

工程声学



北京声学学会编

北京大学出版社

ENGINEERING ACOUSTICS

7B5-23

392536

B 10-2

3

工程声学(Ⅲ)

北京声学学会编



北京大学出版社

• 1996 •

图书在版编目(CIP)数据

工程声学(Ⅲ)/北京声学学会编. —北京:北京大学出版社, 1996.9
ISBN 7-301-03162-9

I. 工… II. 北… III. 工程声学-文集 IV. TB5-53

书 名: 工程声学(Ⅲ)

著作责任者: 北京声学学会

责任编辑: 李采华

标准书号: ISBN 7-301-03162-9 (C·0074)

出版者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区中关村北京大学校内 100871

电 话: 出版部 62752015 发行部 62559712 编辑部 62752032

排 印 者: 北京大学印刷厂

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787×1092 毫米 16 开本 18 印张 440 千字

1996 年 9 月第一版 1996 年 9 月第一次印刷

定 价: 40 元



内 容 简 介

《工程声学》是一本由北京声学学会主办的不定期书刊。1988年和1992年分别出版I、II两集。本册为第III集。主要刊登北京声学学会成员在1993年至1995年间,在声学领域内从事科研、设计、技术咨询等方面的成果和学会的活动。内容包括综述、噪声与振动、音质设计、扩声工程、声学实验、吸声材料、超声应用,以及声学咨询工程等八个方面。

本书是我国应用声学方面的文集,旨在沟通有关工程声学的科技信息,推广新技术,提高我国声学学科的水平及开拓声学在四化建设中的应用。本书内容丰富,图文并茂,有较大的实用价值;它对声学有关专业的大专院校师生、建筑师,对医疗卫生、环保和劳动保护以及某些管理部门都有较大的应用和参考价值。

《工 程 声 学》编 委 会

主 编: 项端祈 北京市建筑设计研究院 研究所

副 主 编: 姜天仕 北京大学无线电电子学系

王炳麟 清华大学建筑学院

沈建中 中国科学院声学研究所

王昌井 北京市环境保护局

丁 辉 北京劳动保护科学研究所

编 委: (以姓氏笔划为序)

方启平	王 峥	刘发臣	刘永祥	庄文雄	任文堂
-----	-----	-----	-----	-----	-----

李先明	李朝晖	李毅民	华子兴	吴 雷	吴群立
-----	-----	-----	-----	-----	-----

袁保宗	张学文	姜 鹏	徐文学	罗晓松	贾建文
-----	-----	-----	-----	-----	-----

莫争春	陈道常	陈金京	焦秉立	戴根华	
-----	-----	-----	-----	-----	--

编辑顾问: 杜连耀	车世光	方丹群
-----------	-----	-----

前 言

北京声学学会自1983年在马大猷教授的创立下成立以来,在上届理事长杜连耀教授、副理事长车世光、方丹群教授的领导下,已经历了十多个年头。这期间,学会克服了财力、物力上的种种困难,开展各项学术活动。内容包括:进行国内外的学术交流和考察活动;广泛开展技术咨询工作,普及声学技术,提高学会的知名度和增加经济效益;开设音质设计、噪声控制、录音技术和超声应用等专业的培训班、培养专业人才;编辑出版《工程声学》不定期刊物I、II两集。此外,还在一定范围内组织理事和会员们开展与专业有关的休闲活动。学会工作办得生动活跃,有声有色,真正发挥了一个学术团体应起到的作用,因而曾多次获奖。回顾北京声学学会已经取得的可喜成果,首先应感谢老一辈声学家、中国声学会和兄弟学会给予的支持和帮助,不然,要顺利地开展各项活动并取得成果是不可能的。现今,德高望重的杜连耀教授年事已高,车世光教授和方丹群教授也因身体原因和赴美任职,不再担任理事长和副理事长职务。在这种情况下,把学会领导职务交给我们,深感任重道远,力不从心。但前辈的重托、同仁们的信任和支持,给我们力量和信心。决心与全体会员和理事同心协力,在市场经济的新形势下,把学会的各项工作做好,把“杜连耀声学奖”活动继续办下去,不辜负前辈的重托和期望。

《工程声学》第III集是新一届理事会接任后的第一项任务。它将展示1993~1995年间,学会成员在声学领域内所取得的成果。内容包括综述、室内音质、噪声与振动控制、扩声工程、吸声材料与结构、声学实验、超声应用和声学咨询等八方面。其中某些项目,如声制冷和声制冷机;超声检测固体中数十微米量级的缺陷;计算机程控厅堂混响、多功能共振吸声砖的研制;脉冲积分法测量室内声场衰减过程的实验研究等都处于国际领先地位。其他一些项目也都具有国内先进水平。因此,本集的出版将起到学术交流和促进声学技术发展的作用。

