

杭州剧院舞台反射板设计

韩金晨

叶恒健

(北京建筑工程学院) (中国建筑科学研究院建筑物理研究所)

1986年9月29日收到

杭州剧院原设计^[1]曾考虑加设舞台反射板,以便在举行音乐会时获得更好的音质,但当时由于经济条件未能实现。1986年7月正式决定加设,并立即进行设计,设计上考虑采用分离式反射板。该反射板8月中旬首次由日本静冈交响乐团使用(图1)。演员及听众对此反射板效果反映良好。现将其设计、使用及测试情况介绍如下。

一、方案选择

可供选择的两种方案是端室式和分离式。前者是由顶板、侧板与舞台面组成的五面封闭的罩子(或小室);后者则是一组彼此分离的反射板,板之间有较大的开敞面积。前者切除舞台上空空间及其中的幕布等吸声体,它把声能反射到大厅但会减短低频混响时间;后者在提供中高频早期反射声的同时使舞台空间与大厅耦合起来,从而保持后期低频混响声能。

考虑到举行音乐会时希望大厅有较长的混响时间——尤其是低频混响时间,此时至少不能使低频混响时间缩短,所以决定采用分离式方案。



图1 杭州剧院舞台反射板全貌

应用声学

分离式反射板的工作原理在图2中可得到更进一步的说明。

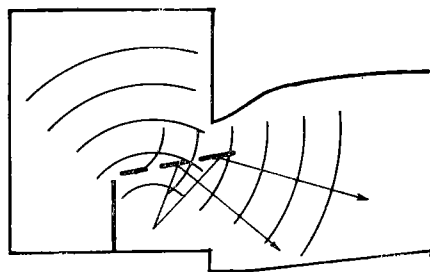


图2 分离式舞台反射板的工作模式

高频与中频声波长比板尺寸小,被板有效地反射给演员及听众,形成早期反射声。低频声波长与板尺寸相近,绕射到舞台上空并在此混响——舞台间内低频吸声量很小——同时陆续流入观众厅,一直到混响过程终止。根据 Beranek 和 Schultz 的论述^[2],正是丰富的中高频早期反射声和充足的后期低频混响声造成良好的音质。这也就是分离式反射板成功的关键。

上述考虑对于一般混响时间偏短的剧场具有普遍的意义,然而对于杭州剧院却具有特殊的意义。杭州剧院舞台的一个特点是容积非常大——共约 20000m^3 (其中侧台占 3000m^3),相当于观众厅容积——约 12000m^3 ——的 1.75 倍。这意味着舞台空间对此剧院低频混响时间

作着非常重要的贡献,如果用端室式反射罩将大部分舞台空间切除,则低频混响时间必然显著缩短。它的另一个特点是台口高——净高约为8.75m,这给舞台上空与大厅的耦合提供了良好的条件,所采用的方案正是利用这个高度使反射板和台口梁之间留出了合适的耦合口。由此可知,分离式方案对杭州剧院尤其合适。

分离式反射板比端室式反射罩省料省工,而且便于装卸与存放。这是由于:首先,分离式板的总面积比端室式的要小很多,同时,由于透射过分离式板的低频声能仍然返回大厅,所以不必采用厚重的板。实际上,这套反射板采用五合板为主要材料,其面质量仅 4kg/m^2 。

分离式反射板不构成封闭界面,也就不容纳乐队发出的全部声能,从而不使演员感到过响。否则演员会下意识地降低音量,结果使听众区音量不足。这是它的又一优点。

二、布 置

当管弦乐队演奏时,反射板围合面积为 $9\text{m} \times 15\text{m}$ 。它可容纳125人编制的大型乐队,也可容纳合唱队加上80人编制的乐队,当演奏协奏曲时也留有独奏乐器的位置。

当室内乐队或重奏组演出时,或是独奏独唱时,后部反射板前移至距台口约4.8m处(图3)。

顶板之间留有充分的开敞面积——约与板面积相等,这保证了与舞台上空空间的良好耦合。

前排顶部反射板对反射效果起极重要的作用,在它的设计中考虑了以下三个问题:

1. 它应当最大限度地伸出台口,以便有效地反射各弦乐声部、尤其是小提琴声部的声音。小提琴声部是乐队的灵魂,凡对它的反射考虑不足的反射板都具有声部平衡不良的缺点。本设计使前排顶板伸出台口1.8m,恰好不挡面光。

