

大连广电中心广播电视剧场声学设计

王 峥 陈金京 项端祈 林德民 王玉龙

(北京市建筑设计研究院 北京 100045) (大连市广播电视中心 大连 116022)

2001 年 11 月 7 日收到

摘要 广播电视剧场是随着电视技术的发展和需要而产生的一种新的观演建筑的形式,它不同于一般的演播室,也有别于普通的剧场。它不仅要求能够进行电视节目的转播和录制,还要求能够进行音乐、歌舞等各种文艺节目的演出,并能够举行会议和放映立体声电影。因此,广播电视剧场对音质有很高的要求。本文介绍了大连广播电视中心广播电视剧场的建声设计,在该剧场内采用了计算机控制的可调混响装置,使得各种使用功能都能有一个较为理想的建声环境。

关键词 广播电视剧场, 声学设计, 可调混响时间

Acoustical design for the broadcast and TV theater of Dalian Broadcast and TV Center

WANG Zheng CHEN Jinjing XIANG Duanqi

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

LIN Demin WANG Yulong

(Dalian Broadcast and TV Center, Dalian 116022)

Abstract Broadcast and TV Theater is a new type of performance building which is built for satisfying the requires of development of TV technology. It is different from both general TV studio and theater because it is not only for rebroadcasting and recording of TV programs but also for performance of music, dance, drama, conference and stereo-sound film and so on. So it must have a excellent acoustics. In this paper the acoustic design of Broadcast and TV Theater of Dalian Broadcast and TV Center is introduced. In the theater adjustable reverberation design is applied to offer perfect acoustic condition for all different functions.

Key words Broadcast and TV theater, Acoustical design, Adjustable reverberation

1 引言

大连广电中心是一个综合性的录音、播音

和演播建筑,它集合了大连市广播电台、电视台和有线电视台。在建筑内有大量的录音室、播音室和演播室,而其比较主要的一部分是一

演出)、立体声电影的放映及会议的举行都有较为理想的混响时间,在观众厅内墙面上设计了由计算机程序控制的可调混响装置。

2 广播电视剧场声学设计指标的确定

由于广播电视剧场是一种新发展起来的观演建筑形式,在此之前国内只有上海二座和汕头一座广播电视剧场,所以在声学指标的制定时可借鉴的经验不多,主要是根据广播电视剧场的各种不同功能的要求,参考多功能剧场和演播室的声学参数,并经业主组织的由声学专家、工程设计人员、广播电视工作者以及文艺工作者参加的研讨会认定后确定的,各项指标如下,

- 混响时间: 剧场自然声演出的中频(500Hz)混响为 1.4s(加音乐罩); 以电声为主的文艺演出为 1.1s 和演播、现场录音、立体声电影及会议为 0.9s。低频提升 1.1 倍(相对于中频 500Hz)。

- 声场不均匀度: 厅内声场不均匀度 ΔP 在 125-4000Hz 的频率范围内小于 8dB。

- 响度(音量感): 表征音量最直接的指标是声压级。对于广播电视剧场目前尚无推荐的指标(音乐厅 L. Beranek 建议声压级峰值为 77-80dB), 我们根据多年来实践的经验, 确定为在自然声演出时 75dB。

- 噪声级: 背景噪声低于 30dBA, 开空调时(达到使用工况)小于 35dBA。

- 明晰度(声能比): C_{50} 在 -2-0dB, C_{80} 在 0-2dB。

厅内应有良好的声扩散和无音质缺陷。

3 声学设计概要

3.1 体形设计

对于广播电视剧场来说,其体形的设计主要取决于电视转播工艺的要求,而不是完全根据声学原理来决定。由于电视转播要求有比较开阔的视野和比较近的视距,所以大连广播电

视剧场的体形被设计成扁宽的矩形,其观众厅的纵深为 28m,而宽度则为 32m,平均高度 11m,有二道耳光和二道面光,由于电视转播的要求,剧场的台口宽达 22m。观众厅有一层楼座。剧场的这种体形对声学有利也有弊,其优点在于由于纵深较短,使得观众席有较充足的直达声,这点在自然声演出时尤为重要。其缺点在于由于观众厅的宽度较大,使得在自然声演出时观众席缺乏侧向反射声,另外如果墙面处理不当,在两个侧墙之间容易产生颤动回声。为了解决这个问题,我们在侧墙上设置了圆柱形可调吸声构造,该构造在反射时形成扩散体。