《工程声学》第III集的出版,其意义不仅限于它本身在学术上的作用。对学会组织来说,更重要的是它显示出新一届理事会的团结、奋进和求实的精神,这是办好学会最根本的保证。

《工程声学》的编辑工作是编委们在繁忙的工作之余完成的,因缺乏编审经验,虽经多次审核难免有疏漏之处,请读者指正、见谅。

项端祈

1996年3月

目 录

• 综 述 •

音乐厅建筑声学设计的回顾与展望	项端祈 (1)
-----------------------	---------

• 厅堂音质 •

计算机程控混响时间的多功能大厅	项端祈 马 威等 (41)
通州会堂声学设计	陈金京 王 峥 王守义 霍怀玉 (52)
布拉格的厅堂建筑	项端祈 (58)
中国科技会堂会议中心的声学设计	项端祈 王 峥 陈金京 (69)
玻璃钢在厅堂声学设计中的应用	王树华 项端祈 (85)

• 噪声与振动控制 •

声制冷和声制冷机	戴根华 (98)
北京市城区道路交通噪声的分析与研究	王昌井 王 毅 (103)
地面反射逾量衰减物理模型及其在环境噪声预测中 的应用	任文堂 Keith Attenborough (108)
住宅小区中噪声分布的计算机模拟分析	王 峥 陈金京 项端祈 (114)
我国常用建筑机械的噪声及其控制途径	陈道常 张 翔 盛经纬 (121)
高层住宅电梯噪声治理	王昌井 项端祈 陈金京 王 峥 (126)
奥斯罗克大酒店客房空调机组的噪声治理	项端祈 王 峥 陈金京 陈家辉 (131)

• 吸声材料与结构 •

复合系列吸声结构的吸声机理研究	周 迪 庄文雄 周启君 (137)
多功能共振吸声砖的研制及其在建筑中的应用	陈金京 王 峥 (142)

• 扩声工程 •

会议厅的扩声设计	徐文学 周力争 陈金京 (148)
国家行政学院报告厅的扩声系统设计	陈金京 王 峥 (156)

• 超声应用 •

超声检测固体中数十微米量级的缺陷	沈建中 (161)
超声物位信号强度分析	李朝晖 姜天仕 (167)

光穿透对固体中激光超声指向性图案的影响	方启平 白玉海 应崇福 (173)
超声多普勒信号谱分析的数学模型	李朝晖 姜天仕 (178)
人射声波和边界层压力起伏下同轴多层圆管	
内场的解	栾桂冬 杜欣力 肖孙圣 张金铎 (184)
同轴圆管系统在平面声波入射和边界层压力起伏	
下场的计算和分析	栾桂冬 杜欣力 肖孙圣 张金铎 (190)
三梁纵弯扭超声驻波电机	周铁英 崔尔玺 彭军宇 陈新业 许大伦 (196)
水听器振动模态和低频灵敏度的有限元分析	肖孙圣 张金铎 栾桂冬 (202)
双功能彩色多普勒诊断动脉系统疾病	张学文 (210)

• 声学实验研究 •

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 (214)
声强测量技术在声传输损失测量中的应用	丁 辉 (226)
管状目标特征参数提取的研究	王仁乾 (231)
扭转压电复合材料及其应用	党长久 杨玉端 李明轩 (237)
超声多普勒胎心仪最大综合灵敏度标准	
测量装置	李恩显 熊大莲 庄金铨 朱 岩 (243)
1-3 压电复合材料换能器简介	焦乘立 栾桂冬 (251)

• 声学咨询 •

中国海关大楼报告大厅的音质改造设计研究	
与实施结果	庄文雄 周 迪 张 斌 蔡京京 (254)
南宫娱乐中心电声设计	王 峥 陈金京 (257)
景山学校综合楼的声学设计	项端祈 张小鹏 (259)
北京声学学会新一届理事会和专业委员会负责人名单	(273)
第一届“杜连耀声学奖”获奖名单	(273)
学会活动	(274)
声学工程动态	(275)

音乐厅建筑声学设计的回顾与展望

项 端 析

(北京市建筑设计研究院 研究所)

