

清华大学建筑学术丛书

建筑物理研究 论文集

1946 — 1996



中国建筑工业出版社



清华大学建筑学术丛书

(1946—1996)

建筑物理研究论文集

秦佑国 李晋奎 编

中国建筑工业出版社

(京)新登字 035 号

391391

本书汇集了清华大学建筑学院教师和现在国内外各单位工作的校友们,长期以来在建筑物理学科领域中的研究论文和设计实践作品,此外还收入了部分博士和硕士生的毕业论文。其中大部分为 90 年代以来的较新成果,主要课题涉及建筑声学、建筑光学以及建筑热工等,有不少内容是国内外有关学术界正在关注的新课题。全书收入论文 54 篇,它集中反映了清华大学建筑学院成立 50 年来,在建筑物理学科领域中有代表性的研究成果。

清华大学建筑学术丛书

(1946—1996)

建筑物理研究论文集

秦佑国 李晋奎 编

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

新华书店经销

北京云浩印制厂印刷

开本: 880×1230 毫米 1/16 印张: 16 字数: 479 千字

1996 年 9 月第一版 1996 年 9 月第一次印刷

印数: 1—1,300 册 定价: 55.00 元

ISBN 7-112-02867-1

TU·2187 (7980)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题,可寄本社退换

(邮政编码 100037)

清华大学建筑学术丛书 (1946—1996)

书目

清华大学建筑学院（系）成立 50 周年纪念文集

梁思成学术思想研究论文集

吴良镛城市研究论文集(1986~1995)

北京城市规划研究论文集

建筑学研究论文集

建筑史研究论文集

建筑物理研究论文集

建筑设计城市规划作品集

美术教师作品集

学生建筑设计作业集

清华大学建筑学术丛书编辑委员会

名誉主编：吴良镛

主 编：赵炳时 胡绍学

副 主 编：陈衍庆

委 员：（以姓氏笔划为序）

左 川 孙凤岐 关肇邨

刘凤兰 吴焕加 李道增

李晋奎 陈衍庆 郑光中

赵炳时 胡绍学 高亦兰

栗德祥 秦佑国 楼庆西

责任编辑：吴宇江

总体设计：刘向阳

版式设计：彭燕京

前言

为了纪念清华大学建筑学院（系）创办五十周年，我们选编了这本《建筑物理研究论文集》，这是一件十分有意义的事，也是多年来在本学科辛勤耕耘的各位校友的共同心愿。征稿通知发出后，得到大家的热烈响应，半年来陆续收到校内外及在国外的校友的大量稿件，但由于篇幅的限制，最后从中选取了 54 篇。文集选编的宗旨是尽可能较全面地反映我所（前身建筑物理教研组）及众多校友在建筑物理学科各自领域中有代表性的研究成果，内容集中在建筑声学、建筑光学和建筑热工等方面。文集中除少数几篇为反映早在五、六十年代进行的具有开拓性研究成果外，大多数是八十至九十年代以来的成果。

我们深感欣慰的是许多校友已成为建筑物理学科的中坚力量，他们的一些研究成果在本学科中成为具有前沿性的力作。本论文集是各位校友向学院创办五十周年所作的成果汇报，同时，也是为了与本学科各兄弟单位的同仁进行学术交流。而对于广大的建筑物理爱好者，我们无疑也提供了一本有参考价值的资料。

建筑物理是建筑学的一个重要学科分支，它已越来越受到重视。我们相信，一向有着敬业和开拓进取精神的各位校友，必将为促进我国建筑物理学科的发展做出新的贡献。值此论文集与大家见面之际，谨向给予我们大力支持的各位校友表示诚挚谢意。

清华大学建筑学院建筑技术科学研究所

1996 年 5 月 1 日

目 录

1	北京天桥剧场音质测定及初步分析	清华大学建筑系声学研究组
15	多个延迟声的音质评价试验	车世光 张永绪 徐亚英 李晋奎
22	中央音乐学院礼堂声学设计	清华大学土建系建筑物理教研组
28	太原市湖滨会堂改建工程观众厅建声设计	李晋奎 康 健 施锦华 王树林 崔继恒
31	全部木造的爱维昂音乐厅 (摘要)	徐亚英
33	有二百年历史的波尔多大剧院在修建中的声学处理 (摘要)	徐亚英
34	舞台反射板的声学效应与设计问题	韩金晨 李晋奎
39	北京音乐厅音质分析	施锦华 李晋奎
44	关于厅堂音质评价指标的几个问题	王炳麟
48	用于厅堂音质评价研究的人工头传输系统的特性研究	徐 勇 王炳麟
54	IACC 的稳定值与主观音质 (摘要)	王炳麟 韩晓晖 刘志超
56	室内声场计算机声线法模拟的一些问题	秦佑国
60	室内声场衰减过程的统计分析	秦佑国
67	几何声学——虚象空间	秦佑国
75	克希荷夫积分公式求解不规则形状刚体的声散射	倪 威 秦佑国
78	脉冲积分法测量室内声场衰减过程的实验研究	孟宪民 王炳麟
83	用固定声源功率法对厅堂声压级分布的试验研究	王炳麟 刘志超 莫争春
90	浮云吊顶厅堂混响过程的计算机分析	康 健
93	长空间中多声源的声学特性研究	康 健
98	声场瞬态特性的数字化测量	刘志超 王炳麟
102	声传播中空气吸收衰减系数的计算软件	刘志超 王炳麟
106	统计能量分析应用于墙隔声的研究	秦佑国
116	混响声衰减过程中扩散对吸声测量的影响	贺加添
119	车辆喇叭噪声能静些吗? ——北京交通噪声控制设施	张昌龄
122	沿街住宅防噪研究——低噪声消声通风器的研制和应用	秦佑国
128	模型试验在交通噪声评价中的应用	胡天羽 张昌龄
134	负指数分布自由车流噪声的近似计算公式	吴硕贤