2. 这组顶板到台口梁之间要留出足够的耦合口,以保证舞台上空空间与大厅之间的良好

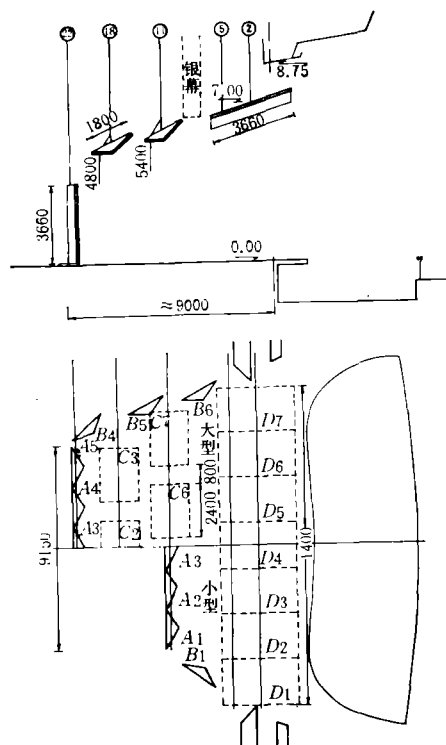


图3 杭州剧院舞台反射板布置简图

耦合。杭州剧院也正具备这个条件,因此在这组顶板以上留有1.8m高的开口,它的面积约为板以下台口面积的 $1/4$,这可以保证良好的耦合。

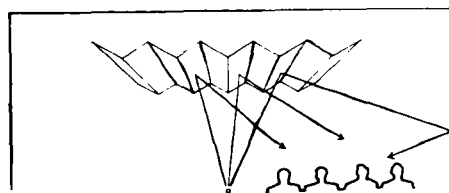


图4 折线形顶部反射板提供侧向反射声

3. 这组顶板用来向听众提供尽多的侧向反射声,从而利于形成环绕感。为此,它的横截面设计成起伏的折线形,使得由它反射的声音,由斜前方到达听众(图4)。

垂直反射板的平面位置和顶板的高度都考虑了使演员获得最有利于互相听闻的反射声——据 Marshall 等人的研究结果^[1],其延时应为 $17\text{ms}—35\text{ms}$ 。

反射板的方位考虑了兼顾向演员和听众提

供反射声。

反射板不遮挡银幕,在放映电影时不需要拆除反射板。

三、板面设计

考虑节约造价和减轻自重,板面采用五合板。背后用木龙骨增加刚度,以减少低频共振吸收。五合板的中高频反射性能是很好的。

为了利于声扩散,反射板采用折面。垂直反射板采用双层构造,前层板作成不规则漏空图案,后层板是整片的,两层板的间距是变化的,这不仅利于扩散,也丰富了板的造型。

顶板也采用折面,兼顾对听众及演员的反射。

前面已提到前排顶板设计或折线形以向听众提供尽多的侧向反射声。目前,环绕感已成为音乐厅设计的主要目标之一,各国声学家费尽心机使大厅天棚多提供一些侧向反射声,然而台口处的顶板若提供侧向反射声,肯定比大厅天棚上的任何措施都有效。

靠近打击乐声部的垂直反射板后层板也作成漏空的,以便释放一部分声能,免得打击乐被加强过多而破坏声部平衡。也是出于同一目的,在打击乐器下面铺放地毯。

为使反射板对各频率声音反射性能均匀,并为避免二次辐射,考虑在板背后涂阻尼浆。

对于反射板的造型与色彩有以下的考虑:

在音乐厅里,视觉感受和听觉感受是不可分的。Marshall 在第二届西太平洋地区声学会议上曾提到^[4]听众的音乐会感受是由参与一个声学的格式塔(Gestalt)的亲身经历而形成的。听众处于一个总体环境之中,在其中声学考虑与建筑造型设计是应当结合考虑的。这正是这套反射板设计的一个出发点。垂直板面上的漏空图案在满足声学要求的同时被赋予简洁而丰富的形象,它使人联想到提琴面板上的 f 孔,也可能联想到音符——当然不是简单地模仿,而是含蓄地拟态。色彩的选择基于这样的想法:自古以来人们相信木材会造成优美的声

应用声学

音,这种与提琴面板相近的色彩最能满足人们的这种期待。板的造型与色彩也都考虑到与大厅相谐调。

四、经济

这套反射板共耗资 6000 余元,其中材料费用约占三分之二。

五、测定

这套舞台反射板的声学目标包括有:

1. 提高观众厅中的声压级,增大动态范围。
2. 提供丰富的早期反射声。
3. 保持低频混响时间,争取使中高频混响时间有所加长。
4. 增加反射声的侧向成分。

因此,测定内容应当包括以上四个方面。但由于条件限制,决定只测声压级变化和混响时间的变化。况且,根据其它厅堂经验,加设舞台反射板后,早期反射声肯定会有明显的增加,对此,古本江音乐厅的测定资料^[5]最值得参考。关于反射声的侧向成分问题,目前测定技术尚不成熟, Jordan 用 LE 指标表达的若干厅的测定结果相当离散^[6],我们只能定性地肯定舞台反射板必然会使侧向反射声增多。

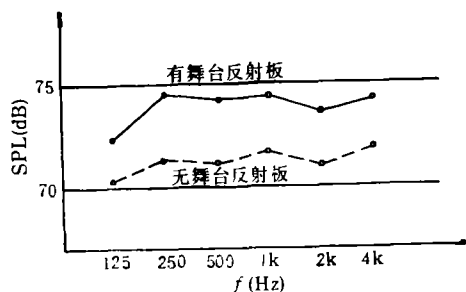


图5 日本某厅有无舞台反射板时的平均声压级变化
(石井圣光等人测定)

测定结果如下:

1. 声压级

空场测定结果见下表:

500Hz, 单位 dB

	池座														楼座							
排号	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	1	3	5	7	9	11	13	15
无板	83.0		80.5		78.0		77.5		76.5		77.0		77.0		72.0		73.0		74.5		74.5	
		82.5		79.0		78.0		76.5		78.0		76.5		76.5		74.0		75.0		74.0		74.0
有板	85.0		83.0		80.5		79.5		80.0		79.5		80.0		78.5		78.5		79.0		78.0	
		84.0		82.0		79.5		79.5		79.0		80.5		80.0		78.0		78.5		78.0		78.5
增量	2.0		2.5		2.5		2.0		3.0		3.0		3.0		6.5		5.5		4.5		3.5	
		1.5		3.0		1.5		3.0		2.5		2.5		3.5		4.0		3.5		4.0		4.5

2000Hz, 单位 dB

	池座														楼座							
排号	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	1	3	5	7	9	11	13	15
无板	77.0		74.0		73.0		73.0		72.0		73.0		73.5		70.0		70.0		68.5		68.0	
		75.0		74.0		72.5		73.0		72.5		73.0		74.0		70.0		69.5		68.5		68.0
有板	80.0		79.5		79.5		79.0		77.5		77.5		78.0		75.0		74.5		74.5		73.0	
		79.5		79.5		79.0		78.0		77.0		77.5		78.5		75.0		74.5		74.5		73.0
增量	3.0		5.5		6.5		6.0		5.5		4.5		4.5		5.0		4.5		6.0		5.0	
		4.5		5.5		6.5		5.0		4.5		4.5		4.5		5.0		5.0		6.0		5.0

由表中数据可以看出:

(1) 加舞台反射板后, 大厅中声压级有明显提高. 中频提高 1.5dB—6.5dB, 平均约提高 3dB, 高频提高 3dB—6.5dB, 平均约提高 5dB. 高频提高值比中频大, 在中频时楼座处提高值比池座处大.

其它厅堂有无舞台反射板时的声压级变化量大多在 3dB 左右(图 5), 杭州剧院中此变化

量较大是由于舞台容积大, 没有反射板时有较多声能损失在舞台间里.

(2) 加舞台反射板后声场不均匀度有所改善.

2. 混响时间. 空场测定结果如下: (以下数据只供比较有无舞台反射板时的区别, 杭州剧院混响时间仍以建研院物理所原测定数据为准), (本次测定为五点平均).

频率 (Hz)	125	250	500	1K	2K	4K
无板 RT_1 s 五点偏差 σ_1	2.06 0.15	1.82 0.11	1.80 0.03	2.31 0.045	2.26 0.04	2.24 0.02
有板 RT_2 s 五点偏差 σ_2	2.02 0.12	1.79 0.083	1.90 0.06	2.21 0.095	2.45 0.15	2.26 0.083
$\frac{RT_2 - RT_1}{RT_1} \times 100\%$	-2.0%	-1.6%	+5.3%	-4.3%	+8.4%	+0.9%
$RT_2 - RT_1$ s	-0.04	-0.03	+0.10	-0.10	+0.19	+0.02

为了直观, 将 RT_1 和 RT_2 用曲线表示(图 6).