摘要 音乐厅建筑的声学设计涉及到建筑声学领域的各个方面,此外,它还与音乐、生理和心理、电子、计算机、自控技术和建筑材料等各个学科密切相关。因此,现代音乐厅建设中所取得的成果,是在总结传统音乐厅建设经验的基础上,各学科相互渗透、综合发展的结果。本文概述音乐厅建筑的沿革,传统音乐厅的音质分析,现代音乐厅声学设计面临的问题,以及对我国音乐厅建设的回顾和对声学设计的展望。

一、音乐厅建筑的沿革

有人把建筑视为“凝固的音乐”,音乐视为“流动的建筑”,音乐厅则是建筑与音乐的有机结合。但这还不够全面,因为一个音质良好的音乐厅,厅堂本身应是乐队不可分割的组成部分,而良好的音质,必须由正确的声学设计理论指导。因此,确切地讲,音乐厅应是音乐、声学与建筑的结合。

17 世纪前,没有专门的音乐厅建筑。音乐会通常是在教堂内演奏(唱)宗教音乐。世俗音乐则在皇室的宫廷和富豪的私宅内举行。

17 世纪 70 年代的一些收费音乐会,如英国小提琴家约翰·巴尼斯、音乐家汤姆斯·勃列顿创办的音乐会,演奏场所均为面积较大的普通房间。

18 世纪中叶,建造了世界上第一个正规的音乐厅——牛津的霍利威尔音乐厅。相继在伦敦又建了汉诺威广场大厅,它可容纳 900 名听众。在这里曾举办过海顿的作品音乐会。但当时在欧洲多数音乐会仍在宫廷内举行。例如巴黎杜伊勒利宫的卫士大厅、维也纳皇宫的威堡大厅等都曾演奏过海顿、莫扎特和贝多芬的作品。

19 世纪是音乐厅建设的黄金时代,如 1870 年交付使用的维也纳音乐厅,1876 年的巴塞尔都市俱乐部,1887 年新莱比锡音乐厅,1887 年荷兰的阿姆斯特丹音乐厅,1888 年柏林音乐厅,1895 年瑞士的苏黎士大音乐厅,1900 年美国的波士顿交响乐大厅,以及 1901 年交付使用的波兰华沙音乐厅和莫斯科柴可夫斯基音乐厅。所有以上这些音乐厅至今均为评价极高、最受赞赏的著名音乐厅。它们在声学上的成功之处,在于它们提供给听众清晰、纯真、亲切和融洽的声音。虽然我们不能直接模仿它们以满足现代音乐厅设计的各种要求,但这些传统音乐厅至今对我们还有不少启迪的地方。

20 世纪 50 年代(二战以后)以来的半个世纪是现代音乐厅建设的昌盛时期,它包括修复、翻建和新建音乐厅等三方面。迫于工程实践的需要,对音乐厅音质广泛地开展了多方面的研究,其内容有:

- 传统音乐厅所以能获得良好音质的原由。

- 对厅堂音质客观评价指标的研究,特别是除混响时间以外的各项参量的确定。
- 音乐厅音质主观评价方法的研究。

除了理论研究以外,声学家们与建筑师协作,通过音乐厅的建筑实践,去探索、验证各自的理论。

50年代初建造的英国皇家节日音乐厅,英国声学家帕金(P.H.Parkin)沿用了传统的“鞋盒”式形体和尽端配置演奏台的方式。该厅除了着重考虑混响时间以外,通过两侧墙配置外挑的错落包箱,开始注重厅内的声扩散;而弧形的吊顶、演奏台上方巨大的可调反射板和起坡高的听众席是为大容量厅堂获得均匀声场分布而设计的。图1即为英国皇家节日音乐厅的平剖面。