138	“虚墙”法及其在交通噪声计算中的应用	吴硕贤
142	噪声方向结构的主观评价研究	傅立新 秦佑国 车世光
147	玻璃棉空间吸声体原理与工程应用	卢贤丰
151	中国美术馆的采光设计	清华大学土木建筑系建筑物理教研组 詹庆旋
156	天然采光计算的新方法	清华大学建工系建筑物理组
163	教室照明质量的评价与改进	李中虎
171	我国城市住宅照明的现状和未来	詹庆旋
177	北京地区平均天空及其采光计算	孙 明 詹庆旋
182	平均天空下的居室采光	詹庆旋 易 中
185	现代城市公共照明	林贤光
189	一个计算机辅助照明设计软件的新模型（摘要）	李中虎
190	开发集成辅助建筑设计系统	孙 明
194	照明系统节能和经济效益的分析方法	张 琦 詹庆旋
198	视觉显示终端屏幕颜色对比对视觉功效的影响	唐 玲 詹庆旋
201	关于建筑节能科学体系的探讨	蔡君馥
205	太阳房热舒适性分析	蔡君馥 张 慧
209	论岭南建筑人居环境的改善及建筑节能问题	林其标
213	住宅建筑方案设计的节能分析	叶 歆
216	陶粒混凝土矿棉复合外墙板的设计与构造	叶 歆
220	我国农村建筑节能方向初探	张家璋
223	高湿空气环境对人体舒适感的影响	徐腾芳
225	采暖建筑最佳保温热阻初步研究	王千翔
228	华南地区多层住宅小区的分布与自然通风	王准勤
232	封闭阳台的热特性研究	周 红 蔡君馥
236	多孔材料非稳态气、液混合吸湿过程理论分析及试验研究	薛景悦 叶 歆
242	建筑物理环境与微机技术	沈天行
244	室内热环境及供暖能耗分析程序	唐益韶 莫咏芬
247	地面土壤冻融过程对房间热湿负荷的影响分析（摘要）	马 沙等

CONTENTS

Acoustic Measurement of Tianqiao Theatre	Che Shiguang and others
Subjective Evaluation of Several Delayed Reflections	Che Shiguang, Zhang Yongxu Xu Yaying, Li Jinkui
Acoustic Design of Auditorium of the Central Conservatory of Music	Che Shiguang and others
Acoustic Design in Rebuilding Hubing Hall of Taiyuan City	Li Jinkui, Kang Jian, Shi Jinhua
The Wooden Concert Hall for The Music Festival of Evian 'La Grange Au Lac'	Xu Yaying
Invisible Acoustics in The Restoration of The Grand Theatre	Xu Yaying
The effect of stage reflector and its design	Han Jincheng, Li Jinkui
The Analysis of Acoustics of Beijing Concert Hall	Shi Jinhua, Li Jinkui
Some points on evaluation of hall acoustics	Wang Binglin
On the transfer behavior of an artificial head system applied acoustic evaluation researches for hall	Xu Yong, Wang Binglin
The steady values of IACC and its relationship to subjective acoustics	Wang Binglin, Han Xiaohui, Liu Zhichao
Discussion of Sound Ray Tracing Method for Computer Simulation of Sound Field in Rooms	Qin Youguo
Statistical Analysis of Decay of Sound Field in An Enclosure	Qin Youguo
Geometrical Acoustics——Image Space	Qin Youguo
Using Kichhoff Integral Formula to Acoustic Scattering from Arbitrary Shaped Body	Ni Wei, Qin Youguo
The experimental researches of the sound decay measurements with Integrated impulse method	Meng Xianmin, Wang Binglin
The experimental researches of the sound pressure level distribution in halls with constant sound source	Wang Binglin, Liu Zhichao. , Mo Zhengchun
Computer Analysis of Reverberation Process in The Hall with 'Clouds' (Suspended Ceiling)	Kang Jian
Investigation of Acoustic Characteristics of Multiple Sources in Long Enclosures	Kang Jian

The digital measurement of impulse response in the sound field	Liu Zhichao, Wang Binglin
A computer program for computing atmospheric absorption losses in sound propagation	Liu Zhichao, Wang Binglin
Using Statistical Energy Analysis in Study of Sound Insulation of Partitions	Qin Youguo
Influence of Sound Diffusion on Absorption Coefficients Measured in Reverberant Decaying Process	He Jiatian
Can The Vehicle Signal Horn Noise Be Quite?	Zhang Changling
Traffic Noise Protection of Residential Buildings——A Meffled Ventilator with low Noise level	Qin Youguo
Scale Model Experiment for Traffic Noise Evaluation	Hu Tianyu, Zhang Changling
An Approximate Noise Calculation Equation for Exponentiall Distributed Vehicles Model of Free Multi-type Traffic Flow	Wu Shuoxian
Image Walls——A New Concept For Simple Estimates of Traffic Noise	Wu Shuoxian
Subjective Assessment on The Space Structure of Noise	Fu Lixin Qin Youguo che shi guang
Fibre Glass Functional Absorber	Lu Xianfeng
Daylighting in the National Gallery	Zhan Qingxuan
The new method for daylighting calculation	Zhan Qingxuan and others
Evaluation and improvement of classroom lighting	Li Zhonghu
Present and future urban residential lighting in china	Zhan Qingxuan
Average sky for Beijing area and its daylighting calculation	Sun Ming, Zhan Qingxuan
Daylighting in the living room under the average sky	Zhan Qingxuan, Yi Zhong
Public lighting for modern cities	Lix Xianguang
New models and algorithms for computer-aided lighting design	Li Zhonghu
Developing an integrated building design system	Sun Ming

