

# 上海体育馆音质设计

徐之江

(上海市民用建筑设计院研究室)

本文提出对上海体育馆的音质设计的实验结果,给出了空场、满场下的混响时间,比较了两者在冬季、夏季条件下的差别。根据混响时间推算了大厅平顶的吸声系数,并估计了观众的吸声增量。此外,还测量了声场分布、传声增益等。

上海体育馆是一座以体育活动为主,又可供集会、文艺演出的多功能大型公共建筑。比赛馆的比赛大厅为圆形平面,直径114米,大厅容积约140,000米<sup>3</sup>,内表面总面积约24,000米<sup>2</sup>,平均自由路径23.3米,可容纳观众18,000人,观众席面积约7,000米<sup>2</sup>。每个观众占有容积约7.8米<sup>3</sup>,面积约0.4米<sup>2</sup>。本文主要介绍比赛大厅的建筑声学设计和实际效果。

## 设计指标和措施

根据这座体育馆的多功能要求,音质方面首先要保证清晰度和有足够的响度,设计指标要求满场中频混响时间不大于1.8秒,低频可略长,高频可略短些。

为了保证清晰度和减少声反馈响应,对混响时间控制如下:

根据体育馆的特点,大厅内唯一可作吸声处理的大面积表面是大厅平顶,面积约1万平方米,占内表面总面积约40%,故以它作为大厅吸声处理的重点。

图1表示比赛大厅的吸声处理,大厅混响时间的计算值如表1所示。

表1 比赛大厅混响时间计算值(秒)

倍频程中心频率(赫)	125	250	500	1000	2000	4000
空场混响时间(秒)	4.5	3.2	2.5	2.4	2.5	2.4
满场混响时间(秒)	3.0	2.0	1.7	1.7	1.7	1.5

## 参 考 文 献

- [1] Bowers, R., "A High-power, low-frequency Sonar for Sub-bottom Profiling", Paper read at the Symposium on "Sonar Systems" in Birmingham on 9th—11th July 1962.
- [2] U. S Potent 3,227,996, Jan. 4, 1966.
- [3] 刘春奎,张淑英,凌鸿烈:"电磁脉冲声源系统的分析和测量",声学学报, I (1966), 1—7.
- [4] 道克敏:"研制海底浅地层剖面仪的某些声学问题",海洋学集刊, I (1974), 17—25.

- [5] EG&G Inc, "Seismic Profiling Instruments & Systems for Marine Engineering Surveys," 1977
- [6] Huntec Deeptow Seismic System, 访问报告
- [7] Stepanishen, P. R., "The Time-dependent force and Radiation Impedance on a Piston in a Rigid Infinite Plane Baffle", J. A. S. A. 49 (1971), PP 841—849
- [8] Morse, P. M., Vibration and Sound, Mc Graw-Hill, 1948.
- [9] Morse, P. M., Ingard, K, Uno, Theoretical Acoustics, McGraw-Hill, 1968