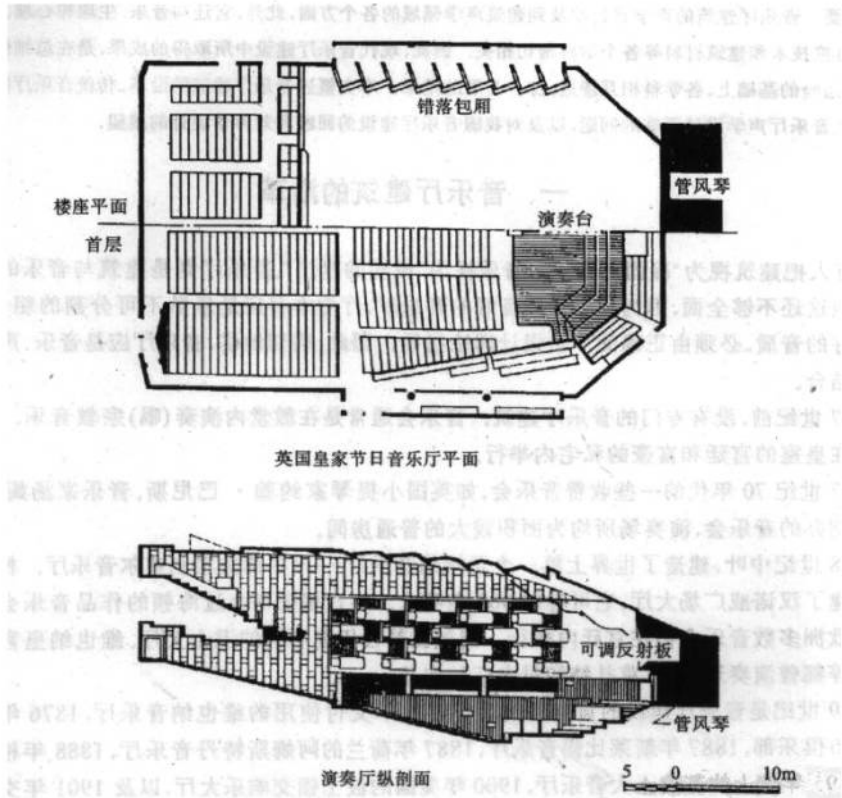


图1 沿用传统“鞋盒”式形体的大容量的皇家节日音乐厅平剖面

50年代末和60年代初,德国声学家梅耶(E.Meyer)等提出了方向性扩散理论(混响声的空间指向),并用“刺猬”模型来表示。当听众感到混响声似乎以相等的幅度来自四面八方时,扩散是最好的。同时,提出了用不规则室形和大尺度扩散结构可以达到声扩散的目的。这一理论在声学家克莱曼(L.Cremer)等设计的三个音乐厅中得到了充分的发挥,它们是1956年建成的斯图加特音乐厅、1959年的贝多芬音乐厅和1963年的柏林“爱乐”交响乐大厅,分别如图2、图3、图4所示。

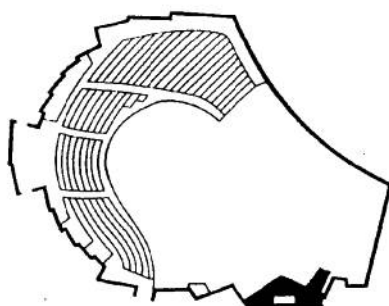
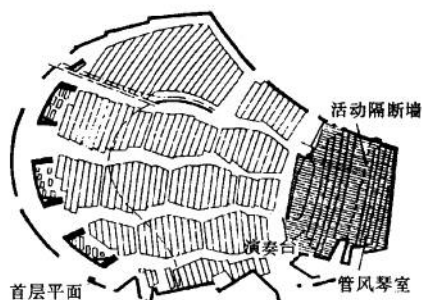


图2 德国斯图加特音乐厅(斯图加特)

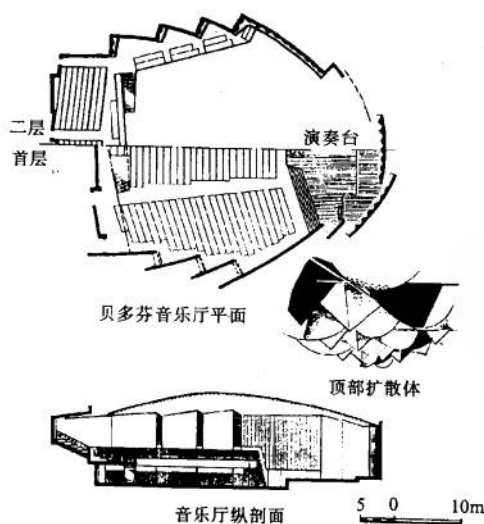


图3 贝多芬音乐厅(波恩)