An analytic method of energy efficiency and economic benefit in different lighting systems	Zhang Qi, Zhan Qingxuan
Effects of VDU screen color contrast on visual performance	Tang Ling, Zhan Qingxuan
Study on energy saving systems in residential buildings	Cai Junfu
Analysis of thermal comfort in solar houses	Cai Junfu, Zhang Hui
Study on improving habitation environment and building energy efficiency in south china	Lin Qibiao
Analysis of energy conservation in residential buildings	Ye Xin
Thermal performance of the compound external wall made of haydite concrete and mineral	Ye Xin
Preliminary study on the direction of energy efficient buildings in rural area in china	Zhang Jiazhang
The effects of high-level air humidity on subjective perception of comfort	Tengfang Xu, Edward A Arens, Fred S. Bauman
Preliminary study on optimal thermal resistance in heating buildings	Wang Qianxiang
Natural Ventilation and building arrangement of neighborhoods in south china	Wang Zhunqin
Study on thermal performance of enclosed balconies	Zhou Hong, Cai Junfu
Experimental research and numerical analysis about moisture absorbing procedure of compound vapour and water of porous materials	Xue Jingyue, Ye Xin
Physical environment of buildings and computer technology	Shen Tianxing
Programme for thermal environment and energy consumption analysis	Tang Yishao, Mo Yongfen
An analysis of heat and moisture load in room for the freezing-melting Processes occurring	Sha Ma and Mamoru Matsumoto

北京天桥剧场音质测定 及初步分析

清华大学建筑系声学教研组

为了收集设计大剧院的声学资料，我们和中国科学院电子学研究所、建筑科学院、电影技术研究所、广播事业局等兄弟单位先后调查了北京、天津等地的各大剧场，并以具有一定代表性的北京天桥剧场作为重点进行了研究。先后共进行了七次主观评定和技术测定，主要是为了能得到以下的资料：

1. 我国观众对音质的要求标准及其和仪器测定之间的关系；
2. 最佳混响时间及其建筑处理；
3. 清晰度的测定及其影响因素；
4. 观众厅噪声水平。

最近得到文化部和各有关单位的支持与协助举办了一次大规模测定的音乐会，邀请了音乐界、建筑界、声学界、教育界和其他各单位的同志共一千五百余人参加。通过这几次的测定工作，得到了很多宝贵的资料，下面就分几个问题向大家介绍一下。

一、天桥剧场的概况

本剧场是1953年建造的，原先设计只是为了一般的演出，1954年对建筑进行了修改，而在音质方面没有仔细考虑，由于材料的选择和处理不当影响了声音的效果，尤其是二楼的贵宾席效果不好。

天桥剧场观众厅的平面是钟形的，体积是 $8,200\text{m}^3$ （清华计算），能容纳观众1,564人，平均每人占 5.25m^3 ，三楼最远的视距是38.2m（中轴线视距是37m）。

观众厅各部分材料及其布置情况如下：

1. 天花部分：
反射面——板条抹灰；
面光灯带——抹灰、上描金花；
一般天花——木屑板上涂油漆，上

有暗灯及通风口；

眺台天花——草纸板，上有 $0.70 \times 0.70\text{m}$ 方形灯16个。

2. 墙面：

护墙板——为胶合板，后面有厚度不等之空气层；

上部墙——为草纸板喷浆，后面是木龙骨，空气层厚度不等；

耳光灯带——为带凹槽之抹灰墙面；

台口两侧——为拉毛墙面，台口为胶合板木框；

二楼楼梯栏杆及楼座栏杆亦为拉毛墙面；

音乐池栏杆——为漏空栏杆上面遮以丝绒软帘。

3. 地面：

一般为水泥地面；仅二楼贵宾席为条木地面，过道处铺以长毛绒地毯，四周围以丝绒栏杆。

4. 门窗：

楼上6个门，其中4个包以漆布，挂丝绒夹绸帘子，其余2个为丝绒帘子（门尺寸为 $1.45 \times 2.3\text{m}$ ）；楼下8个门，均为漆布包之隔声门，一律挂丝绒帘子，其中后门尺寸为 $2 \times 2.1\text{m}$ ，前面舞台处有 $0.75 \times 1.95\text{m}$ 小门2个，挂以丝绒帘子。

三楼后面有 $3 \times 2.4\text{m}$ 大玻璃窗3樘。

5. 座椅：

普通席为木硬椅上包漆布，贵宾席为皮软椅共48个。

二、音质评定

一个剧院音质的好坏可根据以下几个方面来评定：

1. 声音响度要足够，并对所有座位声强应分布很均匀；

2. 丰满度——相当于一个人在室内演奏(歌唱)的声音和在露天中的声音相比,在音质上提高的程度;

3. 清晰度——对每一个音节的听闻清楚程度;

4. 无回声;

5. 较低的噪声干扰。

在天桥剧场我们重点只对声强、丰满度、清晰度、噪声级进行了研究。

音质评定的方法应当由人的主观评价和仪器的技术测定共同解决;将此两部分听得的结果进行综合分析,才能得到较为可靠的结果。

(一) 主观评价:

通过人听到的感觉来评定音质好坏的方法,它包括对音乐、歌唱的丰满度、清晰度和响度的测验。

在天桥剧场共进行了两次主要的主观评价,一次是草原之歌(歌剧),一次是大规模测定的音乐会,音乐会的节目中包括我们需要的高频声、低频声、中频声。

评定时把观众席共分成八个区(见图1),每区有专人进行解释工作和收集意见,并在入场时每一观众发一套表格,每当一个节目演完以后即打开场灯请观众填写意见表。

我们选定了三个代表性的节目(天鹅湖组曲、女高音独唱、男低音独唱)进行了重点分析。

观众的意见可综合成下面几个方面:

1. 响度大小方面:

一般认为响度还是够的,从统计来看反映听得很好和刚好的占80%以上,

整个观众厅内还没有观众反映声音特别弱的地方。

在二楼贵宾席及楼下眺台中部一般都反映与三楼比起来要低一些,听起来较吃力,必须要集中注意力才能听得清。而且只能听到直接声,缺少前几次的反射声,尤其是低音部分。

在三楼及一楼两侧一般都认为听得很好;不少观众反映女高音的换气声及琵琶声的很弱部分也能清楚地听到。

2. 丰满度方面:

普遍认为不够丰满,特别是低音和高音部分,在楼下中部及二楼贵宾席普遍认为很不满,觉得吸声过大,有些干,个别有失真现象。

在三楼和一楼两侧及眺台最后部分一般则认为听得很好。

3. 清晰度方面:

在一楼前半部听起来很清楚,但觉得乐池出来的声音不够融合,显得有些“碎”,眺台下面中前部和二楼贵宾席的清晰度极差,尤其是在乐池有伴奏时很难听清,而三楼一般反映比较好,眺台下部靠最后的座位清晰度也很高。

4. 对音乐池方面:

观众普遍认为音乐池的伴奏声太强,往往使演员声音受到掩盖,演员反映在伴奏时好象有一道“音乐墙”将其与观众分开。

(二) 技术测定:

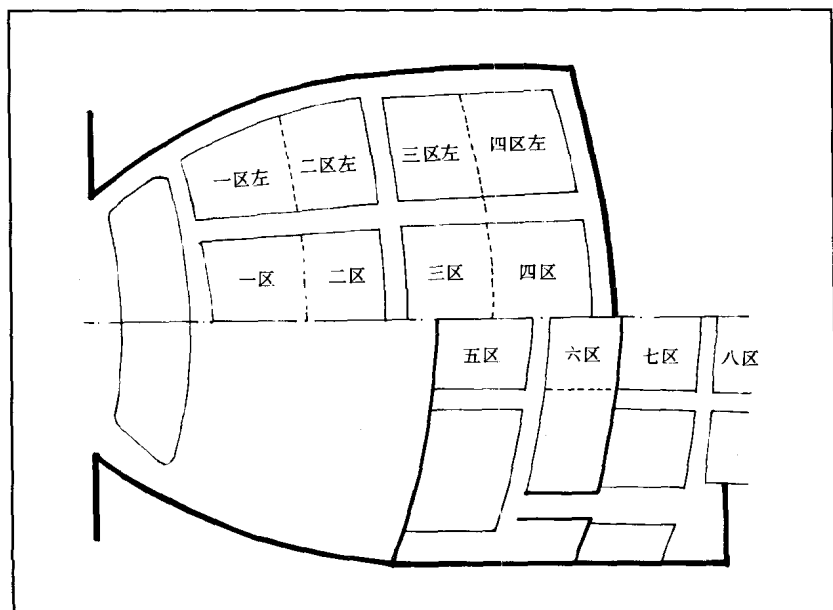
共分空场声强测定、满场声强测定、空满场混响时间测定三部分。

1. 空场声强测定

(1) 目的——空场测定声强可以用来分析建筑平剖面的反射特性,得出声场分布后,将其与满场主观评价对照起来,能够初步的分析声学缺陷,采取补强措施。得到声场分布后,亦能进而求得均匀声场适于采用的表面材料。由于测定满场存在着一定的困难,空场测定就显得更为重要和方便,但是必须对空场满场之间由于人的差异进行研究,得其规律,才有更大之价值。

(2) 方法——用12英寸扬声器作为声源,发出脉冲声(数据与混响测定相同),用频率分析仪上之电表读数记录,测定点分布全场,形成方格网状(图2),共测125、250、500、1000、2000、4000 c/s 6个频率,声源输出功率并不要求一致(考虑噪声对高低频的影响);然后观察各点之差异,分析声场分布是否均匀。

图1 主观评价观众分区



(3) 结果及讨论——从空场声强测定之数据看，本剧场二楼之贵宾席和跳台下之中间部分声强较弱，一楼后侧亦衰减得很厉害（此结果与满场测定及群众反映有出入尚待研究）。而本剧场一楼前部和三楼后部声强较大，二楼后部亦不弱。

