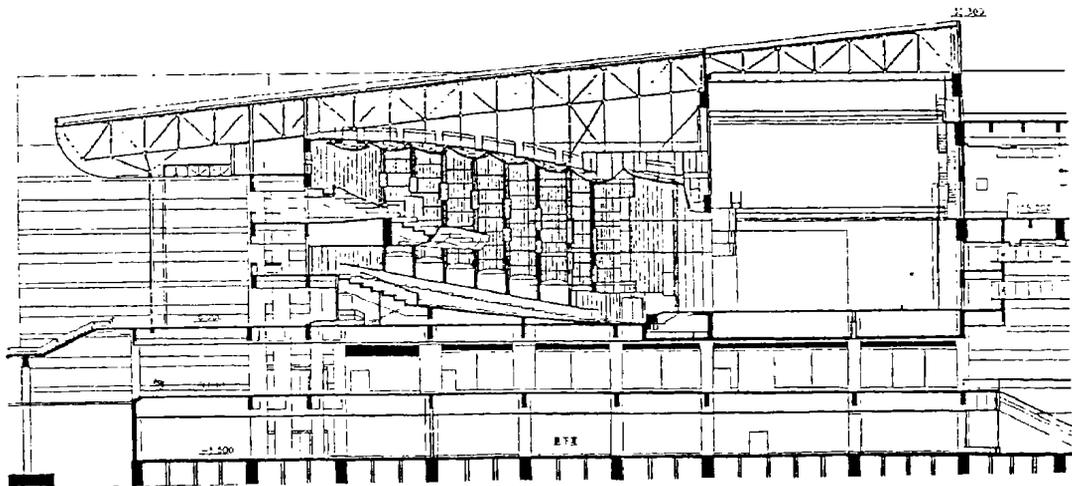


图1 大会堂纵剖面图

大会堂观众厅体积为 $9300\text{m}^3$ ,容座1500座, $V/N$ 为 $6.2\text{m}^3/\text{人}$ 。

图2为各类厅堂最佳混响时间建议值。从“会议”功能要求,对 $9300\text{m}^3$ 的观众厅,满场,

\* 作者:朱茂林,男,1938年11月生,高级工程师

收稿日期:98-3-16

中频最佳混响时间为1.1s,“地方戏剧”为1.2s,“歌剧”演出为1.4s。

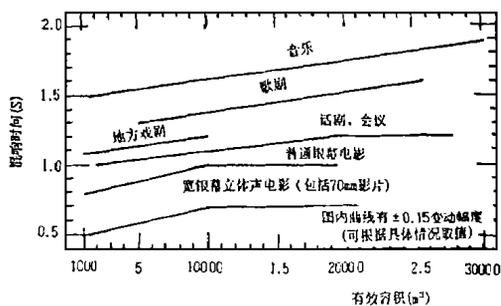


图2 各类厅堂最佳混响时间的建议值

实际上,作为“会议”功能,要求“语言清晰”,期望观众厅混响时间短些,1.1s已经够长的了。作为“歌舞剧演出”,要求“音质丰满”,则期望混响时间长些。我们感到,两者都要求最佳是很困难的,在混响时间可变装置设计不能实现的情况下,我们采取紧扣功能定位,选取最佳混响时间为1.3s,对“歌舞剧演出”时,演唱,伴奏音质丰满,对白清晰,对“会议”时,语言清晰。

混响时间频率特性,我们选取低频(125Hz)对中频(500Hz)略有提升,为1.2~1.3倍;高频(2000Hz)对中频力求平值,为0.9~1.0倍。

### 1.3 声反射面和声扩散体设计

#### (1) 声反射面设计

观众厅声反射面设计是如何保证前次反射声(延迟时间50ms以前反射声)的合理分布,使观众席上有足够的、且排列有序的前次反射声。前次反射声对于增加直达声响度,提高语言清晰度,“亲切感”等都有重要的贡献。