3.2 厅内各界面的用材和混响可调方式的确定

根据 Eyring 公式,观众厅的混响时间为:

$$T = \frac{0.161V}{-S \ln(1 - \alpha)} \quad (1)$$

式中观众厅的平均吸声系数可以由下式获得:

$$\alpha = 1 - \exp\left(-\frac{0.161V}{ST}\right) \quad (2)$$

S 为观众厅总内表面积 (m^2), α 为平均吸声系数, T 为大厅的混响时间, V 为大厅的体积。

混响时间可以通过两种途径进行调节,一种是改变大厅的体积 V , 另一种是改变大厅的总吸声量 A 。一般情况下多采用后一种方法。我们对 (2) 式进行微分,就可以得出在混响时间在 T 附近发生微小变化 dT 时平均吸声系数发生的变化 $d\alpha$:

$$d\alpha = \frac{0.161V}{ST^2} \exp\left(-\frac{0.161V}{ST}\right) \quad (3)$$

如果我们设计要求观众厅的混响时间从 T_1 到 T_2 , 则要求观众厅内的平均吸声系数的变化为:

$$\Delta\alpha = \frac{0.161V}{S} \int_{T_1}^{T_2} \frac{1}{T^2} \left(-\frac{0.161V}{ST}\right) \quad (4)$$

在本项工程中,观众厅的体积为 18000m^3 ,总表面积为 2700m^2 ,混响时间的调节范围为 $0.9\sim 1.3\text{s}$,根据(4)式计算出平均吸声系数的改变量应为 0.13 ,总吸声量的改变应为 350 赛宾。按可调构造的平均吸声系数调节量为 0.7 计算,需要设置可调构造 500m^2 ,约占总内表面积的 18.5% 。在本项工程中,由于在舞台上设置了自然声演出所需要的音罩,在混响控制方面,这一方面相当于扩大了观众厅的体积,另一方面取消了 220m^2 舞台开口的吸声面,从而可以延长混响时间,根据经验,它有可能使可调混响幅度提升 $0.15\sim 0.2\text{s}$,因此,厅内可调结构的实际可调量为 $0.2\sim 0.25\text{s}$ 。可调混响装置的面积应该在 350m^2 左右,约占总内表面积的 13% 。

国内多功能厅堂的可调混响装置多采用以下几种方式:(1)翻板式(2)百页式(3)转筒式(4)帘幕式。其中翻板式曾在北京良乡影剧院、虎坊桥工人俱乐部以及一些可调混响录音棚内使用,均为手动方式。百叶式曾在北京剧院^[1]和保利剧院^[2]使用,采用机械传动和计算机调控方式。转筒式曾在广东佛山金马剧院^[3],广西南宁艺术中心音乐厅、广东汕头广播电视台剧场、广州市星海音乐厅室内音乐厅^[4]、石家庄河北艺术中心音乐厅等剧场内使用,一般为计算机调控;帘幕式曾用于广州市星海音乐厅室内音乐厅和一些录音棚,采用手动或计算机调控方式。在上述几种方式中,转筒式具有调节量大,传动方式简单、易于计算机控制、装饰效果较好,在反射面暴露时扩散性能好等优点,采用的工程也最多。所以在本项工程中也采用了转筒式可调混响装置,在观众厅的后墙和侧墙上布置了26个直径 0.8m ,高度不同的转筒,可调面积为 80m^2 ,此外,在台口侧墙设置了可调吸声帘幕,外饰装饰木条,在需要长混响时,可将帘幕吊到吊顶之内,露出硬反射墙面。另外在耳光处的侧墙没有像一般剧场那样采用实墙,而使用了镂空木条墙面内挂活动吸声帘幕的构造,通过吸声帘

幕的开启来调节混响时间,这两处的调节面积约为 280m^2 ,整个观众厅可调吸声面积约为 360m^2 ,达到设计要求。转筒和吸声帘幕的控制均采用了国际上先进的分布式计算机调控系统,它可按预先编制的程序,在 30s 内调控到所要求的演出时间。表1为观众厅各界面所采用的构造。

3.3 舞台的声学处理

舞台是声源所处的位置,舞台的声学条件不佳,不但对舞台上表演者会产生不利的影响,而且对整个剧场的音质也会产生不利的影响,尤其是广播电视剧场,其台口的面积较一般剧场的台口面积大得多,所以这一点尤为突出。另外在进行自然声演出时由于舞台上有限的自然声能的逸散和吸收,严重影响观众厅内的听闻效果,只有演得好,才能听得好。因此,给舞台创造良好声环境,不可忽视。