在图 3 中表示出 3 个频率之情况，从标尺之粗细可以看出声强分布的情况，但欲使其与实际相符合，应将各个频率综合分析，方能减少由于驻波所产生的误差。

从图中可以看出空满场之声强情况不完全符合，对准确地分析建筑平剖面之缺点产生了一定的困难。

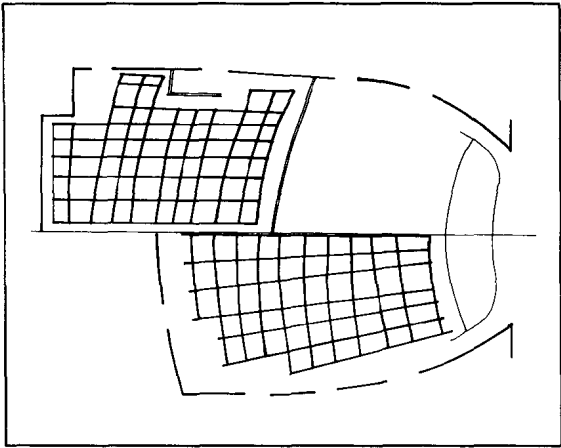


图 2 空场声强分布测点之方格网图

①空场满场之关系——目前进行剧场空场的测定较多，但与满场之关系到底如何却很少进行比较，因此所测得之

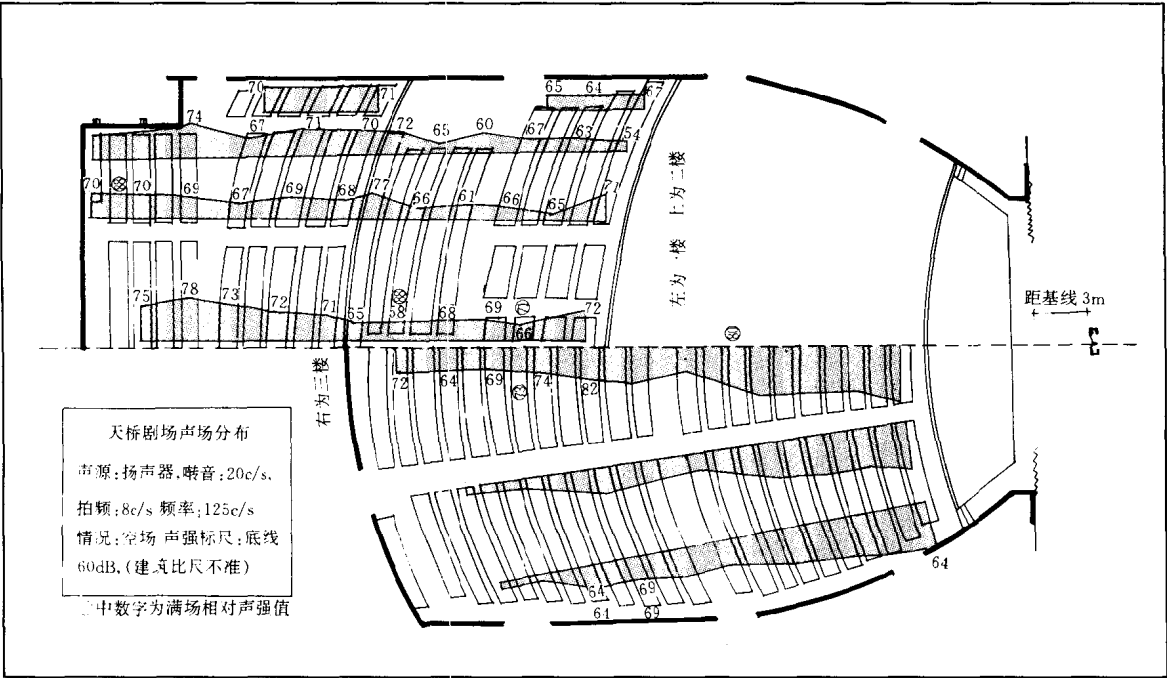


图 3-1 空满场声强图

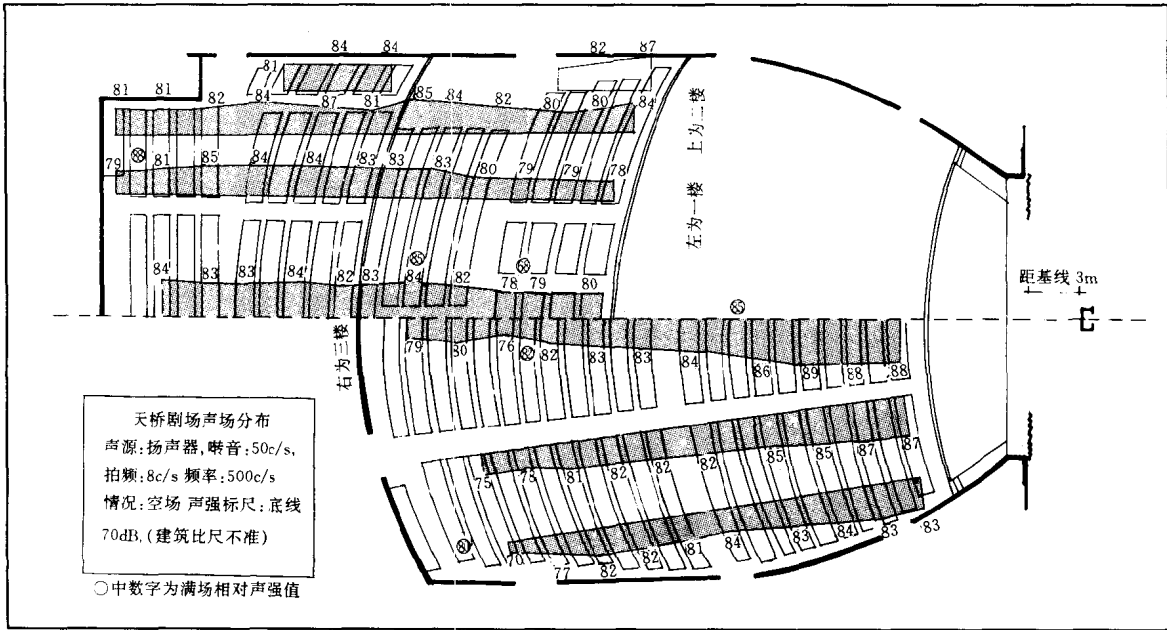
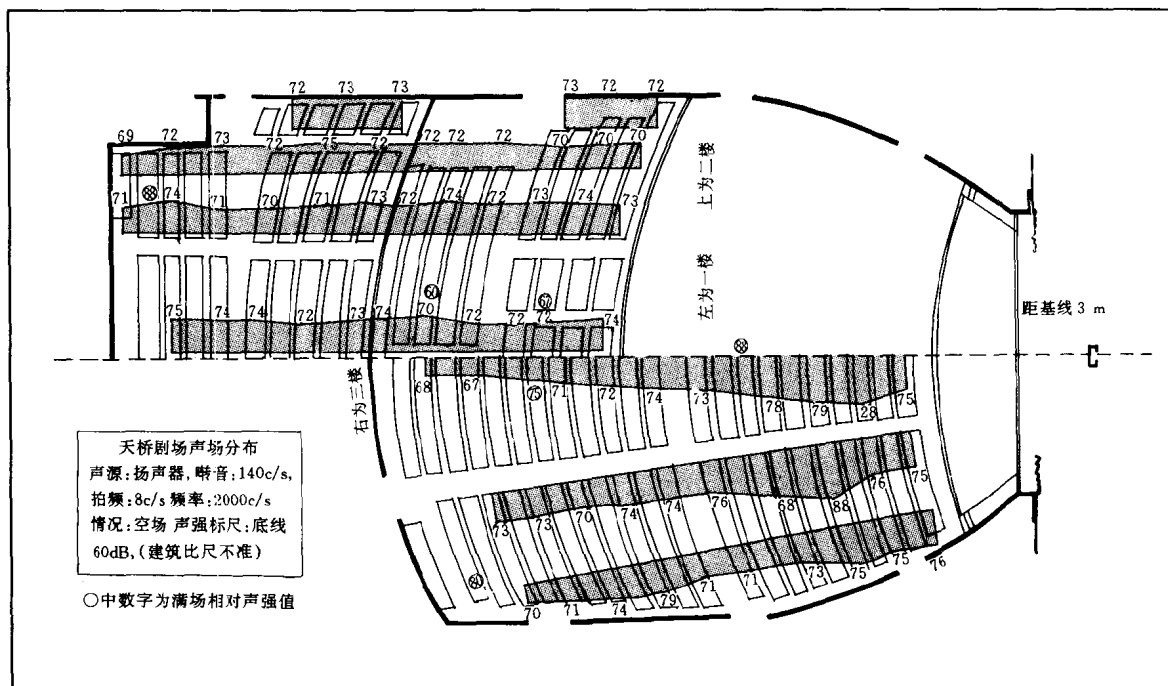