我们采用几何作图法,对观众厅吊平顶作严格设计,使之一次反射声(即前次反射声)均匀射向观众席。

吊平顶材料的选择颇费思量。通常用的5mm厚胶合板,由于太薄造成低频吸收大,而传统用的30mm厚钢丝网粉刷,解决了低频吸收大的问题,但质感不美观,并且由于施工质量,或由于年久失修,常造成大片脱落,

声学技术

甚至有砸伤观众的事情发生。最后我们采用传统与现代相结合的方案,仰视平顶,看到的是色泽、光洁度俱佳的胶合板,涂上防火涂料后,再以此为底模板,上做30mm厚钢丝网粉刷,这样做大大加强了吊平顶的刚度。“硬度”,减少了吊平顶对低频声能的吸收,保证了从平顶反射到观众席上的前次反射声频谱向低频方向的伸展,也克服了传统钢丝网粉刷在质感上和安全上的问题。

#### (2) 声扩散体的设计

观众厅内表面设置声扩散体,可使室内声场分布更趋均匀,也可使某些区域增加一些前次反射声,同时,平行侧墙上设置声扩散体,可消除因两平行侧墙造成的颤动回声这一声学缺陷。

在以“会议”为主的厅堂中,采用的声扩散体有如图3所示的3种形式。从声扩散效果讲,第1种圆弧形最优,三角形次之,凹凸状较差,其扩散频率计算公式如下。

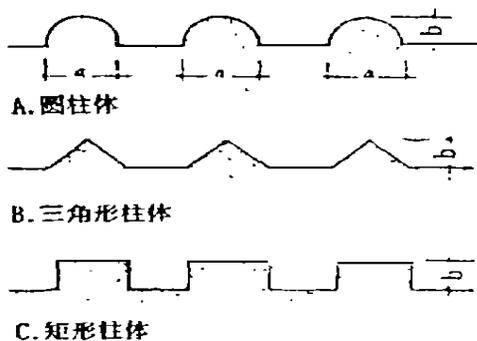


图3 扩散体的形状

$$\left(\frac{2\pi f}{c}\right)a \quad 4, \quad b/a \quad 0.15$$

式中: $a$ 为扩散体宽度, $b$ 为突出高度, $c$ 为声速, $f$ 为入射声频率。

在厦门大会堂观众厅声扩散体设计中,我们选用圆弧形声扩散体,以提供最优的声扩散效果,主要有:

$$\text{平顶: } a = 3.2\text{m} \quad b = 0.5\text{m} \quad f = 70\text{Hz},$$

$$\text{侧墙: } a = 2.2\text{m} \quad b = 0.35\text{m} \quad f = 100\text{Hz}$$

由上可知,主要声扩散体的声扩散频率为70Hz和100Hz,还有 $a = 0.6\text{m}$ 和 $a = 0.3\text{m}$ 的

半圆柱体等等。使设计的声扩散体在一个很宽的频谱范围内都有声扩散效果。

### 1.4 混响时间的设计及控制

厦门大会堂混响时间设计中的难点是低频混响时间的控制。由于观众厅吊平顶材料变更(原设计是用3层FC板粘贴)为30mm钢丝网粉刷,材料变“硬”了,其低频吸声性能降低了。故两侧墙声扩散体使用3或5mm厚胶合板,配以不同深度的空腔,期望使观众厅