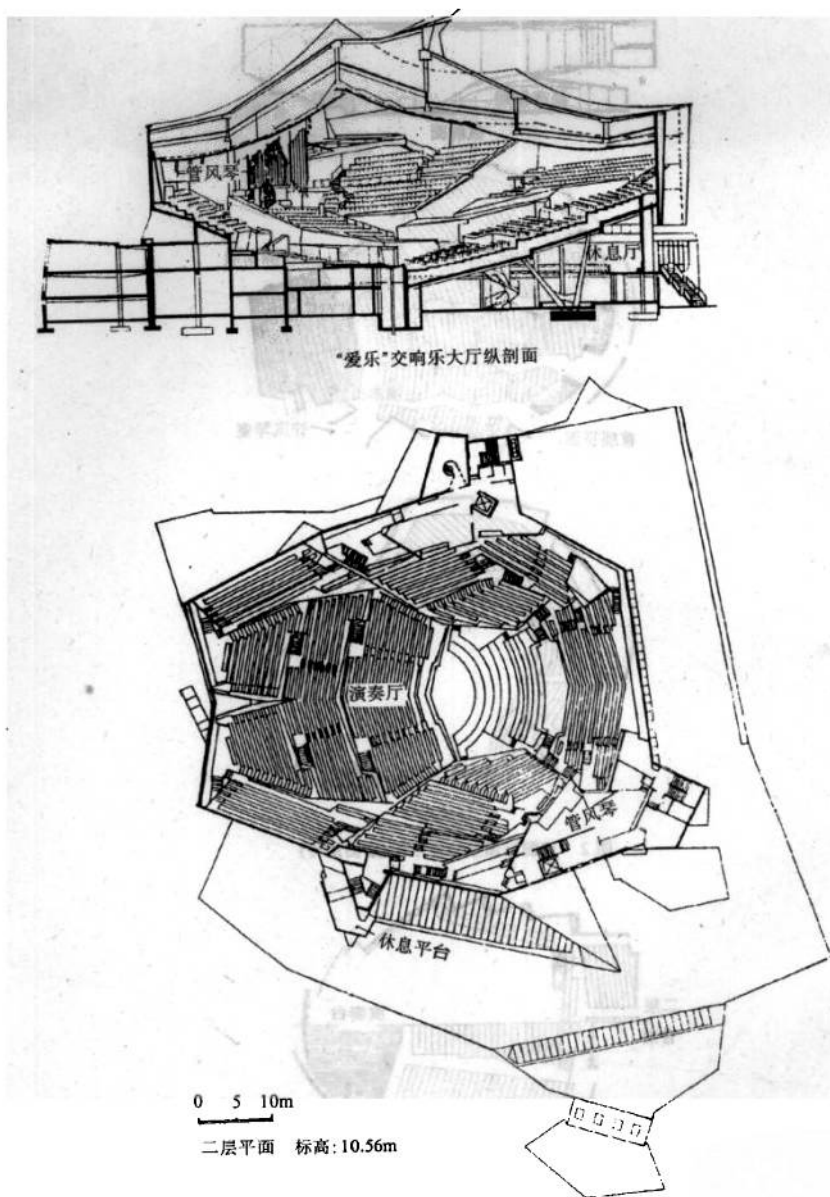


图4 “爱乐”交响乐大厅(柏林)

几乎在同一时期,当很多声学家深入研究传统音乐厅获得良好音质的原由时,得到的共识是:在厅堂内紧随直达声后的早期反射声(50ms以内)对厅内获得良好音质是至关重要的。它具有加强直达声的强度和提高亲切感的作用。美国声学家白兰耐克(L.Brenck)在容纳6000名听众的Tanglewood音乐棚(侧墙和后墙与室外连通)内,利用“浮云”式吊顶,使听众席获得来自

顶部的早期反射声,取得了成功。然而,在纽约曼哈顿林肯中心音乐厅(容纳 2644 名听众)的设计中,同样采用“浮云”式吊顶,试图在保持大容积(每座容积)的同时,听众能有足够的早期反射声。但由于规则布置的“浮云”板的尺度和板缝设计不当,构成了对低频声严重的衍射现象,产生相消干涉从而使低频混响大为降低。最后以拆除全部内装修进行改建而告终。图 5、图 6、图 7 分别为 Tanglewood 音乐棚和林肯中心音乐厅的平剖面。