图 3-2 空满场声强图

图 3-3 空满场声强图



空场数据并不能充分发挥作用。在这次因条件关系只测定了具有代表性的六点(为了避免驻波之影响每一测定都左右移动 1m, 然后取其平均值)观察其相对

关系, 在图 3 中有○处之数值即满场声强值, 从几点相互间关系来看空满场有些不同, 例如 500c/s 时, 各点声强比较如表 1。

各点声强比较表

表 1

	1 楼 8 排中	1 楼 16 排中	相差	1 楼 8 排中	2 楼 3 排中	相差	2 楼 3 排中	2 楼 8 排中	相差	2 楼 3 排中	3 楼 10 排中	相差
空 场	85dB	80dB	5	85	79	6	79	84	5	79	79	0
满 场	82.5	74	8.5	82.5	69	13.5	69	84	15	69	82	13
空满场之间相差			3.5			7.5			10			13

由此看来满场各点声强相差较空场为大, 不均匀性增加, 尤其是高频部分, 而空场时没有观众吸声, 中高频混响较长, 并且声强变化小, 因此今后在测定空场时应考虑到这一差异, 以免发生不符合实际的分析和其他错误。

②驻波的影响——由于单频连续声易生驻波, 而使声场中某些测点不能反映真实情况, 例如图 4 中所示, 如使用一白噪声 (600~1200c/s) 声源, 其不同频率成分的许多极大极小值在不同位置上相遇使得声级均匀地降低, 而用单频声 1000c/s 时由于直射波与反射波之间的干涉而产生许多低谷。

因此今后可用三个方法来减少驻波的影响:

a. 声源使用白噪声 (频谱连续而且均匀的声音), 如测单频声场时亦可滤波;

b. 用单频声源时则需要噪声及脉冲

声;

c. 选择较多较密的测点。

③仪器的方向性——

a. 声源的方向性: 应当尽力使声源在各个方向之声压趋近于人的声压分布。但一般喇叭都有一定的方向性, 因此往往不能与建筑的平剖面发生如实的反射关系, 而在喇叭中轴线上的衰减也不正常。所以应该考虑多放几个功率一样的喇叭, 排成放射的形状 (半球形或放射形) 以求尽量近似于人的声压分布; 或者如 Beranek 在《电声测量》一书中所述, 将声源口径作成人口人头之比例, 但这些我们还需要作更多的试验, 进一步研究它。

b. 话筒方向性: 我们使用之电容式话筒为一方向性不强之接收器。当为了分析声音是从哪一个方向来的 (例如直接声, 反射声等), 可使用方向性话筒进行测量, 则对建筑平剖面的几何分析更

为有利。

④表面材料对声强的影响——在本剧场采用草纸板作为吸声材料，因此会降低反射声的强度和反射次数，使场内声压分布不大均匀，从实际反映来看这种情况并不严重，这里提出仅供声场分析时考虑。

2. 满场声强测定

(1) 目的——①对天桥剧场音质的分析收集资料；②了解在实际演出中各区域的观众席实际形成的声强水平，以及演唱、伴奏及大厅噪声等的相互关系，试图从仪器测定的结果与混响时间及清晰度等比较，能初步确定一个能够满足要求的声强标准(最低的和一般的)并研究达到此水平之可能性，以供剧院音质设计之参考。