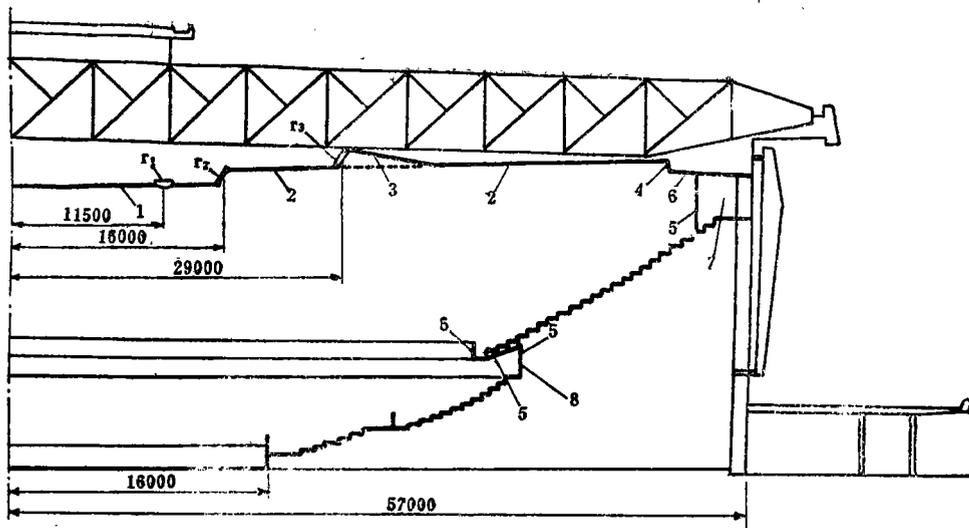


图 1 比赛大厅剖面简图

- 1—90 毫米厚超细玻璃棉放在塑料窗纱和钢板网上；
- 2—60 毫米厚超细玻璃棉放在塑料窗纱和钢板网上；
- 3—19 毫米厚胶合板声柱木罩；
- 4—60 毫米厚超细玻璃棉外覆铝板网及硬木条；
- 5—4 毫米穿孔热压纤维板后面贴玻璃丝布和 60 毫米厚超细玻璃棉；
- 6—穿孔镀锌薄钢板上面放 60 毫米厚超细玻璃棉；
- 7—60 毫米厚超细玻璃棉外覆花布及硬木条；
- 8—4 毫米厚热压纤维板

## 比赛大厅音质测试和分析

1975 年夏，曾组织十七个单位用十多套声学仪器对比赛大厅进行了三次空满场音质测试，测试项目有混响时间、声场分布、传声增益等，每次 55—58 个测点。

1976 年 1 月又进行了空满场测试，使与夏季测试比较。下面本文将对大厅的混响时间作一分析。

### 1. 大厅混响时间特性

从图 2、3 的大厅空满场混响时间可以看出：

1. 大厅混响时间频率特性的测量值比较平直，差值仅 0.3 秒左右；

2. 大厅各区的混响时间差别也较小，大多数与全厅平均值只相差  $\pm 0.1$ — $\pm 0.2$  秒。

图 2、3 曲线也表明：空场混响时间计算值比测量值高 0.5—1 秒，125 赫时甚至超过 2.5

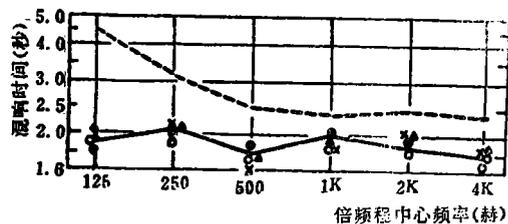


图 2 大厅空场混响时间 (1975 年 8 月 29 日测)

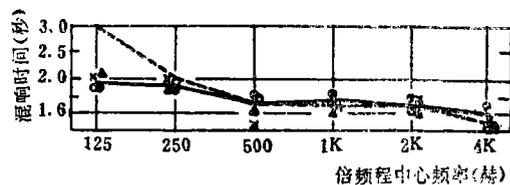


图 3 大厅满场混响时间 (1975 年 8 月 29 日测)

- 全场计算值
- 全场测量值
- 楼下观众席
- 楼上观众席
- ▲ 主席台
- × 比赛场地

秒。满场计算值除 125 赫仍比测量值高 1 秒左右外, 其它频率仅相差 0.1 秒左右。低频误差较大的现象在其它大型厅堂中也常有出现, 原因是大空腔吸声构造的低频吸收远远超过了计算所用的吸声系数。根据上海体育馆和首都体育馆的空场混响时间测量值, 推算出这两个体育馆比赛大厅大空腔吸声平顶的吸声系数(见表 2)。125—250 赫时, 推算值为计算值的 2½—3 倍; 500 赫推算值也比计算值大 70% 左右; 1000—4000 赫时两者较接近。