低频混响时间控制在满意的范围内。

观众厅中高频混响时间现在已不用刻意设计,不用增加吸声材料,利用沙发座椅和观众的吸声,即可控制中高频混响时间。

由于观众厅较长,楼上达32m,为防止在观众席前区出现回声缺陷,我们在观众厅后墙作了强吸声设计。

起初,我们对观众厅混响时间作了估算,其计算值如表1所示。

表1 观众厅混响时间计算表

$$V = 9360\text{m}^3$$

部 位	构 造	面积 $\text{m}^2$	倍 频 程 中 心 频 率 Hz											
			125		250		500		1000		2000		4000	
			$\alpha$	$S\alpha$	$\alpha$	$S\alpha$	$\alpha$	$S\alpha$	$\alpha$	$S\alpha$	$\alpha$	$S\alpha$	$\alpha$	$S\alpha$
平顶	FC板三层复合大空腔	820	0.52	426	0.38	312	0.15	122	0.15	122	0.1	82	0.1	82
侧 墙	墙裙: 防火胶合板50厚空腔	140	0.35	49	0.25	41	0.10	14	0.1	14	0.1	14	0.1	14
	面光前后: FC板50厚空腔	120	0.35	42	0.25	30	0.1	12	0.1	12	0.1	12	0.1	12
	包厢侧: 同后墙50厚空腔	53	0.15	8	0.25	13	0.9	48	0.9	48	0.9	48	0.85	45
	墙裙上部: 半圆柱切体	527	0.35	184	0.35	184	0.35	184	0.28	148	0.22	116	0.22	116
后墙(楼上、下)	50厚离心棉,穿孔铝合金板,100厚空腔	165	0.15	25	0.25	41	0.9	148	0.9	148	0.9	148	0.85	140
	舞台口	128	0.30	38	0.30	38	0.40	51	0.40	51	0.50	64	0.50	64
	4MV								0.0035	33	0.01	94	0.024	225
	座 椅	1460	0.11	161	0.18	263	0.28	409	0.35	511	0.45	657	0.45	657
			933		923		988		1087		1235		1355	
	空场混响时间(s)		1.64		1.65		1.54		1.40		1.24		1.13	
	观众加座椅	1460	0.15	214	0.30	438	0.42	613	0.45	657	0.50	730	0.50	730
			986		1098		1192		1233		1308		1418	
	满场混响时间(s)		1.55		1.39		1.28		1.24		1.17		1.08	

## 2 厦门大会堂场内扩声系统设计

对以“会议为主,兼顾歌舞剧演出”的厅堂而言,建筑声学不仅包括噪声控制的精心设计,还有甚为重要的场内扩声系统设计,直至施工及总调试,因此,我们从一开始就参与

场内扩声系统的设计工作。

### 2.1 场内扩声系统的设计指标

我们确定的厦门大会堂场内扩声系统的设计指标,是选用我国广电部标准《厅堂扩声系统声学特性指标》(GYJ25-86)中“语言和

音乐兼用的扩声系统”的一级标准。具体为:

最大声压级: 125 ~ 4000Hz 内平均声压级 98dB。

传输(幅度)频率特性: 以125 ~ 4000Hz 内的平均声压级为0, 在此频带内允许  $\pm 4$ dB, 63 ~ 125Hz, 4000 ~ 8000Hz 的允许范围参见图4。

传声增益: 125 ~ 4000Hz 的平均值 - 8dB。

声场不均匀度: 1000Hz, 4000Hz, 8dB。

总噪声级: NR30dB。

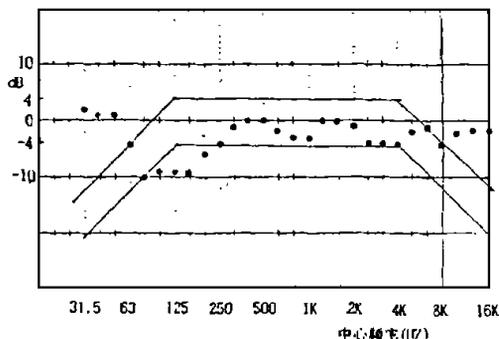


图4 传输(幅度)频率特性

## 2.2 场内扩声系统设计

主扬声器置于舞台口上方吊平顶内, 有 EVTL-15-2型低频扬声器共2只, 频响46 ~ 3500Hz; 有 HP6040+ HP9040型高音号筒(均带有 DH1A型高频压缩驱动器)组成1组, 共两组, 频响500 ~ 2000Hz, 两只高音号筒辐射角不同, 1只射向楼下, 1只射向楼上; 以及超低频扬声器 EVTL880D, 频响为23 ~ 180Hz。