(2) 方法及内容——我们测定了演出过程中各种节目声强之连续记录。

首先将剧场观众厅根据观众普遍的反映分成六个区域，用六套仪器同时测量(分区见图5)。

使用仪器及技术条件如下：

① 仪器——电容式话筒，距地1.5m；

频率分析仪，滤波开关指示“Lin”(全通)上；

记录仪，以10mV标准电压调成绝对声级。

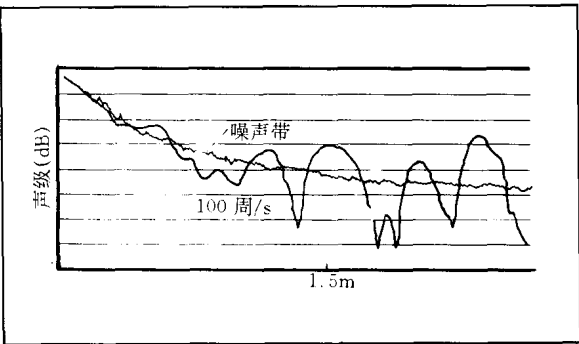


图4 沿声源轴线声压级随距离变化之关系

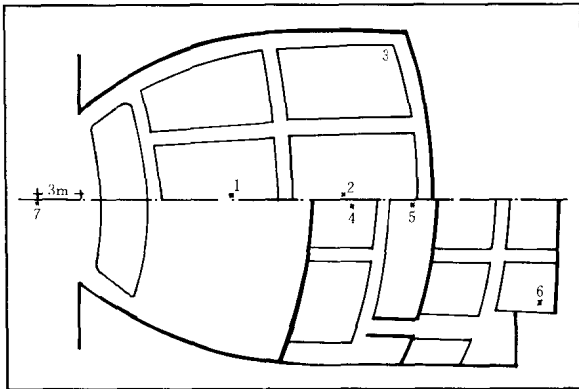


图5 技术测定分区

②技术条件

a. 满场声场分布：记录纸走动速度选用1mm/s；

电位计为50dB。

b. 演员声强测定：声强计放在演员之正前方距口0.30m处(在广场或消声室)，以免干扰。

满场声强测定结果如表2。

满场声强测量结果(dB) 表2

声 强 位 置		序	1	2	3	4	5	6
节 目			1楼8排21	1-16-21	1-21-4	2-3-6	2-8-18	3-10-3
管弦乐 天鹅湖组曲	平均范围		74	70	72	65	77	80
			63~92	60~90	55~88	50~80	60~94	58~90
男声独唱	平均范围		73	68	64	57	70	72
			63~66	~	58~75	52~66	62~78	65~50
琵琶独奏			63	60	61	52	62	65
			50~73	00~66	56~67	48~60	53~72	57~76
合唱青年曲			80	65	75	66	76	78
			70~88	55~75	64~85	50~74	65~88	65~90
评剧清唱			68	55	64	54	68	70
			60~80	~58	58~75	50~68	60~85	63~85
女高音独唱 黄河怨			65	54	61	54	65	65
			56~80	48~68	56~78	45~66	52~88	56~80
大提琴独奏			66	54	64	58	66	68
			58~80	40~65	58~75	46~67	55~80	56~80
静场噪声 掌声			49	同上	同上	47	同上	同上
			90			90		

(3) 结果及讨论——

①从六个点的比较来看，可以说每一点对于该区一定范围内是代表了一般的规律，从记录上(图6)可以看到六个

点的相对变化是一致的，其原因是由于声源的频率是多样的，避免了所谓的驻波现象；

②用记录仪测定演出过程中每一段

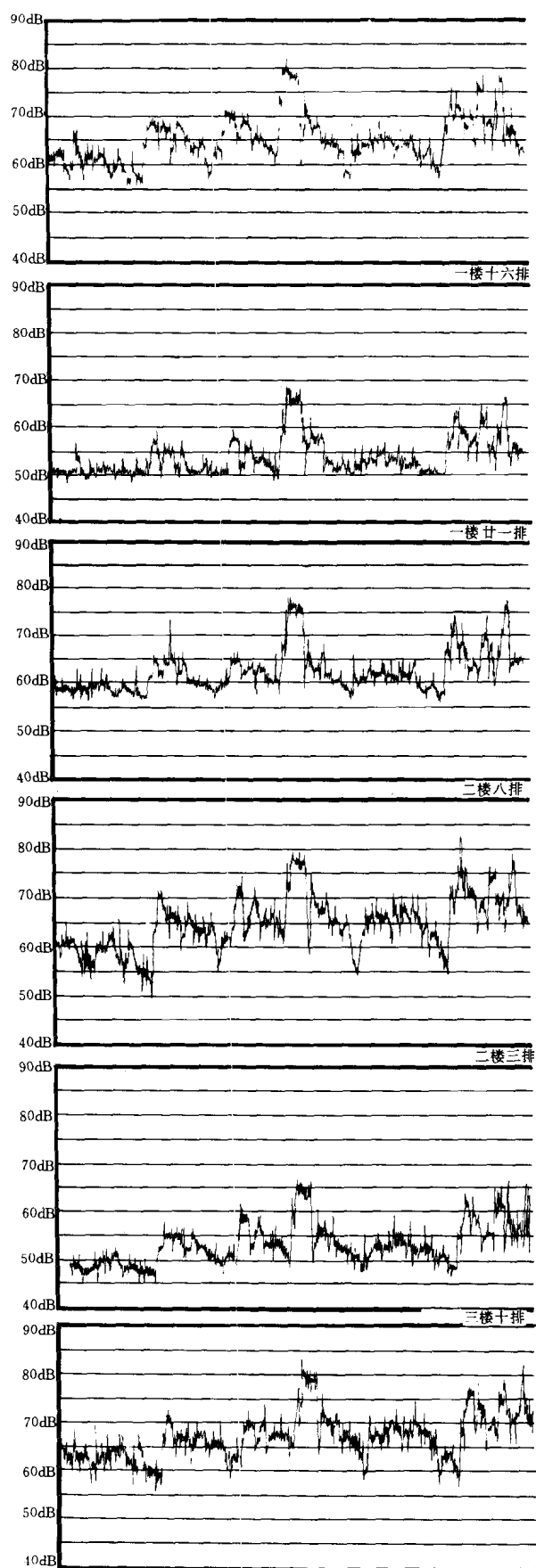


图6 各区之声强记录比较 (女声独唱黄河怨片断)

的声强变化, 然后综合评定该点的声强水平的方法是比较可靠的、科学的; 可消除其他方法测量的偶然性;

③在记录时应随时将当时表演情况记录在记录纸上, 或者用录音机录下实况, 一同分析, 在这一点我们作的还远远不够;

④从记录中如歌剧茶花女 (见图7) 可以看出乐队伴奏与歌唱的关系; 乐队很容易淹没主唱者的声音, 对听得好不好有很大的关系, 从建筑角度上看, 乐池的设计与舞台的关系及观众厅与乐池之体形和材料上有很大的意义, 从其他的节目共同分析也认为天桥剧场的乐池伴奏声对台上演员的演唱影响很大。

⑤观众厅内的噪声水平, 在安静时有 47dB; 稍活跃即 50dB 左右, 这种情况是值得声学设计时注意的, 在一般情况下声音比噪声高出 8~10dB 即能正常地听到, 而由于人耳的选择性及注意力的集中, 以及噪声与声音频率的不同, 两个声强级在同一水平也能听清, 但比较吃力, 对剧院来讲当然是认为不能满足要求的;