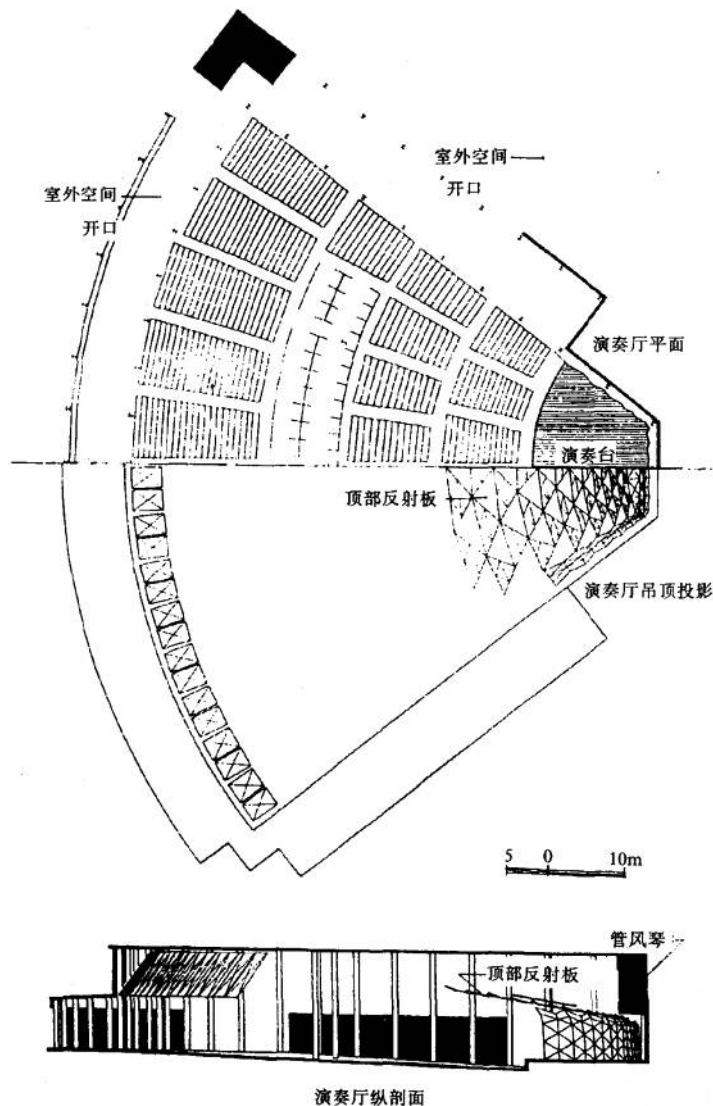
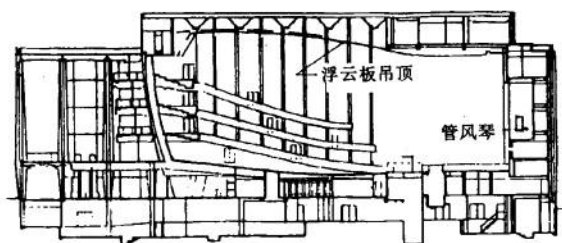
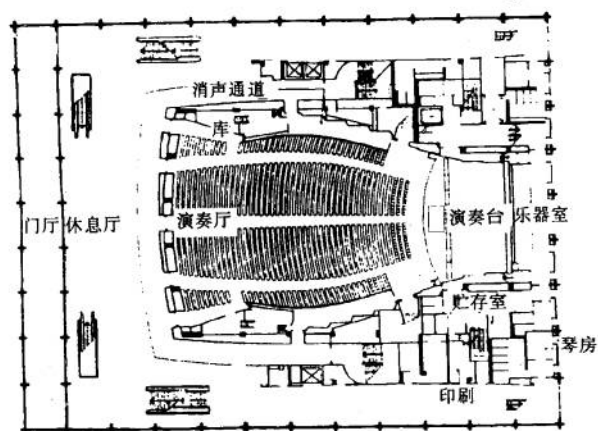


图 5 Tanglewood 音乐棚平剖面



音乐厅纵剖面



林肯中心音乐厅平面

图6 林肯中心音乐厅平面图

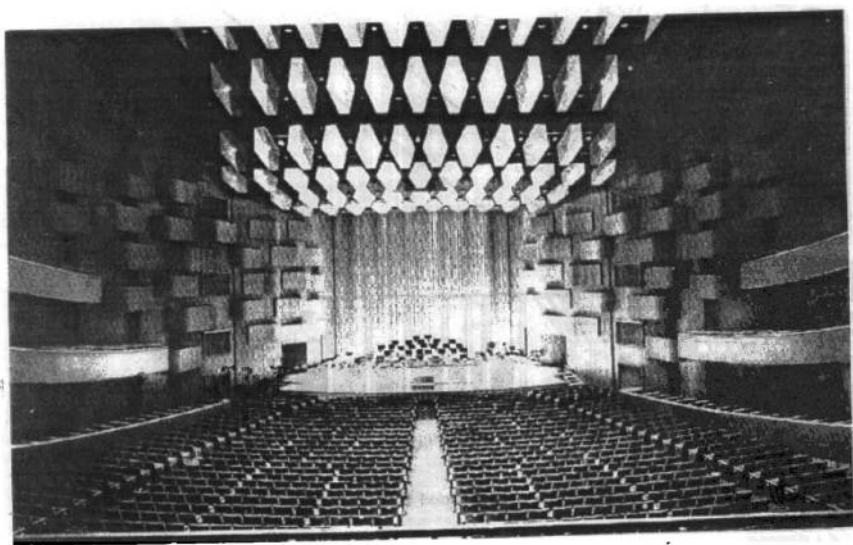


图7 林肯中心交响乐大厅“浮云”吊顶内景(现已拆除)