舞台的声学处理包括控制混响,消除音质缺陷和节约自然声能等二方面内容:

(1)由于舞台的体积很大,混响时间过长,而侧台之间因距离长而产生回声。为此,舞台墙面上均作了强吸声处理。达到降低混响使之接近观众厅内的混响时间,同时又消除了回声的目的。

(2)对于自然声演出歌剧和音乐,减少自然声能在舞台上的逸散和吸收是确保观众厅良好音质的重要条件。音乐演奏时,则需在舞台上设置活动的音乐罩。它的功能是隔离舞台、节约自然声能;为乐师创造良好的相互听闻条件以及给观众厅前区提供早期反射声,从而增加亲切感。舞台音乐罩目前有轻型敞开式和重型闭合式的两种。在本工程中采用了前者,音乐罩的材料为玻璃钢,其优点是重量轻,安装方便,造价低廉。配置方式是顶板和后墙板分别整体吊置,平时悬吊在舞台上空,侧板可以用专用的推车方便地移动。

4 声学测试结果

大连广电中心广播电视台剧场完工后进行了

各项声学指标的测试, 包括混响时间和可调幅度、声场分布、脉冲响应和噪声测定。测定结果完全达到设计指标。

4.1 混响时间和混响可调幅度的测量

混响时间测定是在厅内可调混响三种调节

方式下进行的, 即状态 A(转筒调至反射面), 状态 B(转筒调至吸声面) 和状态 C(转筒调至半反射)。此外, 对舞台上、无音乐罩也进行了对比测定, 其结果见表 2。

表 1 观众厅各主要界面构造与材料

位置	构造	材料	面积 (m ²)
台口侧墙及耳光	可调吸声帘幕	厚丝绒幕布	290
	外饰木格栅	实木条	
	木墙裙	榉木三夹板后 50mm 空腔	70
二层侧墙	转筒可调混响装置	吸声面为阻燃布添玻璃棉板	40
		反射面为 20 厚松木板外贴三夹板	
	半圆型扩散体	20 厚松木板外贴三夹板	20
	吸声墙面	25 厚装饰吸声板后 30mm 空腔	35
	木墙裙	榉木三夹板后 50mm 空腔	35
一层侧墙	吸声墙面	25 厚装饰吸声板后 30mm 空腔	80
	木墙裙	榉木三夹板后 50mm 空腔	30
二层后墙	转筒可调混响装置	吸声面为阻燃布添玻璃棉板	40
		反射面为 20 厚松木板外贴三夹板	
	半圆型扩散体	20 厚松木板外贴三夹板	15
	吸声墙面	25 厚装饰吸声板后 30mm 空腔	32
	木墙裙	榉木三夹板后 50mm 空腔	36
一层后墙	吸声墙面	25 厚装饰吸声板后 30mm 空腔	66
	木墙裙	榉木三夹板后 50mm 空腔	35
吊顶	石膏办弧形扩散吊顶	双层纸面石膏板外刷涂料	200

表 2 观众厅不同声学条件下混响时间的测量数据

代号	可调吸声状态	倍频程混响时间 (s)						平均
		125	250	500	1000	2000	4000	
A	调至全反射	1.77	1.47	1.32	1.33	1.27	1.12	1.38
B	调至半反射	1.51	1.24	1.08	1.09	1.05	0.91	1.15
C	调至全吸声	1.30	0.99	0.93	0.90	0.86	0.75	0.96
可调	A-B	0.26	0.23	0.24	0.24	0.22	0.21	0.23
幅度	B-C*	0.47	0.48	0.43	0.43	0.41	0.37	0.42

* 包括音罩的作用

4.2 声场不均匀度测定

声场不均匀度测定采用点声源, 配置在台口中心线上。声源为稳态粉红噪声, 在观众厅的池座和楼座分别测定各座席的声压级。接收频率为 125Hz、500Hz 和 2000Hz。测试是在空场、全反射的条件下进行。测试结果见表 3, 其中声场不均匀度 $\Delta P = P_{\max} - P_{\min}(\text{dB})$ 。