⑥演员的声音能量是有一定限度的 (见表3), 因此要在观众厅内达到一定的听觉水平, 就必须尽力减少声能的损失, 这在剧院音质设计上是很重要的关键之一。

3. 空满场混响时间的测定

(1) 目的——混响时间的长短对剧院的音质好坏有很大的影响, 往往剧院中的音质缺陷如声音不丰满、音节不清晰等其主要原因就是混响时间太长或太短, 分析一个剧院的音质必需要了解:

- ①各种频率的混响时间特性;
- ②声强、清晰度与混响时间的关系;
- ③观众厅体积、材料及其分布对混响时间的影响;
- ④空满场混响时间的变化情况。

(2) 方法及内容

使用仪器及技术条件如下:

声源部分: 音频振荡器其播音范围如下表:

c/s	125	250	500	1000	2500	4000
±c/s	20	20	50	80	140	180

(拍频次数为 8 次/s)。

扩大器 25W 者 (空场) 50W 者 (满场) 各一, 扬声器, 空场为一个 12 寸者, 满场则为 4 个, 其位置在大幕口后 3m 处, 距地面 1.5m (空场) 及在大幕口处 (满场)。

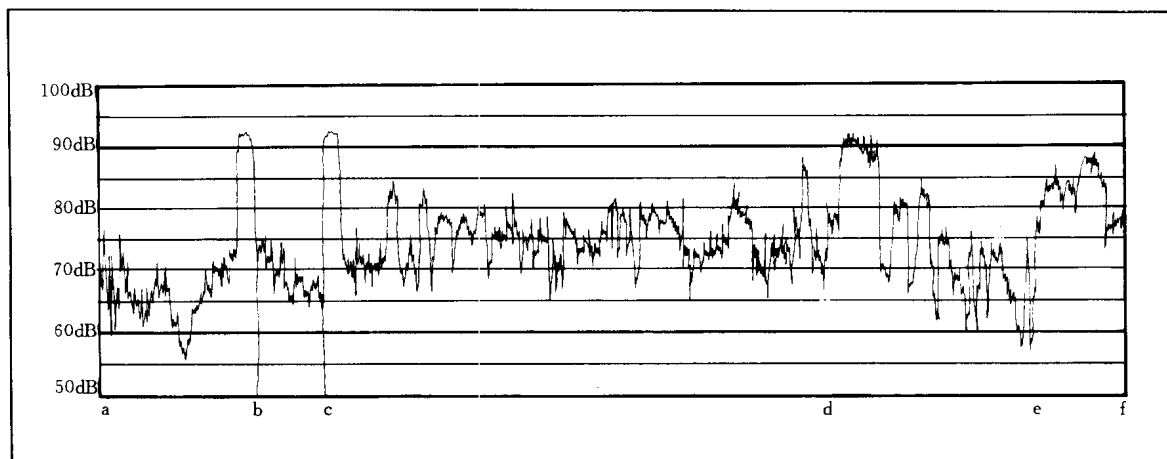


图7 歌剧茶花女记录片断一楼八排二十一号
a—b 较轻伴奏（全入场）；b—c 茶花女独唱；
c—d 男女主角对唱；
e—f 强烈伴奏；d—e 众人合唱

歌唱演员声能调查 表 3-1

声源性质	声强水平 (dB)	声能强度 μW
男低音	76~96	50.3~5030
男中音	78.5~105	79.8~39900
男中音	86~96	452~4520
男高音	85~104	399~31800
男高音	85~92	357~1800
男高音	86~94	452~2840
女中音	83~90	226~1130
女高音	89~98.5	100~7980
女高音	90~112	1260~200000

注：此表数据是在化妆室内测定的

评剧演员声能调查 表 3-2

小生	76~82	45.2~180
花旦	66~76	45.2~452
花旦	74~84	28.4~284
花脸	76~84	45.2~284
	75~82	35.7~180
	78~88	71.8~718

注：此表数据是在舞台上测得的。

乐器 表 3-3

小提琴	54~72	0.281~17.7
长笛	60~72	1.12~1770
黑管	64~96	2.81~4450
小号	84~93	2.812~230
二胡	65~91	3.541~410
笛子	68~88	7.06~706
喇叭	94~102	28.10~17700

接收部分：电容式话筒，距地面 1.5m；

频率分析仪；记录仪；电位计 50dB；纸速 30mm/s；指针速度 200mm/s；低频 20c/s。

混响我们共测了 125、250、500、1000、2000、4000 六个频率由高频向低

频测，用记录仪将每种频率记录三次取其平均值。

(3) 结果及讨论——从图 8 中看出一般曲线均中部形成驼峰，变化很大，只有三楼在满场时其曲线较平缓；在 0.9~1.2s 之间变动，从观众反映这部分还是相当满意的，它证明了混响特性曲线的规律；如能普遍提高到 1.5s（低频更长些）则能更满意。

关于拍频速度问题，英国皇家节日音乐厅测定混响时间时采用的脉冲是 40 次/s，但还嫌时间表，而我们采用的是 8 次/s，测定结果发现曲线“跳动”的很厉害（图 9），衰减曲线上亦出现跳动点，因此每秒拍频次数尚应进一步研究。

记录纸读数的正确取值是直接影响测定的精确性的；但如上所述“跳动点”使曲线形成了不是平直的，因此如何取其正确值也是一个问题。

空场混响测定我们进行了两次，可是两次的数据有出入，其原因可能是技术条件不大一样，如话筒高度一次是 1.2m，而另一次测是 1.5m；接收位置也差了一个座位，有人认为是驻波造成的影响，但究竟如何则需进一步研究。

另外一个问题是耦合空间的问题，根据一般书中讲当眺台之开口与深度之比例超过 1:2 时，其空间混响时间应单独计算，计算结果由于体积较眺台外面小，混响时间一般都短，但是测定的结果却一般都较长（天桥剧场和青年艺术剧院和人民剧场都是如此），此种现象如何解释也需要进一步的研究。

总之，通过天桥剧场的音质测定工作发现很多技术问题，都需要在今后工作中进一步研究和改进。

4. 语言清晰度之测定

希望通过天桥剧场之具体条件下得出语言之可懂程度。