60年代末以德国的施罗德(M.R.Schroeder)、新西兰的马歇尔(A.H.Marshall)为代表的一些声学家们,在肯定早期反射声作用的同时,确认侧向早期反射声是传统音乐厅获得良好音质的主要原因之一。并以此为依据,在新西兰建造了克雷斯特彻奇音乐厅和惠灵顿大厅。大厅在接近椭圆的平面上,用侧向反射板改变了大厅的空间形式,在听众席获得足够强的早期侧向反射声,取得了成效。为了改善克雷斯特彻奇大厅内侧向反射声过强而造成的声像移位缺陷,在惠灵顿大厅内侧向反射板改用“数论声扩散体”。图8、图9分别为新西兰克雷斯特彻奇音乐厅的平面和反射板内景。

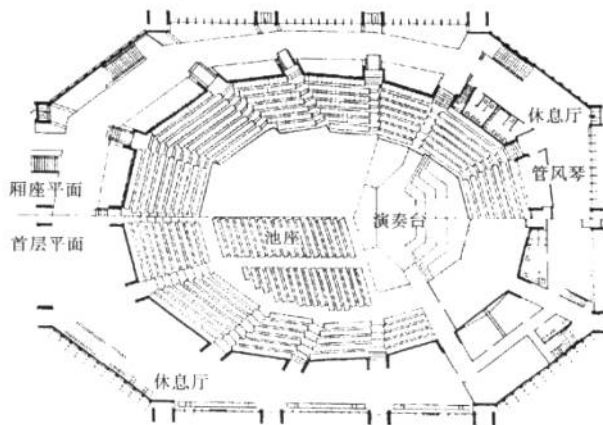
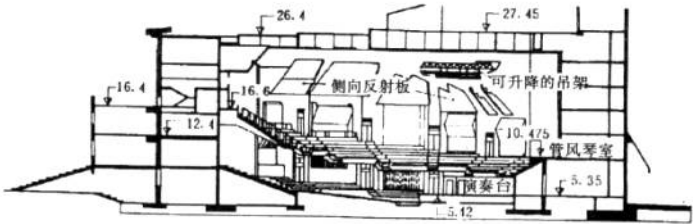


图8 克雷斯特彻奇音乐厅平面

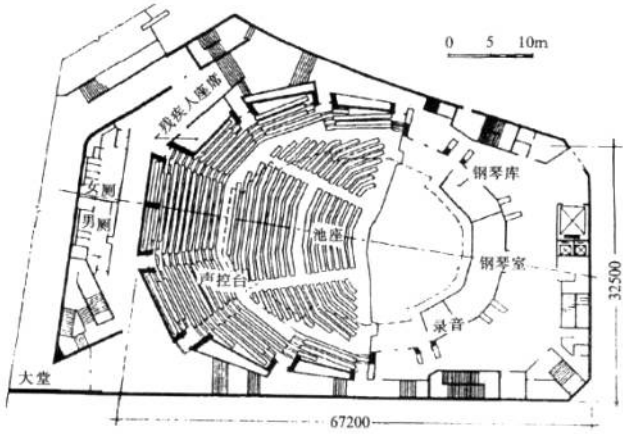


图9 克雷斯特彻奇音乐厅内侧向反射板内景

在 70 年代至今的 20 多年中,所建的音乐厅无不考虑侧向反射声的设计。1989 年 11 月我国香港地区新建的香港文化中心音乐厅是新西兰所建的两个音乐厅的翻版,见图 10、图 11 所示。同样采用了“数论声扩散体”,但该厅的音质缺乏活度和丰满感。原因在于未能充分考虑采用大量木质扩散板本身对低频的声吸收,从而造成混响时间短,特别是低频混响过短的缺陷。