为使观众席“声像”在舞台上, 我们又在两侧耳光室内, 各配置有 EVTL-15-1低频扬声器, 频响为50 ~ 3500Hz; HP420+ HP420型高音号筒(均带有 DH2高频压缩驱动器), 其中1只高音号筒射向楼上, 1只射向楼下, 频响为500 ~ 2000Hz。

另外, 舞台上还有返送扬声器以及控制室监听扬声器等等。

扩声系统功率放大器, 选用 QSCUSA 1300

声学技术

型(8 $\Omega$ 时, 功率为2 $\times$ 400W)以及 EV 7200型功放(8 $\Omega$ 时, 2 $\times$ 140W)。整个扩声系统使用6台 QSCUSA 1300, 5台 EV 7200。每路扬声器系统皆设有分频器和均衡器。

场内扩声系统使用1台32路调音台。配有会议用、演出用和电容话筒及无线话筒若干只。还配置有卡座、CD 激光唱机、激励器、效果器和反馈抑制器等。

场内扩声系统设备的选购和配置以及施工、调试, 由甘肃工业大学总承包(还包括舞台机械、设备、升降舞台、升降乐池等等)。

## 3 厦门大会堂音质效果

厦门大会堂于1996年10日竣工, 经过一段时间试用后, 我们于1997年6月, 对大会堂音质效果进行了全面的测量。

测量按照国标《厅堂混响时间测量规范》(GBJ76-84)和《厅堂扩声特性测量方法》(GB4959-85)的规定进行。

测量内容: ①大会堂观众厅音质效果。测量量为空场和满场混响时间; 自然声声场不均匀度。②大会堂观众厅扩声特性。测量量为传输(幅度)频率特性; 扩声声场不均匀度; 传声增益和最大声压级。③大会堂观众厅噪声级。测量量为本底噪声级和总噪声级。另外同时测量了中型议事厅和小会议室的本底噪声级。

### 3.1 大会堂观众厅音质效果

#### (1) 混响时间

厦门大会堂观众厅空、满场混响时间实测结果见表2。

表2 实测大会堂观众厅混响时间(s)

$T_{60}$ (s)	倍频程中心频率(Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
空场	2.09	1.81	1.61	1.45	1.40	1.25
满场	1.67	1.47	1.32	1.25	1.24	1.14

比较表2与设计值表1, 满场混响时间的设计和控制在十分成功的。中频两者差值在

0.01 ~ 0.04s, 高频两者差值在0.06 ~ 0.07s, 低频的250Hz 差值为0.08s, 125Hz 差值为0.12s。全部低于我国《剧场建筑设计规范》(JGJ57-88)中“实测与选择值的允许偏差,宜控制在10%以内”的规定。空场混响时间,中频两者比较接近,其差值在0.05 ~ 0.07s;高频差值在0.12 ~ 0.16s,低频则偏差较大,两者差值为0.26 ~ 0.45s。造成低频空场混响时间与设计值偏差较大的原因,主要是吊平顶材料的变更,另外观众席的原设计代表席为沙发座椅,而测试时,舞台上6排长条会议桌。

满场混响时间频率特性,从表2知,低频比中频提升1.26倍,高频是中频的0.94倍,与设计指标是一致的。

### (2) 自然声声场不均匀度

对于体积9300m<sup>3</sup>,容座1500座的大型观众厅,不用扩声,使自然声声场不均匀度很好是困难的。但是,如果声反射面设计合理,混响时间适中,座位起坡值较大,以及声扩散体设计效果优良,使观众席自然声场不均匀度达到理想效果也是可能的。