由上列测定数据可以看出:

(1) 低频混响时间基本上没有变化, 说明

采用分离式反射板确实保持了低频混响时间. 无论有板或无板, 低频衰减曲线都为折线, 这说明了分离式反射板保证了舞台上空作为耦合空间的作用.

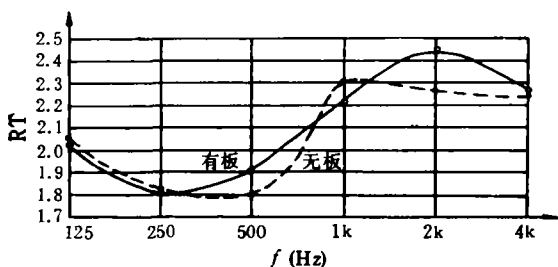


图6 有无反射板时混响时间的变化

(2) 总的说,采用舞台反射板后,中高频混响时间有所加长,其中500Hz和2kHz比较显著。这说明了舞台反射板切除舞台间中的高频吸声体的作用。1kHz的混响时间有所减短,可能是由于舞台中1kHz的吸声量较小,而反射板削减了舞台空间对高频混响的作用。

六、主观评价

1. 乐队及指挥的评价:

日本静冈乐团特聘音乐指导、日本著名作曲家及指挥家石丸宽先生说舞台区听闻条件非常好,而且声部平衡非常好。同时他对反射板的造型特别满意。排练结束时他特别请设计人到舞台上和全体乐队成员见面并对设计人表示感谢。乐队成员对这套舞台反射板的声学效果也都很满意。

舞台监督具有丰富的现场经验,他特别指出反射板使声音出来更即时了。这翻译成声学术语,即 *attack* 改善了。

2. 听众的评价:

为了解听众的评价,向听众分发了调查表。调查结果如下:(表中的位置为统计平均结果)

与无反射板相比	饱满感*	浑厚感	明亮感	环绕感	总音质印象
好得多	●	●	●		●
好一些				●	
相同					
差					

* 根据设计人感受,使用饱满感一词更易于被非声学专业人士所体会。加反射板后由于早期反射声增多,使声音显得饱满,反之使人感到声音空洞、虚弱。

应当说明,静冈乐团是个半业余性乐团,演奏水平对调查结果会有一些的不利影响。

从以上评价结果来看,加设这套舞台反射板确实明显地改进了杭州剧院用于音乐会时的自然音质。同时也证明了分离式反射板的优越性。

本设计过程中杭州剧院舞台技术组孙元尉、屠省之等同志参与讨论,在此表示感谢。

参考文献

- [1] 叶恒健等,杭州剧院的声质,国家建委建筑科学研究院出版,1979。
- [2] Schultz, T. J., *IEEE Spectrum*, June(1965), 56-67.
- [3] Marshall, A. H. J. *Acoust. Soc. Am.*, **64**-5,(1978), 1437-1442.
- [4] Marshall, A. H., *Technical Papers of WESTPAC II*, 1985, 1-12.
- [5] Barron, M., *Journal of Sound and Vibration*, **59**-4(1978), 481-502.
- [6] Jordan, V. L., *Applied Acoustics*, **14**(1981), 253-266.

隔声、吸声、装潢用镀塑轻钢龙骨

一九八七年十月十六日在上海举行的轻钢龙骨技术交流会上,上海铁丝厂、湖南平江石膏板公司等七个单位向来自科研、设计、建筑与装潢等部门的八十多位代表介绍了他们的新产品、新结构。

轻钢龙骨是一种以钢代木的新型骨架材料,广泛应用于需要隔声、吸声、室内装修等吊顶和侧墙隔断的建筑中,具有耐火性好、抗震性强、自重轻、安装灵活方便等特点。

上海铁丝厂是生产轻钢龙骨的专业厂,该厂集建厂65周年之经验,近年来又研制成功镀塑轻钢龙骨新

品种,分为T型、C型、U型吊顶龙骨和隔墙龙骨,商标为华夏牌。这种新型龙骨不仅耐腐蚀性好,外形美观挺拔,而且成本较低。该厂轻钢龙骨年产量可达150万平方米,年产值约3300万元,居国内同行之首。镀塑轻钢龙骨已应用于上海新客站、上海锦江饭店分馆、华夏宾馆、亚洲宾馆等大型、高层现代化建筑中,在噪声控制和建筑声学中也作为理想的骨架材料而被使用。

(吕玉恒)