上述情况表明, 按照现有混响室的试验条件是难以模拟大空腔吸声平顶的真实低频吸声作用的。根据这两个体育馆的情况提出吸声系数的推荐值(见表 2), 即 125—500 赫时为 0.75, 1000—4000 赫时为 0.65; 这些数值虽较粗略, 但比现有资料似更接近实践结果。

表 3 列出了上海体育馆吸声平顶在整个大

厅的空场吸收中所占的比重。在计算值中占 ½ 左右, 而在测量值中竟占 ¾ 左右, 这说明了大空腔吸声平顶在整个大厅的空场吸收中是起决定性作用的。

## 2. 与国内外大型体育馆的比较

图 4、5 为上海体育馆与其它大型体育馆、会堂的混响时间。<sup>[1] [2] [3] [4] [5]</sup> 空满场混响时间均以上海体育馆最短, 夏季约 1.6—1.9 秒, 冬季约 1.3—1.6 秒。125—4000 赫的频率特性, 也是以该馆最为平直。

因此, 上海体育馆混响时间的控制是符合要求的, 表现在:

1. 频率特性平直, 满足使用要求, 混响时间短而特性平直, 也为扩声创造了良好条件;
2. 空满场混响时间变动较小, 使观众出席率不会影响音质。

## 3. 空满场混响时间的比较

表 2 大空腔吸声平顶的吸声系数(赛/米<sup>2</sup>)

倍 频 程 中 心 频 率 (赫)		125	250	500	1000	2000	4000	
1.	根据空场混响时间测量值推算的 比赛大厅大空腔吸声平顶吸声系数	(1) 上海体育馆	0.82	0.71	0.82	0.72	0.69	0.65
		(2) 首都体育馆	0.70	0.73	0.70	0.62	0.64	0.65
2.	大空腔吸声平顶推荐值(采用玻璃棉、泡沫塑料等吸声材料)	0.75	0.75	0.75	0.65	0.65	0.65	
3.	上海体育馆 90 毫米厚超细玻璃棉大空腔吸声试验值(在同济大学隔声室内用混响室法测量, 试件装在两间隔声室之间墙洞上)	0.21	0.24	0.46	0.54	0.64	0.69	
4.	首都体育馆吸声系数测量值(用驻波管法测量, 并将 125 赫数值 × 1.5, 250 赫数值 × 1.3, ≥ 500 赫数值 × 1.2) <sup>[1]</sup>	(1) 50 毫米厚 脘脘泡沫塑料(包玻璃丝布)	0.12	0.23	0.46	0.58	0.72	0.81
		(2) 同上, 75 毫米厚	0.28	0.38	0.49	0.60	0.73	0.80

表 3 上海体育馆大空腔吸声平顶在整个大厅空场吸声量中所占的比重

倍 频 程 中 心 频 率 (赫)		125	250	500	1000	2000	4000	
1.	吸声量计算值	(1) 空场大厅总吸收(赛/米 <sup>2</sup> )	2736	4514	6279	6688	6801	6565
		(2) 大空腔吸声平顶(赛/米 <sup>2</sup> )	1383	2648	4332	4636	4620	4497
2.	吸声量推算值(根据混响时间空场测量值推算)	(1) 空场大厅总吸收(赛/米 <sup>2</sup> )	9200	8850	9770	8500	8270	7700
		(2) 大空腔吸声平顶(赛/米 <sup>2</sup> )	7110	6140	7200	6245	6000	5630
3.	大空腔吸声平顶占空场大厅总吸声量的比重	(1) 吸声量计算值	51%	59%	45%	44%	47%	46%
		(2) 根据混响时间测量的推算值	77%	70%	74%	74%	73%	73%