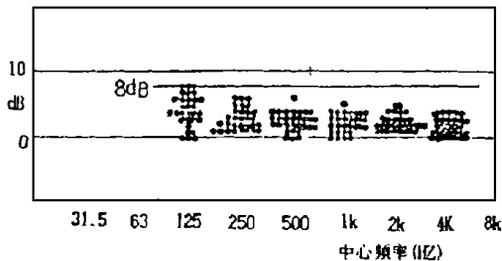


图5 声场(建声)不均匀度

图5为我们以单只电影扬声器作为声源置于舞台上,实测的自然声声场不均匀度。由图5可知,厦门大会堂观众厅自然声场的不均匀度,其极差在125 ~ 4000Hz 范围内不超过8dB。2000Hz 为5dB, 4000Hz 为4dB, 250Hz 和500Hz 为6dB,声场是相当均匀的。

## 3.2 大会堂观众厅扩声效果

### (1) 传输(幅度)频率特性

前述图4为我们实测大会堂观众厅扩声

系统的传输(幅度)频率特性。由图4可知,除100 ~ 200Hz 是个低谷,超过我国广电部标准《厅堂扩声系统声学特性指标》(GYJ25-86)的规定2 ~ 5dB 外,其余频段全部达到规范指标值的要求。超低、超高频也能与中频保持平直。如果施工单位再作进一步调试,场内扩声系统传输(幅度)频率特性即可完全达到设计指标要求。

### (2) 声场(扩声)不均匀度

图6为我们实测大会堂观众厅使用扩声系统时的声场不均匀度。由图6可知,大会堂扩声声场不均匀度在125 ~ 4000Hz,其极差不超过8dB,完全达到广电部标准《厅堂扩声系统声学特性指标》(GYJ25-86)中“语言和音乐兼用”规定中一极标准要求。

### (3) 传声增益

大会堂观众厅扩声系统的传声增益的实测结果如图7所示。可见大会堂观众厅的扩声系统,在500Hz 以上频率,即中高频,其传声增益 - 8dB,完全达到设计指标。而低频,125Hz 和250Hz,其传声增益为 - 12dB、- 13dB,超过设计指标5dB。

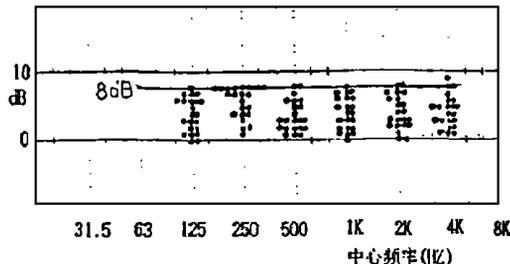


图6 声场(扩声)不均匀度

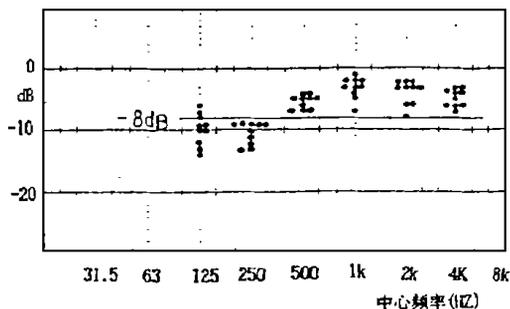


图7 传声增益

#### (4) 最大声压级

实测观众厅扩声系统的最大声压级如图8所示。可见观众厅扩声系统最大声压级(125~4000Hz 6个频段平均)为94.0dB, 比设计指标98dB低4dB。高频2000Hz及4000Hz其最大声压级平均值达到98dB, 中频500Hz为94dB, 1000Hz为96dB, 低频120Hz为90dB, 250Hz为91dB。造成最大声压级未达到设计指标原因较多, 但主要还是受到投资的约束。