大厅纵剖面



香港文化中心音乐厅首层平面

图 10 香港文化中心音乐厅平剖面

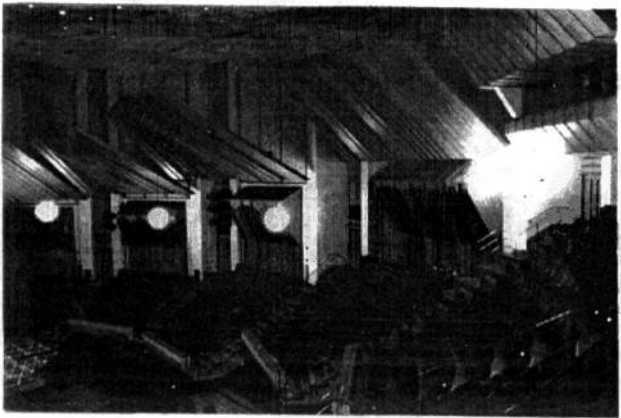
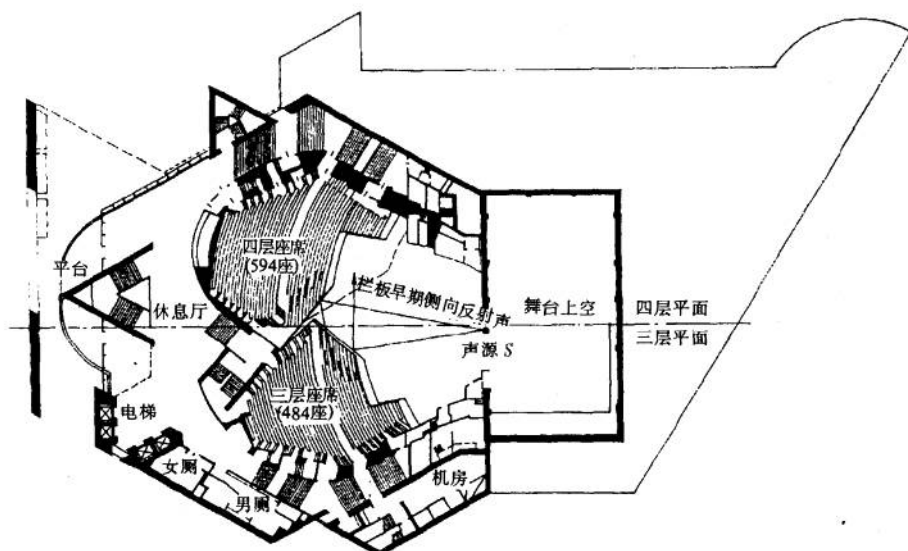


图 11 香港文化中心音乐厅内大量采用的木质“数论声扩散体”内景

另一种使听众席获得足够侧向反射声的模式是通过大厅平面布局和空间处理实现的。典型的实例是美国加州的奥兰治县演艺中心大厅,它通过四个错层的倒扇形平面和不对称的空间组合,成功地解决了大容量(3002名听众)音乐厅中获得足够早期侧向反射声的难题,并获得一致公认的良好音质。图12、图13分别为美国加州奥兰治县演艺中心大厅的平、剖面。



奥兰治县演艺中心大厅

图12 美国加州奥兰治县演艺中心大厅平面

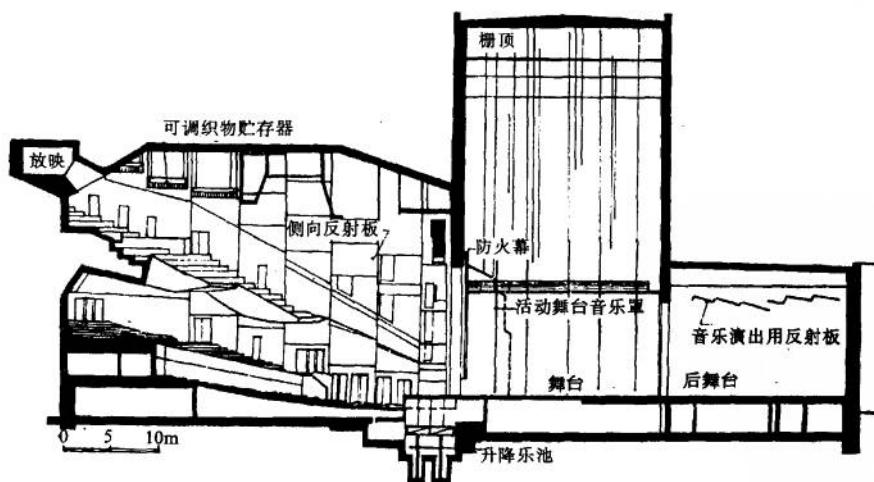


图13 美国加州奥兰治县演艺中心大厅纵剖面