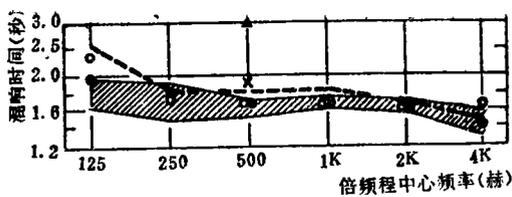


图 4 各大厅满场混响时间

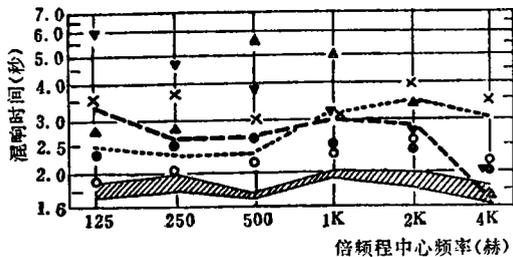


图 5 各大厅空场混响时间

//// 上海体育馆(上限为夏季, 下限为冬季)

- 北京首都体育馆
- 南京五台山体育馆
- ▲ 北京工人体育馆
- × 日本东京奥运会国家体育馆
- 上海文化广场
- ..... 北京人民大会堂
- ▼ 美国夏勒特体育馆

图 6 为上海体育馆和其它体育馆、会堂的空满场混响时间差值的比较。上海体育馆的夏、冬季空满场混响时间的差值较小, 满场大都

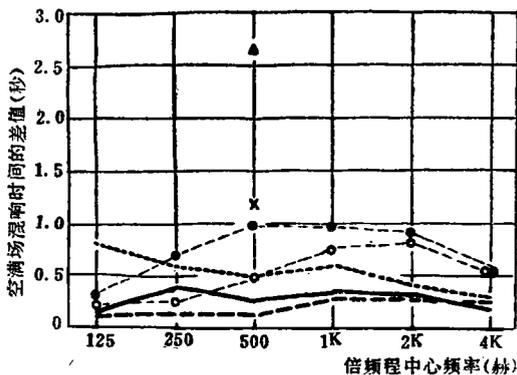


图 6 各大厅空满场混响时间的差值

- 上海体育馆(1975年8月29日)
- 上海体育馆(1976年1月19日)
- 北京首都体育馆
- 南京五台山体育馆
- ▲ 北京工人体育馆
- × 日本东京奥运会国家体育馆
- ..... 上海文化广场

只比空场缩短 0.1—0.3 秒, 这对听音也是有利的。其主要原因是空场吸声量很大, 观众的吸收影响也随之减小。其它体育馆的空满场差值约为 0.5—1 秒, 而日本东京奥运会国家体育馆的 500 赫空满场差值达 1.2 秒。

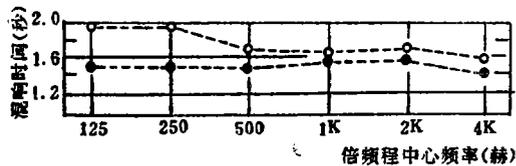


图 7 上海体育馆夏、冬季满场混响时间

- 夏季(1975年8月29日)
- 冬季(1976年1月19日)

#### 4. 夏季与冬季混响时间的变动

上海体育馆夏、冬季混响时间如图 7 和图 8 所示。满场 125、250 赫冬季混响时间比夏季短 0.5 秒左右, 这可能与夏、冬季观众服装有关。空场从 125—2000 赫, 夏冬季的差值小于 0.2 秒。

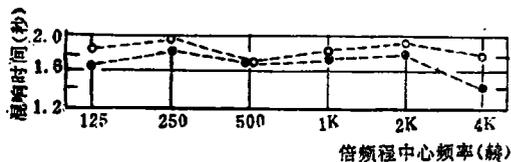


图 8 上海体育馆夏、冬季空场混响时间

- 夏季(1975年8月29日)
- 冬季(1976年1月19日)

#### 5. 观众吸声量

观众吸收在满场所占比例很大, 因此准确地选用观众吸声系数对混响时间计算是个关键问题。表 4 为上海体育馆等大型厅堂由实测混响时间推算而得的观众吸声增量。

从表 4 知道, 体育馆观众吸收比会堂要大, 原因有:

1. 一般会堂、剧场内, 每名观众占有面积为 0.7 米<sup>2</sup> 左右, (即每平方米有 1.5 人), 而体育馆每名观众只有 0.4—0.5 米<sup>2</sup> (即每平方米有 2—2.5 人)。因此, 如用常用的观众吸声系数来计算体育馆观众吸收, 会导致较大的误差;

表 4 大型厅堂的观众吸声增量(赛,木椅)

倍频程中心频率(赫)			125	250	500	1000	2000	4000
按平方米计算	上海体育馆	夏季(1975年8月29日)	0.39	0.50	0.54	0.68	0.70	0.75
		冬季(1976年1月19日)	0.64	0.99	0.78	0.80	0.76	0.81
	上海文化广场		0.21	0.27	0.27	0.31	0.35	0.37
	南京五台山体育馆(1975年10月9日)		0.37	0.41	0.58	0.67	0.70	0.66
按每名观众计算	上海体育馆	夏季(1975年8月29日)	0.16	0.20	0.22	0.27	0.28	0.30
		冬季(1976年1月19日)	0.26	0.39	0.31	0.32	0.30	0.32
	上海文化广场		0.11	0.15	0.15	0.17	0.19	0.20
	南京五台山体育馆(1975年10月9日)		0.18	0.20	0.28	0.33	0.34	0.32
	国外资料(木椅)[6]		0.20	0.25	0.30	0.37	0.38	0.38

表 5 体育馆、会堂观众吸声增量的建议值(赛,木椅)

倍频程中心频率(赫)			125	250	500	1000	2000	4000
观众席有踏步(较陡)	按观众席每平方米计算		0.40	0.50	0.60	0.70	0.70	0.70
	按每名观众计算		0.20	0.25	0.30	0.35	0.35	0.35
观众席无踏步(较平坦)	按观众席每平方米计算		0.20	0.30	0.30	0.35	0.40	0.40
	按每名观众计算		0.10	0.15	0.15	0.17	0.20	0.20

2. 体育馆观众席为踏步式,观众暴露面积比会堂、剧场大,也会增加观众吸收。

当每名观众占有面积约为 0.5 米<sup>2</sup>时,建议采用表 5 的观众吸声增量。

从表 4 也可看出,冬季的观众吸收要比夏季大,特别是 125—500 赫时,竟可高出 0.2—0.4 (按每平方米观众席计算)。这可能是冬季观众都穿棉袄等厚衣服,衣服层数也多,对低频吸收起了较大作用;而夏季由于观众衣服单薄,对中高频尚有吸收,而低频吸收则较差。

### 结 束 语

上海体育馆的声学设计系由上海市民用建筑设计院与上海人民广播电台、同济大学、上海无线电十一厂等单位共同进行的。参加空满场声学测试的还有上海工业建筑设计院、新华无

线电厂、上海市电器科学研究所、南京大学、南京工学院、中央广播事业管理局等十多个单位,并在上海体育馆协助下进行的。本文仅就混响时间等进行初步分析,有关扩声设计和测试结果将另文介绍。

### 参 考 文 献

- [1] 北京市建筑设计院:“首都体育馆建筑声学设计中的两个问题”, 1973.11.
- [2] 中央广播事业管理局设计室:“首都体育馆扩声系统设计”, 1978.11.
- [3] 南京大学:“南京五台山体育馆的扩声系统”, 1978
- [4] 伊知清辉:“东京奥运会国家体育馆的声学问题”——第五届国际声学会议论文集, 1965. G 14
- [5] T. J. 舒尔兹:“休斯敦阿斯特罗多姆体育馆的声学设计”, *Journal of the Audio Engineering Society*, Vol. 14, PP. 100~104.
- [6] 同济大学王季卿、王谟贤:“厅堂音质设计中听众座椅的吸声量问题”, 1962.