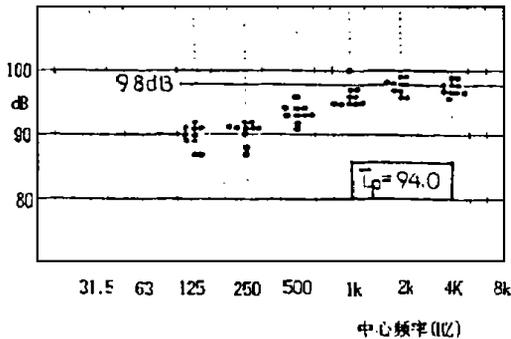


图8 最大声压级

### 3.3 观众厅噪声级

#### (1) 观众厅噪声级

厦门大会堂观众厅噪声级实测结果如图9所示。可见观众厅本底噪声级为42dBA, 约

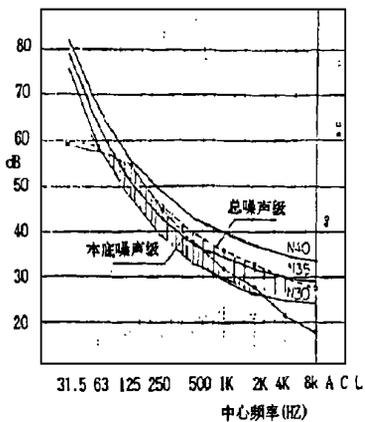


图9 观众厅噪声级

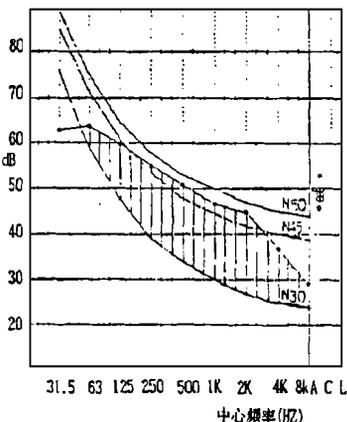


图10 ‘开元厅’等中型会议厅本底噪声级

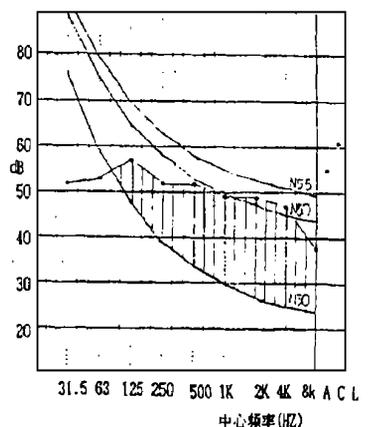


图11 小会议室本底噪声级

NR35, 未达到设计指标, 约超标5dB。观众厅总噪声级, 由于空调噪声被场内扩声系统“放大”了, 故实测总噪声级为43dBA。

#### (2) 中型议事厅及小会议室噪声级

图10、11分别为“开元厅”和小会议室实测本底噪声级。由图10可见“开元厅”等中型议事厅实测噪声级在45~53dBA, 其中最高“同安厅”为53dBA。造成中型议事厅噪声级较高的原因较多, 主要是: ①新风机房内送、回风系统中未装消声器, ②平顶式新风机组未选用低噪声机组, 或样机标明低噪声, 而实际上噪声级较高。

由图11可知, 三楼小会议室空调使用风机盘管, 我们实测时开“高速”, 其噪声级为55dBA, 开“中速”时, 为54.5dBA。从频谱看, 中高频声压级较高。其原因是施工单位未按设计要求, 选择低噪声风机盘管。

厦门大会堂竣工后, 召开过一系列重要会议, 与会者反映声音洪亮语音清晰。也举行过大型歌舞剧演出, 反映唱词清晰, 音质丰满, 高音嘹亮, 低音浑厚, 中音力度感强, 普遍反映满意, 受到一致好评。被评为“厦门市十佳建筑。”在1997年底, 被上海市建委评为“优秀设计壹等奖”。