表 3 观众厅不同条件下混响时间的测量数据

测定部位	下述频率 (Hz)		声场不均匀度 (dB)	平均
	125	500		
楼座	5.1	6.6	6.8	6.2
池座	4.0	4.4	2.2	3.5
全厅	5.1	6.6	6.8	6.2

表 4 观众厅 $C_{50}(3)$ 和 $C_{80}(3)$ 值

测点位置	1 排 25	8 排 47	11 排 29	平均值
$C_{50}(3)(\text{dB})$	-1.83	-1.12	-0.6	-1.18
$C_{80}(3)(\text{dB})$	0.5	2.07	3.59	2.17

4.3 明晰度 (声能比) $C_{50}(3)$ 和 $C_{80}(3)$

明晰度 C_{50} 和 C_{80} 是早期声能 (50ms 或 80ms 以前到达的反射声) 与后期反射声能 50ms 或 80ms 以后至 1000ms 之比, 见下式。C 值的负值大, 代表后期声能大, 因而声音丰满, C 值为正值, 且数值大, 表示清晰度高。早期反射声测定可通过下式求得 C_{50} 和 C_{80} 值, 再将 500Hz, 1000Hz 和 2000Hz 的 C_{50} 和 C_{80} 值平均, 求得 $C_{50}(3)$ 和 $C_{80}(3)$ 值:

$$C_{50} = 10 \log \frac{\int_0^{50} P^2(t) dt}{\int_{50}^{1000} P^2(t) dt}$$

$$C_{80} = 10 \log \frac{\int_0^{80} P^2(t) dt}{\int_{80}^{1000} P^2(t) dt}$$

C_{50} 和 C_{80} 的测试采用脉冲法, 信号的接收

和数据的处理使用了中国科学院声学所李毅民教授开发研制的 ASAW 声学测量工作站^[5], $C_{50}(3)$ 和 $C_{80}(3)$ 值的测量和计算的结果见表 4 所示。

5 结语

大连广电中心广播电视剧场是国内广播系统中首次采用分布式计算机调控装置的剧场, 经声学测定和两年多的使用的效果表明, 它具有良好的音质和很大的适应性, 确保了每项功能均具有最佳的声学条件。实践将证明这种可调设施无疑是今后广播电视剧场声学设计的必然趋势。

参 考 文 献

- 1 Xiang Duanqi, Wang Zheng, Chen Jinjing. *Applied Acoustics*, 1992, **37**(1): 15-30.
- 2 项端祈, 王峰, 陈金京. 应用声学, 2001, **20**(4): 6-14.
- 3 项端祈, 王峰, 陈金京. 声学学报, 1996, **21**(4 增刊): 464-474.
- 4 项端祈. 近代声学建筑. 北京: 科学出版社, 2000. 97-106.
- 5 李毅民. 工程声学, 2000, **4**(1): 12-16.

(上接第 21 页)

现的光纤水听器的文献中给出的光纤水听器灵敏度这个参数比较混乱的根本原因。

另一方面, 光纤水听器作为一种新型的水下声传感器自进入水声界后, 难于被水声界接受和理解。特别是光纤水听器灵敏度的涵义难以接受。本文旨在通过对光纤水听器灵敏度的讨论, 让它尽早得到水声界更多的理解。

参 考 文 献

- 1 高学民. 光纤与电缆及其应用技术, 1996, (1): 48-53.
- 2 Nash P. *IEE Proc-Radar, Sonar Navig.*, 1996, **143**(3): 204-208.

- 3 曹家年, 包建新, 李绪友等. 光通信技术, 1997, **21**(2): 90-94.
- 4 Cranch G A, Nash P J. *IEEE, Journal of LightWave Technology*, 2001, **19**(5): 687-699.
- 5 Jarzynski J, Hughes R, Hickman T R, et al. *J.Acoust.Soc. Am.*, 1981, **69**(6): 1799-1808.
- 6 Lagakos N, Ehrenfeuchter P, Hickman T R, et al. *Optics Letters*, 1988, **13**(9): 788-790.
- 7 周效东, 汤伟中, 周文. 中国激光, 1998, **A25**(5): 411-414.
- 8 Hill D J, Nash P J, Jackson D A, et al. *SPIE*, 1999, **3860**: 55-66.
- 9 Cheng L K, Bruijn D D. *SPIE*, 1993, **2070**: 24-29.
- 10 Nash P, Cranch G, Cheng L K, et al. *SPIE*, 1998, **3483**: 238-242.